



UNIVERSIDAD JUAREZ AUTONOMA DE TABASCO

División Académica de Ciencias Biológicas



**“ESTUDIO CUALITATIVO DE LA HARINA DE GRILLO DOMESTICO (*Acheta domesticus*)
Y SU REEMPLAZO POR HARINA DE SOYA EN DIETAS PARA TILAPIA (*Oreochromis
niloticus*)”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

TESIS

Para obtener el título en:

Licenciatura en Biología

Presenta:

Gianfranco Falcón López

Director:

Dr. Carlos Alfonso Álvarez González

Co-Director:

Dr. Uriel Rodríguez Estrada (Investigador CONACYT)

Villahermosa, Tabasco, México

Julio, 2022



**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
PRESENTE**

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. GIANFRANCO FALCÓN LÓPEZ** 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 DE LA HARINA DE GRILLO DOMÉSTICO (*Acheta domestica*) Y SU REEMPLAZO POR HARINA DE SOYA EN DIETAS PARA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)"**.

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"



PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

JULIO 04 DE 2022

**C. GIANFRANCO FALCÓN LÓPEZ
PAS. DE LA LIC. EN BIOLOGIA
PRESENTE**

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 DE LA HARINA DE GRILLO DOMÉSTICO (*Acheta domestica*) Y SU REEMPLAZO POR HARINA DE SOYA EN DIETAS PARA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)"**, 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. Melina del Carmen Uribe López, Dra. Carina Shianya Álvarez Villagómez, Dr. Carlos Alfonso Álvarez González, Dra. Rocío Guerrero Zárate y Dra. Susana de la Rosa García.

**A T E N T A M E N T E
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.



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, 337-9611, 337-9706, Fax (993) 354-4308 y 358-1579

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

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 DE LA HARINA DE GRILLO DOMÉSTICO (*Acheta domestica*) Y SU REEMPLAZO POR HARINA DE SOYA EN DIETAS PARA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”**, 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



GIANFRANCO FALCÓN LÓPEZ

DEDICATÓRIA

A mis padres Leonardo Falcón y Patricia López por haberme dado la confianza y las herramientas para estudiar la universidad y terminarla.

AGRADECIMIENTOS

A la vida y a Dios por darme la fuerza para llevar a cabo los bioensayos y poder completarlos.

Al Dr. Carlos Alfonso Álvarez González y al Dr. Uriel Rodríguez Estrada, porque sin ellos este estudio no hubiera sido posible. También agradecerles su paciencia para enseñarme sobre la nutrición y fisiología en acuicultura, así como su disponibilidad de tiempo, y confianza que me tuvieron junto con los útiles consejos.

Al Dr. Rafael Martínez García porque gracias a él pude entrar a este equipo de trabajo y agradecer su oportunidad en aceptarme en el programa de servicio social.

A mis compañeros Eduardo Marín y Esmeralda Córdova por haberme ayudado en mis muestreos de biometría y en algunos otros problemas.

A mi compañera Karen Nieves por sus enseñanzas en el laboratorio de Bioquímica.

A la Dra. Judith Rangel por sus clases de Anatomía y Fisiología Animal porque si no hubiera llevado esa clase con ella no me hubiera nacido el amor por la biología y esas 2 áreas tan maravillosas de la ciencia.

Agradecimiento especial, al comité de sinodales por haberme aceptado el trabajo recepcional.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. ANTECEDENTES	11
2.1 Fuentes proteicas en dietas para organismos acuáticos	11
2.1.1 Harinas animales	11
2.1.2 Harinas vegetales	13
2.1.3 Harinas de insectos	15
2.2 Harinas de ortópteros como fuentes de proteína para dietas acuícolas	17
III. JUSTIFICACIÓN	18
IV. OBJETIVOS	19
4.1 Objetivo general	19
4.2 Objetivos específicos	19
V. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1 Obtención de peces y sistema experimental	20
5.2 Ingredientes y dietas experimentales	20
5.3 Análisis proximal de harinas y dietas experimentales	21
5.4 Bioensayo	26
5.5 Análisis estadístico	27
VI. RESULTADOS	28
6.1 Composición proximal de harinas	28
6.2 Composición proximal de dietas experimentales	29
6.3 Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína	31
VII. DISCUSIÓN	33
7.1 Composición proximal de las harinas	33
7.2 Composición proximal de las dietas experimentales	33
7.3 Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína	35
VIII. CONCLUSIÓN	37
IX. REFERENCIAS	38

RESUMEN

“ESTUDIO CUALITATIVO DE LA HARINA DE GRILLO DOMESTICO (*Acheta domesticus*) Y SU REEMPLAZO POR HARINA DE SOYA EN DIETAS PARA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”

El uso de harinas de insectos como fuentes de proteína, como alternativa a las harinas proteicas convencionales en las dietas de acuicultura, ha atraído la atención de la investigación científica en todo el mundo. Aunque se ha demostrado que varias harinas de insectos sustituyen parcial o totalmente a la harina de pescado (HP) o a la harina de soya (HS), se carece de información sobre sus perfiles nutricionales y sus efectos en el crecimiento de determinados organismos acuáticos de cultivo. Por lo tanto, el objetivo principal de la presente investigación es evaluar el perfil de calidad de la harina de *A. domesticus* y sus efectos sobre el crecimiento, la supervivencia, la eficiencia alimentaria y la utilización de proteínas cuando la tilapia, *Oreochromis niloticus*, es alimentada con dietas formuladas con niveles graduados de harina de *A. domesticus* en sustitución de la HS. Se detectaron marcadas diferencias entre la harina de *A. domesticus* y el HS, en cuanto a su composición nutricional. Una vez obtenidos los valores proximales de cada ingrediente, se formularon y elaboraron dietas experimentales sustituyendo la proteína de soya por la de la harina de *A. domesticus* en diferentes niveles (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). Como se esperaba, la composición proximal reveló marcadas diferencias entre la soya y la harina de *A. domesticus*. No hubo diferencias relevantes en la composición proximal de las dietas experimentales. En cuanto al crecimiento, la supervivencia, la eficiencia alimentaria y la utilización de las proteínas, no hubo diferencias significativas entre los grupos experimentales. De acuerdo con los resultados del presente estudio, se concluye que la harina de *A. domesticus* puede reemplazar completamente a la HS sin afectar el crecimiento, la supervivencia, la eficiencia alimenticia y la utilización de proteínas de los juveniles de tilapia, *O. niloticus*.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la pesca es una fuente inmensa pero limitada para la obtención de proteína acuática de alta calidad; sin embargo, los volúmenes de captura van en detrimento por lo que las pesquerías no podrán soportar la alimentación humana y animal en el futuro cercano (FAO 2020). En este sentido, la acuicultura ha demostrado ser la alternativa más viable ya que cumple un papel esencial en la seguridad alimentaria mundial, dado que la producción ha aumentado de forma sostenida un 7.5% por año desde 1970. El reconocimiento de la capacidad de la acuicultura para seguir creciendo, y de los desafíos ambientales que debe afrontar este sector a medida que intensifica su producción, exige nuevas estrategias de desarrollo de la acuicultura sostenible. Para lograr estos objetivos, dichas estrategias se deben abordar desde diferentes rubros: la selección genética, la bioseguridad, la sanidad, y la nutrición acuícola (Anderson et al., 2017).

Sumando los resultados de las pesquerías y la acuicultura, se estima que la producción mundial de pescado alcanzó los 179 millones de toneladas en 2018. Asimismo, del total general, 156 millones de toneladas se destinaron al consumo humano, lo que equivale a un suministro anual estimado de 20.5 kg per cápita (FAO 2020). Por su parte, la producción acuícola mundial creció, en promedio, un 5.3% anual en el período 2006-2020. Mientras que, en el 2018, la acuicultura continental produjo 51.3 millones de toneladas de animales acuáticos, lo que equivale al 62.5% de la producción mundial de pescado comestible cultivado en la acuicultura y 38.98 millones en la pesca. Alrededor del 88% de los 179 millones de toneladas de la producción pesquera total se utilizó para el consumo humano directo, mientras que el 12% restante se utilizó para fines no alimentarios. A este respecto, el pescado vivo, fresco o refrigerado sigue representando la mayor parte del pescado utilizado para el consumo humano directo (44%) (CONAPESCA 2020).

En México seis especies aportan el 69% del total del valor de la producción pesca: el camarón con siete mil 943 mdp (millones de pesos); tilapia del Nilo, *O. niloticus*, con mil 343 mdp; tñidos, con mil 307 mdp; pulpo, con 781 mdp; sardina, con 604 mdp, y trucha, con 442 mdp (FAO 2020). Específicamente hablando, en materia de acuicultura, nuestro país registra antecedentes desde el siglo pasado y a partir de la década de los cincuenta inicia su desarrollo formal con la creación de amplios cultivos extensivos o de carácter experimental.

