



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**ESTUDIO CUALITATIVO Y DE DIGESTIBILIDAD *InVitro*, DE LA HARINA DE
Acheta domesticus, Y SU INCLUSIÓN EN DIETAS PARA PEJELAGARTO,
Atractosteus tropicus, COMO REEMPLAZO DE HARINA DE PESCADO.**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

PRESENTA

REYES GONZÁLEZ SALVADOR

DIRECTOR

DR. CARLOS ALFONSO ÁLVAREZ GONZÁLEZ (profesor investigador UJAT)

CO-DIRECTOR

DR. URIEL RODRÍGUEZ ESTRADA (investigador CONACYT)

VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO, JULIO 2022

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Estudio Cualitativo Y De Digestibilidad Invitro, De La Harina De Acheta Domesticus, Y Su Inclusión En Dietas Para Pejelagarto, *Atractosteus Tropicus*, Como Reemplazo De Harina De Pescado

Por Reyes González Salvador

CANTIDAD DE PALABRAS 16604

HORA DE ENTREGA

27-JUN-2025 12:40P. M.

NÚMERO DE
IDENTIFICACIÓN DEL
TRABAJO

116954089

Estudio Cualitativo Y De Digestibilidad Invitro, De La Harina De Acheta Domesticus, Y Su Inclusión En Dietas Para Pejelagarto, Atractosteus Tropicus, Como Reemplazo De Harina De Pescado

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scielo.org.mx Internet	592 palabras — 4%
2	docplayer.es Internet	150 palabras — 1%
3	es.wikipedia.org Internet	145 palabras — 1%
4	www.researchgate.net Internet	83 palabras — 1%
5	brill.com Internet	78 palabras — 1%
6	era.ujat.mx Internet	60 palabras — < 1%
7	researchportal.unamur.be Internet	50 palabras — < 1%
8	pesca.agricultura.sp.gov.br Internet	45 palabras — < 1%
9	www.gob.mx Internet	44 palabras — < 1%

10	core.ac.uk Internet	43 palabras — < 1%
11	edepot.wur.nl Internet	42 palabras — < 1%
12	link.springer.com Internet	40 palabras — < 1%
13	www.coursehero.com Internet	40 palabras — < 1%
14	pt.scribd.com Internet	39 palabras — < 1%
15	hdl.handle.net Internet	37 palabras — < 1%
16	digitum.um.es Internet	36 palabras — < 1%
17	acuacolombia.blogspot.com Internet	35 palabras — < 1%
18	lab.org.au Internet	35 palabras — < 1%
19	d0fa5a99ca.clvaw-cdnwnd.com Internet	32 palabras — < 1%
20	riunet.upv.es Internet	32 palabras — < 1%
21	www.reibci.org Internet	30 palabras — < 1%
22	jlupub.ub.uni-giessen.de Internet	

		26 palabras — < 1%
23	www.uanl.mx Internet	24 palabras — < 1%
24	dspace.jcu.cz Internet	23 palabras — < 1%
25	McCoy, Taylor M.. "Evaluation of Insect Meal Amended Feeds on Fish and Plant Growth Rate in a Coupled Aquaponics System", The University of Arizona, 2023 ProQuest	21 palabras — < 1%
26	Kristal de M. Jesús-De la Cruz, Ángela Ávila-Fernández, Emyr Saúl Peña-Marín, Luis Daniel Jiménez-Martínez et al. "Trypsin gene expression in adults and larvae of tropical gar <i>Atractosteus tropicus</i> ", Fish Physiology and Biochemistry, 2019 Crossref	19 palabras — < 1%
27	abis-files.cu.edu.tr Internet	19 palabras — < 1%
28	text-id.123dok.com Internet	19 palabras — < 1%
29	www.repositoriodigital.ipn.mx Internet	18 palabras — < 1%
30	www.cenaim.espol.edu.ec Internet	17 palabras — < 1%
31	dugi-doc.udg.edu Internet	16 palabras — < 1%
32	www.uniedu.sed.sc.gov.br Internet	16 palabras — < 1%

33 "Evaluación de varias fuentes de proteína vegetal en dietas para camarón *Litopenaeus vannamei*", 'Universitat Politecnica de Valencia'
Internet 15 palabras — < 1%

34 Adriana Osuna-Salazar, Crisantema Hernández, Cynthia E. Lizárraga-Velázquez, Erika Y. Sánchez Gutiérrez et al. "Improvement in spotted rose snapper growth and skin coloration after incorporation of shrimp head meal in diet", Aquaculture Reports, 2023
Crossref 15 palabras — < 1%

35 eprints.uanl.mx
Internet 15 palabras — < 1%

36 ri-ng.uaq.mx
Internet 15 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 15 PALABRAS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 04 de Julio de 2022

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
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. REYES GONZÁLEZ SALVADOR** egresado de la Lic. en **BIOLOGIA** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: **"ESTUDIO CUALITATIVO Y DE DIGESTIBILIDAD *In Vitro* DE LA HARINA DE *Acheta domesticus*, Y SU INCLUSIÓN EN DIETAS PARA PEJELAGARTO, *Atractosteus tropicus*, COMO REEMPLAZO DE HARINA DE PESCADO"**.

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**

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



DIRECCIÓN •

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



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

JULIO 04 DE 2022

**C. REYES GONZÁLEZ SALVADOR
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: **"ESTUDIO CUALITATIVO Y DE DIGESTIBILIDAD *In Vitro* DE LA HARINA DE *Acheta domesticus*, Y SU INCLUSIÓN EN DIETAS PARA PEJELAGARTO, *Atractosteus tropicus*, COMO REEMPLAZO DE HARINA DE PESCADO"**, asesorado por el Dr. Carlos Alfonso Álvarez González y Dr. Uriel Rodríguez Estrada sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por la Dra. Rocío Guerrero Zárate, Dra. Melina del Carmen Uribe López, Dr. Carlos Alfonso Álvarez González, Dra. Carina Shianya Álvarez Villagómez y Dra. Susana de la Rosa García.

**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.- Expediente del Alumno.
Archivo.

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Licenciatura denominado: **“ESTUDIO CUALITATIVO Y DE DIGESTIBILIDAD *In Vitro* DE LA HARINA DE *Acheta domesticus*, Y SU INCLUSIÓN EN DIETAS PARA PEJELAGARTO, *Atractosteus tropicus*, COMO REEMPLAZO DE HARINA DE PESCADO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 04 de Julio de Dos Mil Veintidós.

AUTORIZO


REYES GONZÁLEZ SALVADOR

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

DEDICATORIA

Con todo mi amor a la persona que hizo todo lo posible para que pudiera terminar mis estudios y mi carrera profesional, con todo mi cariño le dedico esta tesis.

Mamá

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alfonso Álvarez-González y al Dr. Uriel Rodríguez-Estrada, por darme la oportunidad de desarrollar la presente investigación, por toda su ayuda, asesoría y por guiarme en el proceso.

Al comité de revisión de tesis: Dra. Rocío Guerrero-Zárate (presidente), Dra. Melina del Carmen Uribe-López (secretario), Dr. Carlos Alfonso Álvarez-González (vocal), Dra. Carina Shianya Álvarez-Villagómez (suplente), Dra. Susana del Carmen de la Rosa García (Suplente), por sus valiosas aportaciones y sugerencias que contribuyeron a mejorar la presente investigación.

A mis amigos de laboratorio, Eduardo, Laura, Susana, Thalía, Gabriel y Rafael, por su ayuda en todo el proceso de bioensayo, consejos, comentarios y sugerencias. Agradecimiento especial a Gabriel y Rafael por su gran ayuda desde el inicio y finalización del bioensayo.

Y a todas aquellas personas que contribuyeron de una u otra forma en la formación de mi carrera. Amigos y profesores en general, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. ANTECEDENTES	6
2.1 La ciencia del pejelagarto, <i>Atractosteus tropicus</i>	6
2.2 La ciencia de los insectos en las dietas acuícolas	7
III. JUSTIFICACIÓN	10
IV. OBJETIVOS	11
4.1 Objetivo general	11
4.2 Objetivos específicos	11
V. MATERIALES Y MÉTODOS	12
5.1 Cultivo y procesamiento de grillo doméstico, <i>Acheta domesticus</i>	12
5.2 Harinas y dietas experimentales	12
5.3 Análisis proximal de harinas y dietas experimentales	12
5.4 Digestibilidad <i>InVitro</i>	19
5.5 Peces, sistema experimental y, bioensayo	21
5.6 Biometrías y cálculos	21
5.7 Análisis estadístico	22
VI. RESULTADOS	23
6.1 Composición proximal de harina de grillo doméstico, <i>Acheta domesticus</i> y harina de pescado	23
6.2 Composición proximal de las harinas	23
6.3 Composición proximal de las dietas experimentales	23

6.4 Digestibilidad <i>InVitro</i>	26
6.5 Crecimiento y sobrevivencia	26
6.6 Eficiencia del alimento y utilización de la proteína	26
6.7 Parámetros somáticos	27
VII. DISCUSIÓN	28
7.1 Composición proximal de la harina de grillo doméstico, <i>Acheta Domesticus</i> versus harina de pescado	28
7.2 Composición proximal de harinas	29
7.3 Composición proximal de dietas experimentales	29
7.4 Digestibilidad <i>InVitro</i>	30
7.5 Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína	32
7.6 Parámetros somáticos	33
VIII. CONCLUSIONES	35
IX. REFERENCIAS	36

RESUMEN

A pesar de que ha sido ampliamente demostrado que, las harinas de insectos pueden reemplazar parcial o completamente, la harina de pescado, aún hay diversas lagunas de información, respecto a sus perfiles nutricionales, grados de hidrólisis de ciertas harinas de insectos y sus efectos en el crecimiento de peces cultivados. Es por esto que, en el presente trabajo se estudiaron los efectos de la inclusión de la harina de *Acheta domesticus* en dietas para pejelagarto *Atractosteus tropicus* como reemplazo de harina de pescado. El bioensayo se llevó a cabo en un sistema de recirculación continua. El cual cuenta con una bomba conectada directamente a un filtro de arena semi-industrial y a un reservorio (2,100 l) que distribuye el agua a las tinas experimentales. Para este estudio, 300 peces fueron pesados y distribuidos aleatoriamente en 15 tinas de plástico (150 l cada una). Las dietas experimentales, fueron formuladas con diferentes niveles de reemplazo (0%, 25%, 50%, 75%, y 100%) de la proteína presente en la harina de pescado por aquella de la proteína de *A. domesticus*. Las dietas experimentales, fueron administradas por triplicado, durante 60 días a nivel de saciedad. De acuerdo con los resultados obtenidos, el reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, hasta en un nivel de 75%, no afecta el desempeño de *A. tropicus*, en términos de crecimiento. En contraste, el completo reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, no afecto la eficiencia del alimento y utilización de la proteína. Por otro lado, el reemplazo máximo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, es del 25%, sin comprometer el coeficiente intestinal. Mientras que, una sustitución máxima de 50% no compromete los parámetros vicero-somático y entero-somático. Por su lado, los parámetros hepato-somático y gatro-somático, no mostraron ninguna afectación, aun con el reemplazo total de harina de pescado por harina de *A. domesticus*. Estudios adicionales, están siendo conducidos, con el fin de lograr un mejor entendimiento de los efectos en cuanto a la fisiología digestiva de *A. tropicus*, cuando es alimentado con dietas formuladas con el reemplazo total o parcial de harina de pescado por harina de *A. domesticus*.

ABSTRACT

QUALITY ASSESSMENT & *In Vitro* ANALYSIS OF COMMON CRICKET *Acheta domesticus* MEAL, AND ITS USE IN TROPICAL GAR *Atractosteus tropicus* DIETS AS REPLACER OF FISH MEAL.

Although, it has been widely demonstrated that insect meals, can replace partially or completely fish meal (FM), there is a lack of information on the nutritional profiles, and hydrolysis degrees (HDs) (during *In vitro* studies), of certain insect meals and their effects in the performance of farmed fish. Therefore, present research is aimed to study nutritional profiles, *In Vitro* digestibility hydrolysis degrees, fish growth, feed efficiency and, protein utilization, when *Acheta domesticus* meal is used as main protein sources in tropical gar, *Atractosteus tropicus*, experimental diets. FM (sardine meal purchased in Mexico) and *A. domesticus* meal were analyzed (moisture, crude protein, lipid, ash, crude fiber, nitrogen free extract, phosphorous, and gross energy). Hydrolysis degrees (HDs) of target meals Vs stomach (for acid phase) and intestine (for alkaline phase) of *A. tropicus*, were assessed by *In Vitro* digestibility, through a pH STAT system. Furthermore, a feeding experiment was conducted. Diets were formulated with the replacement of protein content present in FM by that present in *Acheta domesticus* meal at different levels (0% – control group –, 25%, 50%, 75%, 100%). 300 tropical gar (1.49 ± 0.11 g) were randomly distributed in 15, 150 L tanks. Experimental diets, were administered during 60 days. Proximal composition revealed marked differences between FM and *A. domesticus* meal. HDs in acid phase of FM showed a significantly ($P < 0.05$) higher value compared to that shown in *A. domesticus* meal. However, although there were not significant ($P > 0.05$) differences in alkaline phase, *A. domesticus* meal showed a numerical higher value. Condition factor, feed utilization, and protein efficiency ratio, did not show significant ($P > 0.05$) differences among experimental groups. However, compared to control group, final average weight, final average length, weight gain and specific growth rate, recorded a significantly ($P < 0.05$) lower value in fish fed 100% diet. In contrast, hepatosomatic and gastrosomatic indexes did not show significant ($P > 0.05$) differences among experimental groups. However, vicerosomatic and enterosomatic indexes, recorded significantly ($P < 0.05$) lower values in fish fed 75% and 100% compared to those shown in control group. Intestinal quotient, registered a significant lower value in fish fed 50%, 75% and 100% compared to that shown in control group. Present study concludes that *A. domesticus* meal, can replace FM in *A. tropicus* diets up to 75% without affecting growth and up to 25% or 50% without affecting somatic parameters.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad que se basa en el cultivo de organismos acuáticos de importancia comercial que se puede llevar a cabo en ambientes de agua dulce, salobre y marina. Actualmente, la acuicultura ha demostrado que cumple un papel fundamental en la seguridad alimentaria mundial, dado que su producción ha aumentado un 7.5% por año, en las últimas cinco décadas (FAO, 2020; CONAPESCA, 2020). A través de los años, la actividad pesquera y acuícola, ha tomado importancia en el mundo, debido a la producción de alimentos y fuentes de proteína para consumo humano (Anderson et al., 2017).

