



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**EFFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y
FISIOLOGÍA DIGESTIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

Yael José Trejo Sánchez

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DR. CARLOS ALFONSO ÁLVAREZ GONZÁLEZ

EN CODIRECCIÓN DE:

DR. CÉSAR ANTONIO SEPÚLVEDA QUIROZ

VILLAHERMOSA, TABASCO, DICIEMBRE DE 2024. •

Declaración de Autoría y Originalidad

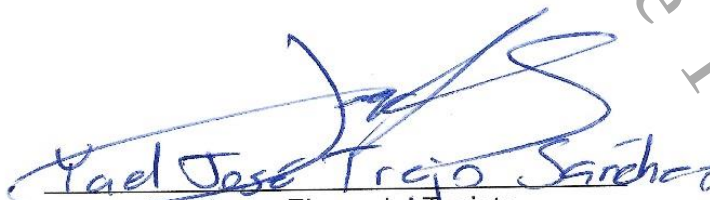
En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día 2 del mes de diciembre del año 2024, el que suscribe **Yael José Trejo Sánchez** alumno del Programa de **Biología** con número de matrícula **191G22001** adscrito a la **División Académica de Ciencias Biológicas** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor de la Tesis presentada para la obtención del título de **Licenciatura en Biología** y titulada **“EFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGESTIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)”** dirigido por el **Dr. Carlos Alfonso Álvarez González** en codirección con el **Dr. Cesar Antonio Sepúlveda Quiroz**.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido del Desarrollo Tecnológico presentado de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 2 de diciembre 2024.


Nombre y Firma del Tesista



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO DEL
MÉXICO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab., a 30 de Noviembre de 2024

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACIÓN
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. Yael José Trejo Sánchez** egresado de la Lic. en **BIOLOGÍA** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: **"EFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGESTIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
APREMIO DEL PROLETARIO
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR
DEL PAIS
GOBIERNO DE
MEXICO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

NOVIEMBRE 30 DE 2024

C. Yael José Trejo Sánchez
PAS. DE LA LIC. EN BIOLOGIA
P R E S E N T E

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"EFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGETIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)"**, asesorado por el Dr. Carlos Alfonso Álvarez González y Dr. Cesar Antonio Sepúlveda Quiroz, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. Rafael Martínez García, Dr. Gabriel Núñez Nogueira, Dr. Carlos Alfonso Álvarez González y Dr. Cesar Antonio Sepúlveda Quiroz y Dra. Susana Camarillo Coop.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

C.c.p.- Expediente del Alumno.
Archivo.

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
FUNDADOR DEL POPULARISMO,
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR
DEL MUNDO
LIBERTARIO DE
MÉXICO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

29 de noviembre de 2024

C. Yael José Trejo Sánchez
Pasante de la Lic. en Biología

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (Tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su documento de Tesis "EFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGESTIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)".

OBSERVACIONES:

Se incluyó citas, se excluyó bibliografía y fuentes pequeñas (o palabras), y se limitó el tamaño de coincidencias a 16 palabras.

RESULTADO DE SIMILITUD	1 %
	14769 palabras, 5 coincidencias y 5 fuentes

Finalmente, se le solicita al C. Yael José Trejo Sánchez, integrar en la versión final del trabajo recepcional (Tesis), este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p. Dr. Carlos Alfonso Álvarez González. Director de tesis.
C.c.p. Archivo

EFFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGESTIVA EN GUPPYS (Poecilia reticulata)

INFORME DE ORIGINALIDAD

1 %

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	munin.uit.no Internet	32 palabras — < 1 %
2	conservancy.umn.edu Internet	29 palabras — < 1 %
3	catalogo.unillanos.edu.co Internet	22 palabras — < 1 %
4	cibnor.repositorioinstitucional.mx Internet	19 palabras — < 1 %
5	bdigital.dgse.uaa.mx:8080 Internet	17 palabras — < 1 %

EXCLUIR CITAS

DESACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

< 10 PALABRAS

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS

< 16 PALABRAS

Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 2 de diciembre 2024.

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como AUTOR en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **"EFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGESTIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)"** Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES

Yael José Trejo Sanchez

Dr. Carlos Alfonso Álvarez González

Dr. Cesar Antonio Sepúlveda Quiroz

TESTIGOS

G. Pérez

Graciela Ma. Pérez Jiménez
Graciela Jiménez

Para Flori y Manuel.

Tan agradecido como escarmentado.

Manuel Sánchez

Agradecimientos

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por brindarme la oportunidad de desarrollarme académica y profesionalmente.

A mis directores de Tesis, Dr César Antonio Sepúlveda Quiroz y Dr. Carlos Alfonso Alvares González, por su guía, enseñanzas y ayudarme a crecer académica y personalmente.

A mis amigos de LAFIRA: César, Graciela y Otilio. Por los buenos momentos y consejos. Gracias por su apoyo incondicional y por animarme en cada paso. ¡TRAKAA!

A mis padres Amada y Alberto, cada logro que obtengo es un reflejo de su amor y ejemplo. ¡Los amo!

A mis hermanos Flor y Manuel por motivarme y estar cuando más lo he necesitado.

A Flori y Manuel, las personas que siempre creyeron en mí. ¡Los amo abuelos!

A todos, gracias de corazón por ser parte de mi vida y de esta meta que hoy se hace realidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLA.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	2
CAPÍTULO I.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Acuarismo.....	6
2.2 <i>Poecilia reticulata</i>	7
2.3 Enzimas digestivas.....	9
2.4 Estudios sobre el uso de alimentos comerciales en peces.	10
3. JUSTIFICACIÓN	10
4. Hipótesis	11
5. OBJETIVO GENERAL	11
5.1Objetivos específicos:	12
CAPÍTULO II.....	17
ARTÍCULO CIENTÍFICO:.....	17

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Análisis garantizado de las diferentes dietas comerciales.....	38
Tabla 2. Índices de rendimiento productivos (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de guppys (<i>Poecilia reticulata</i>) alimentados con diferentes dietas comerciales.....	39
Tabla 3. Análisis morfológicos de enterocitos y diámetro de hepatocitos (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de <i>P. reticulata</i> alimentados con diferentes alimentos comerciales.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen representativa de un guppy hembra (<i>Poecilia reticulata</i>) (Fishbase.com by Ramani Shirantha).	8
Figura 2. Imagen representativa de un guppy macho (<i>Poecilia reticulata</i>) (Fishbase.com by JJPhoto).....	9
Figura 3. Crecimiento en peso (g) y longitud total (cm) (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de <i>P. reticulata</i> alimentados con diferentes dietas comerciales.	41
Figura 4. Actividades enzimáticas digestivas (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de <i>P. reticulata</i> alimentados con diferentes dietas comerciales.	42
Figura 5. Digestibilidad in vitro (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de <i>P. reticulata</i> alimentados con diferentes dietas comerciales.....	43

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO I.

EFFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGESTIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)

Resumen: La nutrición de los organismos acuáticos para el consumo humano y ornamental tiene mucha importancia a nivel mundial. Se ha observado que los alimentos que se encuentran en el mercado para especies ornamentales son genéricos. Por esta razón, en este estudio se evaluaron tres dietas comerciales para peces ornamentales (BIOMAA Spiruflake® (T1), Tetra TetraMin Tropical Flakes® (T2) y LOMAS hojuelas peces tropicales® (T3)) y una dieta comercial para trucha (Alimento balanceado para truchas Silver Cup TM (T4)) sobre el crecimiento y fisiología digestiva en *Poecilia reticulata* durante 31 días. El mayor crecimiento se presentó en organismos alimentados con T2 (0.101 ± 0.004 g) y T4 (0.084 ± 0.008) ($p < 0.05$). Los organismos alimentados con T1, T2 y T4 (0.783 ± 0.062 ; 0.771 ± 0.042 ; 0.755 ± 0.004 cm, respectivamente) presentaron la mayor longitud total ($p < 0.05$). La mayor supervivencia se obtuvo en organismos alimentados con T4 (98 ± 2.828 %) y T1 (96 ± 5.656 %) mostrando diferencias significativas con T2 ($p < 0.05$). Los peces alimentados con la dieta T4 mostraron la mayor actividad en proteasa alcalina, tripsina y quimotripsina. Asimismo, los peces alimentados con la dieta T4 presentaron una mayor digestibilidad *in vitro* en comparación al resto de tratamientos ($p < 0.05$). Histológicamente los peces alimentados con la dieta T4 presentaron la menor altura de pliegues intestinales ($p < 0.05$) y el menor diámetro de los hepatocitos ($p < 0.05$). La dieta T4 (trucha) aportó mejores condiciones nutricionales para *P. reticulata* que las dietas comerciales para especies ornamentales.

ABSTRACT: The nutrition of aquatic organisms for human and ornamental consumption is of great importance worldwide. It has been observed that the foods found on the market for ornamental species are generic. For this reason, in this study, three commercial diets for ornamental fish (BIOMAA Spiruflake® (T1), Tetra TetraMin Tropical Flakes® (T2) and LOMAS tropical fish flakes® (T3)) and a commercial diet for trout (Silver Cup TM balanced trout food (T4)) were evaluated on growth and digestive physiology in *Poecilia reticulata*, for 31 days. The most significant growth occurred in organisms fed with T2 (0.101 ± 0.004 g) and T4 (0.084 ± 0.008) ($p < 0.05$). Organisms fed T1, T2, and T4 (0.783 ± 0.062 ; 0.771 ± 0.042 ; 0.755 ± 0.004 cm, respectively) had the greatest total length ($p < 0.05$). The highest survival was obtained in organisms fed with T4 ($98 \pm 2.828\%$) and T1 ($96 \pm 5.656\%$), showing significant differences with T2 ($p < 0.05$). Organisms fed T4 showed increased activity in alkaline protease, trypsin, and chymotrypsin. Similarly, fish fed T4 showed better *in vitro* digestibility than the rest of the treatments ($p < 0.05$). Histologically, fish fed with T4 at the intestinal level had the lowest intestinal fold height ($p < 0.05$) and, at the hepatic level, had the smallest hepatocyte diameter ($p < 0.05$). These results show that T4 provides better nutritional conditions than commercial diets for ornamental species.

Palabras clave: *Poecilia reticulata*, enzimas digestivas, histología, nutrición, dietas comerciales.

KEYWORDS: *Poecilia reticulata*, digestive enzymes, histology, nutrition, commercial diets.

1. INTRODUCCIÓN

La acuariofilia es una actividad que consiste en recrear el hábitat natural de diversas especies de peces ornamentales, plantas acuáticas y alguno otros organismos acuáticos, la cual ha ido en constante crecimiento a nivel mundial (Maceda-Veiga et al., 2014). Esta práctica implica la reproducción, desarrollo y el cuidado de peces u otros organismos en entornos controlados como acuarios o estanques (Marchio, 2018). La historia de la acuariofilia inició desde hace más de 1,000 años en China, y se ha convertido en una actividad recreativa en el siglo XX debido a la evolución de los acuarios de vidrio, la comprensión de la química del agua y los requerimientos energéticos de los peces (Novák et al., 2020). El valor del acuarismo se estima en 30,000 millones de dólares solo en el 2019 (Biondo y Burki, 2020), con aproximadamente 5,300 especies de peces de agua dulce que son comercializadas, siendo los guppys (*Poecilia reticulata*), bettas (*Betta splendens*), y mollies (*Poecilia sphenops*) los más populares debido a su amplia gama de colores y comportamientos únicos (Magalhães et al., 2020). En México, la acuariofilia ha experimentado un crecimiento constante gracias a la diversidad de ecosistemas acuáticos naturales del país, por lo que hay un potencial para desarrollar la crianza de diversas especies (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

En este sentido, los guppys (*Poecilia reticulata*) destacan como uno de los peces ornamentales más populares a nivel mundial. Estos peces son nativos de Sudamérica y Centroamérica, pero se han introducido en todo el mundo debido a su atractiva apariencia, fácil manejo, cultivo y desarrollo (Gomes-Silva et al., 2020). Además, los guppys son conocidos por su variada gama de colores, así como por sus patrones únicos, facilidad de reproducción, lo que los convierte en una opción ideal para principiantes en la acuariofilia (Kodric-Brown y Nicoletto, 2001).