A mediados de los cincuenta y hasta la década de los sesenta la piscicultura de repoblación tuvo un incremento intenso, buscando repoblar las aguas dulces con una orientación de beneficio social, es decir, lograr resolver problemas de las comunidades donde se instalaron los centros acuícolas que se dedicaron a la reproducción de carpa espejo (FAO 2019). Posteriormente, en la década de los ochenta se comenzó la producción para fines meramente comerciales, y se ha logrado que la acuicultura en México mantenga el crecimiento más elevado a escala global, superando constantemente el 9% anual promedio en las últimas dos décadas. En nuestro país, la acuicultura se ha dividido en dos grandes vertientes, la producción de peces para el consumo humano y la producción de peces de ornato. Profundizando en el primer rubro de producción, a pesar de que comer pescado forma parte de la tradición cultural mexicana, actualmente, este hábito no está extendido en la sociedad. La carne de organismos acuáticos es una excelente fuente de proteínas, ácidos grasos, minerales y nutrientes esenciales en la dieta del hombre. Por otro lado, la producción de peces de ornato, 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).

México es el noveno productor de *O. niloticus* nivel mundial, lo que representa el 94.3% de la producción acuática nacional de la especie (FAO 2019). En nuestro país, esta especie se conoce comúnmente como tilapia o mojarra, o mojarra tilapia. Las principales entidades productoras de esta especie en el país son Jalisco, Chiapas, Sinaloa, Nayarit, Michoacán, Veracruz, Tabasco, Guerrero, e Hidalgo. En México los cultivos de *O. niloticus* se realizan en sistemas extensivo, semi-intensivo e intensivo. Su producción está destinada al repoblamiento de embalses y al consumo humano (FAO 2020). En este último aspecto, *O. niloticus* ha resultado ser un importante componente para la economía de algunas regiones de México (Selina–Wamucii, 2019). A nivel nacional, en materia de acuicultura el volumen de la producción de *O. niloticus* en el 2018 fue de 72,595.96 toneladas con valor de \$2,066.43 millones (CONAPESCA 2020).

A nivel mundial, en cuanto a su biotecnología, tradicionalmente, *O. niloticus* se ha cultivado en sistemas terrestres, en estanques de tierra, tanques de hormigón, estanques de geomembrana y, en menor medida, sistemas de recirculación (Muir et al., 2000). Los sistemas de cultivo en recirculación, también conocidos como sistemas de recirculación continua o

cerrados, son una alternativa ideal para hacer una mejor utilización de agua y espacio disponible. Estos sistemas se caracterizan por la reutilización del agua; es decir, descarga mínima de efluentes y conservación óptima del agua. El agua de cultivo pasa por varios procesos de tratamiento para restaurar su calidad. Estos incluyen la eliminación de desechos sólidos, metabolitos suspendidos (como dióxido de carbono, amoníaco y nitrito), esterilización y aireación (Mires y Anjioni, 1997; Mires y Amit 1992; Rosati et al., 1993).

Debido a que mundialmente, la producción intensiva de organismos acuáticos, ha dado lugar a la necesidad de producir alimentos acuícolas, con altos niveles de harinas proteicas de alta calidad al año, en las últimas décadas ha surgido la necesidad creciente por la dependencia del uso de la harina de pescado para la manufactura de alimentos para acuicultura. Derivado a la sobre explotación de los recursos pesqueros, este suministro se ha hecho ambientalmente insostenible (Tacon y Metian, 2008).

Es por esto que, en las dos últimas décadas, la academia y la industria, han enfocado sus esfuerzos en investigar nuevas fuentes proteicas alternativas a la harina de pescado. Muchas de ellas, se agrupan en las de origen vegetal, las cuales han demostrado ser las más adecuadas. La proteína vegetal es una alternativa por excelencia, por sus cualidades nutricionales y costo, para substituir la proteína marina (Webster 2009; Swick et al., 1995; Dersjant-Li, 2002). A pesar de todas las ventajas que representa el uso de harinas vegetales, en dietas acuícolas, existen una serie de desventajas referentes al uso de harinas vegetales en alimentos destinados a la acuicultura. Una de ellas es su disponibilidad de explotación. En este punto, es importante considerar las presiones de producción (sobreexplotación), originadas por la necesidad de suplir no solo las prioridades del per sé consumo humano, sino que también, de nutrición animal (Webster 2009). Estas presiones han empujado a encarecer el precio de estas materias primas, por lo que, en la actualidad, la investigación acuícola, ha enfocado su interés en investigar fuentes proteicas alternativas poco convencionales, para su uso en dietas para organismos acuáticos cultivados. Una alternativa que recientemente ha sido merecedora de bastante interés, es el uso de harinas de insectos (Alfiko et al., 2022).

El uso de harinas de insectos como fuentes alternativas a las materias primas convencionales de proteína para la alimentación de animales de cultivo, ha resultado ser de gran importancia para el futuro de las formulaciones acuáticas (Basto et al., 2019; Chávez M., 2021; Dietz y Liebert, 2018). Por lo tanto, es necesario diseñar y estandarizar sistemas para su producción masiva. La producción de insectos en micro granjas puede ser una solución alternativa y

sostenible (Alfiko et al., 2022; Davidowitz, 2021; Gasco et al., 2020; Lange y Nakamura, 2021). A pesar de que muchas de estas harinas, han demostrado la evidencia de que pueden substituir total o parcialmente harinas tradicionales como la de soya, aún existen lagunas de información, respecto a sus perfiles nutricionales, y efectos en el crecimiento de ciertas especies acuáticas cultivadas, alimentadas con dietas formuladas con la inclusión parcial o total de harinas de insectos. Por lo que el objetivo de la presente investigación es, evaluar el perfil cualitativo de harina de *A. domesticus* y sus efectos en crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína en juveniles de *O. niloticus*, alimentados, durante un periodo de 30 días, con dietas formuladas con diferentes niveles (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) de reemplazo de harina de soya por harina de *A. domesticus*.

II. ANTECEDENTES

2.1 Fuentes proteicas en dietas para organismos acuáticos.

Tradicionalmente, las principales fuentes proteicas en dietas para animales acuáticos han sido la harina de pescado y la harina de soya. Sin embargo, diversos estudios han indicado que harinas alternativas poco convencionales, pueden substituir exitosamente a estas harinas tradicionales (Olsen et al., 2006; Stenger et al., 2019). Estas harinas pueden tener origen animal, vegetal o poco convencional, como las de insectos.

2.1.1 Harinas animales

Las proteínas animales, tales como la harina de ave, cerdo, krill y sangre, han sido utilizadas como fuentes de proteínas en dietas para acuicultura. Los niveles de inclusión de harinas animales alternativas, suelen ser más altos en especies omnívoras que en especies carnívoras, debido a que estas últimas presentan mayores exigencias nutricionales presentes en los perfiles de la harina de pescado (Tacon y Metian, 2008). Las proteínas animales alternativas tienen perfiles nutricionales aceptables y sus costos son redituables para su utilización en dietas para acuicultura (Dersjant–Li, 2002). En el año de 2007, Cruz–Suárez et al., realizaron un estudio, para determinar los efectos del reemplazo de harina de pescado por subproductos de ave en *Liptopenaeus vannamei* y la digestibilidad del ingrediente y de las dietas. En este

estudio, los investigadores concluyeron que los subproductos de harina de ave pueden reemplazar a la harina de pescado hasta en un 80%. En otro estudio, Poolsawat et al. (2021), demostraron que la harina de ave sometida a un tratamiento enzimático, mejora la retención de nutrientes y su digestibilidad, por lo tanto, puede sustituir a la harina de pescado sin efectos negativos en crecimiento y utilización del alimento. En esta investigación, los autores concluyeron que la harina de ave sometida a un tratamiento enzimático, es una fuente efectiva alternativa en dietas para *O. niloticus*.

Otra fuente importante de proteína en dietas para peces es la harina de cerdo. Esta es un subproducto resultante después de que los lípidos y la humedad han sido extraídos durante procesos industriales. Se tiene identificado que, sus niveles de proteína pueden alcanzar entre 54% y 57%. Estudios previos, han demostrado que, la harina de cerdo, a pesar de ser rica en contenido de proteína, también es alta en cenizas, lo cual es un factor limitante para su uso en altos niveles en dietas para organismos acuáticos (Ye et al., 2019).

Por otra parte, la harina de Krill es producida a partir de *Euphausia superba* y *E. Pacifica*, las cuáles son una fuente de proteína para alimentos acuícolas. La harina de Krill es un ingrediente importante ya que contiene de 33% - 55% de proteína, 15% - 20% de lípidos, y 15% a 28% de cenizas. Además de tener un perfil de aminoácidos bien equilibrado, la harina de krill contiene Astaxantina por lo que proporciona color al músculo de muchas especies de peces y crustáceos, entre ellos, salmón y trucha. La harina de krill también se considera un atrayente en los alimentos (Hardy y Brezas, 2022).