A nivel nacional, seis especies aportan el 69% del total del valor de la producción de organismos acuáticos: el camarón con siete mil 943 mdp; tilapia, mil 343 mdp; túnidos, mil 307 mdp; pulpo, 781 mdp; sardina, 604 mdp, y trucha, con 442 mdp (FAO, 2020). En materia de acuicultura la producción comenzó a crecer desde mediados de los cincuenta y sesenta con la piscicultura de repoblación. Posteriormente, a partir de los ochenta se comenzó la producción para fines meramente comerciales (FAO, 2019). Recientemente, en México la producción acuícola se ha desarrollado en dos grandes rubros: la producción de peces para el consumo humano y la producción de peces de ornato. La producción comercial con fines de producción de proteína acuática ha crecido gracias a la necesidad de comer pescado como parte de la tradición cultural mexicana. La proteína acuática es una excelente fuente de proteínas, ácidos grasos, minerales y nutrientes esenciales en la dieta de las personas. Por otro lado, producir peces de ornato, también ha adquirido cierta importancia en los últimos años. Su comercialización con fines decorativos y estéticos en diferentes lugares, desde restaurantes hasta casas, se ha posicionado económicamente, ya que se venden hasta 43 millones de peces, anualmente (FAO, 2020). A pesar de que las principales especies que se producen comercialmente tanto para consumo humano como con fines ornamentales, tienen en realidad, su origen fuera de México, recientemente, la acuicultura de especies nativas ha empezado a atraer la atención de la investigación e industria nacional.

A nivel mundial, miles han sido las especies reportadas en cuanto a biodiversidad acuática. De las cuales, alrededor de 2,763 especies acuáticas se han reportado en el territorio mexicano. En el sureste mexicano, existe una amplia diversidad de peces con potencial acuícola, los cuales son explotados para su consumo (Castillo–Torres et al., 2017; Espinosa–Pérez, 2014). De todas ellas, el pejelagarto, *Atractosteus tropicus*, es una de las más importantes. *A. tropicus* es pez Actinoptergio de la familia Lepisosteidae propia de agua Dulce. Esta especie está distribuida

desde el sur de México hasta Costa Rica y al sur de Nicaragua. Es un pez depredador de talla grande. Se han llegado a reportar ejemplares con una longitud de 125 cm en machos y con un peso de 29 Kg. Esta especie, es considerada como fósil viviente, dado que ha mantenido su fisonomía intacta desde sus ancestros que habitaron en la época de los dinosaurios, hace 65 millones de años. Esta especie, como la mayoría de las especies de su familia, habita en humedales, ríos y lagunas costeras someras con abundante vegetación flotante. Se distribuye en zonas de clima de tipo tropical en aguas de temperaturas cálidas, que van desde los 28°C hasta los 32°C en verano y hasta 18°C en los meses más fríos del año. Es un pez voraz que se alimenta de otros peces, materia orgánica en descomposición, crustáceos, plantas, etc., dependiendo de la disponibilidad de cada uno, prefiriendo hábitos carnívoros, sin embargo, también se le considera omnívoro (Miller et al., 2009).

La importancia económica de *A. tropicus* es relevante. Esta especie, es utilizada como alimento para consumo humano, pesca deportiva, y elaboración de artesanías, además de ser pez ornamental en la acuariofilia. La demanda de larvas de *A. tropicus* ha fomentado la aparición de unidades de producción piscícolas en el estado de Tabasco (Márquez–Couturier et al., 2006). Derivado de las exhaustivas investigaciones en nutrición y fisiología digestiva de la especie, conducidas con anterioridad, se ha determinado que, a pesar de ser una especie carnívora con tendencias a la omnivoría, requiere forzosamente proteína de alta calidad (harina de pescado) en sus formulaciones dietéticas, principalmente en sus primeras etapas de vida y, en menor grado, en sus etapas juveniles y adultas.

La harina de pescado es la fuente de proteína más utilizada en la elaboración de alimento en acuicultura. Su importancia en la nutrición acuícola, se debe a que posee un excelente balance y contenido de aminoácidos, ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales, alto contenido en proteína, su excelente palatabilidad y digestibilidad (Almeida–Madrigal, 2008). Se estima que aproximadamente el 30% de la captura total de pescado es procesada en aceite y harina de pescado para el uso de alimentos para animales acuáticos y terrestres. A este respecto, es importante mencionar que el alimento en acuicultura representa uno de los gastos más elevados durante un ciclo completo de cultivo (40 al 70% del costo total). El elevado precio de la harina de pescado se debe a la inestabilidad de existencia del producto en el mercado (Gatlin, 2010). Como alternativa a la harina de pescado, innumerables fuentes de proteína han sido investigadas. En este sentido la harina de insectos como ingrediente proteico en la acuicultura ha recibido mucha atención.

Los insectos son un grupo de organismos con una gran diversidad de especies, que habitan diversos ecosistemas. Los insectos, tienen una dieta muy variada, dependiendo de la especie, lo cual se ve reflejado en la diferencia significativa en su composición corporal. Además de que están considerados como una nueva fuente de proteínas para la alimentación humana (Barroso et al., 2014). Se calcula que, a nivel mundial, el número de especies de insectos comestibles, oscila aproximadamente en 2,111 (Jongema, 2017). Dada esta condición, muchas especies de insectos, han sido usadas para consumo humano. La entomofagia se refiere al consumo de insectos. Esta práctica ha existido desde épocas primitivas y hasta nuestros días (Ramos–Elorduy y Viejo–Montecinos, 2007). Datos disponibles indican que los insectos más usados para el consumo humano, a nivel mundial, son los Coleópteros (31%), Lepidópteros (18%), Himenópteros (14%) Ortópteros (13%), Hemípteros (10%), Isópteros (3%), Odonatos (3%), Dípteros (2%) (Otero et al., 2020). Muchas de las especies consumidas, son capturadas en su medio natural, sin embargo, en años recientes, la tendencia es producirlas en sistemas controlados. La cría de insectos es amigable al medio ambiente y sus harinas derivadas suelen tener precios razonables, al menos en países de sureste asiático (Pérez–Horcajo, 2018; Ramos–Elorduy y Viejo–Montesinos, 2007; Rodríguez–Montero, 2016).

A pesar de que, a nivel mundial, una infinidad de investigaciones han reportado el uso de harinas proteicas alternativas en dietas para organismos acuáticos, pocas son aquellas las reportadas en México (Otero et al., 2020; Montoya–Camacho et al., 2018). Investigaciones previas demuestran que existen especies de insectos con excelentes contenidos de proteínas y lípidos, además de aceptables perfiles de amino ácidos y ácidos grasos (Sánchez–Muros et al., 2016), muy similares a aquellos presentes en las harinas utilizadas en la manufactura de dietas para acuicultura e incluso con aquellos presentes en la harina de pescado y de soya. Muchas han sido las especies de insectos ampliamente investigadas como fuentes de proteína para formulaciones dietéticas acuáticas. Sin embargo, muchas otras especies, aún no han sido exploradas como la harina de grillo común, *Acheta domesticus*. Esta especie, pertenece a la familia de los Ortópteros. Entre sus características principales están: la forma cilíndrica del tórax, posesión de dos largas alas en sus laterales, coloración marrón oscuro y amarillo, y tamaño de 16 a 21 milímetros. Es una especie originaria del sureste de Asia. Sin embargo, actualmente se puede encontrar en una gran cantidad de países, incluido México. Esta especie de insectos, ha demostrado ser una importante fuente de proteína para la alimentación humana y animal (Apolo–Arévalo y Lannacone, 2016). Es por esto que, la presente investigación, se ha propuesto como objetivo principal el evaluar el perfil nutricional, y digestibilidad *InVitro* de la

harina de *A. domesticus* y sus efectos, en crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína y parámetros somáticos, cuando se usa como sustituto, a diferentes niveles (0%, 25%, 50%, 75%, y 100%), de harina de pescado, en dietas para pejelagarto, *Atractosteus tropicus*.

II. ANTECEDENTES

2.1 La ciencia del pejelagarto, *Atractosteus tropicus*

Actualmente gracias a años de investigación se ha logrado avanzar en el cultivo de *A. tropicus*. Para alcanzar dichos avances, se han realizado diversos estudios científicos en la biología de la especie, alimentación y nutrición en sus distintas etapas de desarrollo. Esto ha generado un paquete tecnológico que ya es transferido al sector social y privado en el Sureste de México (Márquez–Couturier et al., 2006). Las investigaciones del cultivo de *A. tropicus*, ya han sido publicadas en revistas de impacto mundial. Frías–Quintana et al., (2010) evaluaron alimentos microparticulados en el crecimiento y la supervivencia en larvas de *A. tropicus*. Frías–Quintana y colegas, previamente estudio el grado de hidrólisis de proteínas (GH) y la liberación de aminoácidos totales (AALT) de los ingredientes utilizados, mediante extractos multienzimáticos de larvas de 9, 15 y 31 días después de la eclosión. Los resultados obtenidos mostraron que los mayores de GH se encontraron en la harina de camarón y jaiba, en cuanto a la mayor AATL se encontró en el hidrolizado de pescado. A partir de esos resultados se evaluaron y se diseñaron cinco dietas, en donde se determinaron sus valores de GH y AATL de cada dieta, el resultado de la evaluación *InVivo* de las dietas indicó que los alimentos microparticulados a base de harina de pescado, cerdo y pollo tuvieron mayor crecimiento y supervivencia. En otro estudio realizado por Sáenz de Rodrigáñez et al. (2018), evaluaron cuatro dietas experimentales de microencapsulados y una dieta control. Donde las dietas experimentales contenían, harina de pescado, una combinación de harina de cerdo, harina de ave, harina de *Nannochloropsis gaditana*, preparación enzimática y una dieta a base de nauplii de *Artemia*. Como resultado, se obtuvo que, las dos dietas de microencapsulados, tuvieron un mejor resultado. Por lo que se concluye que, el uso de microencapsulados sería factible en la alimentación de larvas de *A. tropicus*. Sin embargo, en el mismo estudio se afirma que, se necesitan más estudios sobre la optimización del diseño y la fabricación de los microencapsulados para mejorar el crecimiento y la supervivencia. En otro estudio, Palma–

Cansino et al. (2019), compararon el crecimiento, supervivencia y canibalismo en larvas de pejelagarto *A. tropicus*, de acuerdo a cuatro esquemas de alimentación. Donde el tratamiento conteniendo nauplii de *Artemia* y dieta diseñada para larvas de *A. tropicus*, presentó mayor crecimiento y menor canibalismo. Además, se demostró que el canibalismo tiene un efecto sobre la supervivencia. Otras investigaciones en *A. tropicus*, han implementado prebióticos para la estimulación de la actividad de organismos benéficos para el sistema digestivo. En acuicultura, el uso de aditivos en organismos acuáticos cultivados, ha demostrado que puede mejorar el crecimiento, la conversión alimenticia y la respuesta inmunológica. Así como lo demostrado por Nájera–Arzola et al. (2018) en el cual se evaluó la inclusión de diferentes niveles de Manano oligosacáridos (MOS) en dietas balanceadas para juveniles de pejelagarto *A. tropicus* en su crecimiento, parámetros productivos, supervivencia, índices somáticos y actividad de enzimas digestivas. En este estudio se concluyó que, el uso de aditivos funcionales, representa una buena alternativa mejorar el desempeño general de *A. tropicus*. A pesar de que los estudios en *A. tropicus* han sido sustanciales y con resultados relevantes, investigaciones enfocadas al uso de harinas de insectos suplementadas en formulaciones específicas para esta especie, son nulos.

2.2 La ciencia de los insectos en dietas acuícolas

La harina de insectos, es una alternativa para la sustitución de harina de pescado. Diferentes harinas de insectos han demostrado en innumerables estudios, sus cualidades como fuente de proteínas y como ingredientes funcionales (Mousavi et al., 2020). Las harinas de insectos, son ricas en proteínas, lípidos y minerales. También contienen gran cantidad de energía y fibra (van Huis y De Prins, 2013). Los contenidos de proteína pueden alcanzar fácilmente, valores de entre 60%–70%, dependiendo de la especie de insecto y de su estadio de crecimiento (Xiaoming et al., 2010). La gran ventaja de utilizar harina de insectos en formulaciones para organismos acuáticos, es que de manera natural los insectos son consumidos por una gran variedad de peces, tanto en ambientes marinos como en ambientes de agua dulce (Ferrer–Llagostera et al., 2019).

