

Fuentes proteicas alternas como sustituto parcial a la harina de pescado en las formulaciones nutricionales del cultivo de camarón (*Penaeus vannamei*)

Alternative protein sources as a partial substitute for fishmeal in nutritional formulations for shrimp farming (*Penaeus vannamei*).

Fontes alternativas de proteína como sustituto parcial da farinha de peixe em formulações nutricionais para carcinicultura (*Penaeus vannamei*).

Pedro L Porto-Fragozo¹ 

Adriana Rodríguez-Forero² 

Artículo de revisión

Recibido: 13 de mayo de 2023

Aceptado: 08 de octubre de 2023

Publicado: 16 de Diciembre de 2023

RESUMEN

Recientemente muchos investigadores han realizado estudios relacionados con la nutrición de las especies acuícolas, para poder reemplazar parcial o totalmente la fuente de proteína que comúnmente se utiliza en las formulaciones nutricionales. Una amplia gama de materias primas tanto de origen vegetal como de origen animal han sido evaluadas y muchas de ellas presentan un potencial considerable para el suministro de nutrientes esenciales en las especies acuícolas. A pesar de ello, el uso de cualquier materia prima representa diferentes riesgos que deben mitigarse para poder obtener alimentos seguros, económicamente viables y sostenibles y así, mantener el sector. Este documento presenta fuentes alternativas como sustituto parcial a la harina de pescado, para las formulaciones nutricionales en piensos de camarón de cultivo *Penaeus vannamei*.

Palabras clave: sustitución, fuentes alternas, nutrientes esenciales, materias primas.

¹ Ing. Pesq, Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura (GIDTA), Programa de Ingeniería Pesquera, Universidad del Magdalena. Santa Marta. Colombia,

Email: pedroportolf@unimagdalena.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-8828-2035>

² Biol. Mar, MSc, PhD, Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura (GIDTA), Programa de Ingeniería Pesquera, Universidad del Magdalena. Santa Marta. Colombia.

Email: arodriguezf@unimagdalena.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-1270-5326>

Como Citar (Norma Vancouver): Porto-Fragozo PL, Rodríguez-Forero A. Fuentes proteicas alternas como sustituto parcial a la harina de pescado en las formulaciones nutricionales del cultivo de camarón (*Penaeus vannamei*). Orinoquia, 2023;27(2):e-767 <https://doi.org/10.22579/20112629.767>

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

OPEN ACCESS



ABSTRACT

Recently, many researchers have carried out studies related to the nutrition of aquaculture species, in order to partially or totally replace the source of protein that is commonly used in nutritional formulations, a wide range of raw materials, both of vegetable and animal origin, have been evaluated, many of which present considerable potential for the supply of essential nutrients in aquaculture species, despite this, the use of any raw material represents different risks that must be mitigated in order to obtain safe, economically viable and sustainable food, for to maintain the sector. This document presents alternate sources as a partial substitute for fishmeal, for nutritional formulations in farmed shrimp feed *Penaeus vannamei*.

Key words: substitution, alternative sources, essential nutrients, raw materials.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha convertido en los últimos años en uno de los sectores de producción de alimentos con mayor crecimiento a nivel mundial; esto debido a la demanda existente del consumo de proteína animal con alto valor nutricional y de buena calidad, lo que ha representado que este sector genere más de la mitad del total de los productos provenientes de medios acuáticos en el mundo (Bostock *et al.*, 2010; Oslén & Hasan, 2012; FAO, 2020; El-Saadony *et al.*, 2021). La actividad acuícola expone una diversidad de especies de animales y plantas que son cultivados en distintos ambientes acuáticos, teniendo en cuenta las características de cada especie, y el sistema de cultivo (Berger, 2020; Nuñez, 2021).

En este sentido, uno de los grupos de animales con mayor crecimiento en acuicultura en los últimos años son los crustáceos, en especial el *Penaeus vannamei*, llegando a reportar en 2018 más del 50% del total de los crustáceos producidos en acuicultura a nivel mundial (Soares, 2014; FAO, 2020; McLean *et al.*, 2020; 2021; Nuñez, 2021). Lo anterior, debido a sus excelentes características de crecimiento, tolerancia a variaciones ambientales en cautiverio, aceptabilidad de una amplia variedad de formulaciones nutricionales y su de-

manda en los mercados internacionales (Menz & Blake, 1980; Sookying *et al.*, 2013; Bravo & Santos, 2019; Yildirim-Aksoy *et al.*, 2022).