La harina de sangre es otro subproducto altamente utilizado en dietas acuícolas, ya que es obtenida a partir de la industria del procesamiento de ganado, principalmente res, porcinos, y pollos. La harina de sangre es ampliamente distribuida en todo el mundo, pero a diferencia de otros productos animales, este tipo de harina está regulada por motivos sanitarios. La harina de sangre es un producto altamente perecedero y debe procesarse lo antes posible después del sacrificio. La harina de sangre se puede preparar mediante una operación a pequeña escala. Estas harinas, son altamente higroscópicas y debe secarse a menos del 10-12% de humedad y almacenarse en un lugar seco para que no se deteriore (Heuzé y Tran, 2016). Este tipo de harina, ha sido estudiada como ingrediente proteico (suplementado a muy bajos niveles) en dietas acuícolas. En el año de 2007, El-Haroun y Bureau, investigaron la biodisponibilidad de lisina en harinas de sangre de diferentes orígenes, en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Los autores de este estudio, concluyeron que, la biodisponibilidad de lisina varía de

acuerdo al procesamiento al que se haya sometido la sangre al momento de su conversión en harina. En otra investigación conducida por Marotta–Lima et al. (2021), se evaluó la viabilidad económica para el reemplazo de harina de sangre con L-histidina cristalizada en dietas para salmón del Atlántico (*Salmo salar*). Los resultados de este estudio indicaron claramente que la harina de sangre podría ser reemplazada con éxito por L-histidina, y que esto, se puede considerar una estrategia ambiental correcta en la nutrición del salmón, ya que es producida por una tecnología de fermentación ambientalmente amigable.

2.1.2 Harinas vegetales

Las harinas vegetales han sido reconocidas como un recurso adecuado para reemplazar total o parcialmente la harina de pescado en dietas acuícolas (Daniel, 2018). Diferentes tipos de ingredientes proteicos vegetales han sido estudiados para su aplicación en acuicultura. Entre las fuentes vegetales más usadas en el cultivo de organismos acuáticos, están las legumbres, cereales, granos y hojas. Es importante mencionar que, los ingredientes vegetales no solamente han sido usados como fuentes de proteína, sino que también como ingredientes funcionales, para mejorar la calidad del pellet. Por ejemplo, el almidón permite darle estabilidad a la partícula (Hasan y Tan, 2020). A pesar de todos los usos y ventajas que las harinas vegetales tienen en nutrición acuícola, estas poseen características contrastantes debido a sus factores anti-nutricionales, deficiencia de ciertos amino ácidos esenciales, bajos coeficientes de digestibilidad, deficiencia en biodisponibilidad de nutrientes, y poca palatabilidad, la cual es producto de altos contenidos de carbohidratos no solubles consistentes en fibra y almidón. Con todo y estas desventajas, actualmente, la mayoría de alimentos formulados usados en el cultivo de peces y camarón, contienen niveles significantes de harinas vegetales. De los recursos proteicos derivados de vegetales, sólo unos cuantos tienen niveles de proteínas aceptables, capaces de reemplazar parcial o totalmente a los diferentes productos de harinas de pescado. Ejemplo de ello, son la harina de soya, el gluten de maíz y de trigo (Kaushik y Hemre, 2008).

La harina de soya es la más comúnmente usada en alimento para animales cultivados. Las formas más comunes de la harina de soya, es la extracción por solvente (conteniendo 44% de proteína cruda) y la soya descascarada (conteniendo 48% de proteína cruda). La soya, tiene alto nivel de palatabilidad y contiene grandes cantidades de amino ácidos esenciales

(aproximadamente 45% del total de amino ácidos) (Murphy, 2008). Lin y Luo (2011) probaron diferentes niveles de harina de soya como reemplazo de harina de pescado en dietas de juveniles de *O. niloticus* y sus efectos en crecimiento, enzimas digestivas y actividad de la transaminasa. En éste estudio se observó que, la proteína de pescado puede ser reemplazada en hasta 75% sin afectar el crecimiento de *O. niloticus*. Los autores concluyeron que, altos niveles de harina de soya inducen efectos negativos en cuanto a crecimiento, utilización del alimento y lisozima en suero de *O. niloticus*.

Los productos de gluten de maíz son subproductos de la industria de la molienda y procesamiento del maíz. Estos productos incluyen: harina de maíz (60%), germen de maíz desengrasado y concentrado de proteína de maíz (90%) (Colmenero 2014). Este ingrediente es una fuente importante de proteína, energía y pigmentos para especies terrestres y acuáticas. Este producto es altamente valorado por su alto nivel de digestibilidad de la proteína y es ampliamente comercializado a nivel mundial (Heuzé et al., 2018). Muchas han sido las investigaciones enfocadas en el uso del gluten de maíz como ingredientes en dietas acuícolas. Herath et al. (2016), estudiaron los efectos de alimentación a largo plazo de dietas elaboradas a base de maíz en crecimiento, color del filete y composición de amino ácidos y ácidos grasos de *O. niloticus*. En este estudio, los autores observaron que los productos de maíz utilizados no alteran el color del filete de *O. niloticus*. También se concluyó que, cuando se reemplazan los productos de pescado (aceite y harina) por subproductos de maíz, en dietas para *O. niloticus*, un enriquecimiento de ácidos grasos omega 3, es necesaria en las mismas.

Por otra parte, el gluten de trigo se extrae de granos de trigo, ya sea entero o descascarado. Actualmente, el trigo proporciona el 20% de la energía y proteína para la nutrición humana en todo el mundo. Sin embargo, el trigo también es una importante fuente de nutrientes en animales cultivados. En el año 2017, el 42% de la producción total de trigo en Estados Unidos, fue utilizada para la manufactura de alimento para animales. El trigo, para su conversión en harina, puede ser entero o procesado (Heuzé et al., 2015). Para su producción, muchos procesos pueden ser usados: ensilaje, pre-cocido al vapor y molido. Diferentes tipos de harinas derivadas de trigo han sido investigadas como ingrediente en dietas acuícolas. Sin embargo, debido a la morfología digestiva, actividad enzimática y fisiología general de los organismos acuáticos, su inclusión en dietas para acuicultura, es limitada. Por ejemplo, Ray et al. (2021), investigaron los efectos de reemplazar harina de pescado por harina de gluten de trigo en dietas para camarón *Litopenaeus vannamei* y sus efectos en crecimiento, índices

bioquímicos en suero, función anti oxidativa, microflora intestinal, histología y resistencia a enfermedades. En este estudio, se concluyó que, la harina de gluten de trigo puede reemplazar a la harina de pescado en hasta el 6% del peso total de la dieta y que además este tipo de harina, tiene efectos positivos en el crecimiento de *L. vannamei*, modificando también el sistema inmune, microflora intestinal y resistencia a enfermedades. Sin embargo, también tiene efectos negativos en el crecimiento cuando se agrega a la dieta en altos niveles.

2.1.3 Harinas de insectos.

La harina de insectos (HIs), ha empezado a ganar atención mundial, como una alternativa de reemplazo de harina de pescado y harina de soya, las principales fuentes de proteína en dietas acuícolas. Las HIs han demostrado en innumerables estudios que, no solo son una fuente importante de proteínas, sino que también como ingredientes funcionales, ya que estimulan el sistema inmune con múltiples otras implicaciones benéficas para el organismo que las consume (Mousavi et al., 2020). Específicamente hablando, las HIs, son ricas en proteínas, minerales, lípidos, y carbohidratos. Dichas condiciones son muy similares a las de la harina de pescado y a la de soya. De la misma manera, las HIs contienen gran cantidad de energía, lípidos y fibra (van Huis y De Prins, 2013), dependiendo de la especie. 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). En la naturaleza, los insectos son parte de la dieta de peces de agua dulce. Muchos peces que viven en ambientes de agua salada también se alimentan de artrópodos, quienes mantienen las mismas características con los insectos (Ferrer-Llagostera et al., 2019).

Otro valor añadido del uso de las HIs, es su bajo impacto económico al momento de su producción masiva. Los insectos pueden producirse en lugares reducidos y con poca presencia de agua (Clifford y Woodring, 1990; Clifford, Roe y Woodring, 1976). Fisiológicamente hablando, los insectos tienen altos índices de reproducción y eficiencia nutricional, lo cual se traduce en un rápido crecimiento (Barroso et al., 2014). De acuerdo con Macombe et al. (2019), el insecto ideal, tiene que reunir las siguientes características: fácil de cultivar, tener un buen índice de conversión del alimento y, poder alimentarse con materiales baratos (desperdicios orgánicos).

Con base en 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 y harina de soya. Estas especies, pertenecen a ciertos órdenes taxonómicos de insectos. Uno de ellos es el orden Díptera, a la cual pertenece la mosca soldado (*Hermetia illucens* [L]). En los últimos años, esta especie ha ganado gran popularidad en todo el mundo, debido a que sus larvas, son capaces de reciclar varios substratos orgánicos, como el estiércol, residuos de alimentos y desechos de cultivos. La biomasa producida por la actividad de las larvas y adultos poder ser empleada en la alimentación de animales cultivados, como cerdos, gallinas y peces. En la acuicultura, diferentes especies de insectos han sido estudiados, con resultados alentadores. Incluso, a nivel mundial, muchas empresas, ya incluyen la harina de mosca soldado como fuente principal de proteína en sus formulaciones (Miranda et al., 2020). En *O. niloticus*, *H. illucens* fue estudiada por Tippayadara et al. (2021), donde la harina de pescado fue reemplazada por harina de larvas de mosca soldado. En este estudio, se investigaron los efectos en crecimiento, hematología e inmunidad en el mucus epidérmico. Se concluyó que, este tipo de harina, puede substituir a la harina de pescado en un 100% sin comprometer el desempeño general de la *O. niloticus*.