Sin embargo, la alimentación debe ser adecuada para garantizar un adecuado crecimiento y salud de los organismos. En ese aspecto, la industria alimentaria utiliza diferentes tecnologías para la elaboración de los alimentos, como son: la peletización, extrusión y laminado. La peletización es una técnica que consiste en la compactación de los ingredientes molidos en pellets o gránulos densos utilizando rodillos o una prensa

mecánica para crear partículas más grandes y posteriormente, se quiebran en tamaños adecuados (Papáček et al., 2020). Por otro lado, la extrusión es una técnica que conlleva la cocción a alta temperatura en tiempos cortos, gelatinización y conformación de los ingredientes, lo cual minimiza la degradación de los nutrientes, lo que mejora la digestibilidad y la flotabilidad de los alimentos (Chaabani et al., 2022). Finalmente, el alimento en hojuelas se produce a través de un proceso de secado y laminado de la mezcla de ingredientes para la elaboración de un alimento balanceado, destacando que son láminas ligeras y con mayor flotabilidad (Ebenezar et al., 2023). Esta última tecnología es la más utilizada en la fabricación de los alimentos comerciales para peces ornamentales; sin embargo, se desconoce si esta tecnología es la adecuada para la conservación de los nutrientes que requieren los organismos.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de cuatro dietas comerciales en juveniles de *P. reticulata*, sobre el crecimiento, la tasa de supervivencia, actividad enzimática digestiva y la morfología digestiva, con el fin de conocer si los alimentos comerciales son adecuados para la nutrición, optimización del alimento, bienestar y la salud de esta especie de pez ornamental.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Acuarismo

El acuarismo es la afición o práctica de criar y mantener organismos acuáticos en condiciones controladas (Marchio, 2018). En esta actividad, los acuaristas buscan recrear ambientes que imiten las condiciones naturales de peces, plantas acuáticas y otros organismos acuáticos, incluyendo pH, iluminación, filtración y decoración (Illes, 2012). El acuarismo es una actividad antigua que remonta a civilizaciones como China, Egipto y la antigua Roma, donde mantenían peces para su consumo en recipientes de piedra o cerámica. Sin embargo, fue en el siglo XIX donde el acuarismo moderno fue tecnificándose, con el desarrollo de vidrios, sistemas de filtración que permitían la creación de acuarios más grandes y sofisticados con lo que se logró que los peces se pudieran observar de una mejor manera (Cuéllar Lomba, 2019). Por otro lado, en el siglo

XX cuando el acuarismo experimentó un auge significativo, impulsado por más avances tecnológicos de calefacción y filtración, así como la disponibilidad de una amplia variedad de especies de peces y plantas acuáticas (Novák et al., 2020). De esta manera, los peces ornamentales son organismos acuáticos que se mantienen en acuarios o estanques con fines estéticos y decorativos (Miller y Mitchell, 2009). Es así como muchos de los peces ornamentales varían en tamaño y se caracterizan por sus diversas formas, colores, patrones y comportamientos que los distinguen sobre el resto de los peces ornamentales. Por otra parte, a diferencia de los peces destinados para el consumo o pesca deportiva, los peces ornamentales se valoran por su apariencia y comportamiento. Estos peces pueden ser dulceacuícolas o marinos y su cuidado involucra la creación de un entorno acuático controlado que satisfaga los requerimientos del pez como son su alimentación, iluminación y calidad del agua (Hoseinifar et al., 2023).

Por otro lado, el número de aficionados que se unen a esta actividad es muy grande por lo que se ha convertido en una industria multimillonaria que anualmente comercializa alrededor de mil millones de peces ornamentales (Whittington y Chong, 2007). Actualmente, esta industria continúa creciendo a una tasa de 14% anual a nivel mundial (Padilla y Williams, 2004) comercializándose alrededor de 5,000 especies diferentes de peces ornamentales. En México, esta tendencia es bastante similar, ya que se observa un crecimiento anual del 8% en el periodo de 1994 a 2006, donde se producen más de 60 millones de peces de 160 especies (Cordero-Martínez et al., 2022).

2.2 *Poecilia reticulata*

Los guppys (*Poecilia reticulata*) son peces ornamentales que pertenece a la familia Poeciliidae, y son de gran importancia dentro del acuarismo. Estos peces se localizan en sistemas dulceacuícolas con una notable distribución en Centroamérica y Sudamérica (Sasanami et al., 2021; Gomes-Silva et al., 2020). Esta especie tiene importancia ecológica como regulador de poblaciones y es considerado un bioindicador de la calidad del agua, de igual manera, los guppys son muy populares dentro del acuarismo y la

investigación científica debido a su atractivo visual y su fácil cuidado (Godin, 2003; Oliveira et al., 2014).

Como parte de sus características biológicas, esta especie presenta un cuerpo alargado y fusiforme lo que les permite moverse fácilmente en el agua; de igual manera, una de sus características más distintivas es su coloración ya que es muy variada y pueden presentar una amplia gama de colores (Harun et al., 2022). También presentan patrones llamativos como puntos, rayas o manchas. Los guppys presentan dimorfismo sexual ya que los machos suelen ser más pequeños con una longitud de tres a cuatro centímetros, mientras que las hembras llegan a medir hasta seis centímetros (Dosen y Montgomerie, 2004). Su sistema digestivo comprende de una boca pequeña orientada hacia arriba debido a que su principal comida está en la superficie del agua, presentan un esófago corto conectado a un estómago pequeño y un intestino largo (Dussault y Kramer, 1981). Son peces omnívoros que en vida libre se alimentan de pequeños insectos, mosquitos y algunas microalgas, por lo que en sus etapas iniciales de vida consumen una mayor cantidad de proteína de origen animal debido a los requerimientos necesarios para su desarrollo (Perera y Bhujel, 2022) (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Imagen representativa de un guppy hembra (*Poecilia reticulata*) (Fishbase.com por Ramani Shirantha).



Figura 2. Imagen representativa de un guppy macho (*Poecilia reticulata*) (Fishbase.com por JJPhoto).

2.3 Enzimas digestivas

Las enzimas son biomoléculas de naturaleza proteínica de alta especificidad, que actúan como catalizadores en diferentes reacciones bioquímicas, cada enzima está diseñada para actuar sobre un sustrato específico (Cuesta et al., 2015). Estos catalizadores son indispensables para la supervivencia de los organismos ya que ayudan a cumplir diversas funciones como la digestión y absorción de nutrientes. Su deficiencia puede tener efectos graves en la salud que deriva en desnutrición, problemas de absorción de nutrientes o la muerte (Kermasha y Eskin, 2021). En este sentido, se ha demostrado que el nivel de actividad de ciertas enzimas es un indicador del estado nutricional. Por esta razón, la actividad enzimática digestiva puede determinar qué tipo de alimento es el óptimo y con ello, diseñar un alimento específico para su venta comercial (Martínez-Cárdenas et al., 2020).

Dentro de las enzimas digestivas se encuentran las proteasas, las cuales se clasifican en diferentes tipos según su estructura y función. Por ejemplo, la tripsina y la quimotripsina son proteasas digestivas presentes en el intestino, esta enzima se sintetiza en el páncreas y su función es hidrolizar específicamente los enlaces peptídicos de aminoácidos básicos o aromáticos (Rodríguez et al., 2005). Las proteasas, como la proteasoma, son complejos de proteínas que degradan proteínas celulares en pequeños fragmentos para su eliminación y éstas también están comprometidas en procesos de digestión, absorción y la aceleración de proenzimas y prehormonas (Habib et al., 2022).

2.4 Estudios sobre el uso de alimentos comerciales en peces.

Hasta ahora existen pocos estudios sobre la nutrición en peces ornamentales usando alimentos comerciales, dentro de estas investigaciones está la de Peery et al. (2015), quienes señalan que la alta cantidad de proteínas y lípidos no siempre es un indicador de mayor crecimiento lo que ha sido evaluado en juveniles de Scup (*Stenotomus chrysops*) donde se registró que el mayor crecimiento se dio con un menor porcentaje de proteína. En este sentido, Şahin y Gürkan (2022) sugieren que dietas con niveles de 40% de proteína son óptimos para la cría de alevines de vieja de agua (*Ancistrus cirrhosus*), a diferencia de un menor crecimiento obtenido a niveles de 45 y 50%. De la misma manera, Hernández et al. (2001) indican que la dorada (*Dipodus puntazza*) presenta mejores tasas de crecimiento reduciendo la relación de proteína/energía por debajo de 22 g. Por otro lado, Kasprzak et al. (2021) demostraron que la suplementación con alimentos vivos puede ocasionar esteatosis hepática en rasbora brillante (*Trigonostigma hengeli*). Asimismo, Sepúlveda-Quiroz et al. (2020) mediante la formulación específica de un alimento enriquecido con fructooligosacáridos, demostró un impacto positivo en el crecimiento y la morfofisiología intestinal de juveniles de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) en comparación de una dieta comercial específica para la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

3. JUSTIFICACIÓN

El estudio del efecto de las dietas comerciales es de gran importancia tanto en el ámbito de la acuariofilia como en el bienestar de la especie. Los guppys, son ampliamente utilizados en la acuariofilia debido a su belleza y fácil reproducción. Sin embargo, para mantener una población saludable y promover su desarrollo óptimo, es esencial comprender el impacto de las dietas comerciales en su rendimiento fisiológico, por lo que la elección del alimento balanceado adecuado es fundamental para el bienestar y la salud de los peces.

De esta manera, las dietas comerciales ofrecen una amplia gama de opciones y se comercializan como productos diseñados para satisfacer los requerimientos

nutricionales de las diferentes especies de peces, particularmente los ornamentales. Sin embargo, existe una variabilidad considerable en la composición y calidad de los ingredientes utilizados en las diferentes marcas de alimentos comerciales disponibles en el mercado. Este estudio se propone investigar el efecto de cuatro dietas comerciales en la supervivencia, crecimiento y actividad enzimática digestiva en *Poecilia reticulata*, con lo que se podrá determinar si las dietas comerciales para peces ornamentales proporcionan los nutrientes esenciales necesarios para el desarrollo adecuado de la especie. Es así como se espera que esta investigación contribuya con la generación de conocimiento científico, particularmente en el ámbito de la nutrición de los peces, además de proporcionar información relevante para optimizar la alimentación de esta especie.

4. Hipótesis

Las cuatro dietas comerciales evaluadas inducen efectos diferenciados sobre el crecimiento, supervivencia, la actividad enzimática digestiva, digestibilidad *in vitro* y la morfología del intestino e hígado en juveniles de *Poecilia reticulata*. Se espera que las dietas con un perfil nutricional optimizado para peces ornamentales, particularmente en términos de calidad y biodisponibilidad de proteínas y lípidos, promuevan un mayor crecimiento, una mejor supervivencia y una actividad enzimática digestiva más eficiente, así como una mayor digestibilidad *in vitro* y una estructura morfológica digestiva más favorable, en comparación con la dieta especializada en la engorda de trucha.

5. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de cuatro dietas comerciales sobre el crecimiento, supervivencia, actividad enzimática digestiva, digestibilidad *in vitro* y morfología digestiva en juveniles de guppy (*Poecilia reticulata*).

5.1 Objetivos específicos:

1. Analizar el efecto de las dietas comerciales en el crecimiento y supervivencia de los guppys (*P. reticulata*).
2. Calcular la actividad enzimática de cuatro enzimas digestivas (tripsina, quimotripsina, proteasa ácida y proteasa alcalina) en guppys (*P. reticulata*).
3. Valorar el efecto de las dietas sobre la morfología del intestino e hígado a través de técnicas histológicas en guppys (*P. reticulata*).
4. Calcular la digestibilidad *in vitro* de las dietas comerciales a través del sistema pH Stat con los extractos multienzimáticos de los guppys (*P. reticulata*).

Referencias.

- Biondo, M. V., & Burki, R. P. (2020). A Systematic Review of the Ornamental Fish Trade with Emphasis on Coral Reef Fishes—An Impossible Task. *Animals*, 10(11), 2014. <https://doi.org/10.3390/ani10112014>
- Chaabani, A., Labonne, L., Durrieu, V., Rouilly, A., Skiba, F., & Evon, P. (2022). Preconditioner influence on twin-screw extrusion cooking of starch-based feed pellets: The example of Fish Feed. *Aquacultural Engineering*, 98, 102268. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102268>
- Cordero-Martínez, G., Mercado-Silva, N., De Jesús, S. G., Uribe, E. A., Ramírez-Ponce, A., & Mejía-Mojica, H. (2022). Diversidad específica y taxonómica de la ictiofauna del Río Amacuzac, Morelos, México. *Revista De Biología Tropical*, 70(1). <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v70i1.48830>
- Cuéllar Lomba, A. (2019). *ACUARIOFILIA: PECES ORNAMENTALES*. Científico-Técnico.
- Cuesta, S. M., Rahman, S. A., Furnham, N., & Thornton, J. M. (2015). The classification and evolution of enzyme function. *Biophysical Journal*, 109(6), 1082–1086. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2015.04.020>
- Dosen, L. D., & Montgomerie, R. (2004). Female size influences mate preferences of male guppies. *Ethology*, 110(3), 245–255. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2004.00965.x>
- Dussault, G. V., & Kramer, D. L. (1981). Food and feeding behavior of the guppy, *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae). *Canadian Journal of Zoology*, 59(4), 684–701. <https://doi.org/10.1139/z81-098>
- Godin, J. J. (2003). Predator preference for brightly colored males in the guppy: a viability cost for a sexually selected trait. *Behavioral Ecology*, 14(2), 194–200. <https://doi.org/10.1093/beheco/14.2.194>
- Gomes-Silva, G., Cyubahiro, E., Wronski, T., Riesch, R., Apio, A., & Plath, M. (2020). Water pollution affects fish community structure and alters evolutionary trajectories of invasive guppies (*Poecilia reticulata*). *The Science of the Total Environment*, 730, 138912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138912>
- Habib, J. A., Lesenfans, J., Vigneron, N., & Van Den Eynde, B. J. (2022). Functional Differences between Proteasome Subtypes. *Cells*, 11(3), 421. <https://doi.org/10.3390/cells11030421>

