



Inclusión de harina de larvas de Mosca Soldado Negra (*Hermetia illucens*) en la nutrición de peces y crustáceos

Puebla Calinski, P.B.^{1,2} ; Chuquillanqui Huamán, D.X.² ; García Pio, M.² ; Zapata Mandujano, R.² ; Cajusol Bravo, O.² ; Torres Zevallos, U.²

¹Laboratorio de Biotecnología. Instituto de Educación Superior Alvear (IdESA-UGACOOOP). Mendoza, Argentina. ²Kawát S.A.C. San Martín, Perú. ✉ gerencia@kawatperu.com

Resumen

El crecimiento de la industria acuícola ha sido impulsado por la creciente demanda global de alimentos y la preocupación por la sobreexplotación de recursos naturales y el impacto ambiental. Para abordar estos desafíos, la acuicultura ha buscado alternativas sostenibles e innovadoras. En este contexto, la inclusión de insectos, como la Mosca Soldado Negra (*Hermetia illucens*), en la dieta de peces y crustáceos surge como una solución prometedora debido a su alto contenido de proteínas, lípidos y minerales. Este artículo de revisión analiza el papel de la harina de larvas de Mosca Soldado Negra en la acuicultura. Examina los beneficios económicos, nutricionales y ambientales de la harina en la dieta de los animales acuáticos, así como los resultados de investigaciones recientes sobre dosificación adecuada, calidad de crecimiento, salud intestinal y disponibilidad de nutrientes en diversas especies acuícolas. Se enfatiza que la harina de larvas de la Mosca Soldado Negra ofrece beneficios nutricionales comparables a la harina de pescado, siendo una fuente rica en proteínas y lípidos, y su inclusión en la dieta de especies acuáticas como peces y crustáceos ha demostrado mejoras en el crecimiento, la salud intestinal y la calidad de los productos finales. A pesar de estas ventajas, se señala que la sustitución completa de la harina de pescado por la harina de insectos no es la solución definitiva, ya que pueden surgir desafíos relacionados con la regulación, la crianza masiva de insectos y la composición de nutrientes. Sin embargo, la harina de larvas de Mosca Soldado Negra se destaca como una alternativa valiosa para diversificar y mejorar la sostenibilidad de la alimentación en la industria acuícola, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: Mosca Soldado Negra, *Hermetia illucens*, harina de insecto, acuicultura, sostenibilidad, seguridad alimentaria.

Inclusion of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) meal in the nutrition of fish and crustaceans

Abstract. The growth of the aquaculture industry has been driven by the increasing global demand for food and concerns about the overexploitation of natural resources and environmental impact. To address these challenges, aquaculture has sought sustainable and innovative alternatives. In this context, the inclusion of insects, such as the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), in the diet of fish and crustaceans emerges as a promising solution due to their high protein, lipid, and mineral content. This review article discusses the role of Soldier Fly meal in aquaculture. It examines the economic, nutritional, and environmental benefits of meal in aquatic animal diets, as well as recent research results on proper dosage, growth quality, gut health, and nutrient availability in various aquaculture species. It is emphasized that Black Soldier Fly meal offers nutritional benefits comparable to fish meal, being a rich source of protein and lipids, and its inclusion in the diet of aquatic species such as fish and crustaceans has shown improvements in growth, health intestine and the quality of the final products. Despite these advantages, it is noted that complete replacement of fishmeal with insect meal is not the ultimate solution, as challenges related to regulation, mass insect rearing, and nutrient composition may arise. However, Black Soldier Fly meal stands out as a valuable alternative to diversify and improve feed sustainability in the aquaculture industry, contributing to food safety and care for the environment.

Key words: Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, insect meal, aquaculture, sustainability, food safety.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda mundial de alimentos, la sobreexplotación de recursos naturales, el interés medioambiental, entre otros, ha impulsado a buscar alternativas sostenibles e innovadoras como en la industria acuícola, para abordar la complejidad de su producción. La acuicultura se ha expandido significativamente en los últimos años, enfrentando desafíos como la dependencia a la harina de soja y harina de pescado. Esto genera preocupaciones sobre su disponibilidad futura y su impacto en el ambiente, por ello, la búsqueda de fuentes alternativas y nutritivas se ha vuelto necesaria.

En este contexto, la inclusión de insectos en la alimentación de peces y crustáceos está surgiendo como una solución prometedora. Uno de los insectos más destacados es la *Hermetia illucens* conocida como la Mosca Soldado Negra, cuyas investigaciones han demostrado ser una fuente rica en proteínas, lípidos y minerales (Liland et al. 2017).

La presente revisión ofrece un análisis sobre el papel de la harina de larvas de la Mosca Soldado Negra (MSN) (*H. illucens*) en la nutrición de peces y crustáceos en la acuicultura. A lo largo de esta revisión podemos examinar los beneficios económicos, nutricionales y ambientales de la inclusión de la harina en la dieta de estos vertebrados e invertebrados acuáticos.

También se analizaron resultados recientes de investigaciones que han abordado aspectos como la dosificación adecuada, la calidad de crecimiento, la salud intestinal y la disponibilidad de nutrientes en diversas especies acuícolas.

Con el objetivo de brindar una visión más precisa sobre el tema, esta revisión se estructura en secciones, que abarcan desde el contexto actual de la acuicultura hasta los efectos específicos de la inclusión de la harina de larvas de la MSN en la nutrición y la salud de los animales acuáticos, buscando proporcionar una base sólida y potencial para comprender esta alternativa alimentaria en la industria acuícola y la contribución de ella en la alimentación global y la sostenibilidad ambiental.

Algunas definiciones importantes para poder abordar el presente tema son, por ejemplo:

Biotransformación. Proceso biotecnológico en el cual la materia orgánica es transformada en productos de alto valor biológico y económico por seres vivos, en este caso por la *H. illucens*.

Bioeconomía. Es la generación de productos y servicios basados en la sostenibilidad.

Harina de larvas de MSN. Es el resultado de la molienda de las larvas deshidratadas o no, que servirán para la alimentación en la industria acuícola, entre otros.

Harina desgrasada de larva de MSN. Es la harina a la cual se le ha retirado la grasa.

Ácido láurico. Es una grasa saturada presente en la harina de la MSN que contiene propiedades antimicrobianas.

Quitina. Es un polisacárido que posee propiedades prebióticas y a su vez genera problemas digestivos, cuando se tiene demasiada quitina. La harina de la MSN presenta una cantidad moderada.

Palatabilidad. Es una característica del alimento, a mayor palatabilidad resulta más agradable al paladar del consumidor.