Como es bien sabido, en el cultivo de organismos acuáticos la alimentación es uno de los pilares fundamentales que incide directamente en el éxito de la industria, y como rubro representa el mayor costo operacional en las granjas camaroneras, siendo los ingredientes proteicos como la harina de pescado, los más costosos utilizados en las formulaciones (Yildirim-Aksoy *et al.*, 2022). A pesar de esto, la harina y el aceite de pescado, son una importante fuente de proteína y energía para muchas especies de peces y crustáceos, debido principalmente al perfil de aminoácidos y ácidos grasos esenciales de la cadena omega-3, además de proporcionar vitaminas y minerales y una alta palatabilidad (Drew *et al.*, 2007; Sá *et al.*, 2013; Xie *et al.*, 2016; Yarnold *et al.*, 2019; Yadav *et al.*, 2020). La producción mundial de este insumo se ha mantenido estable en los últimos veinte años, generando alrededor de cinco a siete millones de toneladas anuales (FAO, 2020), sin embargo, el aumento de la industria acuícola ha creado una alta demanda de este producto, siendo cerca del 70% del total de la harina de pescado producida en el mundo, la cual es utilizada en la acuicultura y alrededor del 30% es dirigida al sector camaronero, que representa

el 7% de la producción acuícola mundial (Nikolik, 2017; Malcorps *et al.*, 2019; FAO, 2020). Esta fuerte demanda y la dependencia excesiva a la harina y al aceite de pescado, ha generado el incremento de los costos debido a su menor disponibilidad, lo que a su vez ha derivado en una sobreexplotación de los recursos pesqueros, amenazando la sostenibilidad del sector (Cervantes *et al.*, 2006; Naylor *et al.*, 2009; Vela *et al.*, 2014; FAO, 2020; Dawood, 2021; Hazreen *et al.*, 2022). Varios expertos advierten que la producción de harina y aceite de pescado seguirá disminuyendo a causa del desarrollo continuo de la actividad acuícola (Tacon & Metian, 2008; Xie *et al.*, 2016). Como resultado de esta problemática se han realizado investigaciones sobre la nutrición de especies acuáticas de alto valor comercial entre las que se encuentra el camarón *L. vannamei*, identificando nuevas fuentes de proteínas y lípidos de origen animal y vegetal con potencial para desarrollar alimentos acuícolas sostenibles y nutritivos, alternos a la harina de pescado (Paripatananont, *et al.*, 2001; Gatlin *et al.*, 2007; Cruz *et al.*, 2009; Bauer *et al.*, 2012; Sookying & Davis, 2012; Gamboa *et al.*, 2013; SÁ *et al.*, 2013).

Para el uso de nuevas fuentes de proteína es necesario tener en cuenta que estas deben poseer un valor nutricional comparable con los ingredientes convencionales, además de tener una alta disponibilidad, así como deben ser económicamente viables para su uso en las formulaciones nutricionales de la especie a cultivar (Vizcaino *et al.*, 2014). Al ser *L. vannamei* una especie omnívora, ha demostrado una amplia aceptación de diferentes dietas, lo que ha permitido desarrollar investigaciones en nutrición de camarones para reemplazar parcial o totalmente la harina de pescado por otras fuentes de origen animal y/o vegetal (Davis & Arnold, 2000; Samocha *et al.*, 2004; Amaya, 2007; Hernández *et al.*, 2008; Naylor *et al.*, 2009; Buer *et al.*, 2012; Sookying, *et al.*, 2013; Camaño, 2014; Soares, 2014; Silva, 2015; Bautista *et al.*, 2017; Wangsoon-torn *et al.*, 2018; Silva, 2019; Yildirim-Aksoy *et al.*, 2022). Entre estas se destacan las harinas de: carne y huesos, vísceras de aves, insectos, microorganismos, soja, microalgas y el salvado de soja, entre otras: (Sookying *et al.*, 2013; Soares, 2021).

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CAMARÓN DE CULTIVO

Los camarones son crustáceos de hábitos alimenticios omnívoros, con tendencia herbívora, lo que les permite consumir gran variedad de alimentos para sus requerimientos fisiológicos, entendiendo que estos animales tienen requerimientos específicos en cada una de las etapas de crecimiento, tal como se puede apreciar en la Tabla 1 (Nunes *et al.*, 2011). El camarón solo consume el 85% del alimento total suministrado, posteriormente un 48% se utiliza para generar y mantener la energía metabólica, y el restante, cerca de un 20% es expulsado como heces (Achupallas, 1995).

