



UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y
TECNOLÓGICAS**

POSGRADO EN BIOCENCIAS

**USO DE HARINA DE INSECTO (*Hermetia illucens*)
EN LA DIETA DE TILAPIA DEL NILO
(*Oreochromis niloticus*)**

TESIS

que para obtener el grado de:

MAESTRO EN BIOCENCIAS

presenta:

MICHEL ALEJANDRO MILLANES MORA

Hermosillo, Sonora, México

Septiembre de 2021

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

USO DE HARINA DE INSECTO (*Hermetia illucens*) EN LA DIETA DE
TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)

T E S I S

que para obtener el grado de:

MAESTRO EN BIOCENCIAS

presenta:

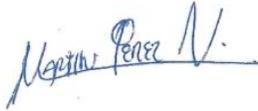
MICHEL ALEJANDRO MILLANES MORA

Hermosillo, Sonora, México.

Septiembre del 2021

APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis intitulada “Uso de harina de insecto (*Hermetia illucens*) en la dieta de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)” presentada por Michel Alejandro Millanes Mora, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Biociencias.



Dr. Martín Pérez Velázquez
Director



Dr. Ramón Héctor Barraza Guardado
Secretario



Dra. Mayra Lizett González Félix
Co-director



Dr. Waldemar Rossi Jr.
Sinodal Externo

DEDICATORIA

A mi familia:

Miguel Millanes Soto, María Eugenia Mora Soto, Miguel Alberto Millanes Mora, Mayra Eugenia Millanes Mora y Miguel Elías Millanes Mora.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora y al Posgrado en Biociencias por permitirme ser parte de este programa.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico por cursar este posgrado.

Al Dr. Martin Pérez Velázquez y la Dra. Mayra Lizett González Félix, por su apoyo, asesoramiento y dirección en el del posgrado.

A mis sinodales el Dr. Ramón Héctor Barraza Guardado y Dr. Waldemar Rossi Jr., por sus consejos y apoyo para el mejoramiento de este trabajo.

A Jesús Isidro Vázquez Cota, Asistente Técnico de la Unidad Experimental Kino (UEK), por todo el apoyo otorgado durante el desarrollo de la fase experimental del estudio.

A mi familia, quienes han sido mi mayor motivación para convertirme en la persona que soy hoy en día.

A mis abuelos que me apoyaron de manera incondicional con sus buenos deseos y bendiciones.

A mi novia Marita Castro Sánchez, por todo su apoyo, amor y paciencia, que fue muy importante durante la realización de un experimento.

A mis compañeros de laboratorio, Carlos Alberto Maldonado Othón y Emmanuel Villanueva Gutiérrez por el apoyo y asesoramiento durante estos dos años.

RESUMEN

Entre las tendencias mundiales en la formulación de alimento balanceado está la búsqueda de ingredientes alternativos de fuentes animales o vegetales para llevar a cabo el reemplazo de harina y aceite de pescado. La harina de larva de mosca soldado negra, *Hermetia illucens*, contiene alrededor de 53% de proteína y 17% de grasa. En este estudio se evaluó su uso en alimento balanceado para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Se formuló una dieta control con 40% de proteína y 9% de grasa. Posteriormente, se reemplazó 25, 50 y 75% de la proteína dietaria por harina de larva de *H. illucens*, con y sin un proceso previo de hidrólisis, en un diseño factorial 3×2 . Se alimentaron alevines de tilapia (0.26 g, peso promedio inicial) durante 6 semanas y se evaluó el desempeño biológico, eficiencia alimenticia, composición proximal y perfil de aminoácidos de músculo. Para evaluar el coeficiente de digestibilidad aparente de proteína *in vivo*, se continuó alimentando a los peces por una semana adicional con un set similar de dietas suplementadas con óxido crómico, colectando heces 2 horas después de cada alimentación. Se observó un mejor desempeño biológico y eficiencia alimenticia en animales alimentados con las dietas de 50 y 75% de reemplazo con harina no hidrolizada. En general, no se observaron diferencias estadísticas en índices corporales, composición proximal, o perfil de aminoácidos, con excepción del índice viscerosomático, y en grasa cruda y algunos aminoácidos del músculo de peces alimentados con harina hidrolizada. El incremento en el nivel de reemplazo mejoró significativamente el coeficiente de digestibilidad de la proteína dietaria, desde 75.67% hasta 79.20%, no así el tratamiento de hidrólisis, demostrándose que no es necesario aplicar este proceso para fragmentar la quitina, ya que la tilapia puede utilizar eficientemente los nutrientes de esta harina. Bajo las condiciones experimentales de este estudio, se confirmó la factibilidad del uso de harina de larva de mosca soldado negra para reemplazar hasta 75% de la proteína dietaria en dietas para la tilapia del Nilo, sin requerir un tratamiento previo de hidrólisis.

ABSTRACT

The search for sources of protein and oil, alternative to fishmeal and fish oil for aquafeeds, from animal or vegetable origin, is a current trend around the world. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal contains close to 53% protein and 17% fat. This study evaluated its use in balanced feeds for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). A control diet was formulated with 40% crude protein and 9% crude fat. Then, 25, 50 and 75% of the dietary protein was replaced by larvae meal from *H. illucens*, with or without a hydrolysis treatment, in a 3 × 2 factorial design. Tilapia fry (0.26 g, initial individual weight) were fed during 6 weeks and biological performance, feed efficiency, proximate composition and muscle amino acid profile were evaluated. Apparent digestibility coefficient of protein was evaluated *in vivo*, by feeding a similar set of diets with chromic oxide for an additional week, and collecting feces 2 hours after each feeding. A significantly better biological performance and feed efficiency was recorded in fish fed the diets with 50 and 75% replacement using the non-hydrolyzed meal. In general, no statistical differences were observed in body indices, proximate composition or amino acid profile of muscle, except for the viscerosomatic index, and crude fat and some amino acids of the muscle of fish fed the hydrolyzed meal. Increasing the replacement level of dietary protein by this meal significantly improved the apparent digestibility coefficient of protein, from 75.67% up to 79.20%, unlike the hydrolysis treatment, demonstrating that such treatment is unnecessary to break down chitin, since tilapia was able to efficiently utilize its nutrients. Under these experimental conditions, the factibility of the use of black soldier fly larvae meal to replace up to 75% of the dietary protein in diets for Nile tilapia was confirmed, and the hydrolysis treatment is not required.

INDICE GENERAL

	Página
APROBACIÓN	<i>i</i>
DEDICATORIA	<i>ii</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>iii</i>
RESUMEN	<i>iv</i>
ABSTRACT	<i>v</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>viii</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>ix</i>
INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	4
I.1. Acuacultura mundial.....	4
I.1.1. Acuacultura en México.....	4
I.2. Familia Cichlidae	5
I.3. Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	5
I.3.1. Clasificación taxonómica.....	7
I.3.2. Producción de tilapia del Nilo.....	7
I.4. Alimentación de la tilapia.....	8
I.5. Proteína.....	9
I.6. Productos alternativos para el reemplazo de harina de pescado.....	10
I.6.1. Harina de mosca soldado negro (<i>Hermetia illucens</i>).....	10
II. HIPÓTESIS	13
III. OBJETIVOS	13
III.1. Objetivo general	13
III.2. Objetivos específicos.....	13
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	14
IV.1. Obtención de los organismos.....	14
IV.2. Sistema de cultivo experimental.....	14
IV.3. Diseño experimental.....	15
IV.4. Formulación y preparación de dietas experimentales.....	15
IV.5. Siembra, alimentación y mantenimiento de organismos.....	19
IV.6. Calidad del agua.....	19
IV.7. Parámetros de crecimiento, eficiencia alimentaria e índices corporales.....	20
IV.8. Análisis proximal.....	20
IV.8.1. Humedad.....	21
IV.8.2. Ceniza.....	21
IV.8.3. Grasa cruda.....	22
IV.8.4. Proteína cruda.....	22
IV.8.5. Contenido energético.....	23
IV.9. Perfil de aminoácidos.....	23
IV.10. Digestibilidad de proteína.....	24
IV.11. Análisis estadístico.....	25

V.	RESULTADOS	26
	V.1. Crecimiento, eficiencia alimentaria, índices corporales y coeficiente digestibilidad aparente de proteína.....	26
	V.2. Composición proximal de organismo completo y músculo.....	32
	V.3. Composición de aminoácidos de músculo	32
VI.	DISCUSIÓN	37
	VI.1. Crecimiento, eficiencia alimentaria, índices corporales y coeficiente digestibilidad aparente de proteína.....	37
	VI.2. Composición proximal de organismo completo y tejido muscular.....	40
	VI.3. Composición de aminoácidos de tejido y dietas experimentales.....	41
VII.	CONCLUSIONES	43
VIII.	RECOMENDACIONES.....	44
IX.	LITERATURA CITADA	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Morfología de la tilapia del Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> .	6
2	Clasificación taxonómica de <i>Oreochromis niloticus</i> .	7
3	Principales países productores de <i>O. niloticus</i> (FAO,2005).	8
4	Sistema Experimental de Cultivo. Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola en la UEK.	15
5	Elaboración de dietas experimentales en el extrusor Hobart A-200.	19
6	Horno de laboratorio.	21
7	Mufla de laboratorio.	22
8	Analizador de nitrógeno DUMAS.	22
9	Calorímetro adiabático IKA C5003.	23
10	Cromatógrafo líquido de alto rendimiento (HPLC).	24

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Ingredientes, composición proximal y contenido energético de las dietas experimentales con tres niveles de reemplazo de proteína por harina de insecto (25, 50 y 75%) y 2 tratamientos en la harina de insecto, sin hidrólisis o hidrolizada.	16
1	Continuación: Formulaciones con oxido crómico para estudio de digestibilidad, reemplazo celulosa.	17
2	Composición de aminoácidos (g/100 g de dieta seca) de las dietas experimentales con tres niveles de reemplazo de proteína por harina de insecto (25, 50 y 75%) y 2 tratamientos en la harina de insecto, sin hidrólisis o hidrolizada.	18
3	Desempeño biológico de <i>O. niloticus</i> alimentada con harina de <i>H. illucens</i> durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria.	28
4	Eficiencia alimentaria, índices corporales y ADC de proteína cruda de <i>O. niloticus</i> alimentada con harina de <i>H. illucens</i> durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína.	29
5	Desempeño biológico de <i>O. niloticus</i> alimentada con harina de <i>H. illucens</i> durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria, en comparación con el tratamiento.	30
6	Eficiencia alimentaria e índices corporales de <i>O. niloticus</i> alimentada con harina de <i>H. illucens</i> durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria, en comparación con el tratamiento control.	31
7	Composición proximal de músculo y organismo completo de <i>O. niloticus</i> alimentada con harina de <i>H. illucens</i> durante 42 días con y	33

	sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria.	
8	Composición proximal de músculo y organismo completo de <i>O. niloticus</i> alimentada con harina de <i>H. illucens</i> durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria, en comparación con el tratamiento Control.	34
9	Composición de aminoácidos (g/100g de materia seca) de músculo de <i>O. niloticus</i> alimentada con harina de <i>H. illucens</i> durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria.	35
10	Composición de aminoácidos (g/100g de materia seca) de músculo de <i>O. niloticus</i> alimentada con harina de <i>H. illucens</i> durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria, en comparación con el tratamiento Control.	36

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad que se ha desarrollado durante cientos de años y se encuentra en constante evolución, la cual tiene lugar debido a las necesidades y experiencias que la población adquiere a lo largo del tiempo. La actividad se ha expandido por el mundo, pero difiere en los ambientes naturales, sociales, económicos y culturales en donde se desarrolla. Se estima que la producción de organismos acuáticos a nivel mundial provenientes de pesquerías y acuicultura en el año 2018 alcanzó 178.5 millones de toneladas, de las cuales, un estimado de 53.85 millones de toneladas corresponden a peces cultivados dulceacuícolas y marinos (FAO, 2020a). En México, la acuicultura tuvo un incremento en la producción del 36% durante el periodo de 2012-2016, y dentro de los peces producidos en México, la tilapia juega un papel muy importante ya que el 50% de las granjas de cultivo nacionales son de tilapia (Betanzos-Torres *et al.*, 2019).

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es una de las especies dulceacuícolas cultivadas con más éxito alrededor del mundo, su temperatura óptima es de 31 a 36°C y es un pez omnívoro, lo cual facilita su cultivo. La introducción para su cultivo en países en desarrollo ha contribuido a satisfacer los requerimientos nutricionales de proteína de la población, y progresivamente se han mejorado y adaptado las técnicas de cultivo, al igual que su producción. Hoy en día es la tercera especie de pez de agua dulce más cultivada en el mundo, después de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) y de la carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*). Su comercialización y el mercado que la consume creció a nivel mundial, lo que ha sido capitalizado por mercados pequeños, la industria restaurantera, y supermercados, entre otros rubros empresariales (FAO, 2005, 2020a).

