



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**REEMPLAZO TOTAL Y PARCIAL DE HARINA DE PESCADO Y HARINA DE
SOYA POR HARINA DE *NAUPHOETA CINEREA*, EN DIETAS PARA TILAPIA
DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

ERICK MARÍN MARTÍNEZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DR. RAFAEL MARTÍNEZ GARCÍA

EN CODIRECCIÓN:

DR. URIEL RODRÍGUEZ ESTRADA

VILLAHERMOSA, TABASCO. ABRIL DE 2026

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día **23 de marzo de 2026**, el que suscribe **Erick Marín Martínez** alumno del Programa de **licenciatura en Biología** con número de matrícula **211G22133** adscrito a la **División Académica de Ciencias Biológicas** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como **autor del trabajo recepcional de tesis** presentado para la obtención del título de Licenciatura en Biología titulado **“Reemplazo total y parcial de harina de pescado y harina de soya por harina de *Nauphoeta cinerea*, en dietas para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)”** dirigido por el **Dr. Rafel Martínez García**.

DECLARO QUE:

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

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

Villahermosa, Tabasco a 23 de marzo de 2026.



Erick Marín Martínez



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2026
año de
**Margarita
Maza**

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 16 de Marzo de 2026


ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

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

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. ERICK MARÍN MARTÍNEZ** egresado de la Lic. en **BIOLOGIA** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: "**REEMPLAZO TOTAL Y PARCIAL DE HARINA DE PESCADO Y HARINA DE SOYA POR HARINA DE NAUPHOETA CINEREA, EN DIETAS PARA TILAPIA DEL NILO (*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**

**UJAT
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"



2026
año de
Margarita
Maza

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

MARZO 16 DE 2026

**C. ERICK MARÍN MARTÍNEZ
PAS. DE LA LIC. BIOLOGIA
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 111 al 113 del Cap. IV 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: **"REEMPLAZO TOTAL Y PARCIAL DE HARINA DE PESCADO Y HARINA DE SOYA POR HARINA DE NAUPHOETA CINEREA, EN DIETAS PARA TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)"**, asesorado por el Dr. Rafael Martínez García y Dr. Uriel Rodríguez Estrada, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. Carlos Alfonso Álvarez González, Dra. Susana Camarillo Coop, Dr. Rafael Martínez García, Dr. Luis Daniel Jiménez Martínez y Dr. Gabriel Núñez Nogueira

A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

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





UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



2026
año de
Margarita
Maza

División Académica de Ciencias Biológicas DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab. 13 de marzo de 2026

C. ERICK MARÍN MARTÍNEZ
Pas. de la Lic. en Biología
Presente

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

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su trabajo recepcional **REEMPLAZO TOTAL Y PARCIAL DE HARINA DE PESCADO Y HARINA DE SOYA POR HARINA DE NAUPHOETA CINEREA, EN DIETAS PARA TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)**.

Se incluyó citas, se excluyó bibliografía y se estableció el umbral de exclusión de coincidencias pequeñas a 16 palabras.

RESULTADO DE SIMILITUD	10 %
	74 páginas y 20342 palabras

Finalmente, se le solicita al **C. ERICK MARÍN MARTÍNEZ**, integrar en la versión final del trabajo recepcional, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

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

ATENTAMENTE
“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



C.c.p. Dr. Rafael Martínez García. Director de trabajo recepcional
C.c.p. Dr. Uriel Rodríguez Estrada. Codirector de trabajo recepcional
C.c.p. Archivo

KM 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
VILLAHERMOSA, CENTRO, TABASCO, MEX.
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

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

Erick Marin Martinez

REEMPLAZO TOTAL Y PARCIAL DE HARINA DE PESCADO Y HARINA DE SOYA POR HARINA DE NAUPHOETA CINEREA, E...

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:567193359

Fecha de entrega

13 mar 2026, 8:58 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

23 mar 2026, 11:41 a.m. GMT-6

Nombre del archivo

Erick Marin Martinez_TR tesis.pdf

Tamaño del archivo

1.9 MB

74 páginas

20.342 palabras

113.106 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 16 palabras)
- ▶ Abstract
- ▶ Methods and Materials
- ▶ Trabajos entregados

Exclusiones


- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
16 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
ri.ujat.mx		10%
2	Internet	
www.researchgate.net		<1%

Carta de Cesión de Derechos


Villahermosa, Tabasco a 23 de marzo de 2026.

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como AUTOR en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **“Reemplazo total y parcial de harina de pescado y harina de soya por harina de *Nauphoeta cinerea*, en dietas para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)”**. Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES



Erick Marín Martínez



Dr. Rafael Martínez García

TESTIGOS



Ruth Naomi Jiménez Pérez



Nelson Gil Rodríguez

Dedicatoria

A mis padres que me han dado su confianza y apoyo para lograr mis metas y seguir estudiando

Agradecimientos

A mis padres y hermano por haberme apoyado en todas mis etapas en la universidad, por llevarme e irme a buscar, preocuparse por mí, permitirme seguir estudiando y, principalmente, durante la elaboración de mi tesis. Sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

A mi novia Naomi, por siempre estar conmigo durante toda la carrera, ser mi soporte, ver por mi y apoyarme todos los días, sin importar el día ni la hora.

Dr. Rafel Martinez García, por haber confiado en mi desde el principio y permitirme entrar al laboratorio donde crecí académicamente.

Dr. Uriel Rodríguez Estrada, por ser mi guía desde que entre al laboratorio, por todo su apoyo durante la realización de esta tesis y enseñarme un poco de todo el conocimiento que tiene.

Dr. Alfonso Álvarez Gonzáles, por su asesoría y el apoyo para la realización de mi tesis.

Nelson, fue una grata experiencia poder compartir contigo esta última etapa de la universidad, muchas gracias por tu amistad. Te aprecio mucho.

Índice de contenido

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción	3
Marco teórico.....	7
Justificación	8
Pregunta de investigación	9
Hipótesis	10
Objetivos.....	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos.....	11
Materiales y método.....	12
1. Preparación de dietas experimentales	12
2. Ingredientes y dietas experimentales	14
3. Análisis proximales y perfil de aminoácidos	15
3.1. Humedad.....	15
3.2. Proteína cruda	15
3.3. Extracto etéreo	16
3.4. Cenizas.....	17
3.5. Fibra cruda	17
3.6. Extracto libre de nitrógeno (ELN)	18
3.7. Fósforo	18
3.8. Energía bruta.....	19
3.9. Perfil de aminoácidos.....	19
3.10. Perfil de ácidos grasos libres.....	19
3.11. Perfil de minerales	19
4. Bioensayo.....	19
5. Obtención de tejidos	20
6. Estudio de crecimiento.....	20
7. Estudio de parámetros somáticos.....	21

8. Estudio de enzimas digestivas y antioxidantes	22
9. Estudio histológico.....	23
10. Análisis estadístico.....	23
Resultados	24
1. Composición proximal de las harinas	24
2. Composición proximal y costo (MX\$ / Kg de alimento) de las dietas experimentales	26
3. Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína.....	26
4. Análisis de costo-beneficio.....	27
5. Parámetros somáticos.....	28
6. Enzimas digestivas.....	29
7. Enzimas antioxidantes.....	31
8. Histología.....	32
Discusión	41
1. Composición proximal de las harinas	41
2. Composición proximal de las harinas experimentales	41
3. Crecimiento, eficiencia del alimento, utilización de la proteína y sobrevivencia.....	42
4. Parámetros somáticos.....	44
5. Análisis de costo-beneficio (ACB).....	45
6. Actividad de enzimas digestivas	46
7. Actividad de enzimas antioxidantes.....	49
8. Histología.....	50
Conclusiones	54
Referencias.....	55

Índice de tablas

Tabla 1. Formulación y composición proximal de las harinas experimentales.....	20
Tabla 2. Composición proximal, perfil de aminoácidos, perfil de ácidos grasos y contenido de minerales de las harinas	32
Tabla 3. Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína de tilapia del Nilo	33
Tabla 4. Análisis costo-beneficio de las dietas experimentales.....	35
Tabla 5. Parámetros somáticos de tilapia del Nilo después de ser alimentada durante 60 días	35

Índice de figuras

Figura 1	Actividad de las enzimas digestivas	30
Figura 2	Actividad de las enzimas antioxidantes	31
Figura 3	Microfotografía histológica del intestino de <i>Oreochromis niloticus</i>	33
Figura 4.	Microfotografía histológica del intestino de <i>Oreochromis niloticus</i>	34
Figura 5	Microfotografía histológica del intestino de <i>Oreochromis niloticus</i>	35
Figura 6	Microfotografía del intestino de <i>Oreochromis niloticus</i>	36
Figura 7	Análisis histológico del intestino.....	37
Figura 8	Microfotografía de células caliciformes en <i>Oreochromis niloticus</i>	38
Figura 9	Análisis histológico del hígado.	39
Figura 10	Microfotografía histológica del hígado de <i>Oreochromis niloticus</i>	40

Resumen

La creciente demanda de harina de pescado (HP) y harina de soya (HS) para el desarrollo de alimentos acuícolas ha generado la necesidad de buscar ingredientes alternativos y sostenibles. En el presente trabajo se evaluó el reemplazo total y parcial de la harina de pescado y soya por harina de *Nauphoeta cinerea* (HNc) en dietas experimentales para juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Se formularon cuatro dietas experimentales iso-proteicas e iso-lipídicas (Control: 0% de reemplazo; FS: 50% de reemplazo de HP y HS por HNc; FM: 100% de reemplazo de HP por HNc y SBM: 100% de reemplazo de HS por HNc) que se suministraron a los organismos durante 60 días. Se evaluaron parámetros de crecimiento, índices somáticos, supervivencia, aprovechamiento del alimento, enzimas digestivas, enzimas antioxidantes e histología de hígado e intestino. Los resultados revelaron que la inclusión de HNc no afectó significativamente la supervivencia, crecimiento ni la eficiencia alimenticia. Sin embargo, se observaron alteraciones en la actividad de proteasas, lipasas y amilasas, así como un incremento en la actividad de la peroxidasa. En el análisis histológico no se encontraron indicios de daño estructural en el intestino e hígado, pese a que se detectó un aumento en el número de células caliciformes en el grupo experimental SBM 100%. Se concluye que la inclusión de HNc es una alternativa viable para reemplazar parcialmente la harina de pescado y soya en dietas acuícolas, sin comprometer salud ni rendimiento en los ejemplares.

Palabras clave: *Nauphoeta cinerea*, harina de insectos, tilapia del Nilo, nutrición acuícola, ingredientes alternativos

Abstract

The growing demand for fishmeal (FM) and soybean meal (SBM) for the development of aquaculture feeds has generated the need to search for alternative and sustainable ingredients. In the present study, the total and partial replacement of fishmeal and soybean meal with *Nauphoeta cinerea* meal (NcM) in experimental diets for Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*) was evaluated. Four iso-proteic and iso-lipidic experimental diets were formulated (Control: 0% replacement; FS: 50% replacement of FM and SBM with NcM; FM: 100% replacement of FM with NcM and SBM: 100% replacement of SBM with NcM) and were supplied to the organisms for 60 days. Growth parameters, somatic indices, survival, feed utilization, digestive enzymes, antioxidant enzymes, and histology of the liver and intestine were evaluated. The results revealed that the inclusion of NcM did not significantly affect survival, growth, or feed efficiency. However, alterations in the activity of proteases, lipases, and amylases were observed, as well as an increase in peroxidase activity. In the histological analysis, no evidence of structural damage was found in the intestine and liver, although an increase in the number of goblet cells was detected in the SBM 100% experimental group. It is concluded that the inclusion of NcM is a viable alternative to partially replace fishmeal and soybean meal in aquaculture diets, without compromising health or performance in the specimens.

Keywords: *Nauphoeta cinerea*, insect meal, Nile tilapia, aquaculture nutrition, alternative ingredients

Introducción

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es un pez nativo del continente africano. Es un organismo de agua dulce perteneciente a la familia Cichlidae. Está distribuido en la mayor parte de África, excepto en las montañas Atlas y sureste de dicho continente (El-Sayed & Fitzsimmons, 2023). La tilapia del Nilo se distribuye de forma natural en la región Nilo-sudanesa, el valle del Rift de Etiopía, los lagos del Rift occidental (lago Albert, lago Edward, lago George, lago Kivu y lago Tanganyika) y el lago Turkana en el valle del Rift oriental, aunque también se encuentra naturalmente establecida en el centro y el este de África (El-Sayed & Fitzsimmons, 2023). Actualmente existen 11 especies de tilapia que son utilizadas en granjas acuícolas, sin embargo, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es por mucho la más utilizada (van Huis, 2013).

La tilapia del Nilo es una especie caracterizada por su rápido crecimiento, tolerancia a condiciones ambientales extremas (temperatura, salinidad, pH y bajo oxígeno disuelto), alta tolerancia al estrés, enfermedades y su gran capacidad para reproducirse en cautiverio (Assefa & Getahun, 2015). Estos atributos hacen acreedora a esta especie como una candidata excelente para la acuicultura de todo el mundo.

En México, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) fue introducida desde África en el año de 1964 (El-Sayed & Fitzsimmons, 2023). México representa el cuarto país con mayor producción en acuicultura en Latinoamérica con 243,307 toneladas, significando una participación del 0.22 a nivel mundial (Martínez-Cordero, 2021). Actualmente, México cuenta con 426 unidades de acuicultura de tilapia que están repartidos en todo el país, siendo los estados de Hidalgo, Michoacán, Chiapas, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas los de mayor producción en el país (Fimbres-Acedo et al., 2025). Uno de los principales retos que presenta el cultivo de esta especie, son los altos costos de los alimentos, producto del encarecimiento de las materias primas con las cuales son manufacturados.

Tradicionalmente, las materias primas más utilizadas en las dietas acuícolas para tilapia del Nilo son la harina de pescado (HP) y la harina de soya (HS) (Nogales-Mérida et al., 2018). En las últimas décadas, estas harinas han incrementado su precio debido al incremento de la demanda de estos (Nogales-Mérida et al., 2018; Hardy, 2010). Las principales razones del

encarecimiento de estas materias primas son: 1) aumento de la demanda; 2) condiciones climáticas que puedan afectar la captura de peces utilizados en la producción de HP; 3) condiciones climáticas que afecten la producción de HS y 4) la mayoría de los productos agrícolas utilizados en la acuicultura también se utilizan generalmente en la ganadería, además del consumo humano (Nogales-Mérida et al., 2018). Para mitigar la creciente dependencia en fuentes de proteína tradicionalmente usadas en acuicultura, ingredientes alternativos han sido cada vez más utilizados (Fontes et al., 2019). Un claro ejemplo de ello es el uso de harina de insectos en dietas acuícolas (Józefiak et al., 2023). El grupo taxonómico de los insectos es uno de los más variados en el mundo, con aproximadamente un millón de especies (Nogales-Mérida et al., 2018) y estos, dependiendo de la especie y etapa que se encuentren en su ciclo de vida pueden ser ricos en proteína y lípidos. Sin embargo, la presencia de quitina en la estructura de su exoesqueleto puede representar una característica negativa para la digestibilidad de los peces (Barroso et al., 2013). Diversos han sido los estudios con harinas de insectos como ingrediente proteico para dietas acuícolas. La mayoría de las investigaciones se han enfocado en algunas especies, tales como: el tenebrio (*Tenebrio molitor*) y la mosca soldado (*Hermetia illucens*). Sin embargo, existen otras especies, que aún permanecen inexploradas en cuanto a la nutrición acuícola se refiere (Józefiak et al., 2023). Una de ellas, es la cucaracha cinerea (*Nauphoeta cinerea*).

La cucaracha (*Nauphoeta cinerea*), pertenece a la familia Blaberidae. Fue descrita por Olivier en el año de 1789 y se caracteriza por su color gris ceniza con bandas negras en los lados (Djernaes et al., 2020). Los adultos, pueden alcanzar hasta 30 mm de longitud y son alados. Se distribuye en el Noreste de África. Pero actualmente se ha dispersado a través de áreas circuntropicales, incluyendo partes de Madagascar, Tailandia, Filipinas, Indonesia, Australia, México, Cuba y Brasil (Sánchez et al., 2024). Esta especie es prolífica, con las hembras capaces de producir hasta seis camadas en su vida, cada una con un promedio de 33 huevos. Los juveniles emergen, mientras la ooteca aún es llevada por la madre (Roth 1964). Esta especie es omnívora y se alimenta de una gran variedad de materiales orgánicos, lo que la convierte en una opción popular como alimento vivo para reptiles y otros invertebrados en cautiverio (Lourenço et al., 2022). La producción masiva de *N. cinerea*, es uno de los cultivos más sencillos y productivos para obtener alimento vivo de alta calidad. Este tipo de cucarachas, son muy tolerantes a variaciones de humedad y temperatura. No se trepan

fácilmente a superficies lisas. Los adultos no pueden escalar plástico o vidrio. Facilitando así su contención. Además de que se reproducen aceleradamente y tienen una buena proporción de proteína y lípidos (Zhu et al., 1983).

En los últimos años, la harina de *N. cinerea* (HNc), se ha investigado como una fuente proteica prometedora para reemplazar total o parcialmente a la HP o a la HS en formulaciones dietéticas para especies acuícolas (Bee–Tubin et al., 2023). Este tipo de harina posee una proteína de alta calidad y un perfil de aminoácidos completo y equilibrado. Con buenos contenidos de lisina y metionina. Los cuáles son aminoácidos limitantes en muchas harinas vegetales (Juárez–Barrientos et al., 2024). La HNc posee también, un perfil lipídico favorable, conteniendo un ácido graso esencial para el correcto desarrollo de las especies de cultivo (Ng et al., 2024). Investigaciones previas han demostrado que la HNc posee compuestos bioactivos como quitina y quitosano ya que su exoesqueleto los aporta en cantidades adecuadas, por lo que pueden actuar como prebióticos y potenciadores del sistema inmune de peces y camarones (da Silva–Lucas). La HNc posee también péptidos antimicrobianos (Taranushenko et al., 2009). Una de las grandes ventajas de su producción masiva, es que requiere mucho menos agua, tierra y emite menos gases de efecto invernadero que la proteína animal y tradicional. Puede alimentarse con subproductos agrícolas, promoviendo la economía circular (Zhu et al., 1983).

El proceso de obtención de la HNc para su uso como ingrediente de dietas acuícolas, inicia con el ayuno de la *N. cinerea* durante 24–48 h. Esto con el objetivo de vaciar su tracto intestinal. Para su eutanasia, se procede al congelado de la biomasa de *N. cinerea*. Posteriormente, se procede al secado en estufa a 50°C (para no desnaturalizar las proteínas). Se puede secar este material, mediante un proceso de liofilización. Una vez completamente seca la biomasa, se procede a la molienda, con el objetivo de obtener el polvo fino (harina). Finalmente, se sugiere un tratamiento térmico o con UV, para garantizar la inocuidad microbiológica (Harper, 2018).

Los resultados referentes a la utilización de la HNc en dietas acuícolas son limitados. Sin embargo, se ha reportado que, la HNc puede reemplazar hasta el 25 – 50% de HP en dietas para tilapia, sin afectar negativamente el crecimiento, la supervivencia o utilización del alimento. Mientras que, en la trucha y especies carnívoras, la inclusión suele ser más baja (10

– 20%) debido a su mayor exigencia proteica y a la sensibilidad a la quitina. En lo que se refiere a camarón, los resultados relacionados al uso de HNC son prometedores, debido a la presencia de quitina, la cual es un componente natural de la dieta de los crustáceos (Vale–Hagan et al., 2023). Adicionalmente, la utilización de HNC en dietas acuícolas, ha demostrado efectos relevantes en cuanto a composición proximal y perfil bacteriano (Bee–Tubin et al., 2023) y en la pigmentación de la arowana perla *Scleropages jardini* (Ng et al., 2024);

Marco teórico

La acuicultura, considerada una de las industrias de producción animal de más rápido crecimiento, enfrenta desafíos relacionados con la sostenibilidad de los ingredientes utilizados en los alimentos balanceados, como la HP y la HS. Estos ingredientes, aunque altamente nutritivos, están asociados con problemas ambientales, como la sobreexplotación de recursos pesqueros y la deforestación para el cultivo de soya (FAO, 2020a). En este contexto, las harinas de insectos han surgido como una alternativa prometedora, destacando por su alto contenido proteico y menor impacto ambiental (van Huis, 2013).

Entre las especies de insectos más utilizadas para este fin se encuentran la mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*), los gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*) y los grillos (*Acheta domesticus*) estas especies son reconocidas por su capacidad para transformar residuos orgánicos en biomasa de alta calidad y por su perfil nutricional, que incluye aminoácidos esenciales, ácidos grasos y micronutrientes (Ouko et al., 2024). Estudios han demostrado que la harina de insectos puede reemplazar parcialmente la HP sin afectar el crecimiento ni la salud de peces y crustáceos, como tilapias (*Oreochromis niloticus*) y camarones (*Litopenaeus vannamei*) (Henry et al., 2015; Gasco et al., 2018).

Una de las principales ventajas de la producción masiva de harinas de insectos es su bajo impacto ambiental. La cría de insectos requiere menos agua, tierra y emite menos gases de efecto invernadero en comparación con la producción de otras fuentes proteicas (Oonincx & de Boer, 2012). Además, los insectos pueden ser criados en desechos orgánicos, lo que contribuye a la economía circular y la gestión sostenible de residuos (van Huis et al., 2013).

Sin embargo, la adopción de las harinas de insectos en la acuicultura enfrenta retos como los costos iniciales de producción, la falta de estandarización en los procesos industriales y las regulaciones que limitan su uso en algunos países (Henry et al., 2015). A pesar de estas limitaciones, el creciente interés por sistemas alimentarios sostenibles y las inversiones en tecnologías de producción sugieren que estas harinas desempeñarán un papel importante en la alimentación acuícola del futuro.

Justificación

La utilización de las HP y HS es de gran importancia nivel mundial, ya que estas no solamente se utilizan para la producción de alimentos acuícolas, sino también para alimentos de otros animales como ganado, mascotas e incluso alimento para la población mundial. El creciente número de la población humana año con año se refleja en que se necesita más producción de alimentos para poder abastecer la demanda mundial de alimentos, por lo que, de forma directa, la crianza de todo tipo de animales que nos ayuden a cubrir esta demanda (ganado, bovino, avícola y porcino) crece exponencialmente. A su vez la crianza de estos animales significa una mayor utilización de recursos como agua, espacio, alimento y energía, lo que provoca un alto impacto ambiental.