La utilización de harina de insectos en formulaciones para organismos acuáticos, implica la producción masiva. Uno de los factores que favorecen la producción a gran escala de insectos, es su casi nulo impacto ecológico y bajos costos de producción, debido a que los insectos pueden producirse en lugares reducidos, con poca presencia de agua y una pequeña inversión (Clifford y Woodring, 1990; Clifford, Roe y Woodring, 1976). Otra ventaja que presenta la

producción masiva de insectos, es su desempeño zootécnico. Fisiológicamente hablando, los insectos tienen altos índices de reproducción y eficiencia nutricional, lo cual se traduce en un rápido crecimiento (Barroso et al., 2014). Sin embargo, estas características, no siempre están presentes en todas las especies. De acuerdo con diversos autores, especialistas en el cultivo de estos organismos, el insecto ideal para ser producido en masa, tiene que reunir las siguientes características: debe de ser fácil de cultivar, además de tener un buen índice de conversión del alimento y, poder alimentarse con desperdicios orgánicos (Macombe et al., 2019). De acuerdo con estas características, a nivel mundial, la academia e industria, han enfocado sus esfuerzos (de investigación básica y aplicada) a estudiar diferentes especies de insectos, con potencial para ser utilizados en dietas acuícolas, como reemplazo de harina de pescado.

En un estudio previo se comparó el crecimiento y supervivencia de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentada con una dieta de larvas de mosca común (*Musca domestica*) y alimento comercial. Los resultados no mostraron diferencia en la ganancia diaria de peso y la supervivencia fue de 96% para ambos grupos (Corbalá–Bermejo et al., 2019). En otro experimento se realizó la inclusión de 20% de harinas de *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, *Gryllodes sigillatus* y *Blatta lateralis*, comparándolo con una dieta a base de harina de pescado, en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un periodo de 71 días. La inclusión de las diferentes harinas de insectos no afectó la supervivencia de los organismos durante el experimento. Los resultados mostraron que las dietas con *B. lateralis*, *T. molitor* y *H. illucens* pueden usarse como reemplazo parcial de las dietas con proteína a base de harina de pescado sin efectos negativos en los parámetros de rendimiento de supervivencia o crecimiento (Jozefiak et al., 2019). En un estudio por separado, se realizó una evaluación de crecimiento en salmón del Atlántico (*Salmo salar*), alimentado con dietas formuladas con harina de larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*) a diferentes porcentajes 33%, 66% y 100% y una dieta control diseñada con harina de pescado. En este estudio de 16 semanas, se pudo observar que no hubo efectos negativos en el crecimiento (Belghit et al., 2018). En un estudio conducido por Barroso et al. (2014), se analizaron 3 órdenes de insectos, Coleóptera (4 especies), Díptera (7 especies) y Ortóptera (5 especies), con un total de 16 especies. En este estudio, se compararon los resultados con harina de pescado y de soya. En la mayoría de las especies se obtuvo una alta porción de proteínas (40 y 60%) similar a la harina de soya (50%), aunque más baja que la harina de pescado (73.0%). En el mismo estudio, en dos especies del orden Ortóptera se encontró que el contenido de proteína era similar a la de harina de pescado. Estas especies fueron *Acheta domesticus* (73%) y *Heteracris littoralis* (74%). Mientras que, en cuanto a los

lípidos, estos fueron más bajos que los de harina de pescado y soya. Los autores de dicho estudio, también observaron que, el perfil de aminoácidos de las especies de la orden ortóptera, fue similar a la de harina de pescado, exceptuando histidina, treonina y lisina. Adicionalmente, en el mismo estudio, se determinó que, el perfil de aminoácidos en el orden Ortóptera fue mejor que el de harina de soya. Los autores, también reportaron que el perfil de ácidos grasos, presentan un 32.8% de ácidos grasos saturados, 33.5% de ácidos monoinsaturados y 33.9% de poliinsaturados (Rumpold y Schütler, 2013).

Otros estudios también enfocados a los perfiles nutricionales de la especie *A. domesticus*, encontraron que, existen diferentes composiciones en el valor nutricional dependiendo el sexo del organismo. A pesar de que, en esta especie, ambos sexos son ricos en proteínas y lípidos, las hembras contienen mayor nivel de lípidos y menor proteínas que en machos, los cuáles también presentaban mayor cantidad de quitina (Kulma et al., 2018).

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la producción de proteína acuática en México representa una importante actividad no solo económica para el país, sino que también para la nutrición de los mexicanos. A pesar de que las principales especies, a nivel nacional que se cultivan ampliamente son la tilapia y el camarón, en años recientes el interés por el cultivo de especies emergentes (nativas), se ha incrementado significativamente. El pejelagarto, *Atractosteus tropicus*, es nativo de los estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco y Campeche. Esta especie ha sido ampliamente estudiada en las instalaciones de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio). Las investigaciones en esta especie han sido enfocadas principalmente a diferentes aspectos tales como: reproducción, biotecnología de cultivo, y nutrición y fisiología digestiva. Respecto a este último punto, a pesar de que existe la evidencia indicando que se trata de una especie carnívora con tendencia a la omnivoría, las investigaciones indican que, *A. tropicus*, requiere altos niveles de proteína de pescado, en sus formulaciones dietéticas, debido a sus exigencias nutricionales (calidad de la proteína, principalmente). Al igual que el pejelagarto, la mayoría de las especies acuáticas cultivadas, requieren forzosamente, dietas formuladas con proteína de alta calidad (por ejemplo, harina de pescado). Esta necesidad, ha forzado a la industria acuícola alrededor del mundo, a depender inevitablemente de este recurso.

Históricamente, la harina de pescado ha sido la principal fuente de proteína en dietas acuícolas. Esto derivado de su excelente perfil de aminoácidos, valores de digestibilidad aceptables, carencia de anti-nutrientes y precio. Desafortunadamente, este recurso ha estado sometido a diferentes presiones de sobreexplotación, cambio climático, y contaminación. Estas condiciones, han forzado a la investigación e industria acuícola a buscar otras fuentes proteínicas altamente disponibles y con potencial para substituir la harina de pescado en dietas acuícolas. En los últimos años, la harina de insectos ha demostrado ser un buen sustituto de la harina de pescado. Diversos estudios, han demostrado que diferentes harinas de insectos tienen beneficios, no solo como sustituto de proteína marina, sino que también como ingrediente funcional que favorece el sistema inmune, fisiología digestiva y desempeño general del organismo que las consume. Algunas especies, como tenebrios y mosca soldado, han sido ampliamente investigadas, sin embargo, existen muchas otras que escasamente han sido objeto de estudios como fuentes proteicas en dietas acuícolas. La harina de *A. domesticus*, es una de ellas.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el perfil nutricional, y digestibilidad *InVitro* de la harina de *A. domesticus* y sus efectos, en crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento, utilización de la proteína y parámetros somáticos, cuando se usa como sustituto, a diferentes niveles (0%, 25%, 50%, 75%, y 100%), de harina de pescado, en dietas para pejelagarto, *Atractosteus tropicus*.

4.2 Objetivos específicos

Analizar la composición proximal de harina derivada de *A. domesticus*, harina de pescado y demás ingredientes utilizados en la formulación de dietas experimentales para pejelagarto, *A. tropicus*.

Evaluar el grado de hidrólisis de harina de *A. domesticus* y harina de pescado utilizando extractos multienzimáticos de estómago e intestino de pejelagarto, *A. tropicus*.

Diseñar y elaborar dietas experimentales formuladas con diferentes niveles de reemplazo (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) de harina de pescado, por harina de *A. domesticus*.

Evaluar crecimiento, sobrevivencia, utilización del alimento, y de la proteína y parámetros somáticos, de pejelagarto, *A. tropicus*, alimentados con dietas formuladas con diferentes niveles de reemplazo (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) de harina de pescado, por harina de *A. domesticus*.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Cultivo y procesamiento de grillo doméstico, *Acheta domestica*

A. domestica fue cultivado siguiendo métodos previamente estandarizados por Clifford et al. (1976) y Clifford y Woodring (1990), con algunas modificaciones y adaptaciones de acuerdo al recurso disponible en México. Para la producción masiva se utilizaron contenedores de plástico de 50 l (con tapa, a la cual se le perforaron dos hoyos de 15 cm de diámetro cada uno con tela mosquitero, que funcionaron como respiradores). Cuatro grupos de contenedores fueron utilizados. Uno para mantener a los reproductores, otro para reproducción, otro para maternidad, y otro para crecimiento. La superficie del fondo de cada contenedor plástico, se cubrió con vermiculita y también se le colocaron tres conos de huevo de cartón, un bebedor con agua y un pequeño recipiente plástico para alimentación, la cual estuvo constituida por una mezcla de semillas secas, trigo, arroz, soya y amaranto. La misma dieta se utilizó para todos los estadios de crecimiento. Los contenedores para reproducción, fueron equipados con nidos (pequeños recipientes de plástico) rellenos de tierra orgánica. Los reproductores, fueron sembrados a una proporción de cuatro hembras y un macho. Para mantener la temperatura optima (32°C) de reproducción, se utilizaron focos. El periodo de apareo y desoves, tomó dos semanas. Después de ese período, los nidos se removieron y se traspasaron a los contenedores de maternidad. En esta etapa, los grillos fueron mantenidos entre 7 y 10 días para posteriormente, traspasar los grillos a los contenedores de crecimiento (500 grillos por contenedor), donde se mantuvieron hasta su estado adulto y cosecha, la cual se llevó a cabo, después de la etapa de ninfa (estado adulto).

Los grillos fueron sacrificados por hipotermia y conservados a -20°C, hasta su procesamiento. Inmediatamente después de descongelada la biomasa de insectos, se procedió a someterla a un proceso de cocimiento a 120°C / 10 PSI / 20 minutos. Para posteriormente, secar la biomasa resultante durante 9 h a 55°C.

5.2 Harinas y dietas experimentales

Las harinas de origen animal, fueron adquiridas en Proteínas marinas y agropecuarias S.A. de C.V. -PROTMAGRO- (Zapopan, Jalisco) (harinas animales), e Insumos para Ganadería de Villahermosa (Villahermosa, Tabasco) (harinas vegetales). Mientras que los aceites utilizados,

fueron adquiridos en Maíz Industrial S.A. de C.V. –MAZINSA- (aceite de sardina y aceite de soya). La harina de grillo, se obtuvo en la empresa Griyum –PASMEX S.A. de C.V. (Querétaro).

Todas las harinas, incluyendo la de *A. domesticus*, se procesaron en un molino eléctrico. Posteriormente se tamizaron en un tamiz de pruebas físicas numero 25 (MONTINOX) para sucesivamente pesarlas y conservarlas a 4°C hasta su utilización. Las harinas fueron analizadas para obtener su contenido de humedad, proteína cruda, lípidos, cenizas, fibra cruda, extracto libre de Nitrógeno, fósforo y energía bruta. Una vez conocida la composición proximal de las harinas, los datos obtenidos, fueron vertidos en una base de datos de una hoja de Excel (inicialmente diseñada en la universidad de Guelph en el laboratorio del Dr. Bureau), para formular las dietas experimentales. Con el objetivo de confirmar la exactitud de la formulación (calculada), una dieta modelo fue elaborada, y analizada bioquímicamente, para determinar su composición proteica y lipídica real. Una vez obtenida la confirmación de los contenidos nutricionales de la dieta modelo, se procedió a elaborar las dietas experimentales, como sigue: Se pesaron todos los ingredientes, iniciando con los micro ingredientes, seguido de los macro ingredientes. Los macro ingredientes fueron mezclados con una batidora (MIX-B30GA), durante 20 minutos. Los aceites (aceite de lecitina de soya y aceite de sardina) fueron pesados en una balanza (Rinlo). Los micro ingredientes, fueron mezclados en una licuadora. Posteriormente, la mezcla de aceites y micro ingredientes fue agregada a la mezcla de macro ingredientes. 30% (agua), de la masa total (mezcla de macro, micro ingredientes y aceites) fue agregada a la mezcla principal, con el objetivo de facilitar el peletizado. La peletización se llevó a cabo utilizando una máquina de moler carne (Torrey) (adaptada para la elaboración de pellets) con una matriz de calibre pequeño C1-22-/1/8. Los pellets resultantes, se distribuyeron en 8 charolas de aluminio para después secarlos a 50°C, en un horno a gas (San-son) durante 9 horas. Al finalizar ese periodo las dietas se tamizaron para eliminar el exceso de polvo. Las dietas resultantes, se pesaron y se mantuvieron en refrigeración (4°C) hasta el momento de su utilización.

5.3 Análisis proximal de harinas y dietas experimentales

Los análisis de laboratorio para determinar proteína, lípidos, fósforo, y fibra, fueron conducidos en las instalaciones del CIATEJ: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología. Avenida Normalistas 800, 44270, Guadalajara, Jalisco, México).

Humedad

La humedad fue determinada, utilizando el método propuesto por Takeuchi et al. (1988), con algunas modificaciones. Se lavaron y secaron (en horno eléctrico) 15 crisoles. Los crisoles se sometieron a un proceso de calentamiento en horno eléctrico a 110°C, durante 1 h. Después de este proceso, los crisoles fueron enfriados en una cámara desecadora durante 1 h. Los crisoles fueron pesados, con una exactitud de 0.0001 g. Una muestra de 1 g de dieta experimental, fue utilizada para este análisis. El crisol + muestra, fueron sometidos a un proceso de calentamiento a 110°C durante 2 h. Para luego proceder a registrar el primer peso registrado (balanza Goldenwall). Posteriormente, crisol + muestra fueron calentados y pesados consecutivamente, hasta alcanzar un peso constante. Cada muestra se realizó por triplicado. La humedad fue calculada con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = (B - C) / (B - A) \times 100$$

Donde:

A = Peso inicial del crisol (g).

B = Peso inicial de la muestra (g).

C = Peso final del crisol + muestra (g).