Por ser un organismo omnívoro, la tilapia no requiere de subproductos de pescado en su dieta, sus requerimientos nutricionales son diferentes al de peces carnívoros, que necesitan la inclusión de harina y/o aceite de pescado en la dieta para lograr un óptimo desarrollo. No obstante, algunas formulaciones comerciales para tilapia pueden incluir una pequeña cantidad de harina de pescado para promover un crecimiento más rápido. En general, los nutrientes que los peces requieren son semejantes a los de organismos terrestres, los cuales son proteínas, minerales, vitaminas y fuentes de energía como lípidos y carbohidratos (Morales, 2003). Las

proteínas son el componente más importante de un organismo, es el grupo químico más abundante en cualquier cuerpo animal, a excepción del agua. La inclusión de proteína en la dieta de un pez cultivado debe hacerse en consideración de algunos aspectos importantes, como la edad o la etapa del ciclo de vida del organismo, la disponibilidad de alimento natural dentro del estanque, etc. En el caso de la tilapia, su requerimiento proteico puede llegar a variar desde un 30 hasta un 50%, por las razones antes expuestas (Montenegro, 2019).

El alimento representa uno de los principales costos de operación de una granja acuícola; los alimentos balanceados proveen a los organismos nutrientes como proteína y lípido, entre otros, y son formulados para satisfacer los requerimientos nutricionales de la especie en cuestión. Tradicionalmente, la harina de pescado es uno de los ingredientes más utilizados para satisfacer los requerimientos proteicos de las especies cultivadas. Se obtiene de las pesquerías de peces pelágicos como la sardina y la anchoveta, pero su elaboración ha causado la sobreexplotación de estos recursos naturales. Por lo tanto, su volátil disponibilidad y el aumento en sus costos ha llevado a la búsqueda de nuevos ingredientes para incorporar en los alimentos acuícolas y satisfacer las necesidades nutricionales de los organismos cultivados (Auriol-Gamboa y Balart, 1995).

En la búsqueda de reemplazos para la harina de pescado se han encontrado una variedad de fuentes proteicas alternativas muy prometedoras, como lo son los subproductos de la industria avícola, porcina y ganadera, insectos, e insumos de origen vegetal. Sin embargo, algunas de estas alternativas pueden presentar deficiencias en su contenido proteico y, principalmente, deficiencias en algunos aminoácidos particulares, pero la adición de aminoácidos limitantes en las formulaciones de alimentos balanceados, o incluso en dichos subproductos, pueden mejorar su perfil nutricional y garantizar su exitosa utilización en la elaboración de alimento para el sector acuícola (Piñeros-Roldan *et al.*, 2014).

Un ingrediente prospecto relativamente nuevo y muy interesante como posible componente de alimentos acuícolas, es la harina de larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*). La harina desgrasada de la larva de la mosca soldado negro típicamente se compone de 53% de proteína cruda, 17% de grasa, 12% de carbohidratos y fibra, 10% de ceniza y 8% de humedad (EnterraProtein™). La aparición de este ingrediente es el resultado del trabajo pionero

de empresas que buscan impulsar la producción de proteína de origen animal de forma sostenible. La producción de harina de insecto es renovable, tecnológicamente controlada y no contiene materiales de riesgo especificado (“specified risk material”), que hace alusión a ciertos agentes infecciosos encontrados en tejido ovino y bovino. Pero más importante es su interesante perfil nutricional, pues la harina de insecto, como ya se mencionó, tiene un contenido de proteína relativamente alto (53%) y un perfil de aminoácidos esenciales bastante similar al de la harina de pescado, así como niveles importantes de calcio y fósforo (Henry *et al.*, 2015; Renna *et al.*, 2017).

El desarrollo del presente trabajo está justificado no solo por la importancia de la tilapia del Nilo como una de las especies de mayor producción a nivel mundial mediante acuicultura, sino también por la búsqueda de alternativas sostenibles para la elaboración de alimentos balanceados para su cultivo. A pesar de que la inclusión de harina de pescado en alimento balanceado para tilapia es limitada, es fundamental conocer si la harina de larva de mosca soldado negro puede ser utilizada sin afectar de manera negativa el desempeño en crecimiento y el perfil nutricional de la tilapia para consumo humano.

I. ANTECEDENTES

I.1. Acuicultura mundial

A pesar de que la acuicultura es una actividad milenaria, los principales avances se han logrado a lo largo de los siglos XX y XXI, donde se observa un crecimiento acelerado sin precedentes, logrando que la acuicultura sea, desde 2016, quien suministra más de la mitad de los peces destinados para el consumo humano, alrededor del 52%. La acuicultura, junto con la pesca, satisfacen la alta demanda de organismos acuáticos para consumo humano originado por el crecimiento en la población mundial. Se espera que el incremento en producción acuícola aumente en los próximos años, y se estima que para el año 2030, la acuicultura proveerá el 59% de la producción global de peces para consumo humano (FAO, 2018, 2020b). La producción total de pescado ha estado en aumento en todos los continentes, con excepción de Europa, donde ha sufrido una disminución gradual desde la década de 1980, y en América desde la década de 1990, a diferencia de Asia y África donde casi se ha duplicado la producción en los últimos 20 años (FAO, 2020b).

Se predice que la producción por medio de la acuicultura será la principal fuente que suministrará organismos acuáticos para consumo humano en el mundo, una tendencia que se ha proyectado desde décadas atrás. También se ha pronosticado que en el año 2030 la producción global por medio de acuicultura alcanzara los 109 millones de toneladas, suponiendo así un aumento del 32.8% respecto a lo que se logró en el año 2018 (82.1 millones de toneladas). Sin embargo, el crecimiento anual medio será menor los próximos 10 años (2019-2030) con respecto a los previos (2007-2018) (FAO, 2020b). Actualmente, el crecimiento anual de la acuicultura se estima alrededor de 5.8%, menor que en décadas anteriores, pero todavía importante, y que es resultado de la expansión e intensificación de la industria (Tippayadara *et al.*, 2021).

I.1.1. Acuicultura en México

La acuicultura es una actividad con gran potencial de desarrollo en México, sin embargo, no se ha logrado el suficiente desarrollo que pudiera alcanzar, ya que aproximadamente el 80% de los

cultivos en México son de tipo extensivo y con poco desarrollo, siendo la acuicultura dulceacuícola la más desarrollada (Norzagaray *et al.*, 2012).

En la actualidad, las especies que comprenden gran parte de la producción en México son el camarón, la tilapia, el ostión, la carpa y la trucha, siendo Sonora, Sinaloa, Jalisco y Veracruz los principales estados productores (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, 2018).

En México, en el año 2017 se alcanzó un total de 404 mil toneladas de pescado y marisco cultivado en diferentes zonas de aguas dulces tales como áreas ribereñas, aguas interiores y estanques, y esto representó un valor económico de 17 mil 813 millones de pesos. En términos sociales, permitió la reactivación de comunidades rurales a nivel nacional, que es donde se encuentran gran parte de los productores (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, 2018).

I.2. Familia Cichlidae

Los cíclidos son peces que poseen una larga aleta dorsal, y la línea lateral está dividida en una porción anterior superior localizada debajo del final de la base de la aleta dorsal, y una porción inferior a lo largo de la mitad del pedúnculo caudal. Se conocen 1671 especies de esta familia, y su principal distribución geográfica se encuentra en las aguas dulces de África, América, Medio Oriente y Asia (Jiménez-Segura *et al.*, 2014).

A pesar de que los peces de la familia Cichlidae se encuentran principalmente en aguas dulces de regiones tropicales y subtropicales, algunas especies de esta familia pueden llegar a mostrar resistencia a la salinidad, incluso llegando a tolerar el agua de mar pura por un corto periodo de tiempo, la cual posee una salinidad de 35 g/L (Gómez y González-Naya, 2007). Sus miembros son conocidos por su capacidad de adaptación a una diversidad alimenticia. En México, la familia Cichlidae abarca el segundo grupo de peces dulceacuícolas más diverso, con 57 especies (Soria-Barreto *et al.*, 2011).

I.3. Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)

El cultivo de tilapia data desde el antiguo Egipto, poco más de 4,000 años a.C. Se ha descrito que poseían tilapias en estanques ornamentales. Esta especie se empezó a distribuir por todo el mundo desde 1940, y hasta la década de 1980 (FAO, 2005).

La tilapia de Nilo llega a alcanzar hasta 60 cm de longitud total; sus rasgos biológicos lo describen como un pez de cuerpo comprimido y cubierto por escamas ctenoides, boca terminal protráctil, entre 20 y 26 espinas branquiales en el lóbulo inferior del primer arco branquial, aleta dorsal extensa y aleta anal con tres espinas, comúnmente de color verdoso plateado (Figura 1) (Jiménez-Segura *et al.*, 2014).

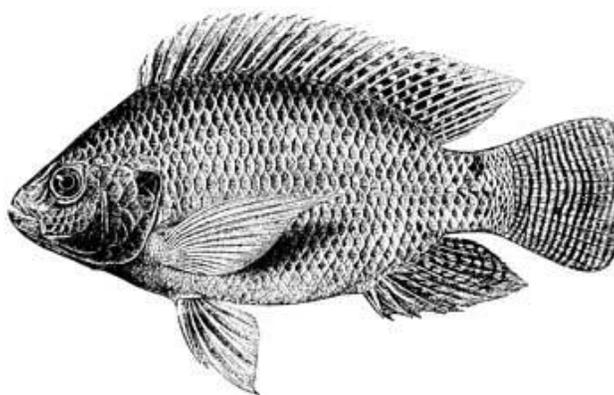


Figura 1. Morfología de la tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus* (FAO, 2005).

La madurez sexual en estanques se alcanza entre los 5 y 6 meses de edad. Su proceso de reproducción empieza cuando el macho cava un pequeño nido en donde la hembra madura desova, y tras la fertilización de los huevos por el macho, la hembra los recoge en su boca y después de 1 a 2 semanas, eclosionan (FAO, 2005).

La tilapia posee una variedad de características que contribuyen a su rápido crecimiento y en su popularidad global. Su cultivo es relativamente fácil y puede adaptarse a una variedad de condiciones ambientales; otra característica ventajosa es su fácil manipulación genética para mejorar la productividad. La reversión sexual masculina es una práctica común en esta especie, ya que los machos suelen crecer a tallas mayores y más rápido, además de que permite tener un control de la reproducción desorganizada en el estanque de cultivo (Yildirim-Aksoy *et.al.*, 2020).

I.3.1. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la especie de estudio se presenta en la Figura 2.

Reino	Animalia
Filo	Chordata
Clase	Actinopterygii
Subclase	Neopterygii
Infraclase	Teleostei
Superorden	Acanthopterygii
Orden	Perciformes
Familia	Cichlidae
Género	<i>Oreochromis</i>
Especie	<i>O. niloticus</i> (Linnaeus, 1758)

Figura 2. Clasificación taxonómica de *Oreochromis niloticus*

I.3.2. Producción de tilapia del Nilo

La tilapia es una de las especies de mayor éxito en cultivo en el mundo, con una producción por medio de acuicultura de 5.9 millones de toneladas en 2017 (Yildirim-Aksoy *et.al.*, 2020). A pesar de ser de las especies de mayor producción a nivel mundial, su potencial en el mercado europeo sigue siendo muy alto (Figura 3), ya que apenas se empieza a desarrollar su potencial nutricional y comercial, y se considera un producto adecuado para sustituir la carpa (FAO, 2005).

De las características más importantes a considerar para un posible aumento en su comercialización es la presentación del producto, esto se refleja en que el producto proveniente de países asiáticos es mayormente en pescado congelado, mientras que el mercado de occidente tiene preferencia por el filete (FAO, 2005).

ingrediente nutritivo con un perfil de aminoácidos muy deseable; sin embargo, tiene un elevado precio en el mercado y no siempre se encuentra disponible (González- Félix *et al.*, 2010). La producción de un alimento acuícola comprende dos etapas, la primera es la formulación, que comprende el conocimiento de las necesidades nutricionales de la especie, los conocimientos de composición química y bromatológica del ingrediente a utilizar y los costos de fabricación y proceso; y el segundo, la fabricación, cuyo objetivo es la reproducción del diseño de la fórmula (Achupallas, 1994).

El éxito o fallo en una actividad como la acuicultura habitualmente consiste, entre otros elementos, en el adecuado manejo de los recursos necesarios para un eficiente crecimiento y así obtener resultados favorables en la producción, es decir, incluye la aplicación eficiente de las técnicas de alimentación, considerando la calidad del alimento y la cantidad suministrada (Montenegro, 2019). La tilapia, de hábitos alimenticios omnívoros, crece rápidamente con alimentos balanceados con bajos contenidos de proteína y tolera mayores niveles de carbohidratos que muchas especies carnívoras cultivadas. También acepta alimentos con alto porcentaje de proteína vegetal (FAO, 2005).

