



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

“Desarrollo de una dieta artificial a base de
Tenebrio molitor para la alimentación de
Poecilia reticulata en condiciones de invernadero”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO AMBIENTAL

PRESENTA

C. ITZEL RAMOS MAYORGA

DIRIGIDA POR

Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2026

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

“Desarrollo de una dieta artificial a base de *Tenebrio molitor* para la alimentación de *Poecilia reticulata* en condiciones de invernadero”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO AMBIENTAL

PRESENTA

C. ITZEL RAMOS MAYORGA

DIRIGIDA POR

Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ

SINODALES

Dr. Miguel Angel Ramos López
DIRECTOR

M.en C. Miguel Alejandro Flores Sánchez
SINODAL

Dr. Juan Campos Guillen
SINODAL

Dr. Carlos Eduardo Zavala Gómez
SINODAL

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
II.1. Ecotoxicología	4
II.2. <i>Poecilia reticulata</i>	7
II.3. Cría y cautiverio del pez guppy	9
II.4. <i>Tenebrio molitor</i>	11
II.5. Desarrollo de dietas	14
III. OBJETIVOS	15
III.1. General	15
III.2. Específicos	15
IV. METODOLOGÍA	16
IV.1. Materia prima	16
IV.2. Formulación de dietas	16
IV.3. Elaboración de dietas	17

IV.4. Pruebas preliminares	18
IV.5. Implementación de dietas durante el ciclo de vida	18
IV.6. Análisis químico de las dietas experimentales	19
IV.7. Análisis estadístico	21
V. RESULTADOS	22
V.1. Análisis químico de las dietas formuladas para la reproducción de <i>Poecilia reticulata</i>	22
V.2. Evaluación del peso de <i>Poecilia reticulata</i>	23
V.3. Mortalidad de <i>Poecilia reticulata</i> alimentada con <i>Tenebrio molitor</i>	26
V.4. Proporción machos:hembras de los diferentes tratamientos	28
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
VI.1. Análisis químico de las dietas formuladas	29
VI.2. Evaluación del peso de <i>Poecilia reticulata</i>	30
VI.3. Mortalidad de <i>Poecilia reticulata</i> alimentada con <i>Tenebrio molitor</i>	32

VI.4. Proporción machos:hembras de los diferentes tratamientos experimentales	33
VI. CONCLUSIONES	34
VII. AGRADECIMIENTOS	36
VIII. BIBLIOGRAFÍAS	37

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Especies de insectos en la literatura reportada	12
Insumos y composición porcentual en peso de las 5 dietas experimentales utilizadas para evaluar el Desarrollo del pez guppy (<i>Poecilia reticulata</i>)	19
Análisis químico de las dietas experimentales	26
Peso de larvas y adultos de <i>Poecilia reticulata</i> alimentados con harina de <i>Tenebrio molitor</i>	29
Mortalidad de larvas y adultos de <i>Poecilia reticulata</i> alimentada con <i>Tenebrio molitor</i>	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Proporción machos: hembras para las diferentes dietas experimentales	32

AGRADECIMIENTOS

Escribir una tesis es más difícil de lo que yo pensaba, sin embargo, siempre están las personas que te impulsan a ser mejor cada día, aquí una pequeña recapitulación de todas las personas que alguna vez me motivaron a ser mejor, me acompañaron o que no forman parte de mi vida pero me ayudan a recordar a donde quiero llegar, sé que un agradecimiento en una tesis no es suficiente para recompensar todo lo que algun día han hecho por mí, pero comenzare con esto: Gracias a mi mamá, que nunca me dejo sola, nunca dejo de apoyarme en cada paso, gracias a mi papá que, a pesar de todo, me motivaba cada día a ser mejor, gracias a mi hermano por ser mi ejemplo para seguir. Gracias al Dr. Ramos, sin él no estaría aquí, por todo su apoyo, consejo y seguimiento, sin duda el mejor director de tesis que pude tener. Gracias a Paola por ser mi mejor amiga, por escucharme aunque no entendiera nada de lo que decía, gracias a Pau mi fiel compañera de ambiental, por no dejarme morir, por siempre estar para mí y apoyarme cuando más lo necesitaba, gracias a Lau mi dream team, por siempre tener una pregunta para cuestionarme, por llevarme por comida y por darme asilo cuando estaba cansada, gracias a Felipe y a Uri, quienes me hacían sentir inteligente cuando sentía que era tonta, gracias a las niñitas de IQA que me cubrían cuando no entraba a clase, y que les sorprendía cuando les hablaba de la tesis. Gracias a D. que a pesar de que no forma parte de mi vida, constantemente pienso en él, y me inspiro porque me recuerda a donde quiero llegar y me hace seguir el camino que alguna dijimos que íbamos a hacer juntos. Por último, gracias a Carlos, que, aunque llego tarde, nunca me deja sola, me da increíbles consejos y escucha todas las historias que le cuento, aunque sean tontas.

RESUMEN

La disminución en la disponibilidad y el incremento en los costos de la harina y el aceite de pescado, ingredientes utilizados ampliamente en la alimentación acuícola, han llevado a la búsqueda de alternativas para esta industria. Esto se debe a que la alimentación de los organismos acuáticos influye directamente en su crecimiento y rendimiento reproductivo. En la acuicultura existen diferentes metas como uso alimentario, ornamental y científica, dentro de esta última sobresale la reproducción del pez guppy, *Poecilia reticulata*. Esta especie ha sido utilizada en investigaciones científicas debido a su hipersensibilidad a cambios en su medio. En este contexto, el uso de insectos representa una opción sostenible debido a su alto contenido nutricional. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar una dieta artificial a base de harina de *Tenebrio molitor* y evaluar su efecto sobre el crecimiento, supervivencia y proporción sexual de *Poecilia reticulata* cultivada en condiciones de invernadero. Para ello, se formularon dietas con distintos porcentajes de harina de *T. molitor*. Se evaluaron variables biométricas como contenido nutricional de las dietas, peso, supervivencia y proporción macho-hembra. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos, observándose un mayor crecimiento en los organismos alimentados con dietas suplementadas con harina de *T. molitor*. Asimismo, la inclusión de esta fuente proteica favoreció el desarrollo de los organismos y representó una alternativa viable para reducir la dependencia de ingredientes derivados de pescado. Se concluye que la harina de *Tenebrio molitor* puede ser utilizada como ingrediente alternativo en dietas para *Poecilia reticulata*. ***palabras clave:** *Poecilia reticulata*, hipersensibilidad, dieta, *tenebrio molitor*, crecimiento.

INTRODUCCION

La toxicología acuática, también conocida como ecotoxicología, evalúa el efecto de los contaminantes sobre los organismos expuestos, como influyen en el desarrollo embrionario, fisiológico, afectaciones teratogénicas y la mortalidad. Para lo cual se emplean especies hipersensibles llamados bioindicadores, usados en modelos ecotoxicológicos, indicando los cambios ambientales ocasionados por la contaminación. La exposición a las sustancias químicas se divide en cuatro categorías según sea la dosis y el tiempo de exposición. Surge entonces la clasificación de toxicidad aguda, subaguda, subcrónica y crónica. Por lo que se puede entender a la ecotoxicología acuática como el uso de organismos acuáticos, hipersensibles a los cambios en su medio, la cual inicia a partir de la década de los 40's, año en el que comenzó una creciente demanda en los trabajos experimentales, debido a la preocupación por el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas acuáticos. Desde este momento se han utilizado bioindicadores para determinar efectos genotóxicos, toxicológicos y reproductivos. Entre las especies más empleadas se encuentran: El pez cebra, (*Danio rerio*) el cual ha permitido evaluar los efectos tóxicos de los microplásticos de poliestireno, plaguicidas como fosfuro de dimetilo y deltametrina. Otra especie es Medeka, (*Oryzias latipes*) conocida por ser un modelo para, la carcinogénesis y el comportamiento en estudios genéticos. Asimismo, el pez guppy (*Poecilia reticulata*) se ha consolidado como una especie de importancia ornamental y en estudios de nutrición acuícola debido a su naturaleza omnívora, ovovípara, adaptable y corto ciclo reproductivo. Esta especie ha sido utilizada en estudios científicos, particularmente en el ámbito genético biomédico, evaluando alteraciones conductuales inducidas por la exposición a plaguicidas organofosforados. Para la reproducción de estos organismos se han desarrollado dietas, de

las cuales el principal ingrediente es la harina de pescado, obtenida a partir de residuos y subproductos de la industria pesquera. Sin embargo, dentro de su producción, derivan peligrosos problemas de contaminación, emanan de la sanguaza, vísceras y los gases que se liberan en el proceso productivo. La utilización excesiva de estos insumos se ha asociado con la presencia de contaminantes biológicos y químicos, principalmente residuos de antibióticos y metales pesados. La búsqueda de fuentes proteicas alternativas se ha convertido en una prioridad para el sector acuícola y para la investigación científica. En este contexto, surgen las harinas realizadas a partir de insectos las cuales han sido evaluadas para la realización de dietas artificiales. Algunas especies probadas y utilizadas para la producción de alimentos acuícolas son: gusanos de seda (*Bombyx mori*), mosca doméstica (*Musca domestica*), entre otros. Dentro de este grupo se incluye el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) el cual posee la capacidad de transformar residuos orgánicos en biomasa, presentando una composición notable en proteínas, lípidos y aminoácidos esenciales. Además, su cultivo puede realizarse en condiciones controladas, lo que garantiza una producción continua y trazable, en línea con los principios de la economía circular y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, existe poca información sobre el efecto de dietas elaboradas con harina de *T. molitor* en especies ornamentales como *Poecilia reticulata*. Por ello, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de una dieta artificial a base de harina de *Tenebrio molitor* sobre el crecimiento de *Poecilia reticulata* cultivada en condiciones de invernadero.