Otra clasificación taxonómica que ha alcanzado cierta relevancia en el mundo de la nutrición acuícola, es la orden Coleóptera, al cual pertenece el tenebrio (*Tenebrio molitor*). Sánchez–Muros et al. (2016), evaluaron al tenebrio (*T. molitor*), como sustituto de harina de pescado en dietas para la *O. niloticus*. En este estudio, la proteína de la harina de pescado, se substituyó en diferentes niveles, por harina de tenebrio. Los resultados indicaron que una inclusión de tenebrio hasta el 50% de reemplazo no afectó a la ingesta de alimento, la digestibilidad de la proteína y la composición de aminoácidos del músculo. Sin embargo, la inclusión de tenebrio redujo las tasas de crecimiento y afectó al perfil de ácidos grasos del músculo. Estos resultados sugieren que la harina de tenebrio no se puede utilizar a niveles de inclusión elevados, presumiblemente debido a su alto contenido de quitina y a las toxinas que pudiese contener.

Otras clasificaciones taxonómicas que han atraído gran interés en la investigación acuícola relacionada al uso de harinas de insectos en formulaciones dietéticas, son las órdenes Isóptera y Lepidóptera. En cuanto a la primera, se incluyen las termitas, las cuáles son ricas en proteínas (37%-49%) y lípidos (30%) (Sogbesan y Ugwumba, 2008). Estos autores usaron

bagre Vundu, *Heterobranchus longifilis*, alimentado con dietas formuladas con harina de *Macrotermes*. En este estudio se encontró que 15% de la inclusión de esta harina en las dietas experimentales, produce el mejor crecimiento en *H. longifilis*. Mientras que niveles de 22.5% y 30%, redujeron el crecimiento de los peces experimentales. La especie de insectos, perteneciente al orden Lepidóptera, que más ha sido investigada como fuente de proteína en dietas para organismos acuáticos cultivados es *Bombix mori* (gusano de seda), el cual es principalmente producido en India, Corea y China. La pupa seca de los gusanos de seda es un recurso rico en proteína (50-71%) y de lípidos (30%) (Wei y Liu, 2001; Rumpold y Schluter, 2013). Un estudio demostró que existe un crecimiento comparable y parámetros organolépticos en carpa común, *Cyprinus carpio*, cuando harina de sardina fue substituida por harina de gusanos de seda. Los autores de este trabajo concluyeron que este tipo de harina de insectos, puede substituir exitosamente la harina de pescado (Nandeesh et al., 1999a).

2.2 Harinas de ortópteros como fuentes de proteína para dietas acuícolas.

La orden ortóptera incluye diversas especies de langostas, saltamontes y grillos, la mayoría de las cuales, son las principales plagas de cultivos agrícolas. Sin embargo, la mayoría de insectos adultos, son altamente nutritivos (Makkar et al., 2014), razón por la cual, especies pertenecientes a esta orden, han sido usadas como fuente de proteína en dietas para acuicultura. Una inclusión de 13–25% de adultos pertenecientes a la orden ortóptera no disminuyeron el crecimiento o digestibilidad del bagre *O. niloticus* (Alegbeleye et al., 2012; Emehinaiye, 2012). En otro estudio se reportó que, hubo una reducción en el crecimiento de dos especies de bagres africanos, cuando la harina de pescado fue completamente reemplazada con harina de saltamontes (Johri et al., 2011). A pesar de que existen estudios previos relacionados con el uso de insectos pertenecientes a la orden ortóptera como fuentes de proteína en dietas para organismos acuáticos, los reportes sobre el conocimiento de harina derivada de *A. domesticus*, en dietas para acuicultura, es limitado (Nicoletta, 2019; Lee et al., 2017; Tilami et al., 2020).

III. JUSTIFICACION

En la República Mexicana, el cultivo de especies acuícolas representa un sólido pilar económico y social para ciertas regiones del país. Las principales especies acuáticas que se cultivan en México son: camarón, *O. niloticus*, trucha y especies emergentes (nativas). *O. niloticus*, es la que más impacto económico y social ha tenido en México. Como es bien sabido, la industria acuícola, depende completamente del alimento utilizado durante todo el ciclo de cultivo acuícola, lo cual representa hasta el 70% de los gastos totales de producción. Los costos del alimento para acuicultura están directamente influenciados, por los insumos utilizados para su elaboración. A la fecha, existe una innumerable gama de ingredientes que han sido tradicionalmente usados para la producción de alimentos acuícolas. De los cuales, las harinas proteicas suelen ser las más caras. La harina de pescado y la de soya, son las fuentes proteicas que más han sido utilizadas. En el caso de dietas para especies omnívoras, como *O. niloticus*, la soya, es la principal fuente de proteína. Sin embargo, el uso de esta materia prima se ha visto significativamente afectada por el consumo competitivo frente a las necesidades de alimentación humana, costo y sobreexplotación. Por lo que, la investigación e industria acuícola, en la última década, han enfocado sus esfuerzos a la búsqueda de proteína alternativa a la soya. Una de estas fuentes, es la harina de insectos que ha demostrado, ser una buena alternativa sustentable y nutricional para sustituir el uso de harinas tradicionales (harinas de soya y pescado) en dietas acuícolas. Es por esto que, la presente investigación, se enfoca al estudio cualitativo de la harina de *A. domesticus* y sus efectos en crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína, en *O. niloticus* alimentada con dietas formuladas con diferentes niveles de harina de grillo, *A. domesticus*, como reemplazo de harina de soya.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el perfil cualitativo de harina de *A. domesticus* y sus efectos en crecimiento, sobrevivencia, utilización del alimento y de la proteína en juveniles de *O. niloticus*, alimentados, durante un periodo de 30 días, con dietas formuladas con diferentes niveles de reemplazo de harina de soya por harina de *A. domesticus*.

4.2 Objetivos específicos

Determinar el perfil nutricional de la harina de *A. domesticus* y demás harinas utilizadas en la formulación de las dietas experimentales.

Formular las dietas experimentales conteniendo niveles crecientes (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) de reemplazo de harina de soya, por harina de *A. domesticus*.

Evaluar crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento, y utilización de la proteína de juveniles de *O. niloticus* alimentados con dietas formuladas con diferentes niveles de reemplazo (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) de harina de soya, por harina de *A. domesticus*.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Obtención de peces y sistema experimental.

Los peces experimentales, crías masculinizadas de tilapia, *O. niloticus*, se adquirieron de la granja Aquatechno (Ranchería Medellín y Pigüa, Villahermosa, Tabasco, México). Después de un periodo de aclimatación, 600 peces fueron pesados y distribuidos aleatoriamente, en 15 tinajas de plástico (300 L cada una). El peso promedio inicial fue de 1.69 ± 0.06 g.

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 tinajas experimentales. Este sistema, se encuentra ubicado en el invernadero perteneciente al Laboratorio de Fisiología de Recursos Acuáticos (LAFIRA), División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

5.2 Ingredientes 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). Previo a la elaboración de dietas, todas las harinas se procesaron en un molino eléctrico. Posteriormente, los ingredientes se tamizaron en una criba del número 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 elaboraron las

dietas experimentales (reales) con diferentes niveles de reemplazo (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) de harina de soya, por harina de *A. domesticus*, de la siguiente manera: 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 soya y aceite de sardina) fueron pesados en una balanza (Rinho). 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 proximales (proteína cruda, fósforo y fibra), se llevaron a cabo mediante un servicio externo en el CIATEJ – Centro en Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco (Avenida Normalistas 800, Colinas de la Normal, 44270, Guadalajara, Jalisco, México). Los análisis de humedad, cenizas, lípidos, extracto libre de Nitrógeno y energía bruta, se llevaron a cabo en la LAFIRA–DACBiol–UJAT.

Humedad

La humedad fue determinada, utilizando el método propuesto por Takeuchi et al. (1988), con algunas modificaciones, adaptadas a aquellas existentes en LAFIRA. 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. Posteriormente, los crisoles se pesaron, con una exactitud de 0.0001 g. Una muestra de 1 g de la harina o dieta experimental, fue utilizada para este

análisis. El crisol (incluyendo la muestra), fue sometido a un proceso de calentamiento a 110°C durante 2 h. Para luego proceder a registrar el primer peso registrado (balanza Goldenwall). Posteriormente, crisol (conteniendo la muestra) fue calentado y pesado 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) y C = Peso final del crisol + muestra (g).

Cenizas

Las cenizas fueron determinadas, utilizando el método propuesto por Takeuchi et al. (1988), con algunas modificaciones adaptadas a aquellas de LAFIRA. 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 1 h. 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 1 h, secarlas en desecador durante 30 min., y pesarlas. Cada muestra se realizó en triplicado. Las cenizas, fueron calculadas utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde: A = Peso inicial del crisol (g); B = Pero inicial del crisol + muestras (g); y C = Peso final de las cenizas (g).