I.5. Proteína

Las proteínas son el constituyente de mayor importancia para cualquier célula con vida, y se consideran el grupo químico más abundante en el cuerpo de cualquier animal, con excepción del agua. Las proteínas son componentes esenciales para el núcleo y protoplasma celular, y forman parte del tejido muscular, órganos internos, cerebro, nervios y piel.

Sus funciones son principalmente tres:

- Reparación de tejido dañado y formación de tejido nuevo.
- La proteína, al ser catabolizada, puede actuar como fuente de energía o como sustrato para la formación de lípidos y carbohidratos en los organismos.
- Formación de hormonas, enzimas y sustancias biológicamente importantes.

El proceso de formulación de alimentos requiere información sobre requerimientos nutricionales en las especies acuáticas, que son resultado de ensayos de alimentación realizados

en laboratorios, en donde los organismos se mantienen en condiciones controladas y sin ningún acceso a alimento natural externo (Tacon, 1989).

I.6. Productos alternativos para el reemplazo de harina de pescado

La producción de alimentos balanceados para la acuicultura ha sido una de las principales problemáticas que confronta esta actividad. Una ración de alimento que se considere adecuada depende de los nutrientes que contenga, y comúnmente estos alimentos son conformados en su mayoría por harina de pescado en primer lugar, y en segundo lugar por la harina de soya. Sin embargo, en años recientes el aumento en los costos de estos productos representa un problema para su incorporación en alimentos acuícolas (Piñeros-Roldan *et al.*, 2014).

Entre las tendencias mundiales en la formulación de alimento balanceado está la sustitución o reemplazo de harina y aceite de pescado, y se han realizado innumerables estudios en donde se busca sustituirlos por ingredientes alternativos de fuentes animales o vegetales, como lo son las harinas de sangre, de plumas hidrolizadas, soya, girasol, algodón, chícharo y linaza (El-Saidy y Gaber, 2002), entre otras. En la actualidad, los insectos han tomado protagonismo como objeto de investigación, y se piensa que en un futuro serán una de las más importantes fuentes de proteína para diferentes mercados (Domínguez, 1997).

I.6.1. Harina de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*)

La mosca soldado negro, *Hermetia illucens*, es una especie de díptero braquícero (con dos alas) de la familia Stratiomyidae originaria de América. La forma adulta se asemeja a una abeja, sin embargo, carece de aguijón. Sus larvas tienen una longitud de 10 a 40 mm, con un grosor de 0.5mm. La etapa adulta de ese insecto depende de las reservas que logró acumular durante su fase larvaria, ya que no necesita alimentarse. Su etapa adulta es corta y tienen un periodo de entre 5 y 8 días para aparearse y depositar sus huevos; esta es una de las razones por la cual se dificulta que haya colonias de mosca soldado negra adultas. La fase larvaria, por el contrario, es la más larga, y es durante esta etapa que la especie puede llegar a consumir grandes cantidades de residuos de alimentos o estiércol, los cuales procesa reciclando los nutrientes que consumen en proteína propia de alto valor nutricional (Segura-Cazorla, 2015).

La entomofagia (consumo de insectos por el ser humano) que se practica en distintas culturas alrededor del mundo, ha llevado a abrir un nuevo campo de investigación sobre el aporte de nutrientes y las capacidades nutricionales de los insectos como alimento. Distintos estudios han llegado a la conclusión de que el aporte proteico es similar al de la carne, y aunque la mosca soldado negra no es aún para consumo humano, se han abierto nichos de búsqueda como fuente alternativa de proteína para alimentos acuícolas, por ejemplo (Segura-Cazorla, 2015).

La mosca soldado negra no es una plaga tropical, pero puede colonizar una amplia variedad de vegetales en descomposición y materia animal. No es considerada como una plaga como las moscas comunes adultas, y no se sienten atraídas por asentamientos humanos o alimentos, y por lo tanto no se consideran como vectores importantes para la transmisión de enfermedades. Las pre-pupas contienen 42% de proteína cruda y 35% de grasa (Muin *et al.*, 2017). Sin embargo, la harina de larva de esta fuente, una vez desgrasada, puede presentar un contenido de 53% de proteína cruda y 17% de grasa cruda, lo que la puede convertir en una fuente promisoría para el reemplazo de harina de pescado, pero la información sobre su uso en la alimentación de peces es todavía limitada. Es importante resaltar que, al desgrasar la harina de insectos, se genera una alta concentración de aminoácidos digestibles. Adicionalmente, el proceso ayuda a la concentración de la proteína y a mantener la calidad del alimento, y permite aprovechar la grasa para otros usos de valor agregado (Juárez, 2020).

Por otra parte, se sabe que la larva de mosca soldado negra pueden contener entre 7.8-9.5% de quitina, dependiendo del método de extracción (Soetemans *et al.*, 2020). La quitina es un carbohidrato estructural compuesto de unidades de N-acetyl-D-glucosamina que forma parte del exoesqueleto de artrópodos, como los insectos o crustáceos, entre otros. Los organismos que habitualmente se alimentan de ellos poseen quitinasa entre sus enzimas digestivas, que hidroliza este compuesto, pero en otros organismos su digestibilidad es reducida. Se han evaluado algunos procedimientos para mejorar la digestibilidad de harinas que contienen quitina, e.g., harina de camarón, con tratamientos previos a su incorporación en alimento balanceado, entre los que se pueden mencionar la hidrólisis ácida utilizando ácido clorhídrico, ácido fórmico y otros (Rahman y Koh, 2015, 2016). La hidrólisis ácida como tratamiento previo ha demostrado promover el incremento en la digestibilidad de la quitina presente en la harina de camarón, así como de los nutrientes presentes en dietas ofrecidas a pollos de engorda.

Es evidente entonces que el uso de la harina de larva de mosca soldado negra *Hermetia illucens* para alimentación de peces tiene gran relevancia (Gobbi, 2012), y por ello se investiga su uso en alimento para tilapia, así como también se investiga la posibilidad de mejorar su digestibilidad mediante hidrólisis ácida en el presente trabajo.

II. HIPÓTESIS

El uso de harina de insecto (*Hermetia illucens*) en la dieta de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es factible.

III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo general

Evaluar el uso de harina de insecto (*Hermetia illucens*) en alimentos balanceados para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

III.2. Objetivos específicos

- a) Elaborar dietas para tilapia del Nilo (*O. niloticus*) utilizando harina de insecto (*H. illucens*) en reemplazo de proteína dietaria.
- b) Evaluar el efecto de las dietas experimentales sobre parámetros de producción de tilapia.
- c) Evaluar el efecto de las dietas experimentales sobre la composición proximal y perfil de aminoácidos de tilapia.
- d) Evaluar el efecto de un tratamiento químico de hidrólisis sobre la digestibilidad *in vivo* de la harina de insecto.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento con una duración de 42 días, con tilapia del Nilo (*O. niloticus*) en el Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola de la Unidad Experimental Kino (UEK) del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS) ubicado en Bahía de Kino, Sonora, México.

IV.1. Obtención de los organismos

Un grupo de aproximadamente 500 alevines de *O. niloticus* con un peso promedio individual de 0.26 ± 0.00 g, se obtuvieron del Laboratorio CRILAP S.P.R. de R.L., ubicado en San Pedro el Saucito, Sonora, México. Los organismos fueron transportados al Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola en la UEK, Bahía de Kino, Sonora, México.

IV.2. Sistema de cultivo experimental

El sistema experimental consistió en 28 tanques circulares con capacidad de 250 litros (71 cm de diámetro, 0.4 m² de superficie) que fueron llenados con aproximadamente 200 litros de agua dulce proveniente de la red pública. Cada tanque contaba con suministro de aire constante por medio de mangueras, piedras aireadoras y un soplador de 1.0 HP (Fuji, Modelo VFC40, Saddle Brook, New Jersey, EUA). El sistema se encontraba en constante recirculación de agua mediante una bomba de 1.5 HP (Jacuzzi, Modelo 150 MF-T, Little Rock, Arkansas, EUA). El agua en recirculación circulaba a través de un filtro biológico, un filtro de arena (Jacuzzi, modelo L-190-7, Little Rock, Arkansas, EUA) y una luz UV de 12' watts (Rainbow salvavidas, Modelo UV97, El Monte, California, EUA) (Figura 4).



Figura 4. Sistema Experimental de Cultivo. Laboratorio Húmedo de Nutrición Acuícola en la UEK.

IV.3. Diseño experimental

El diseño experimental establecido fue un diseño factorial 3×2 , correspondiente a 3 niveles de reemplazo de la proteína dietaria por harina de larva de *H. illucens* (25, 50 y 75%), y 2 procesos aplicados a la harina de insecto, hidrolizada o no hidrolizada, lo que en total generan como resultado 6 combinaciones experimentales. Adicionalmente se utilizó 1 dieta control como referencia, la cual no contenía harina de insecto, y cada tratamiento se asignó aleatoriamente a 4 tanques experimentales.

IV.4. Formulación y preparación de dietas experimentales

Se formuló una dieta control con contenidos de proteína y grasa cruda de 40 y 9% respectivamente. Posteriormente se reemplazó 25, 50 y 75% de la proteína dietaria por harina de larva de *H. illucens*, con y sin un proceso previo de hidrólisis, las formulaciones se muestran en la Tabla 1 y sus perfiles de aminoácidos en la Tabla 2.

La preparación de las dietas se realizó en un equipo extrusor Hobart A-200, los ingredientes previamente pesados se añadieron individualmente y se mezclaron hasta lograr su homogenización, se añadió agua hirviendo mientras se continuaba mezclando, y se procedió a la extrusión (Figura 5). El secado se realizó con aire a contracorriente durante 24 horas, pasado este tiempo las dietas se almacenaron en bolsas individuales en congelación, hasta su uso.

Tabla 1. Ingredientes, composición proximal y contenido energético de las dietas experimentales con tres niveles de reemplazo de proteína por harina de insecto (25, 50 y 75%) y 2 tratamientos en la harina de insecto, sin hidrólisis o hidrolizada.

Ingredientes	Reemplazo de proteína						
	Control	Sin hidrólisis			Hidrolizada		
		25%	50%	75%	25%	50%	75%
Concentrado de proteína de soya ¹	34.11	25.58	17.06	8.53	25.58	17.06	8.53
Harina de gluten de maíz ²	8.00	6.00	4.00	2.00	6.00	4.00	2.00
Harina de pescado (Sardina) ³	5.00	3.75	2.50	1.25	3.75	2.50	1.25
Harina de insecto EnterraPro ⁴	0.00	14.11	28.21	42.33	14.11	28.21	42.33
Harina de trigo integral ⁵	39.59	39.54	39.48	39.39	39.54	39.48	39.39
Aceite de soya ⁶	6.80	4.52	2.25	0.00	4.52	2.25	0.00
Harina de <i>Schizochytrium</i> ⁷	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lecitina de soya ⁸	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Rovimix ⁹	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
CaP-dibásico ¹⁰	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Celulosa ¹¹	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Metionina ¹¹	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Lisina ¹¹	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Vitamina Stay C 35% ¹²	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Oxido crómico ¹³	-	-	-	-	-	-	-
<i>Total</i>	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Composición proximal							
Humedad (%)	8.68	7.69	5.44	5.49	5.13	5.10	5.22
Ceniza (%)	1.82	1.86	1.93	1.99	1.93	1.91	1.90
Proteína cruda (%)	38.61	39.51	41.25	42.21	40.79	42.35	43.31
Grasa cruda (%)	9.50	9.88	9.52	9.23	9.38	9.68	9.59
Contenido energético (Kj/g)	19.11	19.00	19.28	18.97	19.69	19.54	19.46

¹Procesadora de ingredientes, S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco, México.

²Ingredion, S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, México.

³Productos Pesqueros de Guaymas (PROPEGUAY) S.A. de C.V., Guaymas, Sonora, México.

⁴EnterraProtein™, 53% CP, 17% CF, Enterra™, Langley, British Columbia, Canada.

⁵Los Gallos, Molino La Fama S.A. de C.V., Hermosillo, Sonora, México.

⁶Ragasa Industrias S.A. de C.V. Monterrey, Nuevo León, México.

⁷*Schizochytrium* SP1, Alltech, Inc., Nicholasville, KY, USA, with CP, CF, and DHA contents of 13.3, 70.0, and 16%, respectively.

⁸Golden Harvest, Impulsora Golden, S.A. de C.V., México DF, México.

⁹Rovimix, Insumos Nubiot, Obregon City, Sonora, México.

¹⁰Fagalab, Mocorito, Sinaloa, México.

