

Harina de larva de mosca soldado negro y de organismos unicelulares como alternativas proteicas para alimentos acuícolas

MARTIN PEREZ-VELAZQUEZ¹, HUGO CAÑEDO-ORIHUELA², REYNA D. FÉLIX-BERUMEN³,
MAYRA L. GONZÁLEZ-FÉLIX*⁴

RESUMEN

La búsqueda de ingredientes alternativos a la harina de pescado para su inclusión en alimento balanceado utilizado para el cultivo de organismos acuáticos es una tarea importante para la sustentabilidad de la acuicultura, una industria que satisface la demanda de alimentos acuáticos para el consumo humano. La harina de larva de mosca soldado negro y de organismos unicelulares como bacterias y levaduras, presentan contenidos de proteína relativamente altos, perfiles de amino ácidos favorables y se producen utilizando subproductos o residuos orgánicos de origen animal o vegetal, por lo que su producción es sustentable y de bajo costo, en comparación con la harina de pescado. El presente artículo de divulgación tiene por objeto dar a conocer las características más relevantes de estos insumos alternativos, así como mostrar algunos de los ejemplos más significativos de su utilización en alimentos balanceados para el cultivo de especies de importancia comercial.

Palabras clave: Ingredientes alternativos, Acuicultura, Reemplazo, Harina de pescado

¹Dr. en Nutrición Acuícola, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, martin.perez@unison.mx, ORCID: 0000-0002-9019-1220

²Candidato a Doctor, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, hugocanori@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2303-4046

³Estudiante de Maestría, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, dayhanafb@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8279-4945

⁴Dra. en Nutrición Acuícola, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, mayra.gonzalez@unison.mx, ORCID: 0000-0003-1886-4096

Autor de Correspondencia: Mayra L. González-Félix, mayra.gonzalez@unison.mx

Recibido: 1 / 12 / 2022

Aceptado: 16 / 05 / 2023

Publicado: 16 / 06 / 2023

Cómo citar este artículo:

Perez-Velazquez, M., Cañedo-Orihuela, H., Félix-Berumen, R. D., & González-Félix, M. L. (2023). Harina de larva de mosca soldado negro y de organismos unicelulares como alternativas proteicas para alimentos acuícolas. *EPISTEMUS*, 17(34). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.280>

Black Soldier Fly Larvae and Single Cell Meals as Alternative Protein Sources for Aquafeeds

ABSTRACT

Searching for alternative ingredients to replace fishmeal in balanced feeds for the culture of aquatic organisms is a relevant task to promote the sustainability of aquaculture, an industry that satisfies the demand for aquatic foods for human consumption. Black soldier fly larvae meal and single cell protein meals such as those from bacteria and yeasts, have relatively high protein contents, favorable amino acid profiles, and can be produced using by-products or organic residues from animal or vegetable sources; therefore, their production is sustainable and low-priced, as compared to that of fishmeal. This non scholarly article is intended to divulge the most relevant features of these alternative feedstuffs, and to show some of the most significant examples of their use in balanced feeds for cultured species of commercial relevance.

Key words: Alternative ingredients, Aquaculture, Replacement, Fish meal





Introducción

La búsqueda de ingredientes alternativos a la harina de pescado para su inclusión en alimento balanceado para el cultivo de organismos acuáticos constituye una de las tareas que ocupan la atención de un gran número de investigadores alrededor del mundo. Una labor difícil, pues la harina de pescado ha sido una de las principales fuentes proteicas utilizadas en acuicultura por décadas, y es muy apreciada por poseer un alto contenido proteico, un perfil de aminoácidos (AA) no solo adecuado sino también deseable, y que además contribuye ácidos grasos esenciales altamente insaturados de la familia omega-3 en la fracción de grasa remanente que contiene [1]. Su uso, sin embargo, está asociado con una acción no sostenible que deriva de la sobreexplotación de pesquerías como la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) y el arenque del Atlántico (*Brevoortia tyrannus*), entre otros. Ello, aunado a su alto costo (tabla 1), han promovido el cada vez menor uso de este insumo en la manufactura de alimento balanceado para el sector acuícola [2]. Otros insumos proteicos alternativos para reemplazar la harina de pescado, además de ser sustentables y de menor costo (tabla 1), deben estar disponibles para utilizarse en un país o región particular; no obstante, cuando se lanza al mercado un nuevo ingrediente, su disponibilidad se incrementará paulatinamente a medida que su utilización se divulgue o propague.