I. ANTECEDENTES

I.1. Ecotoxicología

La ecotoxicología es una disciplina que estudia los efectos causados por agentes tóxicos o nocivos sobre los ecosistemas, orientándose principalmente al estudio de los efectos adversos de sustancias químicas sobre organismos vivos dentro de sus respectivos ecosistemas (Newman, 2015). El campo de la ecotoxicología comprende el ciclo completo de la contaminación, incluyendo el estudio de las fuentes de emisión de contaminantes, su naturaleza (características espaciales y temporales), así como el seguimiento de las transformaciones ambientales por sustancias introducidas en los ecosistemas (Larrain, 1995). El término "ecotoxicología" fue introducido por René Truhaut en 1977, quien la definió como: "la rama de la toxicología relacionada con el estudio de los efectos tóxicos, causados por contaminantes naturales o sintéticos, a los componentes de los ecosistemas, animales (incluidos los humanos), vegetales y microbianos, en un contexto integral" (Truhaut, 1977). Desde entonces, esta disciplina ha evolucionado para incorporar herramientas experimentales y analíticas que permiten una evaluación más precisa de los riesgos ambientales, especialmente en contextos donde la contaminación química amenaza la integridad de los ecosistemas. Uno de los enfoques más utilizados dentro de la ecotoxicología es la realización de bioensayos o pruebas de toxicidad para determinar el efecto de compuestos antropogénicos; los cuales proporcionan información valiosa para establecer el impacto potencial de contaminantes en el medio acuático. Estas pruebas de toxicidad aguda o crónica son pilares importantes en el proceso de evaluación de los riesgos ambientales (Warren, 1971), provocados en el ambiente acuático por la acción de sustancias químicas, efluentes y desechos de la actividad del hombre. Durante la década de los 70's, se implementaron métodos apropiados con el fin de estandarizar los

procedimientos de estas pruebas, se establecieron las pautas para desarrollar métodos mejorados utilizando especies que mostraron respuestas claras en las pruebas lo que permitió obtener resultados con alta confiabilidad. Estos incluyen indicadores de estrés oxidativo, alteraciones genéticas o inhibiciones enzimáticas como las de la colinesterasa, que se ha utilizado para evaluar la exposición a plaguicidas organofosforados (López-Barea y Pueyo, 1998, Witeska, 2024). De esta manera surge las definiciones de bioensayo y pruebas de toxicidad, las cuales no son sinónimos, sin embargo, en la práctica son usados con el mismo sentido. El término bioensayo es el más antiguo y tiene más acepciones como la de Randall y Petrocelli de 1985, donde se describe como un evaluador de la toxicidad de un químico comparando sus efectos sobre un organismo vivo, contrastándolo con un estándar con el mismo organismo (Hunn,1989). Los mismos autores han definido a una prueba de toxicidad como el medio usado para determinar el riesgo de un químico en un organismo. Un aspecto clave para el éxito de este tipo de pruebas radica en la necesidad de optimizar las técnicas de cultivo de organismos en las distintas etapas de su ciclo de vida, lo cual garantiza un suministro adecuado y constante de organismos de prueba como lo señala Foster (1981), al referirse al uso de larvas de almejas asiáticas en evaluaciones de riesgo en ambientes acuáticos. De esta manera surgen los distintos problemas ambientales actuales, como la contaminación por metales pesados, hidrocarburos, plaguicidas y contaminantes emergentes (fármacos, micro plásticos) los cuales han incrementado la relevancia de la ecotoxicología para la evaluación y gestión ambiental (Fendt-Weston y Caminada, 2006). Estos contaminantes afectan a nivel individual, pueden bioacumularse y biomagnificarse en la cadena trófica, afectando a organismos en niveles superiores, incluidos los seres humanos. (Ruíz-Santoyo, 2025). Por lo que, la ecotoxicología surgió como una herramienta indispensable para el análisis del riesgo ecológico y la protección del

ambiente frente al uso indiscriminado de compuestos químicos por parte del hombre. Su integración en los estudios de impacto ambiental y su aplicación en la regulación de actividades industriales, agrícolas y urbanas se ha vuelto fundamental para preservar la biodiversidad y la salud humana (Perevochtchikova, 2013).

1.2. *Poecilia reticulata*.

El pez guppy (*Poecilia reticulata*) es una especie de pez teleósteo de pequeño tamaño, originario de Sudamérica, es una de las especies de mayor comercialización a nivel mundial principalmente por sus colores llamativos, adaptabilidad al medio y fácil mantenimiento (Maceda-Veiga y col., 2016). Distribuido y utilizado en investigaciones científicas desde hace varias décadas, puesto que tiene un corto ciclo de vida, alta diversidad genética y facilidad de cría. Esto último se debe a que es una especie prolífica, capaz de reproducirse en intervalos cortos, con numerosas crías por cardumen y no se necesitan equipos ni dispositivos específicos para su crianza (Kishi y col., 2003). Entre sus principales ventajas se encuentra su hipersensibilidad a los cambios en su medio, lo que lo convierte en una especie indicadora representativa para estudios ecotoxicológicos (Álvarez-Garduño y Gutiérrez-Espinosa, 2017). Su sensibilidad biológica permite detectar la presencia de contaminantes en concentraciones trazas, esto facilita la detección temprana de efectos subletales y de alteraciones fisiológicas o de comportamiento (Widianarko y col., 2000). Además, los guppys son ovovivíparos, es decir que las crías se desarrollan dentro del útero de la hembra y expulsan a las larvas completamente formadas, lo cual mejora las tasas de supervivencia y permite el seguimiento continuo de las generaciones (Yanong, 2011). Este pez alcanza la madurez sexual en 2 a 3 meses, puede reproducirse en condiciones subóptimas, su naturaleza es omnívora y tiene una alta capacidad de adaptación a distintos tipos de alimentos, lo cual facilita su uso en estudios de nutrición y formulación de dietas

experimentales (Witeska, 2024). Otra característica destacable del pez guppy en bioensayos, es su corto ciclo de vida lo que permite observar efectos en sus etapas de crecimiento, por lo cual, las distintas generaciones reproducidas contribuyen a una mejor comprensión de los mecanismos biológicos y a la detección temprana de posibles efectos adversos causados por contaminantes o cambios en la dieta (Yanong, 2011). Estas características permiten realizar pruebas de exposición prolongada, ensayos de toxicidad reproductiva y estudios de bioacumulación. Las pruebas de toxicidad aguda para la evaluación del riesgo potencial de los plaguicidas se realizan con peces, ya que estos forman parte importante de la cadena del ciclo de alimentación en el ecosistema acuático (Castano y Cantarino, 1996). El uso de *Poecilia reticulata* en estudios ecotoxicológicos sirve para identificar los efectos tóxicos directos, lo que permite entender las alteraciones en organismos acuáticos, considerando su papel ecológico como presa de especies mayores y su amplia distribución en cuerpos de agua dulce. En este sentido, de acuerdo con el estudio realizado por (Örücü y col., 2012), esta especie presentó alteraciones fisiológicas significativas tras la exposición aguda al acaricida fenpyroximate, manifestando afectaciones en el sistema nervioso y en su comportamiento. De manera similar, Miliou, y col. (1998) documentaron efectos crónicos del cadmio en guppys, evidenciando cambios en su composición bioquímica, crecimiento y tasas de supervivencia. En consecuencia, su inclusión en estudios relacionados con la contaminación por residuos industriales permite establecer una base sólida para evaluar riesgos ecológicos y proponer medidas de control o mitigación (Pandey y col., 2018). Las especies de la familia *Poeciliidae* se caracterizan por su adaptación a climas tropicales (Tuckett, y col., 2021), además de que sus 34 variedades son de las más importantes en la acuicultura ornamental por sus formas, colores y por el precio de venta (Zúñiga, 1997). Por otra parte, *Poecilia reticulata*, es reconocida en el ámbito

ornamental por su popularidad y facilidad de manejo. En los últimos años, se ha logrado desarrollar variedades que presentan diferencias en la coloración, forma y tipo de aleta caudal, esta especie puede sobrevivir entre, los 16°C hasta los 30°C, siendo la óptima entre los 25°C y 28°C (Garzón-Forero, 2015). Esta especie tiene un hábito de reproducción, es ovovivíparo, el tiempo de desarrollo del embrión dentro del útero de las hembras varía entre 25 a 30 días. La duración de este periodo la cual depende de la temperatura del agua, la nutrición y la edad del pez (Márquez y Vidal, 1994). El hecho de que las crías se desarrollen dentro de la hembra adulta proporciona protección contra depredadores y condiciones adversas del entorno, sin embargo, suele ocurrir canibalismo, ya que los padres se comen a sus crías para evitar la sobrepoblación en su hábitat. Por esto, debe prepararse el acuario para separar a las crías inmediatamente después de que estas son depositadas por las hembras (Devezé-Murillo y col., 2004). El mantenimiento en cautiverio de esta especie implica una alimentación adecuada que garantice su crecimiento, salud y reproducción; en este sentido la harina de pescado se ha utilizado en la industria para aumentar el contenido nutricional de los alimentos para animales y para consumo humano. El componente nutritivo más valioso de la harina de pescado son las proteínas, ya que tiene una proporción ideal de aminoácidos esenciales altamente digeribles, que varía poco con el origen de la harina (García, 2021); obtenida a partir del cocido, prensado, secado y pulverizado de residuos y subproductos de la industria pesquera, como vísceras, cabezas y esqueletos (ITCA-FEPADES, 2021). Los residuos generados por la industria de harina y aceite de pescado son un problema ambiental de gran magnitud a nivel global, ya que, dependiendo del tipo de procesamiento y de la especie utilizada, la producción puede generar entre un 20 % y un 80 % de desechos (Ivanovs y col., 2018). Los cuales suelen mezclarse con las aguas residuales del proceso industrial, dando como resultado la caída de residuos orgánicos,

escamas, combustible y grasas, que generan la formación de sedimentos negruzcos con olores sulfurosos, películas de escamas que evitan la rápida oxigenación del fondo y posterior muerte de organismos. El agua utilizada para el bombeo del pescado forma sanguaza (agua más sangre) con los residuos orgánicos producto del deterioro de los tejidos del pescado. La cual junto a restos de grasas, aceites y combustibles de los motores de la sentina es expulsada al mar, formándose "halos aceitosos" con materiales suspendidos, que modifican la calidad del agua (Church, y col., 2022). Además, se ha señalado que la mala gestión de estos subproductos puede dar lugar a la presencia de contaminantes como metales pesados, microorganismos patógenos y contaminantes emergentes, que podrían transferirse a través de la cadena alimenticia hacia los peces en cautiverio (Cabello y col., 2013; Watts y col., 2017)

