



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Desarrollo de un alimento para tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) con harina de larva de mosca soldado negro *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)

Development of a feed for Tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) with black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae) larvae meal.

Sánchez-Velázquez, J.*, Nieto-Ramírez, M.I., Oviedo-Olvera, M.V., Ramírez-Ramírez, J.C., Peña-Herrejón, G.A., Feregrino-Pérez, A.A., García-Trejo, J.F.

Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera Chichimequillas, s/n km 1, C.P. 76265, Amazcala, El Marqués, Querétaro, México.

julietasanvel1@gmail.com; isabelnieto33@gmail.com; monica_oviedoo@hotmail.com; jose-carlos_r@hotmail.com; guillermoaph7@gmail.com; feregrino.angge@hotmail.com; fernando.garcia@uaq.mx

Innovación tecnológica: Generación de insumos de reemplazo a la harina de pescado para alimentación de tilapia.

Área de aplicación industrial: Formulación de alimentos con nuevos insumos para la producción acuícola.

Recibido: 19 julio 2022

Aceptado: 10 octubre 2022

Abstract

The larvae of the Black soldier fly (*Hermetia illucens*) is one of the most promising sources of protein sources for fish, due to its nutritional content and adequate digestibility. The objective of this study was to develop and evaluate a feed based on black soldier fly larvae meal for tilapia in the fingerling stage; with the aim of replacing the use of fish meal, which due to its cost and variable availability becomes a limiting factor for aquaculture. For this purpose, a feed of particle size HMS-R 585 μm and another of HMS-R 841 μm was produced from black soldier fly larvae fed with organic waste (HMS-R); both feeds were evaluated with respect to their proximate chemical composition, pellet density, bulk density, water absorption rate, solubility rate, swelling factor, and their effect on tilapia fingerling growth for 8 weeks. Commercial feed was used as control feed (AC) (malt-Cleyton 45%). HMS-R 841 μm feed showed lower pellet density compared to AC ($P < 0.05$), while HMS-R 595 μm showed lower buoyancy compared to AC ($P < 0.05$). Tilapia growth was higher with black soldier fly larva meal (3.24 ± 0.23 g) compared to commercial feed (1.14 ± 0.20 g). The Soldier fly larvae feed has potential use at the fingerling stage; however, it is

necessary to improve the quality of the pellet, increase buoyancy and reduce density with respect to water fed.

Key words: Aquaculture nutrition, Nile tilapia, alternative ingredients, *Hermetia illucens*.

Resumen

La larva de la mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) es una de las fuentes de proteína más prometedoras para peces, debido a su contenido nutricional y adecuada digestibilidad. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar y evaluar un alimento elaborado con base en harina de larva de mosca soldado para la tilapia en etapa alevín; esto con el objetivo de reemplazar el uso de la harina de pescado, que por su costo y disponibilidad variable se convierte un factor limitante para la acuicultura. Para ello, a partir de la larva de mosca soldado negro alimentada con residuos orgánicos (HMS-R), se elaboró un alimento de tamaño de partícula HMS-R 585 μm y otro de HMS-R 841 μm ; ambos alimentos fueron evaluados con respecto a su composición química proximal, densidad del pellet, densidad aparente, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, factor de hinchamiento y su efecto en el crecimiento de alevines de tilapia por 8 semanas. Se utilizó alimento comercial como alimento control (AC) (malta-Cleyton 45%). El alimento HMS-R 841 μm mostró menor densidad del pellet en comparación con el AC ($P \leq 0.05$), mientras que HMS-R 585 μm presentó menor flotabilidad en comparación con el AC ($P \leq 0.05$). El crecimiento de la tilapia fue mayor (3.24 ± 0.23 g) en comparación con el alimento comercial (1.14 ± 0.20 g). El alimento con larva de mosca soldado tiene uso potencial para la tilapia en etapa alevín; sin embargo, es necesario mejorar la calidad del pellet, aumentar su flotabilidad y reducir la densidad con respecto a la del agua.

Palabras clave: Nutrición acuícola, tilapia del Nilo, alimentación alternativa, *Hermetia illucens*.

1. Introducción

Desde 1970, la acuicultura ha sido la industria de producción de alimentos con mayor crecimiento a nivel mundial, con una tasa promedio anual del 7.5% [1]. Cerca del 40% de los peces que se producen en la acuicultura corresponden a la tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae); ésta es la tercera especie más cultivada en todo el mundo después de la carpa *Ctenopharyngodon idellus* (Cypriniformes: Cyprinidae) y la carpa plateada *Hypophthalmichthys molitrix* (Cypriniformes: Cyprinidae), debido a la viabilidad del cultivo y precios estables en el mercado [2][3]. Además, la tilapia es

considerada una especie que aporta significativamente a la seguridad alimentaria mundial, ya que se ha mostrado que su cultivo a nivel local y rural juega un papel importante para proveer alimentos de alta calidad, generar ingresos y promover la disponibilidad y el suministro de fuentes proteicas en mercados locales [4].

La demanda de tilapia a nivel global va en aumento, y para sostener la producción en la acuicultura es necesaria la provisión externa de nutrientes; en 1995, el 70% de la producción mundial de tilapia se basó en el suministro de alimentos comerciales, que aumentó a 85% en 2010, y se estimó que para

2020 esto alcanzaría un 95% [5]. Los alimentos comerciales para tilapia incluyen harina de pescado en porcentajes que van de 3 a 10%, como fuente de proteína y promotor de crecimiento [6]; pero el costo y la disponibilidad de dicho insumo en el mercado es variable [7][8].

Por lo anterior, se han realizado esfuerzos enfocados al reemplazo de la harina de pescado [6]. Se registran en trabajos desde 1975 con [9], quienes usaron ingredientes como soya, maíz, avena, levadura, alfalfa, así como sub-productos de origen animal, como carne y hueso, en la formulación de alimentos para *Salmo salar* (Salmoniformes: Salmonidae). En ese tiempo, el ingrediente que mayor atención atrajo fue la soya, debido a su amplia disponibilidad, suministro sostenible, precio razonable, alto contenido de proteína y perfil de aminoácidos que la hace nutricionalmente potencial para reemplazar a la harina de pescado [10]; adicionalmente, la soya contiene compuestos anti-nutricionales, las cuales por sí mismas o por sus productos metabólicos interfieren con la utilización del alimento, y afectan tanto la salud como la producción de los animales [11]. Por su parte, [12] presentaron importantes aportaciones en el pretratamiento con calor y extracción con solventes en soya para quitar anti-nutrientes y mejorar el aprovechamiento nutricional durante la alimentación de trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmoidae), lo cual confirman [13] en el crecimiento de *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae). La levadura también se mostraba promisorio, por ello [14] iniciaron estudios referentes al tratamiento disruptivo de la pared celular de la levadura y su uso como fuente principal de proteína en alimentos para trucha arcoíris (*O. mykiss*). Precisamente, [15] concreta que los retos involucrados en el uso de nuevos ingredientes para la nutrición en la acuicultura están directamente relacionados con su naturaleza;

es decir, por su contenido de compuestos anti-nutricionales y/o polisacáridos sin almidón como en el caso de las plantas, paredes celulares en las levaduras, o en su caso, el costo que implica el desarrollo tecnológico y escalamiento para la producción de microalgas.

Ante este escenario, los insectos se encuentran entre las fuentes de proteína de origen animal más prometedoras para el desarrollo de nuevos alimentos acuícolas [16]. El uso de insectos en alimentos acuícolas se registra a partir del año 2000 [17]–[19]. Los insectos estudiados para reemplazar la harina de pescado incluyen *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae), *Musca doméstica* (Diptera: Muscidae), *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae), *Gryllodes sigillatus* (Orthoptera: Gryllidae), *Gryllus assimilis* (Orthoptera: Gryllidae) y *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae).