En términos generales los nutrientes requeridos por los camarones pueden clasificarse en: proteínas, carbohidratos y lípidos, además de complementos nutricionales como vitaminas y minerales. Los niveles óptimos de cada nutriente pueden variar entre especies (Van Wyk *et al.*, 1999; Molina, 2016).

En los últimos años la investigación y las industrias fabricantes de piensos han enfocado sus esfuerzos en mejorar la eficiencia de la alimentación de camarones criados en diferentes sistemas de cultivo. Además, los patólogos buscan crear resistencia a enfermedades asociadas a los cultivos de *L. vannamei* (Cuzon *et al.*, 2004). A pesar de los avances en nutrición de este camarón, no se han determinado completamente datos nutricionales básicos como requerimiento proteico, la relación proteína/energía, las vitaminas y los minerales en las dietas (Lee & Lee, 2018). En gran parte, los requerimientos nutricionales encontrados para los camarones peneidos se refieren a la especie *Mar-supenaesus japonicus* y *Penaeus monodon* (NRC, 2011; Lee & Lee, 2018).

Proteínas

Las proteínas son cadenas de moléculas de aminoácidos formadas por al menos veinte de ellos, entre los que se encuentran los aminoácidos



esenciales (arginina, metionina, treonina, triptófano, histidina, isoleucina, leucina, lisina, valina y fenilalanina), es decir, que el organismo no es capaz de sintetizarlos y estos deben ser proporcionados en la dieta (Van Wyk *et al.*, 1999; Berg *et al.*, 2008). Las proteínas son nutrientes esenciales para el funcionamiento de todos los seres vivos; en los camarones después de ingerirlas, estas son hidrolizadas en el tracto digestivo por las enzimas liberando los aminoácidos que luego se utilizan para el crecimiento y la formación de tejidos, siendo este el mayor componente muscular (70%) del peso seco de un camarón (Shiau, 1998; Van Wyk *et al.*, 1999; Cuzon *et al.*, 2004; Avdalov, 2014; Li *et al.*, 2017). Es necesario mantener los niveles de proteína adecuados para cada una de las etapas de crecimiento de los organismos cultivados, ya que al haber exceso de aminoácidos en las dietas solo una parte es utilizada en la formación de músculo y la otra se convierte en energía, esta última siendo no deseable, dado que la proteína es el insumo más costoso en la elaboración de piensos para animales acuáticos (Shiau, 1998; Soares, 2014). Además, la contaminación producida por los efluentes es mayor debido a la alta excreción y los nutrientes que se pierden por medio de los lixiviados que se generan a partir del alimento no consumido, lo que desencadena una eutrofización de los sistemas naturales adyacentes a las granjas productoras (Rabasso, 2006).

Carbohidratos

Los carbohidratos son moléculas compuestas por carbono, oxígeno e hidrógeno, su estructura molecular incide en la degradación de las enzimas y el efecto que genera sobre la fisiología animal (NRC, 2011). Los carbohidratos son la fuente de energía más económica disponible en la naturaleza; los almidones, las azúcares y las fibras son las principales formas de carbohidratos (Van Wyk *et al.*, 1999; Li *et al.*, 2017). La inclusión de carbohidratos en las formulaciones nutricionales para camarón permite tener un "ahorro de proteínas y lípidos" ya que esta es usada para el crecimiento y no como fuente de energía. Es decir, los carbohidratos presentes

en cantidades óptimas para la especie, pueden lograr reducir el requerimiento de proteína; incluso en situaciones de estrés pueden satisfacer el mayor requerimiento de energía en algunos animales acuáticos (Cuzon, 2004; Nieto *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2008; Tseng & Hwang, 2008; Li *et al.*, 2017).

Lípidos

Los lípidos o grasas son un compuesto orgánico que incluye ácidos grasos libres, fosfolípidos, triglicéridos, aceites y esteroides; estos representan una importante fuente de energía, debido al número de enlaces de carbono-hidrógeno (Berg *et al.*, 2008; NRC, 2011). Además de proporcionar energía a los camarones, los lípidos son fuente de ácidos grasos esenciales. Según González-Félix (2002) los camarones podrían no tener un requerimiento específico de lípidos, pero sí de ácidos grasos esenciales, fosfolípidos, esteroides y carotenoides. Son cuatro los ácidos grasos esenciales en los camarones: linoleico, eicosapentaenoico y decosaheptaenoico y se consideran esenciales porque se requieren en la dieta para la estructura y formación de la membrana celular, crecimiento y supervivencia de los organismos y no se pueden sintetizar a partir de otros compuestos, además de utilizarse para la absorción de vitaminas liposolubles (Glencross *et al.*, 2002; 2007; Soares, 2014; Li *et al.*, 2017). Los lípidos pueden usarse como energía, de manera que las proteínas, nutriente mucho más valioso, se destine solo para el crecimiento de los individuos (Han *et al.*, 2022).