- Harun, H., Thaib, A., Nurhayati, N., Haiqal, M., & Supriyadi, S. (2022). Feed enriched with marigold flower meal to the intensity of the color of guppies (*Poecilia reticulata*). *Riwayat Educational Journal of History and Humanities*, 5(2), 411–415. <https://doi.org/10.24815/jr.v5i2.28050>
- Hoseinifar, S. H., Maradonna, F., Faheem, M., Harikrishnan, R., Devi, G., Ringø, E., Van Doan, H., Ashouri, G., Gioacchini, G., & Carnevali, O. (2023). Sustainable Ornamental Fish Aquaculture: The implication of microbial feed additives. *Animals*, 13(10), 1583. <https://doi.org/10.3390/ani13101583>
- Illes, D. (2012). *Tropical freshwater fish aquariums*. Fishery Press.
- Kasprzak, R., Grzeszkiewicz, A. B., & Górecka, A. (2021). Performance of Co-Housed Neon Tetras (*Paracheirodon innesi*) and Glowlight Rasboras (*Trigonostigma hengeli*) Fed Commercial Flakes and Lyophilized Natural Food. *Animals*, 11(12), 3520. <https://doi.org/10.3390/ani11123520>
- Kermasha, S., & Eskin, M. N. (2021). Enzymes. In *Elsevier eBooks* (pp. 15–44). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800217-9.00002-2>
- Kodric-Brown, A., & Nicoletto, P. (2001). Female choice in the guppy (*Poecilia reticulata*): the interaction between male color and display. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 50(4), 346–351. <https://doi.org/10.1007/s002650100374>
- Maceda-Veiga, A., Domínguez-Domínguez, O., Escribano-Alacid, J., & Lyons, J. (2014). The aquarium hobby: can sinners become saints in freshwater fish conservation? *Fish and Fisheries*, 17(3), 860–874. <https://doi.org/10.1111/faf.12097>
- Magalhães, A. L. B., Daga, V. S., Bezerra, L. a. V., Vitule, J. R. S., Jacobi, C. M., & Silva, L. G. M. (2020). All the colors of the world: biotic homogenization-differentiation dynamics of freshwater fish communities on demand of the Brazilian aquarium trade. *Hydrobiologia*, 847(18), 3897–3915. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04307-w>
- Marchio, E. A. (2018). The art of aquarium keeping communicates science and conservation. *Frontiers in Communication*, 3. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2018.00017>
- Martínez-Cárdenas, L., Frías-Quintana, C. A., Álvarez-González, C. A., Jiménez-Martínez, L. D., Martínez-García, R., Hernández-Almeida, O. U., Bello-Pineda, J., Arellano-Méndez, L. U., & Ponce-Palafox, J. T. (2020). Partial characterization of digestive proteases in juveniles of *Microphis brachyurus* (short-tailed pipefish) (Syngnathiformes: Syngnathidae). *Neotropical Ichthyology*, 18(2). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2019-0085>
- Miller, S. M., & Mitchell, M. A. (2009). ORNAMENTAL FISH. In *Elsevier eBooks* (pp. 39–72). <https://doi.org/10.1016/b978-141600119-5.50007-x>

Novák, J., Kalous, L., & Patoka, J. (2020). Modern ornamental aquaculture in Europe: early history of freshwater fish imports. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2042–2060. <https://doi.org/10.1111/raq.12421>

Oliveira, T. D., Reis, A. C., Guedes, C. O., Sales, M. L., Braga, E. P., Ratton, T. F., & Magalhães, A. L. B. (2014). Establishment of non-native guppy *Poecilia reticulata* (Peters, 1859) (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in a municipal park located in Minas Gerais State, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 9(1), 21-30.

Padilla, D. K., & Williams, S. L. (2004). Beyond ballast water: aquarium and ornamental trades as sources of invasive species in aquatic ecosystems. *The Ecological Society of America*. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002)

Papáček, Š., Petera, K., Císař, P., Stejskal, V., & Saberioon, M. (2020). Experimental & Computational Fluid Dynamics Study of the Suitability of Different Solid Feed Pellets for Aquaculture Systems. *Applied Sciences*, 10(19), 6954. <https://doi.org/10.3390/app10196954>

Perera, G., & Bhujel, R. C. (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. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101260>

Perry, D. M., Redman, D. H., Widman, J. C., Meseck, S., King, A., & Pereira, J. J. (2015). Effect of ocean acidification on growth and otolith condition of juvenile scup, *Stenotomus chrysops*. *Ecology and Evolution*, 5(18), 4187–4196. <https://doi.org/10.1002/ece3.1678>

Rodrigáñez, M., Alarcón, F., Martínez, M., Ruiz, F., Díaz, M., Moyano, F. (2005). Caracterización de las proteasas digestivas del lenguado senegalés *Solea senegalensis* Kaup, 1858. *Boletín. Instituto Español De Oceanografía*, 21 (1-4): 95-104. <http://www.repositorio.ieo.es/e-ieo/bitstream/handle/10508/1275/71-68-1-PB.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Şahin, T., & Gürkan, M. (2022). Effects of dietary protein level on growth, histology and digestive enzyme activities of ornamental fish *Ancistrus cirrhosus*. *Aquaculture Research*, 53(18), 6700–6710. <https://doi.org/10.1111/are.16138>

Sanal Ebeneezar, D. Linga Prabu & Sajina K. A. (2023). Feeds and feed management in mariculture. Winter School on Mariculture Technologies for Income Multiplication, Employment, Livelihood and Empowerment. ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi, pp. 242-255. <http://eprints.cmfri.org.in/17104/>

Sasanami, M., Hustedt, J., Alexander, N., Horstick, O., Bowman, L., Hii, J., Echaubard, P., Braack, L., & Overgaard, H. J. (2021). Does anthropogenic introduction of guppy fish (*Poecilia reticulata*) impact faunal species diversity and abundance in natural aquatic

habitats? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 10(1).
<https://doi.org/10.1186/s13750-021-00248-6>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2021). Peces de ornato, una actividad con múltiples beneficios. *Gobierno de México*.
<https://www.gob.mx/agricultura/yucatan/articulos/peces-de-ornato-una-actividad-con-multiples-beneficios-266357?idiom=es>

Sepúlveda-Quiroz, C. A., Peña-Marín, E. S., Pérez-Morales, A., Martínez-García, R., Alvarez-Villagomez, C. S., Maytorena-Verdugo, C. I., Camarillo-Coop, S., Vissio, P. G., Sirkin, D. P., Tovar-Ramírez, D., Galaviz, M., & Álvarez-González, C. A. (2020). Fructooligosaccharide supplementation in diets for tropical gar (*Atractosteus tropicus*) juvenile: Effects on morphophysiology and intestinal barrier function. *Aquaculture Research*, 52(1), 37–50. <https://doi.org/10.1111/are.14867>

Whittington, R., & Chong, R. (2007). Global trade in ornamental fish from an Australian perspective: The case for revised import risk analysis and management strategies. *Preventive Veterinary Medicine*, 81(1–3), 92–116.
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.04.007>

CAPÍTULO II

ARTÍCULO CIENTÍFICO:

EFFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGESTIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)

Autores: Trejo-Sánchez YJ¹, Pérez-Jiménez GM¹, Núñez-Nogueira G², Méndez-Marín O¹, Asencio-Alcudia GG¹, Estrada-Rodríguez U^{1,3}, Martínez-García R¹, Álvarez-González CA^{1*}, Sepúlveda-Quiroz CA^{1,4*}.

Resumen: En este estudio se evaluaron tres dietas comerciales para peces ornamentales y una dieta comercial para trucha sobre el crecimiento, supervivencia, actividad enzimática digestiva y morfología digestiva en juveniles de *Poecilia reticulata*. El experimento se realizó por 31 días, se evaluaron cuatro tratamientos (BIOMAA Spiruflake® (T1), Tetra TetraMin Tropical Flakes® (T2), LOMAS hojuelas peces tropicales® (T3) y alimento balanceado para truchas Silver Cup TM (T4)). El mayor crecimiento se presentó en organismos alimentados con T2 (0.101 ± 0.004 g) y T4 (0.084 ± 0.008) ($p < 0.05$). Los organismos alimentados con T1, T2 y T4 (0.783 ± 0.062 ; 0.771 ± 0.042 ; 0.755 ± 0.004 cm, respectivamente) presentaron la mayor longitud total ($p < 0.05$). La mayor supervivencia se obtuvo en organismos alimentados con T4 (98 ± 2.828 %) y T1 (96 ± 5.656 %) mostrando diferencias significativas con T2 ($p < 0.05$). Los organismos alimentados con T4 mostraron mayor actividad en proteasa alcalina, tripsina y quimotripsina. De igual manera, los peces alimentados con T4 presentaron una mejor digestibilidad *in vitro* en comparación al resto de tratamientos ($p < 0.05$). Histológicamente, los peces alimentados con la dieta T4 presentaron la menor altura de pliegues intestinales ($p < 0.05$) y el menor diámetro de los hepatocitos ($p < 0.05$). Con estos resultados se puede demostrar que los juveniles de *P. reticulata* alimentados con la dieta T4 (alimento para trucha) obtienen mejores condiciones nutricionales que dietas comerciales destinadas a especies ornamentales.

Palabras clave: *Poecilia reticulata*, enzimas digestivas, histología, nutrición, dietas comerciales.

Institución de adscripción de cada autor:

¹Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos (LAFIRA), División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa 86150, México.

²Laboratorio de contaminación acuática y toxicología (LABCAT). División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa 86150, México.

³Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías - IxM.

⁴Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Villahermosa, Tabasco, México. Carretera Villahermosa-Frontera, Km 3.5, Ciudad Industrial, Villahermosa, Tabasco, México.

EFFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGÍA DIGESTIVA EN GUPPYS (*Poecilia reticulata*)

Trejo-Sánchez YJ¹, Pérez-Jiménez GM¹, Núñez-Nogueira G², Méndez-Marín O¹, Asencio-Alcudia GG¹, Estrada-Rodríguez U^{1,3}, Martínez-García R¹, Álvarez-González CA^{1*}, Sepúlveda-Quiroz CA^{1,4*}.

¹Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos (LAFIRA), División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa 86150, México.

²Laboratorio de contaminación acuática y toxicología (LABCAT). División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa 86150, México.

³Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías - IxM.

⁴Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Villahermosa, Tabasco, México. Carretera Villahermosa-Frontera, Km 3.5, Ciudad Industrial, Villahermosa, Tabasco, México.

Resumen

La nutrición de los organismos acuáticos para el consumo humano y ornamental tiene mucha importancia, al ser una industria altamente rentable y de gran crecimiento a nivel mundial. En ese sentido, se ha observado que los alimentos que se encuentran en el mercado para especies ornamentales no son específicas sino genéricas, las cuales se utilizan para alimentar una gran variedad de especies sin que se conozcan sus efectos sobre la fisiología digestiva en cada especie de pez. Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue evaluar tres dietas comerciales para peces ornamentales y una dieta comercial para trucha sobre el crecimiento, supervivencia, actividad enzimática digestiva y morfología intestinal y hepática en juveniles de guppys (*Poecilia reticulata*). El experimento se realizó por 31 días donde se evaluaron cuatro tratamientos (BIOMAA Spiruflake® (T1), Tetra TetraMin Tropical Flakes® (T2), LOMAS hojuelas peces tropicales® (T3) y alimento balanceado para truchas Silver Cup TM (T4)). El mayor crecimiento se presentó en organismos alimentados con T2 (0.101 ± 0.004 g) y T4 (0.084 ± 0.008) ($p < 0.05$). Los organismos alimentados con T1, T2 y T4 (0.783 ± 0.062 ; 0.771 ± 0.042 ; 0.755 ± 0.004 cm, respectivamente) presentaron la mayor longitud total ($p < 0.05$) en comparación con los alimentados con T3. La mayor supervivencia se obtuvo en organismos alimentados con T4 (98 ± 2.828 %) y T1 (96 ± 5.656 %) mostrando diferencias significativas con T2 ($p < 0.05$). Los peces alimentados con T2 y T4 presentaron los mejores valores con relación a la ganancia diaria de peso (AWG), la tasa

específica de crecimiento (SGR) y el factor de conversión alimenticio (FCR). Los organismos alimentados con T4 mostraron mayor actividad en proteasa alcalina, tripsina y quimotripsina. De igual manera, los peces alimentados con T4 presentaron una mejor digestibilidad *in vitro* en comparación al resto de tratamientos ($p < 0.05$). Histológicamente, los peces alimentados con la dieta T4 presentaron la menor altura de pliegues intestinales ($p < 0.05$) y el menor diámetro de los hepatocitos ($p < 0.05$). Con estos resultados se puede demostrar que una dieta comercial destinada a la acuicultura (trucha Silver Cup TM), la cual es 72 veces más económica (por Kg), aporta mejores condiciones nutricionales para juveniles de *P. reticulata* que dietas comerciales destinadas a especies ornamentales. Finalmente se recomienda continuar con las investigaciones en el desarrollo de alimentos específicos que cumplan los requerimientos nutricionales para especies de la acuariofilia permitiendo con ello incrementar el bienestar de los organismos.

Palabras clave: *Poecilia reticulata*, enzimas digestivas, histología, nutrición, dietas comerciales.

1. Introducción

Los peces ornamentales abarcan una amplia gama de especies acuáticas mantenidas en acuarios o estanques con fines estéticos y decorativos (Miller & Mitchell, 2009). Su diversidad en tamaño, forma, coloración y comportamiento los hace atractivos y apreciados por los acuaristas (Novák et al., 2020). A diferencia de los peces destinados al consumo o a la pesca deportiva, los peces ornamentales son valorados principalmente por su belleza y su capacidad para enriquecer el entorno.

Particularmente, los guppys (*Poecilia reticulata*) son peces nativos de Sudamérica y Centroamérica, por lo que se han introducido en todo el mundo debido a su atractiva apariencia, así como su fácil manejo, cultivo y rápido desarrollo (Gomes-Silva et al., 2020). Estas características los hace destacar como uno de los peces ornamentales más populares a nivel mundial. Además, los guppys son conocidos por su variada gama de colores, lo que los convierte en una opción ideal en la acuariofilia (Kodric-Brown y

Nicoletto, 2001). Por otro lado, estos organismos también han sido empleados como organismos modelo en investigaciones (Magurran y Seghers, 1991; Reznick et al., 1990), lo que los hace de gran importancia comercial y científica.