En cuanto a los beneficios nutricionales que posee la larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) es que su contenido de ceniza (>15%), y calcio (7.6% en materia seca) es mayor en comparación con otros insectos [20]. Además, la larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) contiene asparagina, glutamato, leucina, tirosina, fenilalanina e isoleucina, aminoácidos que individualmente han sido adicionados a la alimentación de los peces para estudiar su efecto con resultados positivos en la proteica muscular, y en el alivio al estrés [21]–[24].

Se ha documentado el completo reemplazo de la harina de pescado por la de larva de mosca soldado negro sin perjudicar el crecimiento de la tilapia y su salud [25]–[27]. Los alimentos con base en harina de larva de mosca soldado negro que se desarrollan y en los que son estudiadas sus propiedades físicas

y químicas suelen elaborados mediante extrusión [28], [29], por ser un método de granulación basado en la aplicación de temperatura y presión que mejora sus propiedades nutricionales y funcionales [30]. Sin embargo, no hay reportes en los que sean evaluadas las propiedades físicas y químicas de un alimento elaborado por peletización, método que consiste según [31] en la aplicación de presión simple, sólo se ha determinado el efecto en la tilapia de un alimento peletizado con base en harina de larva de mosca soldado [32], [33]. En este trabajo se presenta el diseño y la evaluación química, física y biológica de un alimento peletizado con base en harina de larva de mosca soldado para la tilapia para cría de tilapia, como parte del desarrollo de alimentos en los que se reemplace el uso de la harina de pescado.

2 Metodología

2.1 Obtención de la harina de larva de mosca soldado negro

La harina de larvas de *Hermetia illucens* se obtiene de la planta piloto de producción en las instalaciones del Campus Amazcala que pertenece a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. En la planta se lleva a cabo la reproducción, mantenimiento y desarrollo de los organismos bajo condiciones controladas. Los huevecillos recolectados de las jaulas de reproducción se mantienen por 7 días en condiciones de temperatura controlada (28 - 32 °C) hasta la eclosión. Las larvas recién eclosionadas se alimentaron por 10 días con dieta Gainsville la cual es usada como dieta control, que consta de 50% salvado de trigo, 30% alfalfa y 20% maíz [34]. Transcurrido el tiempo se consideraron dos grupos de larvas para llevarlas hasta prepupa; un grupo se alimentó con Gainsville (LMS-G) [35], y el segundo con residuos orgánicos (LMS-R). Ambos grupos de larvas se procesaron para obtener harina de larvas de moscas soldado

negro HMS-G y HMS-R, respectivamente. Para obtener las harinas se aplicó eutanasia por frío a las larvas de ambos grupos, y se desgrasaron por presión mecánica para mejorar el nivel de proteína como reportaron [36], [37]. La pasta obtenida se procesó en un molino Sagaon Tech pulverizador y el producto se hizo pasar por un tamiz malla #30. Tanto las larvas como las harinas obtenidas se almacenaron a 4 °C hasta su evaluación química. En el caso de la HMS-R se utilizó posteriormente en la elaboración del alimento peletizado para tilapia siguiendo la metodología de [33]. La formulación del alimento se realizó a partir de la composición química proximal de la HMS-R, y otras materias primas como harina de carne, pasta de soya, gluten de trigo, harina de maíz, para obtener una combinación o mezcla por aproximación, con el objetivo de cubrir los requerimientos nutricionales de la tilapia en etapa de alevín 40 – 50% de proteína, 10 – 15 % de grasa [38].

2.2 Evaluación química de ingredientes y alimento peletizado

[39], [40] menciona que es necesario determinar la composición química de los ingredientes propuestos para valorar si cuentan con los nutrientes que requiere la tilapia en etapa alevín. El análisis químico proximal se llevó a cabo en el Laboratorio de Bioingeniería de la Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, y se aplicó para las larvas LMS-G, LMS-R (Tabla 1), las harinas HMS-G, HMS-R (Tabla 2), así como el alimento formulado para tilapia (AHMS-R) y del alimento comercial (Tabla 4).

Para obtener el porcentaje de proteína cruda en las muestras primeramente se realizó la determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl [41]; para calcular el contenido de proteína cruda se utilizó el factor 6.25 establecido para alimentos. El análisis de grasas se realizó por medio de una

extracción soxhlet asistida con microondas marca Anton Paar por el método EPA 3546 utilizando como solución extractora hexanos y acetona (1:1). Para humedad se realizó el método reportado por la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-211-SSA1- 2002 para métodos de prueba fisicoquímicos. La determinación de cenizas por el método de la norma NMX- F-066-S-1978 para alimentos. Las calorías se determinaron de acuerdo al método isoperibólico en un calorímetro marca PARR modelo 6200 con ayuda de una bomba de combustión propia del equipo. En la Figura 1 se resume el proceso de producción y análisis del alimento peletizado.

2.3 Formulación y elaboración de alimento con larva de mosca soldado negro

A partir del análisis químico de la harina HMS-R (Tabla 2), se formuló un alimento balanceado (AHMS-R) con 45% de proteína para cubrir el requerimiento de la tilapia en etapa de alevín por el método de aproximación sucesiva (Tabla 3) [42], [43]. Para la elaboración del AHMS-R cada ingrediente fue procesado en un molino Sagaon Tech pulverizador, tamizado por una malla #30, y pesado con una balanza de precisión marca Precisa BJ610C; todos los ingredientes fueron mezclados con un homogeneizador industrial de acero inoxidable Morelli 10100 para 10 L, y se

adicionó agua hasta un 20 a 30 % de humedad. La mezcla fue procesada por una peletizadora en la cual se produjo un pienso de 15 mm de largo con 8.5 mm de diámetro. Los pellets fueron secados a temperatura ambiente durante 8 horas. Posteriormente, los pellets se molieron y tamizaron por una malla #30 (595 μm) y #20 (841 μm) para tener dos alimentos de diferente tamaño de partícula; estos alimentos son considerados, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como alimentos de iniciación #0 y para alevines #1 respectivamente (FAO, 2011b). Los pellets manufacturados se almacenaron en bolsas de plástico a -4 °C.

2.4 Evaluación física del alimento con harina de mosca soldado negro (AHMS-R)

Los alimentos balanceados deben proveer los nutrientes necesarios para los animales, pero también deben cumplir con la calidad física para asegurar su consumo. Por ello se determinaron características físicas tanto del alimento AHMS-R como las del alimento comercial malta-Cleyton 45%. En las pruebas se incluyen tamaño de partícula, densidad del pellet [45], densidad aparente [46], índice de absorción en agua, índice de solubilidad en agua y factor de hinchamiento de acuerdo con la metodología reportada por [47], así como flotabilidad [48].