Ante el crecimiento exponencial de la especie humana y las consecuencias que esto conlleva, la búsqueda de fuentes alimenticias sustentables que puedan sustituir a las utilizadas actualmente se vuelve cada vez más necesaria. Por lo tanto, la investigación en diferentes sectores es crucial para aportar conocimientos a esta rama. Dentro de los sectores más importantes mundialmente encontramos a la acuicultura. A nivel mundial, la acuicultura ha tenido un crecimiento continuo durante los últimos 40 años, siendo una de las ramas del sector primario con mayor tasa de crecimiento sostenido anual.

El uso de harinas de insectos en las dietas acuícolas en los últimos años ha sido una de las soluciones como ingrediente verde dentro de la formulación de dietas acuícolas. Los insectos son una rica fuente proteica y algunas especies tienen una concentración de lípidos menor que otras, por lo que podrían ser una buena alternativa a las harinas utilizadas actualmente.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el efecto del reemplazo total o parcial de HP y HS por HNc en dietas experimentales para juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en el crecimiento, actividad enzimática e integridad de los intestinos?

Hipótesis

El uso de HNC como sustituto parcial o total de la HP y HS en la dieta para juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) servirá como un ingrediente alternativo y sustentable que no comprometerá el crecimiento, la actividad de las enzimas digestivas ni la integridad intestinal y hepática.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar los efectos de la sustitución parcial o total de HP y HS por HNc en cuanto a crecimiento y fisiología digestiva e integridad de los intestinos e hígado.

Objetivos específicos

1. Evaluar los perfiles nutricionales de la HP, HS y HNc.
2. Evaluar el desempeño zootécnico de tilapia del Nilo alimentada con dietas experimentales formuladas con el reemplazando parcial o total de HP y HS por HNc.
3. Determinar la actividad de las enzimas digestivas de tilapia del Nilo alimentada con dietas experimentales formuladas con el reemplazo total de HP y HS por HNc.
4. Evaluar la integridad de los intestinos e hígado de tilapia del Nilo alimentada con dietas experimentales formuladas con el reemplazando parcial o total de HP y HS, por HNc.

Materiales y método

1. Preparación de dietas experimentales

Cuatro dietas experimentales fueron formuladas en el área de nutrición del Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos (LAFIRA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) a partir de la sustitución en porcentaje de proteína con el fin de reemplazar dos harinas: harina de pescado y harina de soya, tradicionalmente utilizadas en alimentos acuícolas comerciales. Las dietas se diseñaron, mediante un reemplazo parcial (50%) o total (100%) de harina de pescado y harina de soya por HNc. Las dietas experimentales fueron C: 0% de reemplazo de harina de pescado y harina de soya; FS50%: 50% de reemplazo de harina de pescado y harina de soya por harina de HNc; FM100%: 100% de reemplazo de harina de pescado por HNc y SBM100%: 100% de reemplazo de harina de soya por HNc. Las dietas se formularon para ser iso-proteicas e iso-lipídicas. (Tabla 1).

Tabla 1.

Formulación y composición proximal de las dietas experimentales para tilapia del Nilo, diseñadas con el reemplazo total o parcial de HP (harina de pescado) y / o HS (harina de soya), por HNC (HNC).

Ingrediente		C	FS 50%	FM 100%	SBM 100%
Harina de cucaracha (<i>Nauphoeta cinerea</i>)	^a	0.00	30.03	36.03	24.05
Harina de soya	^b	25.00	12.50	25.00	0.00
Harina de pescado	^c	25.00	12.50	0.00	25.00
Harina de ave	^c	10.00	10.00	10.00	10.00
Harina de cerdo	^c	10.00	10.00	10.00	10.00
Harina de sorgo	^b	3.00	3.00	3.00	2.97
Harina de almidón	^b	16.30	14.67	8.99	23.39
Aceite de sardina	^d	2.00	2.00	2.00	2.00
Aceite de soya	^d	6.14	2.74	2.42	0.03
Premix de nutrientes	^e	0.50	0.50	0.50	0.50
Ácido ascórbico	^f	0.06	0.06	0.06	0.06
Genetina	^f	2.00	2.00	2.00	2.00
		100	100	100	100
Composición proximal ¹					
Materia seca (%)		91.38	91.44	91.44	94.44
Proteína cruda (%)		40.00	40.00	40.00	40.00
Extracto etéreo		12.00	12.00	12.00	12.00
Cenizas (%)		12.14	10.18	8.36	12.00
Fibra cruda (%)		3.27	7.35	8.65	6.09
Extracto libre de Nitrógeno (%) ²		32.59	30.47	30.98	29.92
Fósforo (mg g ⁻¹)		16.04	13.96	11.66	16.26
Energía bruta (Kj kg ⁻¹) ³		19.79	19.42	19.51	19.33
Costo (MX\$ - Kg alimento)		41.41	65.34	62.81	69.53

^aLocal producers (Villahermosa, Tabasco, Mexico)

^bJorge Gil Rodriguez, Villahermosa, Tabasco, Mexico.

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

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

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

^fDrogeria Cosmopolita, Mexico city, Mexico.

¹ Análisis de laboratorio (Takeuchi, 1988)

² Calculado a partir de la siguiente fórmula: NFE = 100 - (protein + lipid + ash + crude fibre) (Takeuchi 1988)

³ Calculado a partir de la siguiente fórmula. $GE = [(crude\ protein \times 23.6) + (lipid \times 39.5) + (NNE \times 17.2)] \times 100$ (Gatlin 2010).

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 a utilizar fueron adquiridos en Maíz Industrial S.A. de C.V. –MAZINSA- (aceite de sardina y aceite de soya). La HNC, fue cultivada por productores locales. 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 se analizaron para obtener su contenido de humedad, proteína cruda, lípidos, cenizas, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, fósforo, energía bruta y perfil de aminoácidos. Una vez conocida la composición proximal de las harinas, los datos obtenidos, fueron vertidos en una base de datos 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. Para la manufactura de las dietas experimentales, se procedió de la siguiente manera: los macroingredientes fueron mezclados con una batidora (MIX-B30GA), durante 20 minutos. Los aceites (de soya y sardina) se pesaron en una balanza (Rinno). Los microingredientes, fueron mezclados en una licuadora. Posteriormente, la mezcla de aceites y micro ingredientes se agregó a la mezcla de macroingredientes, 30% (agua), de la masa total (mezcla de macro, micro ingredientes y aceites) se agregó 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.

3. Análisis proximales y perfil de aminoácidos

Los análisis proximales y estudio de perfil de aminoácidos, se llevaron a cabo, siguiendo los métodos establecidos por la AOAC (2020) con algunas modificaciones. Las metodologías se describen a continuación.

3.1. Humedad

La humedad se determinó, 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 se enfriaron 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 se utilizó 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) se calentó y pesó consecutivamente, hasta alcanzar un peso constante. Cada muestra se realizó por triplicado. La humedad se calculó con la siguiente fórmula:

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

Donde: A = Peso inicial del crisol (g), B = Peso inicial de la muestra (g) y C = Peso final del crisol + muestra (g).

3.2. Proteína cruda

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:

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

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).

3.3. Extracto etéreo

Para determinar el extracto etéreo, 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 minutos. Posteriormente, el éter de petróleo se evaporó a 80°C durante 1h. 45 min. Enseguida, se procedió a recuperar el éter mediante 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:

$$\text{Extracto etéreo (\%)} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

Donde: A = Peso del vaso con la muestra; B = Peso del vaso limpio y seco; y, C = Peso de la muestra.

3.4. 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:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{C - A}{B - A} \times 100$$

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

3.5. 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 minutos para su enfriamiento hasta alcanzar una estabilidad en peso. Se pesó 1 gramo 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 minutos. 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:

$$\text{Fibra cruda} = \frac{\text{Pérdida de peso (g) por ignición} \times 100}{\text{g. muestra}}$$

3.6. Extracto libre de nitrógeno (ELN)

El ELN fue calculado mediante la siguiente fórmula (Gatlin, 2010):

$$\text{ELN} = 100 - (\text{Contenido de proteína} + \text{contenido de lípidos} + \text{contenido de cenizas} + \text{contenido de fibra bruta})$$

3.7. Fósforo

La determinación de fósforo en las muestras fue determinada 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 minutos. 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 MO₄, 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 minutos. En tanto, se preparó un blanco (tubo de ensayo sin muestra). La absorbancia se determinó con espectrofotómetro (Genesys 10S UV – VIS) a una longitud de onda de 725–750 nm. El contenido mg g⁻¹ de fósforo en la muestra, se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Fósforo (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{(A - B) \times 1 \times 0.2 \times 25 \times 50}{C (g) \times 100}$$

Donde: A = Absorción en muestra; B = Absorción en blanco; y C = Peso de muestra (g).

3.8. Energía bruta

La energía bruta, fue calculada, con base en 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 (Austreng 1978). Por lo tanto, para calcular la energía, se utilizó la siguiente fórmula:

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

3.9. Perfil de aminoácidos

El perfil de aminoácidos fue determinado a través de la hidrólisis de la muestra con 6 N HCl durante 2 horas a 110°C. Proceso que fue seguido por una secuencia de filtraciones y separaciones, utilizando cromatografía de gases.

3.10. Perfil de ácidos grasos libres

El perfil de ácidos grasos libres fue determinado a través de cromatografía de gases C6, bajo la regulación NMX-F-490-1999-NORMEX y usando el equipo Agilent 8860 System Gas Chromatograph™ Santa Clara, CA, USA.

3.11. Perfil de minerales

El contenido de minerales fue analizado a través del método de plasma acoplado inductivamente-espectrometría de inducción atómica (ICP-AES) usando el espectrofotómetro de inducción óptica (OIS) (AVIO 200 PerkinElmer, MA, USA).

4. Bioensayo

Alrededor de 400 ejemplares hormonados de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con un peso aproximado de 1 gramo fueron colectados de una granja acuícola San Vicente (Jalapa, Tabasco). Los peces fueron transportados a las instalaciones del Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos (LAFIRA), en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), perteneciente a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Los peces experimentales fueron ubicados en tanques circulares de fibra de vidrio con capacidad de 70 litros en el área de bioensayos de LAFIRA. Cada tanque fue aireado mediante piedras de aire conectadas a un sistema continuo de aireación. Después de una semana de aclimatación

y entrenamiento con las dietas experimentales correspondientes, se realizó la primera biometría. 204 organismos, fueron aleatoriamente distribuidos en 12 tinas de 70 L/ cada una. Las dietas experimentales fueron administradas diariamente tres veces al día (8:00 h, 12:00 h y 16:00 h) a saciedad, durante 60 días. Se realizaron tres biometrías (al iniciar el experimento, a los 30 días, y a los 60 días después de haber iniciado el experimento). Los botes de alimento (por estanque experimental), fueron pesados al final del día. Esto con el fin de conocer la cantidad de alimento, consumida por los peces experimentales. Los muertos se registraron diariamente durante todo el bioensayo.

5. Obtención de tejidos

A los 60 días, se procedió a la disección de los ejemplares. Los peces experimentales, fueron sacrificados con aceite de clavo. Se utilizaron 9 ejemplares por dieta a los cuales se les extrajo el intestino, estómago e hígado. Una parte del intestino, estómago e hígado, fueron colocados en tubos eppendorf (para el estudio de actividad de enzimas digestivas y anti-oxidantes). Otra parte del intestino e hígado, fueron colocados en tubos Falcon (de 10 ml) en solución Davison (para el estudio histológico).

6. Estudio de crecimiento

Para el estudio de crecimiento, se utilizaron los datos obtenidos durante los muestreos de los 0, 30 y 60 días (peso húmedo total y longitud total / individuo).

$$\text{Ganancia de peso (\%)} = \frac{(\text{peso promedio final (g)} - \text{Peso promedio inicial (g)})}{\text{Peso promedio inicial}} * 100$$

(Da et al., 2012).

$$\text{Crecimiento específico (\%/día)} = \frac{((\log_e \text{ peso final} - \log_e \text{ peso inicial}))}{\text{días}} * 100$$

(Takeuchi et al., 1988).

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

(Takeuchi et al., 1988).

$$\text{Conversión del alimento} = \frac{\text{ganancia de peso } \frac{\%}{100}}{\text{consumo de alimento (g pez)}}$$

(Moreira et al., 2012).

$$\text{Eficiencia de la proteína} = \frac{\text{ganancia de peso } \frac{\%}{100}}{\text{consumo de proteína}}$$

(Martínez–Palacios et al., 1996).

$$\text{Factor de condición (gcm}^{-1}\text{)} = \frac{\text{peso final (g)}}{\text{longitud total final (cm)}} * 100$$

(Bee–Tubin et al., 2019).

7. Estudio de parámetros somáticos

A los 60 días (final del experimento), 3 peces por estanque (9 individuos por grupo experimental), fueron sacrificados para obtener las medidas (de órganos internos y medidas externas) que sirvieron para calcular los parámetros somáticos. Para lo cual, se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{Índice hepatosomático (\%)} = \frac{\text{peso del hígado}}{\text{peso total del individuo}} * 100$$

(Bee–Tubin et al., 2019).

$$\text{Índice vicerosomático(\%)} = \frac{\text{peso de la visera}}{\text{peso total del individuo}} * 100$$

(Bee–Tubin et al., 2019).

$$\text{Carcasa} = \frac{\text{peso del pez eviscerado}}{\text{peso total del individuo}} * 100$$

(Bee–Tubin et al., 2019)

$$\text{Índice gastrosomático}(\%) = \frac{\text{peso del estómago}}{\text{peso total del individuo}} * 100$$

(Moreira et al., 2012).

$$\text{Índice enterosomático}(\%) = \frac{\text{peso del intestino}}{\text{peso total del individuo}} * 100$$

(Moreira et al., 2012).

$$\text{Cociente intestinal}(\%) = \frac{\text{largo del intestino}}{\text{longitud total del organismo}} * 100$$

(Moreira et al., 2012).

8. Estudio de enzimas digestivas y antioxidantes

El análisis de actividad enzimática se llevó a cabo a partir de tejidos del estómago e intestino de los peces experimentales. Las muestras de estómago se homogeneizaron en una solución tampón de glicina-HCl 0,1 M, pH 2 y los intestinos se homogeneizaron en la solución de Tris-HCl 100 mM + CaCl₂ 10 mM pH 9. Ambas muestras se centrifugarán a 16 000 g durante 30 min para extraer el sobrenadante o extracto enzimático separándolas en alícuotas de 400 µL y congelándolas a -20 °C hasta su uso posterior. La concentración de proteína soluble se evaluó mediante una curva de calibración de albúmina sérica bovina (600 mg ml⁻¹). La actividad de la proteasa ácida se determinó mediante la técnica de Anson (1938) y hemoglobina (1%) en una solución tampón de glicina-HCl 0,1 M, pH 2. Los niveles de péptidos liberados se determinaron a través de una celda de cuarzo (700 µL) a 280 nm en el espectrofotómetro. La actividad de la proteasa alcalina se determinó de acuerdo con Walter (1984), utilizando caseína de grado Hammerstein al 0,5% en tampón (100 mmol L⁻¹ Tris-HCl; 10 mmol L⁻¹ CaCl₂, pH 9); una unidad de actividad se definirá como 1-µg de tirosina liberada por minuto a una absorbancia de 280 nm (abs₂₈₀). Para la determinación de la actividad de tripsina se utilizó la técnica de Erlanger et al. (1961) con el sustrato BAPNA (N-α-benzoil-DL-arginina p-nitroanilide) con dimetilsulfóxido (DMSO). La lectura de la muestra se realizó con un espectrofotómetro a 410 nm. La actividad de la quimotripsina se determinó según el método propuesto por Del Mar et al. (1979). La absorbancia se midió a 405 nm. La actividad de la lipasa se medirá como se describió previamente por Versaw et al.

(1989) pero utilizando acetato de β -naftil 100 mmol L⁻¹ como sustrato; Una unidad de actividad se definió como 1 μ g de naftol liberado por minuto a 540 nm. La actividad α -amilasa se determinó por el método de Robyt y Whelan (1968), utilizando almidón soluble (2%) en un tampón (100 mmol L⁻¹ citrato-fosfato; 50 mol L⁻¹ NaCl, pH 7.5). La superóxido dismutasa (SOD) fue medida con el kit Cat. 19160, Sigma-Aldrich Corp. MO, USA a partir del tejido del hígado. La actividad de la peroxidasa fue determinada con el kit: Cat. T5525, 3,3', 5,5'-Tetramethylbenzidine, Sigma-Aldrich, MO, USA. La actividad enzimática de los extractos se determinó con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Unidades por ml} = \Delta \text{ abs} * \text{volumen de reacción final} * \text{Tiempo(min.)} * \text{volumen de extracto(ml.)}$$

$$\text{Unidades} * \text{mg. de proteína} = \text{unidades por ml. de proteína soluble}$$

Δ abs está determinado por la longitud de onda de cada técnica, y el CEM es el coeficiente de extinción molar del producto de la reacción (mL \times μ g⁻¹ \times cm⁻¹).

Todas las actividades enzimáticas se expresaron en mg de proteína. La concentración de proteína se determinó de acuerdo con Bradford (1976), utilizando una curva estándar con albúmina sérica bovina (BSA). Todos los ensayos se realizaron por triplicado

9. Estudio histológico

El análisis de histología se realizó utilizando el intestino e hígado de los ejemplares anteriormente disectados. Estos tejidos se preservaron en solución Davison hasta su análisis. Las muestras fueron tratadas con la técnica de histología convencional y, posteriormente, se realizó la técnica de tinción con hematoxilina-eosina. Las muestras resultantes fueron analizadas con un microscopio óptico a diferentes aumentos para realizar fotomicrografías, las cuales fueron utilizadas para el análisis.

10. Análisis estadístico

Los datos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA de una vía, verificándose previamente los supuestos de normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (prueba de Levine). Donde se evaluaron diferencias significativas, aplicando una prueba de Tukey. Los análisis se realizaron con el software estadístico Statistica TM v.8.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA) utilizando un valor de significancia de $P < 0.05$.

Resultados

1. Composición proximal de las harinas

Los resultados de la composición proximal, perfil de aminoácidos, perfil de ácidos grasos y contenido de minerales de las harinas, se presentan en la tabla 2. La humedad y la energía bruta de la HNC mostraron valores similares aquellos de la HP y la HS. Mientras que la proteína cruda de la HNC (46.50%) mostró un valor similar a aquel de la HS (44.71%) y más bajo que aquel de la HP (66%). Por su parte, el extracto etéreo de la HNC mostró un valor numéricamente más alto (14.49%) que aquel del de la HP (12.00%) y que el de la HS (1.76%). Por su parte, la fibra cruda, registró un valor más alto en la HNC (15.88%) a comparación con aquel de la HP (1.00%) y aquel de la HS (4.34%). El extracto libre de Nitrógeno mostró un valor (17.65%) dentro del rango de la HP (1.00%) y aquel de la HS (43.34%). Mientras que el fósforo y las cenizas de la HNC (5.43%, 5.85%, respectivamente) fueron similares a aquellos de la HS (6.42%, 5.85%, respectivamente) y numéricamente más bajos que aquellos de la HP (28.45%, 20.00%, respectivamente).

Σ AAE (sumatoria de aminoácidos esenciales), Σ AANo-E (sumatoria de aminoácidos no-esenciales) y el radio Σ AAE / Σ AANo-E presentes en HNC resultaron numéricamente más bajos, comparado con aquellos de la HP y la HS. Por su parte, la Σ AGS (sumatoria de ácidos grasos saturados), Σ AGMI (sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados), y Σ AGPI (sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados) presentes en HNC fueron numéricamente más altos a comparación con aquellos de la HP y la HS. Respecto a los macrominerales, el calcio, sodio, magnesio, fósforo y azufre, de la HNC, se encuentran dentro del rango de aquellos contenidos presentes en la HP y la HS. Mientras que el Potasio, es el único macromineral presente en la HNC cuyo nivel está muy por sobre aquellos niveles presentes en la HP y la HS. Respecto a los minerales traza, los contenidos de hierro, manganeso, y selenio en la HNC, están dentro del rango de aquellos contenidos presentes en la HP y la HS. Por su parte, los contenidos de Cobre y Zinc en la HNC están muy por sobre aquellos contenidos presentes en la HP y la HS.

Tabla 2

Composición proximal, perfil de aminoácidos, perfil de ácidos grasos, y contenido de minerales, de las harinas objetivo HNC (harina de cucaracha cinerea), HP (harina de pescado) y, HS (harina de soya)] y de las demás harinas utilizadas [harina de ave, harina de cerdo, harina de almidón y harina de sorgo] en la elaboración de dietas para tilapia del Nilo del presente estudio.