¹¹Alfa, Aesar, Ward hill, Massachusetts, USA.

¹²Stay C® (L-ascorbyl-2-polyphosphate 35% active C), Roche Vitamins Inc., Parsippany, New Jersey, USA.

¹³Fisher Scientific, Fair Lawn, NJ, USA.

Tabla 1. Continuación: Formulaciones con óxido crómico para estudio de digestibilidad, reemplazando celulosa.

Ingredientes	Reemplazo de proteína					
	Sin hidrólisis			Hidrolizada		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
Concentrado de proteína de soya ¹	25.58	17.06	8.53	25.58	17.06	8.53
Harina de gluten de maíz ²	6.00	4.00	2.00	6.00	4.00	2.00
Harina de pescado (Sardina) ³	3.75	2.50	1.25	3.75	2.50	1.25
Harina de insecto EnterraPro ⁴	14.11	28.21	42.33	14.11	28.21	42.33
Harina de trigo integral ⁵	39.54	39.48	39.39	39.54	39.48	39.39
Aceite de soya ⁶	4.52	2.25	0.00	4.52	2.25	0.00
Harina de <i>Schizochytrium</i> ⁷	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lecitina de soya ⁸	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Rovimix ⁹	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
CaP-dibásico ¹⁰	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Celulosa ¹¹	-	-	-	-	-	-
Metionina ¹¹	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Lisina ¹¹	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Vitamina Stay C 35% ¹²	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Oxido crómico ¹³	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
<i>Total</i>	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Composición proximal						
Humedad (%)	7.93	6.82	8.13	6.72	6.82	6.70
Ceniza (%)	1.82	1.84	1.87	1.84	1.88	1.88
Proteína cruda (%)	38.74	40.32	41.02	40.15	41.37	42.75

¹Procesadora de ingredientes, S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco, México.

²Ingredion, S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, México.

³Productos Pesqueros de Guaymas (PROPEGUAY) S.A. de C.V., Guaymas, Sonora, México.

⁴EnterraProtein™, 53% CP, 17% CF, Enterra™, Langley, British Columbia, Canada.

⁵Los Gallos, Molino La Fama S.A. de C.V., Hermosillo, Sonora, México.

⁶Ragasa Industrias S.A. de C.V. Monterrey, Nuevo León, México.

⁷*Schizochytrium* SP1, Alltech, Inc., Nicholasville, KY, USA, with CP, CF, and DHA contents of 13.3, 70.0, and 16%, respectively.

⁸Golden Harvest, Impulsora Golden, S.A. de C.V., México DF, México.

⁹Rovimix, Insumos Nubiot, Obregon City, Sonora, México.

¹⁰Fagalab, Mocorito, Sinaloa, México.

¹¹Alfa, Aesar, Ward hill, Massachusetts, USA.

¹²Stay C® (L-ascorbyl-2-polyphosphate 35% active C), Roche Vitamins Inc., Parsippany, New Jersey, USA.

¹³Fisher Scientific, Fair Lawn, NJ, USA.

Tabla 2. Composición de aminoácidos (g/100 g de dieta seca) de las dietas experimentales con tres niveles de reemplazo de proteína por harina de insecto (25, 50 y 75%) y 2 tratamientos en la harina de insecto, sin hidrólisis o hidrolizada.

	Aminoácidos esenciales									Aminoácidos no esenciales						
	Arg	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Val	Asp	Glu	Ala	Gly	Ser	Tau	Tyr
Tratamientos																
Control	4.83	1.75	2.28	3.61	0.77	1.86	2.03	3.80	3.99	2.91	4.85	4.77	0.71	3.53	0.99	0.60
25% / No hidrolizada	4.81	1.97	2.28	3.75	0.62	1.81	2.19	4.52	3.96	2.78	4.68	4.59	0.92	4.30	1.55	0.53
50% / No hidrolizada	5.33	2.30	1.98	3.59	0.70	1.72	1.86	4.70	3.78	2.41	4.26	4.88	1.21	3.91	1.81	0.48
75% / No hidrolizada	6.55	2.80	1.18	2.81	0.65	1.34	1.06	5.53	2.70	1.83	3.92	5.32	1.75	3.26	2.39	0.37
25% / Hidrolizada	5.53	2.24	1.72	3.34	0.35	1.80	1.73	5.37	3.36	2.91	4.74	4.68	0.95	4.28	1.53	0.37
50% / Hidrolizada	5.74	2.40	1.57	3.19	0.35	1.62	1.40	5.87	3.17	2.65	4.47	5.14	1.13	4.03	1.86	0.36
75% / Hidrolizada	6.31	2.71	1.28	2.71	0.32	1.20	1.08	6.15	2.82	1.69	4.33	5.51	1.91	3.03	2.55	0.38
Nivel de reemplazo (%)*																
25	5.17	2.10	2.00	3.51	0.48	1.80	1.96	5.03	3.72	2.84	4.70	4.63	0.94	4.29	1.54	0.45
50	5.58	2.35	1.82	3.39	0.49	1.67	1.68	5.17	3.54	2.51	4.35	4.99	1.17	3.96	1.84	0.41
75	6.43	2.75	1.23	2.76	0.48	1.27	1.07	5.84	2.76	1.77	4.16	5.42	1.83	3.15	2.47	0.38
Harina de Insecto*																
No hidrolizada	5.60	2.40	1.76	3.34	0.65	1.62	1.64	4.89	3.48	2.28	4.33	4.93	1.30	3.76	1.98	0.46
Hidrolizada	5.86	2.47	1.49	3.08	0.34	1.54	1.36	5.73	3.07	2.41	4.49	5.17	1.35	3.67	2.00	0.37

Los valores son promedios \pm desviación estándar de tres replicados. Abreviaciones: Arg: arginina, His: histidina, Ile: isoleucina, Leu: leucina, Lys: lisine, Met: metionina, Phe: fenilalanina, Thr: treonina, Val: valine, Asp: ácido aspártico, Glu: ácido glutámico, Ala: alanina, Gly: glicina, Ser: serina, Tau: taurina, Tyr: tirosina. *Los promedios para los efectos principales se proporcionan como información adicional para mostrar tendencias provocadas por cambios en las variables manipuladas.



Figura 5. Elaboración de dietas experimentales en el extrusor Hobart A-200.

IV.5. Siembra, alimentación y mantenimiento de organismos

Los peces fueron pesados grupalmente y colocados en cada uno de los tanques experimentales, la densidad de siembra utilizada fue de 15 peces/tanque, que fueron seleccionados de forma aleatoria, y se registró un peso individual inicial promedio (\pm desviación estándar) de $0.26 \text{ g} \pm 0.00$. La ración inicial de alimento el primer día del estudio, se ajustó, con fines prácticos, para otorgar un 3.5% de peso inicial de los peces. A partir del segundo día y hasta finalizar el estudio los peces se alimentaron a saciedad tres veces al día, a las 8:00, 13:30 y 19:00 h. Las heces se retiraban mediante sifoneo diario previamente a la primera alimentación del día.

IV.6. Calidad del agua

Se realizaron mediciones diarias de oxígeno disuelto, temperatura y salinidad por medio de un oxímetro multifunción (YSI, Model Pro2030, Yellow Springs, OH, USA), mientras que el pH se midió dos veces por semana (Meter pH/ISE, Thermo Scientific, Model Orion 4-Star pH/ISE, Beverly, MD, USA), y las concentraciones de nitrógeno amoniacal total y nitritos se midieron semanalmente con un espectrofotómetro Hach (Model DR3900, Loveland, CO, USA). Los valores promedio obtenidos \pm desviación estándar, fueron $7.04 \pm 0.58 \text{ mg O}_2/\text{L}$, $31.39 \pm 0.65^\circ\text{C}$,

1.52 ± 1.18 g/L, 8.16 ± 0.34, 0.40 ± 0.49 mg NH₄-N/L y 0.23 ± 0.23 mg NO₂-N/L, respectivamente, manteniéndose dentro de los rangos adecuados para el cultivo de esta especie.

IV.7. Parámetros de crecimiento, eficiencia alimentaria e índices corporales

Al concluir las 6 semanas de experimentación, los organismos fueron pesados grupalmente, se sacrificaron y se almacenaron en bolsas individuales por cada tanque experimental, almacenándose en hielo durante su transporte al Laboratorio de Nutrición Acuícola del DICTUS, y luego a -80°C hasta su posterior análisis. Para evaluar el desempeño biológico, eficiencia alimenticia e índices corporales se midieron los siguientes parámetros: peso final (g); peso ganado (g) = (peso final, g - peso inicial, g); incremento de peso diario (g/día) = peso ganado, g / tiempo, días; supervivencia (%) = (No. Final de organismos × 100 / No. Inicial de organismos); tasa de crecimiento específico (TCE, %/día) = (ln peso final - ln peso inicial) / tiempo, días × 100; factor de conversión de alimento (FCA) = alimento consumido, g / peso ganado, g; factor de condición (K) = (peso, g / longitud³, mm); tasa de eficiencia proteica (TEP) = (peso ganado, g / proteína cruda consumida, g); índice hepatosomático (IHS,%) = (peso del hígado, g / peso final, g) × 100, e índice viscerosomático (IVS,%) = (peso de vísceras, g / peso final, g) × 100.

IV.8. Análisis proximal

El análisis de composición proximal se realizó en cuatro muestras por tratamiento en organismo completo y tejidos de músculo, mientras que para las dietas experimentales se realizó por triplicado. Los parámetros evaluados de composición proximal fueron: humedad, ceniza, grasa cruda y proteína cruda. De manera complementaria se realizó, por duplicado, la determinación del contenido energético de dietas experimentales.

IV.8.1. Humedad

La determinación de humedad se realizó siguiendo el método cuantitativo gravimétrico 930.15 de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2015). Un peso conocido de aproximadamente 2 g de muestra se sometió a pérdida de humedad en un horno de laboratorio (Figura 6) a 105 °C durante 6 h. Al transcurrir el tiempo indicado, se retiró el crisol con pinzas y se dejó enfriar en un desecador por 30 min. Posteriormente, el crisol con la muestra seca se pesó y el porcentaje de humedad se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{peso crisol} + \text{muestra húmeda}) - (\text{peso crisol con muestra seca})}{\text{peso muestra húmeda}} \times 100$$



Figura 6. Horno de laboratorio.

IV.8.2. Ceniza

La determinación de cenizas se realizó siguiendo el método cuantitativo 942.05 (AOAC, 2015). La muestra seca obtenida de la determinación de humedad se incineró en una mufla (Figura 7) a 550°C durante 6 h. Posteriormente, el crisol con la muestra incinerada se colocó en enfriamiento dentro de un desecador a temperatura ambiente hasta alcanzar la temperatura ambiente. Finalmente se pesó en una balanza analítica y se calculó el porcentaje de cenizas por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{peso de crisol con ceniza} - \text{peso de crisol}}{\text{peso de muestra húmeda}} \times 100$$



Figura 7. Mufla de laboratorio.

IV.8.3. Grasa cruda

La determinación de grasa cruda se realizó mediante el método descrito por Folch *et al.* (1957), que consiste en la extracción, homogenizando la muestra con cloroformo-metanol 2:1 (v/v) y filtrando el homogenizado. Una alícuota del filtrado, que contiene los lípidos de la muestra, se coloca en un tubo previamente pesado y se evapora en un evaporador de nitrógeno, para finalmente por diferencia de peso, obtener el contenido de grasa.

IV.8.4. Proteína cruda

La determinación de proteína cruda se realizó mediante el método 986.06 (AOAC, 2005), mediante la combustión de la muestra en un analizador de nitrógeno DUMAS (Modelo 702 NDA, VELP Scientifica, Usmate, Italia) (Figura 8).



Figura 8. Analizador de nitrógeno DUMAS.

IV.8.5. Contenido energético

El contenido energético de las dietas experimentales se determinó mediante un calorímetro adiabático (Modelo IKA C5003, IKA-Werke GmbH, Staufen, Alemania) (Figura 9).

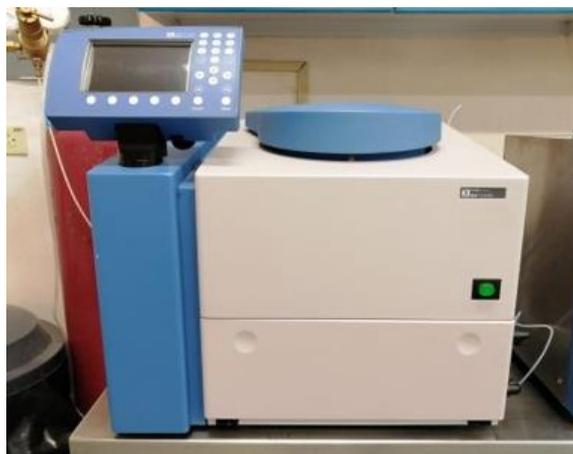


Figura 9. Calorímetro adiabático IKA C5003.