1.3. *Tenebrio molitor*

Desde la década de los 60's, los insectos han sido evaluados y utilizados como una fuente alternativa de proteína para la alimentación animal (Calvert y col., 1969). Su importancia ha incrementado debido al aumento en la demanda de harina y aceite de pescado utilizados en la acuicultura, cuyos costos y disponibilidad representan una problemática para el sector. A diferencia de la harina de pescado, la producción de harina de insecto requiere menor cantidad de agua, espacio y recursos energéticos, además de tener una menor huella de impacto ambiental. Los insectos constituyen más de la mitad de la biodiversidad del planeta y son una fuente natural de alimento para los peces, especialmente para los organismos acuáticos, ya que estos necesitan cantidades altas de proteínas en sus dietas (Nogales-Mérida y col., 2019 ; Van Huis, 2020). Dentro de las especies evaluadas y utilizadas experimentalmente para la producción de alimentos acuícolas, se encuentran las siguientes siete especies de insectos

Cuadro 1. Especies de insectos reportadas en la literatura

Nombre Común	Nombre científico	Orden (Familia)	Referencia
Grillo doméstico	<i>Acheta domestica</i>	Orthoptera: Gryllidae	(Hessler-Frelinckx y col., 2019)
Grillo rayado	<i>Gryllodes sigillatus</i>	Orthoptera: Gryllidae	(Vandeweyer y col., 2018)
Grillo de campo jamaicano	<i>Gryllus assimilis</i>	Orthoptera: Gryllidae	(Masson y col., 2020)
Gusano de seda	<i>Bombyx mori</i>	Lepidoptera: Bombycidae	(Hessler-Frelinckx y col., 2019)
Mosca soldado-negra	<i>Hermetia illucens</i>	Diptera: Stratiomyidae	(Barry y col., 2004)
Mosca doméstica	<i>Musca domestica</i>	(Diptera: Muscidae)	(Malik y col., 2007)
Gusano de la harina amarilla	<i>Tenebrio molitor</i>	(Coleoptera: Tenebrionidae).	(Cruz-Fagua y col., 2021)

Estas siete especies son las más estudiadas en la sustitución de fuentes de proteínas en alimentos acuícolas. Estos organismos fueron aprobados para la producción de alimentos en acuicultura según la legislación de la Unión Europea (UE) (Cruz- Fagua, 2021). El gusano de la harina es un coleóptero de color castaño oscuro; de metamorfosis holometábola que

presenta 4 fases (huevo, larva, pupa y adulto). Una vez eclosionan los huevos y salen las rimeras larvas, pasan entre 8 y 12 mudas antes de pupar y de 6 a 8 días para la emergencia de los adultos (Arellano y Velásquez, 2007). El ciclo de vida de *Tenebrio molitor* muestra una duración que puede comprender de 280 a 600 días. Las hembras pueden depositar entre 250 a 1000 huevecillos los cuales son incubados durante aproximadamente 10 a 12 días, en una temperatura 18º a 20ºC. Al cabo de este tiempo eclosionan larvas blancas que van adquiriendo un color amarillento a medida que crecen, las cuales en su estado de desarrollo miden de 2.5 a 3.75 cm de largo (Díaz-Gómez, 2014). Las larvas de *Tenebrio molitor* contienen entre un 40 % y 60 % de proteína, además de una cantidad significativa de lípidos, ácidos grasos poliinsaturados y micronutrientes esenciales como hierro, zinc y vitaminas del complejo B (Ramos-Elorduy y col., 2002; Van Huis y col., 2013). *Tenebrio molitor* destaca por sus beneficios en los aspectos productivos y ambientales. Su bioconversión es eficiente y su sistema de producción puede implementarse con sistemas de bajo costo, que requieren poca agua, espacio reducido y bajo consumo energético (Soto, 2003). Además, se utilizan residuos agroindustriales como sustrato de alimentación para su desarrollo, lo cual contribuye la valorización de subproductos orgánicos y reduce la generación de desechos (Makkar y col., 2014). En el ámbito de la acuicultura, múltiples estudios han explorado la sustitución de la harina de pescado por harina de *Tenebrio molitor* en dietas para peces. Las investigaciones reportaron una alta aceptabilidad de esta proteína por parte de especies como bagre *Silurus bagre* (Ariidae:Siluriformes), tilapia *Oreochromis* (Cichlidae:Oreochromis), y carpas *Cyprinus carpio* (Cyprinidae: Cypriniformes), sin afectar el rendimiento reproductivo (Sánchez-Muros y col. 2016). *Tenebrio molitor* tiene la capacidad de producir biomasa en un breve periodo, debido a su corto ciclo de vida, una elevada tasa de conversión alimenticia y eficiencia reproductiva

(Roso, 2024). En este sentido, la evaluación del uso de harina de *Tenebrio molitor* en organismos como *Poecilia reticulata*, debido a su hipersensibilidad a cambios nutricionales, su respuesta ante formulaciones de dietas experimentales basadas en insectos puede proporcionar indicadores confiables sobre la eficacia y seguridad de este tipo de ingredientes (Melgoza, 2023).

I.4. Desarrollo de dietas

Debido al crecimiento continuo de la población humana y la constante expansión del sector productivo, desde la década de los 90's el consumo de productos marinos se satisface principalmente con la acuicultura que, con la pesca de captura, mostrando un incremento exponencial (Velasco-Garzón, 2020). La harina de pescado constituye la principal fuente proteica utilizada en dietas comerciales para peces debido a su valor nutricional. Sin embargo, en los últimos años esta dependencia de las harinas y aceites de pescado está siendo cuestionada por razones ambientales, sociales y económicas (Hussein,y col., 2023). Tradicionalmente, la harina y el aceite de pescado han sido los ingredientes más utilizados en dietas comerciales acuícolas debido a que la harina de pescado tiene en su composición aminoácidos esenciales mientras que el aceite de pescado proporciona ácidos graso y omega-3 de cadena larga (Olsen y Hasan, 2012). Sin embargo, la dependencia a la captura de peces para la piscicultura es cada vez menos sostenible, debido al incremento de la contaminación del ecosistema marino. Como consecuencia, la harina y aceite de pescado pueden contener contaminantes como bifenilos policlorados y dioxinas (Jacobs y col., 2022). Asimismo, la inestabilidad y el incremento de los precios de la harina de pescado se han convertido en una preocupación para los productores acuícolas (Olsen y Hasan, 2021). Además, el consumo de harina y aceite de pescado incremento en el año 2007, llegando a representar el 88% del consumo mundial de fuentes proteicas en este sector (Tacon y

Metian, 2008). De igual manera, la disponibilidad de este recurso ha mostrado una decadencia significativa. Entre 1994 y 2012 la producción de harina de pescado disminuyó, manteniendo un rango de 5 a 6 millones de toneladas (Medale y col., 2013, FAO, 2014). En este contexto, se han explorado fuentes de proteínas alternativas que aseguren la viabilidad de la acuicultura como un sistema sostenible (Barroso y col., 2014). Entre las principales alternativas evaluadas fueron los insectos, subproductos agrícolas y leguminosas. En los últimos años, el uso de harina de insecto ha destacado debido a que diversas investigaciones han reportado una óptima respuesta de consumo, debido a su alto contenido proteico, perfil de aminoácidos esenciales y elevada digestibilidad en diversas especies acuícolas (Henry y col., 2015; Gasco y col., 2019). En el caso específico de la proteína obtenida de insectos como *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*, estudios recientes estiman que, los costos de producción deberían disminuir al menos 1,600 USD por tonelada de producto seco, ya que actualmente muchas industrias productoras de harina de pescado continúan reportando costos superiores de 3,700 USD por tonelada, principalmente debido a gastos energéticos, alimentación y escalamiento tecnológico (World Aquaculture, 2025). De manera similar, la reproducción de los insectos presenta ventajas ambientales y sostenibles, ya que pueden criarse en espacios reducidos, con bajo consumo de agua y aprovechando materia orgánica de subproductos (Van Huis, 2013; Makkar y col., 2014). Debido al alto crecimiento poblacional, el consumismo progresivo, la disminución de recursos hídricos y el aumento de la huella de carbono, resulta fundamental la producción de suficientes fuentes de proteína alternativas a las convencionales, tales como la harina de insectos, esto se debe a que es un componente estratégico para fortalecer la seguridad alimentaria en la formulación de dietas para la acuicultura ornamental, la cual busca mejorar la eficiencia y rentabilidad de sistemas acuícolas a nivel ornamental e industrial, reduciendo

la huella de carbono y promoviendo el uso de producción responsable a nivel ambiental.(Arsin y col., 2024).