El requerimiento proteico de un organismo corresponde cercanamente con el requerimiento de AA esenciales específicos, así como a una necesidad no específica de grupos amino (nitrógeno no específico) para la síntesis de AA no esenciales, la contribución de AA para satisfacer requerimientos energéticos y otras necesidades metabólicas del organismo [1]. Los componentes nitrogenados presentes en un alimento balanceado, además de proteína y AA, incluyen también



compuestos como ácidos nucleicos, aminos, urea, amoníaco, nitratos, nitritos, fosfolípidos y glucósidos nitrogenados. La contribución al contenido total de N de cada ingrediente proteico es muy variable, por lo tanto, la proteína cruda (PC) y la proteína digerible de un alimento balanceado dependerá de la mezcla de sus ingredientes proteicos que difieren en su naturaleza bioquímica y valor nutricional [3] (tabla 2 [4, 5, 6]). El uso de nuevos insumos proteicos requiere entonces de un proceso de evaluación cuando se ofrecen en el alimento de alguna especie acuícola cultivada, principalmente en términos del desempeño biológico como el crecimiento y supervivencia, así como la eficiencia en la utilización de la nueva fuente de proteína dietaria usada.

Este trabajo pretende contribuir a divulgar las principales características, ventajas y desventajas de dos fuentes proteicas que están recibiendo gran atención en la industria acuícola como alternativas a la harina de pescado, la harina de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) y la harina de organismos unicelulares (single cell protein o SCP, por sus siglas en inglés). Así mismo, se examinarán resultados recientes de su utilización en dietas para especies de importancia comercial.

HARINA DE LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRO (HLMSN)

La mosca soldado negro, *H. illucens*, es un díptero con la capacidad de transformar residuos orgánicos en proteína de alta calidad. No se considera una peste y no es portadora de bacterias que puedan representar un riesgo para la salud, al contrario de la mosca común *Musca domestica* [7], de manera que es apta para utilizarse en alimentos acuícolas. Su contenido de PC disminuye conforme avanza su edad, por lo que la larva es la fase del desarrollo utilizada para la producción de harina [8].





Tabla 1. Precio de ingredientes proteicos utilizados en alimento acuícola en 2022.

Ingredientes proteicos	Precio (US dólares por tonelada métrica)
Harina de pescado (67% PC)	\$1,745.96
Harina de subproductos de pollo (67% PC)	\$698.00
Harina de gluten de maíz (60% PC)	\$603.00
Harina de sangre (80% PC)	\$450.00
Harina de soya (48% PC)	\$445.00
Harina de plumas (82%)	\$347.00
Harina de larva de mosca soldado negro (55% PC)	\$312.00
Harina de carne y hueso, porcina (50% PC)	\$285.00
Harina de subproductos de pollo (57% PC)	\$277.00
Harina de carne y hueso, rumiantes (50% PC)	\$239.00

% PC= porcentaje de proteína cruda. Información disponible el 24/marzo/2023 en Feedstuffs (www.feedstuffs.com) y el US Department of Agriculture Animal By-product Feedstuff Report (www.ams.usda.gov).

Tabla 2. Contenido proteico (% PC) y perfil de aminoácidos (g/100 g de PC) de harinas de pescado, larva de mosca soldado negro (HLMSN) y de organismos unicelulares (SCP; bacteria).

	Harina de pescado (anchoveta)	HLMSN	SCP <i>Lactobacillus acidophilus</i>
Proteína cruda (%)	64.6	60.0	69.0
<i>Aminoácidos esenciales (g/100 g de proteína cruda)</i>			
Arginina	5.7	5.0	5.1
Histidina	2.4	3.3	2.4
Treonina	4.4	4.1	4.0
Metionina	3.0	7.9	1.9
Valina	5.4	1.2	4.9
Fenilalanina	4.1	4.6	3.3
Isoleucina	4.7	2.6	4.3
Leucina	7.7	2.9	7.4
Lisina	7.9	4.7	10.4
Triptófano	1.2	0.72	4.0



La HLMSN (figura 1) presenta un alto contenido proteico, entre 37 y 63% y puede contener entre 7 y 39% de grasa cruda y 9 a 28% de ceniza, diferencias influenciadas por el sustrato utilizado para su cultivo, su contenido energético y la densidad de siembra. Un mayor contenido energético en el sustrato genera mayor contenido de grasa, mientras que un menor contenido energético genera mayor contenido proteico, por lo que se ha evaluado principalmente para sustituir fuentes de proteína en la engorda de cerdos, pollos y en la acuicultura [7, 9].