Cenizas

Las cenizas fueron determinadas, utilizando el método propuesto por Takeuchi et al. (1988), con pequeñas modificaciones. Para estos efectos, las mismas muestras utilizadas para la determinación de humedad, fueron usadas. Las cuales, previo al análisis de cenizas, fueron sometidas a un proceso de calentado durante una hr. Posteriormente, las muestras fueron enfriadas en una desecadora. Para luego, obtener su peso, con una exactitud de 0.0001 g. Las muestras fueron sometidas a un proceso de incineración (mufla) a 600°C durante 6 horas. Después de dejarlas enfriando por 12 horas, se procedió a calentar las muestras (110°C) en horno eléctrico, durante una hora, secarlas en desecador durante 30 min., y pesarlas. Cada muestra se realizó en triplicado. Las cenizas, fueron calculadas utilizando la siguiente formula:

$$\text{Cenizas (\%)}: (C - A) / (B - A) \times 100$$

Donde:

A = Peso inicial del crisol (g).

B = Pero inicial del crisol + muestras (g).

C = Peso final de las cenizas (g).

Lípidos

Para determinar los niveles de lípidos, se usó un equipo de gravimetría (Foss), siguiendo los estándares analíticos del CIATEJ. Para este efecto, se pesaron 0.5 g de muestra previamente pulverizada. Para el manejo de muestras se utilizó papel filtro y vasos de aluminio. Los cuales se aseguró estuviesen completamente libres de grasa. Cada muestra fue colocada en papel filtro para posteriormente pesarla. Inicialmente, se dejó remojando el dedal en 50 mL de éter de petróleo, durante 35 min. Posteriormente, el éter de petróleo se evaporó a 80°C durante 95 min. En seguida, se procedió a recuperar el éter por destilación. Finalmente, las muestras fueron secadas en horno eléctrico a 65°C durante 20 min para su posterior pesaje. Cada muestra-análisis se hizo por triplicado. El contenido porcentual de lípidos fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{Lípidos (\%)} = (A - B) / C \times 100$$

Donde:

A = Peso del vaso con la muestra

B = Peso del vaso limpio y seco.

C = Peso de la muestra.

Proteínas totales

Las proteínas totales, fueron determinadas mediante el método Kjeldahl, siguiendo la técnica propuesta por Takeuchi et al. (1988), con algunas modificaciones. La determinación de proteínas totales, se realizó mediante la digestión con ácido sulfúrico, catálisis de compuestos orgánicos y la conversión de Nitrógeno en sulfato de amonio, para su posterior destilación. Este análisis, se dividió en dos facetas: digestión y destilación. Para el primero, se pesó 1g de muestra pulverizada en papel libre de Nitrógeno. Las muestras entonces, fueron enrolladas en su respectivo papel y depositadas en un matraz Kjeldahl. Un matraz fue utilizado como blanco (conteniendo solo papel libre de Nitrógeno). A cada matraz fueron agregados 3 g de una pastilla de catálisis y 10 mL de H₂SO₄ concentrado, para promocionar la digestión. La muestra se calentó en un rack de digestión durante 4 h., hasta que la solución adquirió un color verde brillante. Después de enfriados los matraces y los compuestos resultantes contenidos, se les agregó (a cada uno) 30 mL de agua destilada. El proceso de destilación se llevó a cabo con una unidad de destilación semi-automática (FOSS KT Kjeldahl 200). Las proteínas totales (%) se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Proteínas totales (\%)} = \left(\left[0.0007^{*1} \times (V_b - V_s) \times F \times 6.25^{*2} \times 20 \right] / S \right) \times 100$$

Donde:

V_s = mL de 0.05 N NaOH (por muestra).

V_b = mL of 0.05 NaOH (por blanco).

F = Factor de corrección para 0.5 N NaOH de la solución estándar.

S = Peso de la muestra (g).

*¹ = Cada ml de 0.05 N NaOH es equivalente a 0.0007 g de nitrógeno.

*² = Factor de Nitrógeno (debido a que se asume que el 16% de proteína es Nitrógeno, el factor de 6.25, se usa para convertir el nitrógeno total a proteína total).

Fibra cruda

Esta determinación se realizó siguiendo la técnica propuesta por Takeuchi et al. (1988). La fibra cruda, se analizó por la pérdida del residuo seco, hasta el punto de ignición y después de la digestión de la muestra con soluciones de 1.25% de H₂SO₄ y 1.25% de NaOH, bajo condiciones específicas. Inicialmente, el papel filtro se secó a 110°C durante una hora, el cual, después de este proceso se dejó enfriar en un desecador durante 15 minutos para su subsecuente pesaje. Este proceso se repitió hasta alcanzar una estabilidad de peso de ≤ 0.3 mg. Los crisoles, se calentaron a 500°C durante una hora, y posteriormente, 30 min para su enfriamiento hasta alcanzar una estabilidad en peso. Se peso 1 g de muestra, a la cual se le extrajo todo el contenido de aceite, con éter. Esta muestra libre de aceite, fue transferida a un matraz Erlenmeyer, al que se le añadió 1.25% de H₂SO₄ y 1 mL de iso-amyl alcohol. Esta mezcla, fue sometida a un proceso de condensación durante 30 min. En este proceso, el matraz fue rotado constantemente, con el objetivo de evitar la adherencia de sólidos a las paredes del matraz. Después de este proceso, el matraz se retiró y el líquido resultante fue filtrado y enjuagado tres veces. Posteriormente, el residuo final, fue transferido al matraz original al que le fue añadido 50 ml de 5% NaOH y 1 mL de iso-amyl alcohol. Enseguida, el compuesto resultante, fue filtrado y enjuagado cinco veces. El residuo, fue transferido y pesado para luego secarlo a 110°C hasta un peso constante. Finalmente, la muestra resultante, fue sometida a un proceso de ignición a 550°C hasta peso constante. Cada muestra fue analizada por triplicado. El porcentaje de fibra cruda en la muestra objetivo, se calculó, mediante la siguiente fórmula:

Fibra cruda = pérdida de peso (g) por ignición x 100 / g muestra.

Fosforo

La determinación de fósforo en las muestras, fue determinado siguiendo el método propuesto por Takeuchi et al. (1988), mediante la digestión de HNO₃, y HClO₄. Después de pesar 0.5 g de muestra pulverizada y colocarla en un matraz Kjeldahl, se le agregaron 10 ml de HNO₃. La mezcla se puso a hervir hasta que se redujo a sólo 1 mL (en aproximadamente 10 min.). Posteriormente, se le agregaron 4 mL de HClO₄, calentándose durante 15 min. Una vez enfriada la muestra, se procedió a agregarle 10 mL de agua destilada. Para después calentar hasta hervir, enfriar y aforar a 50 mL. 1 mL de este compuesto resultante, fue transferido a un tubo de ensayo al que se le añadió 5 mL de solución buffer, 1 mL de solución de (NH₄)₂ MoO₄, y 1 ml de

solución de ácido ascórbico. Esta solución se aforó a 25 ml con agua destilada. El tubo de ensayo, fue sometido a un baño María a 40°C durante 40 min. En tanto, se preparó un blanco (tubo de ensayo sin muestra). La absorbancia se determinó con espectrofotómetro (Genesys 10S UV-VIS) a una longitud de onda de 725–750 nm. El contenido (mg g^{-1}) de fósforo en la muestra, se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$P (\text{mg g}^{-1}) = [(A - B) \times 1 \times 0.2 \times 25 \times 50] / \text{recovery} \times C (\text{g}) \times 1000$$

Donde:

A = Absorción en muestra.

B = Absorción en blanco

C = Peso de muestra (g).

Extracto libre de Nitrógeno (ELN)

El extracto libre de Nitrógeno, fue calculado mediante la siguiente fórmula (Gatlin, 2010):

$$\text{ELN} = [100 - (\text{Contenido de proteína} + \text{contenido de Lípidos} + \text{contenido de cenizas} + \text{contenido de fibra bruta})].$$

Energía bruta

La energía bruta, fue calculada, en base a los valores de energía presentes en cada nutriente: proteínas: 18.81 kJ g^{-1} (Smith 1971), extracto libre de nitrógeno: 14.59 kJ g^{-1} (Chiou y Ogino 1975) y lípidos: 35.54 kJ g^{-1} (Austren 1978). Por lo tanto, para calcular la energía, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Energía bruta } \text{kJ g}^{-1} = (\text{contenido de proteína en muestra} \times 18.81 \text{ kJ g}^{-1}) + (\text{contenido de lípidos en muestra} \times 35.54 \text{ kJ g}^{-1}) + (\text{contenido de extracto libre de nitrógeno en muestra} \times 14.59 \text{ kJ g}^{-1})$$

(Gatlin 2010).

5.4 Digestibilidad *InVitro*

Obtención de extractos multienzimáticos

Para éste objetivo, se utilizaron 10 juveniles de *A. tropicus*. Los cuales fueron mantenidos y alimentados con dieta comercial en cautiverio, durante cuatro semanas. Los organismos fueron disectados en frío, con el fin de aislar los estómagos e intestinos. Antes de la extracción, se obtuvo el peso total (Denver Instrument APX-200, resolución 0.1 mg), de cada organismo y, posteriormente, el peso de cada órgano extraído. Los tejidos fueron homogenizados en un macerador eléctrico (Ultra Turrax R Ika T18 Basic), a razón de 1:5 (tejido/agua destilada, p/v). Las mezclas fueron centrifugadas a 14 000 rpm y 4°C por 30 min en una centrífuga (Eppendorf 5810-R, con rotor F45-3011). Se recuperaron los sobrenadantes y se almacenaron a -20 °C, hasta su análisis posterior.

Determinación de la actividad específica de enzimas estomacales e intestinales

Con el fin de conocer la cantidad de unidades de enzimas en extracto de estómago, se hizo uso del método de Anson (1938), con ciertas modificaciones. Se formó la mezcla de reacción con 1 mL de hemoglobina (al 1 % en tampón glicina-HCl 100 mM, pH 2) y 20 µL de extracto multi-enzimático de estómago de *A. tropicus*. La mezcla fue incubada a 25°C por 30 min. La reacción se detuvo con 500 µL de ácido tricloroacético (TCA) al 20 % y se dejó en reposo a 4 °C por 15 min. Las muestras por triplicado fueron centrifugadas a 12 000 rpm (Eppendorf 5810-R, con rotor F45-3011). Los sobrenadantes fueron recuperados y diluidos con agua destilada (1:10) para la lectura de la absorbancia a 280 nm en un espectrofotómetro (Jenway 6405 UV/Visible), utilizando celdas de cuarzo de 1 cm de paso de luz, definiéndose una unidad de actividad como la cantidad de enzima que cataliza la liberación de 1 µg de equivalentes de tirosina por minuto. Para determinar la actividad de extracto multi-enzimático de intestino, se utilizó el método de Kunitz (1947), modificado por Walter (1984). Se utilizó 1 mL de caseína de Hammarstein (ICN Biomedicals No. 101289, Aurora OH USA) al 1 % en solución tampón Tris-HCl (100 mM, pH 7.5) como sustrato de 5 µL de extracto multi-enzimático de intestino de *A. tropicus*. La mezcla se incubó a 25°C por 30 min. La reacción fue terminada con 500 µL de TCA al 20 %. Para el centrifugado (Eppendorf 5810-R, con rotor F45-3011, 25 °C por 10 min) y lectura de absorbancias de muestras a 280 nm, para de igual manera obtener la cantidad de equivalentes de tirosina liberada por reacción hidrolítica. Para los métodos de actividad

proteolítica ácida y alcalina, se utilizó un ensayo testigo, donde se añadió el extracto multi-enzimático, hasta después de parar la reacción con TCA al 20%. Ambos valores de actividad específica se tomaron como base para el cálculo del volumen de extractos multienzimáticos, tanto para la hidrólisis ácida como alcalina, de ingredientes proteínicos.

Digestibilidad in vitro ácida y alcalina en el pH STAT

Las harinas de *A. domesticus* y de pescado fueron puestas a hidrolizar en un sistema de pH STAT (902 Titrande Metrohn), siguiendo la metodología propuesta por Saunders et al. (1972) modificado por Dimes & Haard (1994), para evaluar su grado de hidrólisis (%). Los ensayos de digestión ácida, se realizaron en un volumen final de 5 ml de la mezcla de reacción. Cada ingrediente de prueba, se re suspendió en agua destilada a una concentración de 8 mg de proteína ml^{-1} ajustando el pH a 2 con HCl 1 N. La digestión se inició con 10 μL de proteasa de extracto multi-enzimático de estómago de *A. tropicus* (conteniendo 30 U ml^{-1} de proteasa ácida). Se utilizó hemoglobina como ingrediente de referencia. Para el caso de la digestión alcalina, los ensayos se realizaron en un volumen final de 5 mL de la mezcla de la reacción. Cada harina se solubilizó en agua destilada a razón de 8 mg de proteína mL^{-1} ajustando el pH a 7.5 con NaOH 1 N. La reacción se inició con 110 μL de extracto multi-enzimático de intestino de *A. tropicus* (conteniendo 120 U mL^{-1} de proteasa alcalina) y caseína Hammarstein como ingrediente de referencia. La duración de cada análisis fue de 900 y 2700 s de digestión ácida y alcalina, respectivamente. La unidad de tiempo previa a la adición de extracto multi-enzimático, fue definida como el tiempo cero. A partir del gasto de HCl (Fase ácida) y de NaOH (Fase alcalina) se determinó el grado de hidrólisis (GH), el cual se expresa como el porcentaje del número de enlaces peptídicos hidrolizados (h) con respecto al total de la proteína (htot). Donde el valor de (h) = [consumo de base en ml (Vb)] x [normalidad de la base (Nb)] x [1 x (constante de disociación de los grupos $\alpha\text{-NH}_2$ y $\alpha\text{-COOH}$ respectivamente) - 1] x [1 x (masa de proteína en la mezcla de reacción) - 1]. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

5.5 Peces, sistema experimental y bioensayo

Los peces experimentales se adquirieron de la granja Aquatechno (Ranchería Medellín y Pigüa, Villahermosa, Tabasco, México). Después de un periodo de aclimatación, 300 peces fueron pesados y distribuidos aleatoriamente, en 15 tinas de plástico (150 L cada una). El peso promedio inicial fue de 1.49 ± 0.11 .