Vitaminas y minerales

Las vitaminas son compuestos orgánicos necesarios para el mantenimiento, crecimiento, desarrollo, reproducción y metabolismo del camarón (Van Wyk, 1999). El requerimiento de vitaminas es utilizado en cantidades bajas y su inclusión en la dieta depende del tamaño del individuo, las condiciones ambientales y la relación de los nutrientes presentes en la dieta (He & Lawrence, 1993). Por su parte, los minerales son elementos inorgánicos que son necesarios para diversos procesos metabólicos;

los organismos marinos son capaces de absorber minerales y oligoelementos a través del agua de mar ingerida. Sin embargo, los camarones no pueden satisfacer las necesidades fisiológicas de ciertos iones esenciales solo con la ingestión de agua de mar, por lo tanto, requieren un suplemento dietético para un crecimiento y metabolismo saludables; tanto las vitaminas como los minerales son micronutrientes de gran importancia en la nutrición y rendimiento del camarón (Van Wyk, 1999; Cuzon *et al.*, 2004) Aunque los requerimientos de macronutrientes no están totalmente definidos, estudios previos han estimado requerimientos de vitaminas y minerales del camarón *L. vannamei*, como se aprecia en las Tablas 2 y 3.

Por su parte, la concentración de sodio (Na) y hierro (Fe) no se suministra a la dieta siempre y cuando los organismos sean cultivados en aguas marinas o salobres (Davis & Gatlin, 1996). Estos minerales son esenciales en el metabolismo del tejido esquelético, la transmisión neuromuscular y la capacidad inmunológica de los animales acuáticos (Lall, 2002).

PROTEÍNAS ALTERNAS DE ORIGEN ANIMAL

Uno de los insumos proteicos más utilizados en la industria acuícola para la elaboración de piensos es la harina de pescado, obtenida principalmente de la pesca de pelágicos pequeños como las sardinas y anchovetas. Su importancia radica en que contiene un alto nivel proteico, cerca del 65% y es rica en vitaminas, minerales, es altamente digerible y apetecible, y contiene aminoácidos esenciales para los animales acuáticos (Riche, 2015; Yildirim-Aksoy *et al.*, 2022). No obstante, el costo del alimento para *L. vannamei* ha aumentado considerablemente como resultado de la disponibilidad y el aumento de valor de la harina de pescado (Huang *et al.*, 2017). Por esto, se ha impulsado la demanda de alternativas proteicas para reducir la dependencia a la harina de pescado y facilitar el desarrollo de una industria sostenible (Khaorian

et al., 2014; Tesser *et al.*, 2019; Han *et al.*, 2022). Generalmente los insumos proteicos de origen animal son adquiridos a partir de residuos que no son destinados a la alimentación humana, a continuación, se describen algunos insumos potenciales para reemplazar la harina de pescado en las formulaciones nutricionales para camarón.

Proteína de subproductos de aves

La industria de producción de aves de corral, genera subproductos de su sacrificio (cabeza, patas, huevos no desarrollados, pollos mal formados, intestinos y plumas), que han sido utilizados como insumos proteicos para la alimentación animal (Hou *et al.*, 2017; Gasco *et al.*, 2018; Soares *et al.*, 2020). Entre estos se destacan: harina de vísceras, de plumas hidrolizadas y de vísceras y huesos, las cuales pueden llegar a contener entre 55% y 80% de proteína (materia seca), dependiendo de su proceso de producción (Rawles *et al.*, 2006; Rossi & Davis 2012; Castillo *et al.*, 2016; Narsi, 2017). Estos subproductos tienen un valor nutricional alto que puede ser utilizado como aditivo para generar soluciones en la alimentación de la industria acuícola (Centenaro *et al.*, 2009; Hernandez *et al.*, 2010; Dieterich *et al.*, 2014; Callegaro *et al.*, 2019). Sin embargo, la inclusión de harina de pluma hidrolizada en las formulaciones nutricionales puede causar una baja digestibilidad ya que tiene un alto contenido de queratina (Cruz *et al.*, 2007) y en el caso de la harina de vísceras existe deficiencia de algunos aminoácidos esenciales como histidina, lisina, metionina y triptófano (Cheng *et al.*, 2002; Samocha *et al.*, 2004). A pesar de esto, varios investigadores han reportado resultados positivos para el uso de proteínas de subproductos avícolas en el rendimiento y salud de camarones, además de obtener una alta digestibilidad y palatabilidad (dependiendo del tipo de insumo que se utilice) de los organismos cultivados (Samocha *et al.*, 2004; Cruz *et al.*, 2007; Suresh, & Nates, 2011; McLean *et al.*, 2020; Soares, 2020). Esta fuente de proteína resulta ser fácil de adquirir a un precio más económico que la harina de pescado.