II. OBJETIVOS

II.1. General

Desarrollar una dieta artificial a base de harina *Tenebrio molitor* para determinar su efecto en el crecimiento de *Poecilia reticulata* criada en condiciones de invernadero

II.2. Específicos

Evaluar dietas artificiales con diferentes concentraciones de harina de *Tenebrio molitor* como fuente proteica alternativa para la cría de *Poecilia reticulata* en condiciones de invernadero.

Evaluar parámetros de crecimiento, peso y reproducción de *Poecilia reticulata* alimentados con las diferentes dietas formuladas con harina *Tenebrio molitor*.

Proponer un plan para la reproducción en condiciones controladas y alimentado con harina de *Tenebrio molitor* para *Poecilia reticulata*.

III. METODOLOGÍA

III.1. Materia prima

La especie de *Poecilia reticulata* fue obtenida a partir de un pie de cría de una colonia establecida en el laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas de la Facultad de Química de la UAQ. La especie fue criada y reproducida en una pecera (57x27x36) cm en el invernadero para la Investigación sobre Alternativas Sustentables para el Manejo de Insectos y Plantas con un ciclo de gestación aproximado de 25 a 35 d (Shahjahan y col.,2014). Estos se mantuvieron con bomba de oxígeno, además se controló la temperatura en un rango 24-28 °C, se revisaron las condiciones establecidas diariamente, (Zdanovich y col.,2023). Cada 25 a 35 d, se separaron los alevines para trasladarlos a otra pecera (40x20x25) cm para su crecimiento y desarrollo. La alimentación de la población se realizó mediante hojuelas comerciales para peces tropicales marca LOMAS-Hojuelas básicas.

III.2. Formulación de dietas

Se realizó un bioensayo con la finalidad de evaluar el crecimiento y la reproducción en *Poecilia reticulata*, para esto se formularon cuatro dietas artificiales modificadas y una dieta control, tomando como base la propuesta por Anka y col. (2016), la cual contiene harina de camarón, harina de trigo, almidón, harina de maíz y aceite de soya. Las dietas fueron administradas a los peces diariamente. Cuadro 2. Insumos y composición porcentual en peso de las 5 dietas experimentales utilizadas para evaluar el desarrollo del pez guppy (*Poecilia reticulata*).

Ingredientes	Peso (%)			
	Dieta Control	TM10	TM20	TM30
Aceite de soya	5	5	5	5
Almidón	5	5	5	5
Harina de camarón	10	10	-	-
Harina de Maíz	20	20	20	20
Harina de pescado	20	-	30	-
Harina de <i>Tenebrio molitor</i>	-	10	20	30
Harina de trigo	40	40	40	40

Los componentes de la dieta fueron mezclados y posteriormente se añadió agua hasta formar una masa homogénea, esta mezcla se aplanó con un rodillo hasta 1 mm de espesor, posteriormente del aplanado se llevó a secado en un horno a 60°C por 24 h. Pasado este tiempo se trituro con un molino y se llevó a refrigeración para su conservación (Anka y col.,2016).

III.3. Pruebas preliminares

Para evaluar la aceptación de las dietas, se seleccionaron 10 alevines de *Poecilia reticulata* por tratamiento, mediante un muestreo aleatorio, criados previamente en condiciones controladas de invernadero. Cada grupo experimental recibió una de las dietas formuladas

y una dieta control, posteriormente se observó su comportamiento alimenticio. Durante las observaciones se revisó que no permanezcan residuos de alimento en el fondo, que los organismos se aproximen y consuman la dieta suministrada y que no se presenten eventos de mortalidad. Las mediciones se llevaron a cabo cada 2,4,6,8,12,16,24,48,96 h para determinar el grado de aceptación de cada dieta.

III.4. Implementación de las dietas durante el ciclo de vida

Una vez garantizada la aceptación de las dietas por parte de los alevines, se eligieron 25 especies al azar por cada tratamiento, los cuales se evaluaron desde el inicio de su ciclo de vida y se implementó una dieta control comercial, la cual solo se usó para los organismos que no estaban siendo parte del bioensayo, las dietas formuladas se mantuvieron hasta que alcanzaron la etapa adulta, aproximadamente a los 160 días de edad. Para llevar un seguimiento detallado de su crecimiento, los peces fueron pesados cada 10 d durante los 160 d utilizando una balanza de precisión OHAUS PA323C (USA, NJ). En cada medición, se registró el peso individual de los organismos, lo que permitió evaluar de manera precisa el efecto de las diferentes dietas a lo largo del ciclo de vida. Adicionalmente se calculó la tasa de crecimiento específica, se estimó el incremento de peso (WG g) por individuo y la tasa de supervivencia (Zuanon y col., 2020). Al alcanzar la edad adulta, se realizó un análisis de la proporción de machos y hembras por cada tratamiento para obtener la proporción sexual Macho: Hembra y su variación entre tratamientos (Magurran, 2005). Con el fin de determinar las condiciones adecuadas para maximizar el crecimiento, supervivencia y balance poblacional de la especie se evaluó la temperatura óptima para su desarrollo, la cual se determinará a partir de las mediciones registradas a lo largo de la experimentación, analizando en cuál de los tratamientos los peces mostraron un desarrollo normal y una mayor tasa de supervivencia. A los organismos que murieron de forma natural fueron

deshidratados y pulverizados para posterior realización de composta. Al finalizar el experimento *Poecilia reticulata* no se sometieron a procedimiento de eutanasia, ya que el estudio no contempla intervenciones invasivas ni manipulaciones que comprometan su bienestar, los organismos se reincorporaron bajo las mismas condiciones de mantenimiento en el sistema de invernadero, donde se mantendrán para la reproducción y futuras observaciones no experimentales (CCAC, 2020).

III.5. Análisis químico de las dietas experimentales.

El análisis químico se realizó en el laboratorio de química de alimentos del Instituto José Mario Molina Pasquel y Henríquez, en Arandas jalisco Mexico, siguiendo los métodos oficiales de la AOAC International (2005), para caracterizar el contenido nutricional de las dietas. La determinación de humedad y materia seca se llevó a cabo conforme al método AOAC 930.15. El procedimiento consistió en que las muestras fueron sometidas a secado en horno a 105 ± 2 °C hasta peso constante, la pérdida de peso se consideró como contenido de humedad, mientras que el residuo seco correspondió a la materia seca posteriormente, el contenido total de cenizas se cuantificó de acuerdo con el método AOAC 942.05, incinerando las muestras previamente secas en un horno tipo mufla a 550 ± 25 °C durante 6 horas, hasta obtener un residuo inorgánico de color blanco o gris claro, los resultados obtenidos se expresaron como un porcentaje relativo al peso inicial de la muestra (AOAC International, 2005). Por otra parte, el contenido de proteína se determinó mediante el método Kjeldahl, siguiendo el método oficial AOAC 2001.11. 1 g de muestra homogeneizada fue digerida con ácido sulfúrico concentrado en presencia de una mezcla catalizadora, convirtiendo el nitrógeno orgánico en sulfato de amonio, después la digestión fue neutralizada con hidróxido de sodio y sometida a destilación por arrastre de vapor. El amoníaco liberado fue capturado en una solución de ácido bórico y titulado con ácido

clorhídrico estandarizado. El contenido de nitrógeno se convirtió en proteína utilizando un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6.25 y de 5.60 para muestras de larvas (AOAC International, 2005). La determinación de contenido total de grasa se determinó mediante extracción Soxhlet, siguiendo el método AOAC 920.39C. Aproximadamente de 1 a 3 g de muestra seca y homogeneizada fue colocada en un dedal de celulosa y sometidos a reflujo continuo con éter de petróleo (40-60 °C) durante un periodo de 4 a 6 horas. Después de la extracción, el solvente se evaporó y la grasa extraída se secó a 100-105 °C hasta peso constante. El contenido de grasa se calculó gravimétricamente y se expresó como porcentaje de la muestra seca original (AOAC International, 2005). Finalmente, el contenido de carbohidratos se estimó por diferencia, de acuerdo con lo recomendado por la AOAC, calculándolo como el porcentaje restante después de restar de 100 la suma de los porcentajes de humedad, cenizas, proteína y grasa.

III.6. Análisis estadístico

Todos los datos recopilados se organizaron por tratamiento experimental para su posterior análisis estadístico para determinar si los datos se analizarían con pruebas paramétricas o no paramétricas, por lo cual se verificaron los supuestos del modelo evaluando la normalidad y homogeneidad de los datos mediante las pruebas de Ryan-Joiner, con el fin de determinar si las variables obtenidas seguían una distribución normal. Adicionalmente se aplicó la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas entre los tratamientos, para ambas pruebas se consideró que el supuesto se cumplía cuando el valor de p fue mayor a 0.05. Posterior a esto se realizó aplicando un ANOVA (análisis de varianza) de una vía para identificar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Al obtener diferencias significativas, se aplicó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey (HSD, *Honestly Significant Difference*) para identificar entre qué pares de

tratamientos ocurren las diferencias significativas, ambas con un intervalo de confianza del 95%, el análisis se llevó a cabo con el paquete estadístico SYSTAT9.

