

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Uso de vísceras bovinas en alimentación del pez guppy (*Poecilia reticulata*) como alternativa económicamente viable¹Sofía Sanabria-Astúa², Alejandro Chacón-Villalobos³, Juan Ignacio Herrera-Muñoz⁴

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue valorar la inclusión de vísceras bovinas en la dieta del guppy (*Poecilia reticulata*) como una alternativa económicamente viable y atractiva, al evaluar el efecto en el crecimiento y desempeño reproductivo del pez incluyendo corazón y riñón bovino deshidratado en las raciones alimentarias. La investigación se realizó durante 60 días en el Módulo Acuícola de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM). Se utilizaron 320 animales de 30 ± 2 días de edad. Después de un periodo de 15 días de aclimatación, se distribuyó aleatoriamente un total de 20 individuos por pecera. Se utilizaron cuatro tratamientos experimentales: Control, que incluyó únicamente alimento balanceado (AB) comercial para pez guppy; Tratamiento 1 (T1), que se compuso únicamente de AB comercial para tilapia-fase de inicio; Tratamiento 2 (T2), que fue formulado con 52,5% de AB comercial para tilapia-fase de inicio y 47,5% de corazón bovino deshidratado; y Tratamiento 3 (T3), que fue integrado por 45,3% AB comercial para tilapia-fase de inicio y 54,7% de riñón bovino deshidratado. Se empleó anestesia general en los animales cada 15 días con el fin de tomar mediciones de ganancia de peso total (GPT), tasa específica de crecimiento (SGR), coeficiente térmico de crecimiento (CTC), conversión alimenticia (FCR) y factor de condición de Fulton (K). Se

¹ Este trabajo formó parte del proyecto de investigación: 737-C2171 Inclusión de vísceras de la industria cárnica en la dieta de la especie acuícola ornamental *P. reticulata* y su efecto sobre crecimiento y reproducción.

² Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. San Pedro, San José, Costa Rica. Correo electrónico: sofia.sanabria@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0009-0007-3078-2460>).

³ Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. La Unión, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: alejandro.chacon@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-8454-9505>).

⁴ Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia. San Pedro, San José, Costa Rica. Autor de correspondencia: juanignacio.herrera@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0001-5004-0826>).

Recibido: 26 febrero 2024 Aceptado:

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en ganancia de peso promedio general (GP_g) y ganancia de peso promedio para las hembras (GPh) entre el T1 y el resto de tratamientos, sin diferencias entre estos últimos. No se observaron diferencias significativas para la variable de fecundidad entre tratamientos ($p > 0.05$). Sin embargo, se dio una tendencia ($p = 0.091$) de mayor cantidad de alevines nacidos en los tratamientos T2 y T3. El análisis económico mostró que el tratamiento Control posee el costo más elevado, seguido por T3, T2 y T1, respectivamente. Por esta razón se considera que el uso de vísceras bovinas, en combinación con alimentos comerciales, es una alternativa técnica y económicamente viable.

Palabras Clave: *Poecilia reticulata*, vísceras bovinas, parámetros zootécnicos, alternativa alimenticia, análisis económico, acuariofilia.

ABSTRACT

Use of bovine viscera in feeding Guppy fish (*Poecilia reticulata*) as an economically viable alternative. The objective of the present study was to validate the inclusion of bovine viscera in the diet of Guppy fish (*Poecilia reticulata*) as an economically viable and attractive alternative, through the evaluation of growth and reproductive performance including dehydrated bovine heart and kidney in the formulation of feed rations. The 60-day investigation was conducted at the Aquaculture Module of the Alfredo Volio Mata Experimental Station (EEAVM), using 320 animals 30 ± 2 days of age. After a fifteen-day acclimatization period, 20 individuals were randomly assigned per tank. Four experimental treatments were used: Control, which included only commercial balanced feed (BF) for Guppy fish; Treatment 1 (T1), which was composed of only commercial BF for the Tilapia-starting phase; Treatment 2 (T2), which was formulated with 52.5% commercial BF for Tilapia-phase starting phase and 47.5% dehydrated bovine heart; and Treatment 3 (T3), that was integrated with 45.3% commercial BF for Tilapia-initiation phase and 54.7% dehydrated bovine kidney. General anesthesia was used in the animals every 15 days to take measurements of total weight gain (GPT), specific growth rate (SGR), thermal growth coefficient (CTC), feed conversion (FCR), and condition factor of Fulton (K). Significant differences ($p < 0.05$) were found in general average weight gain (GP_g) and

average weight gain for females (GPh) between T1 and the rest of the treatments, with no differences between the latter. No significant differences were observed for the fecundity variable between treatments ($p > 0.05$), however, there was a trend ($p = 0.091$) of a greater number of births in treatments T2 and T3. The economic analysis showed that the Control treatment has the highest cost, followed by T3, T2, and T1, respectively. This is the reason why the use of bovine viscera, in combination with commercial foods, is considered a technically and economically viable alternative.

Keywords: *Poecilia reticulata*, bovine viscera, zootechnical parameters, feed alternative, economic analysis, aquarium hobby.

INTRODUCCIÓN

Un suplemento nutricional es aquel que se adiciona a la dieta base para mejorar uno o varios aspectos en los que esta pueda ser deficiente nutricionalmente. La suplementación nutricional juega un papel importante en la estructura de costos de producción de diversas especies de interés zootécnico. Según Cuadros et al. (2023), la inclusión de suplementos generalmente incrementa el costo durante todas las etapas fisiológicas, desde el nacimiento hasta el procesamiento del animal. Asimismo, Soto (2021) menciona que los costos atribuidos a los alimentos balanceados en el sector agropecuario aumentan por factores climáticos adversos e importación de materias primas. Por lo tanto, mediante la inclusión de recursos alternativos como subproductos o vísceras animales como suplementos a dietas bases comerciales, se busca disminuir este índice económico y, al mismo tiempo, mejorar el perfil de aminoácidos, ácidos grasos y otros nutrientes de la ración.

Del proceso de faenado e industrialización animal se obtienen subproductos derivados de la canal, los cuales se clasifican en comestibles o no comestibles para el ser humano (Alao et al., 2017). Entre estos se ubican los órganos (pulmones, corazón, hígado, bazo, intestinos, páncreas, lengua, riñones, testículos, estómago y piel), sangre, nariz, pezuñas, pelo, grasa, huesos, cola, patas, cráneos, cuernos, recortes cárnicos, contenidos ruminales, plumas, entre otros (Toldrá et al., 2016).

De manera general, los órganos presentan contenidos importantes de macro y micronutrientes, por lo cual, aquellos que no se utilizan para consumo humano, están sujetos a un potencial valor agregado. El corazón bovino contiene altas reservas de los aminoácidos leucina y treonina, vitamina A y minerales como hierro, selenio, zinc y fósforo. Además, presenta bajos niveles de ácidos grasos monoinsaturados y altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados (Biel et al., 2019). Por su parte, los riñones presentan un alto contenido de proteínas de alto valor biológico; minerales como selenio y hierro; vitamina A; niacina; y riboflavina (Alao et al., 2017). En este contexto, las vísceras bovinas se perfilan como una alternativa interesante de alimentación para otras especies animales, entre ellas, los peces ornamentales.

La acuariofilia se define como la afición por el mantenimiento y cría de peces de agua dulce o salada, siendo la primera la más ampliamente practicada (Evers et al., 2019). La cría de peces ornamentales de agua dulce es un mercado en crecimiento; Maceda-Veiga et al. (2016) estimaron una progresión del 14% anual, aunado a una venta de mil millones de peces individuales a nivel mundial. Del mismo modo, Satam et al. (2018) catalogan la acuariofilia como una industria multibillonaria donde se involucran más de 125 países en la comercialización de individuos.

En el caso de Costa Rica, se registran datos de comercialización de más de 800.000 peces, que datan entre 1998 y 2004 (Allen et al., 2017). En el periodo de 2004 a 2013 se reportó un monto anual promedio de \$172.000 en producto de la exportación de individuos (Programa Estado de La Nación, 2014). Asimismo, un total de \$641.000 derivados de la importación de especies ornamentales sugieren que las especies acuícolas ornamentales presentes en el país provienen principalmente del extranjero (Allen et al., 2017). Para el año 2021, el mercado costarricense de peces ornamentales reportó un valor económico de exportación de \$225.057 (United Nations Comtrade, 2022).

El pez guppy (*Poecilia reticulata*) se considera una especie adecuada para la ejecución de pruebas de inclusión alimenticia en la acuariofilia dada su popularidad. Es una de las especies de mayor comercialización a nivel mundial principalmente por sus colores llamativos, adaptabilidad al medio, fácil mantenimiento, ciclo de vida rápido y prolificidad (Sharon et al., 2016; Imai et al., 2022; Maceda-Veiga et al., 2016). Es una especie omnívora, que se alimenta superficialmente de zooplancton, detritos, insectos pequeños, algas filamentosas y otros (Lawal et al., 2012). En cautiverio se reportan

consumos de alimento comercial de 0,20 g semanales al ofrecerse dos raciones diarias (Canales et al., 2019), donde se requiere de un suministro adecuado de micronutrientes y macronutrientes (Devi et al., 2019). Algunos estudios señalan incrementos de peso y tamaño corporal general al incorporar 60% de proteína cruda (PC) en el alimento (Sirimanna y Dissanayake, 2019), aunque mayores inclusiones de proteína no parecen favorecer más allá al aumento de la longitud corporal (Gruber et al., 2013). La literatura documenta un racionamiento de la alimentación según la edad en semanas y el peso vivo (PV), suministrándose en las primeras semanas del 10-20% del PV, disminuyendo la ración poco a poco hasta los 63 días, que se ofrece 4% de PV (Harpaz et al., 2005; Rezaei et al., 2019; Sharon et al., 2016).