Un enfoque de la Mosca Soldado Negra en la economía circular. En el último tiempo, el sector alimenticio que más se ha expandido en el planeta es la acuicultura (Hua et al. 2019, Lanes et al. 2021). El 52% del pescado consumido por el hombre provino de la acuicultura, que representó en el año 2018, unos 82,10 millones de toneladas (FAO 2020). Existe una presión sobre las poblaciones naturales de peces, ya que estos forman, paradójicamente, parte del alimento de crustáceos y peces criados en la acuicultura, en forma de aceite y harina de pescado (HP) (Cummins et al. 2017, Foysal y Gupta 2022).

Además, la alimentación en la acuicultura representa un costo entre un 50 y 60%, siendo el costo operativo más elevado en la producción acuícola. Es por ello que, en la actualidad, la industria está en busca de dietas sostenibles económicamente (Sinha et al. 2011, Huis 2013, Glencross 2020, Hwang et al. 2021). El ingrediente más caro en la dieta de peces y camarones es la HP al ser un recurso limitado y muy demandado (Cummins et al. 2017, Sumbule et al. 2021).

Por otra parte, se anticipa que el costo de la HP aumentará un 30% en términos nominales para el 2030 con relación al 2018 (Khieokhajokhet et al. 2022). Aun cuando la industria acuícola también incrementa su productividad en 42% (FAO 2020), la industria se verá económicamente afectada debido al elevado precio de la HP. La falta de HP preocupa cada vez más, por ello se buscan otras alternativas de proteínas para disminuir la presión hacia los recursos marinos, necesidad de HP y a su vez suministrar una nutrición apropiada en la acuicultura (FAO 2012, FAO 2020).

En ese contexto, han surgido alimentos de origen vegetal para la producción animal, como la harina de soja, harina de maíz, gluten de maíz, trigo, sorgo, salvados de trigo y arroz, y torta de algodón, entre los más utilizados en acuicultura (Kokou y Fountoulaki 2018, Randazzo et al. 2021; Silva et al. 2022). Sin embargo, estos alimentos presentan desventajas como la cuantía excesiva del agua, tierra y energía que demandan para su obtención, además del desbalance nutricional.

Los insectos están emergiendo como una alternativa a las proteínas de origen vegetal y animal en la actividad acuícola. La alimentación a base de insectos tiene la posibilidad de convertirse en una medida sustentable económica y ambientalmente en la producción de peces y crustáceos (Koutsos et al. 2019, Zarantoniello et al. 2022). Según Nairuti et al. (2021) indican que el uso de larvas de MSN en la alimentación de peces y crustáceos genera un costo menor en la producción acuícola.

Los alimentos en la industria acuícola tienden a caducar rápidamente, pero gracias a las larvas de MSN, este

sustrato puede ser reaprovechado mediante un reciclaje de nutrientes, en el que las larvas servirán de alimento para la producción acuícola, siguiendo un enfoque de bioeconomía ambiental (Makkar et al. 2014, Rodrigues et al. 2022). Asimismo, la MSN tiene la facultad de desarrollarse en un conjunto de ambientes críticos (elevada temperatura, baja disponibilidad de alimento y poco oxígeno), a la vez logrando alimentarse en su fase larvaria de una diversidad de residuos orgánicos (Diener et al. 2009, Vilcinskas 2013).

La expectativa es que el sector acuícola pueda contribuir positivamente a la salud alimentaria a nivel mundial (Froehlich et al. 2018, Pradeepkiran 2019). Esta situación dio incentivo a la utilización de ingredientes de procedencia vegetal y a la exploración de posibles reemplazos; en ese contexto, las algas, los subproductos de animales, las proteínas unicelulares e insectos constituyen un grupo de organismos con gran potencial para el reemplazo de insumos convencionales (Godfray et al. 2010, Ameixa et al. 2020).

La inclusión de insectos terrestres en la dieta de especies marinas se ve reducida debido a su carencia de ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 (AGPI n-3) (Hua et al. 2019, Freccia et al. 2020). Desde hace algunos años, se ha generado gran conocimiento científico sobre la facultad de la MSN para biotransformar diversos residuos orgánicos; desde verduras, frutas (Meneguz et al. 2018, Giannetto et al. 2020), algas (Tran et al. 2015, Liland et al. 2017) hasta restos de pescado (Mo et al. 2018, Barroso et al. 2019). La MSN adopta su perfil nutritivo de acuerdo con el sustrato de ingestión (con el que es alimentado) (St-Hilaire et al. 2007, Barroso et al. 2017, Danieli et al. 2019). Varias pruebas alcanzaron a perfeccionar el perfil lipídico de la MSN, usando algas o peces como alimento, produciendo la bioencapsulación de AGPI n-3 y, por lo tanto, consiguiendo que sea más viable la incorporación de esta clase de insectos en la alimentación de peces marinos carnívoros (Barroso et al. 2017, Liland et al. 2017).

Dosificación adecuada de la harina de la MSN en la alimentación de peces y crustáceos. La dosificación en el reemplazo de la HP por la harina de larvas de MSN varía entre cada especie de pez y crustáceo debido a que son diferentes en sus requerimientos nutricionales (Li et al. 2019, Khieokhajokhet et al. 2022). Algunos estudios indicaron que es posible producir alimentos extruidos con una inclusión hasta de un 30% de MSN y con parámetros físicos adecuados para la alimentación de peces (Bruni et al. 2020, Rawski et al. 2020). Además, se observó que los tratamientos con un contenido de MSN del 10% o más, mostraron un aumento en la aceptación del alimento (Renna et al. 2017, Schiavone et al. 2017).

La inclusión de 200 g kg⁻¹ de harina de MSN en la dieta del Salmón del Atlántico (*Salmo salar*) criado en agua dulce resulta beneficiosa en varios aspectos. La harina de MSN aumenta la digestibilidad de la dieta y la asimilación de nutrientes, lo que se traduce en un mejor crecimiento y supervivencia de los peces (Henry et al. 2015, Fisher et al. 2020). Además, la harina de MSN es rica en potasio, fósforo, sodio, manganeso, calcio y magnesio, minerales esenciales para la salud de los peces. Finalmente, la harina de MSN puede reemplazar parcialmente la harina de soja y

el concentrado de maíz en las dietas de salmón, reduciendo el costo y mejorando la sostenibilidad de la producción (Henry et al. 2015).

Se ha demostrado que la harina de pescado en la dieta del Salmón del atlántico puede ser reemplazada en un 100% (150 g kg⁻¹) por harina de MSN, sin perjudicar la efectividad en su desarrollo, naturaleza hepática, absorción de nutrientes, operaciones de enzimas de la digestión, palatabilidad, índice de transformación alimenticia, constitución del organismo (en relación con los aminoácidos, lípidos, proteínas). Asimismo, el almacenamiento lipídico del hígado tampoco fue afectado, todo ello fue estudiado a través de exámenes químicos y evaluaciones histológicas. Además, el ensayo sensitivo del filete mostró pequeñas variaciones en el sabor, la textura y el aroma (Belghit et al. 2018, Belghit et al. 2019).