La oferta de alimentos para peces ornamentales se basa principalmente en dietas formuladas para diversas especies, en otras palabras, no son específicas por lo que su composición nutricional puede ser incorrecta. No obstante, la alimentación debe ser adecuada para garantizar un mejor rendimiento de los organismos; sin embargo, se desconocen las necesidades nutricionales, lo cual podría afectar el rendimiento en la producción de los peces ornamentales. En ese sentido, la industria alimentaria ha llevado a cabo la fabricación de alimento comercial para peces ornamentales utilizando diferentes tecnologías para la elaboración como son: la peletización, extrusión y laminado (Chaabani et al., 2022; Ebenezezar et al., 2023; Papáček et al., 2020). Es importante recalcar que nutricionalmente los peces requieren altos porcentajes de proteína para reponer tejidos y también para la síntesis de enzimas, hormonas o tejido somático (Garzón y Espinosa, 2019). Así mismo, los aminoácidos juegan un papel importante como fuente metabólica de energía, función en las reacciones químicas, metabolismo lipídico, síntesis de proteínas y vitaminas (Wu, 2009). La mayoría de los peces requiere suplementos vitamínicos; sin embargo, la cantidad y tipo de aminoácidos depende de varios aspectos como la especie, el estadio de desarrollo, los factores ambientales entre otros (Velasco y Cooredor, 2011). En el caso de los ornamentales, éstos necesitan una dieta equilibrada que incluya proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales; sin embargo, cada especie tiene un requerimiento específico, el cual debe ser determinado, por lo que se requiere realizar estudios sobre su capacidad digestiva (Kruger et al., 2001; Garzón y Gutiérrez-Espinosa, 2019). En este aspecto, se ha reportado que el requerimiento proteínico para *P. reticulata* es del 30-40 % (Dahlgren, 1980; Sales y Jansses 2003). Sin embargo, comúnmente se alimentan con formulaciones generales para especies tropicales y donde no se considera el uso de alimentos balanceados para peces de consumo humano (trucha o tilapia), por lo que muchas veces, los peces ornamentales presentan una mala alimentación, lo que puede provocar enfermedades intestinales, deficiencia nutricional y generar enfermedades en el organismo.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de cuatro dietas comerciales en juveniles de *P. reticulata*, sobre el crecimiento, la tasa de supervivencia, actividad enzimática digestiva, digestibilidad *in vitro* y la morfología digestiva, con el fin de conocer si los alimentos comerciales formulados para peces ornamentales y para acuicultura cubren los requerimientos nutricionales en juveniles de *P. reticulata*.

2. Materiales y Métodos

2. 1 Obtención de organismos

Se utilizaron 300 juveniles de *P. reticulata* con un peso promedio de 0.006 ± 0.001 g y 0.325 ± 0.014 cm de longitud total, los cuales fueron obtenidos del Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos (LAFIRA) en la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

2.1 Dietas experimentales

Con base en la disponibilidad de dietas comerciales en la región, se seleccionaron tres marcas utilizadas para la alimentación de peces ornamentales: BIOMAA Spiruflake® (T1), Tetra TetraMin Tropical Flakes® (T2), y LOMAS hojuelas peces tropicales® (T3), así como un alimento balanceado para truchas Silver Cup™ (T4) (Tabla 1).

2.2 Diseño experimental

Para el experimento, se sembraron 25 juveniles por unidad experimental (por triplicado), los cuales fueron distribuidos en tinas de fibra de vidrio con capacidad de 8 L, conectados a un sistema de recirculación por una bomba de agua de 0.5 HP (Jacuzzi, JWPA5D-230A, Delavan, WI, USA) y a un reservorio de agua de 800 L con un filtro biológico. Los organismos fueron alimentados a saciedad tres veces al día (9:00, 13:00 y 17:00 horas) durante 31 días. Después de cada alimentación se realizó un recambio parcial de agua (30%) mediante la técnica de sifoneo. Los parámetros fisicoquímicos fueron monitoreados diariamente, obteniendo una temperatura promedio de $(28.4 \pm 0.8^{\circ}\text{C})$, oxígeno disuelto $(5.8 \pm 0.3 \text{ mg 9/L})$ (YSI 85, Yellow Springs, OH, USA). La cuantificación de pH (7.9 ± 0.3) se realizó con un potenciómetro (HANNA HI 991001, Woonsocket, RI, USA).

2.3 Evaluación de índices de crecimiento y supervivencia

Se realizó una biometría al inicio del experimento y los días quince y treinta para determinar el peso húmedo individual con una balanza analítica (Ohaus mod. CS2000, China) y la longitud total que se obtuvo mediante fotografías de los organismos utilizando el software ImageJ 1.51j8 (U.S. National Institutes of health, Bethesda, MD).

Al final del experimento se determinaron los parámetros productivos: Supervivencia (S): $(\text{número final de peces} / \text{número inicial de peces}) \times 100$; Consumo de alimento (FI): Consumo total de alimento por unidad experimental/número de días de crianza; Ganancia de peso absoluta (AWG): peso final (g) – peso inicial (g); Tasa de crecimiento específica (SGR): $[(\log \text{ del peso final} - \log \text{ del peso inicial}) / \text{días}] \times 100$; Tasa de conversión alimenticia (FCR): $(\text{consumo de alimento, g de materia seca}) / (\text{ganancia de peso de los peces, g})$; Factor de condición (K): $[\text{peso húmedo (g)} \times \text{longitud total} - 3 (\text{cm})] \times 100$.

2.4 Recolección de muestras

Al finalizar el experimento se sacrificaron nueve peces por réplica mediante shock térmico (congelación a -20°C). Los peces fueron disectados y se obtuvo el intestino y estómago para la cuantificación de la actividad enzimática digestivas y digestibilidad *in vitro* con el equipo pH Stat. Las muestras de órganos fueron conservados a una temperatura de -80°C hasta su uso. Para el análisis histológico, los peces fueron conservados completos en solución Davidson a temperatura ambiente hasta su análisis. El estudio se realizó bajo la Declaración de Helsinki y el protocolo autorizado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México, NOM-062-Z00-1999, , garantizando un adecuado manejo y tratamiento a los organismos en apego a los lineamientos éticos para investigación con animales.

2.5 Cuantificación de actividad enzimática digestiva

Las muestras de estómago e intestino de cada réplica biológica se maceraron en frío, con el buffer glicina-HCl 100 mM pH 2 para las muestras estomacales y para las muestras de intestino se utilizó Tris-HCl 50 mM pH 7.5 como solución buffer.

Posteriormente, todas las muestras se centrifugaron a 16,000 *g* a 4 °C durante 15 minutos. Los sobrenadantes se almacenaron a -80 °C. La proteína soluble se cuantificó utilizando la técnica de Bradford (1976). Se utilizó el método de Anson (1938) para determinar la actividad de proteasa ácida en las muestras de estómago utilizando hemoglobina al 0.5% como sustrato solubilizado en glicina-HCl 100 mM pH 2 y se midió a 280 nm. La actividad proteasa alcalina se cuantificó de las muestras de intestino utilizando caseína al 0.5% como sustrato y solubilizado en Tris-HCl 50 mM y CaCl₂ 10 mM a pH 9 (Sarath, de La Motte, y Wagner, 1989). Para ambas técnicas, las muestras se encubieron a 37 °C, y la absorbancia se midió a 280 nm. La actividad de tripsina se determinó de acuerdo con la técnica de Erlanger, Kokowsky y Cohen (1961) usando BAPNA 1 mM (N α -benzoyl-DL arginina-P-nitroanilida) como sustrato y disuelto en Tris HCl 50 mM y CaCl₂ 10 mM, pH 8.2 y se cuantificó a 410 nm. Quimotripsina se determinó utilizando BTEE 5 mM (éster etílico de N-benzoyl-L-tirosina) como sustrato solubilizado en Tris-HCl 44.4 mM, CaCl₂ 55.5 mM 55.5, pH 7.8) a 256 nm de absorbancia (Del Mar, Largman, Brodrick y Geokas, 1979).

2.6 Análisis de digestibilidad *in vitro*

Para el análisis del grado de hidrólisis (técnica pH Stat), se preparó un extracto enzimático a partir de tejidos de estómago e intestinos respectivamente homogenizados en agua destilada (5:1, agua: masa húmeda) con un dispersor de tejidos (ULTRA TURRAX® IKA T18 Basic). Las muestras se centrifugaron a 16,000 *g* durante 15 minutos a 4 °C y el sobrenadante se ajustó a pH 3.5 para digestibilidad ácida y pH 8.0 para digestibilidad alcalina. Las muestras se almacenaron a -80 °C hasta su uso. El grado de hidrólisis se determinó utilizando 5 mL de una solución acuosa que contenía cada alimento por mL, pH 3.5 para la fase ácida (Dimes y Haard 1994). En el sistema de titulación de pH Stat (Titrino 918, Methrom, Suiza), se añadieron 50 U mL⁻¹ de actividad proteasa del extracto crudo de estómago a una solución acuosa, manteniendo la mezcla en agitación continua a 37 °C durante 15 min. Para la fase alcalina, el pH de la solución acuosa se ajustó a 8 con NaOH (0.1 N). Luego, se añadieron 50 U mL⁻¹ de extracto crudo de intestino al sistema de pH, manteniéndolo en agitación continua durante 45 min a 37

°C. En ambos casos, se registró la cantidad de ácido clorhídrico (HCl, 0.1 N) e hidróxido de sodio (NaOH, 0.1 N) utilizados. El grado de hidrólisis (DH), se calculó a partir del volumen de HCl necesario para mantener el pH en 3.5 o de NaOH para mantener el pH en 8.0 una vez completada la digestión.

2.7 Análisis histológico

Los organismos completos fueron fijados en solución Davidson y posteriormente, se deshidrataron con un gradiente de alcohol (70%, 80%, 90%, 96% y 100%) finalizando con la inclusión en parafina. Posteriormente, las muestras se cortaron a un grosor de 7 μm y se tiñeron con hematoxilina y eosina (H y E). Las fotografías fueron tomadas con una cámara AxioCam ERc 5s (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Alemania) conectada a un microscopio óptico Zeiss Primo Star (Primo Star, China). Se midió el diámetro de los hepatocitos (μm) en el hígado. En el intestino se midió la altura de los enterocitos (μm) y el largo de los pliegues (μm) analizados en el software ZEN 2.3 lite (Carl Zeiss AG). Todas las muestras se realizaron por triplicado.

2.8 Análisis estadísticos

Se realizaron pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (Bartlett) sobre los datos de parámetros de crecimiento y actividad enzimática. Se realizó un ANOVA, seguido de una prueba de post hoc de Tukey. Todos los valores se analizaron en el software Prism GraphPad, con un valor de significancia 0.05.

3. Resultados

3.1. Índices de crecimiento y supervivencia

Al final del experimento, los peces con mayor crecimiento fueron los alimentados con el tratamiento T2 (0.101 ± 0.004 g) seguido de los peces alimentados con la dieta T4 sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellas; sin embargo, los peces alimentados con la dieta T2 mostraron diferencias significativas con el resto de los tratamientos ($p < 0.05$) (Fig.3a). La mayor longitud total se cuantificó en los peces alimentados con las dietas T1, T2 y T4 (0.783 ± 0.062 ; 0.771 ± 0.042 ; 0.755 ± 0.004 cm, respectivamente),

siendo significativamente mayores ($p < 0.05$) comparados con los peces del tratamiento T3 (Fig. 3b).

Los guppys alimentados con las dietas T2 y T4 obtuvieron los valores más altos en AWG y SGR sin mostrar diferencias entre ellos ($p > 0.05$). La mayor supervivencia se obtuvo en los peces alimentados con las dietas T4 ($98.0 \pm 2.8 \%$) y T1 ($96.0 \pm 5.7 \%$) mostrando diferencias significativas con los peces alimentados con la dieta T2 ($p < 0.05$). El mayor FCR se obtuvo para los peces alimentados con la dieta T3 ($3.3 \pm 0.4 \text{ g}$), los cuales mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con los peces alimentados con las dietas T2 y T4, respectivamente. El tratamiento con el mayor factor de condición se presentó en los peces alimentados con la dieta T3 ($23.31 \pm 0.05 \text{ g/cm}$), los cuales mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con el resto de los tratamientos. Finalmente, los valores de FI no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0.05$) (Tabla 2).

3.2. Actividad enzimática digestiva

El efecto de las dietas comerciales en la actividad enzimática digestiva en los juveniles de guppys se muestra en la Figura 2. Los peces alimentados con la dieta T1 tuvieron la mayor actividad de proteasa ácida ($p < 0.05$), siendo significativamente diferentes con el resto de los tratamientos (Fig. 4a). La mayor actividad de proteasas alcalinas y tripsina se presentó en los peces alimentados con las dietas T4 y T1, las cuales fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) en comparación con el resto de los tratamientos (Fig. 4b, d). Finalmente, los peces alimentados con la dieta T4 mostraron la mayor actividad de quimotripsina con diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con el resto de los tratamientos (Fig. 4c).

3.3. Digestibilidad *in vitro*

La técnica de digestibilidad *in vitro* mostró que el mayor grado de hidrólisis ácido se presentó con la dieta T4, siendo estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) en comparación con las otras dietas (Fig. 5a). El mayor grado de hidrólisis alcalino se presentó con las dietas T4 y T2, las cuales fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$)

en comparación con las otras dos dietas (Fig. 5b). Finalmente, el mayor grado de hidrólisis total se presentó con la dieta T4, siendo significativamente diferente ($p < 0.05$) en comparación al resto de las dietas (Fig. 5c).

3.4. Análisis histológicos

A nivel intestinal, los peces alimentados con la dieta T1 presentaron los enterocitos más altos, aunque no se detectaron diferencias significativas en comparación con los peces alimentados con la dieta T4 ($p > 0.05$). No obstante, si se mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los peces alimentados con la dieta T1 en comparación con los peces alimentados con la dieta T3 (Tabla 3). La mayor altura de pliegue se presentó en los peces tratados con las dietas T1 y T2 sin diferencias significativas entre ambos tratamientos ($p > 0.05$). La menor altura se registró en T4 con diferencia a T1 ($p < 0.05$). En hígado, el mayor diámetro de hepatocitos se presentó en los peces alimentados con la dieta T1, T2 y T3 respectivamente, mostrando diferencias significativas con T4 ($p < 0.05$) (Tabla 3).