El bioensayo, se llevó a cabo en un sistema de recirculación continua, el cual cuenta con una bomba (VERTEX modelo C48AA72A01) conectada directamente a un filtro de arena semi-industrial (panda modelo FPD241) y a un reservorio (2,100 l) que distribuye el agua a las tinas experimentales. Este sistema, se encuentra ubicado en el invernadero perteneciente a LAFIRA–DACBioI–UJAT.

Inicialmente, durante una semana, los peces fueron aclimatados a las dietas experimentales. Después de ese periodo, las dietas formuladas con diferentes niveles de reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, fueron administradas, por triplicado, durante 60 días a nivel de saciedad. Durante este periodo de alimentación, la temperatura fue monitoreada a diario (28 ± 2.2 °C), se realizaron cambios diarios parciales y reposición de agua, se lavó semanalmente el reservorio principal, al igual que cada tina experimental y las muertes fueron registradas.

5.6 Biometrías y cálculos

Las biometrías de peso y longitud total, se llevaron a cabo, los días 0, 30 y 60 días. El muestreo para obtener los parámetros somáticos, fue realizado al término del bioensayo. Antes de cada muestreo, los peces fueron mantenidos en inanición durante 24 hrs. Los peces fueron anestesiados con aceite de clavo para posteriormente proceder a realizar la biometría. Los pesos (g), fueron determinados con una balanza electrónica (Goldenwall.). Mientras que, las longitudes fueron tomadas con un calibrador vernier 300 mm (Joepet). Los parámetros de crecimiento, sobrevivencia, utilización del alimento y de la proteína, fueron calculados utilizando las siguientes fórmulas:

Ganancia de peso (%) = $[(\text{peso promedio final (g)} - \text{peso promedio inicial (g)}) * 100] / (\text{peso promedio inicial})$ (Da et al., 2012).

Crecimiento específico (% / día) = $[(\log_e \text{ peso final} - \log_e \text{ peso inicial}) / \text{días}] \times 100$ (Takeuchi et al., 1988).

Factor de condición ($g \text{ cm}^{-3}$) = $[(\text{peso final (g)} / \text{longitud total final}^3 \text{ (cm)}) \times 100]$ (Bee-Tubin et al., 2019).

Sobrevivencia (%) = $[(\text{número inicial de peces} - \text{número final total de peces muertos}) \times 100] / (\text{número inicial total de peces})$ (Takeuchi et al., 1988).

Eficiencia de la conversión del alimento = $[(\text{ganancia de peso (\%)} / 100) / (\text{consumo de alimento (g pez)})]$ (Moreira et al., 2012).

Índice de la eficiencia de la proteína = $[(\text{Ganancia de peso (\%)} / 100) / (\text{consumo de proteína})]$ (Martínez-Palacios et al., 1996).

Los parámetros somáticos, fueron calculados, mediante las siguientes fórmulas:

Índice hepatosomático (%) (HIS) = $(\text{peso del hígado (g)} / \text{peso de la carcasa (g)}) \times 100$

Índice vicerosomático (%) (IVS) = $(\text{peso de las vísceras (g)} / \text{peso de la carcasa (g)}) \times 100$

(Bee-Tubin et al., 2019).

Índice gastrosomático (%) (IGS) = $(\text{Peso del estómago (g)} / \text{peso total del organismo (g)}) \times 100$.

Índice enterosomático (%) (IES) = $(\text{Peso del intestino (g)} / \text{peso total del organismo (g)}) \times 100$.

Cociente intestinal (CI) = $(\text{Longitud del intestino (cm)} / \text{longitud total del organismo (g)}) \times 100$.

(Da et al., 2012; Moreira et al., 2012)

5.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el software Statistica (Versión 6.0, StatSoft, Tulsa, Oklahoma). Para determinar los efectos entre tratamientos (tres replicados por grupo experimental), la normalidad y homogeneidad de los datos fueron analizados individualmente y después se aplicó un análisis de ANOVA por tratamiento. Posteriormente, el análisis de datos fue sometido a una parametrización sigma-restringida y a un método de descomposición

hipotética. Las diferencias entre valores fueron analizadas mediante el test Tukey de amplio rango ($P < 0.05$) para discriminar grupos homogéneos.

VI RESULTADOS

6.1 Composición proximal de harina de grillo doméstico, *Acheta domesticus* y harina de pescado

Los contenidos de humedad, proteína cruda, cenizas, y fósforo, resultaron más bajos en la harina de *A. domesticus*, comparado con aquellos contenidos en la harina de pescado. En contraste, los lípidos totales, fibra cruda, extracto libre de Nitrógeno y energía bruta, resultaron más elevados en la harina de *A. domesticus*, comparado con aquellos presentados en la harina de pescado (Tabla 1).

6.2 Composición proximal de las harinas

En la tabla 1, se puede observar los contenidos proximales totales de harina de soya, ave, carne y hueso de cerdo, trigo y almidón pre-gelatinizado, utilizadas para la elaboración de las dietas experimentales del presente estudio.

Tabla 1. Composición proximal de harinas utilizadas para la elaboración de las dietas experimentales

Ingrediente	Humedad (%)	Proteína cruda (%)	Lípidos totales (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Extracto libre de Nitrógeno (%)	Fósforo (mg g ⁻¹)	Energía bruta (kcal kg ⁻¹)
Harina de pescado (sardina)	10.00	67.00	6.00	23.00	1.00	3.00	28.45	4474
Harina de <i>Acheta domesticus</i>	4.59	60.08	23.04	3.80	6.00	7.08	7.60	5854
Harina de soya	12.64	44.71	1.76	5.85	4.34	43.34	6.43	4490
Harina de ave (prime)	10.00	65.00	12.00	14.00	7.41	1.59	21.42	4866
Harina de carne y hueso (cerdo)	8.00	50.00	6.00	35.00	2.30	6.70	51.19	3667
Harina de trigo	10.00	10.80	1.70	2.00	2.80	82.70	5.00	4202
Harina de almidón pre-gelatinizado	8.14	0.03	0.49	0.02	1.24	98.22	0.00	4124

6.3 Composición proximal de dietas experimentales

En este estudio, se presentan dos tipos de composiciones proximales: la calculada y la analizada en laboratorio. Las dietas fueron diseñadas para ser iso-proteicas e iso-lipídicas y para contener niveles similares de cenizas, fibra cruda, extracto libre de Nitrógeno y energía bruta.

Comparado con la proteína cruda presentada en la composición calculada, el contenido proteínico resulto ser un poco más elevado en la composición analizada (Tabla 2).

Respecto a la composición proximal realizada en laboratorio, se observó que, los valores de proteína variaron entre 48.18% (dieta 25%) y 50.06% (dieta 50%). Los lípidos, registraron un ligero aumento a medida que el nivel de reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus* se incrementó en las dietas experimentales. Mientras que los valores de las cenizas, en las dietas experimentales disminuyeron, a medida que se incrementó el reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*. En contraste, el aumento de la fibra cruda, fue directamente proporcional al nivel de harina de *A. domesticus* en las dietas experimentales. Finalmente, el fósforo, disminuyó dramáticamente, a medida que los contenidos de harina de pescado disminuyeron en las dietas experimentales (Tabla 2).

Tabla 2. Diseño experimental y composición proximal (calculada y analizada).

Ingrediente	C	25%	50%	75%	100%
Harina de pescado (sardina)	^a 30.70	22.50	15.00	7.55	0.00
Harina de <i>Acheta domesticus</i>	^b 0.00	11.72	21.40	31.02	40.77
Harina de soya	^c 10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Harina de ave (prime)	^a 10.63	10.00	10.00	10.00	10.00
Harina de carne y hueso (cerdo)	^a 10.60	10.00	10.00	10.00	10.00
Harina de trigo	^c 18.28	17.56	16.72	15.89	15.05
Harina de almidón pre-gelatinizado	^c 10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Aceite de pescado	^e 2.90	2.12	1.48	0.77	0.10
Aceite de lecitina de soya	^f 2.89	2.10	1.40	0.77	0.08
Premix	^g 1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Ácido ascórbico	^h 0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Grenetina	^h 2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Composición calculada ¹					
Materia seca (%)	91.70	91.70	91.70	91.70	91.90
Proteína cruda (%)	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00
Lípidos totales (%)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Cenizas (%)	9.13	8.47	8.02	7.57	7.12
Fibra cruda (%)	10.67	11.64	12.45	13.25	14.06
Extracto libre de Nitrógeno ³	26.20	25.89	25.53	25.18	24.82
Energía bruta (kcal kg-1) ⁴	4588	4575	4560	4546	4531
Composición analizada ²					
Proteína cruda (%)	48.87	48.18	50.06	49.74	49.90
Lípidos totales (%)	9.64	11.74	12.59	12.60	12.17
Cenizas (%)	11.85	10.42	9.38	8.53	7.69
Fibra cruda (%)	7.76	4.65	7.64	5.64	8.24
Fósforo (mg g ⁻¹)	21.35	17.55	16.80	14.77	13.43

¹ Valores calculados para la composición proximal basados en Furuya (2010)

² Valores calculados para el análisis en laboratorio, basados en Takeuchi (1988)

³ Valor estimado del extracto libre de Nitrógeno = 100 - (protein + lipid + ash + crude fibre) (Takeuchi 2010)

⁴ Valor estimado de energía bruta = [(crude protein X 5.65) + (lipid X 9.4) + (NNE X 4.15)] x 10 (Gatlin 2010)

^a Griyum - PASMEX S.A. de C.V., Celaya, Guanajuato, Mexico.

^b Jorge Gil Rodriguez, Villahermosa, Tabasco, Mexico.

^c Proteínas marinas y agropecuarias (PROTMAGRO) S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, Mexico.

^d Aker Biomarine Antartic, Lysaker, Norway.

^e Maiz Industrial (MAZINSA) S.A. de C.V., Mazatlan, Sinaloa, Mexico.

^f DSM Nutritional Products S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, Mexico. Commercial product name: ROVIMIX Peces tropicales engorda. Composition: Vitamins: B3, K3, B1, B2, pantotenic acid, folic acid, biotine; Minerals: Cu, Zn, Fe, Mn, Se, P, K, Na, Ca.

^g Drogeria Cosmopolita, ciudad de México, México

^h SIGMA Aldrich, St. Louis, MO, USA.

6.4 Digestibilidad *In Vitro*

Al realizar la hidrólisis con muestras de estómago (para la fase ácida) e intestino (para la fase alcalina), en el pH STAT, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) o numéricas, entre la harina de pescado y la harina de *A. domesticus*. Los grados de hidrólisis de la fase ácida, resultaron significativamente ($P < 0.05$) más bajos en la harina de *A. domesticus* comparado con aquella, de la harina de pescado. En contraste, la fase alcalina resultó ser numéricamente más elevada en la harina de *A. domesticus* comparada con aquella presente en harina de pescado (tabla 3).

Tabla 3. Grados de hidrólisis de la fase ácida (estómago) y fase alcalina (intestinos) de pejelagarto, *Atractosteus tropicus*, Vs harina de pescado y harina de *Acheta domesticus*.

	FM		<i>Acheta domesticus</i> meal
Fase ácida	9.56 ±	1.69 ^a	4.02 ± 0.40 ^b
Fase alcalina	8.21 ±	2.16 ^a	12.64 ± 2.59 ^a

6.5 Crecimiento y sobrevivencia

No se detectaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los diferentes grupos experimentales, respecto a peso promedio inicial y longitud promedio inicial. Mientras que el peso promedio final, longitud promedio final, ganancia de peso e índice de peso específico, disminuyeron directamente proporcional, al incremento del nivel de reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, mostrándose una diferencia significativa entre el grupo C y el 100%. Respecto a estos mismos parámetros, comparado con la dieta C, los grupos experimentales 25%, 50%, y 75% no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$). Por otro lado, el factor de condición, no fue afectado por ninguna de las dietas experimentales. Sin embargo, respecto al grupo C, la sobrevivencia resultó significativamente ($P < 0.05$) más baja en los peces experimentales alimentados con la dieta 100%.

6.6 Utilización del alimento y de la proteína

A pesar de que la eficiencia del alimento y el índice de eficiencia de la proteína no presentaron diferencias significativas entre los diferentes grupos experimentales, los valores de ambos

disminuyeron, a medida que, el reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus* se incrementó en las dietas experimentales.

Tabla 4. Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína de juveniles de pejelagarto, *A. tropicus*, alimentado con dietas formuladas con diferentes niveles de reemplazo (0%, 25%, 50%, 75%, y 100%) de harina de pescado (sardina) por harina de *A. domesticus*, durante un periodo de 56 días.