Se ha demostrado que reemplazar la HP por harina de MSN en la dieta del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) no afecta negativamente su desarrollo. De hecho, se puede lograr entre un 95% y un 100% del desarrollo estándar (aumento de peso, crecimiento selectivo, peso final y eficiencia alimenticia) si se reemplaza la HP por MSN en un máximo de 25% de la dieta (Lock et al. 2016, Cummins et al. 2017).

En la lubina europea (*Dicentrarchus labrax*), al añadirse harina de MSN en su ingesta, no repercute en su fisonomía. A su vez, las concentraciones de hemoglobina, hematocrito y hemoglobina corpuscular media no fueron afectadas significativamente debido a la inclusión de harina de MSN en la alimentación de estos peces en relación con la HP. Tampoco se presentaron variaciones significativas en el balance de linfocitos, neutrófilos, glóbulos blancos y monocitos. Por otro lado, no fueron afectados el grado de albúmina, alanina, globulina, aspartato aminotransferasa, aminotransferasa sérica y proteína total sérica. La investigación demuestra que la eficacia del crecimiento no varió significativamente al sustituir en parte la HP, incluso en un 50%, con la harina de MSN, generando un ahorro en la dieta de hasta 15,6% en relación con la HP (Magalhães et al. 2017, Abdel-Tawwab et al. 2020).

En tambaqui (*Colossoma macropomum*), alimentado en una proporción de 50:50 con larvas enteras frescas y alimento comercial para pollo de engorde, esta dieta no perjudicó la productividad en la producción y posiblemente mejoró la aceptación del filete (Ordoñez et al. 2022). En otro caso, el tambaqui fue alimentado parcialmente con harina de MSN desgrasada. La inclusión de hasta un 30% la harina de MSN desgrasada no afecta el crecimiento ni el desarrollo del tambaqui, por lo tanto, pareciera una opción proteica confiable (Monteiro et al. 2022).

Otros hallazgos indican que es posible incorporar hasta un 15% de harina de MSN parcialmente desgrasada en dietas bajas en harina de pescado para trucha arcoíris (*Onchorynchus mykiss*), sin causar impactos negativos en el crecimiento, en las propiedades físicas del filete, ni en la salud intestinal y hepática (Renna et al. 2017, Caimi et al. 2021).

Se ha observado en otras investigaciones que la asimilación de proteínas sin desgrasar de la harina de MSN en un nivel del 20% en la trucha marrón (*Salmo trutta*), no fue diferente a los valores observados en un grupo de

control. El diseño del grupo experimental se realizó de la siguiente manera: dieta de control, sin harina de MSN y 35% de HP, y dietas experimentales, con 5% de harina de MSN sin desgrasar y 32,5% de HP; con 10% de harina de MSN sin desgrasar y 30% de HP; con un 20% de harina de MSN sin desgrasar y un 25% de HP. Además, no se encontraron efectos adversos en la tasa de supervivencia, rendimiento del crecimiento ni en la utilización del alimento al utilizar la harina de MSN como alimento, por consiguiente, puede ser aplicada sin riesgos adversos (Mikołajczak et al. 2020, Hoffmann et al. 2021). Asimismo, al reemplazar parte de la HP por un 20% de harina de MSN en dietas ricas en HP, se ha observado una reducción del 30% en la relación FIFO (Feed Intake to Fish Output, se refiere a la cantidad de alimento que se necesita para producir una unidad de peso de pescado) (Jannathulla et al. 2019, Naylor et al. 2021).

Los esturiones siberianos (*Acipenser baerii*), alimentados con una dieta que contenía del 5 al 30% de MSN, experimentaron un mejor crecimiento y una mejora en sus parámetros de uso del alimento, aunque no hubo efectos sobre la digestibilidad de este (Bruni et al. 2018, Wang et al. 2019). En resumen, los resultados indican que la MSN es una fuente alternativa adecuada de nutrientes para la nutrición del esturión siberiano en el reemplazo parcial de la HP (Rawski et al. 2020, Ramos-Lazo 2021).

En el caso de juveniles de rodaballo (*Psetta maxima* L.), no se observaron efectos significativos en el consumo de alimento y el índice de conversión alimenticia al incluir hasta un 33% de harina de larvas de MSN que contenía toda su grasa en la dieta (Kroeckel et al. 2012, Lock et al. 2016).

En cuanto a la alimentación de la tilapia (*Oreochromis niloticus*), han realizado investigaciones en las que se ha utilizado harina de MSN como sustituto del concentrado de soya en un 50% en la dieta de los peces (Dietz y Liebert 2018, Tippayadara et al. 2021). Según los resultados obtenidos por Dietz y Liebert (2018), esta sustitución mejoró la calidad de la proteína del alimento y no afectó el crecimiento de las tilapias que tenían un peso de 35 g.

Estudios con la lucioperca (*Sander lucioperca*) han encontrado resultados similares, sin un impacto significativo en la mayoría de los parámetros de crecimiento evaluados (peso corporal, tasa de crecimiento, longitud total, factor de condición, eficiencia alimenticia y supervivencia) al incluir hasta un 18% de harina de MSN en la dieta (Tran et al. 2021, Stejskal et al. 2023).

Efectos de la inclusión de la harina de larvas de la MSN en la nutrición de peces y crustáceos. La obtención de alimentos a base de insectos no genera impactos negativos en el ambiente, a su vez son animales productivos que se desarrollan extremadamente rápido gracias a su reproducción sencilla, ciclo de vida veloz, además de ser efectivos en convertir los sustratos orgánicos de baja calidad en proteínas y grasas con alto valor nutricional (Liland et al. 2017, Ewald et al. 2020).

La harina de insectos (HI) ha emergido como una opción nutritiva factible para sustituir la HP, además tiene un buen balance de aminoácidos esenciales, alto valor proteico (60 a 70%), vitaminas y minerales. Es así como tiene un valor nutricional muy semejante a la de HP, contiene

fibra, lípidos y energía en buenas proporciones (Avendaño et al. 2020, Sánchez et al. 2021). El contenido nutritivo de la harina de insectos varía por la especie, desarrollo en sus etapas, alimentación y crianza (Van Huis 2013, Henry et al. 2015, Nogales-Mérida et al. 2019). Asimismo, el procesamiento adecuado de la harina de insectos es crucial para asegurar que sea una fuente de alimento nutritiva, digestible, palatable y segura para los peces (Lock et al. 2016, Nogales-Mérida et al. 2019). Los artrópodos forman parte de la alimentación de una gran variedad de peces, por lo tanto, la HI no es algo extraño para estas especies (Viesca y Romero 2009, Barroso et al. 2014). Todo lo mencionado, hacen de la HI una opción valiosa a la HP en dietas para peces (Van Huis 2013).