Proteína de insectos

Recientemente los insectos comestibles se han vuelto relevantes como fuente de proteína, ya que su producción presenta bajo consumo de agua, poco uso de tierras, baja producción de gases de efecto invernadero y una alta capacidad de reproducción; esta alternativa es considerada como la fuente de proteína animal más promisoría debido a que es potencialmente sostenible y económicamente viable (Makkar *et al.*, 2014; Van Huis *et al.*, 2015; Gasco *et al.*, 2020; Alves *et al.*, 2021; Terova *et al.*, 2021; Were *et al.*, 2021). Se ha reportado que los insectos contienen un alto valor proteico de 34% a 74% de materia seca; en el valor nutricional presenta un perfil de aminoácidos esenciales equilibrados, similar al de la harina de pescado, además, presenta un alto contenido de lípidos (10% a 30%) (Hua *et al.*, 2019; Freccia *et al.*, 2020; Gasco *et al.*, 2020). Los valores nutricionales pueden variar dependiendo de la especie, del método de producción y del procesamiento para la obtención de la harina (Ramos *et al.*, 2002; Barroso *et al.*, 2014; Zarantoniello *et al.*, 2020). Algunas de las especies de insectos utilizadas en acuicultura, especialmente en *L. vannamei* son la mosca soldado negra *Hermetia illucen*, que contiene alrededor de 60% de proteína (Cummins *et al.*, 2017; Gasco *et al.*, 2018; Hu *et al.*, 2019; Richardson *et al.*, 2021; Yildirim *et al.*, 2022), la larva de escarabajo *Tenebrio molitor* que contiene 51% de proteína (Panini *et al.*, 2017; Choi *et al.*, 2018; Gasco *et al.*, 2018; Motte *et al.*, 2019; Gasco *et al.*, 2020; Yu *et al.*, 2021), la mosca doméstica común *Musca domestica*, la cual contiene 50% de proteína (Gasco *et al.*, 2018; Sogari *et al.*, 2019), y el gusano de seda *Bombyx mori* que contiene 60% de proteína (Motte *et al.*, 2019; Rahimnejad *et al.*, 2019), los cuales se han utilizado en otras especies de camarones (Feng *et al.*, 2019). Estos insectos han demostrado resultados prometedores para su uso potencial como fuente de proteína en los alimentos acuícolas (Maulu *et al.*, 2022), y mejoran considerablemente el crecimiento y la inmunidad a enfermedades del camarón *L. vannamei* (Motte *et al.*, 2019). Existe limitada información acerca de

las propiedades nutricionales de los insectos, y es posible que estas puedan cambiar de un lugar a otro, dependiendo también del estado de desarrollo del animal y del sistema de cultivo utilizado (Yu *et al.*, 2021); así mismo, la composición proximal de los insectos generalmente disminuye con el avance en su etapa de desarrollo (Gasco *et al.*, 2018; Malulu *et al.*, 2022). A pesar de las bondades que representa el uso de la harina de insectos en las especies acuícolas, algunos investigadores informan que su uso genera un mayor desperdicio de nitrógeno sólido en comparación con fuentes convencionales, sin embargo, representa una disminución significativa en el consumo de peces de forraje para la elaboración de harina de pescado y una disminución en el desperdicio de fósforo sólido, además de generar efectos positivos en uso de la tierra (Quang *et al.*, 2022). Es necesario investigar las composiciones nutricionales de los insectos como insumo proteico en formulaciones para animales acuáticos, para lograr que la harina de insectos sea un alimento sostenible en la acuicultura.