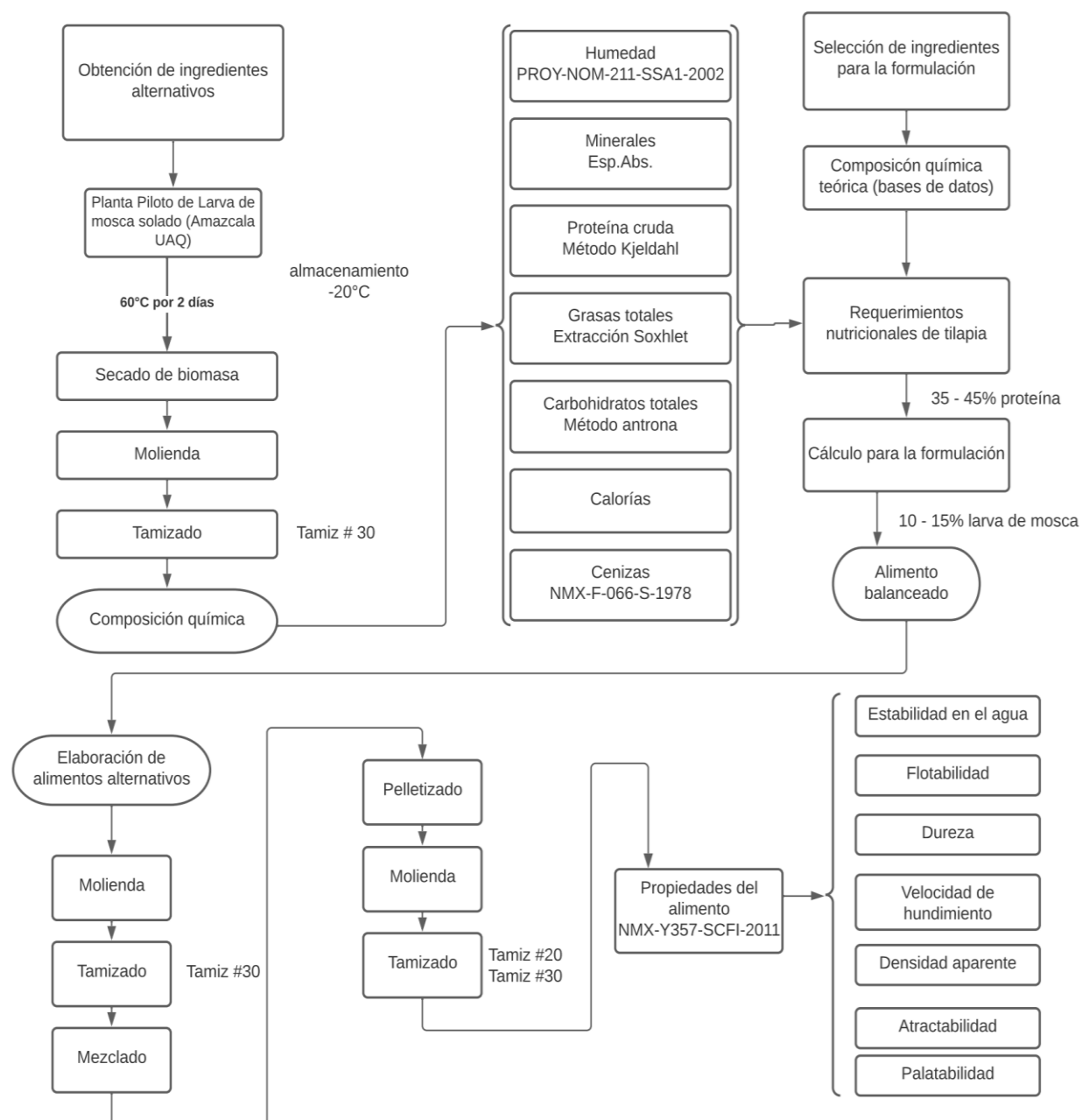


Figura 1. Diagrama general del proceso de producción y análisis del alimento acuícola elaborado con harina de larva de mosca soldado.

2.5 Evaluación biológica con AHMS-R

Se realizó una prueba de alimentación de tilapia de 8 semanas con modificación de la metodología que presentó [49]. Se utilizaron crías de tilapia obtenidas del sistema de producción acuícola del Campus Amazcala, de la Universidad Autónoma de Querétaro con de 3 semanas de edad y un peso a granel inicial de 0.023 ± 0.001 g. Los peces se

repartieron en 3 estanques de cemento cubiertos con geomembrana de 300 L por dieta; para un grupo se utilizó como alimento el AHMS-R, mientras que para el segundo se utilizó alimento comercial malta-Cleyton 45% de proteína. Durante el periodo de cultivo, el 75% de agua de los estanques fue reemplazada y recuperada con agua de la llave cada semana debido al tamaño pequeño

de las crías y la cantidad de alimento ofrecido. Cada estanque se mantenía con aireación y semanalmente se midieron las variables de la calidad de agua como temperatura, oxígeno disuelto y pH, todas las variables se encontraron dentro del intervalo de tolerancia para la tilapia [50]. Los peces en cada estanque eran alimentados manualmente tres veces por día (9:00 am, 12:00 pm y 15:00 pm) a saciedad visual aparente. Para la colecta de datos, durante el periodo de estudio, quincenalmente se obtuvieron muestras aleatorias de 30 de peces que se pesaron (g) utilizando una balanza Precisa BJ610C y se midió su longitud (mm) al inicio (12.03 ± 0.95 mm) y final del experimento con un vernier Mitutoyo Absolute IP67.

2.6 Análisis estadístico

Los resultados según la naturaleza de la prueba como análisis químico, pruebas físicas del alimento y biometrías se compararon para obtener diferencia significativa entre los tratamientos. Para la comparación de tratamientos se realizó la prueba de normalidad y homogeneidad con Levene y Shapiro-Wilk respectivamente, se realizó una prueba de T. Los valores de los resultados presentan promedio $\pm$ desviación estándar. El análisis de varianza y la significancia estadística de $p < 0.05$. Se utilizó el software Statgraphics centurion XVI.I para hacer el análisis estadístico.

3. Resultados y discusión

3.1 Composición química de la larva de mosca soldado negro

En el presente trabajo se muestra el análisis de la composición química de la larva de mosca soldado negro alimentada con la dieta control Gainesville (LMS-G). Esta dieta se usa para mantener las colonias, y evaluar tanto anomalías, como la calidad del lote de larvas [35]. Los resultados obtenidos indican

que la calidad de las larvas de este experimento coinciden con el nivel de proteína obtenido como control por [34], quienes obtuvieron 48% de proteína, lo que confirma que la obtención de la larva se realizó de manera adecuada. La atención puesta en el contenido de proteína, se debe a que es un componente costoso en la alimentación de los peces [51] y se sabe que el requerimiento de proteína de diferentes especies de peces es alrededor de 28 a 55 % de la dieta seca [52].

Por otra parte, la comparación de la composición química proximal de las larvas LMS-G entre aquellas larvas que resultan de otros trabajos en los que las han alimentado con residuos orgánicos, se muestra en la Tabla 1, y nos confirma que las larvas son capaces de convertir diferentes desechos orgánicos en biomasa de insectos, proteína y lípidos [53], por ejemplo [54] en sus resultados presentan niveles de proteína y grasa cercanos a los que obtuvimos con una dieta estandarizada como la Gainesville. Por su parte, [29] reporta que la composición química de la larva de mosca soldado puede mostrar niveles de proteína entre 31 a 59%, y de 11 a 49% de lípidos dependiendo de la alimentación. Por lo que, hay que resaltar, que la composición de las larvas dependerá de la calidad del alimento ingerido [55]. [29] con 42% proteína, 32% grasa, 9.25% de ceniza, y 8% de quitina se puede observar que hay variabilidad considerable con esta investigación. Así, el manejo de la alimentación en las larvas de mosca soldado se vuelve un factor importante para mostrar su potencial como fuente de nutrientes para dietas destinadas a la nutrición animal [56], [57]. Aunque [58] resumen que hay que considerar el establecimiento del cultivo de la larva, condiciones ambientales, alimentación, tiempo de cosecha, así como los métodos de cosecha y procesamiento.

Tabla 1. Composición química de la larva de mosca soldado del Laboratorio de Bioingeniería UAQ.

Composición química (%)	LMS-G	Referencias			
		[59] ^a	[60] ^b	[58] ^c	[54] ^d
Proteína	49.85±0.32	38.98	39.2	41.3	45.82
Grasa	24.90±0.43	32.65	28.4	31.04	25.78
Carbohidratos	ND	-	-	-	17.41
Humedad	66.91±1.64	-	-	-	4.14
Cenizas	19.38±0.29	14.61	8.3	11.6	6.85
Fibra cruda*	5.86±0.28	12.36	-	-	-

LMS-G = Larva de mosca soldado negro alimentada con dieta Gainesville, ^a = Larva de mosca alimentada con residuos de frutos y vegetales, ^b = larva alimentada con granos y ^c = larva alimentada con residuos orgánicos comunes. *Fibra cruda reportada como quitina y ND = no se detectó.