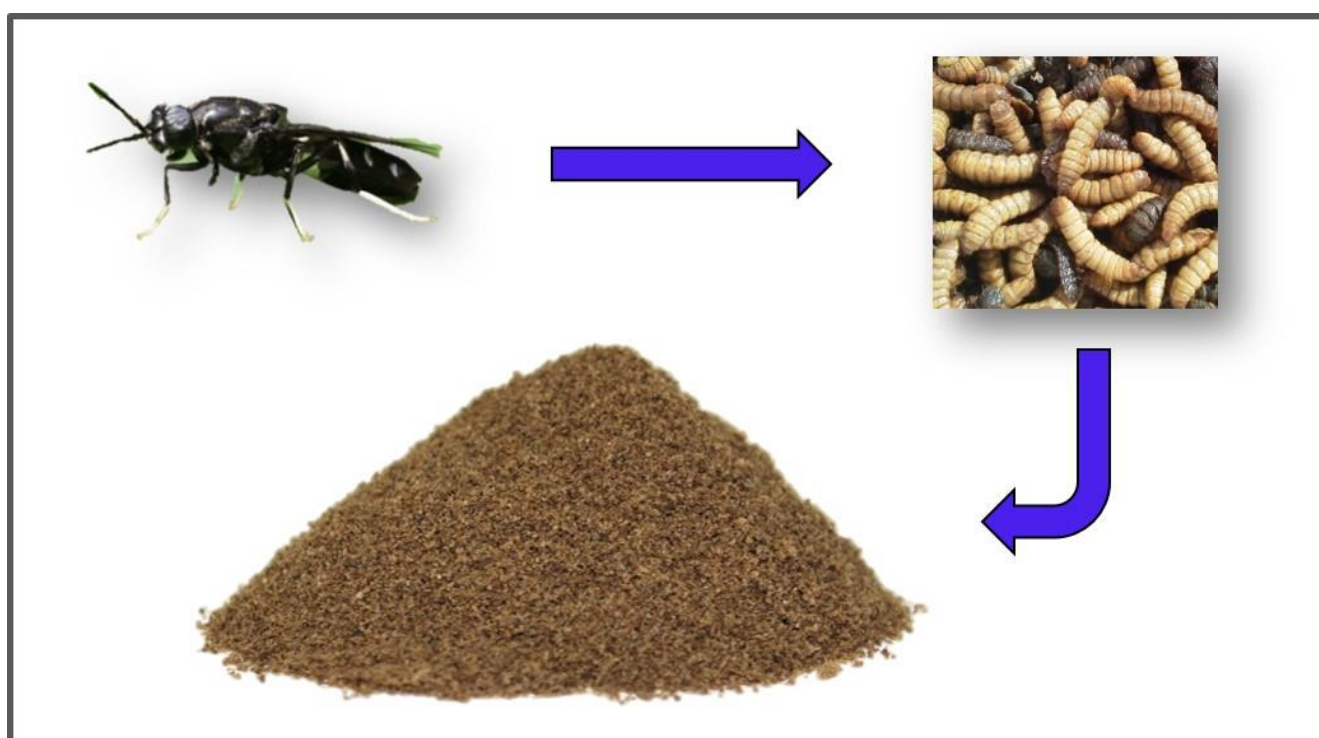


Figura 1. Harina de larva de mosca soldado negro.

Entre los posibles anti-nutrientes presentes en este insumo está la quitina, un biopolímero complejo del exoesqueleto de insectos que es de difícil digestión, lo que se relaciona con la disminución de la digestibilidad del alimento para peces y limita el porcentaje de reemplazo de harina de pescado que puede lograrse para algunas especies [10]. Por otra parte, es deficiente en metionina y cistina [7] y posee un alto contenido de grasa (24.5 a 45%), con ácido láurico (12:0)





como el ácido graso más predominante (21 a 49% del total de ácidos grasos) que puede modificar el perfil lipídico de los tejidos del pez, por ello es recomendable el uso de HLMSN desgrasada para la sustitución de harina de pescado [11]. La HLMSN representa una fuente de proteína sustentable pues permite reciclar desechos orgánicos como excremento de cerdo o pollo, desechos alimenticios de cocinas o restaurantes, granos de desecho de cervecerías o café molido y otros subproductos; se logra una conversión de hasta un 25% del sustrato en proteína de alta calidad con un bajo costo, reduciendo el impacto ambiental de desechos y generando menor cantidad de residuos.

El cultivo de la mosca soldado negro es relativamente sencillo y rápido, ya que el ciclo de vida del organismo es de apenas 45 días, y al huevo le toma aproximadamente 18 días alcanzar la etapa larvaria. El cultivo puede ser implementado en zonas remotas con difícil acceso o realizarse en traspatios, utilizando estructuras semejantes a invernaderos cerrados con ventilación y con camas, paneles o bandejas para contener los residuos orgánicos y las larvas. Incluso puede realizarse en naves cerradas con condiciones ambientales controladas de mayor costo, pero con mayor producción. La cosecha de las larvas puede ser manual, aunque hoy en día existen separadores mecánicos que agilizan el proceso, al que sigue el secado en horno a aproximadamente 50°C por 24-36 horas, la molienda y la extracción mecánica de grasa para generar la harina (figura 1), el aceite y residuos utilizados como fertilizante orgánico [12, 13].