La MSN es una especie de insecto que ha sido identificada como una de las más alentadoras e importantes fuentes nutritivas que puede utilizarse tanto como alimento para humanos, como para animales (Van Huis 2013, Abdel-Tawwab et al. 2020). El estadio larval de este insecto logra alimentarse de gran cantidad de residuos orgánicos para asimilarlos en su propio tejido estructural, con un grado importante de proteína cruda (38,3 a 52,3% de MS) y lípidos crudos (21,8 a 38,6% de MS) (Tschirner 2015). Gracias a las bondades nutricionales, las larvas de MSN han sido incluidas satisfactoriamente en piensos (Tan et al. 2015, Belghit et al. 2019), afianzando su importancia como suministro de alimentación nutritiva (Spranghers et al. 2017, Meneguz et al. 2018).

Debido a la composición nutricional beneficiosa, la harina de MSN se usa con frecuencia como insumo en la acuicultura (Caimi et al. 2021, Lanés et al. 2021, Khieokhajokhet et al. 2022). Según el sustrato de crianza seleccionado, la MSN tendrá un contenido entre 42 a 60% y de 10 a 35% para proteínas y lípidos, respectivamente (Diener et al. 2009, NRC 2011). La característica de aminoácidos esenciales de la HP se asemeja más a la harina de MSN con relación a la harina de soja, que por lo regular es usada como fuente de proteína vegetal (Diener et al. 2009, NRC 2011, Mohan et al. 2022). La harina de MSN contiene gran cantidad de carotenoides de proteína A, minerales y sustancias con bondades fisiológicas como ácido láurico, quitina, péptidos antimicrobianos, entre otros, que contribuyen a la salud del animal (Liland et al. 2017, Borel et al. 2021, Suryati et al. 2023).

La harina de MSN presenta una composición nutricional muy parecida a la HP en relación de ácidos grasos y aminoácidos (Nogales-Mérida et al. 2019, Prakoso et al. 2022). Además, el porcentaje de lípidos en la MSN es aproximadamente de 20,7% y en la HP de 11,5% (Wang et al. 2017, Prakoso et al. 2022).

La inclusión de la harina de MSN en la dieta de trucha arco iris disminuye la hinchazón intestinal que produce la harina de soja, denominada enteritis intestinal (Caimi et al. 2021, Kumar et al. 2021). También la adición leve (6,25% y 12,5%) de la harina de MSN en la dieta del salmón del atlántico disminuye la esteatosis de enterocitos del ciego pilórico y hasta adicionando en un 25% fortaleció la histología del intestino distal (Li et al. 2019, Weththasinghe et al. 2021). Además, los beneficios antioxidantes podrían aumentar al añadir la harina de MSN en la dieta de peces (Li et al. 2017, Xu et al. 2020).

Las larvas de MSN y las larvas del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) son los insectos más empleados y auspiciosos en la nutrición animal (Bußler et al. 2016, Lawal et al. 2021). Los análisis demostraron que es probable la sustitución parcial de la HP por la harina de insectos sin exponer la productividad y el estado del

producto (Stadtlander et al. 2017, Toriz-Roldan et al. 2019). Las normativas de la Unión Europea en el año 2017 accedieron a que la harina de MSN se pueda incluir en las dietas para especies marinas (European Commission 2017, Avendaño et al. 2020).

Tabla 1. Valores nutricionales (en %, composición de aminoácidos en g/16 g de nitrógeno) de las harinas de diferentes insectos (todos sin desgrasar) y de insumos empleados en la acuicultura según Alfiko et al. (2022).

Composición nutricional	Pupas de <i>Bombyx mori</i>	Larvas de <i>Hermetia illucens</i>	Larvas de <i>Musca domestica</i>	Larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	Larvas de <i>Alphitobius diaperinus</i>	<i>Acheta domestica</i>	<i>Grylloides sigillatus</i>	<i>Gryllus assimilis</i>	Harina de pescado	Harina de soja
Proteína cruda	60,7	42,1	50,4	52,8	57,3	63,3	59,8	55,5	70,6	51,8
Lípidos	25,7	26	18,9	36,1	8,5	17,3	13,3	11,8	9,9	2
Calcio	0,38	7,56	0,47	0,27	0,13	1,01	0,2	-	4,34	0,39
Fosforo	0,6	0,9	1,6	0,78	0,11	0,79	1,04	-	2,79	0,69
Valina	5,5	8,2	4	6	4	5,1	6	-	4,9	4,5
Isoleucina	5,1	5,1	3,2	4,6	4	4,4	4,8	-	4,2	4,16
Leucina	7,5	7,9	5,4	8,6	5,8	9,8	8	-	7,2	7,58
Fenilalanina	5,2	5,2	4,6	4	3,4	3	2,5	-	3,9	5,16
Tirosina	5,9	6,9	4,7	7,4	3,3	5,2	5,2	-	3,1	3,35
Ácido aspártico	10,4	11	7,5	7,5	9,4	7,7	8,8	-	9,1	14,14
Protina	5,2	6,6	3,3	6,8	2,9	5,6	6,2	-	4,2	5,99
Alanina	5,8	7,7	5,8	7,3	4,6	8,8	9,5	-	6,3	4,54

La harina de larvas de la MSN no es la panacea. Los alimentos que contienen insectos se están comercializando en Europa, por lo tanto, esto trae la necesidad de implementar un nuevo marco normativo (Van Huis 2019). La crianza de insectos en grandes proporciones podría generar peligrosidad microbiológica y química, debido al riesgo de enfermedades derivadas de priones (German Federal Institute for Risk Assessment et al. 2019). En el pasado, la inclusión de insectos en la dieta de animales de granja era una práctica prohibida debido al riesgo de enfermedades. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que estas preocupaciones pueden ser mitigadas mediante un manejo adecuado de la producción de insectos (Van Huis 2019).

Uno de los principales problemas de la harina de insectos desde el punto de vista nutricional es la baja presencia de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (PUFA) (Becker y Yu 2013, Llagostera et al. 2019). A diferencia del estudio de Agbohessou et al. (2021), Guerreiro et al. (2021) observaron una reducción en la actividad de la tripsina en el intestino de la corvina (*Argyrosomus regius*), al aumentar el porcentaje de harina de MSN en la dieta. En el caso de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), al reemplazar del 25% al 40% la HP por harina de MSN, no presentó cambio significativo la actividad de la tripsina (Villanueva-Gutiérrez et al. 2022).

Un inconveniente al momento de añadir cantidades elevadas de harina de la MSN en la dieta de los peces es la quitina, ya que afecta la digestibilidad y asimilación de nutrientes (Kroeckel et al. 2012, Magalhães et al. 2017, Renna et al. 2017). A su vez, el aumento de la quitina por la HI en las dietas podría haber limitado el acceso de la enzima proteolítica a sus sustratos (Henry et al. 2015, Guerreiro et al. 2021).