3.2 Composición química de la harina de larva de mosca soldado

Se presenta en esta sección del trabajo el análisis químico de la harina de larvas de moscas soldado negro alimentadas con residuos orgánicos (HMS-R) y se compara con las larvas alimentadas con una dieta control, así como con otros autores (Tabla 2). Se puede observar que la harina HMS-R mostró niveles de proteína inferiores con los reportados en literatura y altos para el nivel de grasa. Se podría sugerir con base en lo dicho por [61] que el contenido de grasa está relacionado con la cantidad de carbohidratos

de la dieta suministrada a las larvas, pero es necesario realizar evaluaciones al respecto para confirmar este hecho. [62] menciona que la variabilidad de la composición de los residuos orgánicos impacta en la calidad de la larva, en específico el contenido de grasa en la larva. El valor nutricional de los insectos, con énfasis en la composición química de la harina de insectos, puede estar afectado por su dieta y etapa de vida [63]. Lo anterior, se debe considerar para enfocar esfuerzos en aumentar la cantidad de proteína, cuando se trata del uso de harinas utilizadas en la alimentación animal.

Tabla 2. Composición de la harina de larva de mosca soldado por análisis químico proximal.

Composición química (%)	HMS-R	HMS-G	Referencias			
			[64]	[54]	Harina de pescado [65]	Harina de soya [66]
Proteína	33.63	62.09±0.45	56.9	56.11	65.70	43.8-49.9
Grasas	34.3	6.47±0.60	7.0	4.86	8.73	0.55-3.0
Carbohidratos	4.67	-	.	21.19	-	-
Humedad	7.64	7.51±0.11	-	6.46	9.27	-
Cenizas	5.73	24.13±0.39	10.2	11.39	12.5	5.6-7.2
Fibra cruda (Quitina)	6.32	7.30±0.35	6.3	-	-	4.3 – 7.2

AHMS-R = Harina de larva de mosca soldado negro alimentada con residuo y HMS-G = Harina de larva de mosca soldado negro alimentada con dieta Gainesville.

3.3 Alimento formulado y balanceado con harina de larva de mosca soldado negro (HMS-R)

Para el desarrollo de un alimento acuícola es importante considerar las fuentes de proteína que se utilizarán, al ser el macronutriente más importante para el desarrollo de los peces y el más costoso [67] (Tabla 4). De acuerdo con la información de la Tabla 3, los ingredientes utilizados para el alimento de este estudio fueron utilizadas fuentes de proteína animal, como harina de carne, y harina de larva de mosca soldado negro (HMS-R) y se complementó con fuentes de origen vegetal como pasta de soya, gluten de trigo y harina de maíz. En la revisión de otros trabajos que utilizan dietas libres de harina de pescado [49] presentan una dieta para tilapia con harina de larva de mosca soldado negro en mayor cantidad 423.59 g/kg, harina de soya 282.4 g/kg, trigo 164.70 g/kg, y germen de maíz 109.80 g/kg. Lo anterior sugiere que pueden ser utilizadas fuentes vegetales, y no necesariamente de origen animal como harina de carne, para la elaboración de alimentos acuícolas libres de harina de pescado y reemplazada por harina de larva de mosca soldado negro. De hecho, es posible utilizar larva de mosca soldado negro, aunque los hábitos alimenticios de los peces sean carnívoros, como el caso de [68] que muestran una dieta para salmón, utilizando concentrado de soya en 25% y harina de larva de mosca soldado negro 14.75%, seguido de gluten de maíz 7.5% y gluten de trigo 6.88%, principalmente; lo que sugiere que la harina de larva de mosca soldado negro podría considerarse como única fuente de proteína animal en las dietas para peces, pero se requieren más estudios para corroborar este hecho, aunque [26] muestran una dieta para

tilapia elaborada con soya 360 g/kg, harina de maíz 200 g/kg, harina de larva de mosca soldado negro 100 g/kg, salvado de arroz 253 g/kg, sin otra fuente de proteína animal, sin mostrarse efectos adversos en el desarrollo de los peces.

Por otra parte, el aceite de larva de mosca soldado es un subproducto de la obtención de la harina y es conocido por contener altos niveles de ácidos grasos, comparable con el aceite de soya, y este podría ser efectivamente utilizado por peces de agua dulce [68], [69]. Se han realizado estudios en los que se reemplaza el aceite de pescado por aceite de larva de mosca soldado negro en *Totoaba macdonaldi* (Perciformes: Sciaenidae) hasta un 30% [70], *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: salmonidae) recomiendan hasta un 13% [37], pero se requieren más trabajos para determinar el nivel de reemplazo del aceite de larva de mosca soldado en dietas tilapia y estudiar los beneficios, pues [71] estudiaron a *Cyprinus carpio* var. *specularus* (Cypriniformes: Cyprinidae) (25 g/kg) y observaron que con la inclusión de aceite de larva de mosca soldado los peces presentaron un incremento en el rendimiento productivo y la utilización del alimento, en comparación con aquellos peces en los que se adicionó aceite de gusano de tenebrio o gusano de seda.

Como dieta base para continuar con los estudios de alimentación para tilapia con harina y aceite larva de mosca soldado se elaboró un alimento que presente los niveles de macronutrientes que requieren la tilapia, y que a su vez sean comparable con un alimento comercial, en la Tabla 4 se presenta los valores.

Tabla 3. Formulación del alimento balanceado con harina de mosca soldado negro alimentada con residuo (AHMS-R) para tilapia en etapa alevín.

Ingredientes (%)	Alimento	
	Comercial	HMS-R UAQ
Harina de larva de mosca soldado (HMS-R)	-	20
Harina de carne	*	30
Pasta de soya	*	28
Gluten de trigo	No contiene	11
Harina de maíz	*	2
Aceite de larva de mosca soldado	No contiene	6

AC = Alimento comercial malta-Cleyton 45% proteína, AHMS-R = Alimento con harina de larva de mosca soldado negro alimentada con residuo, harina de carne origen comercial. Ingredientes presentes en el alimento comercial (*), alimentos que no se presentan en el comercial (-).

Tabla 4. Composición proximal del alimento balanceado con HMS-R para tilapia en etapa alevín.

Composition proximal (g/100g)	Alimento comercial	Alimento HMS-R	Requerimiento para alevín <10 g
Proteína	42.65	44.16	40 – 50*
Grasas	11.67	11.40	10-15*
Carbohidratos	33.88	18.00	> 25 [‡]
Humedad	11	7.54	< 10
Cenizas	10.85	13.30	< 19
Fibra	0.95	4.07	< 5 ⁺

AC = Alimento comercial malta-Cleyton 45% proteína y AHMS-R = Alimento con harina de larva de mosca soldado negro alimentada con residuos orgánicos. * [38], ⁺ [42], [‡] [72].

3.4 Características físicas del AHMS-R

Los análisis físicos evaluados a los pellets incluyeron longitud, diámetro, flotabilidad, densidad del pellet y densidad aparente, así como análisis funcional de la dieta como el índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y factor de hinchamiento. El pellet de AHMS-R fue molido y tamizado en mallas número 20 y 30. El alimento obtenido de la malla número 30 presenta un tamaño de partícula <0.600 mm, por lo que se considera alimento de iniciación #0 o migaja

#0 para peces con peso < 0.5 g; mientras que el alimento obtenido de la malla #20 presenta el tamaño de partícula de 0.600 - 0.841 mm, el cual se considera migaja #1 o alevín #1 usado en peces con peso entre 0.5 – 1 g. Ambos pellets se consideran de preiniciación por el nivel de proteína y tamaño [73].