Proteína microbiana

La biomasa microbiana es producida a partir de diversos microorganismos, también conocida como proteína microbiana o proteína unicelular. Esta promete ser un sustituto potencial de ingredientes derivados de peces forrajeros para los alimentos en la acuicultura (Matassa *et al.*, 2016; Gamboa & Márquez, 2018), ya que se obtienen tasas de crecimiento rápido, se adaptan fácilmente a diferentes medios de cultivo y utilizan eficientemente el uso del espacio (Gamboa & Márquez, 2018; Gamboa *et al.*, 2020). Entre los diversos grupos de microorganismos se encuentran las bacterias y levaduras, las cuales en general tienen un desarrollo acelerado y, en comparación con otras fuentes de proteínas alternativas, poseen un crecimiento alrededor de diez a veinte veces mayor. Además, estos microorganismos tienen un alto contenido proteico (45% y 65%), y un perfil de aminoácidos comparable con la harina de pescado (Hua *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2022).

En la actualidad existen sistemas de producción como la tecnología biofloc, la cual genera flóculos bacterianos que pueden ser aprovechables como fuente de proteína, al tiempo que minimiza los problemas asociados a la contaminación por efluentes (Bauer et al., 2012; Ogello et al., 2021; Zhang et al., 2022).

Algunos autores han demostrado que la reducción de la harina de pescado en las formulaciones nutricionales para camarón *L. vannamei* causa bajos rendimientos en el crecimiento y la inmunidad de los individuos cultivados (Xie et al., 2019; Xie et al., 2020a; Xie et al., 2020b), sin embargo, otros autores han reportado que la suplementación con proteínas microbianas en dietas para esta especie de camarón obtuvieron resultados positivos en el crecimiento y supervivencia, mejorando la microbiota intestinal de los individuos (Chumpol et al., 2018; Duan et al., 2018; Chen et al., 2021; Cai et al., 2022; Chen et al., 2022). Aunque estos microorganismos tienen un alto valor de proteína bruta, su uso aun es limitado por su alto costo de producción.

PROTEINAS ALTERNAS DE ORIGEN VEGETAL

Por muchos años la industria acuícola ha dedicado sus esfuerzos para remplazar la harina de pescado por fuentes de proteínas vegetales en las formulaciones nutricionales de camarón, teniendo en cuenta que los ingredientes seleccionados suplan los requerimientos nutricionales de los organismos cultivados, sean altamente disponibles y se puedan elaborar a un menor costo (Hardy, 2010; Bautista et al., 2017). Después de la harina de pescado, uno de los insumos más utilizados en las dietas para camarón es la harina de soya, la cual es ampliamente disponible en el mercado y es rentable, siendo una de las oleaginosas más producidas en el mundo (Samocha et al., 2004; Roy et al., 2009).

En general, las proteínas de origen vegetal contienen compuestos antinutricionales y niveles bajos de algunos aminoácidos esenciales que podrían

reducir la digestión o la absorción de nutrientes para el crecimiento del camarón (Tacon, 1994; NCR, 2011; Sookying et al., 2013; Xie et al., 2016; Soares et al., 2021), por lo tanto, el equilibrio de aminoácidos esenciales debe tenerse en cuenta cuando se formulan dietas que contengan proteína vegetal para reemplazar la harina de pescado (Sookying et al., 2013). Las proteínas de origen vegetal han sido y probablemente seguirán siendo la principal opción de proteína debido a los bajos precios y grandes producciones, aunque existen otras alternativas de origen vegetal que también han sido probadas en *L. vannamei*.

Proteína de soya

La soya es el insumo de origen vegetal más utilizado en las formulaciones nutricionales experimentales para acuicultura (Álvarez et al., 2007; Amaya et al., 2007). De esta materia prima se derivan insumos como la torta de soya, la proteína, el salvado, el aceite, entre otros, y se ha reportado que dependiendo del proceso que se le dé a la soya, su contenido proteico puede variar entre 40% y 70% (Storebakken et al., 2000; NRC, 2011; Huang et al., 2017).

El perfil y valor nutritivo de los derivados de la soya dependerán y variarán según la calidad, procesamiento y almacenamiento, sin embargo, cuando se procesa adecuadamente se convierte en un insumo altamente digerible y palatable, con baja concentración de fibra y alto contenido de energía digestible (Peisker, 2001). La harina de soya es caracterizada por presentar un alto valor proteico y un perfil de aminoácidos favorables (Abraham et al., 2019), no obstante, también presenta factores antinutricionales y deficiencia en algunos aminoácidos (lisina y metionina) y ácidos grasos esenciales (ácido eicosapentanoico y ácido docosahexanoico) que pueden limitar su uso (Davis & Arnold, 2000; Gatlin et al., 2007). A pesar de esto se considera un insumo adecuado para dietas de camarón (Davis & Arnold, 2000; Amaya et al., 2007; Sookying et al., 2013; Guo et al., 2020; Galkanda et al., 2020).