Lu et al. (2020) y Agbohessou et al. (2021) registraron una disminución en la acción de la amilasa y lipasa en el intestino de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) al reemplazar las proteínas de la harina de soja en su

alimentación con diferentes porcentajes (50, 75 y 100%) de harina de MSN.

MSN como potencial bioactivo con funciones antimicrobianas, antifúngicas y antivirales. El uso de larvas de MSN como alternativa a la harina y al aceite de pescado, se considera una opción prometedora debido a su alto contenido de proteínas, lípidos y minerales, así como su potencial bioactivo (Lock et al. 2016). Un estudio examinó cómo la sustitución parcial de la proteína y el aceite de pescado con proteína y aceite de MSN parcialmente desgrasadas afectaría positivamente el crecimiento, la inmunidad, la barrera mucosa y la composición de ácidos grasos del barramundi (*Lates calcarifer*) (Hender et al. 2021). Los resultados demostraron que la MSN podría sustituir el 30% de la harina y el aceite de pescado sin afectar el crecimiento del barramundi, y que además mejoraría su inmunidad, al aumentar la actividad bactericida, la expresión de citoquinas y las células de mucina en el intestino y la piel (Lock et al. 2016).

La quitina de la harina de MSN logra un aspecto prebiótico en la comunidad de microorganismos intestinales en peces jóvenes de Salmón del atlántico *S. salar* (Nogales-Mérida et al. 2019, Leeper et al. 2022).

Esta bondad ayudaría a la acuicultura, debido a que una mayor gama microbiana y una colectividad estándar, supondría un bienestar intestinal apropiado, respaldando la producción en la acuicultura (Infante-Villamil et al. 2021, Sibinga et al. 2023). Según Rumpold y Schlüter (2013) y Ambrosi et al. (2021), debido a la presencia importante de proteínas, grasas y minerales, las larvas de insectos son una alternativa interesante a la HP en dietas acuícolas. La parte lipídica de la MSN puede ser de utilidad como reserva importante de moléculas bioactivas que tienen la facultad de eliminar superbacterias (resistentes a antibióticos), esto resulta auspicioso en el terreno de la acuicultura (Marusich et al. 2020, Mohamed et al. 2021). La presencia lipídica que poseen las larvas de MSN, en forma de extracto,

tiene la capacidad de ser antifitopatígeno (Makkar et al. 2014, Marusich et al. 2020). La grasa de la MSN presenta abundante ácido graso láurico, palmítico, cáprico, mirístico, linoleico, oleico, y el ácido mirístico que contiene una gama antibacteriana importante (Danieli et al. 2019, Hoc et al. 2020).

CONCLUSIONES

La acuicultura se está expandiendo rápidamente y la harina de insectos, en este caso la harina de larvas de MSN está surgiendo como una alternativa sustentable en la alimentación acuícola. La inclusión de la MSN en la dieta de peces y crustáceos ofrece ventajas en términos de costos de producción y ambientales, ya que las larvas de MSN pueden convertir residuos orgánicos que muchas veces son acumulados en botaderos (generando gases de efecto invernadero, contaminación de suelo, agua, proliferación de vectores, entre otros) en piensos para la acuicultura y animales de granja. También generan un subproducto llamado frass que es su abono. Asimismo, la harina de MSN tiene un perfil nutricional aceptable, con niveles significativos de proteínas, lípidos y minerales. Por lo tanto, puede ser utilizada para reemplazar parcialmente la HP en las dietas acuícolas, ofreciendo beneficios en términos de salud digestiva, crecimiento, desarrollo, entre otros.

Sin embargo, existen desafíos que deben abordarse, como la seguridad alimentaria, la digestibilidad de los alimentos y asimilación de nutrientes, esto debido a la quitina presente en los insectos. Se requiere más investigación para optimizar el uso de la harina de insectos en las dietas de animales y garantizar la producción de alimentos seguros y de alta calidad.

En general, la harina de insectos, especialmente la harina de MSN, tiene el potencial de contribuir positivamente a la seguridad alimentaria global y a la sustentabilidad del sector acuícola. Continuar investigando y desarrollando prácticas adecuadas permitirá aprovechar al máximo los beneficios económicos y ambientales que ofrece la inclusión de insectos en la acuicultura.

ORCID

Puebla, P.B. <https://orcid.org/0000-0003-3840-525X>

Chuquillanqui Huamán, D.X. <https://orcid.org/0000-0002-6064-5463>

García Pio, M. <https://orcid.org/0000-0002-8244-8559>

Zapata Mandujano, R. <https://orcid.org/0000-0002-3655-9119>

Cajusol Bravo, O. <https://orcid.org/0009-0002-7805-7683>

Torres Zevallos, U. <https://orcid.org/0000-0002-0804-5700>

REFERENCIAS

1. Abdel-Tawwab M, Khalil RH, Metwally AA, Shakweer MS, Khallaf MA, Abdel-Latif H M. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal on growth performance, organs-somatic indices, body composition, and hemato-biochemical variables of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*. 2020; 522: 735136.
2. Agbohessou PS, Mandiki R, Goubédji A, Megido RC, Lima LMW, Cornet V ... , Kestemont P. Efficiency of fatty acid-enriched dipteran-based meal on husbandry, digestive activity and immunological responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles. *Aquaculture*. 2021; 545: 737193.
3. Alfiko Y, Xie D, Astuti RT, Wong J, Wang L. Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquacult. Fish*. 2022; 7(2):166-78.
4. Ambrosi V, Caporaletti D, Fernandez-Arhex V, Gallardo G, Lillo MI, Luna A ... , Polenta G. *Producción de insectos para consumo humano. Descripción de procesos y perfil de riesgo*. 2021: ISSN 26182785. Red Segur. Aliment. CONICET.
5. Ameixa OM, Duarte PM, Rodrigues DP. *Insects, food security, and sustainable aquaculture*. Springer Int. Publ. 2020; pp. 425-435.
6. Avendaño C, Sánchez M, Valenzuela C. Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. *Rev. Chil. Nutr.* 2020; 47(6): 1029-1037.
7. Barroso FG, de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*. 2014; 422: 193-201.
8. Barroso FG, Sánchez-Muros MJ, Segura M, Morote E, Torres A, Ramos R, Guil JL. Insects as food: Enrichment of larvae of *Hermetia illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications. *J. Food Compos. Anal.* 2017; 62: 8-13.
9. Barroso FG, Sánchez-Muros MJ, Rincón MÁ, Rodríguez-Rodríguez M, Fabrikov D, Morote E, Guil-Guerrero JL. Production of n-3-rich insects by bioaccumulation of fishery waste. *J. Food Compos. Anal.* 2019; 82: 103237.
10. Becker PM, Yu, P. What makes protein indigestible from tissue-related, cellular, and molecular aspects?. *Mol. Nutr. Food Res.* 2013; 57(10): 1695-1707.
11. Belghit I, Liland NS, Gjesdal P, Biancarosa I, Menchetti E, Li Y, ... Lock EJ. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 2019; 503: 609-619.
12. Belghit I, Liland NS, Waagbø R, Biancarosa I, Pelusio N, Li Y, ... Lock EJ. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 2018; 491: 72-81.
13. Borel P, Hammaz F, Morand-Laffargue L, Creton B, Halimi C, Sabatier D, Desmarchelier C. Using black soldier fly larvae reared on fruits and vegetables waste as a sustainable dietary source of provitamin A carotenoids. *Food Chem.* 2021; 359: 129911.
14. Bruni L, Pastorelli R, Viti C, Gasco L, Parisi G. Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (Black Soldier Fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source. *Aquaculture*. 2018; 487: 56-63.
15. Bruni L, Belghit I, Lock EJ, Secci G, Taiti C, Parisi