La flotabilidad es uno de los criterios de calidad de gran importancia en el desarrollo de alimentos acuícolas, ya que permite controlar el suministro y administración del

alimento; a mayor flotabilidad será más fácil detectar el consumo de los pellets, la saciedad de los peces, evitar el desprendimiento del alimento que no será consumido, y la posibilidad de afectar la calidad del agua. La flotabilidad es la capacidad de un pellet para sostenerse en la superficie del agua debido a que la densidad del pellet es menor que la del agua [45], y según la FAO, en su apartado de control de calidad e insumos y dietas acuícolas, se calcula en términos de fuerza de flotación del pellet [48]. Si la fuerza de flotabilidad es negativa el cuerpo presenta baja flotabilidad. Tanto el alimento comercial como el alimento AHMS-R presentaron baja flotabilidad para ambos tamaños de partícula (Tabla 5). La flotabilidad también está relacionada con la densidad, puesto que a mayor densidad del pellet con respecto a la densidad del agua (1 g/mL) éste se hundirá [45].

Aunque hay diferencia significativa entre los valores del alimento comercial y el AHMS-R, la densidad de ambos se encuentran por encima de la densidad del agua (Tabla 5). Para el caso de la densidad aparente los alimentos hundibles presentan de 0.450 a 0.550 g/mL, valores similares se obtuvieron para los alimentos HMS-R para ambos tamaños de partícula (Tabla 5).

El índice de absorción de agua (IAA) representa el aspecto hidrofílico de la formulación de la mezcla de la dieta, mientras que el índice de solubilidad en agua (ISA) es considerada para medir su comportamiento hidrofóbico. El IAA es la habilidad del alimento de absorber agua cuando los gránulos de almidón están dañados, y se relaciona con el grado de hinchazón y gelatinización; así, mientras más bajo sea el valor de IAA, más compacto estará el alimento [74].

Tabla 5. Propiedades físicas del alimento peletizado, elaborado con HMS-R para tilapia en etapa alevín.

Variable del pellet	Alimento			
	Comercial	AHMS-R UAQ	Comercial	AHMS-R UAQ
Tamiz (µm)	841		595	
Longitud (mm)	1.31±0.15	1.21±0.15	-	-
Diámetro (mm)	0.63±0.10	0.75±0.08	-	-
Flotabilidad (kg/ms ²)	-0.03±0.00 ^a	-0.03±0.00 ^a	-0.06±0.00 ^a	-0.04±0.00 ^b
Densidad del pellet (g/mL)	1.25±0.00 ^a	1.22±0.23 ^b	1.45±0.04 ^a	1.39±0.37 ^a
Densidad aparente (g/mL)	0.54±0.01 ^a	0.53±0.00 ^a	0.53±0.00 ^a	0.55±0.01 ^a
Índice de absorción de agua (%)	4.49±0.11 ^a	3.51±0.29 ^a	3.68±0.04 ^a	3.13±0.15 ^a
Índice de solubilidad en agua (%)	11.35±1.16 ^a	14.68±0.89 ^a	13.96±1.83 ^a	14.43±0.50 ^a
Factor de hinchamiento	5.07±0.06 ^a	4.11±0.37 ^a	4.72±0.08 ^a	3.65±0.16 ^a

Se muestra la comparación por tamaño de partícula entre el alimento comercial 841 µm con AHMS-R UAQ 841 µm y del alimento comercial 595 µm con AHMS-R 595 µm. Los valores se presentan como promedio ± desviación estándar; n= 3, el superíndice indica la diferencia significativa obtenida por análisis de varianza (95%, p <0.05).

3.5 Pruebas de alimentación en alevines de tilapia con el alimento HMS-R

Los resultados obtenidos del bioensayo de crecimiento se muestran en la Figura 2.

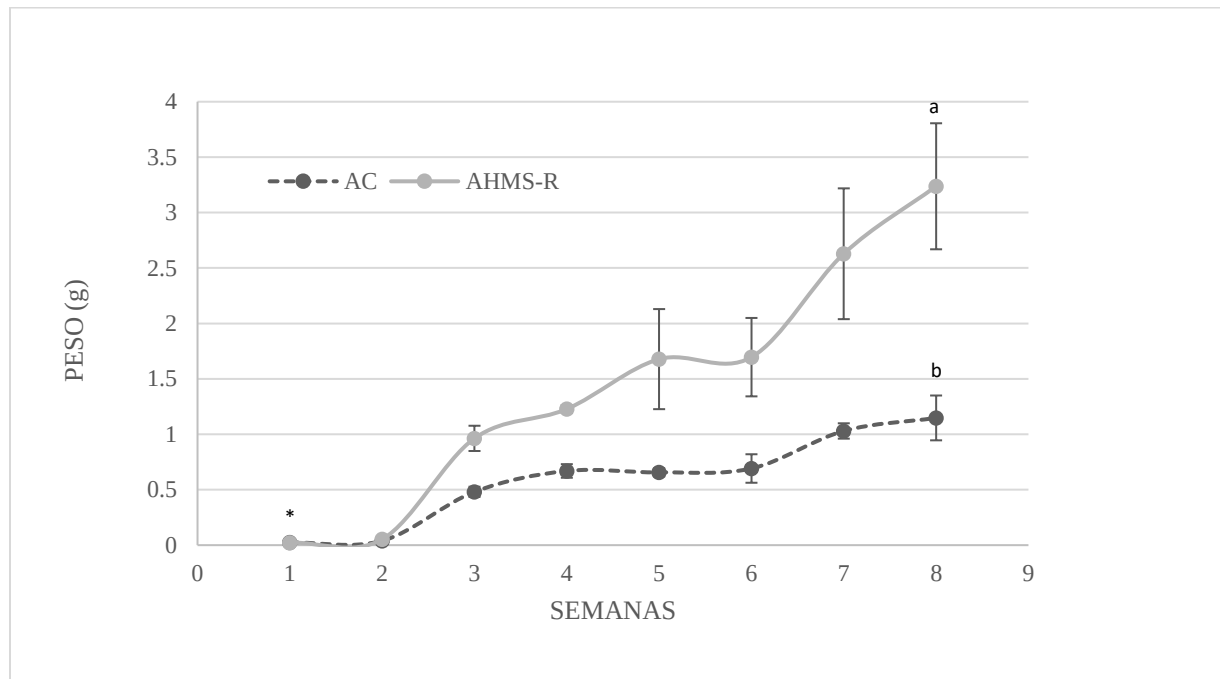


Figura 2. Peso de la tilapia en etapa alevín alimentada con alimento comercial AC y AHMS-R durante 8 semanas. AC = Alimento comercial, AHMS-R = Alimento con harina de larva de mosca soldado negro alimentada con residuo, n=30. * no hay diferencia significativa y las letras diferentes indica diferencia significativa con un nivel de 95% de confianza.

Los peces alimentados con la dieta experimental AHMS-R presentaron mayor ganancia en peso 3.2 ± 0.56 g en comparación con el alimento comercial (1.14 ± 0.20 g). La longitud final de los alevines con AHMS-R fue de 55.4 ± 2.59 mm, mientras que con el alimento comercial alcanzaron 41.49 ± 1.91 mm. [75] observaron el mayor peso en alevines de tilapia hormonados de 7 días de nacidos cuando se alimentaron con hojuelas suplementadas con harina de larva de mosca soldado negro y alimento comercial (peso final 5.88 ± 1.88 g), la cual fue alimentada con residuos de peces, aquellos alevines que fueron alimentados de harinas de larvas cultivadas en residuos orgánicos de restaurante y de fruta su peso final fue de 3.77 ± 2.15 y 4.14 ± 1.67 g respectivamente. Similares a nuestros resultados, [49] alimentaron alevines de tilapia con una dieta elaborada con harina larva de mosca soldado

negro en polvo sin peletizar, para 120 días de cultivo con un nivel hasta 100% de harina de larva de mosca soldado negro en la dieta, el mayor peso final fue de 3.39 ± 0.07 g.