IV. RESULTADOS

IV.1. Análisis químico de las dietas formuladas para la reproducción de *Poecilia reticulata*

En el cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos de los análisis químicos de las dietas formuladas, en el cuanto al contenido de cenizas, el tratamiento controlH presentó el valor más alto 10.3%, lo que indica una mayor concentración de minerales, mientras que el tratamiento TM30 registró el valor más bajo 3.4%, evidenciando disminución conforme aumentó la concentración de harina de *Tenebrio molitor*, los tratamientos intermedios TM10 y TM20 mostraron valores de 6.3% y 6.6%. En cuanto a la humedad, el tratamiento TM30 presentó el valor más alto 12.03%, seguido de TM 11.8%, mientras que el menor contenido se observó en el ControlCC 9.07%. esto indica un incremento en la retención de agua en las dietas comerciales. Respecto a la materia seca, el tratamiento Control CC mostró el valor más elevado 90.9%, seguido de ControlH 89.3% y TM20 89.6%. mientras que TM30 presentó el valor más bajo 87.9%, lo cual coincide con un mayor contenido de humedad. En el análisis de proteína, el tratamiento ControlCC destacó con el mayor contenido de proteína 41.8%, mientras que los tratamientos restantes ControlH, TM10, TM20 y TM30 presentaron valores similares entre sí, en un rango de 20.9% a 22.09%. Por otro lado, el contenido de grasa el tratamiento Control CC registró el valor más alto 43.31%, seguido por TM20 40.9% y TM10 35.7%, el valor más bajo se observó en TM30 28.09, mostrando una tendencia a disminuir en los niveles más altos de concentración de *Tenebrio molitor*. Finalmente, en el contenido de carbohidratos, el tratamiento TM30 presentó el valor más alto 45.9%, seguido de ControlH 37.3% y TM10 37.2%, el tratamiento ControlCC mostró el valor más bajo 9.5%, mostrando una relación inversa con los contenidos de proteína y grasa.

Cuadro 3. Análisis químicos de las dietas experimentales

Trat.	Ceniza	Humedad	Materia seca	Proteína	Grasa	Carbohidratos
ControlH	10.3±0.06A	10.7±0.06C	89.3±0.06B	21.07±1.4B	32.4±1.4D	37.3±1.2B
ControlCC	5.5±0.4C	9.07±0.4D	90.9±0.4A	41.8±0.9A	43.31±0.6A	9.5±0.3D
TM10	6.3±0.05B	11.8±0.20B	88.2±0.2C	20.9±0.2B	35.7±0.97C	37.2±1.1B
TM20	6.6±0.2B	10.4±0.02C	89.6±0.02B	21.9±1.1B	40.9±0.7B	31.04±0.3C
TM30	3.4±0.4D	12.03±1.8A	87.9±1.8D	22.09±1.2B	28.09±0.2E	45.9±1.8A

Los valores corresponden al promedio de 3 muestras de las diferentes dietas artificiales elaboradas. Trat. =Tratamiento, Control H.=Control elaborado a partir de la bibliografía; Control CC.= hojuelas comerciales; TM10= 10% *Tenebrio molitor*, TM20= 20% *Tenebrio molitor*, TM30= 30% *Tenebrio molitor*, Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05)

IV.2. Evaluación del peso de *Poecilia reticulata*.

En el cuadro 4 se reportan los valores de los pesos registrados en la evaluación del peso de *Poecilia reticulata* durante el periodo experimental de 0–160 d, considerado el tiempo aproximado para alcanzar la edad adulta, en el cual se observó un incremento en todos los tratamientos, aunque con diferencias en la tasa de crecimiento y en los pesos finales. Al comienzo del bioensayo los organismos presentaron pesos similares entre tratamientos, con valores entre 6.4–7.6 mg. Durante los primeros 20 d, el crecimiento no mostro diferencias significativas; sin embargo, el tratamiento TM20 comenzó a incrementar a partir de los 10 d, mostrando valores superiores respecto a los demás tratamientos. A partir de los 40 d, todos los tratamientos presentaron un incremento notorio en peso; sin embargo, TM20 mostro los valores más altos, con 58.4 mg, mientras que el control permaneció con los valores más bajos 40.mg. Durante el periodo intermedio (50–100 d), los tratamientos

experimentales TM10, TM20 y TM30 presentaron un incremento similar con pesos entre 60 y 75 mg. No obstante, TM20 continuó mostrando el peso más elevado, mientras que el control se mantuvo por debajo, con valores entre 40.2m g y 58.8 mg. Entre los días 110 y 140, las diferencias entre tratamientos fueron más notorios. El tratamiento TM20 alcanzó valores de 69.2 mg a 110 días y 79.4 mg a 140 días, superando al control, que mostró 66.2 mg y 71.2 mg en los mismos periodos. Por otra parte, TM10 y TM30 mostraron valores intermedios, con incrementos constantes sin diferencias significativas. Finalmente, al llegar a la edad adulta después de 160 días, el tratamiento TM20 presentó el mayor peso final 97 mg, mostrando la mayor tasa de crecimiento. Los tratamientos TM10 y TM30 presentaron un peso de 84.2 mg y 84.6 mg mostrando resultados similares entre sí, el tratamiento control registró el menor peso final 75.4 mg. Los resultados indican que la adición de harina de *tenebrio molitor*, promueve el crecimiento de los organismos durante su ciclo de vida; sin embargo, el tratamiento TM20 presentó una alta tasa de crecimiento desde el inicio del ciclo de vida hasta alcanzar la edad adulta, mientras que el tratamiento control, presentó los valores más bajos de peso durante todo el periodo experimental.

Cuadro 4. Peso de larvas y adultos de *Poecilia reticulata* alimentados con harina de *Tenebrio molitor*

Trat	0d	10d	20d	30d	40d	50d	60d	70d	80d	90d	100d	110d	120d	130d	140d	150d	160d
TM10	6.8 ± 1A	10.6± 1.7A	9.8 ± 1.02B	34.8± 2.5B	46.6± 2.6B	67.4± 3.6A	67.4 ± 1.8A	69.6± 3.7A	72.8 ± 3.2A	75 ± 4.9A	74.8± 2.2A	76.4± 2.2A	78 ± 3.9A	79.8± 3.7A	78 ± 2.5A	81.6± 5.2A	84.2± 4.4AB
TM20	6.4± 1A	17± 1A	20.6 ± 2.5AB	52.8± 3.1A	58.4± 2.6A	61.6± 3.4A	61.2 ± 3.5A	62.4± 4.3A	63.8 ± 2.5AB	66.6 ± 2.6AB	67.4 ± 2.1AB	69.2± 2.8A	69.8± 5.5A	76 ± 4.8A	79.4± 4.4A	84.2± 2.9A	97± 3.6A
TM30	7.6± 1A	13 ± 1.3AB	23.8 ± 1.4A	51.6± 2.5A	62.8± 3.4A	62.6± 3.6A	64.8 ± 3.7A	67.4± 2.3A	69.8 ± 1.6A	69.2 ± 2.8AB	73.2 ± 4.5A	76.2± 3.7A	79.8± 2.7A	80 ± 12A	81.2± 3.5A	82 ± 3.1A	84.6± 4.1AB
Control	7.6± 1A	10.8± 0.6B	18.2 ± 2.2AB	24.2± 2.6B	40.6± 0.9B	40.2± 3B	45.2 ± 1.7B	48 ± 2.3B	58.4 ± 1.0B	58 ± 2.3B	58.8 ± 2.7B	66.2± 3.2A	69.2± 2.2A	69.2± 2.2A	71.2± 1.6A	71.6± 1.6A	75.4± 2.5B

Trat. =Tratamiento, ControlH.=Control elaborado a partir de la bibliografía; ControlCC.= hojuelas comerciales; TM10= 10% *Tenebrio molitor*, TM20= 20% *Tenebrio molitor*, TM30= 30% *Tenebrio molitor*, Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05)

IV.6. Mortalidad de *Poecilia reticulata* alimentada con *Tenebrio molitor*

En el cuadro 5 se presenta la mortalidad observada en los tratamientos, el tratamiento TM30 presentó los valores más altos de supervivencia, manteniéndose en un rango de 90.5% desde el comienzo del bioensayo hasta la etapa adulta considerada en 160 días, lo que indica una menor mortalidad en comparación con los otros tratamientos. Por otra parte, el tratamiento TM20 mostró una supervivencia intermedia, alrededor del 88% durante todo el bioensayo excepto al final del experimento descendiendo a 80%. Por otra parte, el tratamiento TM10 presentó los valores más bajos de supervivencia, disminuyendo de 100% en los primeros días hasta 73.9% al final del experimento, evidenciando una mayor mortalidad en el tratamiento. En general, a partir de los 30 días comenzaron a observarse diferencias marcadas entre tratamientos. Estas diferencias se mantuvieron constantes hasta el final del experimento.

Cuadro 5. Mortalidad de larvas y adultos de *Poecilia reticulata* alimentada con *Tenebrio molitor*.

Trat	0d	10d	20d	30d	40d	50d	60d	70d	80d	90d	100d	110d	120d	130d	140d	150d	160d
TM10	100 ± 0A	100 ± 0A	100± 0A	91.3 ± 6A	78.3 ± 8.8A	78.3± 8.8A	78.3 ± 8.8A	77.3 ± 9.1A	77.3± 9.1A	77.3 ± 9.1A	77.3± 9.1A	77.3 ± 9.1A	77.3 ± 9.1A	77.3 ± 9.1A	77.3 ± 9.1A	77.3± 9.1A	73.9± 9.4A
TM20	100 ± 0A	92 ± 5.5A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	88 ± 6.6A	80 ± 5.8A
TM30	100 ± 0A	95.2 ± 4.8A	90.5± 6.6A	90.5± 6.6A	90.5± 6.6A	90.5± 6.6A	90.5 ± 6.6A	90.5 ± 6.6A	90.5± 6.6A	90.5 ± 6.6A	90.5± 6.6A	90.5 ± 6.6A	90.5 ± 6.6A	90.5± 6.6A	90.5 ± 6.6A	90.5± 6.6A	90.5± 6.6A
Control	100 ± 0A	100 ± 0A	100± 0A	88 ± 6.6A	84 ± 7.5A	84 ± 7.5A	84 ± 7.5A	84 ± 7.5A	84 ± 7.5A	84 ± 7.5A	80± 8.2A	80 ± 8.2A	80 ± 8.2A	80 ± 8.2A	80 ± 8.2A	80 ± 8.2A	84 ± 8.1A

Los valores corresponden al promedio de 25 datos ± error estándar. Trat= Tratamiento TM10= 10% *Tenebrio molitor* TM20= 20% *Tenebrio*

molitor TM30= 30% *Tenebrio molitor*. Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05)

V.7. . Proporción Machos: Hembras de los diferentes tratamientos experimentales

En la figura 1 se presenta la proporción de machos y hembras de *Poecilia reticulata*, el tratamiento control mostró una mayor proporción de machos obteniendo el 60%, en comparación con hembras 40%, indicando una tendencia hacia la dominancia masculina en ausencia de harina de *Tenebrio molitor*. Por otra parte, el tratamiento TM10 presentó una mayor proporción de hembras, 55%, respecto a machos 45%, mostrando un cambio en la distribución sexual en comparación con el control. En el tratamiento TM20, se registró una mayor cantidad de machos 59% siendo el tratamiento con la mayor proporción de machos. En contraste, el tratamiento TM30 mostró una proporción más equilibrada, con 48% de machos y 52% de hembras, siendo el tratamiento con la distribución más homogénea.