Parameters	C	25%	50%	75%	100%
Peso promedio inicial (g individuo-1)	1.51 ± 0.11	1.51 ± 0.05	1.45 ± 0.19	1.51 ± 0.13	1.47 ± 0.07
Peso promedio final (g individuo-1)	15.79 ± 1.45 ^{ab}	18.75 ± 1.73 ^a	15.66 ± 1.75 ^{ab}	13.67 ± 0.54 ^{bc}	10.46 ± 0.26 ^c
Longitud promedio inicial (cm-1)	7.32 ± 0.18	7.07 ± 0.07	7.00 ± 0.19	7.03 ± 0.05	7.02 ± 0.07
Longitud promedio final (cm-1)	15.90 ± 0.52 ^{ab}	16.59 ± 0.53 ^a	15.65 ± 0.43 ^{ab}	14.89 ± 0.26 ^b	13.58 ± 0.18 ^c
Ganancia de peso (%)	14.28 ± 1.54 ^{ab}	17.24 ± 1.74 ^a	14.21 ± 1.60 ^{ab}	12.16 ± 0.63 ^{bc}	9.00 ± 0.27 ^c
Índice de peso específico (%)	1.76 ± 0.11 ^{ab}	1.88 ± 0.07 ^a	1.78 ± 0.06 ^{ab}	1.65 ± 0.09 ^{bc}	1.47 ± 0.04 ^c
Factor de condición (g cm-1)	0.39 ± 0.01	0.41 ± 0.02	0.41 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.42 ± 0.01
Sobrevivencia	94.17 ± 5.77 ^{ab}	89.17 ± 2.89 ^a	88.33 ± 2.89 ^{ab}	93.33 ± 5.20 ^a	77.50 ± 2.50 ^b
Eficiencia del alimento (%)	1.13 ± 0.18	1.33 ± 0.15	1.18 ± 0.09	1.07 ± 0.20	1.04 ± 0.02
Índice de la eficiencia de la proteína	2.32 ± 0.37	2.75 ± 0.32	2.36 ± 0.18	2.15 ± 0.41	2.13 ± 0.19

6.7 Parámetros somáticos

Los índices hepatosomáticos y gastrosomáticos no presentaron diferencias significativas entre los diferentes grupos experimentales. Se registró una significativa ($P < 0.05$) disminución en cuanto al índice vicerosomático, a medida que el reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus* aumentó en las dietas experimentales. Los peces experimentales alimentados con las dietas 75% y 100%, registraron índices vicerosomáticos, significativamente ($P < 0.05$) más bajos, que aquel registrado en la dieta C. Por su lado, el índice enterosomático, también disminuyó a medida que aumentó el reemplazo de la harina de pescado por harina de *A. domesticus*. Respecto a este parámetro, no hubo diferencias significativas entre los grupos experimentales C, 25% y 50%. Sin embargo, comparado con el grupo C, los peces alimentados con las dietas 75% y 100%, presentaron valores significativamente ($P < 0.05$) más bajos. Finalmente, los valores del cociente intestinal, resultaron inversamente proporcionales, al nivel de reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*. Este parámetro, no registró diferencias significativas ($P < 0.05$), entre los grupos C y 25%. Sin embargo, los grupos 50%, 75% y 100%, resultaron significativamente ($P < 0.05$) más bajos comparado con aquel del grupo

C. Más aún, los grupos 75% y 100%, fueron significativamente más bajos comparado con los grupos 50%, 25% y C.

Tabla 5. Parámetros somáticos de juveniles de pejelagarto, *Atractosteus tropicus*, alimentado con dietas formuladas con diferentes niveles de reemplazo (0%, 25%, 50%, 75%, y 100%) de harina de pescado (sardina) por harina de *A. domesticus*, durante un periodo de 56 días.

Parámetros	C	25%	50%	75%	100%
Índice hepatosomático (%) (IHS)	3.17 ± 0.37	3.40 ± 0.46	3.24 ± 0.57	3.62 ± 0.81	3.16 ± 0.65
Índice vicerosomático (%) (IVS)	8.80 ± 0.43 ^a	8.89 ± 0.83 ^a	8.40 ± 1.20 ^{ab}	7.41 ± 0.13 ^b	7.27 ± 1.37 ^b
Índice gastrosomático (%) (IGS)	0.26 ± 0.08	0.30 ± 0.14	0.18 ± 0.10	0.22 ± 0.06	0.24 ± 0.19
Índice enterosomático (%) (IES)	1.53 ± 0.30 ^a	1.36 ± 0.28 ^{ac}	1.56 ± 0.49 ^a	1.03 ± 0.25 ^{bc}	0.72 ± 0.22 ^b
Cociente intestinal (CI)	50.62 ± 6.07 ^a	43.50 ± 7.71 ^{ab}	39.51 ± 9.75 ^b	29.15 ± 3.96 ^c	27.75 ± 3.36 ^c

VII DISCUSION

7.1 Composición proximal de la harina de grillo doméstico, *Acheta domesticus* versus harina de pescado

En la última década, diversas harinas derivadas de insectos han sido ampliamente utilizadas como modelo de sustituto de harina de pescado en formulaciones acuícolas. Para estos objetivos, sus perfiles nutricionales han sido completa o parcialmente estudiados, con el objetivo de obtener una formulación precisa al momento de manufacturar las dietas experimentales (Alfiko et al., 2022; Barroso et al., 2014; Basto et al., 2019; Chávez et al., 2021). En esta investigación, se registraron niveles de 3.80% (cenizas), 23.04% (lípidos totales), 60.08% (proteína cruda), 7.08% (extracto libre de Nitrógeno) en harina de *A. domesticus*, comparado con 23% (cenizas), 6% (lípidos totales), 67% (proteína cruda), y 3% (extracto libre de Nitrógeno), observados en la harina de pescado (sardina). A este respecto, el objetivo principal del presente estudio, fue el reemplazo de harina de pescado (sardina) por harina de *A. domesticus*, de aquí se deriva la importancia comparativa de ciertos nutrientes (tales como la proteína cruda y lípidos totales), en estos dos tipos de harinas. Así como lo presentado en Sánchez – Muros (2016), quién estudió los efectos del reemplazo de la harina de pescado por harina de *Tenebrio molitor* en dietas para tilapia, *O. niloticus*.

Por otra parte, y comparado con previos estudios, el perfil nutricional de *A. domesticus*, mostró diferencias a lo observado en el presente estudio. Barroso et al. (2014), encontró que, harina derivada de esta especie de insecto, tenía un contenido de 5.6%, 15.9%, 73.1%, y 5.4% de

cenizas, extracto etéreo, proteína cruda, y extracto libre de nitrógeno, respectivamente. Los contenidos proteicos y lipídicos, son directamente afectados por la calidad del alimento que recibió *A. domesticus* durante su cultivo, ya que los niveles de proteína y lípidos en la dieta consumida, afectarán directamente su fisiología digestiva, absorción y aprovechamiento de nutrientes (Clifford et al., 1976; Clifford and Woodring, 1990).

7.2 Composición proximal de harinas

Los estudios cualitativos de la materia prima utilizada para la elaboración de dietas experimentales en estudios relacionados a la nutrición y fisiología de peces, son fundamentales (Gatlin, 2010). En el presente estudio se analizaron los perfiles nutricionales de todas las harinas utilizadas para la manufactura de dietas, con el fin de tener una formulación lo más precisa posible, es decir, más próxima a los requerimientos nutricionales de la especie utilizada en esta investigación. Al-Thobaiti et al. (2017), afirmó que, conocer la composición real de las harinas utilizadas en la formulación de dietas para peces de cultivo, es fundamental para obtener una formulación precisa ya que la calidad de los ingredientes, afectará significativamente el contenido de nutrientes resultante en las dietas y, por lo tanto, el crecimiento de los organismos acuáticos experimentales.

7.3 Composición proximal de dietas experimentales

El presente estudio, utilizó dietas iso-proteicas e iso-lipídicas, esto con el objetivo de satisfacer las necesidades nutricionales de *A. tropicus*. Investigaciones previas, enfocadas al estudio del reemplazo de harina de pescado por harina de insectos, han remarcado la importancia del balance nutricional en las dietas experimentales (Belghit et al., 2019; Sánchez-Muros et al., 2016), y así obtener los resultados deseados. Comparando el contenido de proteína cruda de la composición calculada con aquella de la analizada en laboratorio, en ésta última salió un poco elevada, lo cual podría ser explicado por el hecho de que los contenidos proteína del harina de pescado en la base de datos utilizada para la formulación de la dieta, difieren un poco del contenido de proteína real del harina de pescado utilizada para la manufactura de las dietas en el presente estudio. Diferencias entre nivel de proteínas en la composición calculada y la analizada también han sido reportadas previamente (Bee-Tubin et al., 2019). El perfil de

proteínas, obtenidas a partir del análisis en laboratorio, de las dietas experimentales utilizadas en el presente estudio, no mostró diferencias importantes. Lo cual se explica por la precisión al momento de formular las dietas (Gatlin, 2010). Sin embargo, el contenido de lípidos totales fue directamente proporcional al nivel de harina de *A. domesticus* en las formulaciones. Similarmente, Sánchez–Muros et al. (2016) y Dietz y Liebert (2018) observaron que las harinas de insectos en dietas acuícolas incrementan marcadamente el contenido de lípidos en las mismas. Este efecto se deriva de la per sé existente alta cantidad de lípidos presentes en la mayoría de especies de insectos utilizados para la manufactura de harinas y su posterior uso como ingredientes de dietas acuícolas (Alfiko et al., 2022; Barroso et al., 2014; Chávez 2021). Las dietas experimentales del presente estudio, mostraron una ligera disminución de cenizas a medida que el nivel de harina de pescado disminuyó en las dietas experimentales. Este efecto, podría explicarse por los altos niveles de cenizas per sé existentes en la harina de pescado, debido a que esta, se elabora a partir de pescado entero, contiendo cartílago y otras partes óseas, las cuales contienen altos contenidos de cenizas (Barlow, 2003). Donde al disminuir los contenidos de harina de pescado en las formulaciones, también disminuyen los contenidos de cenizas en las mismas. Similarmente, los contenidos de fósforo de las formulaciones utilizadas en la presente investigación, fueron directamente proporcionales a los niveles de harina de pescado en las dietas. Es decir, entre más altos los contenidos de harina de pescado en las dietas experimentales, más altos fueron los niveles de fósforo observados en las mismas. Es bien sabido que, la harina de pescado contiene altos niveles de fósforo, por esta estar manufacturada por el cuerpo entero del animal (incluyendo músculo, hueso, y vísceras) (Ockerman y Basu, 2014).

7.4 Digestibilidad *In Vitro*

La forma más rápida y eficaz de evaluar digestibilidad de la proteína en materia prima para la manufactura de dietas acuícolas, es el método *in vitro*. Dicho método tiene varias ventajas, una de ellas, es que necesita cantidades mínimas de muestra (harina) para su realización. Además de que, proporciona resultados precisos respecto a los porcentajes de enlaces peptídicos totales hidrolizados (Lewis et al., 2019). En el presente estudio, se compararon los grados de hidrólisis de harina de pescado (sardina) y harina de *Acheta domesticus* al utilizar las enzimas digestivas del estómago (para la fase de hidrólisis ácida) e intestino (para la fase de hidrólisis alcalina). En la fase ácida, se registraron diferencias significativas ($P < 0.05$), entre la harina de pescado y la de *A. domesticus*, donde se observó que el grado de hidrólisis presentado en la harina de *A.*

domesticus fue significativamente ($P < 0.05$) más bajo que aquel presentado en la harina de pescado. Mientras que, en la fase alcalina, la harina de *A. domesticus* observó un grado de hidrólisis numéricamente más alto que aquel registrado en la harina de pescado. Estudios de digestibilidad *in vitro*, de diversas harinas *versus* estómago e intestino de pejelagarto, han sido conducidos con anterioridad. En un estudio realizado por Frías–Quintana et al. (2010) en larvas de pejelagarto en tres edades diferentes (9, 15 y 31 días después de la eclosión, DDE) se analizaron los resultados en la fase ácida de dos fuentes proteínicas de harina de pescado. En este estudio, se encontró que los valores registrados en la harina de pescado hacia los días 9 y 15 DDE fue significativamente más alto comparado con aquel presentado en el día 31 DDE. En el mismo estudio, la fase alcalina mostró valores significativamente más bajos en las tres edades, comparado con aquellos de la fase ácida. Los autores de ese estudio, concluyeron que, estas diferencias, podrían deberse a dos aspectos: diferencias biológicas entre larvas y juveniles y a la cantidad de porcentaje de proteína cruda en las harinas de pescado analizadas. Los contenidos de proteína, influyen significativamente en los grados de hidrólisis ácida y alcalina. Similar a lo acontecido en el presente estudio, donde la harina de pescado presento un porcentaje de proteína de 67% mientras que aquel presente en harina de *A. domesticus* fue de 60.08 %. En un estudio conducido por Cuenca–Soria et al. (2013), se realizó la digestibilidad *in vitro* en ingredientes proteicos para la castarrica (*Mayaherus urophthalmus*) donde se probaron 29 ingredientes proteicos animales y vegetales. A este respecto, es importante mencionar que, debido a los contenidos proteicos en las harinas animales, éstas son significativamente más altos que aquellos presentes en las harinas vegetales. En este estudio, se observó que, los valores óptimos de grados de hidrólisis ácida, correspondieron a las harinas de camarón, jaiba, cerdo, pollo y sangre. Mientras que los valores óptimos para la hidrólisis alcalina, correspondieron a las harinas de cerdo, res, viseras de pollo, pollo, y pasta de coco. Mientras que los valores más bajos de grados de hidrólisis (tanto ácidas como alcalinas), correspondieron a la mayoría de harinas de origen vegetal. Al igual que en el presente estudio, estas diferencias entre hidrólisis ácida y alcalina (de harinas animales y vegetales), podrían deberse a la secuencia de aminoácidos de las proteínas presentes en las harinas, lo que hace que las de origen animal tengan más afinidad de las enzimas digestivas por los sustratos. Todo esto, aunado a la fisiología digestiva natural de los organismos carnívoros, como lo son *M. urophthalmus* y *A. tropicus*, quienes en sus formulaciones dietéticas requieren niveles más altos de proteínas animales con exigencias más grandes en cuanto a calidad de las mismas.