IV.9. Perfil de aminoácidos

El perfil de aminoácidos de las dietas experimentales y muestras de tejido muscular se analizaron mediante de cromatografía líquida de alto rendimiento (High performance liquid chromatography o HPLC, por sus siglas en inglés) (Figura 10) de acuerdo con el protocolo descrito por Vázquez-Ortiz *et al.* (1995). Se utilizaron las muestras previamente desgrasadas después de la determinación de grasa cruda. Se hidrolizaron muestras de 3.0 mg en tubos de hidrólisis al vacío con 3 mL (Cat. 29,751, Thermo Scientific, Rockford, IL, USA) de HCl 6 N y 3.0 mg de tioglicolato de sodio (Cat.106691, Merck, Darmstadt, Alemania) durante 6 h a 150°C. Las muestras hidrolizadas se evaporaron a una temperatura de 65°C, realizando un doble enjuague con 3.0 mL de H₂O grado HPCL en un rotavapor (IKA HB 10 Digital, IKA Works Inc., Wilmington, NC, USA); posteriormente las muestras se suspendieron en un 1 mL de buffer de citrato de sodio (pH 2.2). Una alícuota de 200 µL con 40 µL de estándar interno (ácido α -aminobutírico) se aforó a 1 mL con buffer de citrato de sodio, a partir de este se obtuvo una alícuota de 200 µL que se derivatizó con 200 µL de solución OPA (orto-ftalaldehído), y se filtró

con filtro de nylon de 0.22 μm . Se inyectó una alícuota de 10 μL en la columna (Microsorb 100 C18, Agilent Technologies, Middleburg, Holanda) del HPLC (Varian 9012, Walnut Creek, CA, USA) equipado con un detector de fluorescencia (Varian Pro-Star Fluorescence Detector) con una excitación y emisión de 340 y 455 nm, respectivamente. Los aminoácidos se identificaron mediante la comparación de los tiempos de retención de una solución estándar conocida de aminoácidos (Cat. 20,088, Amino Acid Standard H, Thermo Scientific Pierce, Bothell, WA, USA), y el ácido α -aminobutírico se añadió como estándar interno cuantitativo. Los valores se expresaron en g/100 g de dieta seca para las dietas experimentales, y g/100 g de tejido seco para muestras de músculo.



Figura 10. Cromatógrafo líquido de alto rendimiento (HPLC).

IV.10. Digestibilidad de proteína

Una vez concluido el estudio de crecimiento con duración de 6 semanas, 10 peces se regresaron a sus respectivos tanques para hacer la evaluación de la digestibilidad *in vivo*. Los organismos se alimentaron con dietas que contenían 0.5% de óxido crómico (Tabla 1) durante dos días como periodo de purga. A partir del tercer día y hasta el séptimo (5 días consecutivos) se realizó una recolección de heces en cada tanque 2 horas después de cada alimentación, almacenándose en un tubo de ensayo de 25 mL etiquetado. Las heces se guardaron en congelación a -20.0°C hasta su análisis. La determinación de cromo en heces y dietas se realizó mediante la cuantificación

de cromo total mediante espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (Inductively Coupled Plasma Spectrometry, ICP), utilizando la técnica de digestión ácida EPA 6010-D SW-846 (Environmental Protection Agency, EPA) (US EPA, 2014); el porcentaje aparente de digestibilidad de proteína se determinó mediante la siguiente fórmula (NRC, 1983):

$$\% \text{ Nutrient digestibility} = 100 - \left(\left(\frac{\% \text{ dietary } Cr_2O_3}{\% \text{ faecal } Cr_2O_3} \right) \left(\frac{\% \text{ faecal nutrient}}{\% \text{ dietary nutrient}} \right) 100 \right)$$

IV.11. Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) a todos los parámetros de crecimiento, eficiencia alimentaria e índices corporales de organismos y músculo. Se utilizó un nivel de probabilidad de $P \leq 0.05$ para establecer diferencias significativas, y la prueba de separación de promedios de Tukey HSD en caso de observar diferencias. Adicionalmente, se realizó una prueba de Dunnett para comparar cada tratamiento con el tratamiento control. Para variables porcentuales se aplicó una transformación de arco seno, sin embargo, se presentan los datos no transformados. Los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete estadístico "Statistical Analysis System" (SAS Institute Inc., 2013, Software Release 9.4, Cary, NC, USA).

V. RESULTADOS

V.1. Crecimiento, eficiencia alimentaria, índices corporales y coeficiente digestibilidad aparente de proteína.

El análisis de varianza de dos vías al inicio del estudio, aplicado con la finalidad de asegurar la homogeneidad del peso inicial de los organismos entre los diferentes tratamientos, no detectó diferencias significativas entre distintos niveles de reemplazo de proteína ($P=0.1435$), entre los tratamientos (hidrolizado o no hidrolizado) realizados a la harina de insecto ($P=0.4249$), o en la interacción entre ambas variables ($P=0.8478$), que era de esperarse. Sin embargo, al finalizar el experimento, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos para diversas variables de crecimiento (Tabla 3). El peso final mostró diferencias significativas por efecto del nivel de reemplazo ($P<0.0001$); fue significativamente menor para el nivel de 25% de reemplazo, 20.09 g, pero no se evidenciaron diferencias entre 50 y 75%, con 23.04 y 23.11 g, respectivamente. El peso ganado, incremento en peso diario, y tasa de crecimiento específico siguieron las mismas tendencias, 19.83 g, 0.47 g/día y 10.33 %/día, respectivamente, para 25% de reemplazo, significativamente menores que los valores correspondientes a 50 y 75% que fueron estadísticamente semejantes entre ellos. Por otra parte, se hizo evidente que el tratamiento de hidrólisis propició el decremento significativo en peso final ($P=0.0017$), peso ganado ($P=0.0017$), incremento de peso diario ($P=0.0023$), y tasa de crecimiento específico ($P=0.0018$), mientras que los organismos alimentados con harina de insecto no hidrolizada fueron significativamente mayores, con 22.9 g, 22.63 g, 0.54 g/día, y 10.65 %/día, respectivamente.

La supervivencia no mostró diferencias estadísticas para ninguno de los dos efectos principales o su interacción, manteniéndose siempre por arriba de 95% (Tabla 4). El factor de conversión de alimento fue significativamente ($P<0.0001$) mayor en tilapia alimentada con 25% de reemplazo (1.27), y menor en 50 y 75% (1.12), sin diferencias estadísticas entre ambos tratamientos, mientras que el consumo de dietas con harina hidrolizada también incrementó significativamente ($P=0.0176$) el FCA (1.20) en comparación con la harina no hidrolizada (1.14).

La tasa de eficiencia proteica mostró diferencias estadísticas significativas, siendo mayor en organismos alimentados con las dietas de 50% y 75% de reemplazo (2.14 y 2.10, respectivamente) y menor en los de 25% (1.97), y los organismos alimentados con la harina hidrolizada también tuvieron una menor TEP (1.99), comparada con los que se alimentaron con la harina de insecto sin hidrolizar (2.15). El factor de condición e índice hepatosomático no mostraron diferencias significativas para los efectos principales o su interacción. Sin embargo, el nivel de reemplazo de la proteína dietaria sí tuvo un efecto significativo sobre el índice viscerosomático ($P=0.0121$) y sobre el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la proteína dietaria ($P=0.0359$). Para el IVS, la dieta con 25% de reemplazo produjo el mayor IVS (13.77), pero éste no fue diferente de 75% (12.89). El 50 y 75% no mostraron diferencias estadísticas. El CDA de proteína fue significativamente menor con 25% de reemplazo (75.67%), pero no diferente de 50% (77.51%). Los niveles de 50 y 75% (79.20%) fueron estadísticamente semejantes (Tabla 4).

Adicionalmente, el análisis de Dunnett permitió comparar el tratamiento control con cada uno de los tratamientos dietarios en forma independiente. Se observó que, para las variables de peso final, peso ganado, incremento en peso diario y TCE, todos los tratamientos difieren significativamente del tratamiento control, excepto por el tratamiento de 25% de reemplazo con harina de insecto hidrolizada (Tabla 5). Para el FCA, los tratamientos con 50 y 75% de reemplazo, ya sea con harina de insecto hidrolizada o no hidrolizada, resultaron significativamente diferentes del control, mientras que para la TEP los tratamientos con 50 y 75% de reemplazo con harina de insecto no hidrolizada fueron significativamente mayores que el tratamiento control (Tabla 6).

Tabla 3. Desempeño biológico de *O. niloticus* alimentada con harina de *H. illucens* durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria.

	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso ganado (g)	Incremento de peso diario (g/día)	TCE (%/día)
Efectos principales					
Nivel de reemplazo (%)					
25	0.26 ± 0.00	20.09 ^b ± 0.74	19.83 ^b ± 0.74	0.47 ^b ± 0.19	10.33 ^b ± 0.11
50	0.26 ± 0.00	23.04 ^a ± 1.71	22.78 ^a ± 1.71	0.54 ^a ± 0.41	10.66 ^a ± 0.18
75	0.26 ± 0.00	23.11 ^a ± 1.47	22.86 ^a ± 1.46	0.55 ^a ± 0.35	10.69 ^a ± 0.16
Harina de insecto					
No Hidrolizada	0.26 ± 0.01	22.90 ^a ± 1.97	22.63 ^a ± 1.98	0.54 ^a ± 0.05	10.65 ^a ± 0.22
Hidrolizada	0.26 ± 0.00	21.27 ^b ± 1.60	21.01 ^b ± 1.61	0.50 ^b ± 0.04	10.47 ^b ± 0.18
ANOVA Pr > F					
Nivel de reemplazo (R)	0.1435	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Hidrólisis de harina (H)	0.4249	0.0017	0.0017	0.0023	0.0018
R × H	0.8478	0.3517	0.3529	0.4329	0.3598

Los valores para el efecto principal de nivel de reemplazo son promedios ± D.E. de 8 replicados, mientras que aquellos para la hidrólisis de harina de insecto son promedios ± D.E. de 12 replicados. Los promedios con diferente superíndice en la misma columna de efectos principales son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Tabla 4. Eficiencia alimentaria, índices corporales y ADC de proteína cruda de *O. niloticus* alimentada con harina de *H. illucens* durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria.

	Supervivencia (%)	FCA	TEP g/g	K	IHS (%)	IVS (%)	CDA de proteína de la Dieta (%)
Efectos principales							
Nivel de reemplazo (%)							
25	95.00 ± 5.91	1.27 ^a ± 0.07	1.97 ^b ± 0.11	2.44 ± 0.48	2.47 ± 0.77	13.77 ^a ± 1.07	75.67 ^b ± 1.99
50	95.00 ± 4.71	1.12 ^b ± 0.07	2.14 ^a ± 0.15	2.21 ± 0.22	1.97 ± 0.67	12.47 ^b ± 0.42	77.51 ^{ab} ± 1.57
75	97.50 ± 3.45	1.12 ^b ± 0.06	2.10 ^a ± 0.14	2.22 ± 0.28	2.28 ± 0.67	12.89 ^{ab} ± 0.65	79.20 ^a ± 1.54
Harina de insecto							
No Hidrolizada	96.67 ± 5.32	1.14 ^b ± 0.12	2.15 ^a ± 0.15	2.23 ± 0.26	2.07 ± 0.67	12.90 ± 0.83	77.24 ± 2.35
Hidrolizada	95.00 ± 4.14	1.20 ^a ± 0.06	1.99 ^b ± 0.08	2.35 ± 0.42	2.42 ± 0.73	13.18 ± 1.00	77.92 ± 1.99
ANOVA Pr>F							
Nivel de reemplazo (R)	0.5516	<0.0001	0.0020	0.3846	0.3505	0.0121	0.0359
Hidrólisis de harina (H)	0.2183	0.0176	0.0001	0.4331	0.2216	0.3926	0.6293
R × H	0.2641	0.0292	0.0198	0.6960	0.2146	0.6475	0.9854

Los valores para el efecto principal de nivel de reemplazo son promedios ± D.E. de 8 replicados, mientras que aquellos para la hidrólisis de harina son promedios ± D.E. de 12 replicados. Los promedios con diferente superíndice en la misma columna de efectos principales son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Tabla 5. Desempeño biológico de *O. niloticus* alimentada con harina de *H. illucens* durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria, en comparación con el tratamiento Control.