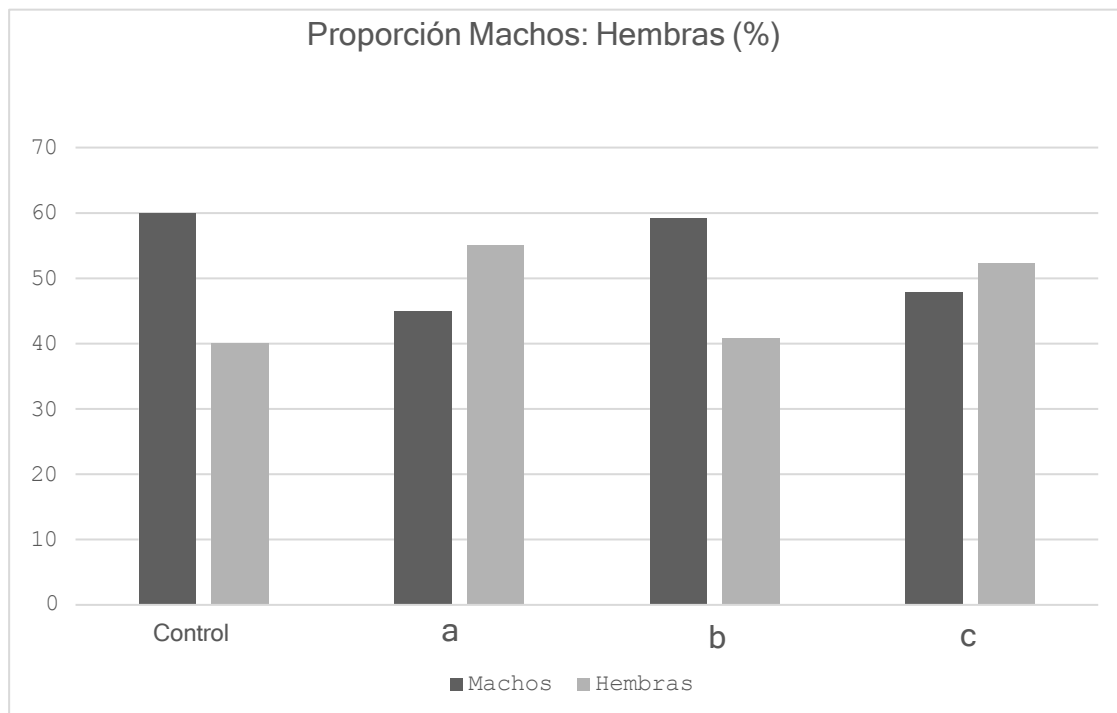


Figura 1. Proporción Machos: Hembras para las diferentes dietas experimentales

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

VI.1. Análisis químico de las dietas formuladas

En relación con la optimización nutricional, diversos estudios han evaluado el efecto de la modificación de dietas mediante la incorporación de proteínas y diferentes compuestos. En este sentido, en el trabajo realizado por Ríaz y col. (2003) evaluaron dietas artificiales compuesta por salvado de trigo, las cuales se prepararon a partir de distintas fuentes alimenticias. Entre ellas se incluyó el alimento de nombre comercial Ospor, el cual contiene esporas de *Bacillus clausii*, 2 mil millones de UFC/5 mL, y el alimento de nombre comercial Imutec que contiene *Bifidobacterium* + *Lactobacillus rhammossus* (26 mg + 19 mg) con una concentración de 12 mil millones de UFC/1g. A partir de los análisis bioquímicos realizados para evaluar la optimización del crecimiento y cría del gusano de la harina (*T. molitor*), los autores reportaron un mayor contenido proteico con el tratamiento Imutec de hasta 58.91%. Asimismo, el contenido total de grasa mostro un 16.11%, indicando una proporción considerable de lípidos, mientras que el contenido de cenizas mostro un resultado de 7.73%. En el estudio de Chavez y col. (2014) utilizaron larvas de *Tenebrio molitor* alimentadas con diferentes tipos de sustratos, los sustratos utilizados fueron: salvado, tortilla-avena, tortilla-salvado y tortilla-avena, reportando el mayor contenido proteico en las larvas alimentadas con tortilla-salvado 65.3% y tortilla-avena 61.5%. Por otra parte Kröncke y col. (2023) evaluaron dietas con diferentes compuestos como: harina de proteína de guisante, harina de proteína de arroz, harina de altramuz dulce, harina de yuca, copos de patata y salvado de trigo como grupo control. Los autores reportaron una mayor eficiencia con la harina de proteína de guisante con un contenido proteico de hasta 80%, un contenido de humedad de 2.7% y cenizas de 0.2% y harina de proteína de arroz- salvado de trigo con una proporción de (70-30) con un contenido proteico de 60%, un porcentaje de

humedad de 5.6% y 1.9% de ceniza. En este estudio, las dietas experimentales evaluadas mostraron un contenido proteico máximo de 22.09% en la dieta modificada con 30% de *Tenebrio molitor* y de 21.9% en la dieta con 20% de *Tenebrio molitor*, estos valores son entre 3 y 4 veces menores comparada con el estudio realizado por Chavez y col. (2014), Kröncke y col. (2023) y Ríaz y col. (2003), quienes registraron contenidos proteicos de hasta 80% dependiendo de la dieta suministrada. Por otra parte, respecto al contenido de humedad, los valores de 12.03% para 30% de inclusión y 10.4% para 20% de inclusión, fueron superiores alrededor de 1.2 veces mayores, respecto a los reportados por Kröncke y col. (2023) y Ríaz y col. (2003). En cuanto al contenido de grasa, los valores obtenidos en este trabajo fueron de 28.09% para 30% de *Tenebrio molitor* y 40.9% para 20% de *Tenebrio molitor* fue entre 1.7 y hasta 2.5 veces mayor en comparación con los obtenidos Ríaz y col. (2003) quienes obtuvieron un máximo de 16.11%. En cuanto a la obtención de ceniza, en el presente estudio se obtuvo un valor de hasta 6.6% en la dieta con 20% de *Tenebrio molitor* siendo 1.2 veces menor comparado con lo evaluado con Ríaz y col. (2003) el cual reporto un contenido de 7.73%.

VI.2. Evaluación del peso de *Poecilia reticulata*

En cuanto a la tasa de aceptación de *Poecilia reticulata* alimentado con harina de *T. molitor*. Kowalska y col. (2022) evaluaron la preferencia en *Poecilia reticulata*, usando diferentes harinas de insectos, incluyendo harina de mosca soldado negra *Hermetia illuces* (Diptera, Stratiomyomorpha) , harina de cucaracha de Madagascar *Gromphadorhina portentosa* (Blattodea, Blaberidae) y harina de gusano de la harina *Zophobas morio* (Coleoptera, Tenibronidae), con el objetivo de determinar el nivel de aceptación en el pez guppy (*Poecilia reticulata*), en la parte preliminar del estudio los autores observaron que la harina de *Zophobas morio* fue el alimento con mayor grado de aceptación, posteriormente,

se realizó una prueba de crecimiento utilizando una monodieta basada en dicha harina, en comparación con alimento comercial, los resultados indicaron que no existieron diferencias significativas en el incremento de tamaño de los peces entre ambos tratamientos, lo que demuestra que la inclusión de harina de *Zophobas morio* evaluado en adultos machos y hembras de *Poecilia reticulata*, es correctamente aceptado por la especie. En el presente estudio, a pesar de que no fue evaluada la tasa de preferencia de aceptación, se realizaron pruebas preliminares para determinar el nivel de aceptación de las dietas modificadas con *Tenebrio molitor* en *Poecilia reticulata*, demostrando que la sustitución de harina de pescado con harina de insecto es aceptada por la especie. Este es el único estudio que se ha encontrado para alimentar con harina de insecto ha *Poecilia reticulata*, sin embargo, hay diferentes estudios con otros peces. En este sentido Salomón y col. (2025) evaluaron el rendimiento reproductivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentados con larvas de (*Hermetia ilucens*), los cuales no mostraron una diferencia significativa en la tasa específica de crecimiento, reportando un porcentaje de 1.47% de incremento de peso por día, con la implementación de *Hermetia ilucens* a la dieta y 1.40% con la comida comercial, esto sugiere que sustituir harina de pescado por harina de insecto puede mantener parámetros similares. Mientras que Piccolo y col. (2017) reportó que la dieta con un 25% de concentración de harina de larvas de *Tenebrio molitor*, mostro un peso final de 294.6 g, evaluado para la dorada (*Sparus aurata*), comparado con la dieta control mostrando un peso final de 239.6 g después de 163 días. En el presente estudio, los tratamientos con inclusión de *Tenebrio molitor* mostraron un incremento progresivo en el peso de *Poecilia reticulata*, desde las primeras etapas del bioensayo comenzaron a observarse diferencias significativas entre tratamientos, a los 20 días, los tratamientos con 20% y 30% de inclusión de *T. Molitor* alcanzaron pesos de 20.6 mg y 23.8 mg, mientras que el tratamiento control

registró 18.2 mg. Estas diferencias se mantuvieron constantes durante gran parte de la experimentación hasta el final del estudio donde el tratamiento con 20% de *T. molitor* presento mayor peso registrado, alcanzando 97 mg mientras que el tratamiento control registro 75.4 mg, esto coincide parcialmente con lo registrado por Piccolo y col., ya que el tratamiento con 20% de inclusión presento mayor peso al final del bioensayo, superando a la inclusión de 30% de *T. molitor*.