4. Discusión

4. 1 Alimentación en guppys

Los guppys (*Poecilia reticulata*) presentan hábitos alimenticios de tipo omnívoro, lo que les permite el consumo de diversas fuentes de alimentos (algas filamentosas, diatomeas, mosquitos and detritus) (Fernando et al., 2018). Estas capacidades les otorga una ventaja ecológica sobre otros peces, por lo cual han sido capturados y mejorados genéticamente para ser utilizados en la acuariofilia. En este aspecto, la alta comercialización de los guppys (*P. reticulata*) ha permitido que se realicen diversos estudios sobre su nutrición, lo que ha llevado a la experimentación con diversos productos, dietas comerciales y experimentales, aplicadas principalmente para favorecer el crecimiento, el sistema inmunológico (Motlagh et al., 2019), resistencia al estrés (Lim

et al., 2002), mejoramiento de la coloración (Sultana et al., 2022) o relacionadas para la reproducción (Kithsiri et al., 2010).

Estudios enfocados en la nutrición de *P. reticulata* han permitido determinar los óptimos de macro y micronutrientes, al evaluar tres dietas con diferentes porcentajes de proteínas (18.26%, 29.27% and 43.60%) y lípidos (4.17%, 4.55% and 9.47%), donde los peces alimentados con la dieta con mayor proteína y lípidos presentaron una mayor tasa específica de crecimiento a diferencia del resto de dietas (Kithsiri et al., 2010). Por otro lado, también se han evaluado la adición de vitaminas y minerales (Prabhu et al., 2014), por ejemplo, se evaluó dos concentraciones de vitamina C (1000 mg/kg o 2000 mg/kg), donde se demostró que la inclusión de esta vitamina disminuye considerablemente el estrés de los organismos al ser expuestos a cambios repentinos de salinidad (Lim et al., 2002). De igual manera, Shim y Ng (1988) con *P. reticulata* evaluaron diferentes concentraciones de magnesio (0.0, 0.18, 0.36, 0.54, 0.72, and 0.90 g/kg), y determinaron que la concentración óptima para un mejor crecimiento fue de 0.54 g/kg. También se determinó que los niveles de fósforo requeridos son de 0.53% and 1.23%, y se evaluaron concentraciones de calcio (0.03%, 0.59% and 1.28%) sin encontrar efectos adversos con ninguna de estas concentraciones (Shim y Ho, 1989).

Un aspecto a resaltar en nuestro estudio es que las dietas comerciales T2 y T3, muestran los porcentajes de micronutrientes que contiene su formulación; sin embargo, los otros dos tratamientos solo indican la presencia de diversas vitaminas y minerales sin especificar sus concentraciones, aspecto que puede estar relacionado con el menor crecimiento que mostraron los juveniles de *P. reticulata* ocasionado posiblemente a concentraciones bajas o nulas de algunas de las vitaminas y minerales esenciales para esta especie.

En este aspecto, las investigaciones para lograr el mejoramiento en las dietas para *P. reticulata*, ha llevado a implementar diversos ingredientes o aditivos, donde en algunos casos, los resultados mejoran significativamente los parámetros productivos. Por ejemplo, la utilización de microalga (*Parietochloris incisa*) mejoró significativamente la tasa de supervivencia y la resistencia al estrés en *P. reticulata* (Nath et al., 2011). También la inclusión de ajo (*Allium sativum*) mejoró la actividad enzimática digestiva,

supervivencia y la presencia de esteroides sexuales (estradiol, testosterona, 17α -hidroxiprogesterona y progesterona) (Motlagh et al., 2020). Sin embargo, aunque en esta investigación no se probaron aditivos nuestros resultados aportan evidencia que la dieta comercial para trucha (T4) aunque no son específicas para peces ornamentales (formulada para trucha, especie acuícola), promueve una mayor actividad de enzimas digestivas (proteasa alcalina, tripsina y quimotripsina), esto se puede atribuir a la alta calidad de los ingredientes o aditivos utilizados en su fabricación, por lo que promueven una mayor digestión y absorción de amino ácidos y nutrientes esenciales, y en consecuencia, un mejor crecimiento en juveniles de *P. reticulata*. De igual manera, al evaluar en *P. reticulata* varias dietas experimentales que contenían varios tipos de ingredientes proteínicos y lipídicos de alta calidad (harina de pescado, harina de camarón, harina de carne y hueso, harina de trigo, harina de maíz, almidón y aceite de soya) y una dieta comercial, la dieta experimental que contenía harina de pescado como la base de la proteína dietaria, resultó con mejores parámetros productivos, el crecimiento y la supervivencia (Anka et al., 2016). Por otro lado, en juveniles de *P. reticulata* se realizó la evaluación de tres dietas comerciales (Prima diet, Galaxy diet y alimento para camarón), donde los resultados demostraron que el alimento para camarón permitió un mejor crecimiento y rendimiento reproductivo (Kumaratunga y Radampola, 2019). Asimismo, Sharon et al. (2014), evaluaron una dieta comercial (BernAqua) en tres presentaciones (Regular, Ornamental, Premium) en comparación a dietas experimentales, por lo que al finalizar los 57 días de experimento, los juveniles de *P. reticulata* alimentados con BernAqua Ornamental obtuvieron una ganancia de peso moderada, mayor resistencia a la infección parasitaria y no mostraron distrofia muscular pero si una deformidad insignificante. Estos resultados coinciden con los obtenidos en esta investigación en la cual, no se encontraron diferencias significativas en crecimiento entre los tratamientos T1, T2 y T4. Sin embargo, los peces alimentados con la dieta T4 presentaron la mayor supervivencia. Considerando lo anterior, Harpaz et al. (2005) han demostrado que la presentación de los alimentos puede modificar el crecimiento de los peces donde se evaluaron dos presentaciones (polvo y hojuelas) en *P. reticulata*, lo que resultó en un mayor crecimiento en los peces alimentados con la presentación en polvo a diferencia de los peces alimentados con hojuelas, por lo que los autores sugieren que

la presentación en polvo facilita la captura y consumo del alimento de los peces, además de disminuir la lixiviación de los nutrientes del alimento. De igual manera, la inclusión de 40% de spirulina (*Spirulina platensis*) en el alimento permitió obtener valores significativos en crecimiento y tasas de conversión en juveniles de *P. reticulata* (Dernekbası et al., 2010). Nuestros resultados indican que la tasa de conversión de los tratamientos T3 y T1 (contiene *spirulina*), mostraron los valores más altos; sin embargo, estos tratamientos no mejoran la morfología intestinal a diferencia de los peces alimentados con la dieta T4 aunados a una mejor supervivencia.

4.2 Nutrición en la acuariofilia

La industria de la acuariofilia según el último reporte está valuada en aproximadamente entre \$15 y \$30 mil millones de dólares al año (Evers et al., 2019), de la cual se desprenden otras industrias como la fabricación de dietas para peces ornamentales. En los últimos años, la aplicación de los conceptos como la trazabilidad, calidad de los ingredientes, el control de calidad durante la fabricación de las dietas, y la sustentabilidad han incrementado la relevancia en la acuariofilia (Evers et al., 2019; Olivera et al., 2021; Tangendjaja, 2022).

Si bien en las últimas décadas la acuariofilia es una actividad independiente de la acuicultura, diversas ramas como la nutrición son de importancia para ambas industrias. En este sentido, al igual que en la acuicultura, la nutrición de peces ornamentales ha sido objeto de gran interés en los últimos años para la industria de alimentos comerciales enfocada en peces ornamentales. Uno de los resultados a destacar de este trabajo es la relación costo-beneficio, ya que el tratamiento 4 (dieta acuícola para trucha) es 72 veces más económico que un alimento premium especializados para peces ornamentales (T2: Tetra TetraMin Tropical Flakes®). Lo anterior debe tomarse en cuenta en el momento de seleccionar un alimento para la producción de peces ornamentales, sumado a que dichos productos están enfocados en ser más atractivo visualmente para los dueños de los peces que para los propios organismos, ya que la mayoría de los alimentos se presenta en hojuelas con colores vistosos, son genéricos y se desconoce en gran medida la calidad y el tipo de ingredientes empleados para estos alimentos. Por otro lado, el tipo de tecnologías de fabricación en la mayoría de los alimentos para peces ornamentales

es el lamido, el cual es más susceptible a la lixiviación de los nutrientes y, en consecuencia, al ser suministrado a los peces, podría ocasionar problemas de desnutrición (Harpaz et al., 2005).

Factores como los elevados precios, la finalidad del producto y la diversidad de las especies en cultivo a las que van dirigidos estos alimentos, han permitido un rápido crecimiento de la industria que fabrica alimentos para peces de ornato. Sin embargo, debe cuestionarse si la formulación nutricional de estos alimentos cumple con los requerimientos nutricionales para todas las especies a las que las marcas comerciales indican van dirigidos al ser genéricos, ya que es posible que para algunas especies sea adecuado, al cubrir sus requerimientos, pero para otras especies se presenten deficiencias, lo que implicaría la muerte de esos individuos (Sicuro 2017). Asimismo, las diferentes tecnologías empleadas en la elaboración de los alimentos comerciales (pellets, laminado y extruidos), o presentaciones, sean las correctas para los hábitos alimenticios de diversas especies de peces. A diferencia que, en la acuicultura, los alimentos para peces de ornato pueden ser alimentó en polvo, hojuelas, leche en polvo, corazón e hígado de bovino, gusanos tubifex, así como alimento vivo como *Artemia*, rotíferos y moina, teniendo en cuenta principalmente alimentos que permitan la coloración de los peces (Velasco-Santamaría y Corredor-Santamaría, 2011). En la búsqueda de disminuir costos, la utilización de harina de pescado alternativo (sailfin catfish) que reemplaza la harina de pescado comercial en *P. reticulata* demuestra que se puede reemplazar completamente sin comprometer los parámetros productivos de la especie (De Fonseka y Radampola, 2022), esto puede servir como base para la utilización de ingredientes locales o regionales al uso de harinas de pescado. Se ha demostrado que los requerimientos nutricionales difieren significativamente entre las especies de peces ya sean marinos o dulceacuícolas (Tocher, 2003, 2010), al igual que estos requerimientos varían en función del estadio de desarrollo (Rainuzzo et al., 1997). Es así como el desconocimiento de la taxonomía y la diversidad de las especies ornamentales empleadas, así como el uso de un solo alimento comercial para múltiples especies puede generar diversas afectaciones fisiológicas (Kasprzak et al., 2021).

4.3 Manufactura de alimentos y efectos sobre los peces

La calidad de los alimentos para peces durante su manufactura es esencial para asegurar que tienen los nutrientes necesarios para cubrir sus requerimientos, así como el cuidado y selección de los ingredientes a utilizar (Pigott, 2003). Todo ello juega un papel clave en la formulación de las dietas especializadas para cada una de las especies de peces en cultivo (Hardy y Barrows, 2003). En este sentido, las características químicas de los ingredientes pueden variar durante la manufactura de los alimentos, por lo cual se debe de comprobar dicha calidad antes y durante los experimentos, lo que puede ser evaluado por medio de diversas técnicas como la densidad aparente, dureza de los pellets, durabilidad, tasa de expansión y la gelatinización del almidón, que permiten ajustar los procedimientos industriales durante su manufactura (Sørensen, 2012). De esta manera, al variar la temperatura y la humedad durante el proceso de producción puede generar variación en las características físicas del alimento y, en consecuencia, afectar la calidad y cantidad de nutrientes en el alimento como los ácidos grasos y aminoácidos, lo que puede afectar su digestibilidad (Boucher et al., 2024; Glencross et al., 2021). Lo anteriormente mencionado, concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación, donde se midió la digestibilidad *in vitro* de dos tipos de tecnologías de fabricación diferentes, tres alimentos en hojuelas (T1, T2 y T3) y un alimento extruido (T4) utilizando las enzimas digestivas estomacales e intestinales de *P. reticulata*. Es de esta manera que, la mayor digestibilidad ácida (estomacal) y alcalina (intestinal), se presentó con la dieta T4, con diferencias significativas en comparación con las dietas en hojuelas. De esta forma, se ha demostrado que la tecnología de fabricación de los alimentos balanceados, pueden ser modificados a partir de los procesos de manufactura. Por ejemplo, al evaluar dos técnicas de peletización, donde se logró modificar variables como la tasa de expansión, densidad aparente y la estabilidad del agua (Humedad) (My et al., 2016). Asimismo, los cambios en la manufactura de los alimentos extruidos pueden verse reflejado en una mejor tasa de crecimiento, lo que ha sido evaluado en el cultivo de la tilapia del Nilo (Epifânio et al., 2024).

Como ya se mencionó, en la acuicultura los cambios en la formulación o fabricación de los alimentos utilizados pueden generar efectos negativos en los peces. El uso de diferentes dietas comerciales (Tetra flakes, Omega flakes, Tetra + Omega, and Tetra + Omega + Lyophilizate) en Neon Tetras (*Paracheirodon innesi*) y Glowlight Rasboras (*Trigonostigma hengeli*) demostró cambios fisiológicos adversos, en específico se presentó una aparente acumulación de lípidos en el hígado de *T. hengeli*, reflejándose un cambio en los hepatocitos (Kasprzak et al., 2021). Con relación a nuestros resultados, se demuestra que la formulación y fabricación de los alimentos tienen un impacto significativo en la morfología del sistema digestivo de los peces, donde la altura de los enterocitos no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí con relación al largo de los pliegues intestinales siendo los peces alimentados con la dieta T4 los que presentaron pliegues más cortos, lo que sugiere una mayor eficiencia de digestión y absorción de nutrientes. Por otro lado, se midió el diámetro de los hepatocitos donde los peces alimentados con la dieta T4 presentaron un menor diámetro lo que implica que este alimento disminuye la acumulación de grasa hepática a diferencia con los otros alimentos para peces ornamentales. De esta manera, las diferencias entre los dos procesos de fabricación son fundamentales ya que en la extrusión se logra un mayor control del proceso permitiendo obtener productos de alta calidad nutricional, con mayor eficiencia y versatilidad lo que mejora el crecimiento y fisiología de los peces (Xing et al., 2023; Liu et al., 2023), particularmente para *P. reticulata*.