En la trucha arcoíris *Onchorynchus mikyss*, se logró el reemplazo del 50% de harina de pescado por HLMSN sin afectar la supervivencia ni el crecimiento, y sin comprometer el rendimiento del filete [14]; el mismo nivel de reemplazo fue también aceptado por alevines de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* [12]. La carpa común *Cyprinus carpio* variedad Jian, aceptó hasta 75% de



reemplazo de harina de pescado por HLMSN desgrasada sin afectar el crecimiento, pero inclusiones superiores generaron afectaciones intestinales y estrés [15]. En el esturión siberiano *Acipenser baerii*, solo se pudo reemplazar un 25%, pues sustituciones superiores disminuyeron la digestibilidad y crecimiento [16]. En el rodaballo *Psetta maxima*, sustituciones de harina de pescado por HLMSN superiores al 33% disminuyeron la digestibilidad, la retención de proteína y el crecimiento [10]. El reemplazo de harina de pescado por HLMSN también se ha evaluado en otras especies como el salmón común *Salmo salar*, bagre africano *Clarias gariepinus*, bagre amarillo *Pelteobagrus fulvidraco*, lubina *Dicentrarchus labrax*, lubina japonesa *Lates calcarifer* y *L. japonicus*, anguila arrocera *Monopterus albus*, pez guppy *Poecilia reticulata*, lubina negra *Micropterus salmonides* y dorada *Sparus aurata*, entre otras [17].

HARINA DE ORGANISMOS UNICELULARES: BACTERIAS

La proteína de origen unicelular bacteriana (SCP bacteriano) (figura 2) tiene un contenido de PC que puede variar generalmente entre 60 y 70%, con AA esenciales y ácidos nucleicos libres presentes, además de vitaminas y minerales. La PC puede diferir dependiendo del microorganismo seleccionado, el medio de cultivo o sustrato, o la tecnología de preparación de la biomasa resultante. Por ejemplo, el contenido de PC puede ampliarse en un rango entre 50 y 83%, pero en general, tanto el perfil de AA como la digestibilidad del SCP bacteriano, es muy similar al de la harina de pescado [18].

No suele contener niveles nocivos de toxinas o factores anti-nutricionales que limiten su uso en la acuicultura, aunque ciertas especies de bacterias pueden producir exotoxinas o endotoxinas que limitan su uso como SCP, pero pueden ser destruidas por calentamiento [19]. Debido a la rápida proliferación celular, las bacterias poseen un alto contenido de ácidos nucleicos que pudieran



causar cálculos renales y vesicales en especies longevas, por lo que se recomienda su uso en animales de vida corta; sin embargo, también pueden reducirse con tratamiento térmico o mediante hidrólisis [18]. Es importante asegurar la pureza del sustrato de cultivo, pues se corre el riesgo de que las bacterias puedan absorber metales pesados o sustancias nocivas de la fuente de carbono [20].