	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso ganado (g)	Incremento de peso diario (g/día)	TCE (%/día)
<i>Tratamientos</i>					
Control	0.26 ± 0.01	17.72 ± 1.07	17.45 ± 1.07	0.42 ± 0.03	10.01 ± 0.16
25/No hidrolizada	0.26 ± 0.01	20.47* ± 0.86	20.21* ± 0.86	0.48* ± 0.02	10.38* ± 0.12
50/No hidrolizada	0.26 ± 0.00	23.92* ± 1.23	23.66* ± 1.23	0.56* ± 0.03	10.75* ± 0.12
75/No hidrolizada	0.26 ± 0.01	24.29* ± 0.46	24.03* ± 0.45	0.57* ± 0.01	10.82* ± 0.05
25/Hidrolizada	0.27 ± 0.01	19.71 ± 0.37	19.44 ± 0.37	0.46 ± 0.01	10.29* ± 0.08
50/Hidrolizada	0.26 ± 0.01	22.16* ± 1.81	21.90* ± 1.81	0.52* ± 0.05	10.57* ± 0.19
75/Hidrolizada	0.26 ± 0.00	21.94* ± 1.06	21.67* ± 1.06	0.52* ± 0.03	10.56* ± 0.09

Los valores son promedios de 4 replicados por tratamiento ± D.E. Los promedios indicados con * son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) del tratamiento Control según la prueba de Dunnett.

Tabla 6. Eficiencia alimentaria e índices corporales de *O. niloticus* alimentada con harina de *H. illucens* durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria, en comparación con el tratamiento control.

	Supervivencia (%)	FCA	TEP g/g	K	IHS (%)	IVS (%)
<i>Tratamientos</i>						
Control	100.00 ± 0.00	1.32 ± 0.06	1.97 ± 0.09	2.34 ± 0.30	2.71 ± 0.55	12.86 ± 1.50
25/No hidrolizada	93.35 ± 7.68	1.29 ± 0.09	1.98 ± 0.13	2.33 ± 0.09	2.01 ± 0.56	13.41 ± 1.15
50/No hidrolizada	96.65 ± 3.87	1.07* ± 0.03	2.26* ± 0.05	2.18 ± 0.22	2.13 ± 0.97	12.46 ± 0.63
75/No hidrolizada	100.00 ± 0.00	1.07* ± 0.02	2.22* ± 0.04	2.25 ± 0.41	2.06 ± 0.60	12.83 ± 0.47
25/Hidrolizada	96.65 ± 3.87	1.25 ± 0.06	1.96 ± 0.10	2.55 ± 0.70	2.93 ± 0.72	14.12 ± 1.00
50/Hidrolizada	93.33 ± 5.43	1.17* ± 0.05	2.02 ± 0.10	2.31 ± 0.20	1.82 ± 0.18	12.48 ± 0.09
75/Hidrolizada	94.98 ± 3.35	1.17* ± 0.03	1.98 ± 0.04	2.19 ± 0.14	2.50 ± 0.76	12.95 ± 0.87

Los valores son promedios de 4 replicados por tratamiento ± D.E. Los promedios indicados con * son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) del tratamiento Control según la prueba de Dunnett.

V.2. Composición proximal de organismo completo y músculo

La composición proximal de músculo presentó diferencias significativas en el contenido de grasa, los peces alimentados con harina de insecto hidrolizada mostraron un significativamente ($P=0.0102$) mayor contenido de grasa cruda (3.29%) en comparación con aquellos alimentados con la harina no hidrolizada (2.82%), el nivel de reemplazo no tuvo efectos en la composición proximal, y la humedad, ceniza, o proteína en músculo no mostraron diferencias estadísticas, presentando valores alrededor de 76%, 2%, y 23%, respectivamente (Tabla 7). Por otro lado, el análisis de la composición proximal de los organismos completos no arrojó diferencias significativas en el contenido de cenizas, humedad o grasa. Sin embargo, mediante la prueba de Dunnett se evidenció que los organismos alimentados con 50 (11.16%) y 75% (11.44%) de reemplazo poseen un significativamente menor contenido de grasa que los organismos del tratamiento control (13.15%) (Tabla 8).

V.3. Composición de aminoácidos de músculo

El perfil de aminoácidos del músculo de *O. niloticus* alimentada con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria (25, 50 y 75%) no presentó diferencias en el contenido de aminoácidos esenciales o no esenciales presentes en dicho tejido; sin embargo, sí se observaron diferencias significativas como resultado de la hidrólisis de la harina de insecto, para aminoácidos esenciales como la arginina (13.17 vs. 11.79 g/100g de materia seca en hidrolizada y no hidrolizada, respectivamente), metionina (2.22 vs. 2.66 g/100g de materia seca en hidrolizada y no hidrolizada, respectivamente) y valina (3.13 vs. 4.10 g/100g de materia seca en hidrolizada y no hidrolizada, respectivamente), además de los aminoácidos no esenciales ácido aspártico, ácido glutámico, taurina y tirosina (Tabla 9). La prueba de Dunnett mostró diferencias exclusivamente entre el contenido de tirosina del músculo de tilapias alimentadas con 25% de reemplazo con harina de insecto hidrolizada (3.16 g/100g de materia seca) con respecto al valor observado en organismos del tratamiento control (2.52 g/100g de materia seca) (Tabla 10).

Tabla 7. Composición proximal de músculo y organismo completo de *O. niloticus* alimentada con harina de *H. illucens* durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria.

	Músculo				Organismo Completo		
	Humedad	Ceniza	Grasa (%)	Proteína (%)	Humedad	Ceniza (%)	Grasa (%)
<i>Efectos principales</i>							
Nivel de reemplazo (%)							
25	75.68 ± 0.69	2.01 ± 0.04	2.96 ± 0.41	23.49 ± 0.70	68.66 ± 1.30	0.65 ± 0.03	12.37 ±
50	75.86 ± 1.10	2.02 ± 0.05	3.15 ± 0.50	23.19 ± 0.81	69.55 ± 1.35	0.63 ± 0.04	11.50 ±
75	76.27 ± 0.63	2.03 ± 0.04	3.06 ± 0.53	23.21 ± 0.80	70.07 ± 1.14	0.62 ± 0.03	11.82 ±
Harina de insecto							
No Hidrolizada	75.77 ± 0.90	2.01 ± 0.04	2.82 ^b ± 0.42	23.41 ± 0.81	69.71 ± 1.32	0.62 ± 0.03	11.59 ±
Hidrolizada	76.09 ± 0.75	2.02 ± 0.05	3.30 ^a ± 0.40	23.18 ± 0.72	69.14 ± 1.37	0.65 ± 0.04	12.20 ±
ANOVA Pr>F							
Nivel de reemplazo (R)	0.3604	0.7621	0.6556	0.7676	0.1026	0.2764	0.1727
Hidrólisis de harina (H)	0.4002	0.5803	0.0102	0.5241	0.2783	0.0607	0.1130
R × H	0.1829	0.3634	0.2602	0.5104	0.3288	0.7047	0.8918

Los valores para el efecto principal de nivel de reemplazo son promedios ± D.E. de 8 replicados, mientras que aquellos para la hidrólisis de harina son promedios ± D.E. de 12 replicados. Los promedios con diferente superíndice en la misma columna de efectos principales son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Tabla 8. Composición proximal de músculo y organismo completo de *O. niloticus* alimentada con harina de *H. illucens* durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria, en comparación con el tratamiento Control.

	Músculo				Organismo Completo		
	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)
Tratamientos							
Control	75.89 ± 0.79	2.02 ± 0.07	3.18 ± 1.14	23.52 ± 1.04	69.47 ± 1.93	0.65 ± 0.03	13.15 ± 0.34
25%/No hidrolizada	75.71 ± 0.74	1.99 ± 0.03	2.90 ± 0.56	23.30 ± 0.70	68.83 ± 1.54	0.64 ± 0.04	12.19 ± 0.52
50%/No hidrolizada	75.33 ± 1.18	2.02 ± 0.05	2.90 ± 0.41	23.50 ± 0.88	69.43 ± 0.98	0.62 ± 0.03	11.16 ± 0.95*
75%/No hidrolizada	76.45 ± 0.30	2.03 ± 0.04	2.65 ± 0.32	23.40 ± 1.03	70.88 ± 0.34	0.60 ± 0.01	11.44 ± 0.84*
25%/Hidrolizada	75.66 ± 0.75	2.04 ± 0.04	3.02 ± 0.27	23.64 ± 0.78	68.50 ± 1.23	0.66 ± 0.03	12.55 ± 0.75
50%/Hidrolizada	76.58 ± 0.49	2.01 ± 0.06	3.40 ± 0.51	22.88 ± 0.72	69.68 ± 1.80	0.65 ± 0.06	11.85 ± 1.08
75%/Hidrolizada	76.14 ± 0.82	2.03 ± 0.06	3.47 ± 0.31	23.03 ± 0.57	69.25 ± 1.08	0.64 ± 0.03	12.19 ± 1.06

Los valores son promedio de 4 replicados por tratamiento ± D.E. Los promedios indicados con * son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) del tratamiento Control según la prueba de Dunnett.

Tabla 9. Composición de aminoácidos (g/100g de materia seca) de músculo de *O. niloticus* alimentada con harina de *H. illucens* durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria.

	Aminoácidos esenciales									Aminoácidos no esenciales						
	Arg	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Val	Asp	Glu	Ala	Gly	Ser	Tau	Tyr
Efectos principales																
Nivel de reemplazo (%)																
25	11.87	3.98	1.79	3.85	1.22	2.56	1.65	12.53	3.93	4.46	8.63	8.19	8.29	4.72	13.46	2.93
50	12.54	4.38	1.79	4.12	1.19	2.48	1.53	13.04	3.59	4.30	8.18	8.37	8.89	4.46	14.04	2.82
75	12.93	4.51	2.02	4.05	1.26	2.32	1.45	13.68	3.45	4.14	8.15	8.59	9.35	4.22	14.19	2.63
Harina de insecto																
No Hidrolizada	11.79 ^b	4.55	2.07	4.15	1.11	2.66 ^a	1.74	12.87	4.10 ^a	4.79 ^a	8.93 ^a	8.50	8.07	4.83	13.02 ^b	2.59 ^b
Hidrolizada	13.17 ^a	4.04	1.71	3.87	1.33	2.22 ^b	1.32	13.25	3.13 ^b	3.81 ^b	7.81 ^b	8.24	9.87	4.05	14.96 ^a	3.07 ^a
ANOVA Pr>F																
Nivel de reemplazo (R)	0.138	0.599	0.898	0.960	0.989	0.141	0.793	0.773	0.387	0.734	0.513	0.535	0.650	0.735	0.759	0.197
Hidrólisis de harina (H)	0.007	0.266	0.326	0.746	0.505	0.001	0.132	0.781	0.006	0.012	0.007	0.397	0.075	0.135	0.032	0.001
R × H	0.725	0.935	0.431	0.773	0.987	0.918	0.990	0.956	0.944	0.968	0.968	0.991	0.936	0.918	0.932	0.528

Los valores para el efecto principal de nivel de reemplazo son promedios \pm D.E. de 8 replicados, mientras que aquellos para la hidrólisis de harina son promedios \pm D.E. de 12 replicados. Los promedios con diferente superíndice en la misma columna de efectos principales son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$). Abreviaciones: Arg: arginina, His: histidina, Ile: isoleucina, Leu: leucina, Lys: lisine, Met: metionina, Phe: fenilalanina, Thr: treonina, Val: valine, Asp: ácido aspartico, Glu: ácido glutámico, Ala: alanina, Gly: glycina, Ser: serina, Tau: taurina, Tyr: tirosina.

Tabla 10. Composición de aminoácidos (g/100g de materia seca) de músculo de *O. niloticus* alimentada con harina de *H. illucens* durante 42 días con y sin tratamiento previo de hidrólisis y con tres niveles de reemplazo de proteína dietaria, en comparación con el tratamiento Control.

	Aminoácidos esenciales									Aminoácidos no esenciales						
	Arg	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Val	Asp	Glu	Ala	Gly	Ser	Tau	Tyr
Tratamientos																
Control	12.61	3.29	2.06	3.52	2.08	3.21	1.31	13.25	4.15	4.09	8.59	9.15	7.71	3.93	12.74	2.52
25%/No hidrolizada	11.40	4.11	2.32	4.37	1.07	2.85	1.90	12.54	4.40	5.00	9.24	8.30	7.67	4.94	12.78	2.76
50%/No hidrolizada	11.79	4.69	2.05	4.15	1.10	2.65	1.74	12.94	4.05	4.76	8.81	8.48	7.92	4.83	12.89	2.67
75%/No hidrolizada	12.19	4.95	1.89	3.86	1.16	2.53	1.63	13.23	3.94	4.60	8.65	8.72	8.63	4.70	13.40	2.34
25%/Hidrolizada	12.35	3.79	1.39	3.33	1.37	2.34	1.40	12.51	3.45	3.91	8.02	8.08	9.12	4.44	14.36	3.16*
50%/Hidrolizada	13.54	4.08	1.59	4.08	1.28	2.25	1.33	13.14	3.14	3.84	7.72	8.27	10.18	3.96	15.19	3.03
75%/Hidrolizada	13.91	4.19	2.15	4.19	1.34	2.04	1.22	14.13	2.79	3.67	7.65	8.42	10.31	3.74	15.24	3.02

Los valores son promedio de 4 replicados por tratamiento \pm D.E. Los promedios indicados con * son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) del tratamiento Control según la prueba de Dunnett. Abreviaciones: Arg: arginina, His: histidina, Ile: isoleucina, Leu: leucina, Lys: lisine, Met: metionina, Phe: fenilalanina, Thr: treonina, Val: valine, Asp: ácido aspartico, Glu: ácido glutámico, Ala: alanina, Gly: glycina, Ser: serina, Tau: taurina, Tyr: tirosina.