Por esta razón, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto en el crecimiento y desempeño reproductivo durante el primer ciclo de reproducción del pez guppy al incluir corazón y riñón bovino deshidratado en las raciones alimenticias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se llevó a cabo en el Módulo Acuícola de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica. Esta se ubica en El Alto de Ochomogo, Cartago, Costa Rica. Esta zona presenta una temperatura promedio de 15 °C en temporada de verano y precipitación promedio de 41,8 mm (IMN, 2023).

Diseño y condiciones experimentales

El experimento se desarrolló en un sistema cerrado de recirculación que consiste en 16 peceras de 58 L (40 x 40 x 36 cm) de capacidad, interconectadas por filtros tipo canister (SunSun HW-304B), con capacidad real de bombeo de 800 L/h, espuma de alta densidad como material filtrante y cilindros cerámicos como sustrato para la filtración biológica de tipo lecho móvil.

Los animales se obtuvieron por medio de la compra a un productor local de *Poecilia reticulata* y, posteriormente, se transportaron a la EEAVM. De un grupo inicial de aproximadamente 500 animales, se seleccionaron visualmente 320 individuos de 30 ± 2 días de edad, considerando conformación corporal, ausencia de malformaciones y talla lo más homogénea posible. Estos se distribuyeron aleatoriamente considerando una relación macho:hembra de 1:4, para un total de 20 individuos por pecera. Además, se sometieron a un periodo de 15 días de aclimatación, durante el cual se ajustó la salinidad del agua a un valor de 1,5 g/L.

El periodo experimental tuvo una duración total de 60 días, en los cuales se monitorearon diariamente los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y pH (Figura 1). Esto se realizó utilizando un instrumento multiparamétrico de sondas (YSI, ProPlus), el cual registra todos los indicadores en una sola medición. Por su parte, los valores de amonio total (TAN), nitritos, nitratos, alcalinidad y dureza del agua, se midieron semanalmente con kits colorimétricos (API, Freshwater Máster Test Kit). Todos los parámetros de la calidad del agua se mantuvieron dentro de un rango considerado adecuado para un desarrollo normal de la especie (Deacon, 2023).

Se registraron valores reproductivos, como día de primer parto y fecundidad de cada unidad experimental, así como mediciones morfométricas de peso cada 15 días con una balanza de precisión de $1000 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ (W&J Instruments, BE10002) y de longitud estándar (LE) al inicio y finalización del experimento, con un micrómetro digital de precisión (Stanley, 150 mm). La medición de peso se realizó en seco, de forma grupal por sexo y por pecera, para obtener un valor medio individual por sexo; la medición de LE se realizó de forma individual. Para la medición de la fecundidad, y con el fin de minimizar la posibilidad de canibalismo de los alevines, se utilizó un refugio flotante construido con marco de tubo PVC de 0,5 pulgadas y malla plástica de 300 micras. Diariamente se contabilizaron y recolectaron los alevines de cada refugio y se separaron del sistema experimental.

Las condiciones de luz y temperatura fueron controladas a lo largo del experimento, para ello se mantuvo un fotoperiodo de 12 horas de luz, seguido por 12 horas de oscuridad controladas con un temporizador. El sistema de iluminación estuvo compuesto por bombillos fluorescentes (Phillips, 32 watts, 2600 lumens) ubicados en el techo del laboratorio acuícola. La temperatura del agua se

mantuvo constantemente en un rango de 25 a 27 °C con el uso de termostatos (Penn Plax, Cascade Heat-150 watts).

Como parte del marco regulatorio en bienestar animal, las medidas morfométricas se ejecutaron utilizando anestesia aplicada por inmersión e inducida con Eugenol (99% pureza) en disolución con etanol/agua a una concentración de 30 mg/L. Utilizando un cronómetro, se tomó un tiempo de acción del anestésico de 2 minutos y, al finalizar, se devolvieron los animales a su respectiva pecera, donde el periodo de recuperación tardó de 2 a 5 minutos observando movimientos operculares, reflejos y capacidad de movimiento (Chacón et al., 2019).

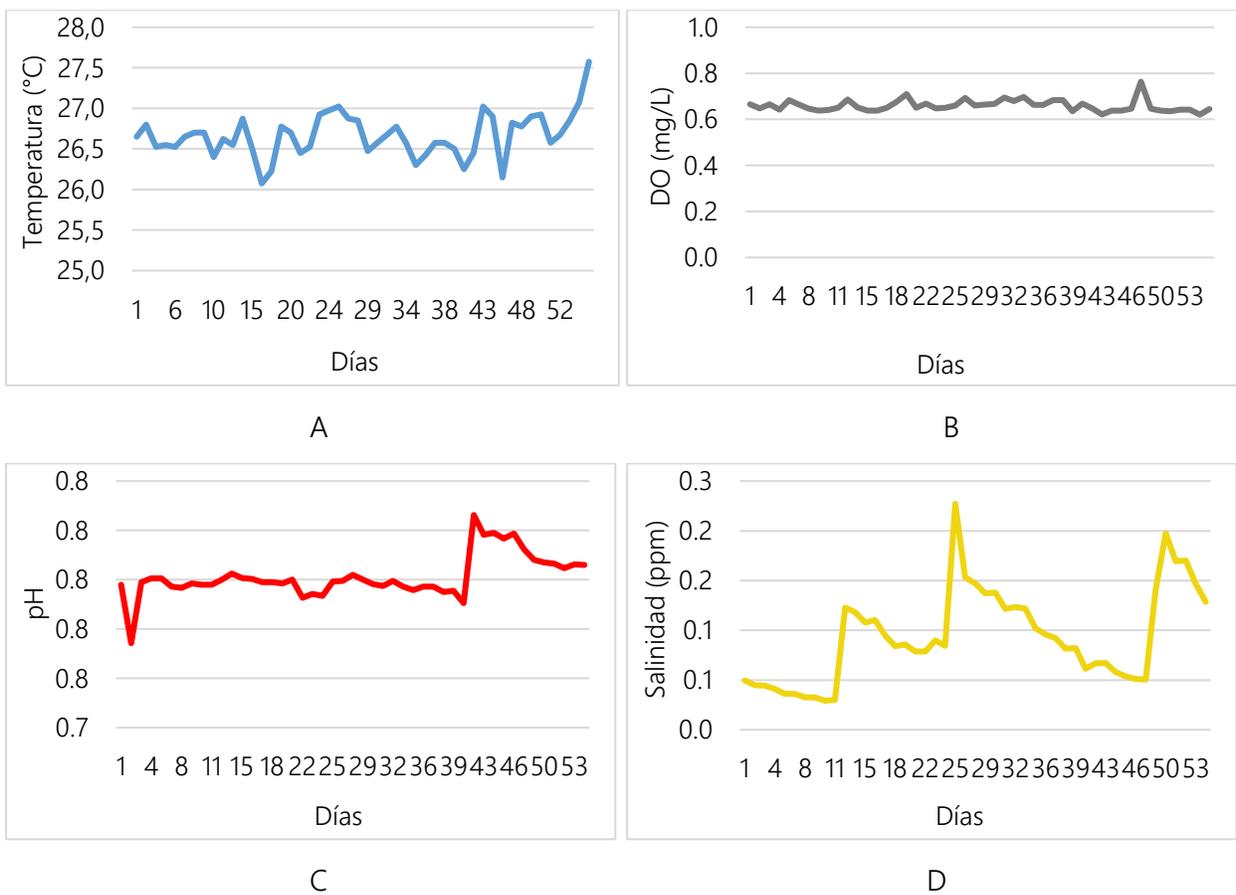


Figura 1. Valores promedio de temperatura (A), oxígeno disuelto (DO) (B), pH (C) y salinidad (D) del agua.

Al día 34 del periodo experimental, se detectó la presencia del parásito gastrointestinal *Camallanus cotti* (Figura 2), por medio de la observación de un objeto extraño de coloración rojiza en el abdomen de un porcentaje considerable de los individuos, aunado a un incremento del índice de mortalidad. Sin embargo, debido al tipo de sistema en que fueron criados previamente y considerando los tiempos de desarrollo del parásito, se cree que toda la población experimental fue expuesta al parásito en el origen, lo que explicaría su presencia en todos los tratamientos y una distribución aparente homogénea en las peceras por apreciación visual. Adicionalmente, si bien la mortalidad fue mayor a la esperada, producto de la afectación parasitaria, esta no superó el 10% de la población general y no hubo diferencia significativa en la mortalidad entre tratamientos ($p > 0.05$) ni entre sexos ($p > 0.05$), pero se pudo apreciar visualmente una afectación mayor en condición en hembras que en machos, de manera general. Una vez identificado el parásito y a falta de un producto a base de levamisol, se aplicó como medida terapéutica metronidazol a 5 mg/L de concentración en el agua, según las recomendaciones de uso.



Figura 2. Parásito gastrointestinal *Camallanus cotti* presente en el abdomen de *Poecilia reticulata*.