	Harina de insectos		Harinas objeto		Otras harinas		
	HNC		HP	HS	Harina de ave	Harina de cerdo	Almidón Harina de sorgo
<i>Composición proximal</i> ¹							
Humedad (%)	8.07		10.00	12.64	10.00	10.00	8.14 13.34
Proteína cruda (N x 6.25) (%)	46.50		66.00	44.71	65.00	50.00	0.03 18.97
Extracto etéreo (%)	14.49		12.00	1.76	10.00	6.00	0.49 3.96
Cenizas (%)	5.48		20.00	5.85	14.00	35.00	0.02 0.82
Fibra cruda (%)	15.88		1.00	4.34	7.41	6.98	1.24 9.71
Extracto libre de Nitrógeno (%)	17.65		1.00	43.34	3.59	2.02	98.22 66.54
Fósforo (mg g ⁻¹)	5.43		28.45	6.42	21.42	51.19	0.00 1.89
Energía bruta (kcal kg ⁻¹)	19.73		20.49	18.70	19.91	14.52	17.09 17.49
<i>Aminoácidos (mg g⁻²)</i> ²							
Arginina	17.50		21.15	18.00	50.20	39.50	- 4.00
Histidina	1.00		1.71	1.61	9.90	10.60	- 2.70
Isoleucina	40.00		52.07	42.91	21.90	17.70	- 4.00
Leucina	33.60		24.29	16.92	40.60	36.60	- 13.00
Lisina	5.60		39.10	26.40	32.20	30.70	- 2.70
Fenilalanina	17.00		52.30	21.40	14.90	18.90	- 4.50
Tronina	23.20		19.30	14.30	23.20	19.50	- 2.70
Valina	1.00		63.47	47.12	29.90	26.00	- 5.30
ΣAAE (mg g ⁻¹ DM)	138.90		273.39	188.66	222.80	199.50	- 38.90
Alanina	56.00		35.34	13.69	5.50	7.60	- 9.00
Ácido aspártico	16.00		58.00	63.70	69.00	7.40	- 6.90
Ácido glutámico	8.37		65.20	66.12	10.90	11.90	- 20.90
Glicina	21.00		44.70	35.00	8.80	12.70	- 3.20
Prolina	15.00		28.40	16.77	8.00	8.10	- 8.40
Serina	0.69		22.45	35.80	6.30	4.00	- 4.50
Tirosina	1.11		26.44	8.17	10.60	14.80	- 3.00
ΣAANo-E (mg g ⁻¹ DM)	118.17		280.52	239.25	119.10	66.50	- 55.90
Radio AAE / AANo-E	0.85		1.03	1.27	0.53	0.33	- 1.44
<i>Ácidos grasos (%)</i> ³							
Ácido palmítico	4.15		1.45	0.19	3.88	2.89	- 0.22
Ácido esteárico	0.96		0.44	0.06	0.99	1.57	- 0.05
Ácido oléico	6.70		0.59	0.29	6.60	4.97	- 0.47
Ácido linoléico	1.94		0.14	0.80	2.48	1.10	- 0.64
Ácido gamma linolénico	0.06		0.04	0.10	0.11	0.00	- 0.05
ΣAGS	5.12		1.89	0.26	4.87	4.47	- 0.24
ΣAGMI	6.70		0.59	0.29	6.60	4.97	- 0.47
ΣAGPI	2.00		0.19	0.91	2.59	1.13	- 0.66
<i>Macrominerales (%)</i> ⁴							
Calcio	0.24		3.73	0.03	0.27	8.70	- 0.34
Sodio	0.50		1.10	0.04	0.07	0.64	- 0.05
Potasio	2.02		0.90	0.31	0.16	0.64	- 0.75
Magnesio	0.15		0.24	0.13	0.27	0.23	- 0.34
Fósforo	0.69		2.43	0.28	0.61	4.30	- 0.76
Azufre	0.22		0.54	0.08	0.31	0.00	- 0.13
<i>Minerales traza (mg kg)⁴</i>							
Cobre	43.07		9.03	10.00	0.15	10.00	- 9.90
Hierro	57.30		220.00	48.00	142.00	320.00	- 497.00
Manganesio	9.64		9.50	15.80	26.70	22.00	- 18.20
Selenio	0.25		1.36	0.20	0.00	0.00	- 0.00
Zinc	210.20		103.00	17.00	20.00	140.00	- 41.00

* Parámetros analizados en laboratorio: ¹ AOAC (2020) / ² INS-SM / US-260 / ³ NMX-F-490-1999-NORMEX / ⁴ INS-SM-US-71

AA = Aminoácidos esenciales.

AANo-E = Aminoácidos no-esenciales.

AGS = Ácidos grasos saturados.

AGMI = Ácidos grasos mono-insaturados.

AGPI = Ácidos grasos poli-insaturados.

2. Composición proximal y costo (MX\$ / Kg de alimento) de las dietas experimentales

La composición proximal de las dietas experimentales (Tabla 1). La formulación de las dietas experimentales no afectó significativamente los contenidos nutricionales de materia seca, proteína cruda y, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y energía bruta. No bien así, las cenizas y el fósforo, los cuales arrojaron valores numéricamente más bajos en la dieta FM 100% a comparación con aquellos presentes en el resto de los grupos experimentales. Mientras que el costo (MX\$ / Kg alimento), resultó numéricamente más bajo en la dieta C, a comparación con el resto de las dietas experimentales.

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

Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento utilización de la proteína, no fueron afectados por la sustitución parcial (50%) o total (100%) de HP y / o HS por la HNc.

Tabla 3

Crecimiento, sobrevivencia, eficiencia del alimento y utilización de la proteína, de tilapia del Nilo, después de ser alimentada durante 60 días, con dietas formuladas con el reemplazo (parcial – 50% – o total – 100% –) de HP (harina de pescado) y HS

Parámetros	C	FS 50%	FM 100%	SBM 100%
Peso promedio inicial (g pez ⁻¹)	1.65 ± 0.38	1.64 ± 0.31	1.45 ± 0.06	1.62 ± 0.31
Peso promedio final (g pez ⁻¹)	57.78 ± 5.49	48.51 ± 12.85	40.48 ± 7.87	52.81 ± 16.16
Longitud promedio inicial (cm ⁻¹)	4.54 ± 0.33	4.59 ± 0.30	4.41 ± 0.02	4.66 ± 0.31

Longitud promedio final (cm ⁻¹)	13.93 ± 0.52	13.23 ± 1.20	12.55 ± 0.82	12.25 ± 0.37
Ganancia de peso (%)	55.25 ± 5.37	46.87 ± 12.54	39.03 ± 7.81	51.19 ± 15.89
Índice de conversión específico (%)	2.66 ± 0.10	2.44 ± 0.05	2.40 ± 0.12	2.50 ± 0.15
Facto de condición (g cm ⁻¹)	2.14 ± 0.08	2.07 ± 0.03	2.03 ± 0.01	283 ± 0.65
Sobrevivencia	84.31 ± 12.25	90.20 ± 3.40	88.24 ± 5.88	84.31 ± 6.79
Índice de conversión del alimento	1.91 ± 0.08	1.96 ± 0.11	2.15 ± 0.11	1.94 ± 0.26
Consumo del Alimento	729.47 ± 122.85	685.76 ± 199.27	674.61 ± 160.72	711.57 ± 175.82
Índice de la eficiencia de la proteína	1.20 ± 0.04	1.17 ± 0.01	1.15 ± 0.02	1.18 ± 0.02

4. Análisis de costo-beneficio

El costo por dieta (MX\$) / Kg se incrementó marcadamente en los grupos FS 50%, FM 100% y SBM 100% a comparación con aquel presente en el grupo C. Mientras que el costo del alimento consumido (MX\$), a pesar de presentar una elevación en cuanto al costo en las dietas conteniendo HNc, no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los diversos grupos experimentales. En contraste, el análisis de Costo–Beneficio mostró valores significativamente ($P < 0.05$) más bajos en los grupos FS 50%, FM 100% y SBM 100% a comparación con aquel valor presentado en el grupo C.

Tabla 4

Análisis de costo–beneficio de las dietas experimentales (formuladas con el reemplazo (parcial – 50% – o total – 100% – de HP [harina de pescado] y HS [harina de soya], por HNc [harina de cucaracha cinerea]), después de un periodo de alimentación de tilapia del Nilo, durante 60 días.

Parámetros	C	FS 50%	FM 100%	SBM 100%
Costo por dieta (MX\$) /Kg	\$41.41	\$65.34	\$62.81	\$69.53
Costo del alimento consumido (MX\$)	\$6,391 ± 2,318.59	\$12,950 ± 3,763.09	\$12,245.78 ± 2917.49	\$14,297 ± 3,532.68
Análisis de costo-beneficio (ACB)	49.58 ± 16.27 ^a	21.52 ± 0.78 ^b	22.10 ± 0.50 ^b	20.00 ± 0.35 ^b

5. *Parámetros somáticos*

El índice vicerosomático, la carcasa, el índice enterosomático y el cociente intestinal, no presentaron diferencias significativas entre los diferentes grupos experimentales ($P > 0.05$). Sin embargo, el índice hepatosomático, mostró un valor significativamente ($P < 0.05$) más alto en el grupo experimental FM 100% a comparación con el resto de los grupos experimentales. Este mismo índice, presentó el nivel significativamente ($P < 0.05$) más bajo en el grupo experimental C, a comparación con el resto de los grupos experimentales. Mientras que el índice gastrosomático, resultó ser significativamente ($P < 0.05$) más alto, en la dieta FM 100%, a comparación con el resto de los grupos experimentales. Este mismo índice, no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre el grupo C, FS 50% y SBM 100%.

Tabla 5

Parámetros somáticos, de tilapia del Nilo, después de ser alimentada durante 60 días, con dietas formuladas con el reemplazo (parcial – 50% – o total – 100% –) de HP (harina de pescado) y HS (harina de soya), por HNc (harina de cucaracha cinerea).

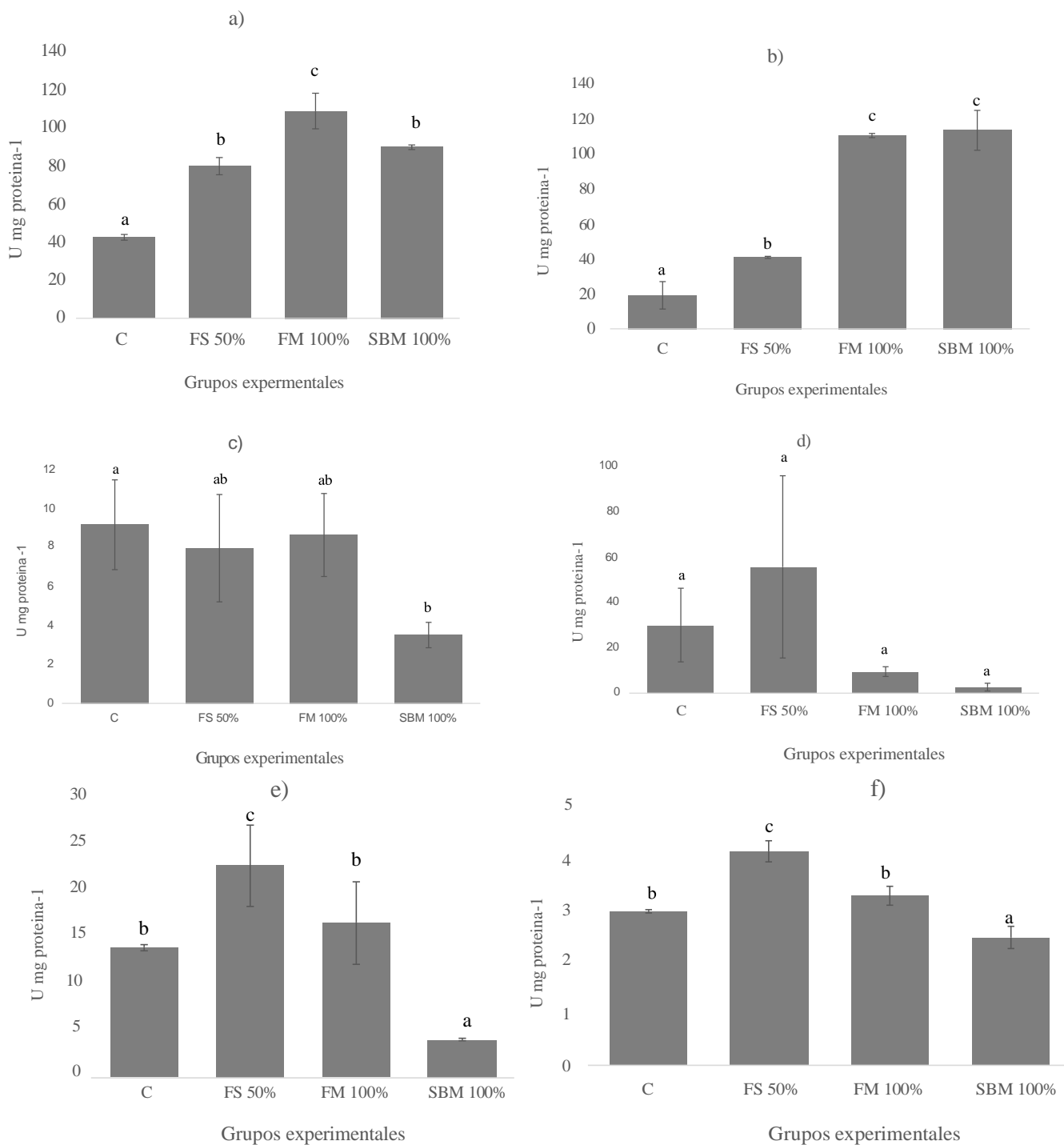
Parámetros	C	FS 50%	FM 100%	SBM 100%
Índice hepatosomático	4.68 ± 0.70 ^a	5.95 ± 0.78 ^b	6.23 ± 1.44 ^c	5.45 ± 1.34 ^b
Índice vicerosomático	14.83 ± 4.01	13.43 ± 1.23	12.25 ± 2.87	12.60 ± 1.45
Carcasa	85.28 ± 4.02	86.34 ± 1.22	86.08 ± 1.71	87.40 ± 1.45
Índice gastrosomático	4.15 ± 0.71 ^a	5.04 ± 0.80 ^{ab}	5.79 ± 1.36 ^c	4.99 ± 1.26 ^{ab}
Índice enterosomático	8.80 ± 1.26	8.55 ± 1.30	9.00 ± 1.64	7.36 ± 3.02
Cociente intestinal	5.40 ± 1.31	4.81 ± 1.22	4.86 ± 0.75	4.38 ± 1.11

6. *Enzimas digestivas*

Las proteasas ácidas, mostraron el valor significativamente ($P < 0.05$) más bajo, en el grupo experimental C, a comparación con el resto de los grupos experimentales. Mientras que el grupo FM 100% mostró el valor más alto ($P < 0.05$) de todos los grupos experimentales. Las proteasas ácidas, no mostraron valores diferentes ($P > 0.05$), entre los grupos experimentales FS 50% y SBM 100%. Por su parte, la actividad de las proteasas alcalinas resultó ser significativamente ($P < 0.05$) más bajas, en los peces alimentados la dieta C, a comparación con el resto de los grupos experimentales. No se registraron diferencias ($P > 0.05$) entre los grupos experimentales FM 100% y SBM 100%. Mientras que el grupo FS 50% resultó significativamente ($P < 0.05$) más alto que el C y significativamente ($P < 0.05$) más bajo, que aquellas actividades registradas en FM 100% y SBM 100%. Por su parte, la tripsina, no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los grupos C, FS 50% y FM 100%. El grupo experimental SBM 100%, mostró un valor significativamente ($P < 0.05$) más bajo a comparación con aquel mostrado en C. La tripsina, no mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los grupos experimentales FS 50%, FM 100% y SBM 100%. Por su parte, la Quimotripsina, no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los diferentes grupos experimentales. Mientras que la actividad de las lipasas y de las amilasas, mostraron un valor significativamente ($P < 0.05$) más alto, en el grupo experimental FS 50% a comparación con aquellos valores presentados en el resto de los grupos experimentales. Ambas actividades mostraron un valor significativamente ($P < 0.05$) más bajo en el grupo experimental SBM 100% a comparación con aquellos del grupo C. No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$), entre FM 100% y C (Figura 1).

Figura 1

Actividad de las enzimas digestivas: a) Proteasas ácidas; b) Proteasas alcalinas; c) Tripsina; d) Quimotripsina; e) lipasas; f) amilasas, de tilapia del Nilo, después de ser alimentada durante 60 días, con dietas formuladas con el reemplazo (parcial-50% – o total – 100% –) de HP (harina de pescado) y HS (harina de soya), por HNC (harina de cucaracha cinerea).

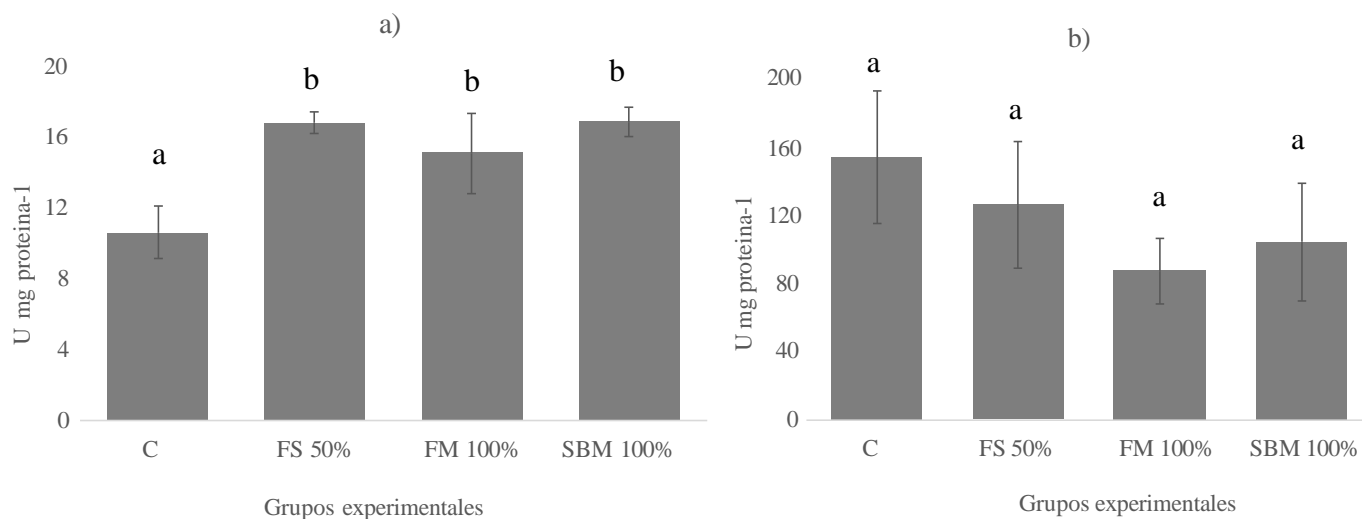


7. Enzimas antioxidantes

Las peroxidasas observadas en los grupos experimentales FS 50%, FM 100% Y SBM 100% mostraron valores significativamente ($P > 0.05$) más elevados que aquel valor del grupo C. No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los grupos FS 50%, FM 100% y SBM 100%. Por su parte, el peróxido dismutasas no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre todos los grupos experimentales (Figura 2).

Figura 2

Actividad de las enzimas antioxidantes: a) Peroxidasa; b) Superóxido dismutasa, de tilapia del Nilo, después de ser alimentada, durante 60 días, con dietas formuladas con el reemplazo (parcial – 50% – o total – 100% –) de HP (harina de pescado) y HS (harina de soya), por HNC (harina de cucaracha cinerea).



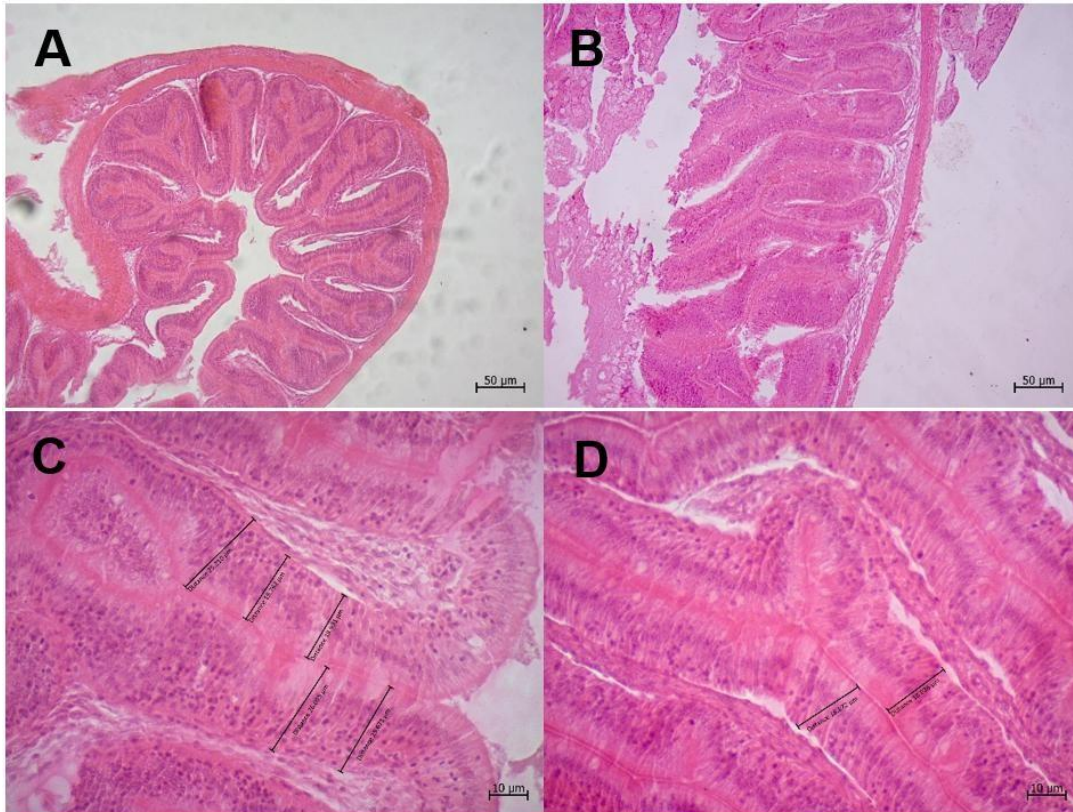
8. Histología

Respecto al estudio histológico del intestino, ningún grupo experimental presentó daño histopatológico evidente y tampoco signos de daño histológico inflamatorio severo ni alteraciones estructurales en el epitelio intestinal: C (Figura 3); FS 50% (Figura 4); FM 100% (Figura 5); SBM 100% (Figura 6). No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre todos los grupos experimentales, en cuanto a grosor del epitelio y tamaño promedio de las células caliciformes. A pesar de que el número de células caliciformes aumentó numéricamente en los grupos experimentales FS 50%, FM 100% y SBM 100% (a comparación con el número de células caliciformes registrado en el grupo C), no se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ellos. En contraste, se observó un incremento significativo ($P < 0.05$) de número de células caliciformes en el grupo experimental SBM 100% comparado con aquel observado en C (Figura 7, figura 8).

En cuanto al análisis histológico del hígado, el tamaño promedio de los hepatocitos no presentó diferencias ($P > 0.05$) entre todos los grupos experimentales. En contraste, el tamaño promedio del núcleo de los hepatocitos se incrementó significativamente en los peces alimentados con la dieta SBM 100%, comparado con aquel presentado en los grupos experimentales C y FS 50%. El tamaño promedio de los hepatocitos no presentó diferencias significativas entre los grupos C, FS 50% y FM 100% (Figura 9, figura 10).