VI.3. Mortalidad de *Poecilia reticulata* alimentada con *Tenebrio molitor*

Con respecto a la supervivencia de *Poecilia reticulata*, Kowalska y col. (2022) evaluaron diferentes harinas de insectos en *Poecilia reticulata* como, *Hermetia illucens*, *Gromphadorhina portentosa* y *Zophabas morio*, los autores encontraron que las dietas formuladas sustituyendo la harina de pescado con harina de insecto no afectaron negativamente en la supervivencia ni el crecimiento de los organismos, además de presentar una correcta aceptación de la dieta suministrada. De manera similar Jeong y col. (2020), evaluaron la inclusión de *Tenebrio molitor* en dietas para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), reportando una tasa mayor de crecimiento y una alta tasa de supervivencia de la especie alimentada con harina de *T. molitor*. Por otra parte, Piccolo y col. (2017) reportaron que inclusiones en bajas concentraciones de *T. molitor* en dietas para la dorada (*Sparus aurata*) no afecta la supervivencia de los peces y favorece la reproducción, esto coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde los peces alimentados con dietas modificadas con *Tenebrio molitor* mantuvieron porcentajes de supervivencia elevados. Los tratamientos evaluados mantuvieron porcentajes similares durante el periodo experimental, lo que indica que la formulación de dietas con inclusión de *T. molitor* fueron aceptadas por la especie *Poecilia reticulata* y no generaron efectos negativos sobre la tasa de supervivencia., el tratamiento con 30% de inclusión de *T. molitor*

presentó los mejores resultados, manteniendo una tasa de supervivencia de 90.5% superando al tratamiento control, por otra parte el tratamiento con 10% de inclusión presentó valores finales de 77.3% siendo 1.2 veces menor respecto al tratamiento con 30% de harina de *Tenebrio molitor*, estas diferencias sugieren que la respuesta de los organismos se puede relacionar con la composición nutricional de cada dieta y con el nivel de concentración de la harina de insecto,

VI.4. Proporción Machos: Hembras de los diferentes tratamientos experimentales

La proporción sexual observada en el presente estudio mostró variaciones entre tratamientos, aunque sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre machos y hembras. Resultados similares reportaron Kamaszewski y col. (2020), quienes señalaron que la diferenciación sexual en *Poecilia reticulata* puede verse influenciada por diversos factores fisiológicos y ambientales durante el desarrollo gonadal. Asimismo, Karayücel y col. (2006) evaluaron las variaciones en las condiciones de cultivo, particularmente la temperatura, pueden modificar la proporción sexual en poblaciones de *Poecilia reticulata*, observando una tendencia hacia una mayor proporción de machos en determinadas condiciones ambientales. Asimismo, Magurran (2005) describe que las poblaciones del pez guppy presentan una alta plasticidad reproductiva y variaciones naturales en la proporción macho:hembra dependiendo de las condiciones ambientales y nutricionales. Esto podría explicar las diferencias estadísticamente no significativas observadas entre tratamientos en el presente estudio, donde algunos tratamientos mostraron una ligera predominancia de machos, mientras que otros presentaron un mayor porcentaje de hembras.

VII. CONCLUSIONES

Se desarrollaron 3 dietas con diferentes concentraciones, 10%, 20% y 30% de harina de *Tenebrio molitor*, las cuales fueron aceptadas por larvas de *Poecilia reticulata*, los resultados

obtenidos demostraron que la dieta con 20% de harina de *Tenebrio molitor* alcanzo un peso final de 97 mg comparado con el control el cual alcanzo un peso final de 84.2 mg. En cuanto a la tasa de supervivencia; el tratamiento con 30% de harina de *Tenebrio molitor* obtuvo el mayor porcentaje de supervivencia, mostrando un 90.5% al final del periodo experimental, por otra parte, en la proporción machos: hembras la dieta con 30% de harina de *Tenebrio molitor* mostró una mayor proporción en hembras obteniendo un 52% y en machos un 48%. Se encontró que las condiciones adecuadas para el crecimiento de las larvas de *Poecilia reticulata* fueron mantener la temperatura en un rango de 24-28°C, con un fotoperiodo de 14:10, oxigenación constante, limpieza adecuada en su hábitat y una alimentación diaria para la especie. Con base en esto se recomienda seguir haciendo evaluaciones para la mejor dieta determinada como la de 20% de harina de *Tenebrio molitor* para la aceptación y crecimiento con diferentes especies de peces y con harinas de otros insectos para determinar su efectividad.

BIBLIOGRAFIA

- Alejandro-Castellanos, L. R., Devezé-Murillo, P., Mora-Brito, Á. H., & Villagómez-Cortés, J. A. (2020). Potencial del agroturismo como actividad emergente en el municipio de Cuitláhuac, Veracruz, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 30(55), 1–28. <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.841>
- Anculle Carhuas, J. J. (2023). *Estimación de la degradabilidad ruminal in situ de la harina de larva y pupa de la mosca soldado negro (Hermetia illucens) como alimento para ganado lechero Arequipa-Perú 2018* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12381>
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed., Rev. 2). AOAC International.
- Arsin, N. E., Fui Fui, C., Mustafa, S., & Estim, A. (2024). Promoting sustainable food security: Integrating mealworms (*Tenebrio molitor*) as a nutrient-rich feed source in aquaculture. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 51(8), 70–81.
- Aufiero, H. M. R.-L., et al. (2020). The feasibility of using yellow mealworms (*Tenebrio molitor*): Towards a sustainable aquafeed industry. *Animals*, 11(3), 811. <https://doi.org/10.3390/ani11030811>
- Bell, GP (1990). Aves y mamíferos con una dieta de insectos: una introducción al análisis de la composición de la dieta en relación con la energética ecológica. *Estudios en biología aviar*, 13.
- Briones-Chamba, H. E., & Solórzano-Solórzano, M. D. (2018). Evaluación del impacto de las aguas residuales del cultivo de camarón a través de ensayos de exposición forzada: Alevines de guppy (*Poecilia reticulata*) como bioindicador. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU*, 1(2), 9–20.
- Bruno, A., Sandionigi, A., Panio, A., Rimoldi, S., Orizio, F., Agostinetti, G., Hasan, I., Gasco, L., Terova, G., & Labra, M. (2023). *Aquaculture ecosystem microbiome at the water-fish interface: The case-study of rainbow trout fed with Tenebrio molitor novel diets*. *BMC Microbiology*, 23, 248. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02990-y>
- Campton, D. E., & Gall, G. A. E. (1988). Effects of individual and group mating on the reproductive success of guppies (*Poecilia reticulata*). *Aquaculture*, 73(1–4), 273–281. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90068-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90068-7)
- Carriquiriborde, P. (Coord.). (2021). *Principios de ecotoxicología*. Editorial de la Universidad

<https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/1663>

Castañeda-Cortés, D. C., Zhang, J., Boan, A. F., Langlois, V. S., & Fernandino, J. I. (2020). *High temperature stress response is not sexually dimorphic at the whole-body level and is dependent on androgens to induce sex reversal. General and Comparative Endocrinology*, 299, 113605.

<https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113605>

Castañó, A., Cantarino, M. J., Castillo, P., & Tarazona, J. V. (1996). Correlations between the RTG-2 cytotoxicity test EC50 and in vivo LC50 rainbow trout bioassay. *Chemosphere*, 32(11), 2141-2157. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00084-3](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00084-3)

Chemello, G., Renna, M., Caimi, C., Guerreiro, I., Oliva-Teles, A., Enes, P., Biasato, I., Schiavone, A., Gai, F., & Gasco, L. (2020). *Partially defatted Tenebrio molitor larva meal in diets for grow-out rainbow trout, Oncorhynchus mykiss (Walbaum): Effects on growth performance, diet digestibility and metabolic responses. Animals*, 10(2), 229. <https://doi.org/10.3390/ani10020229>

Church, S. P., Eskandarloo, H., Vyrides, I., & Magnusson, K. (2022). Biodegradation and optimization of bilge water in a sequencing batch reactor using response surface methodology. *Chemosphere*, 286, 133141. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133141>

Cruz Fagua, D., & Arévalo Arévalo, H. (2021). *Artrópodos: Producción de grillos de forma sustentable*. Editorial Universidad de la Amazonia. <https://doi.org/10.5294/978-958-12-0594-3>

Dahlgren, B. T. (1979). The effects of population density on fecundity and fertility in the guppy, *Poecilia reticulata* (Peters). *Journal of Fish Biology*, 15(1), 71-91. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1979.tb03572.x>

Deacon, A. E., Ramnarine, I. W., & Magurran, A. E. (2019). How behavior influences the success of an invasive fish species: A case study of the guppy (*Poecilia reticulata*). *Behavioral Ecology*, 30(3), 724-734. <https://doi.org/10.1093/beheco/arz016>

Dussenne, M., Gennotte, V., Rougeot, C., Mélard, C., & Cornil, C. A. (2020). *Consequences of temperature-induced sex reversal on hormones and brain in Nile tilapia (Oreochromis niloticus). Hormones and Behavior*, 121, 104728. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2020.104728>

Fent, K., Weston, A. A., & Caminada, D. (2006). Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology*, 76(2), 122-159. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.09.009>

Gasco, L., Józefiak, A., & Henry, M. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in*

Aquaculture, 11(4), 1080-1103. <https://doi.org/10.1111/raq.12281>

Habte-Tsion, H.-M., et al. (2024). Effects of fishmeal substitution with mealworm meals (*Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus*) on the growth, physiobiochemical response, digesta microbiome, and immune gene expression of Atlantic salmon (*Salmosalar*). *Aquaculture Nutrition*, 2024, 661811 <https://doi.org/10.1155/2024/6618117>

Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>

Hepher, B. (1988). *Nutrition of pond fishes*. Cambridge University Press.