Recursos alimenticios

Se utilizaron dos alimentos comerciales para la formulación de las dietas experimentales: un alimento comercial de alto valor (Fancy Guppy, Hikari, Lic. DAA-MAG-762-032), formulado según las necesidades nutricionales específicas del pez guppy; y un alimento balanceado de tilapia- fase de inicio (Inicio HP Starter, Lic. DAA-MAG-774-110), formulado por la empresa BioMar Aquaculture Corporation S. A.

Por su parte, para el procesamiento de las vísceras se recolectaron 17 riñones y 7 corazones de bovino en la planta industrial de procesamiento de cárnicos GICO, ubicada en San Antonio de Alajuela, Costa Rica. Estas se empacaron en bolsas de plástico y se transportaron en una hielera, la cual contuvo una mezcla de agua con hielo a temperatura de 5-7 °C, en un periodo menor a 4 horas desde el momento de la recolección.

En el módulo acuícola, se eliminaron las secciones adiposas y de tejido cartilaginoso presente en las vísceras, para, posteriormente, cortarlas en porciones finas. Se realizó un pesaje tanto de la porción fresca como del residuo. Estas porciones fueron procesadas en una moledora de carne manual y luego deshidratadas a una temperatura de 60-68 °C por aproximadamente 4 horas en un horno con 4 lámparas de calor de 250 W. Durante el periodo de secado, se realizó un volteo para facilitar la deshidratación completa del material hasta alcanzar un mínimo aproximado de 85% MS del subproducto correspondiente. Una vez seco el material, se molió utilizando un procesador de alimentos (Cuisinart, PG13658) a un tamaño de partícula inferior a 1 mm.

De ambos recursos (alimentos y vísceras), se extrajo una muestra que fue utilizada para la determinación de la composición nutricional (Cuadro 1 y Cuadro 2). Siguiendo los métodos citados por la AOAC (2023), se efectuaron, en el Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica, los análisis de: materia seca (MS) por secado en estufa a 70 °C durante 24 horas; PC por medio del método AOAC 990.03; extracto etéreo (EE) empleando el método AOAC 920.39; cenizas (CEN) por medio del método AOAC 942.05; energía bruta (EB) por medio del uso de un calorímetro adiabático; y los minerales Ca (AOAC 968.08) y P (AOAC 965.17). De igual manera, en el Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITA), se determinó el perfil completo

de ácidos grasos por medio del método AOAC 996.06 y las diferentes categorías de grasas (saturadas, monoinsaturadas y poliinsaturadas) empleando el método AOAC 996.06.

Tratamientos experimentales

El estudio se realizó utilizando cuatro tratamientos experimentales (Cuadro 1 y Cuadro 2): el tratamiento Control, que incluyó únicamente alimento balanceado (AB) comercial formulado para pez guppy; el tratamiento 1 (T1), que se conformó como único ingrediente el AB comercial para tilapia-desarrollo; el tratamiento 2 (T2), que se formuló con 52,5% de AB comercial formulado para tilapia-desarrollo y 47,5% de corazón bovino deshidratado; el tratamiento 3 (T3), que fue integrado por 45,3% AB comercial formulado para tilapia-desarrollo y 54,7% riñón bovino deshidratado. El porcentaje de inclusión de las vísceras bovinas en las dietas experimentales se definió buscando que estas fuesen isoproteicas en relación con el alimento Control (AB "Fancy Guppy"), realizando un balance nutricional con el alimento comercial de tilapia a partir de los análisis bromatológicos a los alimentos.

Cuadro 1. Parámetros derivados del análisis químico de las vísceras bovinas y las dietas experimentales.

Nutriente (g/100 g)	Vísceras		Dietas Experimentales			
	Riñón	Corazón	Control	T1	T2	T3
PC*	73,30 ± 1,20	79,40 ± 1,30	56,90 ± 0,90	36,00 ± 0,60	56,60 ± 0,90	56,40 ± 0,80
EE	8,20 ± 0,00	7,80 ± 0,10	11,70 ± 0,50	10,60 ± 0,40	9,30 ± 0,00	9,30 ± 0,00
EB (Kcal/kg)	4610,00 ± 344,00	4609,00 ± 344,00	4600,00 ± 344,00	4155,00 ± 310,00	4310,00 ± 24,00	4403,00 ± 24,00
Hum 104 °C	3,20 ± 0,20	6,00 ± 0,40	5,90 ± 0,40	8,00 ± 0,60	7,10 ± 0,10	5,40 ± 0,30
FC	0,10 ± 0,00	0,20 ± 0,30	0,30 ± 0,10	2,80 ± 0,10	1,60 ± 0,10	1,30 ± 0,01
Calcio	0,10 ± 0,00	0,03 ± 0,01	3,30 ± 0,40	1,10 ± 0,10	0,60 ± 0,10	0,60 ± 0,10
Fósforo	1,00 ± 0,10	0,10 ± 0,1	2,50 ± 0,10	1,10 ± 0,10	1,00 ± 0,00	1,10 ± 0,00
Cenizas	6,10 ± 0,30	5,80 ± 0,30	15,60 ± 0,80	9,30 ± 0,50	7,70 ± 0,10	7,50 ± 0,10
AGS	4,10 ± 2,00	3,50 ± 2,60	5,20 ± 3,00	3,50 ± 2,90	3,50 ± 0,60	3,80 ± 0,20
AGMI	2,20 ± 2,20	2,60 ± 2,00	4,60 ± 1,50	4,00 ± 2,80	3,30 ± 0,40	3,00 ± 0,60
AGPI	1,90 ± 0,00	1,70 ± 0,00	1,90 ± 0,00	3,10 ± 0,00	2,40 ± 0,00	2,50 ± 0,00

*Valores presentados en base seca. PC = proteína cruda; EE = extracto etéreo; EB = energía bruta; Hum = humedad; FC = fibra cruda; AGS = ácidos grasos saturados; AGMI = ácidos grasos monoinsaturados; AGPI = ácidos grasos poliinsaturados.

Cuadro 2. Contenidos de ácidos grasos, grasas y las dietas experimentales obtenidos por medio de análisis químico.

Alimento	Guppy		Tilapia		Corazón		Riñón	
% Grasa de la MS	11,68		10,60		7,77		8,24	
Ácido Graso (%)	Grasa*	MS**	Grasa*	MS**	Grasa*	MS**	Grasa*	MS**
Cis-eicosapentaenoico-EPA (C20:5)	0,109	0,013	0,178	0,019	0,144	0,011	0,740	0,061
Docosahexenoico-DHA (C22:6)	0,558	0,065	0,061	0,006	0,092	0,007	0,291	0,024
Grasa Saturada	44,80	5,23	33,10	3,51	45,10	3,50	49,90	4,11
Grasa Monoinsaturada	39,00	4,56	37,80	4,01	33,50	2,60	26,60	2,20
Grasa Poliinsaturada	16,00	1,87	29,10	3,09	21,40	1,66	23,40	1,93
Grasa Trans	0,149	0,017	0,046	0,005	0,024	0,002	0,040	0,003

*Valor refiere al % de la grasa total.

**Valor refiere al % de la MS.

Prácticas de alimentación

Los tratamientos experimentales se uniformizaron utilizando un tamiz < 1 mm, de modo que las partículas más pequeñas fueran descartadas y solo se utilizaran las de mayor tamaño. Estas se mezclaron mecánicamente en las relaciones definidas en los tratamientos experimentales, a partir del balance nutricional realizado con el programa WinFeed versión 2.8 [WinFeed (UK) Limited, 2018]. Si bien, en la nutrición de animales acuáticos, la lixiviación de los ingredientes, la falta de aseguramiento de una distribución uniforme de partículas y la discriminación en la selección de partículas por los animales son desafíos conocidos, en este estudio se consideró la capacidad de la muestra experimental para absorber estos posibles errores. Además, debido a las limitaciones logísticas y el elevado costo de la fabricación de alimentos experimentales por extrusión, como se practica a nivel comercial, se optó por un monitoreo estricto de saciedad. Esto incluyó la observación de la actividad alimenticia y la aceptación del alimento por los animales, permitiendo así registrar el consumo real de las dietas experimentales.

La ración alimenticia se ofertó dos veces al día siguiendo como guía el programa de alimentación definido por Sharon et al. (2016), ajustado a la capacidad de consumo en relación con el peso vivo promedio de los individuos.

Variables evaluadas y análisis estadístico

Las mediciones quincenales permitieron calcular datos de ganancia de peso total (GPT), tasa específica de crecimiento (SGR), coeficiente térmico de crecimiento (CTC), conversión alimenticia (FCR) y el factor de condición de Fulton (K). La mortalidad (MT), además, se registró diariamente durante todo el experimento. Asimismo, se realizaron mediciones del incremento de longitud estándar (iLE) y la fecundidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Indicadores zootécnicos evaluados y su ecuación asociada.