7.5 Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína

En las últimas dos décadas, el interés en el estudio de insectos, como fuente de proteína para dietas acuícolas, se ha incrementado significativamente (Alfiko et al., 2022; Barroso et al., 2014). Es por esto que, un gran número de estudios, han sido conducidos con el objetivo de utilizar harinas de insectos como reemplazo de harina de pescado. A pesar de que la mayoría de estudios han encontrado que una substitución de más del 30% de harina de pescado por harina de insectos disminuye el crecimiento de los peces experimentales (Hua, 2021; Liland et al., 2021), el presente estudio observó que el reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, hasta en un nivel de 75%, no afecta el desempeño de *A. tropicus*, en términos de crecimiento, utilización del alimento y de la proteína. A pesar de que existe la evidencia indicando que se trata de una especie carnívora con tendencia a la omnivoría, las investigaciones indican que, *A. tropicus*, requiere altos niveles de proteína de pescado, en sus formulaciones dietéticas, debido a sus per sé exigencias nutricionales, particularmente en etapas tempranas de desarrollo (calidad de la proteína, principalmente) (Márquez–Couturier et al., 2006; Frías–Quintana et al., 2010). Sin embargo, múltiples estudios enfocados a la fisiología digestiva de esta especie, indican que se trata de un organismo altamente adaptado a diferentes fuentes de nutrientes, por lo que su actividad enzimática digestiva le permite asimilar rápidamente a diferentes calidades de proteína consumida (Sáenz de Rodríguez et al., 2018) sin afectar su crecimiento.

A la fecha, muchas son las investigaciones que, han previamente reportado el reemplazo de harina de pescado por harina de insectos (Alegbeleye et al., 2012; Boscolo et al., 2001; Dong et al., 2013; Emehinaiye, 2012; Lock et al., 2014; Nandeeshya et al., 1999; Omoyinmi y Olaoje, 2012; Piccolo et al., 2014; Sogbesan y Ugwumba, 2008; Solomon et al., 2007). Sin embargo, muchas de estas investigaciones, han encontrado que aun con el reemplazo parcial (a bajos niveles) de harina de pescado por harina de insectos, existe una afectación del desempeño en el crecimiento de los organismos acuáticos experimentales. Alegbeleye et al. (2012), encontró que el bagre africano, *Clarias gariepinus*, observó una disminución de su crecimiento cuando la harina de pescado, fue reemplazada en 35% por *Zonocerus variegatus* (L). En otro estudio conducido por Sogbesan y Ugwumba (2008), se observó que el bagre vundu (*Heterobranchus longifilis*), disminuyó su tasa de crecimiento, cuando fue administrado con dietas conteniendo el reemplazo de harina de pescado por harina de *Macrotermes* en un 22.5–30%. Estos niveles bajos de reemplazo, pueden ser explicados por la presencia de ciertos anti – nutrientes,

presencia de quitina y otros agentes nutricionales, los cuales pudiesen afectar la actividad enzimática, morfología intestinal, digestibilidad, absorción de nutrientes y, por lo tanto, el desempeño general y crecimiento de los organismos que consumen dietas formuladas con el reemplazo de harina de pescado por harina de insectos (Barroso et al., 2014).

7.6 Parámetros somáticos

El crecimiento es definido como el proceso de incremento de peso, lo cual implica diversos procesos, tales como proliferación celular, o incremento del volumen celular, o ambos. Lo cual resulta en el incremento de la masa corporal. Por lo tanto, la masa corporal o peso, es un parámetro importante para la mayoría de las actividades de investigación en acuicultura (Du y Turchini, 2001). Al igual que lo expuesto en el presente estudio, diversos parámetros son utilizados para determinar el desempeño en el crecimiento de organismos acuáticos. Por ejemplo, ganancia de peso, índice de peso específico, factor de condición, entre otros. Sin embargo, el incremento de peso es solamente un aspecto que refleja principalmente la retención o deposición de los componentes del alimento (nutrientes) en el cuerpo, pero no siempre, reflejan la salud fisiológica del organismo en cuestión. En muchos casos, el incremento en el peso corporal se podría originar por el aumento en el peso visceral, particularmente del agrandamiento del tejido adiposo o del hígado, más que de un incremento real de la masa muscular. Por lo tanto, la acuicultura sustentable actual, recomienda el uso conjunto de no solamente parámetros tradicionales para determinar crecimiento, sino que también el uso de parámetros somáticos, para determinar un crecimiento saludable (Du y Turchini, 2021). En el presente estudio, con el objetivo de determinar un crecimiento saludable, de los peces experimentales, se realizó un análisis de parámetros somáticos incluyendo: índices hepatosomático, vicerosomático, gastrosomático, enterosomático y coeficiente intestinal. Diversos estudios previos, han utilizado a los parámetros somáticos, para determinar un crecimiento saludable de los organismos experimentales (Bee-Tubin et al., 2019; Da et al., 2012; Moreira et al., 2012). En el 2012, Bee-Tubin et al., utilizaron dietas formuladas con diferentes niveles (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) de reemplazo de harina de pescado, por harina de *T. molitor* en dietas para tilapia del Nilo. Los autores de esta investigación, observaron que, al igual que en la presente investigación, el índice hepatosomático no presentó diferencias significativas entre las diferentes dietas experimentales. En contraste, los resultados referentes al índice vicerosomático, encontrados en dicho trabajo, difieren de aquellos del presente estudio, ya que en el trabajo de Bee-Tubin, 2012, no hubo diferencias significativas entre los

diferentes grupos experimentales, mientras que en el presente estudio se observó que, hubo una disminución significativa, a medida que, la harina de pescado, fue sustituida por harina de *A. domesticus*. Esta diferencia contrastante de resultados, se puede explicar por el hecho de que, la harina de *T. molitor*, solamente se suplementó hasta en un 20% como sustituto de harina de pescado, con efectos nulos en el índice vicerosomático. En tanto que, en el presente estudio, se suplementó en un 100% en reemplazo a la harina de pescado, razón por la cual, altos niveles de *A. domesticus* podría tener un efecto represor en cuanto al índice visceral del pejelagarto. En otro estudio, conducido por Moreira et al. (2012), se analizaron los índices gastrosomático, enterosomático y cociente intestinal. En donde se observó que *O. niloticus* alimentada con diferentes raciones experimentales (dieta natural, dieta comercial y dieta natural + experimental), presentó diferencias significativas. En este estudio, se observó que, hubo un incremento significativo de los parámetros somáticos en los peces experimentales alimentados con la dieta natural, concluyendo que, estos resultados, están directamente relacionados con el hecho de que la superficie interna del estómago y del intestino, se incrementa por cuenta de la fácil absorción de los componentes de la dieta natural. En contraste, en el presente estudio, además de que el índice gastrosomático no presentó ninguna disminución comparado con el grupo control, el índice entero-somático disminuyó significativamente en los peces alimentados con la dieta 75% y 100%, mientras que el cociente intestinal disminuyó significativamente en los peces alimentados con las dietas 50%, 75% y 100%. Lo cual se atañe, a dos factores, uno es el relacionado con la presencia de altos niveles de harina de *A. domesticus* en las dietas experimentales y otro, es lo referente a la per sé naturaleza carnívora del pejelagarto, que requiere niveles de proteína de alta calidad en sus raciones experimentales (Márquez-Couturier, 2006). Como lo demostrado en el presente estudio, a pesar de que la harina de *A. domesticus* tiene perfiles nutricionales aceptables y similares a la harina de pescado, también se ha demostrado que las harinas derivadas de insectos, contienen niveles importantes de anti-nutrientes como quitina y otros metabolitos secundarios, los cuales, podrían afectar negativamente la fisiología del organismo que los consume y, por lo tanto, la morfología interna de los órganos relacionados con el sistema digestivo (Rumpold y Schluter, 2013.).

VIII CONCLUSIONES

La investigación científica, básica y aplicada, sobre el uso de harinas de insectos en dietas para acuicultura, ha demostrado la efectividad de este tipo de harinas como reemplazo de harina de pescado. En el presente estudio, se demostró que la harina de *A. domesticus* posee perfiles nutricionales y grados de hidrólisis equiparables con aquellos de la harina de pescado. De acuerdo con los resultados derivados de esta investigación, el reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, hasta en un nivel de 75%, no afecta el desempeño de *A. tropicus*, en términos de crecimiento. Sin embargo, el presente estudio, también demostró que, el completo reemplazo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, no afectó la eficiencia del alimento y utilización de la proteína. Por otro lado, se concluye que, el reemplazo máximo de harina de pescado por harina de *A. domesticus*, es del 25%, sin comprometer el coeficiente intestinal. Mientras que, una sustitución máxima de 50% no compromete los parámetros vicerosomático y enterosomático. Por su lado, los parámetros hepatosomático y gastrosomático, no mostraron ninguna afectación, aun con el reemplazo total de harina de pescado por harina de *A. domesticus*. Estudios adicionales, están siendo conducidos, con el objetivo de tener un mejor entendimiento de los efectos de *A. domesticus*, como harina reemplazante de harina de pescado en dietas para *A. tropicus*.

IX REFERENCIAS

Alegbeleye W.O., Obasa S.O., Olude O.O., Otubu K., and Jimoh W. 2012. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*, 43, 412–420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02844.x>

Alfiko Y., Xie D., Tri-Astuti R., Wong J., and Wang L. 2022. Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>

Almeida–Madrigal J. A. 2008. Evaluación de gluten de trigo como sustituyente de harina de pescado en dietas prácticas para la alimentación de larvas y juveniles de la mojarra Tenguayaca *Petenia splendida* en condiciones de laboratorio. (Tesis licenciatura). Universidad Juárez Autónoma De Tabasco, División Académica De Ciencias Biológicas. Villahermosa.

Al-Thobaiti A., Al – Ghanim K., Suliman E.M., Mahboob S. (2017). Impact of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources on the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Brazilian Journal of Biology*, 78, <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.172230>

Anderson, J. L., Asche, F., Garlock, T., and Chu, J. 2017. Aquaculture: Its role in the future of food. *World Agricultural Resources and Food Security*, 17, 159–173. <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/acuicultura-historia-y-actualidad-en-mexico>

Anson M.L. 1938. The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin. *The Journal of General Physiology*, 22, 79–89. <https://dx.doi.org/10.1085%2Fjgp.22.1.79>

Apolo–Arévalo L., y Lannacone J. 2016. Crianza del grillo (*Acheta domestica*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano. *Scientia*, 17(17). <https://doi.org/10.31381/scientia.v17i17.389>

Austren, E. 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide working and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*, 13, 265–272. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(78\)90008-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(78)90008-X).

- Barlow S.M. 2003. Fish meal. 2486–2491 in Caballero B., editor. Encyclopedia of Food Science and Nutrition (Second Edition), Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00479-X>
- Barroso F.G., de Haro C., Sánchez-Muros M-J., Venegas E., Martínez-Sánchez A., and Pérez-Bañón C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. Aquaculture, 422–423, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>
- Basto A., Matos E., and Valente L.M.P. 2019. Nutritional value of different insect meals as protein sources for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquaculture, 521, 735085. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735085>
- Bee-Tubin, Paiano D., de Oliveira Hashinmoto G.S., Furtado W.E., Laterca-Martins M., Durigon E., and Coelho-Emerenciano M.G. 2019. *Tenebrio molitor* meal in diets for Nile tilapia juveniles reared in biofloc system. Aquaculture, 519, 734–763. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734763> .
- Belghit I., Liland N. S., Gjesdal P., Biancarosa I., Menchetti E., Li Y., Waagbø R., Krogdahl Å., y Lock E.–J. 2019. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea–water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 503, 609–619. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.032>
- Boscolo W.R., Hayashi C., and Meurer F. 2001. Fish, meat and bone, poultry by-products and silkworm meals as attractive in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. Revista Brasileira de Zootecnia, 30, 1397–1402. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982001000600002>
- Castillo–Torres P.A., Martínez–Meyer E., Córdova–Tapia F., Zambrano L. 2017. Potential distribution of native freshwater fish in Tabasco, Mexico distribution potential de los peces nativos de agua dulce en Tabasco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 88(2), 415–424. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.001>
- Chávez M. 2021. The sustainability of industrial insect mass rearing for food and feed production: zero waste goals through by-product utilization. Current opinion in insect science, 48, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.09.003>

Chiou, J.Y. and Ogino, D. 1975. Digestibility of starch in carp. Bulletin of Japanese Society of Scientist Society, 41,465–466. <https://doi.org/10.2331/suisan.41.465>.

Clifford C.W., and Woodring J.P. 1990. Methods for rearing the house cricket, *Acheta domesticus* (L.), along with baseline values for feeding rates, growth rates, development times, and blood composition. Journal of Applied Entomology, 109, 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1990.tb00012.x>

Clifford C.W., Roe R.M., and Woodring J.P. 1976. Rearing methods for obtaining house crickets, *Acheta domesticus*, of known age, sex and instar. Annals of the Entomological Society of America, 1(17), 69–64. <https://doi.org/10.1093/aesa/70.1.69>

CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2020. Centros Acuícolas operados por CONAPESCA. CONAPESCA. México.

Corbalá–Bermejo J. A., Vargas–Magaña J.J., López–Télez N.A., Lastra–del Rivero C.A., Cu–Contreras J., Castollo–Salas J. M. (2019). Uso de proteína derivada de larvas de mosca doméstica (*Musca domestica*) para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Revista Iberoamericana de Ciencias, 6-1, 1-10. <http://www.reibci.org/publicados/2019/feb/2500103.pdf>

Cuenca–Soria, C.A., Álvarez–González, C.A., Ortiz–Galindo J.L., Guerrero–Zárate R., Perera–García, M.A., Hernández–Gómez R.E., Nolasco–Soria H. 2013. *In-vitro* PH–STAT digestibility of protein ingredients in the Mayan cichlid *Cichlasoma urophthalmus*. Universidad y Ciencia del Trópico Húmedo. 29(3), 263–275. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0186-29792013000300005&lng=en

Da C.T., Lundh T., and Lindberg J.E. 2012. Evaluation of local feed resources as alternatives to fish meal in terms of growth performance, feed utilization and biological indices of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) fingerlings. Aquaculture, 364–365, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.010>.