Hester, F. J. (1964). Effects of food supply on fecundity and sex ratio in the guppy, *Lebistes reticulatus* (Peters). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 21(2), 313-316. <https://doi.org/10.1139/f64-031>

Hoffmann, L., et al. (2020). *Dietary inclusion of Tenebrio molitor meal in sea trout larvae rearing: Effects on fish growth performance, survival, condition, and GIT and liver enzymatic activity*. *Annals of Animal Science*, 20(2), 579-598. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0002>

Hussein, M., et al. (2023). Australia's aquaculture industry increasingly adopts alternative feeds, with less than 15% containing fishmeal.

Iannacone, J., Onofre, R., & Huanqui, O. (2007). Efectos ecotoxicológicos del cartap sobre *Poecilia reticulata* "guppy" y *Paracheirodon innesi* "neon tetra". *Gayana*, 71(2), 170-177. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382007000200005>

Jacobs, M. N., Covaci, A., & Schepens, P. (2022). Persistent organic pollutants in fishmeal and fish oil: Implications for aquaculture and food safety. *Aquaculture Research*, 53(5), 1875-1890. <https://doi.org/10.1111/are.15741>

Jeong, S. M., Khosravi, S., Mauliasari, I. R., & Lee, S. M. (2020). Evaluation of mealworm, *Tenebrio molitor*, as a sustainable dietary protein source for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s41240-020-00158-7>

Johnstone, R., Macintosh, D. J., & Wright, J. M. (2020). Sex reversal of female rainbow trout by immersion in 17 α -methyltestosterone. *Aquaculture*, 528, 735535. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735535>

Kamaszewski, M., Skrobisz, M., Wójcik, M., Kawalski, K., Szczepański, A., Bujarski, P., Szudrowicz, H., Herman, A. P., & Martynow, J. (2020). The role of transcription factors in

gonad development and sex differentiation of a teleost model fish—Guppy (*Poecilia reticulata*). *Animals*, 10(12), 2401. <https://doi.org/10.3390/ani10122401>

Karayücel, I., Çelik, M. Y., Karayücel, S., & Aral, O. (2006). Effects of temperature on sex ratio in guppy (*Poecilia reticulata* Peters 1859). *Aquaculture Research*, 37(14), 1396-1400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01574.x>

Kowalska, A., Nogales-Mérida, S., Mazurkiewicz, J., & Zieliński, K. (2022). The first insight into full-fat superworm (*Zophobas morio*) meal in guppy (*Poecilia reticulata*) diets: A study on multiple-choice feeding preferences and growth performance. *Annals of Animal Science*, 22(2), 613-624. <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0072>

Li, M., Wang, D., Yang, Y., Zhang, Y., & Duan, M. (2021). Production of neo-male mandarin fish *Siniperca chuatsi* by masculinization with orally administered 17 α -methyltestosterone. *Aquaculture*, 530, 735904. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735904>

Magalhães, A. L. B., Jacobi, C. M., & Andrade, D. P. (2021). Guppy (*Poecilia reticulata*) as a model species in environmental toxicology: A review. *Environmental Pollution*, 276, 116716. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116716>

Magurran, A. E. (2005). *Evolutionary ecology: The Trinidadian guppy*. Oxford University Press.

Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

Miliou, H., Zaboukas, N., & Moraitopoulou, M. (1998). Biochemical composition, growth, and survival of the guppy (*Poecilia reticulata*) during chronic sublethal exposure to cadmium. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 35, 58-63. <https://doi.org/10.1007/s002449900343>

Moreira, N. R., Cardoso, C., Dias, R. O., Ferreira, C., & Terra, W. R. (2017). A physiologically-oriented transcriptomic analysis of the midgut of *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology*, 99, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.03.009>

Newman, M. C. (2020). *Fundamentals of ecotoxicology: The science of pollution* (5th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429191016>

Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., & Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103. <https://doi.org/10.1111/raq.12281>

- Oonincx, D. G. A. B., & de Boer, I. J. M. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: A life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12), e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- Olsen, R. E., & Hasan, M. R. (2012). *A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper.
- Ortega-Recalde, O., Goikoetxea, A., Hore, T. A., Todd, E. V., & Gemmell, N. J. (2020). *The genetics and epigenetics of sex change in fish*. *Annual Review of Animal Biosciences*, 8, 47-69. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083634>
- Örücü, E. Ö., & Ünlü, E. (2012). Acute toxic effects of fenpyroximate acaricide on guppy (*Poecilia reticulata* Peters, 1859). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 33(3), 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2011.12.011>
- Pandey, R., Tripathi, M., & Singh, J. (2018). Impact of industrial wastewaters on the fish *Poecilia reticulata*: Integrating wastewater toxicity with ecological safety. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(Suppl. 1), 1296-1299.
- Pandian, T. J., & Sheela, S. G. (1995). Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture*, 138(1-4), 1-22. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01075-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01075-0)
- Peña, E., & Marañón-Herrera, S. (1998). Efecto del pH sobre la proporción de sexos, el crecimiento y la sobrevivencia del guppy *Poecilia reticulata* Peters, 1859. *Hidrobiológica*, 8(2), 125-132.
- Perera, W. N. S., & Bhujel, R. C. (2022). Replacing fishmeal with cricket meal (*Gryllus bimaculatus*) in diets for guppy (*Poecilia reticulata*). *Aquaculture Reports*, 25, 101260. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101260>
- Piccolo, G., Iaconisi, V., Marono, S., Gasco, L., Loponte, R., Nizza, S., Bovera, F., & Parisi, G. (2017). Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Animal Feed Science and Technology*, 226, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.02.007>
- Ramos-Elorduy, J. (2009). Insects as a source of protein in the future. En M. G. Paoletti (Ed.), *Ecological implications of minilivestock* (pp. 263-291). Science Publishers. <https://doi.org/10.1201/9780429188894>
- Rema, P., Saravanan, S., Armenjon, B., Motte, C., & Dias, J. (2019). *Graded incorporation of defatted yellow mealworm (Tenebrio molitor) in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) diet improves growth performance and nutrient retention*. *Animals*, 9(4), 187.

<https://doi.org/10.3390/ani9040187>

Rodrigues-Filho, J. A., Garcia, C. E. O., Chehade, C. G., Sanches, E. G., Borella, M. I., Lo Nostro, F. L., Araújo, B. C., Branco, G. S., & Moreira, R. G. (2020). *Gonadal remodeling and hormonal regulation during sex change of juvenile dusky grouper *Epinephelus marginatus*. Fish Physiology and Biochemistry*, 46(5), 1809-1824. <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00830-8>

Salomón, R., & Cerdán, D. (2024). *Evaluación del rendimiento productivo de juveniles de *Oreochromis niloticus*, alimentados con molienda de larvas de *Hermetia illucens* en un sistema biofloc. Compendio de Ciencias Veterinarias*, 14(2), 32-40. Recuperado de: <https://revistascientificas.una.py/index.php/comp/article/view/5311>

Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2016). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>

Seminario Cunha, A., Abanto Rodríguez, C., Añaños Bedriñana, M. A., & Chávez Angulo, H. O. (2022). *La alimentación de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)) en la acuicultura peruana. Revista Ciencia Norandina*, 5(2), 173-191. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2022v5n2p173>

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds. *Aquaculture*, 285(1-4), 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>

Terova, G., Gini, E., Gasco, L., Moroni, F., Antonini, M., Rimoldi, S., et al. (2021). *Effects of full replacement of dietary fishmeal with insect meal from *Tenebrio molitor* on rainbow trout gut and skin microbiota. Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12, 30. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00551-9>

Thongprajukaew, K., & Kovitvadhi, U. (2013). Effects of sex on characteristics and expression levels of digestive enzymes in the adult guppy *Poecilia reticulata*. *Zoological Studies*, 52(3). <https://doi.org/10.1186/1810-522X-52-3>

Truhaut, R. (1977). Ecotoxicology: Objectives, principles and perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1(2), 151-173. [https://doi.org/10.1016/0147-6513\(77\)90002-3](https://doi.org/10.1016/0147-6513(77)90002-3)

Tuckett, Q. M., Lawson, K. M., Lipscomb, T. N., Hill, J. E., Daniel, W. M., & Siders, Z. A. (2021). Non-native poeciliids in hot water: The role of thermal springs in facilitating invasion of tropical species. *Hydrobiologia*, 848(20), 4731-4745.

<https://doi.org/10.1007/s10750-021-04669-0>

Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>

Van Huis, A. (2016). Edible insects are the future? *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 294-305. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000069>

Warren, C. E. (1971). *Biology and water pollution control*. McGraw-Hill.

Yanong, R. P. E. (2011). *The guppy (Poecilia reticulata)* (UF/IFAS Extension FA165). University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/FA165>

Zahan Anka, I., Sultana Jothi, J., Sarker, J., & Talukder, A. (2016). Growth performance and survival of guppy (*Poecilia reticulata*): Effect of different formulated diets. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 2(3), 451-457.