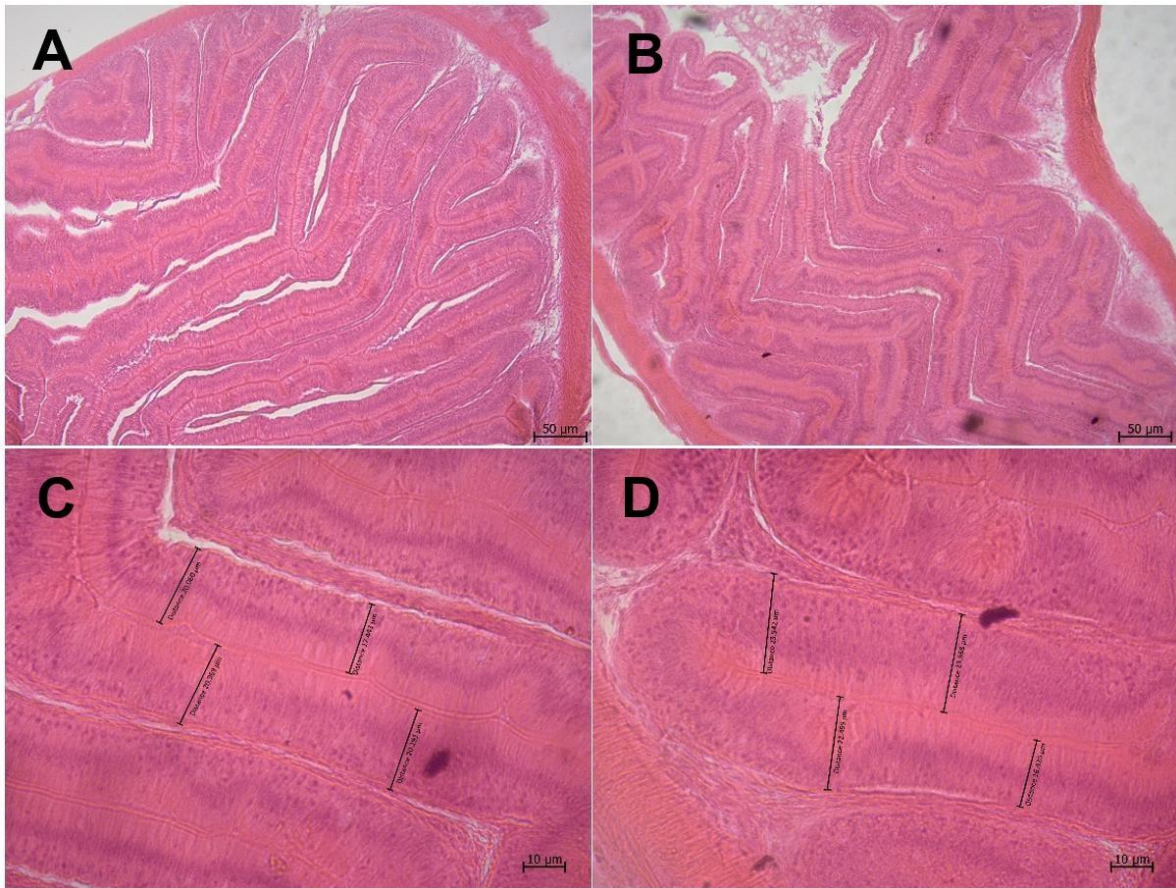
Figura 3

Microfotografía histológica del intestino de *Oreochromis niloticus*.



Nota: Tinción de hematoxilina y eosina. Dieta control. (A) y (B) Corresponden a un corte transversal observado a un aumento de 10x, rodeados por una mucosa intensamente plegada que forma numerosos pliegues longitudinales, característica típica del intestino de peces teleósteos. No se observan alteraciones histopatológicas evidentes. (C) y (D) muestran intestino en un aumento de 40x, donde se observan con detalle los enterocitos con núcleos ovalados y basófilos, células caliciformes alternadas y en baja presencia. Las mediciones de la altura del epitelio muestran valores variables que oscilan aproximadamente entre 18 y 26 μm , lo que refleja una mucosa funcionalmente desarrollada, asociada a una elevada superficie de absorción. No se observan signos evidentes de daño histológico, inflamatoria severa ni alteraciones estructurales en el epitelio intestinal.

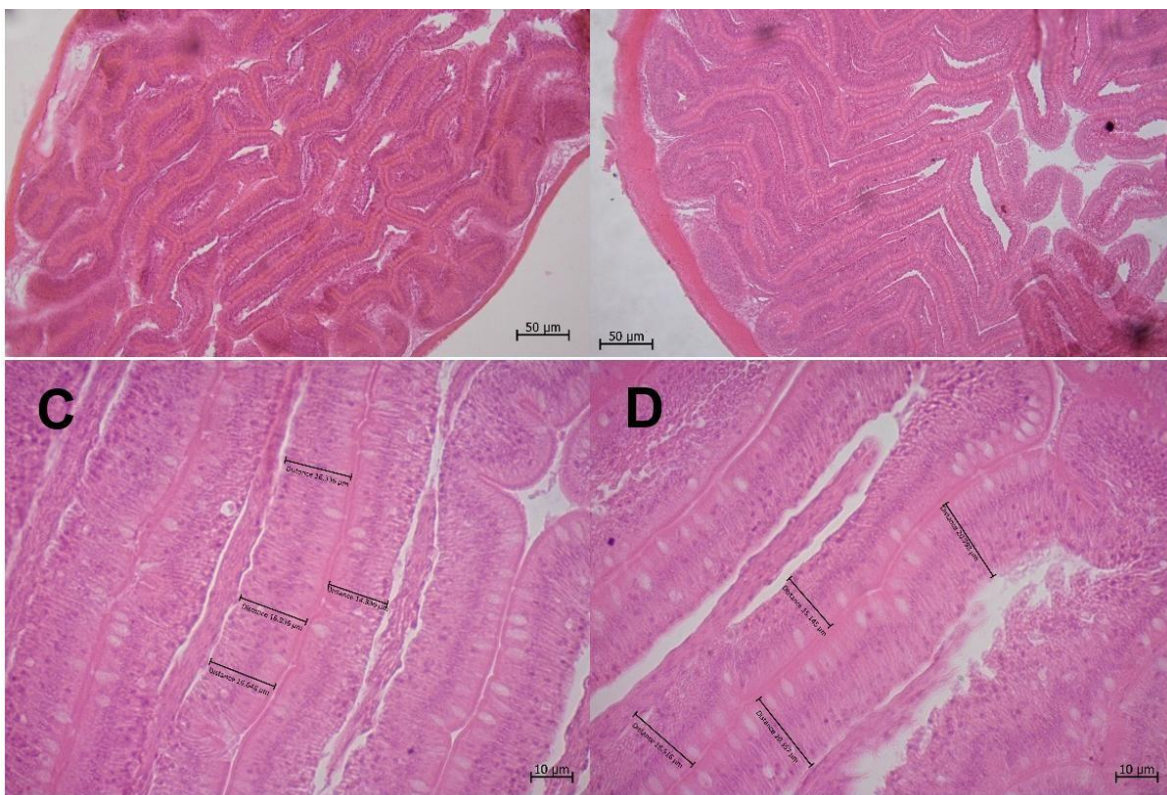
Figura 4.
Microfotografía histológica del intestino de *Oreochromis niloticus*



Nota: Tinción de hematoxilina y eosina. Dieta FS 50%. (A) y (B) Corresponden a un corte transversal observado a un aumento de 10x, rodeados por una mucosa intensamente plegada que forma numerosos pliegues longitudinales, característica típica del intestino de peces teleósteos. No se observan alteraciones histopatológicas evidentes. (C) y (D) muestran intestino en un aumento de 40x, donde se observan los núcleos de los enterocitos, presencia baja de células caliciformes. Las mediciones de la altura del epitelio muestran valores variables entre 16 y 23 µm, lo que refleja una mucosa funcionalmente desarrollada, asociada a una elevada superficie de absorción. No se observan signos evidentes de daño histológico, inflamatoria severa ni alteraciones estructurales en el epitelio intestinal.

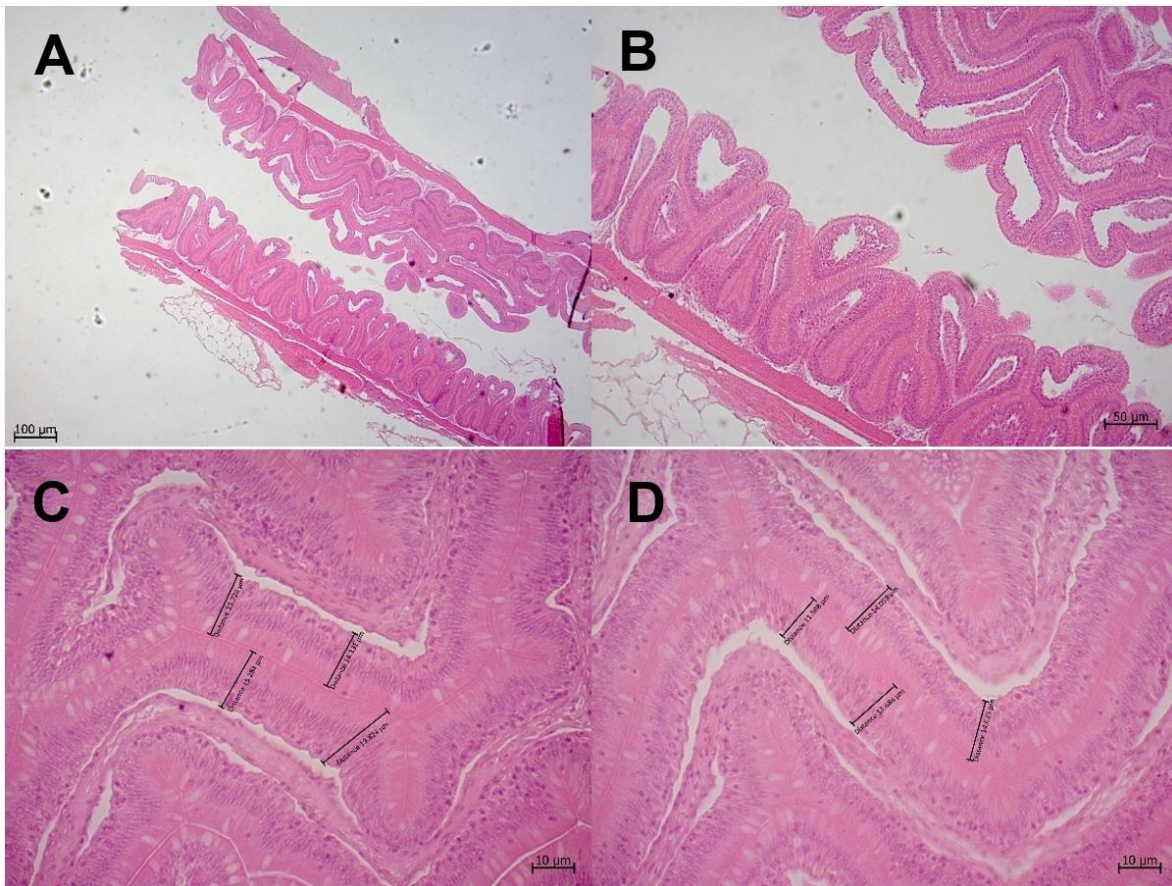
Figura 5

Microfotografía histológica del intestino de *Oreochromis niloticus*



Nota: Tinción de hematoxilina y eosina. Dieta FM 100%. (A) y (B) Corresponden a un corte transversal observado a un aumento de 10x, rodeados por una mucosa intensamente plegada que forma numerosos pliegues longitudinales, característica típica del intestino de peces teleósteos. No se observan alteraciones histopatológicas evidentes. (C) y (D) muestran intestino en un aumento de 40x, donde se observan los núcleos de los enterocitos desorganizados en algunas secciones y presencia alta de células caliciformes. Las mediciones de la altura del epitelio muestran valores variables entre 14 y 20 μm , lo que refleja una mucosa funcionalmente desarrollada, asociada a una elevada superficie de absorción. No se observan signos evidentes de daño histológico, inflamación severa ni alteraciones estructurales en el epitelio intestinal.

Figura 6
Microfotografía del intestino de *Oreochromis niloticus*.



Nota: Tinción de hematoxilina y eosina. Dieta SBM 100%. (A) corresponden a un corte transversal observado a un aumento de 4x y (B) Corresponde a un corte transversal observado a un aumento de 10x, ambos campos se presentan rodeados por una mucosa intensamente plegada que forma numerosos pliegues longitudinales, característica típica del intestino de peces teleósteos. No se observan alteraciones histopatológicas evidentes. (C) y (D) muestran intestino en un aumento de 40x, donde se observan los núcleos de los enterocitos con alta actividad en algunas secciones y presencia alta de células caliciformes. Las mediciones de la altura del epitelio muestran valores variables entre 14 y 19 μm . No se observan signos evidentes de daño histológico, inflamación severa ni alteraciones estructurales en el epitelio intestinal.

Figura 7

Análisis histológico del intestino: a) Grosor del epitelio intestinal; b) Número de células caliciformes; c) Tamaño de célula caliciforme, de tilapia del Nilo, después de ser alimentada durante 60 días, con dietas formuladas con el reemplazo (parcial – 50% – o total – 100% – de HP (harina de pescado) y HS (harina de soya), por HNC (harina de cucaracha cinerea).

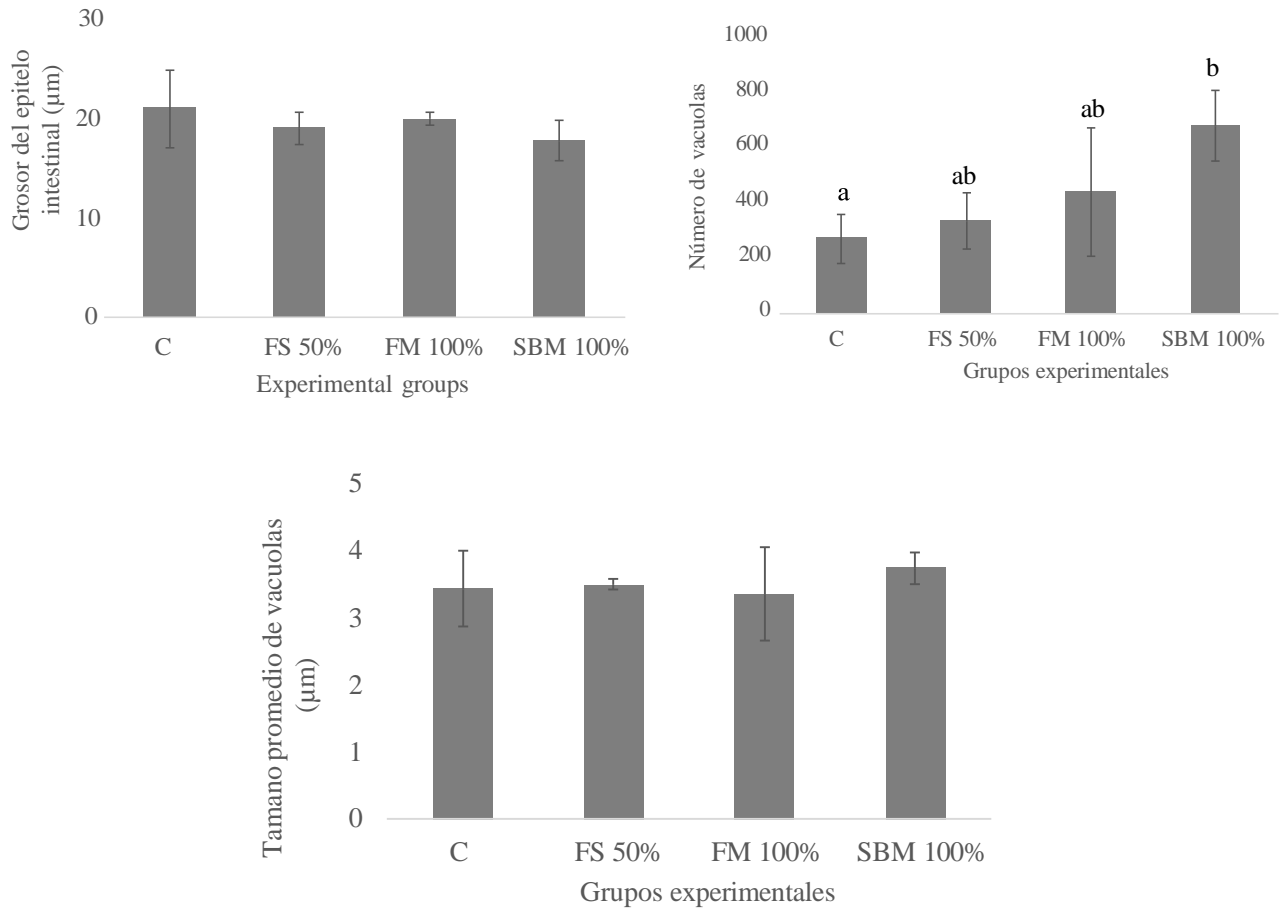
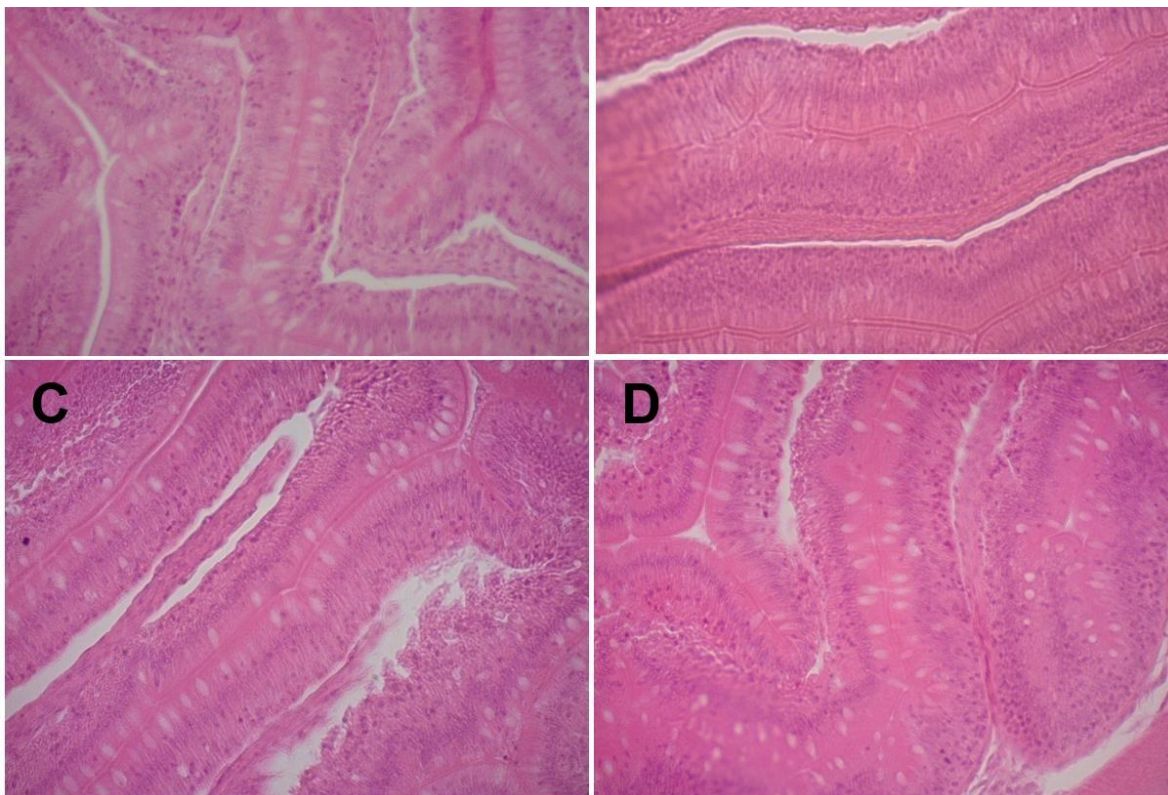


Figura 9

Microfotografía de células caliciformes en *Oreochromis niloticus*.



Nota: Tinción de hematoxilina y eosina. Aumento 40x. Muestra las diferencias morfológicas y cuantitativas de células caliciformes en las diferentes dietas, (A): C y (B): FS 50% muestran células caliciformes alternadas, poco visibles y ubicadas en el área basal. (C): FM 100% presenta células caliciformes considerablemente más visibles y juntas que (A) y (B), sin embargo, se mantienen en la zona basal. (D): SBM 100%, muestra células caliciformes notablemente visibles como (C), por otro lado, estas están distribuidas en la zona basal y apical del intestino. La diferencia de ubicaciones, número y visibilidad de las células caliciformes tienen una tendencia a ser mayor en número y visibilidad al hacer un reemplazo del 100% de la harina de soya por harina de *Nauphoeta cinerea*.

Figura 11

Análisis histológico del hígado: a) Tamaño promedio de los hepatocitos; b) Tamaño promedio del núcleo de los hepatocitos, de tilapia del Nilo, después de ser alimentada durante 60 días, con dietas formuladas con el reemplazo (parcial – 50% – o total – 100%-) de HP (harina de pescado) y HS (harina de soya), por HNC (harina de cucaracha cinerea).