Conclusión

Este estudio demuestra que los guppys alimentados con la dieta T4 mejoró el crecimiento, la supervivencia, y las actividades enzimáticas digestivas en juveniles de Guppys (*P. reticulata*). Lo que sugiere que de los alimentos comerciales evaluados, el extruido para trucha es mejor tecnológicamente que los alimentos laminados para peces ornamentales. Por otro lado, este tratamiento también presentó una mejor digestibilidad *in vitro*, lo que se traduce en una mayor hidrólisis de la proteína, lo que permite una mejor absorción de nutrientes. Es importante resaltar que ninguno de estos alimentos era nutricionalmente específico para Guppys, lo que abre la posibilidad de futuras investigaciones donde se genere una dieta específica diseñada con base en la fisiología digestiva de esta especie y que cubra adecuadamente sus requerimientos nutricionales.

Por otro lado, se hace evidente que las técnicas de fabricación juegan un papel clave en la nutrición de las especies, por ello es importante utilizar alimentos extruidos para la producción de peces de ornato. También, este trabajo coincide con trabajos anteriores donde se puntualiza que los alimentos comerciales para especies de ornato están enfocadas a satisfacer las demandas de los cuidadores (dueños), lo que puede comprometer la nutrición y el bienestar de los peces. Finalmente, se recomienda realizar más estudios donde se evalúen los perfiles nutricionales de los alimentos comerciales, la validación de los aditivos que demuestran en el etiquetado (factores que aumentan considerablemente los costos) y la presentación del producto y la forma de administración.

Referencias

- Anka, I.Z., Jothi, J.S., Sarker, J., Talukder, A., & Islam, S.M. (2016). Growth performance and survival of guppy (*Poecilia reticulata*): different formulated diets effect. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 2, 451-457. <https://doi.org/10.3329/ajmbr.v2i3.30117>
- Anson, M. L. (1938). THE ESTIMATION OF PEPSIN, TRYPSIN, PAPAIN, AND CATHEPSIN WITH HEMOGLOBIN. *The Journal of General Physiology*, 22(1), 79–89. <https://doi.org/10.1085/jgp.22.1.79>
- Boucher, R. L., Chung, W., Ng, J., Tan, L., Wu, C., & Lee, C. (2024). Impact of extrusion temperature and moisture incorporation on nutrient digestibility in barramundi (*Lates calcarifer*) diet. *Aquaculture*, 592, 741209. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741209>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Chaabani, A., Labonne, L., Durrieu, V., Rouilly, A., Skiba, F., & Evon, P. (2022). Preconditioner influence on twin-screw extrusion cooking of starch-based feed pellets: The example of Fish Feed. *Aquacultural Engineering*, 98, 102268. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102268>
- Dahlgren, B. T. (1980). The effects of three different dietary protein levels on the fecundity in the guppy, *Poecilia reticulata* (Peters). *Journal of Fish Biology*, 16(1), 83–97. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb03688.x>
- De Fonseka, R., & Radampola, K. (2022). Feasibility of using sailfin catfish meal as an alternative to commercial fishmeal in the diets of juvenile guppy (*Poecilia reticulata*). *Journal of Fisheries*, 10(1), 101203. <https://doi.org/10.17017/j.fish.344>

- DelMar, E., Largman, C., Brodrick, J., & Geokas, M. (1979). A sensitive new substrate for chymotrypsin. *Analytical Biochemistry*, 99(2), 316–320. [https://doi.org/10.1016/s0003-2697\(79\)80013-5](https://doi.org/10.1016/s0003-2697(79)80013-5)
- Dernekbası, S., Una, H., Karayucel, I., & Aral, O. (2010). Effect of Dietary Supplementation of Different Rates of Spirulina (*Spirulina platensis*) on Growth and Feed Conversion in Guppy (*Poecilia reticulata* Peters, 1860). *Journal Of Animal And Veterinary Advances*, 9(9), 1395–1399. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.1395.1399>
- Dimes, L., & Haard, N. (1994). Estimation of protein digestibility—I. Development of an in vitro method for estimating protein digestibility in salmonids (*Salmo gairdneri*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part a Physiology*, 108(2–3), 349–362. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(94\)90106-6](https://doi.org/10.1016/0300-9629(94)90106-6)
- Epifânio, C. M., De M Dantas, F., Fonseca, F. A., Gonçalves, G. S., Viegas, E. M., & Gonçalves, L. U. (2024). Effects of the extrusion process on the physical properties of micro pellets and the growth performance of juvenile Nile tilapia. *Animal Feed Science And Technology*, 116122. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116122>
- Erlanger, B. F., Kokowsky, N., & Cohen, W. (1961). The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 95(2), 271–278. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(61\)90145-x](https://doi.org/10.1016/0003-9861(61)90145-x)
- Evers, H., Pinnegar, J. K., & Taylor, M. I. (2019). Where are they all from? – sources and sustainability in the ornamental freshwater fish trade. *Journal of Fish Biology*, 94(6), 909–916. <https://doi.org/10.1111/jfb.13930>
- Evers, H., Pinnegar, J. K., & Taylor, M. I. (2019). Where are they all from? – sources and sustainability in the ornamental freshwater fish trade. *Journal of Fish Biology*, 94(6), 909–916. <https://doi.org/10.1111/jfb.13930>
- Fernando, G. K. a. W., Jayakody, S., Wijenayake, W. M. H. K., Galappaththy, G. N. L., Yatawara, M., & Harishchandra, J. (2018). A comparison of the larvivorous habits of exotic *Poecilia reticulata* and native *Aplocheilus parvus*. *BMC Ecology*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0180-1>
- Garzón, J. S. V., & Espinosa, M. C. G. (2019). Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce. *Revista Politécnica*, 15(30), 82–93. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a8>
- Garzón, J. S. V., & Gutiérrez-Espinosa, M. C. (2019). ASPECTOS NUTRICIONALES DE PECES ORNAMENTALES DE AGUA DULCE. <https://www.redalyc.org/journal/6078/607867636008/html/>
- Glencross, B., Grobler, T., & Huyben, D. (2021). Digestible nutrient and energy values of corn and wheat glens fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*) are affected by feed processing method. *Aquaculture*, 544, 737133. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737133>
- Gomes-Silva, G., Cyubahiro, E., Wronski, T., Riesch, R., Apio, A., & Plath, M. (2020). Water pollution affects fish community structure and alters evolutionary trajectories of invasive

guppies (*Poecilia reticulata*). *The Science of the Total Environment*, 730, 138912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138912>

Hardy, R. W., & Barrows, F. T. (2003). Diet Formulation and Manufacture. En *Elsevier eBooks* (pp. 505-600). <https://doi.org/10.1016/b978-012319652-1/50010-0>

Harpaz S, Slosman T, Segev R. Effect of feeding guppy fish fry (*Poecilia reticulata*) diets in the form of powder versus flakes. *Aquaculture Research*. 2005;36(10):996-1000. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01308.x>

Kasprzak, R., Grzeszkiewicz, A. B., & Górecka, A. (2021). Performance of Co-Housed Neon Tetras (*Paracheirodon innesi*) and Glowlight Rasboras (*Trigonostigma hengeli*) Fed Commercial Flakes and Lyophilized Natural Food. *Animals*, 11(12), 3520. <https://doi.org/10.3390/ani11123520>

Kodric-Brown, A., & Nicoletto, P. (2001). Female choice in the guppy (*Poecilia reticulata*): the interaction between male color and display. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 50(4), 346–351. <https://doi.org/10.1007/s002650100374>

Kruger, D., Britz, P., & Sales, J. (2001b). Influence of Varying Dietary Protein Content at Three Lipid Concentrations on Growth Characteristics of Juvenile Swordtails (*Xiphophorus helleri* Heckel 1848). *Aquarium Science And Conservation*, 3(4), 275-280. <https://doi.org/10.1023/a:1013150314719>

Kumaratunga, P., & Radampola, K. (2019). Effect of different commercial feeds on growth and reproductive performance of Guppy, *Poecilia reticulata* Peters. *Journal of the University of Ruhuna*. <https://doi.org/10.4038/jur.v7i1.7930>

Lim, L. C., Dhert, P., Chew, W. Y., Dermaux, V., Nelis, H., & Sorgeloos, P. (2002). Enhancement of Stress Resistance of the Guppy *Poecilia reticulata* through Feeding with Vitamin C Supplement. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(1), 32–40. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00475.x>

Lim, L. C., Dhert, P., Chew, W. Y., Dermaux, V., Nelis, H., & Sorgeloos, P. (2002). Enhancement of Stress Resistance of the Guppy *Poecilia reticulata* through Feeding with Vitamin C Supplement. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(1), 32–40. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00475.x>

Liu, Y., Wang, J., Ao, H., Liu, L., & Chen, Y. (2023). Effects of extruded and pelleted diets with different protein levels on growth performance and nutrient retention of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture Reports*, 29, 101479. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101479>

Miller, S. M., & Mitchell, M. A. (2009). ORNAMENTAL FISH. In *Elsevier eBooks* (pp. 39–72). <https://doi.org/10.1016/b978-141600119-5.50007-x>

Motlagh, H. A., Safari, O., Selahvarzi, Y., Baghalian, A., & Kia, E. (2019). Non-specific immunity promotion in response to garlic extract supplemented diets in female Guppy (*Poecilia reticulata*). *Fish & Shellfish Immunology*, 97, 96–99. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.007>

- My, A., At, M., & Jk, I. (2016). Effect of pelletizing machines on floatation and water stability of farm-made fish feeds. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4, 98-103.
- Nath, P., Khozin-Goldberg, I., Cohen, Z., Boussiba, S., & Zilberg, D. (2011). Dietary supplementation with the microalgae *Parietochloris incisa* increases survival and stress resistance in guppy (*Poecilia reticulata*) fry. *Aquaculture Nutrition*, 18(2), 167–180. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00885.x>
- NOM-062-ZOO-1999. (2001). *Norma Oficial Mexicana: Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*. Retrieved from <https://www.gob.mx/senasica/documentos/nom-062-zoo-1999>
- Novák, J., Kalous, L., & Patoka, J. (2020). Modern ornamental aquaculture in Europe: early history of freshwater fish imports. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2042–2060. <https://doi.org/10.1111/raq.12421>
- Kithsiri, P., Prakash Sharma H. M., Syeddain Zaidi S. G., Pal A. K. and Venkateshwarlu G. (2010). Growth and reproductive performance of female guppy, *Poecilia reticulata* (Peters) fed diets with different nutrient levels. *Indian J. Fish.*, 57(1): 65-71. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJF/article/view/7526>
- Papáček, Š., Petera, K., Císař, P., Stejskal, V., & Saberioon, M. (2020). Experimental & Computational Fluid Dynamics Study of the Suitability of Different Solid Feed Pellets for Aquaculture Systems. *Applied Sciences*, 10(19), 6954. <https://doi.org/10.3390/app10196954>
- Prabhu, P. A. J., Schrama, J. W., & Kaushik, S. J. (2014). Mineral requirements of fish: a systematic review. *Reviews In Aquaculture*, 8(2), 172-219. <https://doi.org/10.1111/raq.12090>
- Rainuzzo, J. R., Reitan, K. I., & Olsen, Y. (1997). The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. *Aquaculture*, 155(1–4), 103–115. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(97\)00121-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(97)00121-x)
- Reznick, D. A., Bryga, H., & Endler, J. A. (1990). Experimentally induced life-history evolution in a natural population. *Nature*, 346(6282), 357–359. <https://doi.org/10.1038/346357a0>
- Sales, J., & Janssens, G. P. (2003). Nutrient requirements of ornamental fish. *Aquatic Living Resources*, 16(6), 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.aquiliv.2003.06.001>
- Sanal Ebeneezar, D. Linga Prabu & Sajina K. A. (2023). Feeds and feed management in mariculture. Winter School on Mariculture Technologies for Income Multiplication, Employment, Livelihood and Empowerment. ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi, pp. 242-255. <http://eprints.cmfri.org.in/17104/>
- Sarath, G., de La Motte, R. S., & Wagner, F. W. (1989). Protease assay methods. In R. J. Beynon, & J. S. Bonde (Eds.), *Proteolytic enzymes: A practical approach* (pp. 25–54). Oxford, UK: Oxford University Press
- Seghers, B. H., & Magurran, A. E. (1991). Variation in schooling and aggression amongst guppy (*Poecilia reticulata*) populations in Trinidad. *Behaviour*, 118(3–4), 214–234. <https://doi.org/10.1163/156853991x00292>

- Sharon, G., Fridman, S., Reiss-Hevlin, N., Sinai, T., Boisot, P., & Zilberg, D. (2014). 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. <https://doi.org/10.1111/are.12679>
- Shim K, Ho C (1989) Calcium and phosphorus requirements of guppy *Poecilia reticulata*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 55: 1953– 1955 <https://doi.org/10.2331/suisan.55.1947>
- Shim, K., & Ng, S. (1988). Magnesium requirement of the guppy (*Poecilia reticulata* Peters). *Aquaculture*, 73(1–4), 131–141. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90048-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90048-8)
- Sicuro B. Nutrition in ornamental aquaculture: the raise of anthropocentrism in aquaculture? *Reviews In Aquaculture*. 2017;10(4):791-799. <https://doi.org/10.1111/raq.12196>
- Sørensen, M. (2012). A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high-energy fish feed as measured by prevailing methods. *Aquaculture Nutrition*, 18(3), 233-248. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00924.x>
- Sultana, R., Khatoon, H., Rahman, M. R., Haque, M. E., Nayma, Z., & Mukta, F. A. (2022). Potentiality of *Nannochloropsis* sp. as partial dietary replacement of fishmeal on growth, proximate composition, pigment and breeding performance in guppy (*Poecilia reticulata*). *Bioresource Technology Reports*, 18, 101112. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101112>
- Tocher, D. R. (2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science*, 11(2), 107–184. <https://doi.org/10.1080/713610925>
- Tocher, D. R. (2010). Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*, 41(5), 717–732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x>
- Velasco-Santamaría, Y., & Corredor-Santamaría, W. (2011). *Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69322446003>
- Velasco-Santamaría, Y., & Corredor-Santamaría, W. (2011). *Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69322446003>
- Wu, G. (2009). Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, 37(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00726-009-0269-0>
- Xing, S., Liang, X., Wang, H., Xie, X., Wierenga, P. A., Schrama, J. W., & Xue, M. (2023). The impacts of physical properties of extruded feed on the digestion kinetics, gastrointestinal emptying and stomach water fluxes of spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*). *Aquaculture*, 570, 739442. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739442>

Tabla 1. Análisis garantizado de las diferentes dietas comerciales

	T1	T2	T3	T4
	Spiruflake	TetraMin	Lomas	El Pedregal
Proteína (%)	42	46	44	45
Fibra	6	3	2	1.2
Grasas (%)	5	11	10	16
Cenizas (%)	11	-	-	11
Vitamina c (mg/kg)	-	446	336	-
Humedad (%)	8	6	6	10
OMEGA-3 (mg/Kg)	-	500	-	-
Fosforo (%)	-	1	1.1	-

* Los valores mostrados son los proporcionados por las diferentes marcas de las dietas comerciales de acuerdo con la marca registrada.