4. Conclusión

El alimento elaborado con harina de mosca soldado negro evaluado en el presente trabajo mostró funcionalidad en el agua, pero es necesario trabajar las características exclusivas de calidad dirigidas a la alimentación de la tilapia en etapa alevín, para aumentar la flotabilidad y reducir la densidad del pellet asociado, quedando abiertos trabajos que utilicen aditivos. Por otra parte, la tilapia en etapa alevín mostró mayor crecimiento con el alimento de harina de larva de mosca soldado negro. En cambio, el crecimiento alcanzado en la etapa alevín con el alimento comercial, fue menor, de esta

manera, se corroboró la eficacia de la harina de larva de mosca soldado negro en la alimentación de la tilapia en etapa alevín.

Agradecimientos

El fondo para realizar este trabajo fue provisto parcialmente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través de la beca de J. Sánchez-Velázquez durante estudios doctorales (632434) y por el Fondo para el desarrollo del conocimiento FONDEC-UAQ 2019 (FIN202008).

5. Referencias

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. FAO, 2020. doi: 10.4060/ca9229es
- Prabu E., Rajagopalsamy C. B. T., Ahilan B., Jeevagan I. J. M. A., and Renuhadevi M. "Tilapia – An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review" *Annual Research & Review Biology.*, 31:3, 1–14, 2019, doi: 10.9734/arrb/2019/v31i330052
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) "The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards blue transformation", Rome, 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Nguyen V. H. and Tran H. C. "Freshwater aquaculture's contribution to food security in Vietnam: A case study of freshwater tilapia aquaculture in Hai Duong province", *Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*. 18:1. 2012. ISSN: 0859-3132
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), "Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: Trends and prospects", vol. 564. 2011. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/015/ba0002e/ba0002e.pdf>
- Sarker P. K., Kapuscinski A. R., McKuin B., Fitzgerald D. S., Nash H. M., and Greenwood C. "Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable", *Scientific Reports*, 10:1, 19328, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-75289-x
- Jannathulla R., Rajaram V., Kalanjiam R., Ambasankar K., Muralidhar M., and Dayal J. S., "Fishmeal availability in the scenarios of climate change: Inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources", *Aquaculture Research*, 50:12, pp. 3493–3506, 2019, doi: 10.1111/are.14324
- Yogev U., Barnes A., Giladi I., and Gross A. "Potential environmental impact resulting from biased fish sampling in intensive aquaculture operations", *Science of The Total Environment*, vol. 707, p. 135630, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135630
- Rumsey G. L. and Ketola H. G., "Practical diets for Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) fry and fingerlings", *Progressive Fish-Culturist*, vol. 37, no. 4, pp. 253–256, 1975, doi: 10.1577/1548-8659(1975)37[253:pdfass]2.0.co;2.
- H. Ye *et al.*, "Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth performance, feed utilization and physiological status of juvenile obscure puffer, *Takifugu obscurus*", *Comparative Biochemistry and . Physiology Part C Toxicology and Pharmacology*, vol. 216, pp. 75–81, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.cbpc.2018.11.006
- Rumsey G. L., Hughes S. G., and Winfree R. A. "Chemical and nutritional evaluation of soya protein preparations as primary nitrogen sources for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)", *Animal Feed Science and Technology*, vol. 40, no. 2–3, pp. 135–151, Jan. 1993, doi: 10.1016/0377-8401(93)90152-A
- Tacon A. G. J., Haaster J. V., Featherstone P. B., Kerr K., and Jackson J. "Studies on the utilization of full-fat soybean and solvent extracted soybean meal in a complete diet for rainbow trout", *Bull. Japanese Soc. Scientific Fish.*, vol. 49, no. 9, pp. 1437–1443, 1983
- Galkanda-Arachchige H. and Davis D. A. "Evaluation of differently processed soybean meal products as ingredients in practical diets for

Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*", *Aquaculture Nutrition*, vol. 26, no. 2, pp. 287–295, Apr. 2020, doi: 10.1111/anu.12989

14. Rumsey G. L., Hughes S. G., Smith R. R., Kinsella J. E., and Shetty K. J. "Digestibility and energy values of intact, disrupted and extracts from brewer's dried yeast fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)", *Animals Feed Science and Technology*, vol. 33, pp. 185–193, 1991, [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(91\)90059-2](https://doi.org/10.1016/0377-8401(91)90059-2)

15. Bandara T. "Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges", *Journal of Entomology and Zoology Studies*, vol. 6, no. 2, pp. 3087–3094, 2018. Available: <https://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartAJ/6-1-130-287.pdf> E-ISSN: 2320-7078
P-ISSN: 2349-6800

16. Nogales-Mérida S., Gobbi P., Józefiak D., Mazurkiewicz J., Dudek K., Rawski M., Kierończyk B., and Józefiak A. "Insect meals in fish nutrition", *Review Aquaculture*, vol. 11, no. 4, pp. 1080–1103, Nov. 2019, doi: 10.1111/raq.12281

17. Ogunji J. O., Kloas W., Wirth M., Schulz C., and Rennert B., "Housefly maggot meal (magmeal): An emerging substitute of fishmeal in tilapia diets", Conference on International Agricultural Research for Development 2006 7pp, ISSN: 1098-6596

18. Ogunji J. O., Nimptsch J., Wiegand C., and Schulz C., "Evaluation of the influence of housefly maggot meal (magmeal) diets on catalase, glutathione S-transferase and glycogen concentration in the liver of *Oreochromis niloticus* fingerling", *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, vol. 147, no. 4, pp. 942–947, Aug. 2007, doi: 10.1016/j.cbpa.2007.02.028

19. Ogunji J. O., Kloas W., Wirth M., Neumann N., and Pietsch C. "Effect of housefly maggot meal (magmeal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings", *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, vol. 92, no. 4, pp. 511–518, Aug. 2008, doi: 10.1111/j.1439-

0396.2007.00745.x

20. Alfiko Y., Xie D., Astuti R. T., Wong J., and Wang L., "Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends", *Aquaculture and Fisheries*, vol. 7, no. 2, pp. 166–178, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.aaf.2021.10.004

21. Manders R., Little J., Forbes S., and Candow D. "Insulinotropic and Muscle Protein Synthetic Effects of Branched-Chain Amino Acids: Potential Therapy for Type 2 Diabetes and Sarcopenia", *Nutrients*, vol. 4, no. 11, pp. 1664–1678, Nov. 2012, doi: 10.3390/nu4111664

22. Grisdale-Helland B., Takle H., and Helland S. J., "Aerobic exercise increases the utilization efficiency of energy and protein for growth in Atlantic salmon post-smolts", *Aquaculture*, vol. 406–407, pp. 43–51, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.05.002

23. Castillo S., Halligan S., and Gatlin D. M., "Growth Responses of Juvenile Red Drum *Sciaenops ocellatus* to Dietary Phenylalanine and Tyrosine Can Be Used to Calculate the Total Aromatic Amino Acid Requirement", *Journal of Nutrition*, vol. 145, no. 10, pp. 2341–2346, Oct. 2015, doi: 10.3945/jn.115.215848

24. Sambraus F., Fjelldal P.G., Remø S.C., Hevrøy E.M., Nilsen T.O., Thorsen A., Hansen T.J., and Waagbø R. "Water temperature and dietary histidine affect cataract formation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) diploid and triploid yearling smolt", *Journal of Fish Diseases*, vol. 40, no. 9, pp. 1195–1212, Sep. 2017, doi: 10.1111/jfd.12594

25. Taufek N. M., Lim J. Z. Y., and Bakar N. H. A., "Comparative evaluation of *Hermetia illucens* larvae reared on different substrates for red tilapia diet: effect on growth and body composition", *Journal of Insects as Food Feed*, vol. 7, no. 1, pp. 79–88, Jan. 2021, doi: 10.3920/JIFF2019.0058

26. Tipayadara N., Dawood M. A. O., Krutmuang P., Hoseinifar S. H., Van Doan H., and Paolucci M., "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*, vol. 11, no. 1, p. 193, Jan.