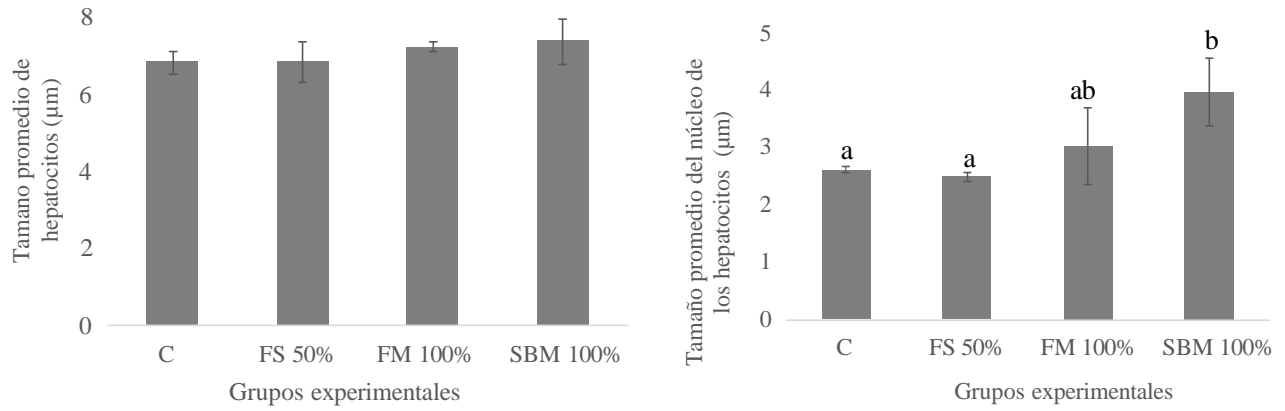
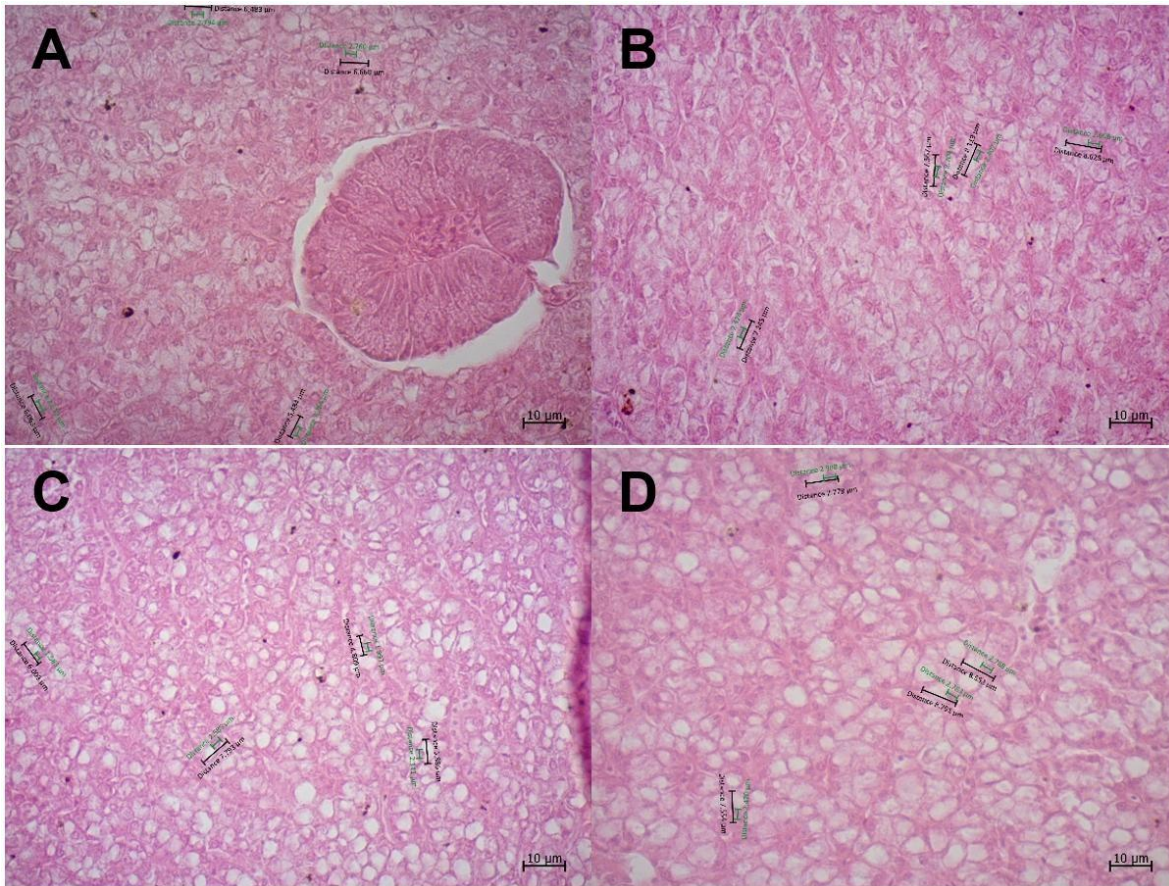


Figura 13

Microfotografía histológica del hígado de *Oreochromis niloticus*



Nota: Tinción de hematoxilina y eosina. Aumento 40x. (A): C; (B): FS 50%; (C): FM 100% y (D): SBM 100% presentan morfologías hepáticas similares, tanto los hepatocitos y los núcleos no presentan diferencias significativas en sus medidas, por lo que no hay señales de daño hepático en ninguna de las dietas.

Discusión

1. Composición proximal de las harinas

La determinación de la calidad nutricional de los ingredientes (harinas), es fundamental en cualquier estudio de reemplazo de harinas tradicionales (tales como HP y HS) por harinas de insectos. Este tipo de determinaciones son necesarias para identificar la viabilidad, seguridad y sentido económico de la sustitución (Mohan et al., 2022). Aunado a esto, el conocimiento a detalle de la calidad nutricional de los principales ingredientes de un diseño experimental nos ayudaría a prever la efectividad de las formulaciones experimentales (Monzón et al., 2026). En el presente trabajo las harinas se analizaron bioquímicamente, con el fin de conocer sus perfiles nutricionales para que basado en los resultados obtenidos se procedió a la formulación de las dietas experimentales. Conocer la formulación precisa de las dietas acuícolas es fundamental, debido a que la calidad de los ingredientes afectará significativamente el contenido de nutrientes resultante en las dietas y en consecuencia, el correcto desempeño de los animales experimentales (Al-Thobaiti et al., 2017). En el presente estudio, la HNc obtuvo un contenido proteico de 46.5%, lo que sugiere un nivel adecuado para su inclusión en alimentos acuícolas, ya que cumple con los requerimientos mínimos para la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) que oscilan entre 35 y 40% para juveniles de esta especie, de acuerdo con lo que indica El-Sayed (2019). En trabajos previos, utilizando harinas de insectos, las harinas experimentales, se sometieron a análisis bioquímicos, con el objetivo de determinar lo más aproximado posible, los contenidos nutricionales de los ingredientes (Sánchez-Muros et al., 2015). Quienes obtuvieron resultados similares a los presentados en el presente trabajo.

2. Composición proximal de las harinas experimentales

La determinación de la composición nutricional de las dietas experimentales es el corazón del método científico de toda investigación en nutrición acuícola. El conocimiento, del perfil nutricional de las dietas experimentales contribuye a tener un mejor control experimental de qué es lo que se está alimentando y, por lo tanto, es posible atribuir los resultados como crecimiento, salud y fisiología digestiva, a un nutriente o ingrediente específico (Fanizza et al., 2024). De la misma manera, determinar los contenidos nutricionales de las dietas experimentales, nos ayudará a la reproducibilidad de otras investigaciones similares y, por lo tanto, a la credibilidad para su posterior publicación (Ai et al., 2025).

En el presente estudio, se analizó la composición proximal de las dietas experimentales, al igual que en previos trabajos, donde la determinación nutricional de las dietas objeto, jugó un papel fundamental para la obtención de resultados deseados (Freccia et al., 2020; Rimoldi et al., 2024; Wachira et al., 2021). Las dietas utilizadas en el presente estudio fueron formuladas para ser iso–proteicas e iso–lipídicas, así como en previos estudios utilizando dietas formuladas con HNC (Fontes et al. 2019), harina de cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portenosa*) (García–Pérez et al., 2022) y harina de *Tenebrio molitor* (Sánchez–Muros et al. 2013)

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

La determinación de parámetros como crecimiento, eficiencia del alimento, y utilización de la proteína constituyen los parámetros primarios y obligatorios para evaluar el éxito práctico de cualquier inclusión de ingredientes alternativos (por ejemplo, harinas de insectos) en dietas acuícolas (García – Pérez et al. 2022). En este tenor, se puede afirmar que su medición rigurosa transforma los datos químicos de la dieta en respuestas biológicas (Barroso et al., 2013). Estos parámetros cuantifican la eficiencia con la que el organismo convierte el alimento en biomasa, lo cual es el objetivo central de la producción acuícola (Ogunji et al., 2001). De manera general, el crecimiento es el indicador más directo de la adecuación nutricional de la dieta. Un crecimiento similar o superior al del grupo control (formulada con HP y HS), demuestra que la harina de insectos puede suministrar los nutrientes necesarios para la síntesis de la proteína muscular (Ouko et al., 2024). En el presente estudio los datos muestran una leve tendencia a un menor crecimiento a medida que se incluyó la HNC. Sin llegar estas tendencias a ser estadísticamente diferentes. Esto indica que la HNC tiene el potencial de sustituir parcialmente las fuentes proteicas tradicionales (HP y HS) sin poner comprometer el rendimiento zootécnico. Previos estudios, han encontrado resultados similares, cuando dietas acuícolas fueron formuladas con HNC (Harper, 2018; Juárez–Barrientos et al., 2024; Ng et al., 2024). Sin embargo, ciertos estudios, han reportado cierta disminución del crecimiento, cuando harinas de insectos fueron suplementadas en dietas para peces. Este fenómeno se puede deber, a que niveles altos de harinas de insectos, podrían estar vinculados a la digestibilidad de la quitina. El cual es un componente estructural del exoesqueleto de los insectos y tiene el potencial de restringir la biodisponibilidad tanto de aminoácidos como de energía metabolizable según Lock et al., 2018. No obstante, este

inconveniente puede atenuarse mediante de métodos de desgrasado o de fermentación de la harina antes de incorporarla a la alimentación.

La conversión alimenticia y eficiencia proteica son los indicadores clave para determinar la eficiencia del alimento y qué tan conveniente es para su uso en una especie específica de peces. Un factor elevado de conversión alimenticia, indica una menor digestibilidad o un desbalance energético, lo que a su vez originaría un menor desempeño de los peces experimentales (encarecimiento de la producción y un aumento de la carga orgánica) (Chen et al., 2026). En el presente estudio, la tasa de conversión alimenticia, y el crecimiento específico se mantuvieron en niveles óptimos, así como lo presentado en Khalifa et al. (2022). Estos resultados concuerdan con investigaciones anteriores que indican que no se vio un impacto significativo en el crecimiento ni en la supervivencia al reemplazar parcialmente la HP por harina de insecto (Tippayadara et al., 2021). Adicionalmente, Ouko et al. (2024) reportó que el reemplazo del 50–75% de HP por *Hermetia illucens* mejoró la ganancia de peso y la supervivencia.

El consumo del alimento evalúa la palatabilidad de la dieta. Si los peces rechazan el alimento con insectos, todos los demás parámetros se verán afectados negativamente, independientemente de la calidad nutricional (Zhi et al., 2025). En el presente estudio, el consumo de alimento, no se vio comprometido por la presencia de HNc en cualquiera de sus niveles de suplementación. Estudios similares, han registrado los mismos niveles de consumo cuando las nietas fueron suplementadas con HNc (Bee – Tubin et al., 2023; Ng et al., 2024).

Cuando un ingrediente o una dieta causan mortalidades en los peces experimentales, entonces, el estudio es inviable. La sobrevivencia es considerada como un indicador de seguridad. Una mortalidad elevada en un grupo experimental determinado a comparación con el grupo control, es una señal crítica que podría indicar: toxicidad del ingrediente, deficiencia nutricional de las dietas (produciendo fallos fisiológicos), y vulnerabilidad a enfermedades (producida por poder inmuno-supresor de los ingredientes) (Chen et al., 2024). En el presente estudio, la mortalidad no registró diferencias significativas, en los grupos experimentales, conteniendo HNc a comparación con aquella presentada en el grupo C. Similarmente, previos estudios utilizando harinas de insectos, tampoco encontraron un comprometimiento de la sobrevivencia, en los peces experimentales (Mohan et al., 2022).

4. *Parámetros somáticos*

Los parámetros somáticos son indicadores bioquímicos y morfofisiológicos que proporcionan información crucial sobre el estado metabólico, salud y composición corporal de los peces (Froese, 2022). Estos parámetros, son complementados con aquellos relacionados al crecimiento y sobrevivencia. En estudios con harinas de insectos, estos parámetros, por lo general, presentan valores particularmente altos para detectar efectos subletales y desbalances nutricionales (Canosa & Bertucci, 2020). Es importante resaltar que, los parámetros somáticos son herramientas de diagnóstico fisiológico indispensables. En estudios con harinas de insectos, la determinación de estos parámetros elucidan si las dietas experimentales, promueven una composición corporal saludable y comercializable. De manera similar, estos parámetros determinan si el hígado está funcionando adecuadamente con las dietas experimentales y si la energía de la dieta se está dirigiendo hacia el músculo o hacia la grasa visceral (Asencio-González et al., 2025). En el presente estudio, los índices somáticos revelaron una reacción fisiológica estable ante a la incorporación de la HNc. No se observó ninguna alteración (respecto al grupo control) respecto a los índices vicerosomático, carcasa, enterosomático y cociente intestinal, que sugiera un estrés metabólico. Esto indica que las dietas elaboradas con HNc no tuvieron un efecto negativo en el metabolismo de los peces ni en el aprovechamiento de los nutrientes. Tendencias similares han sido registradas por Tippayadara et al. (2021), que notaron que las dietas con niveles altos de harina de insecto no produjeron alteraciones relevantes en los índices somáticos de tilapia. En contraste, en el presente estudio, los índices hepatosomático y gastro-somático, sí mostraron alteraciones, respecto a aquellos de los peces alimentados con la dieta control. La relación entre el índice hepatosomático, las harinas de insectos y el crecimiento de los peces, es multifuncional y de gran valor de diagnóstico en nutrición acuícola, debido a que este índice, actúa como biomarcador fisiológico que refleja el metabolismo hepático del pez que ha consumido dietas formuladas con harinas de insectos, por un período de tiempo determinado. Lo cual influye directamente en el potencial de crecimiento (Randall et al., 2025). Debido a que el hígado, es el principal órgano, donde se sintetizan proteínas plasmáticas y enzimáticas, se metabolizan además los lípidos (mediante mecanismos de lipogénesis, oxidación, y síntesis de lipoproteínas) y donde se almacena la energía (en forma de glucógeno y lípidos) (Xie et al., 2021). En el presente estudio, se observó un índice

hepatosomático y un crecimiento adecuado de los peces experimentales. Lo cual se puede interpretar como una correlación positiva o neutral junto con una adaptación metabólica positiva, donde el hígado, puede estar aumentando de tamaño para acomodar una mayor actividad metabólica necesaria para procesar los nutrientes de la harina de insecto (por ejemplo, mayor síntesis de lipoproteínas para transportar los lípidos contenidos en la harina de insectos) (Yu et al., 2023). En estudios previos, también se observaron ligeros aumentos hepáticos vinculados a modificaciones metabólicas en presencia de dietas formuladas con harinas de insectos Tippayadara et al. (2021). Ahora bien, el índice gastrosomático, evalúa el peso relativo del tracto digestivo con relación al peso total del individuo (Moreira, 2012). En el presente estudio, los peces alimentados por la dieta FM 100%, presentaron un valor significativamente más alto a comparación con aquel de la dieta C. Lo cual nos indica que, existe una correlación positiva entre el índice gastrosomático y el crecimiento de los peces experimentales (Canosa & Bertucci, 2020; Froese, 2020), es decir, una adaptación fisiológica al consumo de altos contenidos de HNc. Un tracto digestivo más grande puede indicar una hipertrofia funcional para procesar una dieta con mayor volumen de harina de insectos (material con una potencial menor digestibilidad a comparación con aquella de la HP) (Melenchón et al., 2022). Bajo estas condiciones, el pez invierte en un sistema digestivo más robusto para extraer eficientemente los nutrientes (de la harina de insectos), lo que sostiene un buen crecimiento sin afectaciones negativas (Al-Thobaiti et al. 2017). Dietas con alto contenido de fibra y quitina (derivada del exoesqueleto de los insectos), pueden estimular el crecimiento del intestino (Canosa et al., 2020). Lo cual podría explicar, el crecimiento significativo del índice gastrosomático (respecto del control), en el presente estudio. A este respecto, es bien sabido el alto contenido de quitina y fibra contenidos en HNc, así como lo reportado en estudios previos (Juárez – Barrientos et al., 2024; Ng et al., 2024). En conclusión, los hallazgos somáticos del presente trabajo muestran que *Oreochromis niloticus* tolera aceptablemente, la inclusión de la HNc desde un punto de vista fisiológico.

5. Análisis de costo-beneficio (ACB)

El ACB en dietas acuícolas formuladas con harinas de insectos es una evaluación crítica y multi-dimensional que va mucho más allá del simple precio por kg de alimento. Este tipo de análisis determina la viabilidad económica, la sostenibilidad y competitividad de las dietas

experimentales (Fantatto et al., 2024). Aunque el presente trabajo, muestra un pequeño ACB, este se concibe, para tener una idea más clara de la viabilidad de este tipo de innovaciones utilizando harinas de insectos en una economía como la mexicana. En el presente trabajo se observó un aumento notable, del costo (MX\$) de las dietas que contenían HNc, en comparación con el de la dieta C. Mientras que el costo del alimento consumido se incrementó especialmente en la dieta SBM 100%. Lo cual se atañe especialmente, al bajo costo de la HS a comparación con aquél del de la HNc. Actualmente, a nivel mundial, la harina de insectos a escala comercial suele ser más cara que la HS y, esta a su vez, más barata que la HP (Nunes et al., 2022). Finalmente, el ACB se incrementó significativamente en todas las dietas conteniendo HNc a comparación con el ACB presentado en la dieta C. No presentándose diferencias entre las dietas conteniendo HNc. Para el cálculo del ACB, se utilizan los datos de los parámetros de crecimiento (peso promedio final, longitud promedio final ganancia de peso, índice de crecimiento específico y factor de condición), sobrevivencia, eficiencia del alimento (índice de conversión del alimento y consumo del alimento) y utilización de la proteína (Peng et al., 2026). En consecuencia, al no haber beneficios o comprometimiento en el desempeño de estos parámetros, tampoco hay diferencias en cuanto al ACB.

6. Actividad de enzimas digestivas

La medición de la actividad de las enzimas digestivas en estudios relacionados con el uso de harinas de insectos en formulaciones dietéticas para peces de cultivo proporciona una información crucial a nivel fisiológico y metabólico sobre la capacidad del pez para procesar y asimilar los nutrientes de las harinas de insectos objetivo. En otras palabras, las enzimas digestivas son biomarcadores sensibles de la adaptación digestiva y de posibles efectos anti-nutricionales presentes en los insectos (Buckner et al., 2026). Conocer la actividad de las enzimas digestivas, no solo nos indica si el pez crece, sino que nos explica cómo su fisiología interna está respondiendo al desafío de ingerir un ingrediente derivado de insectos. La determinación de la actividad enzimática en peces alimentados con dietas formuladas con harinas de insectos nos proporciona, además, evidencia de que nos ayudará a respaldar o explicar los datos zootécnicos (Canosa & Bertucci, 2020). También nos dará señales tempranas de estrés o adaptación digestiva (ante la exposición nutricional derivada de la harina de insectos) y finalmente, nos dará los criterios científicos para seleccionar la especie

de insecto, el nivel de procesamiento y la especie de pez compatibles (Nogales–Mérida, 2018). En el presente estudio, se observó un incremento significativo en la actividad de proteasas ácidas y alcalinas en todos los grupos experimentales conteniendo HNc, a comparación con aquellas actividades del grupo C.

Es bien conocido que las harinas de insectos en dietas acuícolas influyen en la actividad de las proteasas en general. Las proteasas son enzimas claves para la digestión de proteínas. Su actividad se modula principalmente por la composición del sustrato (perfil de aminoácidos, digestibilidad y factores anti–nutricionales), demanda digestiva (digestibilidad de la proteína) y morfología intestinal (integridad de los tejidos) (Zhou et al., 2026). En la presente investigación, las proteasas ácidas, registraron valores significativamente superiores en los grupos experimentales conteniendo HNc, comparado con aquella actividad del grupo C. Estudios previos, han reportado un aumento de las proteasas ácidas en peces alimentados con dietas suplementadas con harinas de insectos (Coutinho et al., 2021). Este aumento, se explica, por la mayor demanda de hidrólisis inicial para digerir componentes comunes en las harinas de insectos, como la quitina. (Shinnerl et al., 2026). Por su parte, el aumento de la actividad de las proteasas alcalinas, en el presente estudio, se explica porque cuando los péptidos (derivados de la HNc) que llegan al intestino, no son los ideales o la proteína es menos digerible, el intestino responde secretando más proteasas alcalinas para completar la hidrólisis eficientemente (Solovyev et al., 2023). En el presente estudio, la actividad de la tripsina no mostró diferencias significativas entre todos los grupos experimentales que contenían la HNc y el grupo C. Excepto el grupo SBM 100%, que mostró un valor significativamente más bajo. En la mayoría de los estudios, la inclusión moderada de harinas de insectos estimula o mantiene la actividad de la tripsina. Lo cual se interpreta como una respuesta adaptativa positiva del sistema digestivo (Buckner et al., 2026). En contraste, hay casos en los que la actividad de la tripsina disminuye (como lo observado en el presente estudio en la dieta SBM 100%). Esto se puede explicar por el efecto anti – nutricional (quitina), per se existente en la HNc (Alcantar–Vázquez et al., 2024; Harper, 2018; Ng et al., 2024). Como enzima proteolítica, la quimotripsina en peces sigue un patrón similar a aquel de la tripsina. La quimotripsina, es un indicador sensible de la adaptación digestiva a nuevas fuentes de proteína (Solovyev et al., 2023). En el presente estudio, no se observaron diferencias significativas en lo referentes a la actividad de la quimotripsina. Lo cual indica,

una nula respuesta adaptativa a la HNc, debido a que la adaptación fisiológica no fue requerida por el intestino.

La influencia de las harinas de insectos en la actividad de las lipasas en peces determina la eficiencia en la digestión y absorción de lípidos (Islam et al., 2024). La actividad de la lipasa intestinal se modula por la composición lipídica de la harina de insectos (Yu et al., 2023), como lo observado en el perfil de ácidos grasos (Σ AGS, Σ AGMI, Σ AGPI) presentado en la HNc. En el presente estudio, la actividad de las lipasas, respecto al grupo C, se incrementó en el grupo FS 50% y se mantuvo igual en el grupo FM 100% (lo cual se interpreta como una adaptación positiva; Canosa & Bertucci, 2020) y disminuyó en el grupo SBM 100% (lo cual se interpreta como una saturación e interferencia, por exceso de lípidos saturados; Canosa & Bertucci, 2020). Las grasas saturadas abundantes en la HNc son diferentes a aquellas contenidas en la HP, HS e incluso aceite de pescado y aceite de soya (también contenidos en las formulaciones dietéticas del presente estudio). Por lo tanto, la tilapia del Nilo experimental necesitó haber ajustado su fisiología digestiva para evitar sobrecargar los sistemas de emulsificación y transporte (Ye et al., 2025). Las diferencias en la actividad de las lipasas en los diferentes grupos experimentales del presente estudio, también se puede deber a la sinergia con los otros lípidos presentes en los ingredientes de las dietas experimentales (Canosa & Bertucci, 2020).