Tabla 2. Índices de rendimiento productivos (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de guppys (*Poecilia reticulata*) alimentados con diferentes dietas comerciales.

	T1 Spiruflake	T2 Tetramin	T3 Lomas	T4 El Pedregal
Fi (g/d)	0.198 $\pm$ 0.008	0.193 $\pm$ 0.011	0.194 $\pm$ 0.012	0.191 $\pm$ 0.013
AWG (g/fish)	0.056 $\pm$ 0.015 ^b	0.096 $\pm$ 0.003 ^a	0.052 $\pm$ 0.007 ^b	0.076 $\pm$ 0.010 ^{ab}
SGR (%/d)	3.307 $\pm$ 0.413 ^b	4.049 $\pm$ 0.324 ^a	3.121 $\pm$ 0.056 ^b	3.794 $\pm$ 0.076 ^{ab}
S (%)	96 $\pm$ 5.656 ^a	82.666 $\pm$ 4.618 ^b	89.333 $\pm$ 4.618 ^{ab}	98 $\pm$ 2.828 ^a
FCR	2.810 $\pm$ 0.076 ^{ab}	1.911 $\pm$ 0.084 ^c	3.330 $\pm$ 0.434 ^a	2.292 $\pm$ 0.231 ^{bc}
K	17.495 $\pm$ 1.827 ^b	19.117 $\pm$ 1.842 ^b	23.306 $\pm$ 0.048 ^a	19.379 $\pm$ 1.458 ^b

*Las diferencias significativas dentro de los tratamientos se indican con letras diferentes ($p > 0.05$). FI: feed intake; AWG: ganancia de peso absoluta; SGR: tasa de crecimiento específico; S: supervivencia; FCR: tasa de conversión alimenticia; K: factor de condición.

Tabla 3. Análisis morfológicos de enterocitos y diámetro de hepatocitos (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de *P. reticulata* alimentados con diferentes alimentos comerciales.

	T1	T2	T3	T4
	Spiruflake	Tetramin	Lomas	El Pedregal
Altura de los enterocitos (μm -)	11.51 $\pm$ 0.91 ^a	9.39 $\pm$ 1.2 8 ^{bc}	8.62 $\pm$ 0.11 ^c	10.70 $\pm$ 0.05 ^{ab}
Largo del pliegue (μm)	56.64 $\pm$ 2.23 ^a	50.67 $\pm$ 4.38 ^{ab}	47.78 $\pm$ 1.85 ^b	46.77 $\pm$ 1.42 ^b
Diámetro de los hepatocitos (μm)	5.50 $\pm$ 0.30 ^{ab}	5.18 $\pm$ 0.23 ^{ab}	4.94 $\pm$ 0.06 ^b	4.55 $\pm$ 0.08 ^c

*las diferencias significativas dentro de los alimentos se indican con letras diferentes ($p > 0.05$).

Figuras

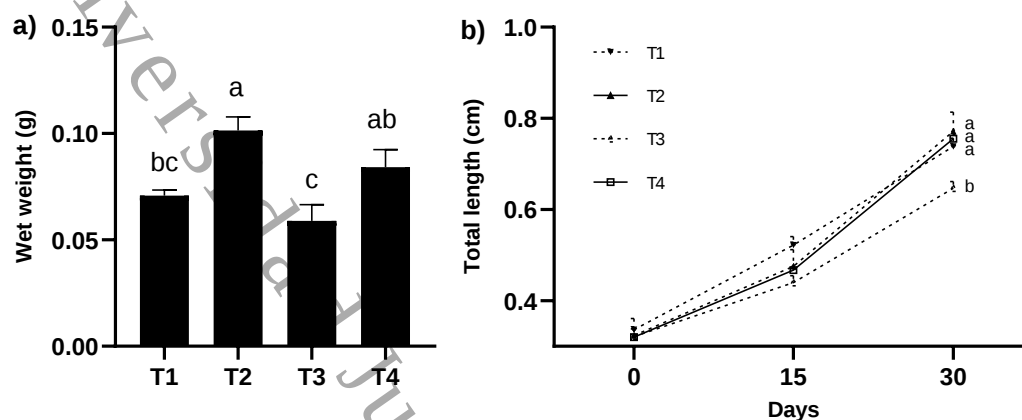


Figura 3. Crecimiento en peso (g) y longitud total (cm) (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de *P. reticulata* alimentados con diferentes dietas comerciales. *Las diferencias significativas dentro de los alimentos se indican con letras diferentes ($p < 0.05$).

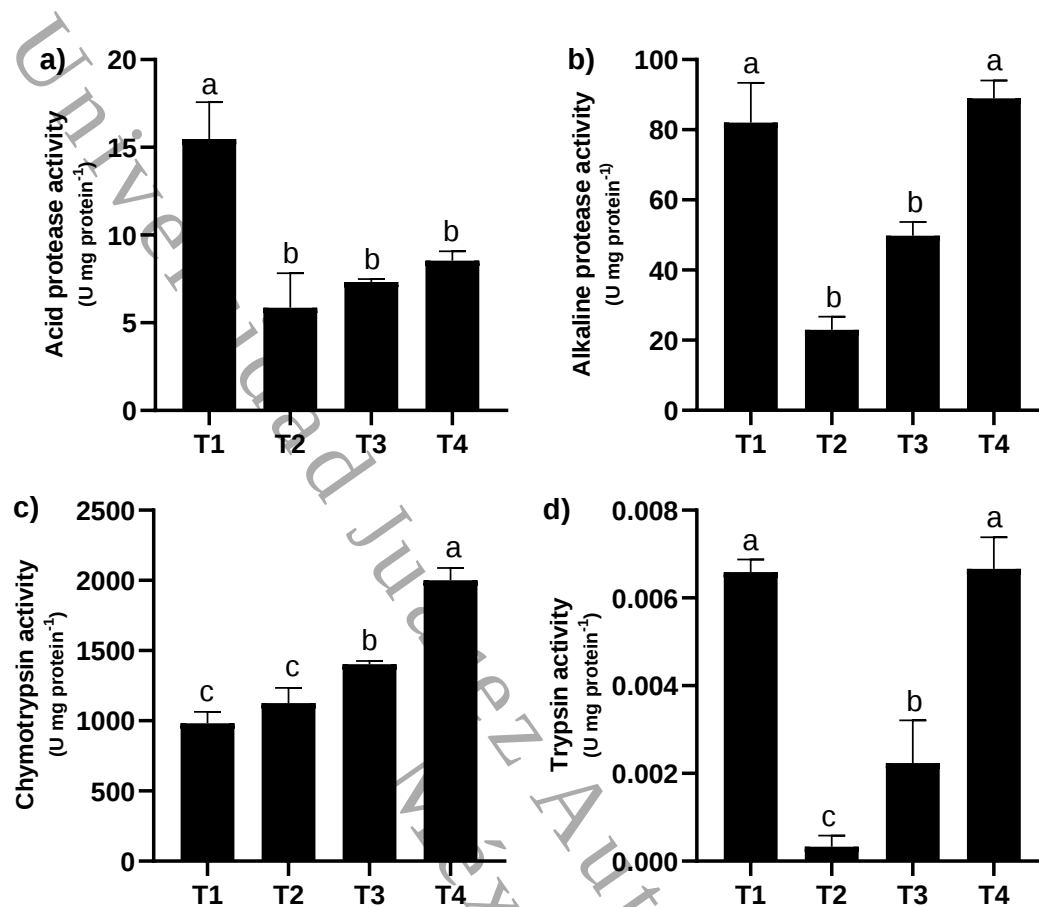


Figura 4. Actividades enzimáticas digestivas (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de *P. reticulata* alimentados con diferentes dietas comerciales. *Las diferencias significativas dentro de los alimentos se indican con letras diferentes ($p < 0.05$).

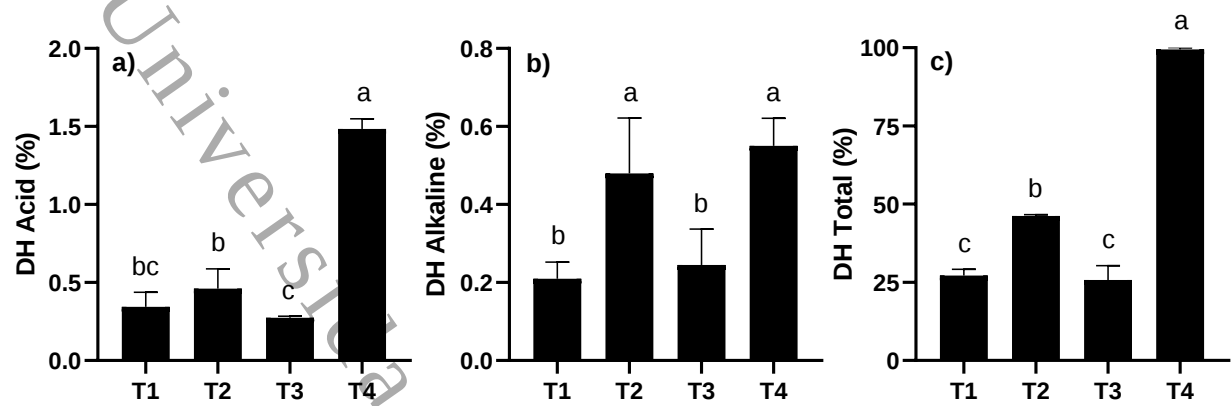


Figura 5. Digestibilidad *in vitro* (media $\pm$ desviación estándar, SD) en juveniles de *P. reticulata* alimentados con diferentes dietas comerciales. *las diferencias significativas dentro de los alimentos se indican con letras diferentes ($p > 0.05$).

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de Tesis:	EFFECTO DE DIETAS COMERCIALES SOBRE EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA DIGESTIVA EN GUPPYS (<i>Poecilia reticulata</i>)
Autor de la Tesis:	Yael José Trejo Sánchez
ORCID:	https://orcid.org/0009-0006-8212-4681
Resumen de la Tesis:	En este estudio se evaluaron tres dietas comerciales para peces ornamentales y una dieta comercial para trucha sobre el crecimiento, supervivencia, actividad enzimática digestiva y morfología digestiva en juveniles de <i>Poecilia reticulata</i>. El experimento se realizó por 31 días, se evaluaron cuatro tratamientos (BIOMAA Spiruflake® (T1), Tetra TetraMin Tropical Flakes® (T2), LOMAS hojuelas peces tropicales® (T3) y alimento balanceado para truchas Silver Cup TM (T4)). El mayor crecimiento se presentó en organismos alimentados con T2 (0.101 ± 0.004 g) y T4 (0.084 ± 0.008) ($p < 0.05$). Los organismos alimentados con T1, T2 y T4 (0.783 ± 0.062; 0.771 ± 0.042; 0.755 ± 0.004 cm, respectivamente) presentaron la mayor longitud total ($p < 0.05$). La mayor supervivencia se obtuvo en organismos alimentados con T4 (98 ± 2.828 %) y T1 (96 ± 5.656 %) mostrando diferencias significativas con T2 ($p < 0.05$). Los organismos alimentados con T4 mostraron mayor actividad en proteasa alcalina, tripsina y quimotripsina. De igual manera, los peces alimentados con T4 presentaron una mejor digestibilidad in vitro en comparación al resto de tratamientos ($p < 0.05$). Histológicamente, los peces alimentados con la dieta T4 presentaron la menor altura de pliegues intestinales ($p < 0.05$) y el menor diámetro de los hepatocitos ($p < 0.05$). Con estos resultados se puede demostrar que los juveniles de <i>P. reticulata</i> alimentados con la dieta T4 (alimento para trucha) obtienen mejores condiciones nutricionales que dietas comerciales destinadas a especies ornamentales.
Palabras claves de la Tesis:	<i>Poecilia reticulata</i> , enzimas digestivas, histología, nutrición, dietas comerciales