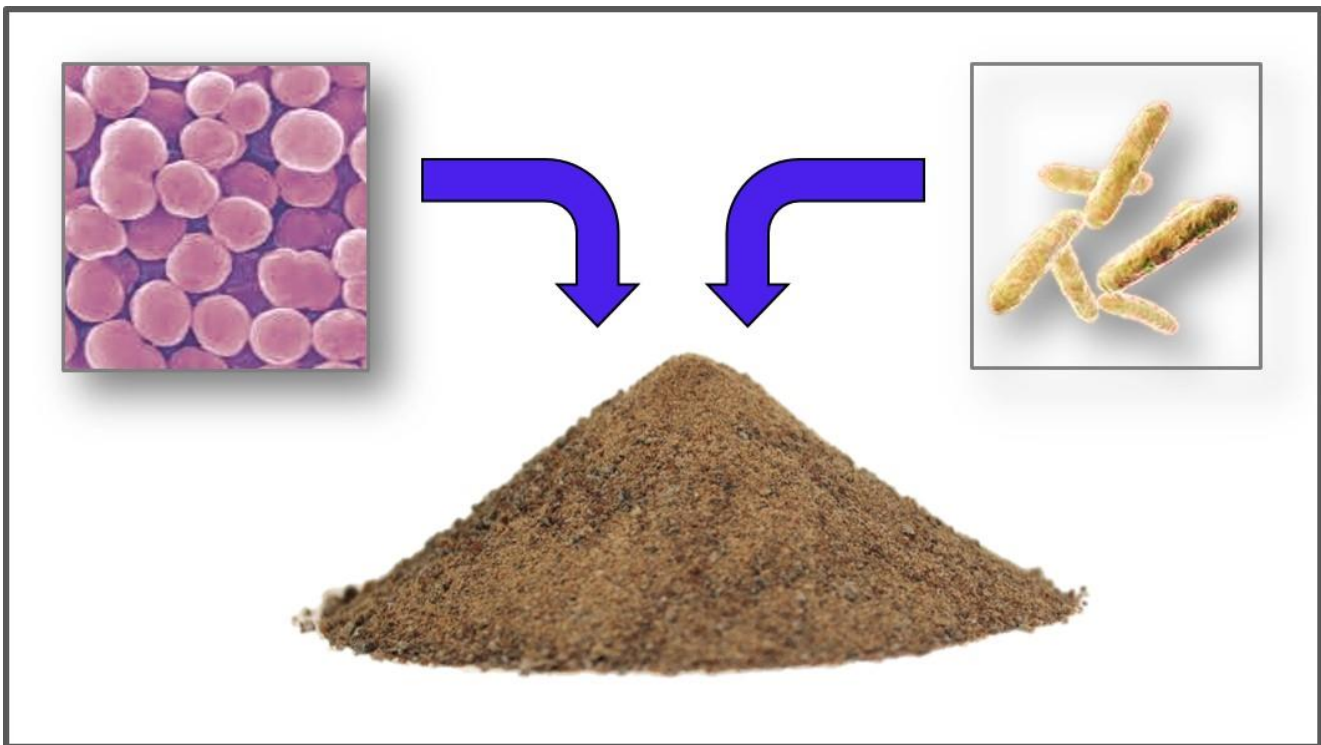


Figura 2. Harina de SCP de bacteria.

Una ventaja del uso de SCP bacteriano es que su producción no depende de variaciones estacionales o climáticas, lo que permite su producción durante todo el año en condiciones controladas. En contraste, la producción de proteína de origen vegetal e incluso animal puede verse afectada por el clima, la disponibilidad de agua y requiere una gran superficie territorial. Al igual que la HLMSN, la fabricación de SCP bacteriano utiliza como sustratos de cultivo

subproductos o residuos orgánicos de origen animal o vegetal desechados por actividades agrícolas, comerciales e industriales, por lo que también promueve la conversión de residuos y mitiga la acumulación de desechos, lo que genera una fuente proteica alternativa en forma sustentable a un bajo costo [20].

En *M. salmonides*, a una inclusión de 8.6% de SCP bacteriano de *Methylococcus capsulatus*, se logró el reemplazo de un 10% de harina de pescado en la dieta sin afectar su desempeño biológico, pero inclusiones mayores afectaron el crecimiento y dañaron el grosor de la pared intestinal y la altura de los *villi* intestinales [21]. El SCP bacteriano de *M. capsulatus*, *Alcaligenes acidovorans*, *Bacillus brevis* y *B. firmus*, promovió un buen desempeño en el crecimiento de una variedad de *O. niloticus* mejorada genéticamente utilizando inclusiones de hasta 8.5% de la dieta [22]. En alevines de *O. mykiss* se reportó un reemplazo exitoso de 50% de harina de pescado con SPC bacteriano (PL68[®], Intraco Ltd., Belgium) obtenido como subproducto de la fermentación de materia prima vegetal durante la producción de ácido glutámico monosódico, pero niveles de reemplazo superiores afectaron negativamente el crecimiento, el consumo de alimento y el perfil de AA y ácidos grasos del filete [23]. En alimento de post-larvas de camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, se reportó un efecto benéfico con el reemplazo de entre 10 y 20% de harina de pescado por SCP bacteriano de *Corynebacterium ammoniagenes*, mejorando parámetros de producción y el contenido de PC en músculo [24].

HARINA DE ORGANISMOS UNICELULARES: LEVADURAS

El uso de levaduras y de otros miembros unicelulares del reino de los hongos (Fungi) con fines nutricionales ha sido explorado ampliamente para organismos terrestres y para consumo humano. Por ejemplo, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* ha sido utilizada históricamente por el ser





humano para la elaboración de pan y cerveza. La levadura y sus extractos han sido comercializados por más de un siglo para consumo humano directo en productos tales como Vegemite[®] (Bega Cheese Ltd.), Marmite[®] (Unilever and Sanitarium Health Food), Cenovis[®] (Gustav Gerig AG) y Vitam-R[®] (VITAM Hefe-Produkt GmbH) [20]. El uso de estos organismos como harina de SCP también ha sido investigado, revelando un atractivo contenido de proteína de 30 a 50%, y un perfil de AA que cumple con estándares de la FAO, con altos contenidos de lisina y treonina, pero a veces bajos en metionina y cisteína. Además, el SCP de levaduras (figura 3) contiene nutrientes como riboflavina, niacina, tiamina, biotina, ácido pantoténico, colina, piridoxina, ácido benzoico y ácido fólico, entre otros. Por otra parte, el contenido de ácidos nucleicos es de 7 a 10%; se considera demasiado alto para consumo humano e incluso para organismos cultivados, por lo que se ha sugerido la aplicación de procesos industriales para reducirlos [25].