Lípidos

Para determinar los niveles de lípidos, se usó un equipo de gravimetría (Foss) siguiendo la técnica propuesta por Takeuchi et al. (1988), con algunas modificaciones adaptadas a aquellas existentes en LAFIRA. 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 1 h 45 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; y, 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 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:

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

Donde: Vs = mL de 0.05 N NaOH (por muestra); Vb = mL de 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), con algunas modificaciones. 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 1 h, 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 pesó 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, 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 magnitud de onda de 725–750 nm. El contenido (mg g⁻¹) de fósforo en la muestra, se determinó mediante la siguiente fórmula:

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

Donde: A = Absorción en muestra; B = Absorción en blanco; y 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 (Austren1978). Por lo tanto, para calcular la energía, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Energía bruta Kcal/g} = (\text{contenido de proteína en muestra} \times 18.81 \text{ Kcal/g}) + (\text{contenido de lípidos en muestra} \times 35.54) + (\text{contenido de extracto libre de nitrógeno en muestra} \times 14.59 \text{ Kcal/g}) \text{ (Gatlin 2010)}.$$

5.4 Bioensayo

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 30 días a nivel de saciedad. Durante este periodo de alimentación, la temperatura fue monitoreada a diario ($29.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$) con un termómetro digital. Se realizaron cambios diarios parciales y reposición de agua. Semanalmente, se lavó el reservorio principal, al igual que cada tina experimental. Las muertes fueron registradas durante todo el periodo experimental. Las biometrías de peso y longitud total, se llevaron a cabo, los días 0, 15 y 30. Para lograr este objetivo, los peces fueron mantenidos en inanición durante 24 horas antes de cada muestreo. Los peces fueron anestesiados con aceite de clavo para posteriormente proceder al proceso biométrico. El peso (g), fue medido con una balanza electrónica (Goldenwall). Mientras que, la longitud total fue medida con un calibrador vernier 300 mm (Joepet). Los parámetros de crecimiento, 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) = $[(\log_e \text{ peso final} - \log_e \text{ peso inicial}) / \text{días}] * 100$ (Takeuchi et al., 1988).

Factor de condición (g cm^{-1}) = $[(\text{peso final (g)} / \text{longitud total final}^3 \text{ (cm)}) * 100]$ (Bee–Tubin et al., 2019).

Sobrevivencia (%) = $[(\text{número inicial de peces} - \text{número final total de peces muertos}) * 100] / (\text{número inicial total de peces})$ (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).

5.5 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 varianza, los datos fueron analizados individualmente y después se aplicó un análisis de ANOVA. 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.

México.

VI. RESULTADOS

6.1 Composición proximal de harinas

Todas las harinas utilizadas en la formulación de las dietas experimentales se sometieron a análisis bioquímicos para determinar humedad, proteína cruda, lípidos, cenizas, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, fósforo y energía bruta. Los resultados se muestran en tabla 1. El contenido de humedad resultó marcadamente más alto (12.64%) en la harina de soya, comparado con aquel presente en harina de *A. domesticus* (4.59%). En contraste, se observó que la harina de *A. domesticus* tiene un contenido de proteína (60.08%) notablemente mayor que aquel de la harina de soya (44.71%). La misma tendencia fue observada en cuanto al contenido de lípidos (23.04%), el cual fue mayor en la harina de *A. domesticus* comparado con aquel registrado en la harina de soya (1.76%). Mientras que los contenidos de cenizas (5.85%, 3.80%), fibra cruda (4.34%, 6.00%) y fósforo (6.43 mg g⁻¹, 7.60 mg g⁻¹), fueron similares entre la harina de soya y la de *A. domesticus*, respectivamente. Por el contrario, el extracto libre de nitrógeno fue marcadamente más alto en la harina de soya (43.34%), comparado con aquel presente en la harina de *A. domesticus* (7.08%). Finalmente, la energía bruta, resultó ser ligeramente más alta en la harina de *A. domesticus* (5854 kcal kg⁻¹), comparado con aquel valor registrado en la harina de soya (4490 kcal kg⁻¹).

Tabla 1. Composición proximal (analizada en laboratorio) de las harinas utilizadas para la elaboración de las dietas experimentales.

Ingrediente	Humedad	Proteína cruda (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Extracto libre de nitrógeno (%)	Fósforo (mg g ⁻¹)	Energía bruta (kcal kg ⁻¹)
Harina de soya	12.64	44.71	1.76	5.85	4.34	43.34	6.43	4490
Harina de <i>Acheta domesticus</i>	4.59	60.08	23.04	3.80	6.00	7.08	7.60	5854
Harina de pescado (sardina)	10.00	67.00	6.00	23.00	1.00	3.00	28.45	4474
Harina de krill	12.25	49.04	20.08	8.34	11.49	11.05	13.10	5117
Harina de ave	10.00	65.00	12.00	14.00	7.41	1.59	21.42	4866
Harina de sangre	10.00	85.00	0.90	7.00	7.00	0.10	2.93	4891
Harina de cerdo	8.00	50.00	6.00	35.00	6.98	2.02	51.19	3473
Harina de maíz	11.29	26.17	8.00	9.84	24.85	31.14	9.42	3523
Harina de sorgo	13.34	18.97	3.96	0.82	9.71	66.54	1.89	4205
Almidón	8.14	0.03	0.49	0.02	1.24	98.22	0.00	4124

6.2 Composición proximal de dietas experimentales

La composición proximal de las dietas experimentales se determinó mediante dos métodos: el calculado y el analizado en laboratorio. Comparando los resultados obtenidos en cada método, se puede observar que no se registraron diferencias notables, entre ellos (Tabla 2). Respecto a lo analizado en laboratorio, se determinó que la proteína cruda osciló entre 40.03% (dieta 50%) y 41.67% (dieta C). Mientras que los contenidos de lípidos se registraron entre 8.76% (dieta C) y 11.63% (dieta 75%). Los valores de cenizas fueron observados entre 7.01% (dieta 75%) y 8.75% (dieta C). En tanto que la fibra cruda, fluctuó entre 5.20% (dieta 25%) y 6.73% (dieta 100%). El extracto libre de nitrógeno registró valores entre 31.03% (para la dieta 100%) y 36.77% (para la dieta 50%). Por su lado, el fósforo, reportó valores que van desde 11.54 mg g⁻¹ (dieta 75%) hasta 14.00 mg g⁻¹ (dieta C). Finalmente, la energía bruta osciló entre 4652 kcal kg⁻¹ (para la dieta C) y 4917 kcal kg⁻¹ (para la dieta 100%).

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

Ingrediente		0%	25%	50%	75%	100%
Harina de <i>Acheta domesticus</i>	a	0.00	5.58	11.16	16.74	22.32
Harina de soya	b	30.00	22.50	15.00	7.50	0.00
Harina de sardina	c	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Harina de krill	d	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Harina de ave (pet food)	e	11.99	13.32	14.63	18.47	12.00
Harina de hueso y carne (cerdo)	c	10.00	8.28	4.40	3.00	7.90
Harina de sangre de ave (spry dry)	c	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Harina de maíz DDG	b	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Harina de sorgo	b	11.24	11.24	16.94	7.49	16.74
Almidón pre-gelatinizado	e	5.87	9.42	9.53	19.67	14.94
Aceite de sardina	e	2.00	2.00	2.00	2.00	1.30
Aceite de soya	e	4.14	2.90	1.58	0.37	0.04
Premix de micro nutrientes	f	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Ácido ascórbico (Vitamina C 35%)	g	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Cloruro de colina	h	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Grenetina	g	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
		100	100	100	100	100
Composición calculada ¹						
Materia seca (%)		94.08	94.13	94.13	94.13	94.13
Proteína cruda (%)		39.00	39.00	39.00	39.00	39.00
Lípidos (%)		11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Cenizas (%)		9.43	8.78	7.43	7.17	7.83
Fibra cruda (%)		7.32	7.35	7.74	7.14	7.86
Extracto libre de nitrógeno (%) ³		27.34	27.99	28.97	29.80	28.44
Fósforo (mg g ⁻¹)		12.55	11.89	10.24	10.11	11.35
Energía bruta (kcal kg ⁻¹) ⁴		4372	4399	4439	4475	4418
Composición analizada ²						
Proteína cruda (%)		41.67	40.99	40.03	41.21	41.02
Lípidos (%)		8.76	9.64	10.38	11.63	10.95
Cenizas (%)		8.75	8.57	7.59	7.01	7.27
Fibra cruda (%)		5.30	5.20	5.23	6.27	6.73
Extracto libre de nitrógeno (%) ³		35.52	35.60	36.77	33.88	31.03
Fósforo (mg g ⁻¹)		14.00	13.93	12.32	11.54	12.91
Energía bruta (kcal kg ⁻¹) ⁴		4652	4699	4763	4828	4917

- ¹ Valores calculados para la composición proximal basados en Furuya (2010)
- ² Valores calculados para el análisis en laboratorio, basados en Takeuchi (1988)
- ³ Estimated value of nitrogen free extract. NFE = 100 - (protein + lipid + ash + crude fibre) (Takeuchi 2010)
- ⁴ Estimated value of gross energy. GE = [(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.
- Proteínas marinas y agropecuarias (PROTMAGRO) S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco,
- ^c 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
- ^g Drogeria Cosmopolita, ciudad de México, México
- ^h SIGMA Aldrich, St. Louis, MO, USA.