- G. Total replacement of dietary fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae does not impair physical, chemical or volatile composition of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. Sci. Food Agric.* 2020; 100(3): 1038-1047.
16. Bußler S, Rumpold BA, Jander E, Rawel HM, Schlüter OK. Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon.* 2016; 2(12): e00218.
 17. Caimi C, Biasato I, Chemello G, Oddon SB, Lussiana C, Malfatto VM, 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*). *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2021; 12: 1-15.
 18. Commission Regulation (EU). Amending Annexes I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as regards the provisions on processed animal protein. EUR-Lex. 2017.
 19. Cummins JVC, Rawles SD, Thompson KR, Velasquez A, Kobayashi Y, Hager J, Webster CD. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture.* 2017; 473: 337-344.
 20. Danieli PP, Lussiana C, Gasco L, Amici A, 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.* 2019; 9(4): 178.
 21. Diener S, Zurbrugg C, Tockner K. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Manag. Res.* 2009; 27(6): 603-610.
 22. Dietz C, Liebert F. Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)?. *Aquaculture Rep.* 2018; 12: 43-48.
 23. Dumas A, Raggi T, Barkhouse J, Lewis E, 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.* 2018; 492: 24-34.
 24. Ewald N, Vidakovic A, Langeland M, Kiessling A, Sampels S, Lalander C. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Manag.* 2020; 102: 40-47.
 25. FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma. 2012; pp. 231.
 26. FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. 2020; pp. 243.
 27. Fisher HJ, Collins SA, Hanson C, Mason B, Colombo SM, Anderson DM. Black soldier fly larvae meal as a protein source in low fish meal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture.* 2020; 521: 734978.
 28. Freccia A, Tubin JSB, Rombenso AN, Emerenciano MGC. Insects in aquaculture nutrition: an emerging eco-friendly approach or commercial reality?. *Emerg. Technol. Environ. Res. Sustain. Aquaculture.* 2020; 23: 1-14.
 29. Foysal MJ, Gupta SK. A systematic meta-analysis reveals enrichment of *Actinobacteria* and *Firmicutes* in the fish gut in response to black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal-based diets. *Aquaculture.* 2022; 549: 737760.
 30. Froehlich HE, Gentry RR, Halpern BS. Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nat. Ecol. Evol.* 2018; 2(11): 1745-1750.
 31. German Federal Institute for Risk Assessment (BfR), National Reference Laboratory for Animal protein in Feed, NRL-AP, Garino C, Zagon J., Braeuning A. Insects in food and feed—allergenicity risk assessment and analytical detection. *EFSA J.* 2019; 17, e170907.
 32. Giannetto A, Oliva S, Lanes CFC, de Araújo Pedron F, Savastano D, Baviera C, ... Fasulo S. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. *J. Biotechnol.* 2020; 307: 44-54.
 33. Glencross BD. 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,* 2020; 26(6): 1871-1883.
 34. Godfray HCJ, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Nisbett N, ... Whiteley R. The future of the global food system. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2010; 365(1554): 2769-2777.
 35. Guerreiro I, Serra CR, Coutinho F, Couto A, Castro C, Rangel F, ... Enes P. Digestive enzyme activity and nutrient digestibility in meagre (*Argyrosomus regius*) fed increasing levels of black soldier fly meal (*Hermetia illucens*). *Aquaculture Nutr.* 2021; 27(1): 142-152.
 36. Hender A, Siddik MA, Howieson J, Fotedar R. Black soldier fly, *Hermetia illucens* as an alternative to fishmeal protein and fish oil: impact on growth, immune response, mucosal barrier status, and flesh quality of juvenile barramundi, *latas calcarifer* (Bloch, 1790). *Biology.* 2021; 10(6): 505.
 37. Henry M, Gasco L, Piccolo G, Fountoulaki E. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2015; 203: 1-22.
 38. Hoc B, Genva M, Fauconnier ML, Lognay G, Francis F, Caparros Megido R. About lipid metabolism in *Hermetia illucens* (L. 1758): on the origin of fatty acids in prepupae. *Sci. Rep.* 2020; 10(1): 11916.
 39. Hoffmann L, Rawski M, Pruszyńska-Oszmałek E, Kołodziejcki P, Mazurkiewicz J. Environmentally sustainable feeding system for sea trout (*Salmo trutta* m. *trutta*): Live food and insect meal-based diets in larval rearing. *Aquaculture Rep.* 2021; 21: 100795.