En cuanto al uso de SCP de levaduras para alimentos acuícolas, se observaron pobres resultados en el crecimiento del *S. salar* al utilizar SCP de *S. cerevisiae*. En cambio, fue posible reemplazar hasta 40% de harina de pescado en su dieta sin afectar el crecimiento y el aprovechamiento de nutrientes al emplear SCP de *Candida utilis* y *Kluyveromyces marxianus* [26]. Para *L. vannamei*, utilizando *S. cerevisiae*, fue posible reemplazar desde 15 a 24% de harina de pescado, o hasta 24% de harina de soya en la dieta de esta especie sin reducir el crecimiento [27]. Así mismo, se observó crecimiento adecuado de *L. vannamei* al utilizar *C. utilis* en un nivel de inclusión de 50% de la dieta [28]. Finalmente, en un estudio reciente con *O. niloticus*, se encontró que la forma inactiva de *S. cerevisiae* producida con un sustrato co-producto de la fermentación de maíz para la producción de etanol, no solamente reemplazó por completo la harina de pescado en la dieta



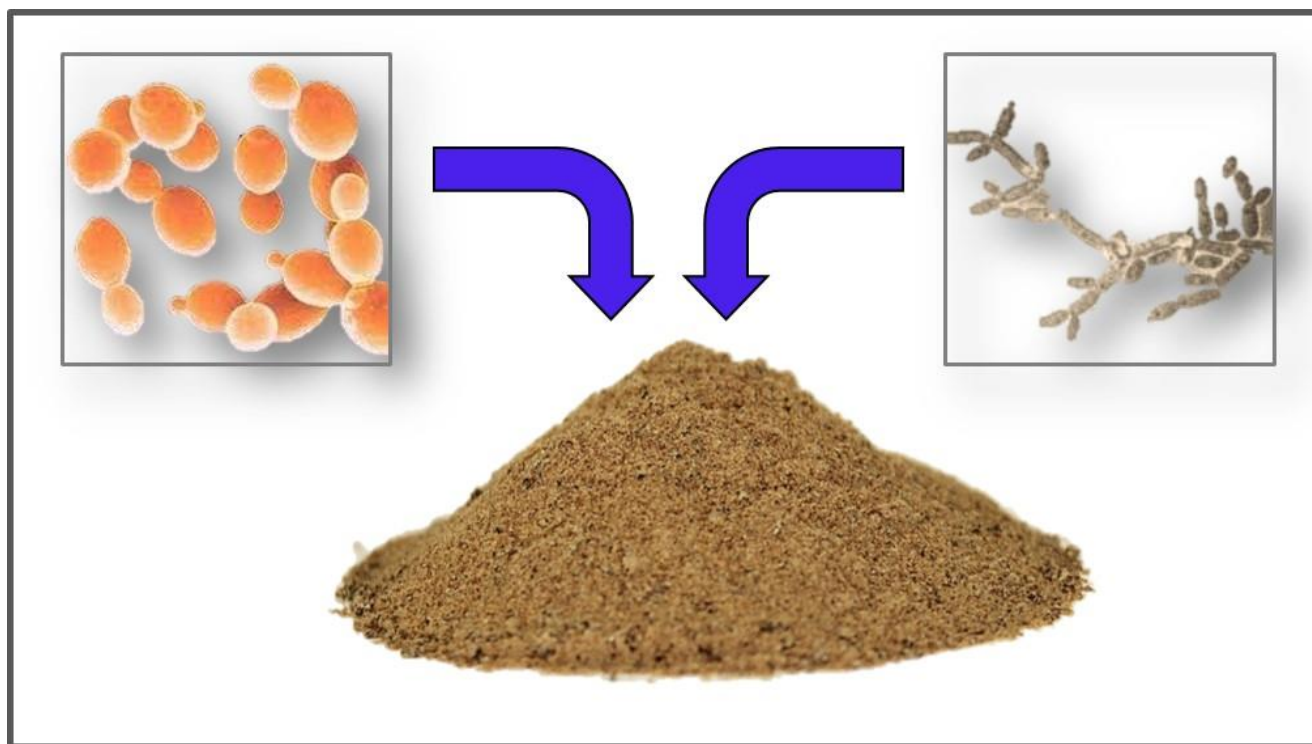


Figura 3. Harina de SCP de levadura.

de juveniles, también mejoró la eficiencia alimenticia y no causó alteraciones del tracto gastrointestinal al analizarse histológicamente [29].