Parámetro zootécnico	Ecuación asociada ¹
Incremento de longitud estándar	$iLE = LE_{Final} - LE_{Inicial}$
Ganancia de peso total	$GPT = Peso_{Final} - Peso_{Inicial}$
Coeficiente térmico de crecimiento	$CTC = \left(\frac{(Peso\ final)^{1/3} - (Peso\ inicial)^{1/3}}{\sum Temp\ (^{\circ}C)} \right) 1000$
Tasa específica de crecimiento	$SGR = \left(\frac{\ln\ peso\ final - \ln\ peso\ inicial}{tiempo\ (días)} \right) 100$
Conversión alimenticia	$FCR = \frac{Gramos\ consumidos\ de\ alimento}{Gramos\ producidos\ de\ biomasa}$
Factor de condición de Fulton	$K = (100 * (W/L^3))$
Mortalidad	$MT = \frac{Peces\ muertos}{Peces\ totales\ inicial} x 100$
Fecundidad	$Fecundidad = \frac{alevines\ nacidos\ vivos}{hembras\ por\ tratamiento} x 100$

¹ LE: longitud estándar en milímetros. W: peso de los animales en gramos. L: Longitud estándar de los animales en centímetros.

Adicionalmente, se realizó un análisis económico donde se tomaron variables de costos como alimentos balanceados, compra, transporte y tiempo de preparación de las vísceras para la fabricación de alimento para peces. Esto con el fin de comparar los resultados obtenidos en el estudio y determinar la eficiencia de la suplementación con corazón y riñón bovino en relación con la inversión por ciclo reproductivo.

Los datos fueron analizados utilizando un análisis de varianza de un solo factor con efecto fijo para las variables que cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se determinó un nivel de significancia del 5%. Asimismo, para aquellos datos que no cumplieron con los supuestos de normalidad por la prueba de Shapiro-Wilk, se realizó estadística no paramétrica por pares mediante la prueba Kruskal-Wallis. El análisis se realizó por medio del programa estadístico IBM SPSS Statistics 25 (IBM, 2017).

RESULTADOS

VARIABLES DE CRECIMIENTO

Al registrar las medidas morfométricas, se logró obtener la ganancia de peso, el incremento en longitud estándar y el factor de condición de Fulton (K), así como los índices de crecimiento y eficiencia (SGR, CTC y FCR) de todos los animales durante el período experimental (Cuadro 4). Los animales presentaron pesos medios iniciales de 0,17 g para machos y 0,29 g para hembras, sin diferencias significativas entre tratamientos para ningún sexo ($p > 0.05$) y pesos medios finales de 0,40 g para machos y 0,98 g para hembras. Para la ganancia de peso promedio general (GPg) y la ganancia de peso promedio para las hembras (GPh), se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el T1 y los tratamientos Control, T2 y T3, siendo mayores estos últimos e iguales entre sí ($p > 0.05$).

Para la ganancia de peso de los machos (GPm), no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos ($p > 0.05$). Esta conducta de los resultados fue la misma para el incremento en longitud estándar, así como para los índices de crecimiento y eficiencia: SGR, CTC y FCR. Por su estrecha

relación con la ganancia de peso, con la salvedad de que en el FCR los valores fueron mayores para el T1, los animales de este tratamiento fueron menos eficientes con el uso del alimento.

La única variable que no presentó dicha tendencia fue el factor K, donde solamente se observaron diferencias entre medias generales, siendo mayor para T3, menor para T1 y con valores intermedios para T2 y Control. En la Figura 3, se muestra la evolución del peso promedio general (curva de crecimiento) de los diferentes tratamientos durante el período de 60 días experimentales, donde se aprecia claramente la divergencia entre el tratamiento exclusivamente con alimento balanceado para tilapia (T1) y los demás.

Cuadro 4. Medias globales de variables morfométricas e índices de crecimiento y eficiencia.

Parámetro	Control	T1	T2	T3	Valor p
GP _g *	0,62 ^a	0,30 ^b	0,66 ^a	0,63 ^a	0.021
GP _h	0,82 ^a	0,33 ^b	0,86 ^a	0,84 ^a	0.028
GP _m	0,19	0,16	0,19	0,19	0.838
iLE _g	8,93 ^a	5,03 ^b	9,80 ^a	9,16 ^a	0.017
iLE _h	11,44 ^a	5,55 ^b	12,33 ^a	11,58 ^a	0.017
iLE _m	3,46	3,82	3,95	3,55	0.967
Kf _g	2,72 ^{ab}	2,60 ^b	2,81 ^{ab}	2,86 ^a	0.023
Kf _h	2,64	2,57	2,72	2,82	0.179
kf _m	2,43	2,20	2,56	2,54	0.667
SGR _g	2,20 ^a	1,36 ^b	2,31 ^a	2,27 ^a	0.030
SGR _h	2,53 ^a	1,42 ^b	2,66 ^a	2,62 ^a	0.017
SGR _m	1,11	0,97	1,07	1,08	0.967
CTC _g	0,21 ^a	0,12 ^b	0,22 ^a	0,23 ^a	0.030
CTC _h	0,26 ^a	0,13 ^b	0,27 ^a	0,27 ^a	0.018
CTC _m	0,09	0,08	0,09	0,09	0.852
FCR _g	2,05 ^a	4,98 ^b	1,89 ^a	1,92 ^a	0.017

*Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre los tratamientos: g = parámetro medio general; h = parámetro medio de hembras; m = parámetro medio de machos.

Se presentó una mortalidad global del 9,5%. Si bien el análisis inferencial no demostró diferencias significativas entre tratamientos, ($p > 0.05$) 0,179, posiblemente debido a la alta variabilidad de los datos, se observaron diferencias nominales de más del doble de mortalidad del T1 con respecto a los demás tratamientos (19% vs. 7%) y una relación aún más amplia entre hembras y machos de forma global (13% vs. 3%).

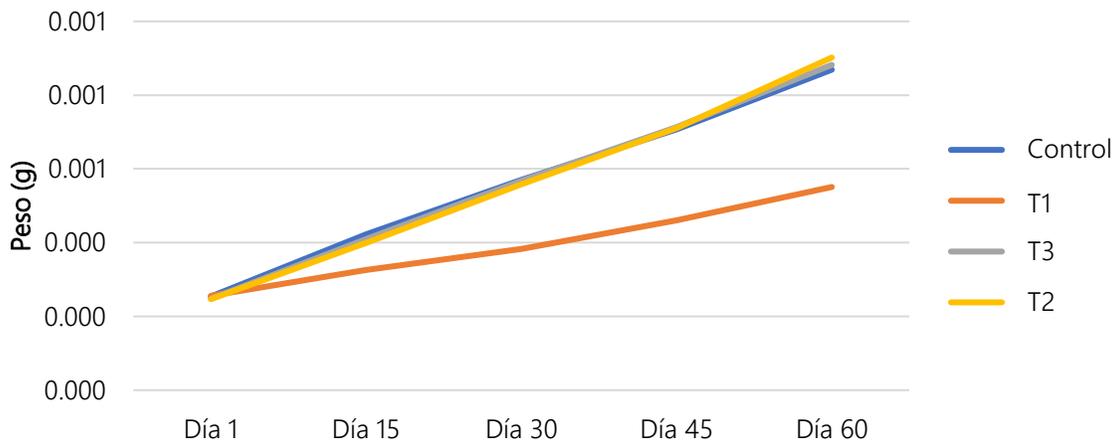


Figura 3. Curva de crecimiento (peso) durante los 60 días experimentales para los diferentes tratamientos.

Variables reproductivas

En el Cuadro 5, se pueden observar los parámetros de fecundidad y edad al primer parto (en días) obtenidos en el experimento para los diferentes tratamientos. No se observaron diferencias significativas respecto a la variable de fecundidad entre los tratamientos ($p > 0.05$). No obstante, se dio una tendencia ($p = 0.091$) a una mayor cantidad de alevines nacidos por hembra en los tratamientos T2 y T3, una menor cantidad de nacimientos para el T1 y un valor intermedio para el Control; en este último siendo nominalmente menos de la mitad.

Cuadro 5. Resultados del parámetro de fecundidad para los diferentes tratamientos experimentales.

Parámetro	Control	T1	T2	T3	Valor p
Fecundidad	1,18	0,88	3,41	3,49	0.09
Edad 1 ^{er} parto (días)	78,00	81,00	74,00	66,00	0.20

No se determinaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$) para la edad al primer parto. Sin embargo, en la Figura 4 se puede apreciar la evolución de los nacimientos conforme ocurrieron en el tiempo durante la fase experimental, donde el grueso de los nacimientos del Control se dio ligeramente antes, pero con un pico menor con respecto al T2 y T3. En el caso del T1, se dio un pico menor y más tardío con respecto a todos los demás tratamientos.

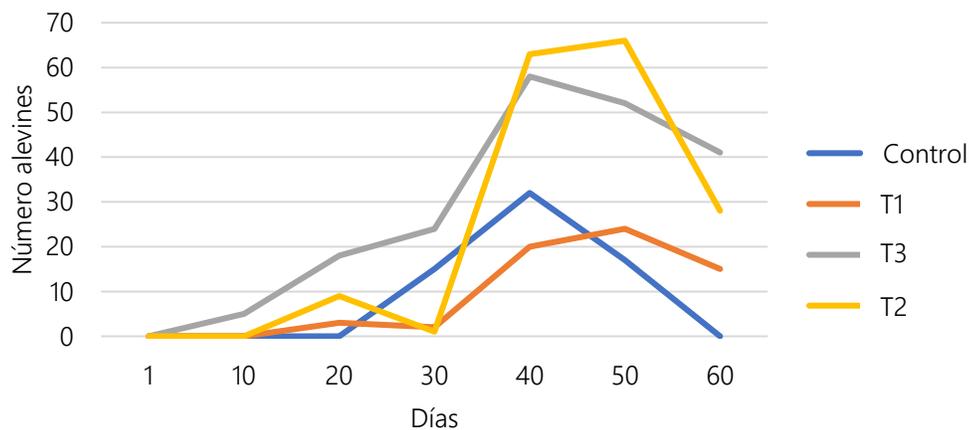


Figura 4. Cantidad de alevines nacidos por tratamiento en intervalos acumulados de 10 días durante los 60 días experimentales.