40. Hua K, Cobcroft JM, Cole A, Condon K, Jerry DR, Mangott A, ... Strugnell JM. The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*. 2019; 1(3): 316-329.
41. Hwang D, Lim CH, Lee SH, Goo TW, Yun EY. Effect of feed containing *Hermetia illucens* larvae immunized by *Lactobacillus plantarum* injection on the growth and immunity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Insects*. 2021; 12(9): 801.
42. Infante-Villamil S, Huerlimann R, Jerry DR. Microbiome diversity and dysbiosis in aquaculture. *Rev. Aquacult*. 2021; 13(2): 1077-1096.
43. Jannathulla R, Rajaram V, Kalanjiam R, Ambasankar K, Muralidhar M, Dayal JS. Fishmeal availability in the scenarios of climate change: Inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources. *Aquaculture Res*. 2019; 50(12): 3493-3506.
44. Khieokhajonkhet A, Uanlam P, Ruttarattanamongkol K, Aeksiri N, Tatsapong P, Kaneko G. Replacement of fish meal by black soldier fly larvae meal in diet for goldfish *Carassius auratus*: Growth performance, hematology, histology, total carotenoids, and coloration. *Aquaculture*. 2022; 561: 738618.
45. Kokou F, Fountoulaki, E. Aquaculture waste production associated with antinutrient presence in common fish feed plant ingredients. *Aquaculture*. 2018; 495: 295-310.
46. Koutsos L, McComb A, Finke M. Insect composition and uses in animal feeding applications: a brief review. *Ann. Entomol. Soc. Am*. 2019; 112(6): 544-551.
47. Kroeckel S, Harjes AG, Roth I, Katz H, Wuertz S, Susenbeth A, Schulz C. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute-Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*. 2012; 364: 345-352.
48. Kumar V, Fawole FJ, Romano N, Hossain MS, Labh SN, Overturf K, Small BC. Insect (black soldier fly, *Hermetia illucens*) meal supplementation prevents the soybean meal-induced intestinal enteritis in rainbow trout and health benefits of using insect oil. *Fish Shellfish Immunol*. 2021; 109: 116-124.
49. Lanes CF, Pedron FA, Bergamin GT, Bitencourt AL, Dorneles BE, Villanova JC, ... Giannetto, A. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae and prepupae defatted meals in diets for zebrafish (*Danio rerio*). *Animals*. 2021; 11(3): 720.
50. Lawal KG, Kavle RR, Akanbi TO, Miroso M, Agyei D. Enrichment in specific fatty acids profile of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* larvae through feeding. *Future Foods*. 2021; 3: 100016.
51. Leeper A, Benhaïm D, Smárason BÖ, Knobloch S, Ómarsson KL, Bonnafoux T, ... Overland, M. Feeding black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on organic rest streams alters gut characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Insects Food Feed*. 2022; 8(11): 1355-1372.
52. Li S, Ji H, Zhang B, Zhou J, Yu H. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. *Aquaculture*. 2017; 477: 62-70.
53. Li Y, Kortner TM, Chikwati EM, Munang'andu HM, Lock EJ, Krogdahl Å. Gut health and vaccination response in pre-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Fish Shellfish Immunol*. 2019; 86:1106-1113.
54. Liland NS, Biancarosa I, Araujo P, Biemans D, Bruckner CG, Waagbø R, ... Lock EJ. Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media. *PLoS one*. 2017; 12(8): e0183188.
55. Lock ER, Arsiwalla T, Waagbø R. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutr*. 2016; 22(6): 1202-1213.
56. Lu R, Chen Y, Yu W, Lin M, Yang G, Qin C, ... Nie G. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can replace soybean meal in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) diets. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100520.
57. Llagostera PF, Kallas Z, Reig L, De Gea DA. The use of insect meal as a sustainable feeding alternative in aquaculture: Current situation, Spanish consumers' perceptions and willingness to pay. *J. Clean. Prod*. 2019; 229: 10-21.
58. Magalhães R, Sánchez-López A, Leal RS, Martínez-Llorens S, Oliva-Teles A, Peres H. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*. 2017; 476: 79-85.
59. Makkar HP, Tran G, Heuzé V, Ankers P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol*. 2014; 197: 1-33.
60. Marusich E, Mohamed H, Afanasev Y, Leonov S. Fatty acids from *Hermetia illucens* larvae fat inhibit the proliferation and growth of actual phytopathogens. *Microorganisms*. 2020; 8(9): 1423.
61. Meneguz M, Schiavone A, Gai F, Dama A, Lussiana C, Renna M, Gasco L. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *J. Sci. Food Agric*. 2018; 98(15): 5776-5784.
62. Mikołajczak Z, Rawski M, Mazurkiewicz J, Kierończyk B, Józefiak D. The effect of hydrolyzed insect meals in sea trout fingerling (*Salmo trutta* m. trutta) diets on growth performance, microbiota and biochemical blood parameters. *Animals*. 2020; 10(6): 1031.
63. Mo WY, Man YB, Wong MH. Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. *Sci. Total Environ*. 2018; 613: 635-643.
64. Mohamed H, Marusich E, Afanasev Y, Leonov S. Fatty Acids-Enriched Fractions of *Hermetia illucens* (Black Soldier Fly) Larvae Fat Can Combat MDR

- Pathogenic Fish Bacteria *Aeromonas* spp. *Int. J. Mol. Sci.* 2021; 22(16): 8829.
65. Mohan K, Rajan DK, Muralisankar T, Ganesan AR, Sathishkumar P, Revathi N. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs. *Aquaculture*. 2022; 553: 738095.
 66. Monteiro dos Santos DK, Santana TM, de Matos Dantas F, Farias AB, Epifânio CMF, Prestes AG., ... Gonçalves LU. Defatted black soldier fly larvae meal as a dietary ingredient for tambaqui (*Colossoma macropomum*): Digestibility, growth performance, haematological parameters, and carcass composition. *Aquaculture Res.* 2022; 53(18): 6762-6770.
 67. Nairuti RN, Musyoka SN, Yegon MJ, Opiyo MA. Utilization of black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae as a protein source for fish feed—a review. *Aquaculture Stud.* 2021; 22(2): AQUAST697.
 68. Naylor RL, Hardy RW, Buschmann AH, Bush SR, Cao L, Klinger DH, ... Troell M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. 2021; 591(7851): 551-563.
 69. Nogales-Mérida S, Gobbi P, Józefiak D, Mazurkiewicz J, Dudek K, Rawski M, ... Józefiak A. Insect meals in fish nutrition. *Rev. Aquacult.* 2019; 11(4): 1080-1103.
 70. NRC (National Research Council). Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. *Board on Agriculture and Natural Resources Division on Earth and Life Studies*. Washington, D.C. 2011; pp. 376.
 71. Ordoñez BM, Santana TM, Carneiro DP, dos Santos DK, Parra GA, Moreno LC., ... Gonçalves LU. Whole black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as dietary replacement of extruded feed for tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles. *Aquaculture J.* 2022; 2(4): 246-256.
 72. Pradeepkiran JA. Aquaculture role in global food security with nutritional value: a review. *Transl. Anim. Sci.* 2019; 3(2): 903-910.
 73. Prakoso VA, Irawan A, Iswantari A, Maulana F, Samsudin R, Jayanegara A. Evaluation of dietary inclusion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae on fish production performance: a meta-analysis. *J. Insects Food Feed.* 2022; 8(11): 1373-1384.
 74. Ramos-Lazo DI. *Producción y valoración nutricional de harina de larva de Tenebrio molitor como fuente proteica no tradicional para su uso en la alimentación animal*. Tesis para optar al título profesional de Médico Veterinario y Zootecnista. Universidad Católica de Santa María. 2021; pp. 119.
 75. Rodrigues DP, Calado R, Pinho M, Domingues MR, Vázquez JA, Ameixa OM. Bioconversion and performance of black soldier fly (*Hermetia illucens*) in the recovery of nutrients from expired fish feeds. *Waste Manag.* 2022; 141: 183-193.
 76. Randazzo B, Zarantoniello M, Cardinaletti G, Cerri R, Giorgini E, Belloni A, ... Olivotto I. *Hermetia illucens* and poultry by-product meals as alternatives to plant protein sources in gilthead seabream (*Sparus aurata*) diet: A multidisciplinary study on fish gut status. *Animals*. 2021; 11(3): 677.
 77. Rawski M, Mazurkiewicz J, Kierończyk B, Józefiak D. Black soldier fly full-fat larvae meal as an alternative to fish meal and fish oil in Siberian sturgeon nutrition: The effects on physical properties of the feed, animal growth performance, and feed acceptance and utilization. *Animals*. 2020; 10(11): 2119.
 78. Renna M, Schiavone A, Gai F, Dabbou S, Lussiana C, Malfatto V, ... Gasco L. 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. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2017; 8(1): 1-13.
 79. Rumpold BA, Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol. Nutr. Food Res.* 2013; 57(5): 802-823.
 80. Sánchez M, Gómez C, Avendaño C, Harmsen I, Ortiz D, Ceballos R, ... Valenzuela C. House fly (*Musca domestica*) larvae meal as an ingredient with high nutritional value: Microencapsulation and improvement of organoleptic characteristics. *Food Res. Int.* 2021; 145: 110423.
 81. Schiavone A, De Marco M, Martínez S, Dabbou S, Renna M, Madrid J, ... 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. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2017; 8: 1-9.
 82. Sibinga NA, Lee MT, Buchon N, Johnson EL, Selvaraj V, Marquis H. Do antimicrobial peptide levels alter performance of insect-based aquaculture feeds—a study using genetic models of insect immune activation. *J. Insects Food Feed.* 2023; 9(7): 919-934.
 83. Silva MS, Matos R, Araujo P, Lock EJ, Gopika R, Prabhu PAJ, Belghit I. In vitro assessment of protein digestibility and mineral solubility of black soldier fly larvae meals for monogastric animals. *J. Insects Food Feed.* 2022; 8(9): 953-966.
 84. Sinha AK, Kumar V, Makkar HP, De Boeck G, Becker K. Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition—A review. *Food Chem.* 2011; 127(4): 1409-1426.
 85. Spranghers T, Ottoboni M, Klootwijk C, Ovyne A, Deboosere S, De Meulenaer B, ... De Smet S. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *J. Sci. Food Agric.* 2017; 97(8): 2594-2600.
 86. Stadlander T, Stamer A, Buser A, Wohlfahrt J, Leiber F, Sandrock C. *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *J. Insects Food Feed.* 2017; 3(3): 165-175.
 87. St-Hilaire S, Cranfill K, McGuire M, Mosley EE, Tomberlin JK, Newton L, Sealey W, Sheppard C, Irving S. Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. *JWAS*. 2007; 38(2): 309-313.
 88. Stejskal V, Tran HQ, Prokesová M, Zare M, Gebauer T, Policar T, ... Gasco L. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) in pikeperch (*Sander*