2021, doi: 10.3390/ani11010193

27. Panikkar P., Parakkandi J., Khan F., Kumar Das B., Udayakumar A., Eregowda V.M., Yandigeri M. "Use of black soldier fly *Hermetia illucens* prepupae reared on organic waste as feed or as an ingredient in a pellet-feed formulation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*", *Environmental Science and Pollution Research*, May 2022, doi: 10.1007/s11356-022-20926-3

28. Were G., Irungu F.G., Ngoda P., Affognon H., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K., Mutungi C. "Nutritional and microbial quality of extruded fish feeds containing black soldier fly *Hermetia illucens* L larvae meal as a replacement for fish meal for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* and African sharp-tooth catfish *Clarius gariepinus*", *Journal of Applied Aquaculture*, pp. 1–17, May 2021, doi: 10.1080/10454438.2021.1922327

29. Weththasinghe P., Hansen J. Ø., Nøkland D., Lagos L., Rawski M., and Øverland M., "Full-fat black soldier fly larvae *Hermetia illucens* meal and paste in extruded diets for Atlantic salmon *Salmo salar*: Effect on physical pellet quality, nutrient digestibility, nutrient utilization and growth performances", *Aquaculture*, vol. 530, p. 735785, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735785

30. Gao S., Jin J., Liu H., Han D., Zhu X., Yang Y., Xie S. "Effects of pelleted and extruded feed of different ingredients particle sizes on feed quality and growth performance of gibel carp *Carassius gibelio* var. CAS V", *Aquaculture*, vol. 511, p. 734236, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734236

31. Irungu F.G., Mutungi C.M., Faraj A.K., Affognon H., Kibet N., Tanga C., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K.K.M. "Physico-chemical properties of extruded aquafeed pellets containing black soldier fly *Hermetia illucens* larvae and adult cricket *Acheta domesticus* meals", *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 4, no. 1, pp. 19–30, 2018, doi: 10.3920/JIFF2017.0008

32. Kurniawan D. R., Arief M., Agustono, and Lamid M., "Effect of maggot *Hermetia illucens* flour in commercial feed on protein retention, energy retention, protein content, and fat content

in tilapia *Oreochromis niloticus*", *IOP Conference Series: Earth Environmental Science in 7th ASEAN-FEN International Fisheries Symposium, IFS 2017 Batu City, East Java, Indonesia*, vol. 137, p. 012030, Apr. 2018, doi: 10.1088/1755-1315/137/1/012030

33. Nairuti R. N., Munguti J. M., Waidbacher H., and Zollitsch W., "Growth performance and survival rates of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared on diets containing Black soldier fly *Hermetia illucens* L. larvae meal", *Die Bodenkultur Journal for Land Management Food and Environment*, vol. 72, no. 1, pp. 9–19, Mar. 2021, doi: 10.2478/boku-2021-0002

34. Miranda C. D., Cammack J. A., and Tomberlin J. K., "Life-History Traits of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), Reared on Three Manure Types", *Animals*, vol. 9, no. 5, p. 281, May 2019, doi: 10.3390/ani9050281

35. Bellezza Oddon S., Biasato I., Resconi A., and Gasco L., "Determination of lipid requirements in black soldier fly through semi-purified diets", *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, p. 10922, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-14290-y

36. Schiavone A., De Marco M., Martínez S., Dabbou S., Renna M., Madrid J., Hernandez F., Rotodlo L., Costa F., and Gasco L. "Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae *Hermetia illucens* L. meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility", *Journal of Animal Science and Biotechnology*, vol. 8, no. 1, p. 51, Dec. 2017, doi: 10.1186/s40104-017-0181-5

37. Dumas A., Raggi T., Barkhouse J., Lewis E., and Weltzien E. "The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae *Hermetia illucens* affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*", *Aquaculture*, vol. 492, pp. 24–34, 2018

38. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Sistema de Información sobre Alimentos y Recursos para Acicultura. Nile

tilapia-Nutritional requirements.
<https://www.fao.org/fishery/affris/perfiles-de-las-especies/nile-tilapia/requerimientos-nutricionales/es/>. Última visita Septiembre 2022

39. Glencross B. D., Booth M., and Allan G. L., "A feed is only as good as its ingredients? a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds", *Aquaculture Nutrition*, vol. 13, no. 1, pp. 17–34, Feb. 2007, doi: 10.1111/j.1365-2095.2007.00450.x

40. Glencross B. D., "A feed is still only as good as its ingredients: An update on the nutritional research strategies for the optimal evaluation of ingredients for aquaculture feeds", *Aquaculture Nutrition*, vol. 26, no. 6, pp. 1871–1883, Dec. 2020, doi: 10.1111/anu.13138

41. Gregorio J., Lanza P., Churión C., and Gómez N. "Comparación entre el método kjeldahl tradicional y el método dumas automatizado (n cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos", *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, vol. 28, no. 2, pp. 245–249, 2016, ISSN: 1315-0162

42. Kamal M., Kurt A., and Brown M. L. "Tilapia : Environmental Biology and Nutritional Requirements", 2010. Fact Sheets. Paper 164, http://openprairie.sdstate.edu/extension_fact/164 .

43. El-Sayed A.-F. M. "Intensive culture", in *Tilapia culture*, 2nd ed., Elsevier Science, 2020, p. 358. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816541-6.00006-4>

44. FAO, "Manual básico de piscicultura para Paraguay," 2011. <https://www.fao.org/3/as829s/as829s.pdf>

45. Cruz-Suárez L. E., Ruíz-Díaz P.P., Cota-Cerecer E., Nieto-Lopez M.G., Guajardo-Barbosa C., Tapia-Salazar M., Villareal-Cavazos D., Ricque-Marie D. "Revisión sobre algunas características físicas y control de calidad de alimentos comerciales para camarón en México", in *Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Sposium Internacional de nutrición Acuicola*, Nuevo León, México, 2006, pp. 330–370, <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/>

[article/view/175](#)

46. Hoyos J. L., Villada H. S., and Fernández A., "Parámetros de Calidad y Metodologías para Determinar las Propiedades Físicas de Alimentos Extruidos para Peces", *Información Tecnológica*, vol. 28, no. 5, pp. 101–114, 2017, doi: 10.4067/S0718-07642017000500012

47. Rodriguez-Miranda J, Ramírez-Wong B., Vivar-Vera M.A., Solís-Soto A., Gómez-Aldapa C.A., Castro-Rosas J., Medrano-Roldadn H., y Delgado-Licon E. "Efecto de la concentración de harina de frijol *Phaseolus vulgaris* L. contenido de humedad y temperatura de extrusión sobre las propiedades funcionaes de alimentos acuícolas", *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 13, no. 3, pp. 649–663, 2014.

48. Toledo M., "Determinación de índices de calidad física de alimentos para peces. FAO". *En línea*, 1994. <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S18.htm#ch17>

49. Limbu S.M. Shoko A.P. Ulotu E.E. Luvanga S.A. Munyi F.M., John J.O., and Opiyo M.A. "Black soldier fly *Hermetia illucens*, L. larvae meal improves growth performance, feed efficiency and economic returns of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, L. fry", *Aquaculture Fish and Fisheries.*, vol. 2, no. 3, pp. 167–178, Jun. 2022, doi: 10.1002/aff2.48.