CONCLUSIONES

El abastecimiento de proteína es un problema que el ser humano debe solucionar para su subsistencia, por lo que la creación y desarrollo de fuentes proteicas alternativas constituye un esfuerzo importante para atender este problema. Específicamente en acuicultura, el reemplazo de la harina de pescado en alimentos balanceados es una tarea imprescindible para beneficio de la salud de los océanos del mundo, sobrexplotados desde hace décadas. También porque es un recurso limitado que no satisface la creciente demanda de alimentos para la producción de organismos acuáticos. La harina de larva de mosca soldado negro y las harinas de organismos unicelulares como bacterias y levaduras son alternativas de insumos proteicos que comparten





características como presentar contenidos de proteína relativamente altos y perfiles de AA favorables que se acercan a los requerimientos de diversas especies acuícolas. A diferencia de la harina de pescado, estos insumos se producen utilizando subproductos, co-productos o residuos orgánicos de origen animal o vegetal, provenientes de actividades agrícolas, comerciales e industriales, por lo que su producción es sustentable y de menor costo. Aunque por largo tiempo habían sido considerados alternativas proteicas promisorias o prospectos interesantes, actualmente son producidos por algunas compañías alrededor del mundo y existe ya un cúmulo de evidencias experimentales acerca de los beneficios y aplicaciones para un número cada vez mayor de especies acuáticas, por lo que el presente y futuro de estos insumos es sin duda alentador para la sustentabilidad de la acuicultura y para contribuir a la generación de alimento acuático con proteína de alta calidad para consumo humano.

Referencias

- [1] National Research Council (NRC), “Nutrient Requirements of Fish and Shrimp,” Washington, D.C.: The National Academies Press, 2011, pp. 70–71, DOI: <https://doi.org/10.17226/130.39>
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), “The State of World Fisheries and Aquaculture”, Rome, 2020, pp. 1–244, DOI: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- [3] M. Marotti, D. Tome, and P. P. Mirand, “Converting nitrogen into protein-beyond 6.25 and Jones’ Factors,” *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2008, vol. 48, pp. 177–184. DOI: <http://10.1080/10408390701279749>
- [4] National Research Council (NRC), “Nutrient Requirements of Swine,” Washington, D.C.: The National Academies Press, 1998, pp. 124-141, ISBN 9780309132640
- [5] M. Shumo, I. M. Osuga, F. M. Khamis, C. M. Tanga, K. K. Fiaboe, S. Subramanian, S. Ekesi, A. van Huis, and C. Borgemeister, “The nutritive value of black soldier fly larvae reared on



- common organic waste streams in Kenya,” *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46603-z>
- [6] M. D. Erdman, W. G. Bergen, and C. Adinarayana Reddy, “Amino acid profiles and presumptive nutritional assessment of Single-Cell Protein from certain *Lactobacilli*,” *Applied and Environmental Microbiology*, 1977, vol. 33, pp. 901-905. [10.1128/aem.33.4.901-905.1977](https://doi.org/10.1128/aem.33.4.901-905.1977)
- [7] K. B. Barragan-Fonseca, M. Dicke, and J. J. A. van Loon, “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*, 2017, vol. 3, pp. 105–120. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>
- [8] R. Rachmawati, D. Buchori, P. Hidayat, S. Hem, and M. R. Fahmi, “Perkembangan dan kandungan nutrisi larva *Hermetia illucens* (Linnaeus)(Diptera: Stratiomyidae) pada bungkil kelapa sawit”. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 2010, vol. 7, pp. 28–41. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.7.1.28>
- [9] K. B. Barragan-Fonseca, M. Dicke, and J. J. A. van Loon, “Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*),” *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2018, vol.166(9), pp. 761–770. DOI: <https://doi.org/10.1111/eea.12716>
- [10] S. Kroeckel, A. G. E. Harjes, I. Roth, H. Katz, S. Wuertz, A. Susenbeth, and C. Schulz, “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, vol. 364–365, pp. 345–352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>
- [11] A. Benzertiha, B. Kierończyk, M. Rawski, Z. Mikołajczak, A. Urbański, L. Nogowski, and D. Józefiak, “Insect Fat in Animal Nutrition – A Review,” *Annals of Animal Science*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 1217–1240. DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0076>
- [12] K. M. Rana, M. A. Salam, and M. Ariful-Islam M., “Development of black soldier fly larvae production technique as an alternate fish feed,” *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 2015, vol. 5, no. 1, pp. 41–47.