Análisis económico

A partir del análisis efectuado (Cuadro 6), se estableció que el corazón, en su estado de víscera fresca, presenta un precio mayor al riñón. No obstante, al considerar el procesamiento, que es necesario para convertir ambas vísceras en la ración nutricional empleada, el costo final para el riñón, en su forma procesada, es mayor al del corazón. Habiendo establecido lo anterior, de igual forma el alimento comercial para guppy fue el que obtuvo el costo más elevado comparativamente de entre todas las dietas evaluadas. Por lo tanto, al ordenar las dietas de la más cara a la más económica, se tiene al alimento comercial para guppy en primer lugar, seguida por la dieta basada en riñón, luego la suplementada con corazón y finalmente el alimento de tilapia solo.

Cuadro 6. Costos en dólares estadounidenses de procesamiento de vísceras bovinas, compra de alimentos comerciales para tilapia y guppy, y del alimento experimental para *Poecilia reticulata*.

Descripción	Vísceras		Dietas Experimentales			
	Riñón	Corazón	Control	T1	T2 ¹	T3 ¹
Costo/kg (Fresco)	2,53 ²	4,19 ²	486,90 ²	1,592	-	-
Costo Secado/Kg	7,56 ²	3,78 ²	-	-	-	-
Mano de obra/kg	111,51 ²	50,70 ²	-	1,082	-	-
Costo/kg (Procesado)	121,56 ²	58,60 ²	486,90 ²	2,672	68,31 ²	29,78 ²
Costo/alevín nacido	-	-	0,68 ²	< 0,01	0,03 ²	0,02 ²

¹ El costo/kg del alimento tilapia + riñón y tilapia + corazón se estimó al sumar el costo de producción de 1 kg de víscera más el costo de compra del alimento para tilapia, generando así el costo de las vísceras para la fórmula + el costo del alimento de tilapia para la fórmula.

² Tipo de cambio de dólares estadounidenses (\$) a colones de ₡536,17 al 17 agosto del 2023.

DISCUSIÓN

Aspectos nutricionales

Según los análisis químicos realizados (Cuadro 1 y Cuadro 2), ambas vísceras presentan valores de PC superiores a los encontrados en la literatura, donde se reporta un valor promedio de 67% PC para el riñón y 72% PC para el corazón (USDA, 2019; Biel et al., 2019; Toldrá, 2017). Esto podría deberse al método de procesado y limpieza de estas en el presente estudio, al realizarse una eliminación previa del exceso de tejido graso superficial.

Cabe destacar que las vísceras bovinas cuentan con un aporte similar, e incluso mayor, al nivel proteínico de alimentos vivos y otros ingredientes frecuentemente utilizados en la alimentación de especies ornamentales. Algunos de estos son las algas (17-31% PC) (Velasco y Gutiérrez, 2019), la harina de pescado (59% PC), los insectos (53% PC) (Perera y Bhujel, 2022), los alimentos comerciales para peces ornamentales (40-50% PC) (Kumaratunga y Radampola, 2019), entre otros. Esto permitiría ofrecer vísceras en conjunto con un ingrediente de menor concentración proteica para alcanzar los requerimientos nutricionales ($\approx 50\%$ PC) del género *Poecilia* (Velasco y Gutiérrez, 2019), aunado a un menor contenido de fibra en las vísceras en comparación con fuentes de origen vegetal y de insectos (Sirimanna y Dissanayake, 2019).

Respecto al aporte energético, algunos autores, como Biel et al. (2019), reportan valores promedio de 4.358 Kcal/kg para el riñón y de 4.963 Kcal/kg para el corazón; ambos cercanos a los reportados para ambas vísceras deshidratadas de este experimento, las cuales fueron muy similares entre sí (Cuadro 1). Al detallar el aporte de lípidos, los valores encontrados fueron considerablemente menores (hasta un 40-50%) a los determinados por diversas autorías (Alfaia et al., 2017; Biel et al., 2019; Ali-Wazir et al., 2021) en ambas vísceras, lo que apoya la noción de que la limpieza previa tuvo un efecto sobre los contenidos de tejido graso y PC total.

Al analizar los ácidos grasos presentes en los alimentos balanceados y las vísceras (Cuadro 1), se encuentra una mayor concentración de ácidos grasos saturados (AGS) en el alimento balanceado para guppy y una mayor concentración de poliinsaturados (AGPI) para el AB de tilapia. La dinámica

cambia en el aporte de monoinsaturados (AGMI), donde se observa mayor composición en ambos AB con respecto a las vísceras. Algunos autores (Florek et al., 2012; Toldrá et al., 2016) reportan mayores concentraciones de AGPI para ambas vísceras con respecto a las encontradas en el presente estudio, particularmente para el corazón. En el caso del DHA (C22:6), el alimento para guppy tiene mayor aporte respecto a las demás materias primas del ensayo, lo que podría tener relación con los ingredientes de este alimento; como la harina de krill, la cual es rica en n-3, específicamente DHA (Xie et al., 2017).

En cuanto a la composición de ácidos grasos, se debe considerar que, según el origen, la edad, el estado fisiológico, la alimentación y demás factores de los animales, la composición de estos en las vísceras podría variar (Alfaia et al., 2017; Ludwiczak et al., 2020). Además, al desconocerse el origen exacto y características de los animales cuyas vísceras fueron utilizadas en el presente estudio, se hace imposible definir de dónde surgen estas variaciones. Sin embargo, al considerar algunos de los AGPI más críticos para el desarrollo, la reproducción y muchas funciones fisiológicas de los peces [como el EPA y el DHA (Jobling, 2016)], se observó que, tanto el AB de guppy (0,078%) como el riñón (0,085%), presentaron contenido suficiente de EPA + DHA para cubrir los requerimientos de muchos peces omnívoros ($\approx 0,08\%$) (IAFFD, 2023). En contraposición, el AB de tilapia (0,025%) y el corazón (0,018%) presentan valores menores de estos AGPI.

Moore et al. (2015) argumentan que el corazón es un órgano con la mayor concentración de fibra cruda debido al tejido fibroso y seroso del epicardio; un tejido más fuerte muscularmente en relación con el riñón, el cual es más blando.

Tanto el corazón como el riñón presentan bajos contenidos de Ca (0,03%-0,09%), pero los de fósforo adecuados (0,96%-1,03%) para los requerimientos de peces omnívoros como *P. reticulata* (IAFFD, 2023). Sin embargo, según Velasco y Gutiérrez (2019), la suplementación de P suele ser más crítica porque los peces obtienen el Ca de los componentes del agua.

Estudios de dietas con inclusiones de diferentes proteínas vegetales presentaron un SGR promedio de 4,69% (Nishshanka et al., 2022), el cual es mayor a los encontrados en este experimento, donde se encuentran valores de SGR general de 2,04%, aproximadamente (Cuadro 4). Estas diferencias no se pueden atribuir a diferencias nutricionales, ya que las dietas basadas en proteínas vegetales

tuvieron un aporte de un 33% PC, a diferencia del aporte de 56% de las dietas con vísceras. La discrepancia se puede generar por la edad, el sexo, la actividad reproductiva y el período experimental, ya que Nishshanka et al. (2022) contaron con una población monosexual de machos de 30 días de edad durante 42 días experimentales; a diferencia del presente estudio, que inició a una edad de 45 días y tuvo una duración de 60 días. Lo que sugeriría que, al contar con individuos más jóvenes, su crecimiento sería más acelerado, lo que afectaría positivamente al SGR (Perera y Bhujel, 2022).

No obstante, el estudio efectuado con proteínas vegetales contó con pesos iniciales y finales inferiores y, por ende, GP totales menores al compararlo con el presente estudio. Esto permite pensar que el aporte nutricional superior sí pudo haber generado una diferencia en crecimientos entre estudios, aunque no se pueda realizar una comparación directa por los factores previamente citados. El impacto de la edad sobre la tasa de crecimiento queda aún más en evidencia en los datos obtenidos por Perera y Bhujel (2022), quienes reportaron SGR promedio de 15% al ofrecer dietas con dos especies de grillo (*A. domesticus* y *G. bimaculatus*) del día 5 al 30 de vida, en donde la tasa de crecimiento puede llegar a ser muy acelerada.

El requerimiento de proteína debe considerarse como un parámetro dinámico que puede definirse en función de los objetivos específicos que se busquen en términos zootécnicos; en este sentido, con el desarrollo de la *P. reticulata* en mente, la literatura menciona un amplio rango de valores adecuados que van del 30-50% (Velasco y Gutiérrez, 2019). Sin embargo, se han probado inclusiones de hasta 60% PC en la dieta, que resultaron en ganancias de peso significativamente mayores que con niveles de 20-40% PC (Sirimanna y Dissanayake, 2019), aunque en estos casos, si se consideran aspectos económicos u ambientales, puede no ser lo más recomendable. Esta amplia variación en niveles de PC recomendados puede responder a fases de vida distintas y calidades biológicas de la proteína (perfil de aminoácidos). Al tener un ciclo de vida relativamente corto, *P. reticulata* puede presentar varias fases de crecimiento en períodos cortos con tasas de crecimiento considerablemente distintas y, por ende, con requerimientos nutricionales variables.