Dimes L.E., and Haard N. 1994. Estimation of protein digestibility: Development of an in vitro method for estimating protein digestibility in salmonids. Comp. Biochemistry and Physiology 108(A), 349–362. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(94\)90106-6](https://doi.org/10.1016/0300-9629(94)90106-6)

Dietz C., and Liebert F. 2018. Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)?. Aquaculture reports, 12, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.09.001>

Dong G.F., Yang Y.O., Song X.M., Yu L., Zhao T.T., Huang G.L., Hu Z.J., and Zhang J.L. 2013. Comparative effects of dietary supplementation with maggot meal and soybean meal in gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and dark barbell catfish (*Pelteobagrus vachelli*): Growth performance and antioxidant responses. Aquaculture Nutrition, 19(4), 543–554. <https://doi.org/10.1111/anu.12006>

Du Z–Y., Turchini G.M. 2021. Are we actually measuring growth? – An appeal to use a more comprehensive growth index system for advancing aquaculture research. Reviews in Aquaculture, <https://doi.org/10.1111/raq.12604>

Emehinaiye P.A. 2012. Growth performance of *Oreochromis niloticus* fingerlings fed with varying levels of migratory locust (*Locusta migratoria*) Meal. Aquaculture and Fisheries Management, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria

Espinosa–Pérez, H. 2014. Biodiversidad de peces en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85, 450–459. <https://doi.org/10.7550/rmb.32264>

FAO. 2019. Aquaculture growth potential in Mexico. WAPI factsheet. Rome, Italy.

FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura (SOFIA). Roma, Italy.

Ferrer-Llagostera P., Kallas Z., Reig L., and Amores de Gea D. 2019. The use of insect meal as a sustainable feeding alternative in aquaculture: Current situation, Spanish consumer´s perceptions and willingness to pay. Journal of Cleaner Production, 229, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.012>

Furuya, W.M. 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. GFM. Toledo, 100.

Frías–Quintana C. A., Álvarez–González C. A., & Márquez–Couturier G. 2010. Diseño de microdietas para el larvicultivo de pejelagarto *Atractosteus tropicus*, Gill 1863. Universidad y ciencias, trópico húmedo 26(2), 265–282. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0186-29792010000300006&lng=es&nrm=iso

Gatlin, D. M. III. 2010. Principles of fish nutrition. *In*: Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication No. 5003. <https://southcenters.osu.edu/sites/southc/files/site-library/site-documents/abc/SRACPrinciplesOfNutrition.pdf>

Hua K. 2021. A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. *Aquaculture*, 530, 73732. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735732>

Jongema, Y. 2017. List of Edible Insects of the World. Wageningen University and Research (2017 Apr 1. <https://www.wur.nl/en/Reserch-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>

Jozefiak A., Nogales-Mérida S., Mikołajczak Z., Rawski M., Kierończyk B., y Mazurkiewicz J. 2019. The Utilization of Full-Fat Insect Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Nutrition: The Effects on Growth Performance, Intestinal Microbiota and Gastrointestinal Tract Histomorphology. *Annals of Animal Science*, 19(3), 747–765. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0020>

Kulma M., Kouřimská L., Plachý V., Božik M. ě., Adámková A., and Vrabec, V. 2019. Effect of sex on the nutritional value of house cricket, *Acheta domestica* L. *Food Chemistry*, 272, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.049>

Kunitz M. 1947. Crystalline soybean trypsin inhibitor II. General properties. *The Journal of General Physiology*, 30, 291–310. <https://doi.org/10.1085/jgp.30.4.291>

Lewis M.J., Francis D.S., Blyth D., Moyano F.J., Smullen R.P., Turchini G.M., and Booth M.A. 2019. A comparison of *in-vivo* and *in-vitro* methods for assessing the digestibility of poultry by-product meals using barramundi (*Lates calcarifer*); impacts of cooking temperature and raw material freshness. *Aquaculture*, 498, 187–200. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.032>

Liland N., Araujo P., Xu X., Lock E-J., Radhakrishnan G., Prabhu A. 2021. A meta-analysis on the nutritional value of insects in aquafeeds. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6, 1–17. <http://dx.doi.org/10.3920/JIFF2020.0147>

Lock E.-J., Arsiwalla T., and Waagbo R. 2014. Insect meal: a promising source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmon salar*). Pages 67 *in*: Vantomme P., Munke C., and van Huis

A. editors, 1st International Conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands.

<https://www.researchgate.net/publication/288268138> Insect meal a promising source of nutrients in the diet of Atlantic salmon *Salmon salar*

Macombe C., Le Feon S., Aubin J., and Maillard F. 2019. Marketing and social effects of industrial scale insect value chains in Europe: case of mealworm for feeds in France. *Journal of Insects as Food Feed*, 1, 1–10. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0047>

Márquez–Couturier, G., Álvarez–González, C. A., Contreras–Sánchez, W. M., Hernández–Vidal, U., Hernández–Franyutti, A. A., Mendoza–Alfaro, R. E., Aguilera–González, C., García–Galano, T., Civera–Cerecedo, R. y Goytortua–Bores, E. 2006. Avances en la Alimentación y Nutrición del Pejelagarto *Atractosteus Tropicus*. Avances en Nutrición Acuícola. VIII Simposio Internacional de Nutrición Acuícola. 446–523. <http://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/181>

Martínez–Palacios C.A., Harfush–Melendez M., Chávez–Sánchez C. and Ross L.G. 1996. The optimum dietary protein level for the Mexican cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther): a comparison of estimates derived from experiments using fixed-rate feeding and satiation feeding. *Aquaculture Nutrition*, 2, 11–20. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.1996.tb00003.x>

Miller R.R., Minckley W.L., Norris S.M., and Gach M.H. 2009. Peces dulceacuícolas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (MEX) – Sociedad Ictiológica Mexicana, A.C. (MEX) – El Colegio de la Frontera Sur (MEX), y Consejo de los Peces del desierto (MEX–USA), México D.F.

Montoya–Camacho N., Hernández–Oloño J. T., Márquez–Ríos E., Rodríguez–Félix F., Torres–Arreola W., Castillo – Yañez F. J., Canizales–Rodríguez D. F., y Ocaño–Higuera V. M. 2018. Efecto de la sustitución de proteína animal por vegetal en el alimento sobre la fisiología de la tilapia del Nilo. *Biotecnia*, 20, 2, 37–42. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/598>

Moreira R.L., Silveira L.P., Teixeira E.G., Moreira A.G.L., Moura P.S.D. and Farias W.R.L. 2012. Growth and gastrointestinal indexes in Nile tilapia fed with different diets. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 34, 223–229. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i3.13327>

Mousavi S., Zahedinezhad S. and Yan–Loh J. 2020. A review on insect meals in aquaculture: the immunomodulatory and physiological effects. *International Aquatic Research*, 12, 100-115. [https://dx.doi.org/10.22034/iar\(20\).2020.1897402.1033](https://dx.doi.org/10.22034/iar(20).2020.1897402.1033)

Nájera–Arzola I. C., Álvarez–González C. A., Frías–Quintana C. A., Emyr Peña, E., Martínez–García R., Camarillo–Coop S., Méndez–Marín O, Gisbert E. 2018. Evaluation of Mannan oligosaccharides (MOS) in balanced diets for tropical gar juveniles (*Atractosteus tropicus*). *Hidrobiológica*, 28(3), 239–246. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n3/pena>

Nandeesh M.C., Gangadhara B., and Manissery J.K. 1999. Silkworm pupa oil and sardine oil as an additional energy source in the diet of common carp, *Cyprinus carpio*. *Asian Fisheries Science*, 12, 207–215. <https://www.semanticscholar.org/paper/Silkworm-Pupa-Oil-and-Sardine-Oil-as-an-Additional-Nandeesh-Gangadhara/39539ec4c044cd09461afdc743d9ed1196e4cca8>

Omoyinmi G.A.K., Olaoye O.J. 2012. Growth performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed diets containing different sources of animal protein. *Lybian Agriculture Research Center Journal International* 3(1), 18–23. [https://idosi.org/larcji/3\(1\)12/4.pdf](https://idosi.org/larcji/3(1)12/4.pdf)

Otero P., Gutiérrez–Docio A., Navarro del Hierro J., Reglero G., & Martin D. 2020. Extracts from the edible insects *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor* with improved fatty acid profile due to ultrasound assisted or pressurized liquid extraction. *Food Chemistry*, 314, 126200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126200>

Ockerman H.W. and Basu L. 2014. By–products. 125–136 *in*: Dickman M. and Devine C. editors. Reference Module in Food Science. *Encyclopedia of Meat Sciences* (Second Edition). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00032-5>

Palma–Cansino D. J., Martínez–García, R., Álvarez–Gonzalez C. A., Camarillo–Coop S., y Peña–Marín E.S. 2019. Esquemas de alimentación para larvicultura de pejelagarto (*Atractosteus tropicus* Gill): crecimiento, supervivencia y canibalismo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 273. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.2092>

Pérez–Horcajo I. 2018. Caracterización de la harina de grillo común (*Acheta domesticus*) y el estudio de las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales al introducirla en una crema de cacao saludable. (Trabajo de fin de grados). Universidad Miguel Hernández del Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela.

Piccolo G., Marono S., Gasco L., Iannaccone F., Bovera F., and Nizza A. 2014. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal in diets for Gilthead seabream *Sparus aurata* juveniles. Page 68. In: Vantomme P., Munke, C., and van Huis, A. editors, 1st International Conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands. https://www.researchgate.net/publication/288268461_Use_of_Tenebrio_molitor_larvae_meal_in_diets_for_Gilthead_seabream_Sparus_aurata_juveniles

Ramos-Elorduy J. B., and Viejo–Montesinos J. L. (2007) Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia, con especial referencia a México. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Biología, 102 (1–4), 61–84. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2486098>

Rodríguez–Montero M. 2016. Estado del conocimiento de los insectos como alimento: evolución y situación actual. (Revisión bibliográfica). Universidad de Almería, Facultad de Ciencias Experimentales. http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/6861/8829_TFG_Mar%C3%ADaRodr%C3%ADguezMontero.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rumpold B.A. and Schluter O.K. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. Innovation Food Science Emerging Technology 17, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>

Sánchez–Muros, M.J., De Haro, C., Sanz, A., Trenzado, C.E., Villareces, S., and Barroso, F.G. 2016. Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fish meal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. Aquaculture Nutrition 22, 943–955. <https://doi.org/10.1111/anu.12313>

Saunders R.M., Conner M.A., Booth A.N., Bicko E.M., and Kohler G.O. 1972. Measurement of digestibility of alfalfa concentrates by *InVivo* and *InVitro* methods. Journal of Nutrition, 103, 530-535. <https://doi.org/10.1093/jn/103.4.530>

Smith, R.R. 1971. A method for measuring digestibility and metabolizable energy of fish feeds. The Progressive Fish Culturist. 33, 132–134. [https://doi.org/10.1577/15488640\(1971\)33\[132:AMFMDA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/15488640(1971)33[132:AMFMDA]2.0.CO;2)

Sáenz de Rodrigáñez M., Aguilar–Téllez F. V., Alarcón–López F. J., Pedrosa–Islas R., Peña–Marín E.S., Martínez–García R., Guerrero–Zárate R., Matamoros W.A., y Álvarez–González,

C. A. 2018. Evaluación de alimentos micro encapsulados en el cultivo de larvas de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). Revista de Biología Tropical, 66(3), 1298. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i3.31727>

Sogbesan A.O., and Ugwumba A.A.A. 2008. Nutritional evaluation of Termite (*Macrotermes subhyalinus*) meal as animal protein supplement in the diets of *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) fingerlings. Turkish Journal Fisheries and Aquaculture Science, 8, 149–157.

[https://www.researchgate.net/publication/242599458 Nutritional Evaluation of Termite Macrotermes subhyalinus Meal as Animal Protein Supplements in the Diets of Heterobranchus longifilis Valenciennes 1840 Fingerlings](https://www.researchgate.net/publication/242599458_Nutritional_Evaluation_of_Termite_Macrotermes_subhyalinus_Meal_as_Animal_Protein_Supplements_in_the_Diets_of_Heterobranchus_longifilis_Valenciennes_1840_Fingerlings)

Solomon S.G., Sadiku S.O.E., Tiamiyu L.O. (2007) Wing reproductive termite (*Macrotermes nigeriensis*) – soybean (*Glyxine max*) meals blend as dietary protein source in the practical diets of *Heterobranchus bidorsalis* fingerlings. Pakistani Journal of Nutrition 6, 267–270. <https://dx.doi.org/10.3923/pjn.2007.267.270>

Takeuchi, T. 1988. Laboratory work: chemical evaluation of dietary nutrients. Pages 129–233 in Watanabe T editor. Fish nutrition and mariculture: JICA text book: the general aquaculture course. Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries, Tokyo.

van Huis, A. and De Prins, J. 2013. Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security. FAO 02, pp. 47e48. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Walter H.E. 1984. Proteinases: methods with hemoglobin, casein and azocoll assubstrates. Pages: 270–277 in: Bergmeyern H.J. editor, Methods of enzymatic analysis. Verlag Chemie, Weinham.

Xiaoming C., Ying F., Hong Z. 2010. Review of the nutrition value of edible insects. In: Forest Insects as Food: Humans Bite Back, Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and their Potential for Development, Chiang Mai, Thailand, 19-21 February 2008, pp 85–92. <https://doi.org/ISBN.978-92-5-106488-7>