Referencias citadas:	Anka, I.Z., Jothi, J.S., Sarker, J., Talukder, A., & Islam, S.M. (2016). Growth performance and survival of guppy (<i>Poecilia reticulata</i>): different formulated diets effect. <i>Asian Journal of Medical and Biological Research</i>, 2, 451-457. https://doi.org/10.3329/ajmbr.v2i3.30117 Anson, M. L. (1938). THE ESTIMATION OF PEPSIN, TRYPSIN, PAPAINE, AND CATHEPSIN WITH HEMOGLOBIN. <i>The Journal of General Physiology</i>, 22(1), 79–89. https://doi.org/10.1085/jgp.22.1.79 Boucher, R. L., Chung, W., Ng, J., Tan, L., Wu, C., & Lee, C. (2024). Impact of extrusion temperature and moisture incorporation on nutrient digestibility in barramundi (<i>Lates calcarifer</i>) diet. <i>Aquaculture</i>, 592, 741209. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741209 Chaabani, A., Labonne, L., Durrieu, V., Rouilly, A., Skiba, F., & Evon, P. (2022). Preconditioner influence on twin-screw extrusion cooking of starch-based feed pellets: The example of Fish Feed. <i>Aquacultural Engineering</i>, 98, 102268. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102268 Dahlgren, B. T. (1980). The effects of three different dietary protein levels on the fecundity in the guppy, <i>Poecilia reticulata</i> (Peters). <i>Journal of Fish Biology</i>, 16(1), 83–97. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb03688.x De Fonseka, R., & Radampola, K. (2022). Feasibility of using sailfin catfish meal as an alternative to commercial fishmeal in the diets of juvenile guppy (<i>Poecilia reticulata</i>). <i>Journal of Fisheries</i>, 10(1), 101203. https://doi.org/10.17017/j.fish.344 DelMar, E., Largman, C., Brodrick, J., & Geokas, M. (1979). A sensitive new substrate for chymotrypsin. <i>Analytical Biochemistry</i>, 99(2), 316–320. https://doi.org/10.1016/s0003-2697(79)80013-5 Dernekbası, S., Una, H., Karayücel, I., & Aral, O. (2010). Effect of Dietary Supplementation of Different Rates of Spirulina (<i>Spirulina platensis</i>) on Growth and Feed Conversion in Guppy (<i>Poecilia reticulata</i> Peters, 1860). <i>Journal Of Animal And Veterinary Advances</i>, 9(9), 1395-1399. https://doi.org/10.3923/javaa.2010.1395.1399 Dimes, L., & Haard, N. (1994). Estimation of protein digestibility—I. Development of an in vitro method for estimating protein digestibility in salmonids (<i>Salmo gairdneri</i>). <i>Comparative Biochemistry and Physiology Part a Physiology</i>, 108(2–3), 349–362. https://doi.org/10.1016/0300-9629(94)90106-6 Epifânio, C. M., De M Dantas, F., Fonseca, F. A., Gonçalves, G. S., Viegas, E. M., & Gonçalves, L. U. (2024). Effects of the extrusion process on the physical properties of micro pellets and the growth performance of juvenile Nile
------------------------------------	---

Universidad Juárez del Estado de Durango	tilapia. <i>Animal Feed Science And Technology</i>, 116122. https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2024.116122 Erlanger, B. F., Kokowsky, N., & Cohen, W. (1961). The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. <i>Archives of Biochemistry and Biophysics</i>, 95(2), 271–278. https://doi.org/10.1016/0003-9861(61)90145-x Evers, H., Pinnegar, J. K., & Taylor, M. I. (2019). Where are they all from? – sources and sustainability in the ornamental freshwater fish trade. <i>Journal of Fish Biology</i>, 94(6), 909–916. https://doi.org/10.1111/jfb.13930 Evers, H., Pinnegar, J. K., & Taylor, M. I. (2019). Where are they all from? – sources and sustainability in the ornamental freshwater fish trade. <i>Journal of Fish Biology</i>, 94(6), 909–916. https://doi.org/10.1111/jfb.13930 FAO. (1989). Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados . Manual de capacitación: Nutrientes esenciales . Fernando, G. K. a. W., Jayakody, S., Wijenayake, W. M. H. K., Galappaththy, G. N. L., Yatawara, M., & Harishchandra, J. (2018). A comparison of the larvivorous habits of exotic <i>Poecilia reticulata</i> and native <i>Aplocheilus parvus</i>. <i>BMC Ecology</i>, 18(1). https://doi.org/10.1186/s12898-018-0180-1 Garzón, J. S. V., & Espinosa, M. C. G. (2019). Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce. <i>Revista Politécnica</i>, 15(30), 82–93. https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a8 Garzón, J. S. V., & Gutiérrez-Espinosa, M. C. (2019). ASPECTOS NUTRICIONALES DE PECES ORNAMENTALES DE AGUA DULCE. https://www.redalyc.org/journal/6078/607867636008/html/ Glencross, B., Grobler, T., & Huyben, D. (2021). Digestible nutrient and energy values of corn and wheat glutes fed to Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i>) are affected by feed processing method. <i>Aquaculture</i>, 544, 737133. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737133 Gomes-Silva, G., Cyubahiro, E., Wronski, T., Riesch, R., Apio, A., & Plath, M. (2020). Water pollution affects fish community structure and alters evolutionary trajectories of invasive guppies (<i>Poecilia reticulata</i>). <i>The Science of the Total Environment</i>, 730, 138912. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138912 Kithsiri, P., Prakash Sharma H. M., Syeddain Zaidi S. G., Pal A. K. and Venkateshwarlu G. (2010). Growth and reproductive performance of female guppy, <i>Poecilia reticulata</i> (Peters) fed diets with different nutrient levels. <i>Indian J. Fish.</i>, 57(1): 65-71. https://epubs.icar.org.in/index.php/IJF/article/view/7526 •
---	--

	Hardy, R. W., & Barrows, F. T. (2003). Diet Formulation and Manufacture. En <i>Elsevier eBooks</i> (pp. 505-600). https://doi.org/10.1016/b978-012319652-1/50010-0 Harpaz S, Slosman T, Segev R. Effect of feeding guppy fish fry (<i>Poecilia reticulata</i>) diets in the form of powder versus flakes. <i>Aquaculture Research</i>. 2005;36(10):996-1000. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01308.x Kasprzak, R., Grzeszkiewicz, A. B., & Górecka, A. (2021). Performance of Co-Housed Neon Tetras (<i>Paracheirodon innesi</i>) and Glowlight Rasboras (<i>Trigonostigma hengeli</i>) Fed Commercial Flakes and Lyophilized Natural Food. <i>Animals</i>, 11(12), 3520. https://doi.org/10.3390/ani11123520 Kodric-Brown, A., & Nicoletto, P. (2001). Female choice in the guppy (<i>Poecilia reticulata</i>): the interaction between male color and display. <i>Behavioral Ecology and Sociobiology</i>, 50(4), 346–351. https://doi.org/10.1007/s002650100374 Kruger, D., Britz, P., & Sales, J. (2001b). Influence of Varying Dietary Protein Content at Three Lipid Concentrations on Growth Characteristics of Juvenile Swordtails (<i>Xiphophorus helleri</i> Heckel 1848). <i>Aquarium Science And Conservation</i>, 3(4), 275-280. https://doi.org/10.1023/a:1013150314719 Kumaratunga, P., & Radampola, K. (2019). Effect of different commercial feeds on growth and reproductive performance of Guppy, <i>Poecilia reticulata</i> Peters. <i>Journal of the University of Ruhuna</i>. https://doi.org/10.4038/jur.v7i1.7930 Lim, L. C., Dhert, P., Chew, W. Y., Dermaux, V., Nelis, H., & Sorgeloos, P. (2002). Enhancement of Stress Resistance of the Guppy <i>Poecilia reticulata</i> through Feeding with Vitamin C Supplement. <i>Journal of the World Aquaculture Society</i>, 33(1), 32–40. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00475.x Lim, L. C., Dhert, P., Chew, W. Y., Dermaux, V., Nelis, H., & Sorgeloos, P. (2002). Enhancement of Stress Resistance of the Guppy <i>Poecilia reticulata</i> through Feeding with Vitamin C Supplement. <i>Journal of the World Aquaculture Society</i>, 33(1), 32–40. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00475.x Miller, S. M., & Mitchell, M. A. (2009). ORNAMENTAL FISH. In <i>Elsevier eBooks</i> (pp. 39–72). https://doi.org/10.1016/b978-141600119-5.50007-x Motlagh, H. A., Safari, O., Selahvarzi, Y., Baghalian, A., & Kia, E. (2019). Non-specific immunity promotion in response to garlic extract supplemented diets in female Guppy (<i>Poecilia reticulata</i>). <i>Fish & Shellfish Immunology</i>, 97, 96–99. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.007 My, A., At, M., & Jk, I. (2016). Effect of pelletizing machines on floatation and water stability of farm-made fish
--	---

Universidad Juárez del Estado de Durango	feeds. <i>International Journal of Fisheries and Aquatic Studies</i>, 4, 98-103. Nath, P., Khozin-Goldberg, I., Cohen, Z., Boussiba, S., & Zilberg, D. (2011). Dietary supplementation with the microalgae <i>Parietochloris incisa</i> increases survival and stress resistance in guppy (<i>Poecilia reticulata</i>) fry. <i>Aquaculture Nutrition</i>, 18(2), 167–180. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00885.x NOM-062-ZOO-1999. (2001). <i>Norma Oficial Mexicana: Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio</i>. Retrieved from https://www.gob.mx/senasica/documentos/nom-062-zoo-1999 Novák, J., Kalous, L., & Patoka, J. (2020). Modern ornamental aquaculture in Europe: early history of freshwater fish imports. <i>Reviews in Aquaculture</i>, 12(4), 2042–2060. https://doi.org/10.1111/raq.12421 Papáček, Š., Petera, K., Císař, P., Stejskal, V., & Saberioon, M. (2020). Experimental & Computational Fluid Dynamics Study of the Suitability of Different Solid Feed Pellets for Aquaculture Systems. <i>Applied Sciences</i>, 10(19), 6954. https://doi.org/10.3390/app10196954 Prabhu, P. A. J., Schrama, J. W., & Kaushik, S. J. (2014). Mineral requirements of fish: a systematic review. <i>Reviews in Aquaculture</i>, 8(2), 172–219. https://doi.org/10.1111/raq.12090 Rainuzzo, J. R., Reitan, K. I., & Olsen, Y. (1997). The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. <i>Aquaculture</i>, 155(1–4), 103–115. https://doi.org/10.1016/s0044-8486(97)00121-x Reznick, D. A., Bryga, H., & Endler, J. A. (1990). Experimentally induced life-history evolution in a natural population. <i>Nature</i>, 346(6282), 357–359. https://doi.org/10.1038/346357a0 Sales, J., & Janssens, G. P. (2003). Nutrient requirements of ornamental fish. <i>Aquatic Living Resources</i>, 16(6), 533–540. https://doi.org/10.1016/j.aquativ.2003.06.001 Sanal Ebeneezar, D. Linga Prabu & Sajina K. A. (2023). Feeds and feed management in mariculture. Winter School on Mariculture Technologies for Income Multiplication, Employment, Livelihood and Empowerment. ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi, pp. 242-255. http://eprints.cmfri.org.in/17104/ Sarath, G., de La Motte, R. S., & Wagner, F. W. (1989). Protease assay methods. In R. J. Beynon, & J. S. Bonde (Eds.), <i>Proteolytic enzymes: A practical approach</i> (pp. 25–54). Oxford, UK: Oxford University Press Seghers, B. H., & Magurran, A. E. (1991). Variation in schooling and aggression amongst guppy (<i>Poecilia</i>
---	---

	reticulata) populations in Trinidad. <i>Behaviour</i>, 118(3–4), 214–234. https://doi.org/10.1163/156853991x00292 Sharon, G., Fridman, S., Reiss-Hevlin, N., Sinai, T., Boisot, P., & Zilberg, D. (2014). Effects of different commercial diets on growth performance, health and resistance to Tetrahymenasp. infection in guppies, <i>Poecilia reticulata</i> (Peters). <i>Aquaculture Research</i>, 47(7), 2276–2286. https://doi.org/10.1111/are.12679 Shim K, Ho C (1989). Calcium and phosphorus requirements of guppy <i>Poecilia reticulata</i>. <i>Nippon Suisan Gakkaishi</i> 55: 1953–1955 https://doi.org/10.2331/suisan.55.1947 Shim, K., & Ng, S. (1988). Magnesium requirement of the guppy (<i>Poecilia reticulata</i> Peters). <i>Aquaculture</i>, 73(1–4), 131–141. https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90048-8 Sicuro B. Nutrition in ornamental aquaculture: the raise of anthropocentrism in aquaculture? <i>Reviews In Aquaculture</i>. 2017;10(4):791-799. https://doi.org/10.1111/raq.12196 Sørensen, M. (2012). A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high-energy fish feed as measured by prevailing methods. <i>Aquaculture Nutrition</i>, 18(3), 233–248. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00924.x Sultana, R., Khatoon, H., Rahman, M. R., Haque, M. E., Nayma, Z., & Mukta, F. A. (2022). Potentiality of <i>Nannochloropsis</i> sp. as partial dietary replacement of fishmeal on growth, proximate composition, pigment and breeding performance in guppy (<i>Poecilia reticulata</i>). <i>Bioresource Technology Reports</i>, 18, 101112. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101112 Tocher, D. R. (2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. <i>Reviews in Fisheries Science</i>, 11(2), 107–184. https://doi.org/10.1080/713610925 Tocher, D. R. (2010). Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. <i>Aquaculture Research</i>, 41(5), 717–732. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x Velasco-Santamaría, Y., & Corredor-Santamaría, W. (2011). <i>Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review</i>. Redalyc.org. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69322446003 Velasco-Santamaría, Y., & Corredor-Santamaría, W. (2011). <i>Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review</i>. Redalyc.org. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69322446003
--	--