Parámetros zootécnicos

Se han reportado SGR de 2,34% muy similares a los del presente estudio, pero utilizando alimentos comerciales con niveles de PC de 43% (Kumaratunga y Radampola, 2019). Esto tiende a indicar que el requerimiento nutricional de PC de *P. reticulata* en fases muy tempranas de desarrollo puede alcanzar el 60%, mientras que en fases tardías de desarrollo se ubica más cercano al 40%, pudiendo llegar hasta el 30% en fases de vida adulta sin actividad reproductiva. Esto señala que los niveles de proteína de las mezclas de vísceras bovinas utilizadas en el estudio serían adecuados para la fase de crecimiento inicial en el que se utilizaron. Es importante recordar que más no es siempre mejor, pues un exceso de proteína en la dieta también puede presentar efectos negativos en el crecimiento, entre otras cosas, por un incremento en el gasto energético asociado a la excreción del nitrógeno (Zumbado-Salas et al., 2022).

Por otro lado, se han obtenido SGR promedio de 0,63% mediante la incorporación de proteínas vegetales y lácteas, y bajo un aporte proteico máximo de 25% PC (Devi et al., 2019), lo que es un caso contrario a lo descrito anteriormente. Sin embargo, también se han obtenido SGR muy bajos (0,29%) al utilizar fuentes de proteína proveniente de insectos, aún y cuando estos presentan niveles proteicos altos (51% PC) (Adil et al., 2014). Esto se podría atribuir, primero, a otros componentes nutricionales y antinutricionales (como contenido y perfil de ácidos grasos y minerales) y, segundo, a limitantes de la digestibilidad (como la quitina). Otros autores han reportado SGR de 2,8% y 1,73% con dietas que incluían Tubifex al 100% (52% PC) y alimento comercial al 100% (35% PC), respectivamente (Mohideen et al., 2014). Esto puede equipararse con los resultados obtenidos de SGR para T1 basado en alimento de tilapia 100% y las dietas con el aporte de vísceras bovinas con un contenido alto de proteína y lípidos de este experimento.

Adicional al reto nutricional del cual se tuvo intención en los distintos tratamientos, los animales del ensayo también tuvieron que enfrentarse a la presencia del parásito *Camallanus cotti*, lo que afectó negativamente su desarrollo y sobrevivencia. Si bien es cierto que las hembras de guppy presentan una tasa de crecimiento considerablemente mayor a los machos, también están sometidas a una mayor presión reproductiva debido a la alta demanda energética que representa la producción de óvulos (Coad, 2017). Esto se vio evidenciado en una tasa de crecimiento y fecundidad mucho menores y un factor de conversión mucho mayor de las hembras del T1 (de menor contenido proteico) con respecto a los demás tratamientos, situación que no se evidenció con los machos (Cuadro 4 y 5).

Se han obtenido valores de CTC de 0,120 a 0,238 con temperaturas dentro del promedio experimental (Adil et al., 2014; Görelşahin et al., 2018; Kowalska et al., 2021), estos coinciden con los datos experimentales en todos los tratamientos para CTC generales, siendo siempre menores para T1. El CTC para machos fue igual para todos los tratamientos e inferiores a las hembras. Sin embargo, esto es esperado debido al dimorfismo sexual de la especie y coincide con los patrones de SGR antes mencionados. Especialmente cuando se encuentra la temperatura experimental siempre muy cercana a los 27,0 °C, la cual es óptima para especies tropicales como *P. reticuata* (Deacon, 2023). Según Adil et al. (2014), al utilizar *Phlebotomus* (insecto díptero: 59% PC; 12,6% lípidos; 12,0% carbohidratos), se obtuvo un CTC de 0,238, valor que se asemeja al obtenido para el CTC general del estudio y para las dietas con valores similares de proteína y lípidos.

En otros estudios, al utilizar fuentes de insectos en las dietas, se han reportado FCR de 1,29 promedio vs. una dieta control (dieta comercial) que registró un FCR de 2,68 (Adil et al., 2014); el cual es un indicador similar al encontrado para el Control en este experimento (Cuadro 4). Se han encontrado valores de FCR de 0,72 a 1,18 para pruebas de alimentación con dietas comerciales para la especie, siendo el menor valor para un contenido de 42% PC y con valores de crecimiento mayores a los demás tratamientos (Kumaratunga y Radampola, 2019).

Los mejores resultados en el presente estudio fueron encontrados en el Control, T2 y T3 (sin diferencias entre estos tratamientos) con dietas suplementadas con vísceras bovinas, lo que indica una mayor eficiencia al requerir menos alimento para alcanzar crecimiento similar. Se han reportado valores tan altos de FCR como 6,57, el cual fue obtenido en animales alimentados con *Locusta migratoria*, teniendo una composición de 50% PC, 27,6% lípidos y 2,81% carbohidratos (Adil et al., 2014). Este indicativo podría deberse a un alto contenido proteico, aunado a un exceso en contenido lipídico (Devi et al., 2019).

Por otro lado, al tratarse de insectos, se podría disminuir la absorción de la proteína por la presencia de altos niveles de quitina en la dieta (Santamaria-Arce y Inga-Uruchi, 2019). En otro estudio con inclusión de proteínas vegetales en la dieta, se presentó un FCR de 2,46 a 3,54; el valor más alto tuvo una composición de 32% de PC y lípidos de 4,4%. Una baja digestibilidad de los ingredientes y/o perfil subóptimo de aminoácidos, así como la acción de uno o varios factores antinutricionales, principalmente en fuentes vegetales, podría ser la causa de un FCR mayor (Nishshanka et al., 2022). Lo anterior coincidiría con lo presentado en T1, donde se obtuvo un mayor indicador para FCR, lo que se atribuye a la calidad del alimento ofrecido y al detrimento del aprovechamiento de nutrientes del alimento por parasitismo. Sin embargo, un mayor FCR no necesariamente significa un menor rendimiento económico, pues se debe considerar el factor del valor de la dieta igualmente.

La mayor fecundidad en los tratamientos Control, T2 y T3 (Cuadro 5) podría indicar que la composición nutricional, especialmente el contenido energético (Cuadro 1), afectó la fertilidad de las hembras al momento del desarrollo de las gónadas y la producción de óvulos. En las fases reproductivas se requiere mayor aporte energético y proteico para las hembras, de forma tal que permita que su organismo respalde las funciones reproductivas (Altaf y Mohanta, 2016). Cabe destacar que el tratamiento T3 posee una mayor composición de EPA (C20:3) (Cuadro 2); ácido graso que posee una función de apoyo a procesos de maduración de la gónada y ovogénesis, lo que pudo influir en la cantidad de alevines por hembra obtenidos (Lorenzo et al., 2018).

Se ha correlacionado el incremento en el tamaño (iLE y GPT) de la hembra con un decrecimiento en la cantidad de alevines por gramos de peso vivo (fecundidad relativa), basándose en índices gonadosomáticos y la cantidad de huevos (Fattahi et al., 2021). Sin embargo, también se ha relacionado que las hembras con mayor tamaño son los individuos que generan una cantidad total mayor de descendencia (fecundidad total), generalmente siendo el tamaño de las crías inversamente proporcional al tamaño de la hembra (O'Dea et al., 2015). Esto coincide con lo observado en este experimento, donde las hembras de los tratamientos T2 y T3 presentaron mayor GP, iLE, SGR y CTC con respecto al T1, y tuvieron una edad reproductiva (nominalmente) adelantada respecto al Control y T1. Esta evidencia de la suplementación con vísceras bovinas es viable para la producción de la especie sin comprometer los índices reproductivos.

La prolificidad obtenida podría considerarse baja con respecto a lo que se reporta en condiciones controladas de cría, pero es superior a aquellas reportadas en vida libre (Kumaratunga y Radampola, 2019). Esto se podría atribuir en parte a una moderada eficiencia del método de separación/refugio de alevines utilizados, pero, principalmente, a una alta variabilidad en fecundidad para la especie bajo distintos ambientes y condiciones (Urriola-Hernández et al., 2004). En todo caso, el efecto del refugio fue el mismo para todos los tratamientos, por lo que pudo afectar la fecundidad total, pero no el efecto directo del tratamiento sobre el parámetro.

Si bien en el primer ciclo reproductivo las repercusiones de las distintas dietas no fueron tan evidentes, es posible que en los siguientes ciclos se dé una afectación mayor a los indicadores reproductivos en el T1. Esto debido a que, durante la fase de desarrollo, los animales del T1 presentaron un menor crecimiento en peso y talla (Cuadro 4). Por lo tanto, alcanzaron la edad reproductiva en desventaja con respecto a los demás tratamientos (Kumaratunga y Radampola, 2019), por lo que se esperaría observar un desgaste fisiológico más agudo en ciclos subsecuentes en los animales del T1, aunque este punto no fue parte del alcance de la presente investigación.

Aspectos económicos

El precio, muchas veces mayor del alimento para guppy con respecto al alimento de tilapia, se explica por las características del mercado y la composición de los alimentos destinados para peces ornamentales. Estos difieren de aquellos utilizados en peces de consumo humano en los volúmenes producidos, ingredientes utilizados y estrategia de mercadeo, diluyendo así el costo por kilogramo a la venta de estos últimos (Cuadros et al., 2023; Perera y Bhujel, 2022).