Algunos resultados sobre las formulaciones nutricionales a base de soya han evaluado el crecimiento del camarón en condiciones de laboratorio y los resultados han sido prometedores (Smith *et al.*, 2005; Roy *et al.*, 2009; Sooking *et al.*, 2011; Sooking & Davis, 2012; Zhou *et al.*, 2015; Galkanda *et al.*, 2019; Guo *et al.*, 2020), incluso en condiciones de producción en estanques (Roy *et al.*, 2009; Sooking *et al.*, 2011; Sooking & Davis, 2011; Sooking & Davis, 2012; Escovitch *et al.*, 2018; Ullman *et al.*, 2019; Reis *et al.*, 2020).

Existe una preocupación latente en el suministro de este insumo, puesto que se utiliza para la alimentación humana, lo que está generando un alza en los precios (Banco Mundial, 2022). Por otra parte, el crecimiento industrial de la soya está ocasionando deforestación y desplazamiento de otros sistemas pecuarios de producción de alimento en países tropicales y subtropicales (Byerlee *et al.*, 2014). A pesar de esto, la soya se ha convertido en uno de los remplazos de harina de pescado más favorables en acuicultura.

Proteína de semilla de algodón

Esta proteína ha sido utilizada en dietas para acuicultura por muchos años, debido a su alto valor proteico y disponibilidad en la mayor parte del mundo, resultando ser menos costosa que la proteína de soya (Lim, 1996; Robinson, 2006; Gerasimidis *et al.*, 2007; Richardson *et al.*, 2016). Aun así su uso se ha visto limitado ya que contiene factores antinutricionales inhibidores de la proteasa, lectinas, ácido fítico y antivitaminas, que pueden ser causantes de bajas en el crecimiento de los animales acuáticos y reducir la resistencia a las enfermedades (Francisco *et al.*, 2001; Possamai *et al.*, 2021). No obstante, su valor proteico generalmente se encuentra entre 60% al 70%, y puede variar dependiendo el procesamiento de la materia prima (Bertrand *et al.*, 2005; He *et al.*, 2022).

Varias investigaciones han evidenciado que la proteína de semilla de algodón juega un papel como fuente de proteína novedosa y tiene diferentes

efectos sobre el crecimiento, la inmunidad o la actividad de las enzimas digestivas en diferentes animales acuáticos (Shen *et al.*, 2020; He *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022). En *L. vannamei* ha sido menos estudiada hasta ahora (Wang *et al.*, 2020; Han *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022).

Proteína de macroalgas y microalgas

La producción de macroalgas en el mundo es una industria representada por al menos el 30% de la producción acuícola mundial; cerca del 90% del total de las algas marinas producidas en el mundo; son cultivadas en China e Indonesia; las principales especies son *Eucheuma spp.*, *Laminaria japónica*, *Gracilaria spp.*, *Undaria pinnatifida*, *Kappaphycus alvarezii* y *Porphyra spp.* La mayoría de estas algas se producen para la alimentación humana (FAO, 2020) y al ser cosechadas de la naturaleza presentan un rango variable de proteína que puede estar entre 1% y 48% (Israel *et al.*, 2005; Angell *et al.*, 2015; Cole *et al.*, 2015); estas variaciones dependen tanto de la especie, como de condiciones ambientales. En ambientes de cultivo el valor proteico puede estar entre 10% y 30% de proteína (Angell *et al.*, 2016; Mata *et al.*, 2016). Las macroalgas se consideran una fuente de proteína de alta calidad teniendo los aminoácidos esenciales en comparación con los cultivos agrícolas tradicionales (Angell *et al.*, 2016; Øverland *et al.*, 2019; FAO, 2020). El uso de biomasa de macroalgas enteras, como aditivo funcional para alimentos de animales acuáticos es una aplicación favorable.