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

No se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los diferentes grupos experimentales en cuanto al peso promedio inicial y longitud promedio inicial. Similarmente, el peso y longitud promedio finales, ganancia de peso (%), crecimiento específico (% / día), factor de condición (g cm^{-1}), y sobrevivencia (%), no fueron afectados por las dietas experimentales formuladas con diferentes niveles de reemplazo de harina de soya por harina de *A. domesticus* (Tabla 3). Por su parte, la eficiencia de la conversión del alimento y el índice de eficiencia de la proteína, no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los grupos experimentales alimentados con dietas formuladas con diferentes niveles de reemplazo de harina de soya por harina de *A. domesticus* (Tabla 3).

Tabla 3. Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína.

Parámetros	C	25%	50%	75%	100%
Peso promedio inicial (g pez ⁻¹)	1.69 ± 0.06 ^a	1.65 ± 0.02 ^a	1.67 ± 0.08 ^a	1.63 ± 0.05 ^a	1.65 ± 0.01 ^a
Peso promedio final (g fish ⁻¹)	13.10 ± 1.03 ^a	11.56 ± 0.05 ^a	11.67 ± 1.04 ^a	11.87 ± 1.04 ^a	12.04 ± 1.06 ^a
Longitud promedio inicial (cm ¹)	4.69 ± 0.10 ^a	4.73 ± 0.05 ^a	4.70 ± 0.14 ^a	4.68 ± 0.09 ^a	4.90 ± 0.55 ^a
Longitud promedio final (cm ¹)	8.92 ± 0.34 ^a	8.71 ± 0.05 ^a	8.73 ± 0.27 ^a	8.68 ± 0.22 ^a	8.52 ± 0.05 ^a
Ganancia de peso (%)	676.05 ± 33.60 ^a	599.28 ± 25.93 ^a	598.53 ± 49.29 ^a	629.89 ± 62.80 ^a	628.27 ± 60.49 ^a
Crecimiento específico (% / día)	2.51 ± 0.79 ^a	2.38 ± 0.74 ^a	2.39 ± 0.83 ^a	2.42 ± 0.74 ^a	2.41 ± 0.69 ^a
Factor de condición (g cm ³)	1.85 ± 0.08 ^a	1.75 ± 0.04 ^a	1.75 ± 0.09 ^a	1.81 ± 0.04 ^a	1.94 ± 0.18 ^a
Sobrevivencia (%)	96.67 ± 3.82 ^a	97.50 ± 2.50 ^a	96.67 ± 1.44 ^a	97.50 ± - ^a	98.33 ± 2.89 ^a
Eficiencia de la conversión del alimento	0.71 ± 0.03 ^a	0.71 ± 0.03 ^a	0.69 ± 0.05 ^a	0.75 ± 0.05 ^a	0.71 ± 0.00 ^a
Índice de la eficiencia de la proteína	1.88 ± 0.13 ^a	1.82 ± 0.07 ^a	1.78 ± 0.13 ^a	1.93 ± 0.12 ^a	1.82 ± 0.01 ^a

VII. DISCUSIÓN

7.1 Composición proximal de las harinas

La caracterización y determinación de nutrientes en ingredientes para dietas de animales cultivados es crucial para el diseño de formulaciones que cubran los requerimientos nutricionales de cada especie (Gatlin, 2010). En el presente estudio, todas las harinas utilizadas en la elaboración de las dietas experimentales, fueron analizadas (en laboratorio) para conocer sus perfiles nutricionales y, basado en estos, proceder a su formulación. En este aspecto es importante mencionar 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 (Al-Thobaiti et al., 2017).

Por otra parte, el uso de harinas derivadas de ciertas especies de insectos, requiere tener una caracterización completa de las mismas, con el objetivo de formular correctamente las dietas experimentales (Alfiko et al., 2022; Barroso et al., 2014; Basto et al., 2019; Chávez et al., 2021). En el presente estudio, se registraron niveles de 3.80% (cenizas), 23.04% (lípidos), 60.08% (proteína), 7.08% (extracto libre de Nitrógeno) en harina de *A. domesticus*, comparado con 5.6%, 15.9%, 73.1%, y 5.4% de cenizas, extracto etéreo, proteína cruda, y extracto libre de nitrógeno, respectivamente, lo reportado por Barroso et al. (2014). Las diferencias en cuanto a contenidos de proteína y lípidos, se podrían deber principalmente a la calidad del alimento que recibió *A. domesticus* durante su cultivo, ya que los niveles de estos nutrientes, en la dieta consumida por los insectos de cultivo pueden afectar directamente su fisiología digestiva, absorción y aprovechamiento de nutrientes (Clifford et al., 1976; Clifford and Woodring, 1990).

7.2 Composición proximal de dietas experimentales

Las dietas evaluadas en este estudio, fueron formuladas para contener un perfil nutricional balanceado (iso-proteicas e iso-lípídicas) y de esta forma, satisfacer los requerimientos nutricionales de *O. niloticus*. Estudios previos utilizando dietas formuladas con la substitución de harina de soya o de pescado por harina de insectos, concluyen que, el correcto balance nutricional de las dietas experimentales, es fundamental (Barroso et al., 2014; Basto et al.,

2019; Makkar et al., 2014), para cubrir los requerimientos nutricionales de cada especie. En nuestro estudio, a pesar del esfuerzo realizado para lograr una precisión nutricional en cuanto al contenido de lípidos en las dietas experimentales, su composición proximal, indica que, el contenido de lípidos fue directamente proporcional al incremento de harina de *A. domesticus* en las dietas experimentales. Un efecto similar, fue observado en estudios con harinas de insectos en dietas balanceadas (Sánchez–Muros et al., 2016; Dietz y Liebert, 2018). Esta tendencia, se debe a la elevada cantidad de lípidos presentes en la mayoría de especies de insectos utilizados como fuentes proteicas (Alfiko et al., 2022; Barroso et al., 2014; Chávez 2021). Asimismo, nuestras dietas experimentales, mostraron una ligera disminución de cenizas a medida que el nivel de sustitución de harina de soya por harina de *A. domesticus* se incrementó en las dietas experimentales. Este efecto, podría explicarse porque el nivel de harina de cerdo también disminuyó en las dietas experimentales a mayor presencia de harina de *A. domesticus*, esto con el objetivo de equilibrar los contenidos de proteína. A este respecto, es bien sabido que la harina de cerdo, contiene elevados niveles de cenizas (Ye et al., 2019), por lo tanto, la disminución de la harina de cerdo en las dietas reducirá también los niveles de ceniza en las dietas experimentales.

En las dietas experimentales usadas en el presente estudio, la fibra cruda aumentó solo ligeramente, a pesar del incremento marcado de harina de sorgo (de 11.24% a 16.74%) en las formulaciones conteniendo altos niveles de harina de *A. domesticus*. Es bien sabido que las harinas vegetales *per sé* contienen altos niveles de fibra (Hasan y Tan, 2020). En estudios similares, utilizando harinas de insectos y niveles crecientes de harinas vegetales en las formulaciones dietéticas, se han observado efectos similares (Dietz y Liebert, 2018).

Al igual que la fibra, el extracto libre de nitrógeno, abunda en las harinas vegetales. El extracto libre de nitrógeno, está constituido por almidones y azúcares presentes en el alimento, el cual se obtiene cuantitativamente al restarle al 100% de la muestra, la suma obtenida en los análisis de humedad, lípidos y cenizas (Gatlin 2010). En el presente estudio, el extracto libre de nitrógeno, mostró una muy baja variación entre las dietas experimentales, lo cual nos indica el correcto balance nutricional entre las formulaciones utilizadas en la presente investigación.

A diferencia de los vegetales, el fósforo de los insectos es altamente biodisponible (Henry et al., 2015). Dependiendo la especie de insecto, el contenido de fósforo suele ser muy variable. A pesar de los altos niveles de harina de *A. domesticus* (principalmente en la dieta 100%), los

niveles de fósforo en las formulaciones no mostraron una gran variabilidad de este nutriente, lo que indica que es un ingrediente de calidad que aporta un alto contenido de fósforo orgánico el cual puede ser aprovechado fácilmente por *O. niloticus* (Ferrer-Llagostera et al., 2020).

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

Son múltiples los estudios que han analizado los efectos en crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína en diferentes especies de peces como *O. niloticus*; trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* y bagre *Clarias gariepinus* alimentados con dietas formuladas con harinas de insectos pertenecientes a las órdenes Isóptera (Sogbesan y Ugwumba, 2008; Solomon et al., 2007), Coleóptera (Jabir et al., 2012a; Jabir et al., 2012b; Ng et al., 2001; Omoyinmi y Olaoye, 2012; Piccolo et al., 2014), Lepidóptera (Boscolo et al., 2001; Nandeeshya et al., 1999b), Díptera (Dong et al., 2013; Lock et al., 2014; Ossey et al., 2012; Sealey et al., 2011) y Ortóptera (Alegbeleye et al., 2012; Emehinaiye, 2012; Johri et al., 2011).