Las amilasas, son enzimas clave para la digestión de carbohidratos (Wang et al., 2026). Las harinas de insectos en las dietas para peces introducen quitina (polisacárido estructural) en el sistema digestivo del animal (Buckner et al., 2026). Existen diversos mecanismos que influyen a la actividad de las amilasas. Uno de ellos es la regulación por el sustrato (carbohidratos digeribles como el almidón). Sin embargo, éste último es bajo en las harinas de insectos, por lo que, en un principio, no estimularía directamente un aumento en la actividad de la amilasa. Ahora bien, la quitina es abundante en las harinas de insectos. Sin embargo, la quitina no es un sustrato para la amilasa. Sin embargo, la quitina puede influir indirectamente como modulador de la salud intestinal (por su potencial efecto prebiótico). Por lo que a dosis bajas podría mejorar la funcionalidad general de los enterocitos por lo que podría reflejar una actividad enzimática más robusta (Oviedo–Olvera et al., 2025). Así como lo mostrado en el grupo experimental FS 50%, donde la actividad de la amilasa fue

significativamente más alta que aquella del grupo C y que incluso, los demás grupos experimentales.

7. Actividad de enzimas antioxidantes

La función primaria de las enzimas antioxidantes en los peces es neutralizar especies reactivo-oxidantes (E R-O), previniendo así, el estrés oxidativo. Por lo tanto, este tipo de enzimas previenen el estrés oxidativo (contra daños), manteniendo así la homeostasis fisiológica. Estas E R-O (como, por ejemplo, radicales superóxido y peroxidasas) son productos naturales del metabolismo, que provienen de la respiración mitocondrial. E R-O se pueden incrementar masivamente, debido a factores externos (Liao & Hong, 2025; Veedu et al., 2022). Los peces son particularmente vulnerables al estrés oxidativo, debido al ambiente acuático (oxígeno excesivo, metales pesados, pesticidas, hidrocarburos) o al alimento consumido (altos contenidos de fibra, ácidos grasos poliinsaturados, calidad de la proteína, entre otros) (Lee et al., 2026). En acuicultura, las dietas formuladas con harinas de insectos tienen un impacto significativo y generalmente complejo en el sistema de enzimas antioxidantes de los peces (Veedu et al., 2022). Las dietas formuladas con harinas de insectos no son neutras para el sistema antioxidante de los peces. Debido a que este tipo de harinas, son un potente modulador que puede fortalecer las defensas si se usan de forma adecuada y equilibrada, porque también pueden inducir al estrés oxidativo si la formulación no es correcta. El monitoreo de la actividad de las enzimas antioxidantes es una herramienta de investigación clave para evaluar el nivel de estrés fisiológico y optimizar estas dietas formuladas con harinas de insectos (Lee et al., 2026; Liao & Hong, 2025; Vale-Hagan et al., 2023; Veedu et al., 2022). En el presente estudio, las enzimas antioxidantes presentaron respuestas diversas. La actividad de las peroxidasas se incrementó significativamente en todas las dietas conteniendo la HNc, a comparación con aquella actividad presentada en el grupo experimental C. La actividad de las peroxidasas hepáticas actúa como un biomarcador del estado oxidativo y salud de los peces (Cassini et al., 1993). La dieta formulada con harina de insectos modifica el perfil de ácidos grasos y la presencia de pro-oxidantes / antioxidantes en el hígado, lo que afecta el estrés oxidativo y, en consecuencia, la actividad de las peroxidasas (Chen et al., 2025). En el presente estudio, este aumento en la actividad de las peroxidasas, indica un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados en la HNc (así como lo mostrado en el perfil de ácidos grasos de esta harina). Lo cual podría indicar una

susceptibilidad de las membranas celulares hepáticas con la peroxidación lipídica (Fadhlaoui & Couture, 2016). Como respuesta fisiológica, el hígado, como principal órgano metabólico y desintoxicador, detecta el aumento de especies reactivas de oxígeno (ROS) y peróxidos. En respuesta, se incrementa la actividad de este tipo de enzimas (Zhu et al., 2024). Estos hallazgos son consistentes con los de Ouko et al. (2024), quienes notaron que la actividad de las peroxidases aumentaba cuando se reemplazaba una gran parte con harina de *Hermetia illucens*, sin afectar a la función antioxidante en general.

La peróxido dismutasa, es una enzima antioxidante fundamental y su actividad en el hígado de los peces, es un marcador sensible del estrés oxidativo inducido por la dieta consumida o por los ingredientes contenidos en la dieta (Cassini et al., 1993; Veedo et al., 2022). Este tipo de enzimas antioxidantes es la primer línea de defensa contra el estrés oxidativo. Su función específica es catalizar la dismutación (neutralización) del radical superóxido, en peróxido de hidrógeno y oxígeno molecular (Zhu et al., 2024). En el presente estudio, la peróxido dismutasa de los peces experimentales no mostraron diferencias significativas entre los grupos experimentales consumiendo dietas formuladas con HNC y el grupo experimental C. Lo cual significa que la dieta no ejerció un estrés oxidativo adicional. Por lo tanto, la producción basal del radical superóxido en el hígado se mantuvo dentro de los niveles normales. En consecuencia, el sistema antioxidante endógeno no necesita activarse en exceso (Long et al., 2021). Este resultado indica que, tanto los niveles de HNC en las dietas experimentales y la calidad de esta harina de insectos, es óptimo. Significando así que la HNC es segura a nivel redox y, por lo tanto, no compromete la homeostasis del hígado (Sánchez et al., 2024).

8. Histología

Analizar el estado fisiológico del hígado y del intestino, es una herramienta fundamental en el estudio de la nutrición de peces. El análisis, va mucho más allá de simplemente observar la estructura de los tejidos. Los estudios histológicos del aparato digestivo de los peces, proporciona una visión integrada de la salud, eficiencia y los efectos fisiológicos de la dieta consumida (Goncalvez et al., 2024; Long et al., 2021). El intestino, es la interfaz primaria de absorción de nutrientes. Su integridad es sinónimo de eficiencia alimenticia y salud general. Mediante el análisis histológico del intestino, se puede evaluar la eficiencia digestiva y absorción de nutrientes (Lv et al., 2024) y detectar la inflamación producida por anti-

nutrientes en la dieta consumida (Costas et al., 2014). Por su parte, el hígado, es el centro metabólico del pez. Por ejemplo, mediante el análisis de este órgano, se permite verificar si los lípidos y carbohidratos se están metabolizando adecuadamente o simplemente se están almacenando. Cambios significativos a nivel histológico en este órgano, pueden indicar, presencia de antinutrientes, micotoxinas o contaminantes presentes en ciertos tipos de ingredientes utilizados en la formulación de dietas acuícolas (Altaf et al., 2025). En su conjunto, ambos órganos, poseen una relación causa–efecto. Por ejemplo, un daño intestinal (producido por algún antinutriente), lleva a una alteración en la integridad intestinal, ocasionando una mala absorción y que el hígado trabaje en condiciones anómalas, produciendo así alteraciones significativas a nivel histológicos en células hepáticas (Altaf et al., 2025; Costas et al., 2014; Lv et al., 2024). El consumo de dietas formuladas con harinas de insectos puede originar una serie de alteraciones histológicas tanto en el hígado como en el intestino de los peces. Hígado graso, necrosis, hipertrofia / hiperplasia de hepatocitos, atrofia de vellosidades, enteritis, engrosamiento de membrana basal, entre los efectos más comunes, como respuesta a la presencia de harinas de insectos (Costas et al., 2014). Melechón et al., (2022). encontraron que no hubo cambios histológicos importantes en *Oncorhynchus mykiss* que consumieron dietas experimentales con inclusión de harina de *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*. Similarmente, Tippayadara et al. (2021) apuntaron que la integridad intestinal y hepática no sufrió alteraciones gracias a los reemplazos moderados de HP con harina de *Hermetia illucens*. Esto apoya la perspectiva de que, al menos a corto plazo, la inclusión de HNC puede emplearse con seguridad en las dietas acuícolas.

En el presente trabajo, el grosor del epitelio intestinal no presentó diferencias significativas entre las dietas conteniendo HNC y la dieta C. El grosor del epitelio intestinal es un indicador histomorfológico clave de salud, funcionalidad y estado adaptativo del tracto digestivo (Al–Khalafah et al., 2025). Su medición proporciona información valiosa sobre la capacidad de absorción, la respuesta a la dieta, la presencia de inflamación o daño, y el estado nutricional del pez (Kalemi et al., 2025). El grosor epitelial normal y constante (así como lo observado en la presente investigación), indica homeostasis y salud intestinal. Lo cual significa que la formulación de la dieta es adecuada y que el pez mantiene su fisiología digestiva óptima (Lall & Dumas, 2022).

La morfología de las células caliciformes intestinales en los peces teleósteos y el consumo de dietas formuladas con harinas de insectos son un indicadores citológicos directos de la eficiencia, absorción y metabolismo de los lípidos. Esto es debido a que las células caliciformes en los enterocitos (células absorbentes del intestino) reflejan el proceso de asimilación de grasas en la dieta (He et al., 2025). En el presente estudio, el tamaño promedio de las células caliciformes no presentó diferencias significativas (entre los diferentes grupos experimentales y el grupo C), en contraste, un aumento numérico y significativo, en cuanto al número de células caliciformes, entre los peces alimentados por las dietas formuladas con la HNc y la dieta C, fue observado. El efecto de las harinas de insectos depende de tres factores: a) composición lipídica del insecto; b) el procesamiento de la harina y; c) adaptación del pez. La vacuolización normal o aumentada en los peces experimentales del presente trabajo, se puede correlacionar con la alta calidad de la harina utilizada (HNc) y con la buena adaptación del pez a la dieta (Al-Khalaifah et al., 2025). Lo cual significa que, los lípidos de la HNc fueron bien digeridos y absorbidos durante todo el periodo experimental. Por lo que la vacuolización lipídica fue abundante y los lípidos estuvieron biodisponibles, por lo que se puede inferir que, el sistema digestivo los procesó eficientemente. Siendo esto, una evidencia de buena asimilación energética (Ng et al., 2024; Sánchez et al., 2024) de las dietas formuladas con la HNc.

En el presente estudio, el tamaño promedio de los hepatocitos no presentó diferencias significativas entre todas las dietas conteniendo HNc y la dieta C. Similarmente, no hubo diferencias significativas respecto del tamaño promedio del núcleo de los hepatocitos entre las dietas C, FS 50% y FM 100%. A este respecto, únicamente se registró un incremento significativo en el grupo experimental SBM 100% respecto del C. Lo cual indica una alta digestibilidad y asimilación de proteínas y lípidos (biodisponibilidad) presentes en la HNc (Zheng et al., 2022). Adicionalmente, la presencia de una homeostasis glucídica preservada, indica que no hay necesidad de adaptaciones drásticas en cuanto a glucogénesis o glucogenólisis. Cuando los lípidos se utilizan correctamente para energía o se exportan adecuadamente, no hay necesidad de un almacenamiento hepático excesivo y por lo tanto hay una preservación del tamaño normal de los hepatocitos y sus núcleos. Es decir, el hígado no requiere de adaptaciones estructurales para procesar la nueva dieta, por lo que este órgano no genera estrés metabólico adicional (Chen et al., 2025; Islam et al., 2026). Lo cual indica

que el hígado no requiere de adaptaciones estructurales para procesar la nueva dieta. Por lo tanto, la energía y los nutrientes se dirigen prioritariamente al crecimiento (así como el nulo comprometimiento respecto al crecimiento observado en la presente investigación, aún así en el grupo experimental SBM 100%) y no a reestructuración hepática (Altaf et al., 2025; Long et al., 2021).

Conclusiones

En el presente trabajo quedó demostrado que la inclusión de la HNC posee características nutricionales que la hacen idónea para el reemplazo parcial de la HP y HS, sin comprometer el crecimiento, eficiencia del alimento, utilización de la proteína y sobrevivencia, de la tilapia del Nilo. En el presente trabajo, también se pudo demostrar que, la presencia de HNC modificó algunos parámetros somáticos, enzimas digestivas y antioxidantes e incluso parámetros histológicos, pero sin afectar el desempeño general de los peces experimentales. Estas evidencias científicas, apuntan a la potencialidad que tiene la HNC como ingrediente en dietas para tilapia del Nilo.

La utilización de las harinas de insectos para alimentos acuícolas es una alternativa a la HP y HS, que va cada vez está siendo más investigada e, incluso aplicada en la acuicultura. La investigación sobre la HNC como ingrediente para dietas acuícolas, representa un nicho emergente y prometedor, aunque menos explorado que el de otras especies de insectos (como la mosca soldado o el gusano de la harina). El futuro de la investigación de la HNC como ingrediente para dietas acuícolas, se basará en superar desafíos específicos y explorar ventajas únicas. Tales como: a) alta tasa reproductiva y biomasa (ya que es vivípara); b) perfil nutricional prometedor (debido a que posee alto contenido de proteína, como lo demostrado en el presente trabajo); c) posee una buena fuente de compuestos bioactivos (por ejemplo: quitina, péptidos, antimicrobianos, y otros compuestos inmunoestimulantes).

Futuros estudios sobre la HNC como ingrediente de dietas acuícolas sugieren estudios detallados, respecto a su perfil de ácidos grasos, aminoácidos y perfil de minerales. Otros estudios que prometen elucidar el potencial de la HNC como ingrediente acuícola son aquellos relacionados con la digestibilidad aparente y del microbiota intestinal. El futuro de la investigación de la HNC dependerá de un esfuerzo científico colaborativo para generar datos sólidos sobre nutrición, seguridad y sustentabilidad. Además de una inversión en tecnología de procesamiento que garantice un producto estandarizado, seguro y de alta calidad.

Referencias

- Ai, C., Leng, X., Luo, Z., Zhou, Z., & Ai, Q. (2025). A review of the latest advances in aquaculture nutrition research. *The Journal of Nutrition*, 155(10), 3267–3290. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2025.08.009>
- Al-Khalaifah, H., Ahman, Z., Ullah, R., Islam, Z., Sultan, A., Islam, Z., Abudabos, A., Naz, S., Khan, R.U., Alhidary, I.A. (2025). Effects of *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* larvae meal supplementation on growth performance, carcass traits, and gut histomorphology in Japanese quails. *Poultry Science*, 104 (11), 105803. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105803>
- Altaf F., Wu, N., Shi, M., Li, J., Shan, J., Su, L., Wang, G., Zhu, Q., Hu, Y., Cheng, Y., Zhang, W., Unger, B.H., & Xia, X-Q. (2025). Lipid metabolism and immune crosstalk in fish gut–liver axis: insights from SOCS8 knockout and dietary stress models. *Fish & Shellfish Immunology*, 167, 110705. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2025.110705>
- Al-Thobaiti, A., Al-Ghanim, K., Ahmed, Z., Suliman, E. M., & Mahboob, S. (2017). Impact of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources on the growth performance in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Brazilian Journal Of Biology*, 78(3), 525-534. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.172230>
- Anson, M.L. (1938) The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin. *Journal of General Physiology*, 22(1): 79–89. <https://doi.org/10.1085/jgp.22.1.79>
- AOAC (2020) Official Methods of Analysis 16th ed. Arlington. 1018 pp.
- Asencio-González, C., Plaza, G., & Cerna, F. (2025). Influence of environmental drivers on the interannual variability of somatic growth of the southern blue whiting (*Micromesistius australis*) in the southeastern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 288, 107441. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2025.107441>
- Assefa, W. W., & Getahun, A. (2015). The Food and Feeding Ecology of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in Lake Hayq, Ethiopia. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 41, 55–65.

<https://nieindia.org/Journal/index.php/ijees/article/download/636/204>

- Austreng, 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., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez- Bañón, C. (2013). 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>
- Bee–Tubin, J. S., Maya – Gutiérrez, S., Monroy – Dosta, M.C., Khanjani, M.H., & Coelho– Emerenciano, M.G. (2023). Biofloc technology and cockroach (*Nauphoeta cinerea*) insect meal – based diet for Nile tilapia. Zootechnocal performance, proximate composition and bacterial profile. *Annals of Animal Science*, 23(3), 877–886. <https://doi.org/10.2478/aoas- 2023-0047>
- 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>
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Buckner, J.E., Vo, L., Herrera, M.J., Brocco–French, K., Rankins, D.R., Vasquez, J., Pande, A., Connor, K.M., Peña–González, V.I., & German, D.P. (2026). The captive gut: the impacts of long – term captivity on the intestinal digestive enzyme activities of a marine herbivorous fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 312, 111925. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2025.111965>
- Canosa, L.F., & Bertucci, J.I. (2020). Nutrient regulation of somatic growth in teleost fish. The interactions between somatic growth, feeding and metabolism. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 558, 111029. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.111029>

- Cassini, A., Favero, M., & Albergoni, V. (1993). Comparative studies of antioxidant enzymes in red – blooded and white – blooded Antarctic teleost fish. *Pagothemia bernacchii* and *Chionodraco hamatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 106(2), 333–336. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(93\)90142-8](https://doi.org/10.1016/0742-8413(93)90142-8)
- Chen, L., Zhong, C., Tan, B., Xiang, Y., Yang, Y., & Long, X. (2025). Effects of dietary fish meal replacement with American cockroach residue on the growth, metabolism, antioxidant capacity, intestinal health, and aquaculture water quality of juvenile rainbow trout. *Aquaculture*, 604, 742463. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742463>
- Chen, L., Lin, Y., Jia, X., Zheng, X., Zhuo, Y., Chen, Q., Fan, H., Fang, Y., Zhang, H., & Lin, C. (2026). Dual – Path valorization of organic waste via black soldier fly: synergistic enhancement of feed efficiency, crop quality, and climate mitigation in closed–loop aquaculture. *Waste Management*, 209, 115186. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115186>
- Chen, Y., Ellis, J., & Huyben, D. (2024). Examining the dietary effect of insect meals on the innate immune response of fish: A meta–analysis. *Comparative Immunology Reports*, 7, 200169. <https://doi.org/10.1016/j.cirep.2024.200169>
- 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>.
- Costas, B., Couto, A., Azeredo, R., Machado, M., Krogdahl, A., & Oliva–Teles, A. (2014). Gilthead seabream (*Sparus aurata*) immune responses are modulated after feeding with purified antinutrients. *Fish & Shellfish Immunology*, 41(1), 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.05.032>
- Coutinho, F., Castro, C., Guerreiro, I., Rangel, F., Couto, A., Serra, C.R., Peres, H., Pousao – Ferreira, P., Rawski, M., Oliva – Teles, A., & Enes, P. (2021). Mealworm larvae meal in diets for meagre juveniles: growth, nutrient digestibility and digestive enzymes activity. *Aquaculture*, 535, 736362. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736362>

- Da, C.T., Lundh, T., & 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>
- Da Silva–Lucas, A. J., Menegon de Oliveira, L., da Rocha, & M., Prentice, C. (2020). Edible insects: an alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry* 311, 126022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126022>
- Del Mar, E.G., Largman, C., Brodrick J.W., & Geokas, M.C. (1979). A sensitive new substrate for chymotrypsin. *Analytical Biochemistry*, 99(2), 316–320. [https://doi.org/10.1016/S0003-2697\(79\)80013-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2697(79)80013-5)
- Djernaes, M., Kotykova–Varadínova Z., Kotyk M., Eulitz U., & Klass K–D. (2020). Phylogeny and life story of Blaberoidea (Blattodea). *Arthropod systematics & phylogeny* 78(1), 29–67. <https://doi.org/10.26049/ASP78-1-2020-03>
- El–Sayed, A. M. (2019). *Tilapia culture: Second Edition*. Academic Press.
- El–Sayed, A. M., & Fitzsimmons, K. (2023). From Africa to the world – The journey of Nile tilapia. *Reviews In Aquaculture*, 15(S1), 6-21. <https://doi.org/10.1111/raq.12738>
- Erlanger, B.F., Kokowsky, N., & Cohen, W. (1961). The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 95, 271– 278.
- Fadhlaoui, M., Couture, P. (2016). Combined effects of temperature and metal exposure of the fatty acid composition of cell membranes, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in yellow perch (*Pera flavescens*). *Aquatic Toxicology*, 180, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.09.005>
- Fantatto, R.R., Mota, J., Ligeiro, C., Viera, I., Guilgur, L.G., Santos, M., Murta, D. (2024). Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: The role of insects. *Aquaculture Reports*, 37, 102228. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102228>
- Fanizza, C., Milián – Sorribes, M.C., Jover – Cerdá, M., Martínez – Llorens, S., Trocino, A., & Tomás – Vidal, A. (2024). Candidate raw materials for a sustainable feeding

of greater amberjack (*Seriola dumerili*) reared in recirculating aquaculture systems: Apparent digestibility, physical properties of diets and faeces, and postprandial nitrogen excretion. *Aquaculture*, 591, 741117. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741117>

Fimbres–Acedo, Y. E., Maeda–Martínez, A. N., & Garza–Torres, R. (2025). Tilapia Diseases Reported in Mexico: A Systematic Review. *Journal Of Fish Diseases*. <https://doi.org/10.1111/jfd.14105>

Fontes, T. V., de Oliveira, K. R. B., Almeida, I. L. G., Orlando, T. M. M., Rodrigues, P. B., Da Costa, D. V., & Rosa, P. V. E. (2019). Digestibility of Insect Meals for Nile Tilapia Fingerlings. *Animals*, 9(4), 181. <https://doi.org/10.3390/ani9040181>

Freccia, A., Tubin, J. S. B., Rombenso, A. N., & Emerenciano, M. G. C. (2020). Insects in Aquaculture Nutrition: An Emerging Eco-Friendly Approach or Commercial Reality? *En IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90489>

Froese, R. (2022). Estimating somatic growth of fishes from maximum age or maturity. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*. 52(2), 125–133. <https://doi.org/10.3897/aiep.52.80093>

García–Pérez, O. D., Sanchez–Casas, R. M., Moreno–Degollado, G., Munguía, C. A. G., Villarreal–Cavazos, D. A., & Gamboa–Delgado, J. (2022). Substitution of fish meal with

He, L., Dai, Z., Wu, X., Ma, J., Lin, D., Li, Q., Zhong, L., Hu, Y., Pan, Y., & Zhang, J. (2025). Effect of dietary ratio of n–3 to n–6 polyunsaturated fatty acids on growth performance, muscle performance, muscle quality, hepatic lipid metabolism, and intestinal health of rice field eel (*Monopterus albus*). *Aquaculture Reports*, 45, 103141. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103141>

Lall, S.P., & Dumas, A. (2022). 3 – Nutritional requirements of cultured fish: formulating nutritionally adequate feeds. *Feed and Feeding Practices in Aquaculture* (2nd Edition), 65 – 132. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821598-2.00005-9>