VI. DISCUSIÓN

VI.1. Parámetros biológicos e índices corporales

La harina de larva de mosca soldado negra, *Hermetia illucens*, se está comercializado actualmente como un ingrediente que potencialmente puede ser incorporado como una fuente proteica en alimentos balanceados para acuicultura, e incluso puede reemplazar la tradicional harina de pescado y otras fuentes proteicas comúnmente utilizadas para algunas especies. Siendo la tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*, un organismo con gran importancia en acuicultura por su volumen de producción y porque su cultivo se practica alrededor del mundo, el uso de fuentes proteicas alternativas a las fuentes tradicionales despierta gran interés, pues ello puede representar un ahorro importante al minimizar el uso de insumos comunes, que pudiera verse reflejado en una mayor ganancia económica. Sin embargo, se hace necesario establecer en qué proporción puede ser incorporada como fuente de proteína para dicha especie durante el proceso de engorda.

Los resultados del presente estudio mostraron que la tilapia del Nilo no solo tuvo un desempeño en crecimiento idóneo en las 6 semanas que tuvo de duración el cultivo experimental, sino que mejoró significativamente al incrementarse el reemplazo por arriba de 50 y hasta un 75%. Se observó un mejor desempeño en crecimiento en comparación con los organismos alimentados con la dieta control, formulada con 5% de harina de pescado; ello se hizo evidente en todos parámetros de crecimiento evaluados (peso final, peso ganado, incremento de peso diario y tasa de crecimiento específico), además de la eficiencia alimenticia, evidenciada por el factor de conversión de alimento y la tasa de eficiencia proteica. Por otra parte, la tilapia alimentada con dietas en las que la harina de larva de mosca soldado negra fue sometida a un proceso de hidrólisis obtuvieron valores de crecimiento y eficiencia alimenticia estadísticamente menores a aquellos organismos alimentados con dietas a las cuales no se les aplicó el proceso de hidrólisis, siendo ello indicativo de que, no solo no es necesario aplicar este proceso con la finalidad de auxiliar el proceso de hidrólisis de la quitina presente en la harina de insecto, sino que, en el caso de tilapia, ésta puede llevar a cabo de manera eficiente la utilización de los nutrientes en este insumo. Ello se hizo evidente al demostrar que la hidrólisis con ácido fórmico no tuvo un efecto sobre el coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína

(77.24% en la harina no hidrolizada y 77.92% en la hidrolizada), más aún, el incremento en el nivel de reemplazo mejoró significativamente el coeficiente de digestibilidad de la proteína en la dieta, desde 75.67% en la dieta con 25% de reemplazo, hasta 79.20% en la de 75%.

El CDA de proteína de las dietas en el presente estudio muestra similitud con las observaciones de Tippayadara *et al.* (2021), quienes reportan un aumento significativo en el CDA de proteína en las dietas con harina de larva de mosca soldado negra en comparación con dieta control (75.22%), observando el más alto valor (82.84%) en la dieta que incluía 100% de harina de larva de mosca soldado negra y 0% de harina de pescado. El proceso de hidrolizado se realizó buscando la ruptura de la quitina, esperando mejorar la digestibilidad de la proteína en la harina de insecto (Finke, 2007), porque la quitina es una matriz compleja de proteínas, lípidos, polisacáridos y otros componentes. La hidrólisis de la quitina teóricamente facilita el acceso de las enzimas digestivas a proteínas, aumentando consecuentemente su digestibilidad (Yildirim-Aksoy *et al.*, 2020), por ello se esperaba que el tratamiento previo de hidrólisis a la harina de larva de mosca soldado negra contribuiría a incrementar la digestibilidad de la proteína, sin embargo, no se encontraron resultados que respaldaran esta hipótesis. Es probable también que el ácido fórmico haya disminuido el pH de la harina de insecto hidrolizada, y posiblemente del intestino de los peces y, dado que existen indicios de que el pH del tracto gastrointestinal afecta la biodisponibilidad de los minerales en peces afectando de manera negativa el desarrollo del organismo (Vielma y Lall, 1997), ello pudiera explicar también el menor desempeño en crecimiento observado en tilapia en este estudio. No obstante, Uczay *et al.* (2019) evidenciaron que la harina de soya hidrolizada utilizada para reemplazar la harina de pescado en niveles de 0, 5, 10, 15 y 20%, promovió un mejor desempeño en crecimiento del bagre plateado, *Rhamdia quelen*, en todos los niveles de reemplazo, y contribuyó a la actividad metabólica antioxidante. Ello demuestra que, a pesar de que en este trabajo el proceso de hidrólisis no pareció ser efectivo con la harina de larva de mosca soldado negra hidrolizada con ácido fórmico, se ha demostrado la efectividad de la hidrólisis en otros insumos como la harina de soya mediante hidrólisis enzimática con pepsina porcina, por ejemplo. De manera que se sugieren estudios complementarios para conocer el efecto del ácido fórmico en esta fuente proteica, y los beneficios o limitaciones de dicho proceso.

En la literatura existen algunos casos de éxito del uso de harina de larva de mosca soldado negra, por ejemplo, en híbridos de tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mozambique*) con peso inicial de 2.6 g y con niveles de sustitución de 0, 5, 10, 20 y 30% de la fuente de proteína en la dieta, y que reportan mejores resultados de ganancia en peso e índice de eficiencia proteica de manera directamente proporcional al incremento en la inclusión (Yildirim-Aksoy *et al.*, 2020), tal como se observó en el presente trabajo. En otro estudio con *O. niloticus* se reemplazó la fuente de proteína dietaria en 3, 6 y 9% utilizando organismos con peso inicial de 2.1 g sin diferencias significativas en crecimiento final (Toriz-Roldan *et al.*, 2020), y con peces de 14.7 g de peso inicial y sustituyendo 0, 10, 20, 40, 60, 80 y 100% tampoco se observaron diferencias significativas en parámetros de crecimiento o eficiencia alimenticia (Tippayadara *et al.*, 2021). Sin embargo, también se han reportado limitaciones en su uso con altos niveles de reemplazo en dietas para tilapia; por ejemplo, en un estudio con peces de 35 g de peso inicial y niveles de inclusión de 25, 50 y 100%, solo se pudo reemplazar exitosamente hasta un 50% la fuente de proteína por la harina de este insecto sin obtener resultados adversos en parámetros de crecimiento (Dietz y Liebert, 2018). Dado que la alimentación de las larvas de mosca soldado negra influencia directamente el perfil nutricional de la harina de éste insecto, además del proceso de manufactura de la harina, es claro entonces que las diferentes fuentes de este insumo no poseen las mismas características y perfil nutricional, permitiendo explicar parcialmente diferencias e inconsistencias en los resultados obtenidos en el desempeño biológico para la misma especie.

Es necesario destacar que los FCA obtenidos en el presente estudio para todos los tratamientos oscilaron entre 1.07 y 1.32, que son valores deseados en acuicultura. Los valores de FCA entre 1.0-1.5 generalmente indican una alta eficiencia de los peces para convertir el alimento proporcionado en biomasa (Zafra *et al.*, 2019; Hernández y Fajardo, 2019). La TEP, que es una medida basada en el aumento de peso de un organismo expresada en función de la ingesta de proteína, muestra correspondencia con el FCA en este estudio; los menores FCA coinciden con las mayores TEP para los peces alimentados con 50 y 75% de reemplazo con la harina de larva de mosca soldado negra no hidrolizada. Por otra parte, los índices como K e IHS no evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, lo que es un indicio de gran similitud en la condición fisiológica de los organismos experimentales al finalizar el estudio. El

IHS suele modificarse en forma muy evidente cuando en las dietas hay variaciones en la composición y/o contenido lipídico, por lo que este índice se considera un indicador del almacenamiento y metabolismo de lípidos. El hígado, además de su papel en el metabolismo de lípidos, almacena de energía en forma de grasa y glucógeno, y su contenido varía en función del balance entre depósitos provenientes de la ingesta y la transferencia desde otros órganos de reserva (Cruz, 2013). Dado que las dietas experimentales tienen el mismo contenido y fuente lipídica, las similitudes de dichos índices entre organismos de los diferentes tratamientos experimentales era de esperarse. No obstante, el IVS si mostró diferencias significativas para el nivel de reemplazo, pero no se observa una tendencia que demuestre un efecto claro de las dietas para dicho parámetro.

VI.2. Composición proximal de músculo y organismo completo

Las dietas experimentales que fueron alimentadas a *O. niloticus* no tuvieron influencia en la composición proximal de su cuerpo o su filete (músculo), excepto en el contenido de grasa cruda presente en el músculo de organismos alimentados con harina de larva de mosca soldado negra no hidrolizada (2.82%), que fue significativamente menor que en aquellos alimentados con la harina hidrolizada (3.30%). Abdel-Tawwab *et al.* (2020), de manera muy similar a este estudio, no observaron diferencias significativas en ninguna de las variables de la composición proximal del cuerpo de *Dicentrarchus labrax* al sustituir en su alimento la harina de pescado por harina de larva de mosca soldado negra en 25, 35 y 50%. Devic *et al.* (2017) de igual manera, no reportaron diferencias en la composición proximal del cuerpo completo de alevines avanzados de tilapia usando 30, 50 y 80% de harina de larva de mosca soldado negra y harina de subproductos avícolas para reemplazar harina y aceite de pescado, y harina de soya en su dieta. Xiao *et al.* (2018) por el contrario, evidenciaron diferencias en todas las variables de la composición proximal en el cuerpo del bagre amarillo, *Pelteobagrus fulvidraco*, al reemplazar la harina de pescado en todos los niveles de sustitución evaluados, desde 0 a 100%, por harina de larva de mosca soldado negra, resultados opuestos a los observados en el presente trabajo. No obstante, la naturaleza de las dietas utilizadas es muy diferente, pues la harina de pescado fue la principal fuente proteica en el estudio mencionado, y el ingrediente a reemplazar. En

general, parece evidente que el uso de este ingrediente no cambia de forma radical la composición corporal de la tilapia o de su filete.

VI.3. Composición de aminoácidos de dietas experimentales y músculo

El análisis de la composición de aminoácidos de las dietas experimentales evidenció que algunos de ellos disminuyeron por efecto del reemplazo de la proteína dietaria por la harina de larva de mosca soldado negra, por ejemplo, los aminoácidos esenciales lisina y metionina (Lys y Met, respectivamente), sin embargo, precautoriamente, se suplementaron (0.45%) en todas las formulaciones para no limitar el crecimiento. Otros aminoácidos, por el contrario, incrementaron por efecto del reemplazo, tales como la arginina e histidina (Arg e His, respectivamente); ambos efectos son esperados como resultado de la manipulación de las concentraciones de las fuentes de proteína en las formulaciones dietarias, pero todos los aminoácidos se encontraban por encima de los niveles dietarios recomendados para el desarrollo óptimo de la especie (Santiago y Lovel, 1988).

Basados en el análisis de la prueba de Dunnett, se evidenció que la composición de aminoácidos en el músculo de tilapia al final del estudio, no presentó diferencias significativas en el perfil de aminoácidos en comparación de la dieta control, excepto en la concentración de tirosina (Tyr), que fue significativamente mayor en la dieta con 25% de reemplazo por harina hidrolizada de larva de mosca soldado negra (3.16 g/100 g), en comparación con la dieta control (2.52 g/100 g). De manera general, sin embargo, se puede apreciar que ciertos aminoácidos muestran, numéricamente, menor concentración en el músculo de tilapias alimentadas con harina de larva de mosca soldado negra en comparación con la dieta control, o una tendencia a disminuir a medida que la inclusión se incrementa, por ejemplo, la lisina y la metionina, pero no se evidenciaron diferencias estadísticas, y por el contrario, el desempeño biológico de la tilapia fue superior al de los organismos alimentados con la dieta control, lo que hace evidente que sus requerimientos por aminoácidos esenciales fueron satisfechos por las formulaciones experimentales. Sin embargo, algo que fue evidente en músculo es el efecto del tratamiento de hidrólisis de la harina de insecto, pues para esta variable se detectaron diferencias significativas en algunos aminoácidos, incrementando (Arg, Tau, Tyr) o disminuyendo (Met, Val, Asp, Glu)

significativamente con respecto a la harina no hidrolizada, lo que ciertamente pudiera explicar el menor desempeño en crecimiento en los organismos alimentados con estas dietas, y se enfatiza nuevamente que el efecto de la hidrólisis en la harina de larva de mosca soldado negra es un aspecto que necesita evaluarse en posteriores estudios.