La orden Isóptera, es una de las que más ha atraído la atención en la nutrición acuícola. Sogbesan y Ugwumba (2008), reportaron que, un 15% de inclusión de *Macrotermes*, resultó el óptimo para un crecimiento equiparable con aquel del grupo control, mientras que el 30% disminuyó el crecimiento de bagre Vundu. Por su lado, las especies del orden Coleóptera, también han sido ampliamente estudiadas. Jabir et al. (2012a), demostraron que un 15% de harina derivada de *Zophoba morio* produjo un crecimiento similar a aquel registrado en el grupo control. Encontrando también que, el 30% de inclusión en la dieta, disminuía el crecimiento de *O. niloticus*. A pesar de que algunas harinas derivadas de ciertas especies de insectos han demostrado poder ser incluidas a niveles elevados en dietas para peces, existen otros estudios que han reportado que, las harinas de insectos, solo pueden adicionarse a niveles relativamente bajos (<15%) sin afectar el crecimiento de los peces experimentales. Un ejemplo, es el estudio de Boscolo et al. (2001), donde se encontró que la harina derivada de *Bombix mori* (orden Lepidóptera), solo puede incluirse en dietas para *O. niloticus* hasta un 5% sin afectar el crecimiento de los peces experimentales. Sin embargo, también ha sido demostrado que, harinas derivadas de otras especies de insectos, tales como la mosca soldado, *Hermetia illucens* (orden Díptera), puede incluirse hasta en un 81% sin afectar el crecimiento

de bagre Vundu (Ossey et al., 2012). Similar al presente estudio, donde se observó que la harina de *A. domesticus*, puede usarse como reemplazo de harina de soya, a un nivel de 100% sin afectar el crecimiento de los peces experimentales.

A pesar de que el orden Ortóptera, no ha sido ampliamente estudiado, estudios realizados con harinas derivadas de especies de esta clasificación taxonómica, han obtenido resultados substanciales. En el año de 2012, Alegbeleye et al., estudiaron los efectos de harina derivada de *Zonocerus variegatus* en dietas para bagre africano *Clarias gariepinus*. En este estudio, los autores observaron que un 25% de inclusión de harina de *Z. variegatus*, producía un óptimo crecimiento de los peces experimentales, comparado con el grupo control. Sin embargo, también reportaron que un nivel de suplementación de 35%, producía una reducción de crecimiento del bagre africano. Similarmente, también se ha observado una reducción en crecimiento, cuando harina derivada de *Locusta migratoria* fue utilizada para reemplazar harina de pescado, a un nivel del 100% en dietas para *O. niloticus* (Emehinaiye 2012).

El presente estudio, utilizó una harina derivada de grillo común, *Acheta domesticus* (perteneciente al género Ortóptera), como reemplazo de la harina de soya, a diferentes niveles de sustitución (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). En nuestra investigación se ha podido determinar que los diversos parámetros de crecimiento, calidad del alimento y de la proteína, así como la supervivencia, no se vieron afectados negativamente en los juveniles de *O. niloticus*, lo que permite aseverar que es posible sustituir hasta en un 100% la harina de soya con la harina de *A. domesticus*. En este aspecto, nuestro estudio superó el porcentaje de sustitución previamente obtenidos en una investigación con híbridos de *O. niloticus* (variedad roja), donde se logró una sustitución máxima de 60% de harina de *A. domesticus* y 40% de harina de cáscara de arroz (Lee et al., 2017). El alto nivel de reemplazo de harina de soya por harina de *A. domesticus*, en el presente estudio, se puede deber al buen balance nutricional de las dietas experimentales y a la variedad de ingredientes con los que cada dieta fue elaborada. Así como lo afirmado por Hardy y Brezas (2022), quienes aseveran que la composición de las dietas, en cuanto a ingredientes y nutrientes, definirá el desempeño de los organismos experimentales, independientemente si están formuladas con ingredientes tradicionales o poco convencionales, como las harinas de insectos. A este respecto, la formulación de las dietas del presente estudio, está constituido por 10 tipos de harinas, dos de aceites y cuatro de micro-ingredientes. Estas dietas fueron diseñadas, en base a formulaciones comerciales, utilizadas en el mercado brasileño.

La harina de *A. domesticus* también ha sido probada en otras especies de organismos acuáticos. Por ejemplo, Tilami et al. (2020), investigaron los efectos de la harina derivada de *A. domesticus* en la perca de río, *Perca fluviatilis*, en un bioensayo de 12 semanas. En este estudio, la harina de pescado fue reemplazada por harina de *A. domesticus* a un nivel de 25% sin encontrar diferencias significativas entre el grupo control y el grupo experimental en cuanto a la sobrevivencia. En este aspecto, nuestro estudio mostró que la sobrevivencia de juveniles de *O. niloticus*, no fue afectada por ninguno de los niveles de reemplazo harina de soya por harina de *A. domesticus*. La sobrevivencia en estudios de nutrición es un indicador importante, que nos ayuda a identificar si el estado de salud en general, está siendo mermado por las dietas experimentales y los ingredientes contenidos en las mismas (Gatlin, 2010). En el estudio conducido por Tilami et al. (2020), el crecimiento y el factor de conversión del alimento, fueron afectados, lo cual contrasta con nuestro estudio al lograr un reemplazo del 100% de la harina de soya por la harina de *A. domesticus*, sin afectar dichos parámetros. En el presente estudio, se observó también que el índice de eficiencia de la proteína no fue afectado con ninguno de los niveles de reemplazo de harina de soya por harina de pescado, en los juveniles de *O. niloticus*. Los valores de la eficiencia del alimento y utilización del nutriente (proteína), indican una adecuada condición fisiológica y de utilización de nutrientes por parte de los peces experimentales (Felix e Silva et al., 2020; Friesa et al., 2020; Hardy y Brezas, 2022).

VIII. CONCLUSIÓN

El uso de harina de insectos en dietas para acuicultura, representa una alternativa prometedora para la industria acuícola. En este estudio, quedó demostrado que, la harina de *A. domesticus* además de que presenta niveles aceptables de proteína, comparado con aquellos en la harina de soya, también presenta altos niveles de lípidos, lo cual es merecedor de futuros estudios relacionados con sus contenidos de ácidos grasos y los efectos que pudiera tener en organismos acuáticos de cultivo. Se concluye que, la sustitución al 100% de la harina de soya por la harina de *A. domesticus*, no compromete el crecimiento, sobrevivencia, y la utilización del alimento, y de la proteína en juveniles de *O. niloticus*, por lo que puede ser utilizada para el cultivo de forma segura.

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>

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>

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)

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 Hashinomoto 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> .

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>

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. *Bulleting 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 Acuicultura y Pesca). 2020. Centros Acuícolas operados por CONAPESCA. CONAPESCA. México.

Colmenero (2014) Chemistry and physics of comminuted products. Pages 289–295 *in*: *Encyclopedia of Meat Sciences* (Second Edition), Dikeman M., and Devine C. editors. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00140-90>

Cruz–Suárez L.E., Nieto-López M., Guajardo-Barbosa C., Tapia-Salazar M., Scholz U., Ricque–Marie D. 2007. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets. *Aquaculture*, 272 (1–4), 466–476. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.084>

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>.

Daniel N. 2018. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(2), 164-179.

Davidowitz G. 2021. Habitat–centric versus species-centric approaches to edible insects for food and feed. *Current opinion in insect science*, 48, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.09.006>

Dersjant–Li, Y. 2002. The use of soy protein in aquafeeds. ADM specialty ingredients division. The Netherlands. https://www.researchgate.net/publication/229052881_The_use_of_soy_protein_in_aquafeeds

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>

El-Haroun E.R., and Bureau D.P. 2007. Comparison of the bioavailability of lysine in blood meals of various origins to that of L-lysine HCL for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 262 (2–4), 402–409. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.032>

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

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

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.

Felix e Silva A., Copatti C.E. Pereira de Oliveira E., Colombarolli–Bonfá H., Viegas Santos–Teixeira de Melo F., de Silva–Camargo A.C., Bibiano–Melo J.F. 2020. Effects of whole banana meal inclusion as replacement for corn on digestibility, growth performance,

hematological and biochemical variables in practical diets for tambaqui juveniles (*Colossoma macropomum*). *Aquaculture Reports*, 17, 100307.