- lucioperca*) diets: Effects on growth performance, nutrient digestibility, fillet quality, economic and environmental sustainability. *Anim. Nutr.* 2023; 12: 7-19.
89. Sumbule EK, Ambula MK, Osuga IM, Changeh JG, Mwangi DM, Subramanian S, ... Tanga, CM. Cost-effectiveness of black soldier fly larvae meal as substitute of fishmeal in diets for layer chicks and growers. *Sustainability.* 2021; 13(11): 6074.
 90. Suryati T, Julacha E, Farabi K, Ambarsari H, Hidayat AT. Lauric Acid from the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) and Its Potential Applications. *Sustainability.* 2023; 15(13): 10383.
 91. Tippayadara N, Dawood MA, Krutmuang P, Hoseinifar SH, Doan HV, 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.* 2021; 11(1): 193.
 92. Toriz-Roldan A, Ruiz-Vega J, García-Ulloa M, Hernández-Llamas A, Fonseca-Madrigal J, Rodríguez-González H. Assessment of Dietary Supplementation Levels of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, Pre-Pupae Meal for Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Southw. Entomol.* 2019; 44(1): 251-259.
 93. Tran G, Heuzé V, Makkar HP. Insects in fish diets. *Anim. Front.* 2015; 5(2): 37-44.
 94. Tran HQ, Prokešová M, Zare M, Gebauer T, Elia AC, Colombino E, ... Stejskal V. How does pikeperch *Sander lucioperca* respond to dietary insect meal *Hermetia illucens*? Investigation on gut microbiota, histomorphology, and antioxidant biomarkers. *Front. Mar. Sci.* 2021; 8: 680942.
 95. Tan HSG, Fischer AR, Tinchan P, Stieger M, Steenbekkers LPA, van Trijp HC. Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Qual. Prefer.* 2015; 42: 78-89.
 96. Tschirner M, Simon A. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *J. Insects Food Feed.* 2015; 1(4): 249-259.
 97. Viesca FC, Romero AT. La Entomofagia en México. Algunos aspectos culturales. *El Periplo Sustentable.* 2009; 16: 57-83.
 98. Vilcinskas A. Evolutionary plasticity of insect immunity. *J. Insect Physiol.* 2013; 59(2): 123-129.
 99. Villanueva-Gutiérrez E, Rodríguez-Armenta C, González-Félix ML, Perez-Velazquez M. Incorporating hydrolyzed soy protein or black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal into feeds for *Totoaba macdonaldi*. *Aquaculture.* 2022; 554: 738152.
 100. Wang YS, Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods.* 2017; 6(10): 91.
 101. Wang G, Peng K, Hu J, Yi C, Chen X, Wu H, Huang Y. Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets. *Aquaculture.* 2019; 507: 144-154.
 102. Weththasinghe P, Lagos L, Cortés M, Hansen JØ, Øverland M. Dietary inclusion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal and paste improved gut health but had minor effects on skin mucus proteome and immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Front. Immunol.* 2021; 12: 599530.
 103. Van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Ann. Rev. Entomol.* 2013; 58: 563-583.
 104. Van Huis A. Welfare of farmed insects. *J. Insects Food Feed.* 2019; 5(3): 159-162.
 105. Xu X, Ji H, Yu H, Zhou J. Influence of dietary black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) pulp on growth performance, antioxidant capacity and intestinal health of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *specularis*). *Aquaculture Nutr.* 2020; 26(1): 432-443.
 106. Zarantoniello M, Randazzo B, Secci G, Notarstefano V, Giorgini E, Lock EJ, ... Olivotto I. Application of laboratory methods for understanding fish responses to black soldier fly (*Hermetia illucens*) based diets. *J. Insects Food Feed.* 2022; 8(11): 1173-1195.

Citación recomendada

Puebla Calinski PB, Chuquillanqui Huamán DX, García Pio M, Zapata Mandujano R, Cajusol Bravo O, Torres Zevallos U. Inclusión de harina de larvas de Mosca Soldado Negra (*Hermetia illucens*) en la nutrición de peces y crustáceos. *Rev. Vet.* 2024; 35(1):93-102. doi: <https://doi.org/10.30972/vet.3517487>