50. INAPESCA, "Acuacultura Tilapia", 2018. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-tilapia>

51. Magee K., Halstead J., Small R., and Young I., "Valorisation of Organic Waste By-Products Using Black Soldier Fly *Hermetia illucens* as a Bio-Convertor", *Sustainability*, vol. 13, no. 15, p. 8345, Jul. 2021, doi: 10.3390/su13158345

52. M. Henry M., Gasco L., Piccolo G., and Fountoulaki E. "Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future", *Animal Feed Science and Technology*, vol. 203, pp. 1–22, May 2015, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001

53. Gligorescu A., Toft S., Hauggaard-Nielsen H., Axelsen J. A., and Nielsen S. A., "Development, metabolism and nutrient composition of black soldier fly larvae *Hermetia*

illucens (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature and diet”, *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 4, no. 2, pp. 123–133, Jun. 2018, doi: 10.3920/JIFF2017.0080.

54. Zozo B., Wicht M. M., Mshayisa V. V., and Van Wyk J. “The Nutritional Quality and Structural Analysis of Black Soldier Fly Larvae Flour before and after Defatting”, *Insects*, vol. 13, no. 2, p. 168, Feb. 2022, doi: 10.3390/insects13020168

55. Barragan-Fonseca K. B., Dicke M., and Van Loon J. J. A. “Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review”, *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 3, no. 2, pp. 105–120, Jun. 2017, doi: 10.3920/JIFF2016.0055

56. Barragan-Fonseca K. B., Gort G., Dicke M., and Van Loon J. J. A., “Nutritional plasticity of the black soldier fly *Hermetia illucens* in response to artificial diets varying in protein and carbohydrate concentrations”, *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 7, no. 1, pp. 51–61, Jan. 2021, doi: 10.3920/JIFF2020.0034

57. Lu S., Taethaisong N., Meethip W., Surakhunthod J., Sinpru B., Sroichak T., Archa P., Thongpea S., Paengkoum S., Patindra Purba R.A., and Paengkoum P. “Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* L. and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review”, *Insects*, vol. 13, no. 9, p. 831, Sep. 2022, doi: 10.3390/insects13090831

58. Shumo M., Osuga I.M., Khamis F.M., Tanga C.M., Fiaboe K.K.M., Subramanian S., Ekesi S., van Huis A., and Borgemeister C. “The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya”, *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 10110, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-46603-z

59. Nyakeri E. M., Ogola H. J., Ayieko M. A., and Amimo F. A., “An open system for farming black soldier fly larvae as a source of proteins for smallscale poultry and fish production”, *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 3, no. 1, pp. 51–56, Mar. 2017, doi: 10.3920/JIFF2016.0030

60. Liu X., Chen X., Wang H., Yang Q., ur

Rehman K., Li W., Cai M., Li Q., Mazza L., Zhang J., Yu Z., and Zheng L. “Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly”, *PLoS One*, vol. 12, no. 8, p. e0182601, Aug. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0182601

61. Danieli P.P., Lussiana C., Gasco L., Amici A., and Ronchi B. “The Effects of Diet Formulation on the Yield, Proximate Composition, and Fatty Acid Profile of the Black Soldier Fly *Hermetia illucens* L. Prepupae Intended for Animal Feed”, *Animals*, vol. 9, no. 4, p. 178, Apr. 2019, doi: 10.3390/ani9040178

62. Cohn Z., Latty T., and Abbas A. “Understanding dietary carbohydrates in black soldier fly larvae treatment of organic waste in the circular economy”, *Waste Management*, vol. 137, pp. 9–19, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.wasman.2021.10.013

63. El-Hack M. Abd. Shafi M.E., Alghamdi W.Y., Abdelnour S.A. Shehata A.M., Noreldin A.E., Ashour E.A., Swelum A.A., Al-Sagan A.A., Alkhateeb M., Taha A.E., Abdel-Moneim A-M. E., Tufarelli V., Ragni M. “Black Soldier Fly *Hermetia illucens* Meal as a Promising Feed Ingredient for Poultry: A Comprehensive Review”, *Agriculture*, vol. 10, no. 8, p. 339, Aug. 2020, doi: 10.3390/agriculture10080339

64. Caimi C., Biasato I., Chemello G., Oddon S.B., Lussiana C., Malfatto V.M., Capucchino M.T., Colombino E., Schiavone A., Gai F., Trocino A., Brugiapaglia A., Renna M., Gasco L. “Dietary inclusion of a partially defatted black soldier fly *Hermetia illucens* larva meal in low fishmeal-based diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*”, *Journal of Animal and Science. Biotechnology*, vol. 12, no. 1, p. 50, Dec. 2021, doi: 10.1186/s40104-021-00575-1

65. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), “Harina de pescado, 0/9/13”.
http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_par_a_piensos/harina-de-pescado-70913

66. Banaszkiwicz T. “Nutritional Value of Soybean Meal”, in *Soybean and Nutrition*, InTech, 2011. doi: 10.5772/23306

67. Craig S., Kuhn D., and Schwarz M. "Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding Steven", *Virginia Coop. Extension*, pp. 1–6, 2017
68. Li Y., Kortner T. M., Chikwati E. M., Belghit I., Lock E.-J., and Krogdahl Å. "Total replacement of fish meal with black soldier fly *Hermetia illucens* larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon *Salmo salar*", *Aquaculture*, vol. 520, p. 734967, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.734967
69. Fawole F.J., Labh S.A., Hossain M.S., Overtuf K., Small B.C., Welker T.L., Hardy R.W., and Kumar V. "Insect (black soldier fly larvae) oil as a potential substitute for fish or soy oil in the fish meal-based diet of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*", *Animal Nutrition*, vol. 7, no. 4, pp. 1360–1370, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.aninu.2021.07.008
70. Maldonado-Othón C. A., De La Re-Vega E., Perez-Velazquez M., and González-Félix M. L. "Replacement of fish oil by camelina and black soldier fly larvae oils in diets for juvenile *Totoaba macdonaldi* and their effect on growth, fatty acid profile, and gene expression of pancreatic lipases", *Aquaculture*, vol. 552, p. 737985, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.737985
71. X. Xu, H. Ji, I. Belghit, and J. Sun, "Black soldier fly larvae as a better lipid source than yellow mealworm or silkworm oils for juvenile mirror carp *Cyprinus carpio* var. *specularis*", *Aquaculture*, vol. 527, p. 735453, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735453
72. A. Ali and N. A. Al-Asgah, "Effect of feeding different carbohydrate to lipid ratios on the growth performance and body composition of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings 1", *Anim. Res.*, vol. 50, no. 1, pp. 91–100, Jan. 2001, doi: 10.1051/animres:2001119
73. Ng W.K. and Romano N., "A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle", *Reviews in Aquaculture*, vol. 5, no. 4, pp. 220–254, Dec. 2013, doi: 10.1111/raq.12014
74. Pérez-Viveros K. J. *et al.*, "Effect of extrusion in the elaboration of an animal feed based on *Moringa oleifera* Lam and *Zea mays* as a partial substitute of fishmeal in the diet of the adult stage of *Oreochromis niloticus*", *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*, vol. 29, pp. 1–17, Nov. 2019, doi: 10.15174/au.2019.2266
75. Pacheco-Pérez R., Hinojosa-Garro D., Ruíz-Ortíz F., Camach-Chab J.C., Ortega-Morales B.O., Alonso-Hernández N., Fonseca-Muñoz A., Landera-Valenzuela N., Loeza-Concha H.J., Diego-Nava F., Arroyo-Balán F., and Granados-Echegoyen C.A. "Growth of the Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on Organic-Waste Residues and Its Application as Supplementary Diet for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae)", *Insects*, vol. 13, no. 4, p. 326, Mar. 2022, doi: 10.3390/insects13040326