<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100307>

Ferrer–Llagostera P., Kallas Z., Reig L., & 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>

Friesa E.M., Hugh–Oxford J., Godoy A.C. Hassamer, M.Z., Correia, A. F., Boscolo, W.R., and Signor, A. 2020. Phytase on the digestibility of plant protein feed for silver catfish, *Rhamdia voulezi*. *Aquaculture*, 528, 735528. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.73552>

Gasco L., Biancarosa I., and Liland N.S. 2020. From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current opinion in green and sustainable chemistry*, 23, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.003>

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>

Hardy R.W and Brezas A. 2022. Chapter 9– Diet formulation and manufacture. Pages 643–708 in: Hardy R.W. and Kaushik S.J. editors *Fish Nutrition* (Fourth edition), Academic Press, NY. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819587-1.00002-1>

Hasan A. and Tan J. 2020. The current state of plant–based proteins in aquaculture feeds. DSM Performance Solutions + Biomin. <https://www.biomin.net/science-hub/the-current-state-of-plant-based-proteins-in-aquaculture-feed/>

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

Herath S.S., Haga Y., and Satoh S. 2016. Effects of long-term feeding of corn co-product-based diets on growth, fillet color, and fatty acid and amino acid composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 464, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.032>

Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Renaudeau D., Lessire M., and Lebas F. 2018. Corn gluten meal. Feedpedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/715> Last updated on July 4, 2018, 16:45.

Heuzé V., and Tran G. 2016. Blood meal. Feedpedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/221>.

Heuzé V., Tran G., Renaudeau D., Lessire M., and Lebas F. (2015) Wheat grain. Feedpedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ, and FAO. <https://feedipedia.org/node/223> . Last updated on October 14, 2015, 16:59.

Jabir M.D.A.R., Razak S.A., and Vikineswary S. 2012a. Nutritive potential and utilization of super worm (*Zophoba morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. African Journal of Biotechnology, 11, 6592–6598. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1084>

Jabir M.D.A.R.J., Razak S.A., and Sabaratnam, V. 2012b. Effect of mushroom supplementation as a prebiotic compound in super worm based diet on growth performance of red tilapia fingerlings. Sains Malaysiana 41(10), 1197–1203. <http://journalarticle.ukm.my/5524/>

Johri R., Singh R., and Johri, P.K. 2011. Impact of formulated plant and animal supplemented diets on nutritional efficiency, growth and body composition in juveniles of *Clarias batrachus* in experimental tanks. Journal of Experimental Zoology, India 14, 59–68.

Kaushik S.J. and Hemre G–I. 2008. 12–Plant proteins as alternative sources for fish feed and farmed fish quality. Pages 300–327 in: Lie O. Improving Farmed Fish Quality and Safety, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology Nutrition. Hoodhead Publishing <https://doi.org/10.1533/9781845694920.2.300>

Lee S.W., Tey H.C., Wendy W., and Zahari M.W. 2017. The effect of house cricket (*Acheta domesticus*) meal on growth performance of red hybrid tilapia (*Oreochromis sp*). International Journal of Aquatic Science, 8(2), 78–82. http://www.journal-aquaticscience.com/article_70730_8a54b492509a1a1602b71000bc68f8ff.pdf

Lange K.W. and Nakamura Y. 2021. Edible insects as future food: chances and challenges. Journal of future foods, 1(1), 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.10.001>

Lin S. and Luo L. 2011. Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Animal Feed Science and Technology*, 168(1–2), 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.03.012>

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>

Makkar H.P.S., Tran G., Heuze V., and Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197 (0), 1–33, <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

Marotta–Lima B.T., Ospina–Rojas I.C., García–Díaz T., Aparecida da Silva E., Rodrigueiro R.J.B. 2021. Effective replacement of blood meal by L-histidine in diets for salmon. *Ergomix* (Technical Study). February 06, 2021. <https://en.engormix.com/aquaculture/articles/effective-replacement-blood-meal-t47397.htm>

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>.

Miranda C.D., Cammack J.A., and Tomberlin J.K. 2020. Mass production of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) reared on three manure types. *Animals* (Basel), 10(7), 1243. <https://doi.org/10.3390/ani10071243>

Mires, D., and Amit, Y. 1992. Intensive culture of tilapia in quasi-closed water cycled flow-through ponds - the Dekel aquaculture system. *Israeli Journal of Aquaculture / Bamidgeh* 44, 82–86.

Mires, D., and Anjioni, C. 1997. Technical and economic comparative evaluation of two intensive closed water recycled culture systems for tilapias in Israel. Pages 416 – 425 in: Fitzsimmons, K. editor, *Proceedings from the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Northeast Regional Agriculture Engineering Service, Ithaca, NY, USA.

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)

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>

Muir J.F., Van Rijn J., and Hargreaves J. 2000. Production in intensive and recycle systems. Pages 405 – 445 in: Beveridge, M.C.M., McAndrew, B.J. editors. *Tilapias: Biology and Exploitation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

Murphy P.A. 2008. 8–Soybean Proteins. Pages 229–267 in: Johnson L.A., White P.J., Galloway R. editors. *Soybeans, Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. Aocs Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-64-6.50011-1>

Nandeesh M.C., Gangadhara B., and Manissery J.K. 1999a. 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>

Nandeesh M.C., Gangadhara B., Varghese, T.J., and Keshavanath P. 1999b. Growth response and flesh quality of common carp, *Cyprinus carpio* fed with high levels of non-defatted silkworm pupae. *Asian Fisheries Science*, 13, 235–242.

Ng W-K., Liew F.-L., Ang L.-P., Wong K.-W. 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32, 273–280. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x>

Nicoletta H. 2019. Insects as animal feed. *Magyar Allatorvosok Lapja*, 141.

Olsen R.E., Soutana J., Langmyhr E., Mundheim H., Ringo E., Melle W., Malde M.K., and Hemre G.-H. 2006. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture Nutrition* 12(4), 280–290. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00400.x>

Omoyinmi G.A.K., and 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)

Ossey Y.B., Koumi A.R., Koffi K.M., Atse B.C., and Kouame L.P. 2012. Use of soybean, bovine brain and maggot as sources of dietary protein in larval *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840). *Journal Animal and Plant Science* 15, 2099–2108.

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

Poolsawat L., Yang H., Sun Y-F., Li X-Q, Liang G-Y., Leng X-J. 2021. Effect of replacing fish meal with enzymatic feather meal on growth and feed utilization of tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*). *Animal Feed Science and Technology*, 274, 114895. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114895>

Ray G.W., Yang Q., Tan B., Dong X., Chi S., Liu H., Zhang S. 2021. Effects of replacing fishmeal with dietary wheat gluten meal (WGM) on growth, serum biochemical indices, and antioxidative functions, gut microbiota, histology and disease resistance for juvenile shrimp

Litopenaeus vannamei. *Animal Feed Science and Technology*, 281, 115090.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115090>

Rosati R., O'Rourke P.D., Tudor K., and Henry R.D. 1993. Performance of a raceway and vertical screen filter while growing *Tilapia niloticus* under commercial conditions. Pages 303–314 in: Wang, J.-K. editors, *Techniques for Modern Aquaculture*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA.

Rumpold B.A. and Schluter O.K. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative 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>

Sealey W.M., Gaylord T.G., Barrows F.T., Tomberlin J.K., McGuire M.A., Ross C., and St-Hilaire S. 2011. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly pre-pupae, *Hermetia illucens*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(1), 34–45. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00441.x>

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).

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

Solomon S.G., Sadiku S.O.E., Tihamiyu L.O. (2007) Wing reproductive termite (*Macrotermes nigeriensis*) – soybean (*Glycine 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>

Stenger O.K., Holen E., Piemontese L., Liland N.S., Lock E-J., Espe M., and Belghit I. 2019. Effect of dietary replacement of fish meal with insect meal on in vitro bacterial and viral induce gene response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) head kidney leukocytes. *Fish & Shellfish Immunology* 91, 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.05.04>

Tacon A.G.J., and Metian M. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture*, 285, 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>

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

Tilami S.K., Turek J., Cerveny D., Lepic P., Kozak P., Burkina V. Sakalli S., Tomcala A., Sampels S., and Mraz J. 2020. Insect meal as partial replacement for fish meal in a formulated diet for perch *Perca fluviatilis*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 20, 867–878. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_12_03

Tippayadara N., Dawood M.A.O., Krutmuang P., Hoseinifar S.H., Van Doan H., and Paolucci M. 2021. Replacement of fish meal by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal: effects on growth, hematology, and skin mucus immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Animals (Basel)*, 11(1), 193. <https://doi.org/10.3390/ani11010193>

Selina–Wamucii. 2019 Mexico tilapia market insights. <https://www.selinawamucii.com/insights/market/mexico/tilapia/>

Swick R.A., Akiyama D.M., Boonyaratpalin M., and Creswell D.C. 1995. Use of soybean meal and synthetic methionine in shrimp feed. American Soybean Association, Technical Bulletin.

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>.

Webster C. 2009. KSPB funds research of soybean meal in Nile tilapia diets. <https://soybeanresearchinfo.com/research-highlight/kspb-funds-research-of-soybean-meal-in-nile-tilapia-diets/>

Wei M.C. and Liu G.Q. 2001. The research and exploitation of insect protein. Journal of Central South Forest University, 21, 86–90. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Research-and-Exploitation-of-Insect-Protein-Mei/cb72852bd87e881470f338c42676a4e01f30429c>

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>

Ye H., Zhou Y., Su N., Wang A., Tan X., Sun Z., Zou C. Liu, and Ye C. 2019. Effects of replacing fish meal with rendered animal protein blend on growth performance, hepatic steatosis and immune status in hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* x *Epinephelus lanceolatus*). Aquaculture, 511, 734203. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734203>