VII. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales del presente estudio se puede concluir que:

- La tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) tuvo un desempeño biológico significativamente mejor al incrementar el reemplazo de proteína dietaria por arriba de 50 y hasta un 75% con harina de larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).
- La hidrólisis de la harina de larva de mosca soldado negra causó un deterioro en el desempeño biológico de tilapia, demostrándose no solo que no es necesario aplicar este proceso con la finalidad de auxiliar el proceso de hidrólisis de la quitina presente en la harina de insecto, sino que, en el caso de tilapia, ésta puede llevar a cabo de manera eficiente la utilización de los nutrientes en este insumo.
- La hidrólisis con ácido fórmico no tuvo un efecto sobre el coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína en la harina de larva de mosca soldado negra, de hecho, incrementar en el nivel de inclusión de este insumo mejoró significativamente el coeficiente de digestibilidad de la proteína en las dietas.
- Los FCA obtenidos en el presente estudio para todos los tratamientos oscilaron entre 1.07 y 1.32, que son valores deseados en acuicultura, y los menores FCA coincidieron con las mayores TEP para los peces alimentados con 50 y 75% de reemplazo con la harina de larva de mosca soldado negra no hidrolizada.
- Las dietas experimentales no tuvieron gran influencia en la composición proximal del cuerpo o del músculo de *O. niloticus*, ni tampoco en el perfil de aminoácidos del filete en comparación de la dieta control. Sin embargo, se evidenciaron diferencias estadísticas en el contenido de grasa cruda y en la concentración de algunos aminoácidos en el músculo como resultado del tratamiento de hidrólisis al insumo evaluado.
- Se confirmó la factibilidad del uso de harina de larva de mosca soldado negra, *H. illucens*, para reemplazar hasta un 75% de la proteína dietaria en dietas para la tilapia del Nilo, *O. niloticus*, sin requerir un tratamiento previo de hidrólisis.

VIII. RECOMENDACIONES

- En este trabajo el proceso de hidrólisis no pareció ser efectivo con la harina de larva de mosca soldado negra hidrolizada con ácido fórmico. Se realizó buscando la ruptura de la quitina, esperando mejorar la digestibilidad de la proteína en este ingrediente. Dado que se ha demostrado la efectividad de la hidrólisis en otros insumos como la harina de soya mediante hidrólisis enzimática con pepsina porcina, por ejemplo, se sugieren estudios complementarios para conocer el efecto del ácido fórmico en esta fuente proteica, y los beneficios o limitaciones de dicho proceso.
- La hidrólisis de la quitina teóricamente facilita el acceso de las enzimas digestivas a proteínas, aumentando consecuentemente su digestibilidad, por ello se esperaba que el tratamiento previo de hidrólisis a la harina de larva de mosca soldado negra contribuiría a incrementar la digestibilidad de la proteína, sin embargo, no se encontraron resultados que respaldaran esta hipótesis. Es probable que el uso de otros tratamientos alternativos de hidrólisis, tales como hidrólisis enzimática con pepsina porcina y otros descritos en la literatura, pudieran ser más eficientes que el ácido fórmico, por lo que se sugiere evaluar comparativamente su efectividad en estudios posteriores.
- En este trabajo se evaluó hasta un 75% de reemplazo de la proteína dietaria por harina de larva de mosca soldado negra, en futuros trabajos se recomienda evaluar hasta un 100% de reemplazo.

IX. LITERATURA CITADA

- Abdel-Tawwab, M., R. H. Khalil, A. A. Metwally, M. S. Shakweer, M. A. Khallaf y H. M. R. Abdel-Latif. 2020. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal on growth performance, organs-somatic indices, body composition, and hematobiochemical variables of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 522:735136.
- Achupallas, J. 1994. Nutrición acuícola y control de calidad — un enfoque integral. Control de calidad de insumos y dietas acuícolas. FAO. Proyecto Aquila II. Reported update Marzo, 1994. (<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S16.htm>).
- Aurioles-Gamboa, D. y E. F. Balart, 1995. La langostilla: biología, ecología y aprovechamiento. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, México.
- Betanzos-Torres, E. A., J. L. Marín-Muñiz, M. A. Piñar-Álvarez, D. Celdrán-Sabater y H. Mata-Alejandro. 2019. Desarrollo de la acuicultura con tecnología biofloc para producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en regiones rurales de México. *Rinderesu* 4:42-58.
- Cifuentes, R., J. González, G. Montoya, A. Jara, N. Ortiz, P. Piedra y E. Habit. 2012. Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana* 75:101-110.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. 2018. Produce acuicultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos. Gobierno de México. Acceso:21 agosto, 2021. (www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466).
- Cruz, R. M. 2013. Ciclo reproductivo de *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810) en el suroeste del Golfo de México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Boca del Rio, Veracruz, México.
- Devic, E., W. Leschen, F. Murray y D. C. Little. 2017. Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquaculture Nutrition* 24:416-423.

- Dietz, C. y F. Liebert. 2018. Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? *Aquaculture Reports* 12:43-48.
- Domínguez, J. A. 1997. Los artrópodos como fuente de alimentación. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 20:259-263.
- El-Saidy, D. M. S. D. y M. M. A. Gaber. 2002. Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-lysine supplementation from Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *World Aquaculture Society* 3:297-306.
- Finke, M. D. 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology* 26:105-115.
- Fisher, H. J., S. A. Collins, C. Hanson, B. Mason, S. M. Colombo y D. M. Anderson. 2020. Black soldier fly larvae meal as a protein source in low fish meal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 521:734978.
- Folch, J., M. Lees, y C. H. Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 226:497-509.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2005. Cultured Aquatic Species Information Programme *Oreochromis niloticus*. Programa de información de especies acuáticas. Roma.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2020a. Acuicultura. Pesca y Acuicultura, Roma, Italia. <http://www.fao.org/fishery/aquaculture/es#container>
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2020b. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia.
- Gobbi, F. P. 2012. Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: *Stratiomyidae*). Bases para su producción masiva

- en Europa. Tesis de Doctorado. Universidad de Alicante. Centro Iberoamericano de la Biodiversidad. Alicante, España.
- Gómez, S. E. y M. J. González-Naya. 2007. Resistencia a la salinidad en dos especies de peces Neotropicales de la familia Cichlidae (Pisces, Perciformes). Mem Fundación La Salle de Ciencias Naturales 166:45-54.
- González- Félix, M. L., M. Perez- Velazquez, A. G. Villalba- Villalba, R. Civera- Cerecedo, J. M. Ezquerro y B. E. Goytortúa. 2010. Tailoring a diet for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture in Northwest Mexico. Journal of Marine Science and Technology 18:674-681.
- Henry, M., L. Gasco, G. Piccolo y E. Fountoulaki. 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. Animal Feed Science and Technology 203:1-22.
- Hernández, E. G. y H. D. Fajardo. 2019. Evaluación de la productividad de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con tres pesos iniciales y tres densidades de siembra en un sistema de recirculación, Managua, 2017-2018. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Ciencia Animal. Managua, Nicaragua.
- Iresiduo.com. 2021. <https://iresiduo.com/noticias/mexico/conacyt/18/02/16/escamas-tilapia-alternativa-al-plastico>. Acceso: 19 agosto, 2021.
- Jiménez- Segura, L. F., J. Álvarez, L. E. Ochoa, A. Loaiza, J. P. Londoño, D. Restrepo, K. Aguirre, A. Hernández, J. D. Correa y U. Jaramillo- Villa. 2014. Guía Ilustrada Peces Cañón del río Porce, Antioquia. EPM. Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 106 pp.
- Juárez, L. F. 2020. Uso de larvas de mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*) para alimentación de gallinas ponedoras: Revisión de Literatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.
- Montenegro, J. M. 2019. Influencia de sustitución de harina de pescado por torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) sobre los parámetros de crecimiento, composición bromatológica y características sensoriales de tilapia (*Oreochromis niloticus*) durante la fase de engorde.

- Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Martín. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Tarapoto, Perú.
- Morales, D. A. 2003. Biología, cultivo y comercialización de la tilapia. Ciudad de México, México.
- Muin, H., N. Taufek, M. Kamarudin y S. Razak. 2017. Growth performance, feed utilization and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed with different levels of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) maggot meal diet. *Journal of Fisheries Science* 16:567-577.
- Norzagaray Campos, M., P. Muñoz Sevilla, L. Sánchez Velazco, L. Capurro Filograsso y O. Llánas Cárdenas. 2012. Acuicultura: estado actual y retos de la investigación en México. *Aquatic* 37:20-25.
- NRC (Nutritional Research Council), 1983. Nutrient requirements of warm water fishes and shellfishes. National Academy of Sciences, Washington D.C., USA, 102 pp.
- Rahman, M. y K. Koh. 2015. Improvement in nutritional quality of shrimp meal with autoclave and chemical treatments: an *in vitro* study. *Journal of Poultry Science* 53:124-127.
- Rahman, M. y K. Koh. 2016. Effects of formic acid-treated shrimp meal on growth performance and nutrient digestibility in broilers. *Journal of Poultry Science* 53:208-212.
- Renna, M., A. Schiavone, F. Gai, S. Dabbou, C. Lussiana, V. Malfatto, M. Prearo, M. T. Capucchio, I. Biasato, E. Biasibetti, M. De Marco, A. Brugiapaglia, I. Zoccarato y L. Gasco. 2017. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8:57.
- Santiago, B. C. y R. T. Lovell. 1988. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *Journal of Nutrition* 118:1539-1546.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2019. Acuicultura, producción y conservación de organismos acuáticos. Gobierno de México: www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-produccion-y-conservacion-de-organismos-acuaticos

- Segura-Cazorla, M. 2015. Composición bromatológica *Hermetia illucens*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales. Almería, España.
- Soria-Barreto, M., R. Rodiles-Hernández y A. A. González-Díaz. 2011. Morfometría de las especies de Vieja (Cichlidae) en ríos de la cuenca del Usumacinta, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:569-579.
- Tacon, A. G. J. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados - Manual de capacitación. GCP/RLA/ITA, Proyecto Aquila II, Documento de Campo No. 4, FAO. Brasilia, Brasil.
- Tippayadara, N., M. A. O. Dawood, P. Krutmuang, S. H. Hoseinifar, H. V. Doan y M. Paolucci. 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* 11:1-19.
- Toriz-Roldan, A., J. Ruiz-Vega, M. García-Ulloa, A. Hernandez-Llamas y J. Fonseca-Madriral. 2020. Assessment of dietary supplementation levels of black soldier fly, *Hemertia illucens*1, pre-pupae meal for juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Southwestern Entomologist* 44:251-259.
- Uczay, J., E. D. Battisti, R. Lazzari, M. L. Pessatti, T. L. Staudt, L. B. Hermes, N. Coelho y T. E. Perez. 2019. Fish meal replaced by hydrolysed soybean meal in diets increases growth and improves the antioxidant defense system of silver catfish (*Rhamdia quelen*). *Aquaculture Research* 50:1438-1447.
- U.S. EPA. 2014. Method 6010D (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, Revision 4. Washington, DC, USA.
- Vázquez-Ortiz, F. A., G. Caire, I. Higuera-Ciajara y G. Hernández. 1995. High performance liquid chromatographic determination of free amino acids in shrimp. *Journal of Liquid Chromatography* 18:2059-2068.
- Vielma, J. y S. P. Lall. 1997. Dietary formic acid enhances apparent digestibility of minerals in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Nutrition* 3:265-268.

- Xiao, X., P. Jin, L. Zheng, M. Cai, Z. Yu, J. Yu y J. Zhang. 2018. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture Research* 2018: 1-9.
- Yildirim-Aksoy, M., R. Eljack, C. Schrimsher, H. Benjamin y B. H. Beck. 2020. Use of dietary frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, in hybrid tilapia (Nile x Mozambique, *Oreochromis niloticus* x *O. mozambique*) diets improves growth and resistance to bacterial diseases. *Aquaculture Reports* 17:100373.
- Zafra, A. M., M. E. Diaz, F. A. Davila, R. E. Fernandez, K. A. Vela y H. H. Guzman. 2019. Feeding conversion and efficiency of *Oreochromis aureus* var. *suprema* (Cichlidae) with different balanced food in closed system, Trujillo, La Libertad, Peru. *Arnaldoa* 26:815-826.