- [13] A. Gougbedji, P. Agbohessou, P. Laleye, F. Francis, and R. Caparros-Megido R., “Technical basis for the small-scale production of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L. 1758), meal as fish feed in Benin. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2021, vol. 4., pp. 100153, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100153>
- [14] L. Bruni, R. Pastorelli, C. Viti, L. Gasco, and G. Parisi, “Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia ilucens* (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source,” *Aquaculture*, 2018, vol. 487, pp. 56–63, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.006>
- [15] S. Li, H. Ji, B. Zhang, J. Zhou, and H. Yu, “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, vol. 477, pp. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.015>
- [16] C. Caimi, M. Renna, C. Luissiana, A. Bonaldo, M. Gariglio, M. Meneguz, S. Dabbou, A. Schiavone, F. Gai, A. Concetta-Elia, M. Prearo, and L. Gasco, “First insights on black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larva meal dietary administration in Siberia sturgeon (*Acipneser baerii* Brandt) juveniles,” *Aquaculture*, 2020, vol. 515, pp. 734539, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734539>
- [17] K. Mohan, D. K. Rajan, T. Muralisankar, A. R. Ganesan, P. Satishkumar, and N. Revathi, “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, vol. 553, pp. 738095 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738095>



- [18] P. J. Strong, S. Xie, and W. P. Clarke, "Methane as a resource: can the methanotrophs add value?," *Environmental Science & Technology*, 2015, vol. 49, no. 7, pp. 4001–4018, DOI: <https://doi.org/10.1021/es504242n>
- [19] R. Rudravaram, A. Chandel, L. V. Rao, Y. Hui, and P. Ravindra, "Bio (Single Cell) protein: issues of production, toxins and commercialization status," in *Agricultural Wastes*, Eds G. S. Ashworth and P. Azevedo, New York: Nova Science Publishers, Inc., 2009, pp. 129–153.
- [20] A. Ritala, S. Häkkinen, M. Toivari, and M. Wiebe, "Single Cell Protein–State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016," *Frontiers in Microbiology*, 2017, vol., 8, pp. 1–18, DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- [21] Q. Zhang, H. Liang, M. Longshaw, J. Wang, X. Ge, J. Zhu, S. Li, and M. Ren, "Effects of replacing fishmeal with methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) bacteria meal (FeedKind®) on growth and intestinal health status of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*)," *Fish and Shellfish Immunology*, 2022, vol. 122, pp. 298–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.02.008>
- [22] M. K. H. Chama, H. Liang, D. Huang, X. De, M. Ren, L. Zhang, L. Wu, and J. Ke, "Methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) as an alternative protein source for genetically improved farmed tilapia (GIFT: *Oreochromis niloticus*) and its effect on antioxidants and immune response," *Aquaculture Reports*, 2021, vol. 21, pp. 100872. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100872>
- [23] A. Zamani, M. Khajavi, M. H. Nazarpak, and E. Gisbert, "Evaluation of a Bacterial Single-Cell Protein in Compound Diets for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fry as an Alternative Protein Source," *Animals*, 2020, vol.10 no. 9, pp. 1676, DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10091676>
- [24] A. Hamidoghli, H. Yun, S. Won, S. Kim., N. Farris, and S. C. Bai, "Evaluation of a single-cell protein as a dietary fish meal substitute for whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*," *Fisheries Science*, 2018, vol. 85, pp. 147–155, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12562-018-1275-5>





- [25] A. T. Nasser, S. Rasoul-Amini, M. H. Morowvat, and Y. Ghasemi, "Single cell protein: production and process," *American Journal of Food Technology*, 2011, vol. 6, pp. 103–116. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- [26] J. O. Hansen, M. Hofossæter, C. Sahlmann, R. Anestad, F. E. Reveco-Urzuá, C. M. Press, L. T. Mydland, and M. Overland, "Effect of *Candida utilis* on growth and intestinal health of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr," *Aquaculture*, 2019, vol. 511, pp. 734239, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734239>
- [27] J. Guo, X. Qiu, X., G. Salze, D. A. Davis, "Use of high-protein brewer's yeast products in practical diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*," *Aquaculture Nutrition*, 2019, vol. 25, pp. 680–690. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12889>
- [28] J. Gamboa-Delgado, B. Fernandez-Diaz, M. G. Nieto-Lopez, L. E. Cruz-Suarez, "Nutritional contribution of torula yeast and fish meal to the growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* as indicated by natural nitrogen stable isotopes," *Aquaculture*, 2015, vol. 453, pp. 116–121, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.026>
- [29] R. Yossa, A. M. Greiling, R. K. Basiita, M. E. Sakala, W. A. Baumgartner, A. Taylor, D. M. Gatlin III, "Replacing fishmeal with a single cell protein feedstuff in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* diets," *Animal Feed Science and Technology*, 2021, vol. 281, pp., 115089. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115089>

Cómo citar este artículo:

Perez-Velazquez, M., Cañedo-Orihuela, H., Félix-Berumen, R. D., & González-Félix, M. L. (2023). Harina de larva de mosca soldado negro y de organismos unicelulares como alternativas proteicas para alimentos acuícolas. *EPISTEMUS*, 17(34). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.280>