Para el 2019, en los Estados Unidos de América, se otorgó un precio por la proteína aportada por la víscera: se fijó un costo de \$0,87 para el corazón y \$0,77 para el riñón, mientras que el precio de la grasa aportada por las vísceras se estableció con un costo más elevado por kg (\$41,48 el corazón y \$12,69 el riñón). Por lo tanto, es evidente que la carne tiene en mayor cantidad proteína que grasa (Maysonnave et al., 2020).

Al determinar los costos/kilogramo de proteína en subproductos de origen animal, como la sangre vacuna (\$1), la harina de pescado (\$0,87) y los productos derivados del pollo (\$0,87) (Kwikiriza et al., 2016), se observa que, al incrementar el contenido proteico de la fuente, el precio incrementa. Cabe destacar que el costo del kg/PC de las vísceras de res, definidos por Maysonnave et al. (2020), y de la harina de pescado y los subproductos de pollo, determinados por Kwikiriza et al. (2016), son similares a los especificados en el presente estudio de \$0,60 y \$1,35 para el riñón y el corazón, respectivamente. En el caso del mercado local, en el sector industrial de Costa Rica, se manejan precios actuales por kg para harina de carne y hueso (\$0,87), harina de productos porcinos secundarios (\$0,86), harina de vísceras (\$1,20), harina de pluma (\$0,99) y harina de sangre (\$1,4); los cuales son muy similares a los reportados por Kwikiriza et al. (2016) (Campos, 2024*). Cabe destacar que, en este caso, los costos industriales de la harina de vísceras en el país son muy similares a los obtenidos en el presente estudio con el proceso artesanal realizado. Sin embargo, el producto industrial refiere a vísceras en general, sin determinar una mezcla o relación específica de las mismas, lo que podría ocasionar que el producto final presente una mayor variabilidad entre lotes.

*Campos, C., comunicación personal, docente Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica, 30 julio 2024.

El costo de los subproductos cárnicos depende de la zona geográfica, el mercado destino y la cultura; donde, en el ejemplo descrito, se otorgó mayor valor económico a la grasa de la víscera que a la proteína, que es uno de los principales componentes de los ingredientes utilizados para alimentación.

CONSIDERACIONES FINALES

Se determina la viabilidad del uso de los alimentos comerciales suplementados con vísceras de res, como el corazón y el riñón, por los resultados productivos positivos y comparables con el uso de un alimento comercial para guppy de muy alto valor. El uso de alimentos específicos para la especie y de mayor costo significaría una mayor inversión en insumos para el productor, lo que lleva a un mayor precio de venta por alevín al público. Además, hubo mayor cantidad de alevines nacidos vivos para los tratamientos suplementados con riñón y corazón bovino, lo que indica mayor eficiencia para el producto final de interés, que es el alevín.

Cabe destacar que, si bien no se analizó en el presente ensayo, al considerar el nivel de desarrollo de los animales cuando alcanzan la madurez sexual, se podría esperar una caída paulatina en el rendimiento si se mantienen varios ciclos reproductivos posteriores bajo la alimentación T1. Esto llegaría a repercutir de forma negativa los índices económicos dado el detrimento reproductivo, aún y cuando aparentase ser más económico el uso del alimento balanceado de tilapia como única fuente alimenticia, en términos reproductivos. Por lo tanto, se considera que el uso de vísceras bovinas, en combinación con alimentos comerciales de bajo costo para especies omnívoras de producción, es una alternativa técnica y económicamente viable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean extender un agradecimiento a la dirección de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata; unidad perteneciente a la Universidad de Costa Rica, cuyo apoyo permitió la concreción del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Adil, Ş., Şişman, T., y Ü. Incekara. 2014. An investigation on the growth and reproductive performance of *Poecilia reticulata* Peters (*Cyprinodontiformes: Cyprinidae*) fed diets with dried insects. *Minis Entomology / Zoology*, 9 (2): 638-644.
- Alao, B. O., A. B. Falowo, A. Chulayo y V. Muchenje. 2017. The potential of animal by-products in food systems: production, prospects and challenges. *Sustainability*, 9 (7): 1089. doi: 10.3390/su9071089.
- Alfaia, C. M., S. P. Alves, J. M. Pestana, M. S. Madeira, O. Moreira, J. Santos-Silva, R. J. Bessa, F. Toldrá, y J. A. Prates. 2017. Distinct fatty acid composition of some edible by-products from bovines fed high or low silage diets. *Food Science and Technology International*, 23 (3): 209-221. doi: 10.1177/1082013216674137
- Ali-Wazir, A., M. A. Hussain, Q. A. Shah, S. Ahmad, I. Kakar, y I. Ahmed. 2021. Evaluation of physico-chemical characteristics of meat and edible offals of cattle. *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*, 4 (4). doi: 10.31580/pjmls.v4i04.2175
- Allen, P. E., M. D. Barquero, E. Bermúdez, J. C. Calderón, B. Hilje, W. Pineda, G. Saborío-Rodríguez, V. Arguedas, y E. Chacón-Madrigal. 2017. Calling for more accurate information in aquarium trade: Analysis of live-fish import permits in Costa Rica. *Management of Biological Invasions*, 8 (4): 533-542. doi: 10.3391/mbi.2017.8.4.08

- Altaf, P., y K. Mohanta. 2016. Development of cost effective nutritionally balanced food for freshwater ornamental fish Black Molly (*Poecilia latipinna*). Journal of Aquaculture Research & Development, 7 (2). doi: 10.4172/2155-9546.1000401
- AOAC International. 2023. Official Methods of Analysis. 22th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Biel, W., E. Czerniawska, y A. Kowalczyk. 2019. Offal chemical composition from veal, beef, and lamb maintained in organic production systems. Animals, 9 (8). doi: 10.3390/ani9080489
- Canales, C., K. Alvarado, M. Carbajal, R. Martínez y L. C. Marroquín. 2019. Adaptación al cautiverio de las especies; *Anableps dowei*, *Poecilia gillii*, *Amatlitania nigrofasciata*, para el desarrollo de la acuariología en la zona sur de Honduras. Portal de la Ciencia, 16, 52-63. doi: 10.5377/pc.v0i16.8095
- Chacón, J., M. Carvajal-Oses, Á. Herrera-Ulloa, y S. Pauletto. 2019. Concentración y tiempo máximo de exposición de juveniles de pargo manchado *Lutjanus guttatus* al eugenol *Syzygium aromaticum*. Revista Ciencias Marinas y Costeras, 11 (1): 9. doi: 10.15359/revmar.11-1.1
- Coad, B. W. 2017. Review of the livebearer fishes of Iran (*Family Poeciliidae*). Iranian Journal of Ichthyology, 4 (4). doi: 10.22034/iji.v4i4.232
- Cuadros, J., F. Mora, y J. Quiñones. 2023. Revisión sistemática de suplementación de harina, a base de vísceras de pollo, en la alimentación sostenible en diferentes especies. Tesis Bach., Universidad Cooperativa de Colombia, Santander, Colombia.
- Deacon, A. 2023. *Poecilia reticulata* (guppy). CABI Compendium, CABI Compendium, 68208. doi: 10.1079/cabicompendium.68208
- Devi, A., A. Surendran, y A. Thatheus. 2019. Effect of chosen artificial fish feeds on the growth rate of the black molly, *Poecilia sphenops*. Journal of Veterinary Medicine and Animal Science, 2 (1): 1-5.

- Evers, H. G., J. K. Pinnegar, y M. I. Taylor. 2019. Where are they all from? – Sources and sustainability in the ornamental freshwater fish trade. *Journal of Fish Biology*, 94 (6): 909-916. doi: 10.1111/jfb.13930
- Fattahi, N., R. Patimar, y A. Bahalkeh. 2021. Some reproductive biology parameters of mosquitofish *Gambusia holbrooki* Girard, 1859 (*Poeciliidae*) in some waterbodies of southeastern Caspian basin, Iran. *International Journal of Aquatic Biology*, 6 (6): 343-353. doi: 10.22034/jjab.v6i6.527
- Florek, M., Z. Litwińczuk, P. Skąlecki, M. Kędzierska-Matysek, y T. Grodzicki. 2012. Chemical composition and inherent properties of offal from calves maintained under two production systems. *Meat Science*, 90 (2): 402-409. doi: 10.1016/j.meatsci.2011.08.007
- Görelşahin, S., M. Yanar, y M. Kumlu. 2018. The effects of stocking density, Tubifex feeding and monosex culture on growth performance of guppy (*Poecilia reticulata*) in a closed indoor recirculation system. *Aquaculture*, 493: 153-157. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.05.004
- Gruber, A., I. Pop, B. Păsărin, G. Hoha, C. Radu-Rusu y R. Radu-Rusu. 2013. Influence of the protein quantity from combined fodder on the corporal development of guppy (*Poecilia reticulata*). *AAFL Bioflux*, 6(2). doi: 10.13140/RG.2.1.4439.5688
- Harpaz, S., Y. Hakim, A. Barki, I. Karplus, T. Slosman, y O. T. Eroldogan. 2005. Effects of different feeding levels during day and/or night on growth and brush-border enzyme activity in juvenile *Lates calcarifer* reared in freshwater re-circulating tanks. *Aquaculture*, 248 (1-4): 325-335. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.04.033
- IAFFD (International Aquaculture Feed Formulation Database). 2023. Aquaculture Species Nutritional Specifications Database. Disponible en: <https://app.iaffd.com/asns>
- IBM. 2017. IBM SPSS Statistics (25) (Software). <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>