Madagascar cockroach (*Gromphadorhina portentosa*) meal in diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on growth, nutrient assimilation and nitrogen

turnover rates. Research Square (Research Square). 15 July 2022.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1781904/v1>

Gatlin DM III (2010) Principles of fish nutrition. [Internet]. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC); [cited 2026 January 15]. Available from: <https://southcenters.osu.edu/sites/southc/files/site-library/site-documents/abc/SRACPrinciplesOfNutrition.pdf>

Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., & Caruso, G. (2018). Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds. Springer briefs in molecular science (pp. 1–28). https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6_1

Goncalves, M., Lopes, C., & Silva, P. (2024). Comparative histological description of the intestine in platyfish (*Xiphophorus maculatus*) and swordtail fish (*Xiphophorus helleri*). *Tissue and Cell*, 87, 102306. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102306>

Harper, J.M. (2018). Body size and the righting response: a cost of reproductive success in *Nauphoeta cinerea* (Blattodea: Blaberidae). *Journal of Entomological Science*, 523–532. <https://doi.org/10.18474/JES17-128.1>

Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, 41(5), 770–776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x>

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

Islam, S.M.M., Siddik, M.A.B., Sorensen, M., Brinchmann, M.F., Thompson, K.D., Francis, D.S., & Vatsos, I.N. (2024). Insect meal in aquafeeds: A sustainable path to enhanced mucosal immunity in fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 150, 109625. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109625>

Islam, S.M.M., Sorensen, M., Siddik, M.A.B., Perera Willora, F., Brinchmann, M.F., Spiten, K., Zatti, K., Thompson, K.D., & Vatsos, I.N. (2026). Effects of full-fat black soldier fly larvae and yellow mealworm meals on blood composition and liver health in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 612 (1), 743142.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743142>

Józefiak, A., Rawski, M., Kierończyk, B., Józefiak, D., & Mazurkiewicz, J. (2023). Effect of two insect meals on the gut commensal microbiome of healthy sea trout (*Salmo trutta trutta*). *BMC Veterinary Research*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03671-8>

Juárez–Barrientos, J.M., Rodríguez–Miranda, J., Peña–Marín, E.S., Chareo–Benítez, B., Alcántar– Vázquez, J.P., Ramírez–Rivera, E.J., Aparicio–Saguilán A., Gomes da Cruz, A. (2024). Chemical composition, thermal profile and functional properties of grasshopper (*Sphenarium purpurascens* Ch.), cockroach (*Nauphoeta cinerea*) flours and their mixtures. *International Journal of Food Science and Technology* 59(8), 5829–5836. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17339>

Kalemi, V., Rimoldi, S., Costa., R.S., Basto, A., Monteiro, M., Terova, G., & Valente, L.M.P. (2025). Replacing Fishmeal with a insect meal blend: implications for intestinal microbiota in European seabass. *Aquaculture Reports*, 43, 102939. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102939>

Lee, T.H., Kim, K–T., Oh, H.Y., Kang, D.Y., Kim, Y.W., Kwon, D.H., Gu, B.S., & Kim, H.S. (2026). Effects of replacing fish meal with a combination of corn protein concentrate and meat meal on growth performance, biochemical profile, digestive enzyme activity, antioxidant activity, immune response, and economical efficiency in juvenile black rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture Reports*, 46, 103312. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103312>

Liao, H–J., & Hong, J–R. (2025). Enhancement of reactive species metabolism by antioxidant enzyme Cu/Zn – SOD can block betanodavirus–induced necroptosis and suppress viral replication in fish cells. *Fish & Shellfish Immunology*, 162, 110344. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2025.110344>

Lock, E., Arsiwalla, T., & Waagbø, R. (2015). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (Salmo salar) postsmolt. Aquaculture Nutrition, 22(6), 1202- 1213. https://doi.org/10.1111/anu.12343

Long, S., Dong, X., Tan, B., Zhang, S., Xie, S., Yang, Q., Chi, S., Liu, H., Deng, J., Yang,

- Y., & Zhang, H. (2021). Growth performance, antioxidant ability, biochemical index in serum, liver histology and hepatic metabolomics analysis of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* x *Epinephelus lanceolatus*) fed with oxidized fish oil. *Aquaculture*, 545, 737261. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737261>
- Lourenço, F., Calado, R., Medina, I., & Ameixa O. M. C. C. (2022). The potential impacts by the invasion of insects reared to feed livestock and pet animals in Europe and other regions: A critical review. *Sustainability*, 14(10), 6361. <https://doi.org/10.3390/su14106361>
- Lv, Y., Gao, X., Dai, Q., Zhu, L., Liu, S., Hu, Z., Lu, J., Zhou, H., Jin, J., & Mei, Z. (2024). Functional insights of digestion, absorption, and immunity in different segments of the intestine in *Hemibarbus labeo* from transcriptomic analysis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 52, 101278. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2024.101278>
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Martínez–Cordero, F. D. T. S. E. & C. J. (2021). *Tilapia Aquaculture in Mexico - Assessment with a focus on social and economic performance*. Food & Agriculture Organization.
- Martínez–Palacios C.A., Harfush–Melendez M., Chávez–Sánchez C. & Ross L.G. (1996). The optimum dietary protein level for the Mexican cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Günther): 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>
- Melenchón, F., De Mercado, E., Pula, H. J., Cardenete, G., Barroso, F. G., Fabrikov, D., Lourenço, H. M., Pessoa, M., Lagos, L., Weththasinghe, P., Cortés, M., & Tomás-Almenar, C. (2022). Fishmeal Dietary Replacement Up to 50%: A Comparative Study of Two Insect Meals for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 12(2), 179. <https://doi.org/10.3390/ani12020179>

- Monzón, C., Robaina L., Quirós – Pozo, R., & Roo, J. (2026). Spirulina (*Arthrospira platensis*) and by – products from the fish processing industry as alternative protein sources to marine – origin meals in the weaning diets of mullet (*Liza aurata*). *Aquaculture reports*, 46, 103358. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103358>
- Mohan, K., Rajan, D.K., Muralisankar, T., Ganesan, A.R., Sathishumar, P., & Revathi, N. (2022). Use of black Soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a suitable aquaculture industry: a review of past and future. *Aquaculture*, 553, 738095. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738095>
- 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>
- Ng, W.K., Koay, K.T., & Lee, C.Y. (2024) Nutrient–enriched live lobster cockroach, *Nauphoeta cinerea*, enhances growth and pigmentation of pearl arowana, *Scleropages jardini*. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(3), 581–591. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001294>
- Nogales–Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., & Józefiak, A. (2018). Insect meals in fish nutrition. *Reviews In Aquaculture*, 11(4), 1080–1103. <https://doi.org/10.1111/raq.12281>
- Nunes, A.J.P., Dalen, L.L., Leonardi, G., Burri, L. (2022). Developing sustainable, cost – effective and highperformance feed formulations containing low fish meal levels. *Aquaculture Reports*, 27, 101422. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101422>
- Ogunji, J. O., & Wirth, M. (2001). Alternative protein sources as substitutes for fishmeal in the diet of young tilapia *Oreochromis niloticus* (LINN.). *Israeli Journal Of Aquaculture - Bamidgeh*, 53. <https://doi.org/10.46989/001c.20292>
- Oonincx, D. G. A. B., & De Boer, I. J. M. (2012). Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans–A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE*, 7(12), e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- Ouko, K., Mboya, J., Mukhebi, A., Obiero, K., Ogello, E., Munguti, J., & Tanga, C. (2024).

- Effect of replacing fish meal with black soldier fly larvae meal on growth performance and economic efficiency of Nile tilapia. *Fundamental And Applied Agriculture*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.5455/faa.154509>
- Oviedo–Olvera, M.V., Feregrino–Pérez, A.A., Nieto–Ramírez, M.I., Tovar–Ramírez, M.M., Aguirre–Becerra, H., García–Trejo, J.F. (2025). Prebiotic emergent sources for aquaculture: Microalgae and insects. *Aquaculture & Fisheries*, 10(1), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.06.007>
- Peng, B., Shen, X., & Jiang, Q. (2026). Profit or loss. Developing into the cost–benefit dynamics of characteristic freshwater fish aquaculture in China. *Aquaculture and Fisheries*, 11(1), 209– 219. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.11.004>
- Randall, J., Schilling, H.T., Adair, B., Wedd, D., King, A., Saunders, T., & Crook, D. (2025). Associations between body condition and seasonal freshwater outflow in a coastal marine fish (*Protonibea diacanthus*)I in the wet–dry tropics of northern Australia. *Fisheries Research*, 285, 107343. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2025.107343>
- Rimoldi, S., Di Rosa, A. R., Oteri, M., Chiofalo, B., Hasan, I., Saroglia, M., & Terova, G. (2024). The impact of diets containing *Hermetia illucens* meal on the growth, intestinal health, and microbiota of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 50(3), 1003-1024. <https://doi.org/10.1007/s10695-024-01314-9>
- Robyt, J.F. & Whelan, W. (1968). *Starch and its derivatives*. Chapman and Hall, London.
- Roth, L. M. (1964). Control of reproduction in female cockroaches with a special reference to *Nauphoeta cinerea* – I. First pre –oviposition period. *Journal of Insect Physiology* 10(6), 915– 945. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(64\)90082-4](https://doi.org/10.1016/0022-1910(64)90082-4)
- Sánchez–Muros, M., De Haro, C., Sanz, A., Trenzado, C., Villareces, S., & Barroso, F. (2015). Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. *Aquaculture Nutrition*, 22(5), 943–955. <https://doi.org/10.1111/anu.12313>
- Sánchez, O., Robla, J., Pérez–Gómez A., & Arias, A. (2024). First record of the lobster

- cockroach *Nauphoeta cinerea* (Olivier, 1789) (Insecta: Blattodea) in Europe with remarks on synanthropic cockroaches of the Iberian Peninsula. *Journal of Applied Entomology*, 148(9), 1132–1143. <https://doi.org/10.1111/jen.13326>
- Shinnerl, H.E., Banks, I.J., & Dilger, R.N. (2026). A comparative review of chitin occurrence and quantification methodologies with applications to insect sourced materials. *Carbohydrates Polymers*, 371, 124496. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2025.124496>
- Solovyev, M., Kashinskaya, E., & Gisbert, E. (2023). A meta – analysis for assessing the contributions of trypsin and chymotrypsin as the two major endoproteases in protein hydrolysis in fish intestine. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 278, 111372. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2023.111372>
- 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.
- Taranushenko, Y., Vinokurov, K.S., Kludkiewicz, B., Kodrık, D., & Sehnal, F. (2009). Peptidase inhibitors from the salivary glands of the cockroach *Nauphoeta cinerea*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 39(12), 920–930. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2009.11.002>
- The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. (2020). En FAO eBooks. <https://www.fao.org/interactive/state-of-fisheries-aquaculture/2020/en/>
- Tippayadara, N., Dawood, M. A. O., Krutmuang, P., Hoseinifar, S. H., Van Doan, H., & Paolucci, M. (2021). Replacement of Fish Meal by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal: Effects on Growth, Haematology, and Skin Mucus Immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Animals*, 11(1), 193. <https://doi.org/10.3390/ani11010193>
- Vale–Hagan, W., Singhal, S., Grigoletto I., Totaro–Fila, C., Theodoridou, K., Koidis A. (2023). Edible insects in mixed–sourced protein meals for animal feed and food: An

EU focus. Food and Humanity, 1, 1180–1187.
<https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.011>

van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. Annual Review Of Entomology, 58(1), 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>

Veedo, S.K., Ayyasamy, G., Tamilselvan, H., & Ramesh, M. (2022). Single and joint toxicity assessment of acetamiprid and thiamethoxam neonicotinoids pesticides on biochemical indices and antioxidant enzyme activities of a freshwater fish *Catla catla*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 257, 109336. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109336>

Versaw, W.K., Cuppett, S.L., Winters, D.D., & Williams, L.E. (1989). An improved colorimetric assay for bacterial lipase in nonfat dry milk. Journal of Food Science, 54(6), 1557–1558. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb05159.x>

Wachira, M. N., Osuga, I. M., Munguti, J. M., Ambula, M. K., Subramanian, S., & Tanga, C. M. (2021). Efficiency and Improved Profitability of Insect-Based Aquafeeds for Farming Nile Tilapia Fish (*Oreochromis niloticus* L.). Animals, 11(9), 2599. <https://doi.org/10.3390/ani11092599>

Walter, H. (1984) Proteinases: Methods with hemoglobin, casein and azocoll as substrates. Pp. 270–277. In: Bergmeyer HJ (Ed.) Methods of enzymatic analysis. Verlag Chemie, Weinham, Germany.

Xie, D., Chen, C., Dong, Y., You, C., Wang, S., Monroing, O., Tocher, D.R., & Li, Y. (2021). Regulation of long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in teleost fish. Progress in Lipid Research, 82, 101095. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101095>

Yu, Z., Sun, Z., Ou, B., Zhou, M., Huang, Y., & Tan, X. (2023). Effects of partial replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, lipid metabolism and hepatointestinal health of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). Aquaculture Reports, 33, 101824. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101824>

- Ye, Z., Liu, J., Cui, S., Chen, J., Tang, M., Chen, C., Xu, Y., Wang, Z., Huang, Y., Zhai, S., Zhang, Z., Fan, C., & Wang, X. (2025). Emulsifier is beneficial for declining dietary lipid requirement of aquatic crustaceans by accelerating the absorption, transport and deposition of lipids: A case study in mud crab (*Scylla paramamosain*). <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116389>
- Zheng, Y., Shi, Y., Yang, X., Gao, J., Nie, Z., & Xu, G. (2022). Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 261, 109408. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109408>
- Zhi, X., Gu, Y., Zhao, W., Xie, S., Bao, Y., Morais, S., Li, D., He, M., Jin, M., & Zhou, Q. (2025). Dietary functional palatability enhancer improved growth and appetite in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Aquaculture Reports, 40, 102598. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102598>
- Zhou, J., Guan, J., Sun, H., Chu, X., Ye, B., Du, C., Wang, X., Hua, H., Guo, H., Liu, W., Jiang, G., & Cao, X. (2026). The effect of replacing Fish meal with defatted black soldier fly meal on the growth, apparent digestibility, and protein metabolism of subadult Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Aquaculture Reports, 46, 103318. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103318>
- Zhu, J., Li, D., Xiao, W., Yu, J., Chen, B., Zou, Z., & Yang, H. (2024). Survival, serum biochemical parameters, hepatic antioxidant status, and gene expression of three Nile tilapia strains under pathogenic *Streptococcus agalactiae* challenge. Fish & Shellfish Immunology, 155, 110030. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.110030>
- Zhu, X.X., Gfeller, H. & Lanzrein, B. (1983). Ecdysteroids during oogenesis in the ovoviparous cockroach *Nauphoeta cinerea*. Journal of Insect Physiology, 29(3), 225–235. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(83\)90089-6](https://doi.org/10.1016/0022-1910(83)90089-6)

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional

Título de Tesis:	REEMPLAZO TOTAL Y PARCIAL DE HARINA DE PESCADO Y HARINA DE SOYA POR HARINA DE <i>NAUPHOETA CINEREA</i> , EN DIETAS PARA TILAPIA DEL NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>).
Autor de la Tesis:	Erick Marín Martínez
ORCID:	0009-0009-4538-3010
Resumen de la Tesis:	<p>La creciente demanda de harina de pescado (HP) y harina de soya (HS) para el desarrollo de alimentos acuícolas ha generado la necesidad de buscar ingredientes alternativos y sostenibles. En el presente trabajo se evaluó el reemplazo total y parcial de la harina de pescado y soya por harina de <i>Nauphoeta cinerea</i> (HNc) en dietas experimentales para juveniles de tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>). Se formularon cuatro dietas experimentales iso-proteicas e iso-lipídicas (Control: 0% de reemplazo; FS: 50% de reemplazo de HP y HS por HNc; FM: 100% de reemplazo de HP por HNc y SBM: 100% de reemplazo de HS por HNc) que se suministraron a los organismos durante 60 días. Se evaluaron parámetros de crecimiento, índices somáticos, supervivencia, aprovechamiento del alimento, enzimas digestivas, enzimas antioxidantes e histología de hígado e intestino. Los resultados revelaron que la inclusión de HNc no afectó significativamente la supervivencia, crecimiento ni la eficiencia alimenticia. Sin embargo, se observaron alteraciones en la actividad de proteasas, lipasas y amilasas, así como un incremento en la actividad de la peroxidasa. En el análisis histológico no se encontraron indicios de daño estructural en el intestino e hígado, pese a que se detectó un aumento en el número de células calciformes en el grupo experimental SBM 100%. Se concluye que la inclusión de HNc es una alternativa viable para reemplazar parcialmente la harina de pescado y soya en dietas acuícolas, sin comprometer salud ni rendimiento en los ejemplares.</p>
Palabras claves de la Tesis:	<i>Nauphoeta cinerea</i> , harina de insectos, tilapia del Nilo, nutrición acuícola, ingredientes alternativos
Referencias citadas:	<p>Ai, C., Leng, X., Luo, Z., Zhou, Z., & Ai, Q. (2025). A review of the latest advances in aquaculture nutrition research. <i>The Journal of Nutrition</i>, 155(10), 3267–3290. https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2025.08.009</p> <p>Al-Khalaifah, H., Ahman, Z., Ullah, R., Islam, Z., Sultan, A., Islam, Z., Abudabos, A., Naz, S., Khan, R.U., Alhidary, I.A. (2025). Effects of <i>Tenebrio molitor</i> and <i>Zophobas morio</i> larvae meal supplementation on growth performance, carcass traits, and gut histomorphology in Japanese quails. <i>Poultry Science</i>, 104 (11), 105803. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105803</p>

- Altaf F., Wu, N., Shi, M., Li, J., Shan, J., Su, L., Wang, G., Zhu, Q., Hu, Y., Cheng, Y., Zhang, W., Unger, B.H., & Xia, X-Q. (2025). Lipid metabolism and immune crosstalk in fish gut-liver axis: insights from SOCS8 knockout and dietary stress models. *Fish & Shellfish Immunology*, 167, 110705. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2025.110705>
- Al-Thobaiti, A., Al-Ghanim, K., Ahmed, Z., Suliman, E. M., & Mahboob, S. (2017). Impact of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources on the growth performance in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Brazilian Journal Of Biology*, 78(3), 525-534. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.172230>
- Anson, M.L. (1938) The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin. *Journal of General Physiology*, 22(1): 79–89. <https://doi.org/10.1085/jgp.22.1.79>
- AOAC (2020) Official Methods of Analysis 16th ed. Arlington. 1018 pp.
- Asencio-González, C., Plaza, G., & Cerna, F. (2025). Influence of environmental drivers on the interannual variability of somatic growth of the southern blue whiting (*Micromesistius australis*) in the southeastern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 288, 107441. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2025.107441>
- Assefa, W. W., & Getahun, A. (2015). The Food and Feeding Ecology of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in Lake Hayq, Ethiopia. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 41, 55–65. <https://nieindia.org/Journal/index.php/ijees/article/download/636/204>
- Austreng, 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., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2013). 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>
- Bee-Tubin, J. S., Maya – Gutiérrez, S., Monroy – Dosta, M.C., Khanjani, M.H., & Coelho–Emerenciano, M.G. (2023). Biofloc technology and cockroach (*Nauphoeta cinerea*) insect meal – based diet for Nile tilapia. Zootechnical performance, proximate composition and bacterial profile. *Annals of Animal Science*, 23(3), 877–886. <https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0047>
- 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>
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Buckner, J.E., Vo, L., Herrera, M.J., Brocco–French, K., Rankins, D.R., Vasquez, J., Pande, A., Connor, K.M., Peña–González, V.I., &

	<p>German, D.P. (2026). The captive gut: the impacts of long – term captivity on the intestinal digestive enzyme activities of a marine herbivorous fish. <i>Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology</i>, 312, 111925. https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2025.111965</p> <p>Canosa, L.F., & Bertucci, J.I. (2020). Nutrient regulation of somatic growth in teleost fish. The interactions between somatic growth, feeding and metabolism. <i>Molecular and Cellular Endocrinology</i>, 558, 111029. https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.111029</p> <p>Cassini, A., Favero, M., & Albergoni, V. (1993). Comparative studies of antioxidant enzymes in red – blooded and white – blooded Antarctic teleost fish. <i>Pagothemia bernacchii</i> and <i>Chionodraco hamatus</i>. <i>Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology</i>, 106(2), 333–336. https://doi.org/10.1016/0742-8413(93)90142-8</p> <p>Chen, L., Zhong, C., Tan, B., Xiang, Y., Yang, Y., & Long, X. (2025). Effects of dietary fish meal replacement with American cockroach residue on the growth, metabolism, antioxidant capacity, intestinal health, and aquaculture water quality of juvenile rainbow trout. <i>Aquaculture</i>, 604, 742463 . https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742463</p> <p>Chen, L., Lin, Y., Jia, X., Zheng, X., Zhuo, Y., Chen, Q., Fan, H., Fang, Y., Zhang, H., & Lin, C. (2026). Dual – Path valorization of organic waste via black soldier fly: synergistic enhancement of feed efficiency, crop quality, and climate mitigation in closed– loop aquaculture. <i>Waste Management</i>, 209, 115186. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115186</p> <p>Chen, Y., Ellis, J., & Huyben, D. (2024). Examining the dietary effect of insect meals on the innate immune response of fish: A meta– analysis. <i>Comparative Immunology Reports</i>, 7, 200169. https://doi.org/10.1016/j.cirep.2024.200169</p> <p>Chiou, J.Y. and Ogino, D. 1975. Digestibility of starch in carp. <i>Bulleting of Japanese Society of Scientist Society</i>, 41,465–466. https://doi.org/10.2331/suisan.41.465.</p> <p>Costas, B., Couto, A., Azeredo, R., Machado, M., Krogdahl, A., & Oliva–Teles, A. (2014). Gilthead seabream (<i>Sparus aurata</i>) immune responses are modulated after feeding with purified antinutrients. <i>Fish & Shellfish Immunology</i>, 41(1), 70–79. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.05.032</p> <p>Coutinho, F., Castro, C., Guerreiro, I., Rangel, F., Couto, A., Serra, C.R., Peres, H., Pousao – Ferreira, P., Rawski, M., Oliva – Teles, A., & Enes, P. (2021). Mealworm larvae meal in diets for meagre juveniles: growth, nutrient digestibility and digestive enzymes activity. <i>Aquaculture</i>, 535, 736362. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736362</p> <p>Da, C.T., Lundh, T., & 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 (<i>Pangasianodon hypophthalmus</i>) fingerlings. <i>Aquaculture</i>, 364–365, 150–156. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.010</p> <p>Da Silva–Lucas, A. J., Menegon de Oliveira, L., da Rocha, & M.,</p>
--	---