- Imai, M., T. Mizoguchi, M. Wang, Y. Li, Y. Hasegawa, A. Tonoki, y M. Itoh. 2022. The guppy (*Poecilia reticulata*) is a useful model for analyzing age-dependent changes in metabolism, motor function, and gene expression. *Experimental Gerontology*, 160: 111708. doi: 10.1016/j.exger.2022.111708
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2023. Boletín meteorológico—IMN. <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>. Consultado dic., 20, 2023.
- Jobling, M. 2016. Fish nutrition research: Past, present and future. *Aquaculture International*, 24 (3): 767-786. Scopus. doi: 10.1007/s10499-014-9875-2
- Kowalska, J., M. Rawski, N. Homska, Z. Mikołajczak, B. Kierończyk, S. Świątkiewicz, R. Wachowiak, K. Hetmańczyk, y J. Mazurkiewicz. 2021. The first insight into full-fat superworm meal in Guppy diets: A study on multiple-choice feeding preferences and growth performance. *Annals of Animal Science*, 22 (1): 371-384. doi: 10.2478/aoas-2021-0072
- Kumaratunga, P. H. S., y K. Radampola. 2019. Effect of different commercial feeds on growth and reproductive performance of Guppy, *Poecilia reticulata*. *Peters*, 7 (1). doi: 10.4038/jur.v7i1.7930
- Kwikiriza, G., A. Wadunde, I. Abaho, C. Ondhoro, y V. Namulawa. 2016. Proximate nutrient composition and cost of the selected potential fish feed ingredients in Lake Victoria basin, Uganda. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4 (3): 611-615.
- Lawal, M. O., C. A. Edokpayi y A. O. Osibona. 2012. Food and feeding habits of the Guppy, *Poecilia reticulata*, from drainage canal systems in Lagos Southwestern Nigeria. *West African Journal of Applied Ecology*, 20(2), 1-9.
- Lorenzo, J. D., T. Del Carmen Cerino Frías, R. M. García, C. González, M. De Jesús Contreras-García, A. M. Vera, y L. Rosado. 2018. Los lípidos en los peces y los aportes benéficos en la salud humana. *Kuxulkab'*, 23 (47): 23-30. doi: 10.19136/kuxulkab.a23n47.1515
- Ludwiczak, A., J. Składanowska, y M. Stanis. 2020. Effect of age and sex on the quality of offal and meat of the Wild Boar (*Sus scrofa*). *Animals*, 10 (4): 1-10. doi: 10.3390/ani10040660

- Maceda-Veiga, A., O. Domínguez-Domínguez, J. Escribano-Alacid, and J. Lyons. 2016. The aquarium hobby: Can sinners become saints in freshwater fish conservation? *Fish and Fisheries*, 17 (3): 860-874. doi: 10.1111/faf.12097
- Maysonnave, G. S., F. N. Vaz, M. M. De Ávila, L. L. Pascoal, y A. C. T. Rodrigues. 2020. Physicochemical characterization of by-products from beef cattle slaughter and economic feasibility of commercialization. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 42: 5-6. doi: 10.4025/actascianimsci.v42i1.46545
- Mohideen, A. K. S., M. A. Sheriff, y K. Altaff. 2014. Effect of three different feeds on the growth and survival of sailfin molly *Poecilia latipinna* (Lesueur, 1821). *Revelation and Science*, 4 (1): 1.
- Moore, K. L., A. Agur, y A. Dalley. 2015. *Fundamentos de anatomía con orientación clínica* 5th Ed. Lippincott Williams & Wilkins. [https://www.edicionesjournal.com/E-Book/9788417370329/Anatom%C3%ADa+Con+Orientaci%C3%B3n+Cl%C3%ADnica+Ed++8+\(Ebook\)](https://www.edicionesjournal.com/E-Book/9788417370329/Anatom%C3%ADa+Con+Orientaci%C3%B3n+Cl%C3%ADnica+Ed++8+(Ebook))
- Nishshanka, K. M., K. Radampola, y V. Bulugahapitiya. 2022. Effects of partial replacement of dietary fishmeal using plant-protein sources on the growth performance, coloration and liver histology of guppy fry (*Poecilia reticulata*) in outdoor farming conditions. *Journal of Applied Aquaculture*, 34 (3): 715-733. doi: 10.1080/10454438.2021.1886216
- O'Dea, R. E., R. Vega-Trejo, M. L. Head, y M. D. Jennions. 2015. Maternal effects on offspring size and number in mosquitofish, *Gambusia holbrooki*. *Ecology and Evolution*, 5 (14): 2945-2955. doi: 10.1002/ece3.1577
- Perera, G. S. C., y R. C. Bhujel. 2022. Replacement of fishmeal by house cricket (*Acheta domesticus*) and field cricket (*Gryllus bimaculatus*) meals: Effect for growth, pigmentation, and breeding performances of guppy (*Poecilia reticulata*). *Aquaculture Reports*, 25: 101260. doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101260

- Programa Estado de La Nación. 2014. Programa Estado de La Nación en desarrollo humano sostenible. Gobierno de Costa Rica. 400–401 p. <https://estadonacion.or.cr/informes/>
- Rezaei, V., N. Ahmadifard, A. Tukmechi y N. Agh. 2019. Improvement of reproductive indices, lysozyme activity, and disease resistance in live-bearing ornamental fish, *Poecilia latipinna* using *Artemia* supplementation with treated yeast cell, *Saccharomyces cerevisiae*. *Aquaculture Research*, 50(1), 72-79. doi: 10.1111/are.13869
- Santamaria-Arce, W. M., y B. E. J. Inga-Uruchi. 2019. Determinación de la digestibilidad proteica in vitro de harina de grillo "*Gryllus assimilis*". Tesis Lic., Universidad Peruana Unión, Lima, Perú. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2946>
- Satam, S., N. Sawant, M. Ghughuskar, V. Sahastrabuddhe, V. Naik, A. Pagarkar, N. Chogale, S. Metar, K. Shinde, V. Sadawarte, A. Sawant, H. Singh, P. Sawant, V. Patil, A. Rane, P. Haldankar, y T. Bhattacharyya. 2018. Ornamental fisheries: A new avenue to supplement farm income. *Advanced Agricultural Research & Technology*, 2 (2).
- Sharon, G., S. Fridman, N. Reiss-Hevlin, T. Sinai, P. Boisot, y D. Zilberg. 2016. Effects of different commercial diets on growth performance, health and resistance to *Tetrahymena* sp. Infection in guppies, *Poecilia reticulata* (Peters). *Aquaculture Research*, 47 (7): 2276-2286. doi: 10.1111/are.12679
- Sirimanna, S. R., y C. Dissanayake. 2019. Effects of culture conditions on growth and survival of *Poecilia sphenops* and *Poecilia reticulata*. *International Journal of Aquatic Biology*, 7 (4): 202-210. doi: 10.22034/ijab.v7i4.570
- Soto, S. 2021. Las causas detrás del alto costo en el primer semestre de concentrados para animales. AGRONEGOCIOS. Consultado jul., 15, 2023.
- Toldrá, F. 2017. *Lawrie's Meat Science*. 8th Ed. Elsevier Science & Technology. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/sibdilibro-ebooks/detail.action?docID=4852032>

- Toldrá, F., L. Mora, y M. Reig, M. 2016. New insights into meat by-product utilization. *Meat Science*, 120: 54-59. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.04.021
- United Nations Comtrade. 2022. UN Comtrade Database. <https://comtradeplus.un.org/TradeFlow?Frequency=A&Flows=X&CommodityCodes=030119&Partners=188&Reporters=all&period=2021&AggregateBy=none&BreakdownMode=plus>. Consultado nov., 21, 2023.
- Urriola-Hernández, M., J. Cabrera-Peña, y M. Protti-Quesada. 2004. Fecundidad, fertilidad e índice gonadosomático de *Poecilia reticulata* (Pisces: *Poeciliidae*) en Heredia, Costa Rica. *Biología Tropical*, 52 (4): 945-950.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2019. Food Data Central. Food Data Beef Meat Raw USA. <https://fdc.nal.usda.gov/>
- Velasco, J. S., y M. C. Gutiérrez. 2019. Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce. *Revista Politécnica*, 15 (30): 82-93. doi: 10.33571/rpolitec.v15n30a8
- WinFeed (UK) Limited. 2018. Winfeed (2.8) (Software). <https://www.winfeed.com/>
- Xie, D., J. Jin, J. Sun, L. Liang, X. Wang, W. Zhang, X. Wang, y Q. Jin. 2017. Comparison of solvents for extraction of krill oil from krill meal: Lipid yield, phospholipids content, fatty acids composition and minor components. *Food Chemistry*, 233: 434-441. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.138
- Zumbado-Salas, A., A. Chacón-Villalobos, y J. I. Herrera-Muñoz. 2022. Efecto sobre parámetros zootécnicos y composición tisular de tilapia aurea (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia foetida*). *Nutrición Animal Tropical*, 16 (2): 1-34. doi: 10.15517/nat.v16i2.5223