	<p>Prentice, C. (2020). Edible insects: an alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. <i>Food Chemistry</i> 311, 126022. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126022</p> <p>Del Mar, E.G., Largman, C., Brodrick J.W., & Geokas, M.C. (1979). A sensitive new substrate for chymotrypsin. <i>Analytical Biochemistry</i>, 99(2), 316–320. https://doi.org/10.1016/S0003-2697(79)80013-5</p> <p>Djernaes, M., Kotykova–Varadinova Z., Kotyk M., Eulitz U., & Klass K–D. (2020). Phylogeny and life story of Blaberoidea (Blattodea). <i>Arthropod systematics & phylogeny</i> 78(1), 29–67. https://doi.org/10.26049/ASP78-1-2020-03</p> <p>El–Sayed, A. M. (2019). <i>Tilapia culture: Second Edition</i>. Academic Press.</p> <p>El–Sayed, A. M., & Fitzsimmons, K. (2023). From Africa to the world – The journey of Nile tilapia. <i>Reviews In Aquaculture</i>, 15(S1), 6–21. https://doi.org/10.1111/raq.12738</p> <p>Erlanger, B.F., Kokowsky, N., & Cohen, W. (1961). The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. <i>Archives of Biochemistry and Biophysics</i>, 95, 271–278.</p> <p>Fadhlaoui, M., Couture, P. (2016). Combined effects of temperature and metal exposure of the fatty acid composition of cell membranes, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in yellow perch (<i>Pera flavescens</i>). <i>Aquatic Toxicology</i>, 180, 45–55. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.09.005</p> <p>Fantatto, R.R., Mota, J., Ligeiro, C., Viera, I., Guilgur, L.G., Santos, M., Murta, D. (2024). Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: The role of insects. <i>Aquaculture Reports</i>, 37, 102228. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102228</p> <p>Fanizza, C., Milián – Sorribes, M.C., Jover – Cerdá, M., Martínez – Llorens, S., Trocino, A., & Tomás – Vidal, A. (2024). Candidate raw materials for a sustainable feeding of greater amberjack (<i>Seriola dumerili</i>) reared in recirculating aquaculture systems: Apparent digestibility, physical properties of diets and faeces, and postprandial nitrogen excretion. <i>Aquaculture</i>, 591, 741117. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741117</p> <p>Fimbres–Acedo, Y. E., Maeda–Martínez, A. N., & Garza–Torres, R. (2025). Tilapia Diseases Reported in Mexico: A Systematic Review. <i>Journal Of Fish Diseases</i>. https://doi.org/10.1111/jfd.14105</p> <p>Fontes, T. V., de Oliveira, K. R. B., Almeida, I. L. G., Orlando, T. M. M., Rodrigues, P. B., Da Costa, D. V., & Rosa, P. V. E. (2019). Digestibility of Insect Meals for Nile Tilapia Fingerlings. <i>Animals</i>, 9(4), 181. https://doi.org/10.3390/ani9040181</p> <p>Freccia, A., Tubin, J. S. B., Rombenso, A. N., & Emerenciano, M. G. C. (2020). Insects in Aquaculture Nutrition: An Emerging Eco-Friendly Approach or Commercial Reality? <i>En IntechOpen eBooks</i>. https://doi.org/10.5772/intechopen.90489</p> <p>Froese, R. (2022). Estimating somatic growth of fishes from maximum age or maturity. <i>Acta Ichthyologica et Piscatoria</i>. 52(2), 125–133. https://doi.org/10.3897/aiep.52.80093</p> <p>García–Pérez, O. D., Sanchez–Casas, R. M., Moreno–Degollado, G., Munguía, C. A. G., Villarreal–Cavazos, D. A., & Gamboa–</p>
--	---

	<p>Delgado, J. (2022). Substitution of fish meal with He, L., Dai, Z., Wu, X., Ma, J., Lin, D., Li, Q., Zhong, L., Hu, Y., Pan, Y., & Zhang, J. (2025). Effect of dietary ratio of n-3 to n-6 polyunsaturated fatty acids on growth performance, muscle performance, muscle quality, hepatic lipid metabolism, and intestinal health of rice field eel (<i>Monopterus albus</i>). <i>Aquaculture Reports</i>, 45, 103141. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103141</p> <p>Lall, S.P., & Dumas, A. (2022). 3 – Nutritional requirements of cultured fish: formulating nutritionally adequate feeds. <i>Feed and Feeding Practices in Aquaculture (2nd Edition)</i>, 65 – 132. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821598-2.00005-9</p> <p>Madagascar cockroach (<i>Gromphadorhina portentosa</i>) meal in diets for juvenile Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>): Effects on growth, nutrient assimilation and nitrogen turnover rates. <i>Research Square (Research Square)</i>. 15 July 2022. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1781904/v1</p> <p>Gatlin DM III (2010) Principles of fish nutrition. [Internet]. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC); [cited 2026 January 15]. Available from: https://southcenters.osu.edu/sites/southc/files/site-library/site-documents/abc/SRACPrinciplesOfNutrition.pdf</p> <p>Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., & Caruso, G. (2018). Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds. <i>Springer briefs in molecular science</i> (pp. 1–28). https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6_1</p> <p>Goncalves, M., Lopes, C., & Silva, P. (2024). Comparative histological description of the intestine in platyfish (<i>Xiphophorus maculatus</i>) and swordtail fish (<i>Xiphophorus helleri</i>). <i>Tissue and Cell</i>, 87, 102306. https://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102306</p> <p>Harper, J.M. (2018). Body size and the righting response: a cost of reproductive success in <i>Nauphoeta cinerea</i> (Blattodea: Blaberidae). <i>Journal of Entomological Science</i>, 523–532. https://doi.org/10.18474/JES17-128.1</p> <p>Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. <i>Aquaculture Research</i>, 41(5), 770–776. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x</p> <p>Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. <i>Animal Feed Science And Technology</i>, 203, 1–22. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001</p> <p>Islam, S.M.M., Siddik, M.A.B., Sorensen, M., Brinchmann, M.F., Thompson, K.D., Francis, D.S., & Vatsos, I.N. (2024). Insect meal in aquafeeds: A sustainable path to enhanced mucosal immunity in fish. <i>Fish & Shellfish Immunology</i>, 150, 109625. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109625</p> <p>Islam, S.M.M., Sorensen, M., Siddik, M.A.B., Perera Willora, F., Brinchmann, M.F., Spiten, K., Zatti, K., Thompson, K.D., & Vatsos, I.N. (2026). Effects of full-fat black soldier fly larvae and yellow mealworm meals on blood composition and liver health in</p>
--	--

	<p>Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i>). <i>Aquaculture</i>, 612 (1), 743142. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743142</p> <p>Józefiak, A., Rawski, M., Kierończyk, B., Józefiak, D., & Mazurkiewicz, J. (2023). Effect of two insect meals on the gut commensal microbiome of healthy sea trout (<i>Salmo trutta trutta</i>). <i>BMC Veterinary Research</i>, 19(1). https://doi.org/10.1186/s12917-023-03671-8</p> <p>Juárez–Barrientos, J.M., Rodríguez–Miranda, J., Peña–Marín, E.S., Chareo–Benítez, B., Alcántar–Vázquez, J.P., Ramírez–Rivera, E.J., Aparicio–Saguilán A., Gomes da Cruz, A. (2024). Chemical composition, thermal profile and functional properties of grasshopper (<i>Sphenarium purpurascens</i> Ch.), cockroach (<i>Nauphoeta cinerea</i>) flours and their mixtures. <i>International Journal of Food Science and Technology</i> 59(8), 5829–5836. https://doi.org/10.1111/ijfs.17339</p> <p>Kalemi, V., Rimoldi, S., Costa, R.S., Basto, A., Monteiro, M., Terova, G., & Valente, L.M.P. (2025). Replacing Fishmeal with a insect meal blend: implications for intestinal microbiota in European seabass. <i>Aquaculture Reports</i>, 43, 102939. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102939</p> <p>Lee, T.H., Kim, K–T., Oh, H.Y., Kang, D.Y., Kim, Y.W., Kwon, D.H., Gu, B.S., & Kim, H.S. (2026). Effects of replacing fish meal with a combination of corn protein concentrate and meat meal on growth performance, biochemical profile, digestive enzyme activity, antioxidant activity, immune response, and economical efficiency in juvenile black rockfish (<i>Sebastes schlegelii</i>). <i>Aquaculture Reports</i>, 46, 103312. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103312</p> <p>Liao, H–J., & Hong, J–R. (2025). Enhancement of reactive species metabolism by antioxidant enzyme Cu/Zn – SOD can block betanodavirus–induced necroptosis and suppress viral replication in fish cells. <i>Fish & Shellfish Immunology</i>, 162, 110344. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2025.110344</p> <p>Lock, E., Arsiwalla, T., & Waagbø, R. (2015). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i>) postsmolt. <i>Aquaculture Nutrition</i>, 22(6), 1202–1213. https://doi.org/10.1111/anu.12343</p> <p>Long, S., Dong, X., Tan, B., Zhang, S., Xie, S., Yang, Q., Chi, S., Liu, H., Deng, J., Yang, Y., & Zhang, H. (2021). Growth performance, antioxidant ability, biochemical index in serum, liver histology and hepatic metabolomics analysis of juvenile hybrid grouper (<i>Epinephelus fuscoguttatus</i> x <i>Epinephelus lanceolatus</i>) fed with oxidized fish oil. <i>Aquaculture</i>, 545, 737261. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737261</p> <p>Lourenço, F., Calado, R., Medina, I., & Ameixa O. M. C. C. (2022). The potential impacts by the invasion of insects reared to feed livestock and pet animals in Europe and other regions: A critical review. <i>Sustainability</i>, 14(10), 6361. https://doi.org/10.3390/su14106361</p> <p>Lv, Y., Gao, X., Dai, Q., Zhu, L., Liu, S., Hu, Z., Lu, J., Zhou, H., Jin, J., & Mei, Z. (2024). Functional insights of digestion, absorption, and immunity in different segments of the intestine in</p>
--	--

	<p>Hemibarbus labeo from transcriptomic analysis. <i>Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics</i>, 52, 101278. https://doi.org/10.1016/j.cbd.2024.101278</p> <p>Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. <i>Animal Feed Science and Technology</i>, 197, 1–33. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008</p> <p>Martínez–Cordero, F. D. T. S. E. & C. J. (2021). <i>Tilapia Aquaculture in Mexico - Assessment with a focus on social and economic performance</i>. Food & Agriculture Organization.</p> <p>Martínez–Palacios C.A., Harfush–Melendez M., Chávez–Sánchez C. & Ross L.G. (1996). The optimum dietary protein level for the Mexican cichlid <i>Cichlasoma urophthalmus</i> (Gunther): a comparison of estimates derived from experiments using fixed-rate feeding and satiation feeding. <i>Aquaculture Nutrition</i>, 2, 11–20. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.1996.tb00003.x</p> <p>Melenchón, F., De Mercado, E., Pula, H. J., Cardenete, G., Barroso, F. G., Fabrikov, D., Lourenço, H. M., Pessoa, M., Lagos, L., Weththasinghe, P., Cortés, M., & Tomás-Almenar, C. (2022). Fishmeal Dietary Replacement Up to 50%: A Comparative Study of Two Insect Meals for Rainbow Trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>). <i>Animals</i>, 12(2), 179. https://doi.org/10.3390/ani12020179</p> <p>Monzón, C., Robaina L., Quirós – Pozo, R., & Roo, J. (2026). Spirulina (<i>Arthrospira platensis</i>) and by – products from the fish processing industry as alternative protein sources to marine – origin meals in the weaning diets of mullet (<i>Liza aurata</i>). <i>Aquaculture reports</i>, 46, 103358. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103358</p> <p>Mohan, K., Rajan, D.K., Muralisankar, T., Ganesan, A.R., Sathishumar, P., & Revathi, N. (2022). Use of black Soldier fly (<i>Hermetia illucens</i> L.) larvae meal in aquafeeds for a suitable aquaculture industry: a review of past and future. <i>Aquaculture</i>, 553, 738095. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738095</p> <p>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. <i>Acta Scientiarum. Animal Sciences</i>, 34, 223–229. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i3.13327</p> <p>Ng, W.K., Koay, K.T., & Lee, C.Y. (2024) Nutrient–enriched live lobster cockroach, <i>Nauphoeta cinerea</i>, enhances growth and pigmentation of pearl arowana, <i>Scleropages jardini</i>. <i>Journal of Insects as Food and Feed</i>, 11(3), 581–591. https://doi.org/10.1163/23524588-00001294</p> <p>Nogales–Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., & Józefiak, A. (2018). Insect meals in fish nutrition. <i>Reviews In Aquaculture</i>, 11(4), 1080–1103. https://doi.org/10.1111/raq.12281</p> <p>Nunes, A.J.P., Dalen, L.L., Leonardi, G., Burri, L. (2022). Developing sustainable, cost – effective and highperformance feed formulations containing low fish meal levels. <i>Aquaculture Reports</i>, 27, 101422.</p>
--	---

<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101422>

Ogunji, J. O., & Wirth, M. (2001). Alternative protein sources as substitutes for fishmeal in the diet of young tilapia *Oreochromis niloticus* (LINN.). *Israeli Journal Of Aquaculture - Bamidgeh*, 53. <https://doi.org/10.46989/001c.20292>

Oonincx, D. G. A. B., & De Boer, I. J. M. (2012). Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans—A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE*, 7(12), e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>

Ouko, K., Mboya, J., Mukhebi, A., Obiero, K., Ogello, E., Munguti, J., & Tanga, C. (2024). Effect of replacing fish meal with black soldier fly larvae meal on growth performance and economic efficiency of Nile tilapia. *Fundamental And Applied Agriculture*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.5455/faa.154509>

Oviedo–Olvera, M.V., Feregrino–Pérez, A.A., Nieto–Ramírez, M.I., Tovar–Ramírez, M.M., Aguirre–Becerra, H., García–Trejo, J.F. (2025). Prebiotic emergent sources for aquaculture: Microalgae and insects. *Aquaculture & Fisheries*, 10(1), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.06.007>

Peng, B., Shen, X., & Jiang, Q. (2026). Profit or loss. Developing into the cost–benefit dynamics of characteristic freshwater fish aquaculture in China. *Aquaculture and Fisheries*, 11(1), 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.11.004>

Randall, J., Schilling, H.T., Adair, B., Wedd, D., King, A., Saunders, T., & Crook, D. (2025). Associations between body condition and seasonal freshwater outflow in a coastal marine fish (*Protonibea diacanthus*) in the wet–dry tropics of northern Australia. *Fisheries Research*, 285, 107343. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2025.107343>

Rimoldi, S., Di Rosa, A. R., Oteri, M., Chiofalo, B., Hasan, I., Saroglia, M., & Terova, G. (2024). The impact of diets containing *Hermetia illucens* meal on the growth, intestinal health, and microbiota of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 50(3), 1003–1024. <https://doi.org/10.1007/s10695-024-01314-9>

Robyt, J.F. & Whelan, W. (1968). *Starch and its derivatives*. Chapman and Hall, London.

Roth, L. M. (1964). Control of reproduction in female cockroaches with a special reference to *Nauphoeta cinerea* – I. First pre – oviposition period. *Journal of Insect Physiology* 10(6), 915–945. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(64\)90082-4](https://doi.org/10.1016/0022-1910(64)90082-4)

Sánchez–Muros, M., De Haro, C., Sanz, A., Trenzado, C., Villareces, S., & Barroso, F. (2015). Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. *Aquaculture Nutrition*, 22(5), 943–955. <https://doi.org/10.1111/anu.12313>

Sánchez, O., Robla, J., Pérez–Gómez A., & Arias, A. (2024). First record of the lobster cockroach *Nauphoeta cinerea* (Olivier, 1789) (Insecta: Blattodea) in Europe with remarks on synanthropic cockroaches of the Iberian Peninsula. *Journal of Applied Entomology*, 148(9), 1132–1143. <https://doi.org/10.1111/jen.13326>

	<p>Shinnerl, H.E., Banks, I.J., & Dilger, R.N. (2026). A comparative review of chitin occurrence and quantification methodologies with applications to insect sourced materials. <i>Carbohydrates Polymers</i>, 371, 124496. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2025.124496</p> <p>Solovyev, M., Kashinskaya, E., & Gisbert, E. (2023). A meta – analysis for assessing the contributions of trypsin and chymotrypsin as the two major endoproteases in protein hydrolysis in fish intestine. <i>Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology</i>, 278, 111372. https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2023.111372</p> <p>Takeuchi T. 1988. Laboratory work: chemical evaluation of dietary nutrients. Pages 129–233 in Watanabe editor. <i>Fish nutrition and mariculture: JICA text book: the general aquaculture course</i>. Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries, Tokyo.</p> <p>Taranushenko, Y., Vinokurov, K.S., Kludkiewicz, B., Kodrík, D., & Sehnal, F. (2009). Peptidase inhibitors from the salivary glands of the cockroach <i>Nauphoeta cinerea</i>. <i>Insect Biochemistry and Molecular Biology</i>, 39(12), 920–930. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2009.11.002</p> <p>The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. (2020). En FAO eBooks. https://www.fao.org/interactive/state-of-fisheries-aquaculture/2020/en/</p> <p>Tippayadara, N., Dawood, M. A. O., Krutmuang, P., Hoseinifar, S. H., Van Doan, H., & Paolucci, M. (2021). Replacement of Fish Meal by Black Soldier Fly (<i>Hermetia illucens</i>) Larvae Meal: Effects on Growth, Haematology, and Skin Mucus Immunity of Nile Tilapia, <i>Oreochromis niloticus</i>. <i>Animals</i>, 11(1), 193. https://doi.org/10.3390/ani11010193</p> <p>Vale–Hagan, W., Singhal, S., Grigoletto I., Totaro–Fila, C., Theodoridou, K., Koidis A. (2023). Edible insects in mixed–sourced protein meals for animal feed and food: An EU focus. <i>Food and Humanity</i>, 1, 1180–1187. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.011</p> <p>van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. <i>Annual Review Of Entomology</i>, 58(1), 563-583. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704</p> <p>Veedo, S.K., Ayyasamy, G., Tamilselvan, H., & Ramesh, M. (2022). Single and joint toxicity assessment of acetamiprid and thiamethoxam neonicotinoids pesticides on biochemical indices and antioxidant enzyme activities of a freshwater fish <i>Catla catla</i>. <i>Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology</i>, 257, 109336. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109336</p> <p>Versaw, W.K., Cuppett, S.L., Winters, D.D., & Williams, L.E. (1989). An im–proved colorimetric assay for bacterial lipase in nonfat dry milk. <i>Journal of Food Science</i>, 54(6), 1557–1558. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb05159.x</p> <p>Wachira, M. N., Osuga, I. M., Munguti, J. M., Ambula, M. K., Subramanian, S., & Tanga, C. M. (2021). Efficiency and Improved Profitability of Insect-Based Aquafeeds for Farming</p>
--	---

	<p>Nile Tilapia Fish (<i>Oreochromis niloticus</i> L.). <i>Animals</i>, 11(9), 2599. https://doi.org/10.3390/ani11092599</p> <p>Walter, H. (1984) Proteinases: Methods with hemoglobin, casein and azo-coll as substrates. Pp. 270–277. In: Bergmeyer HJ (Ed.) <i>Methods of enzymatic analysis</i>. Verlag Chemie, Weinham, Germany.</p> <p>Xie, D., Chen, C., Dong, Y., You, C., Wang, S., Monroing, O., Tocher, D.R., & Li, Y. (2021). Regulation of long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in teleost fish. <i>Progress in Lipid Research</i>, 82, 101095. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101095</p> <p>Yu, Z., Sun, Z., Ou, B., Zhou, M., Huang, Y., & Tan, X. (2023). Effects of partial replacement of fish meal with black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i>) larvae meal on growth performance, lipid metabolism and hepatointestinal health of juvenile golden pompano (<i>Trachinotus ovatus</i>). <i>Aquaculture Reports</i>, 33, 101824. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101824</p> <p>Ye, Z., Liu, J., Cui, S., Chen, J., Tang, M., Chen, C., Xu, Y., Wang, Z., Huang, Y., Zhai, S., Zhang, Z., Fan, C., & Wang, X. (2025). Emulsifier is beneficial for declining dietary lipid requirement of aquatic crustaceans by accelerating the absorption, transport and deposition of lipids: A case study in mud crab (<i>Scylla paramamosain</i>). https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116389</p> <p>Zheng, Y., Shi, Y., Yang, X., Gao, J., Nie, Z., & Xu, G. (2022). <i>Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology</i>, 261, 109408. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109408</p> <p>Zhi, X., Gu, Y., Zhao, W., Xie, S., Bao, Y., Morais, S., Li, D., He, M., Jin, M., & Zhou, Q. (2025). Dietary functional palatability enhancer improved growth and appetite in largemouth bass (<i>Micropterus salmoides</i>). <i>Aquaculture Reports</i>, 40, 102598. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102598</p> <p>Zhou, J., Guan, J., Sun, H., Chu, X., Ye, B., Du, C., Wang, X., Hua, H., Guo, H., Liu, W., Jiang, G., & Cao, X. (2026). The effect of replacing Fish meal with defatted black soldier fly meal on the growth, apparent digestibility, and protein metabolism of subadult Chinese mitten crab (<i>Eriocheir sinensis</i>). <i>Aquaculture Reports</i>, 46, 103318. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103318</p> <p>Zhu, J., Li, D., Xiao, W., Yu, J., Chen, B., Zou, Z., & Yang, H. (2024). Survival, serum biochemical parameters, hepatic antioxidant status, and gene expression of three Nile tilapia strains under pathogenic <i>Streptococcus agalactiae</i> challenge. <i>Fish & Shellfish Immunology</i>, 155, 110030. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.110030</p> <p>Zhu, X.X., Gfeller, H. & Lanzrein, B. (1983). Ecdysteroids during oogenesis in the ovoviviparous cockroach <i>Nauphoeta cinerea</i>. <i>Journal of Insect Physiology</i>, 29(3), 225–235. https://doi.org/10.1016/0022-1910(83)90089-6</p>
--	--