Por su parte, las microalgas poseen un alto contenido de proteínas y un buen perfil de aminoácidos comparables con otras proteínas alimentarias (Becker, 2007). El contenido de proteína puede estar entre 60% y 70%. Se han realizado estudios referentes al uso de microalgas en dietas para peces y crustáceos (Cuzon *et al.*, 1981; James *et al.*, 2006; Jaime-Ceballos *et al.*, 2007; Silva-Neto *et al.*, 2012; Macias-Sancho *et al.*, 2014; Tibbetts *et al.*, 2017). Sin duda alguna el alimento para peces y crustáceos formulado con proteína de microalgas tiene

un gran potencial para remplazar la harina de pescado y soya, con una favorable tasa de crecimiento superior y la capacidad de crecer y reproducirse sin el uso de tierra; sin embargo, los altos costos de producción limitan la obtención masiva para piensos en acuicultura. Se espera que en un futuro cercano los costos sean menores y se pueda producir para satisfacer la creciente demanda de insumos proteicos para la alimentación de animales acuáticos (Chen *et al.*, 2021; Nagappan *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Las fuentes de proteínas expuestas en este documento son una alternativa potencial que puede ser sostenible en comparación con la harina de pescado, cuya producción es cada vez mas insostenible, lo que ha resultado en un aumento considerable del costo de los alimentos para camarones. Es importante enfocar esfuerzos para descubrir el potencial de cada uno de los insumos de origen vegetal y animal para su uso en la alimentación acuícola.

Los estudios existentes en cada uno de los insumos expuestos han demostrado resultados prometedores, particularmente en el rendimiento del crecimiento, el uso de nutrientes, una mejor respuesta inmune del organismo, así como el potencial en algunos insumos de tener resistencia a enfermedades. Hay que abonar esfuerzos para reducir costos de producción y generar alimentos que sean amigables con el ambiente. Todavía hay muchas áreas que requieren investigación para comprender completamente el uso y los beneficios de las proteínas animal y vegetal en los alimentos acuícolas.

REFERENCIAS

Abraham, E. M., Ganopoulos, I., Madesis, P., Mavromatis, A., Mylona, P., Nianiou-Obeidat, I., ... & Vlachostergios, D. (2019). The use of lupin as a source of protein in animal feeding: Genomic tools and breeding approaches. *International Journal of molecular sciences*, 20(4), 851.

Achupallas, J. (1995). La Calidad de los Alimentos Acuícolas y su desafío en el mantenimiento de una Acuicultura ecuatoriana sostenible. *Revista de la Cámara Nacional de Acuicultura*, 10, 24-26.

Alves, A. P. D. C., Paulino, R. R., Pereira, R. T., da Costa, D. V. & e Rosa, P. V. (2021). Nile tilapia fed insect meal: Growth and innate immune response in different times under lipopolysaccharide challenge. *Aquaculture Research*, 52(2), 529-540.

Amaya, E. A., Davis, D. A. & Rouse, D. B. (2007). Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. *Aquaculture*, 262(2-4), 393-401.

Anaya, R. R. (2005). *Cultivo del camarón blanco, Litopenaeus vannamei, Boone (1931), en sistema cerrado a alta densidad*. [Tesis de maestría, Centro de investigación científica y de educación superior de ensenada]. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1144/1/167251.pdf>

Angell, A. R., Angell, S. F., de Nys, R. & Paul, N. A. (2016). Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends in food science & technology*, 54, 74-84.

Angell, A. R., de Nys, R. & Paul, N. A. (2016). The nitrogen, protein and amino acid content of seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 28 (1). 511-524

Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A. & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422, 193-201.

Bauer, W., Prentice-Hernandez, C., Tesser, M. B., Wasielesky Jr, W. & Poersch, L. H. (2012). Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 342, 112-116.



- Bautista, J. F. F., Vergara, R. & Suárez, A. (2017). Evaluación de una fórmula alimenticia para camarón de cultivo (*L. vannamei*) con inclusión de proteína vegetal a base de harina de soya. *Revista AquaTIC*, 1(44), 12-29.
- Berg JM, Stryer L & Tymoczko JL (2008) *Bioquímica*. 6ª edición. Editorial Reverté. Barcelona, España. p. 685
- Berger, C. (2020). La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. *South Sustainability*, 1(1), 3.
- Bertrand, J. A., Sudduth, T. Q., Condon, A., Jenkins, T. C. & Calhoun, M. C. (2005). Nutrient content of whole cottonseed. *Journal of Dairy Science*, 88(4), 1470-1477.
- Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., ... & Corner, R. (2010). Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2897-2912.
- Bravo, L. K., & Santos, G. E. (2019). *Evaluación de dos métodos de alimentación para engorde de camarón blanco*. [Trabajo de grado de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/items/68c0b485-c16c-47e2-b44b-e2b-c0ddb2d97>
- Byerlee, D., Stevenson, J., & Villoria, N. (2014). Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation? *Global food security*, 3(2), 92-98.
- Cai, Y., Huang, H., Yao, W., Yang, H., Xue, M., Li, X. & Leng, X. (2022). Effects of fish meal replacement by three protein sources on physical pellet quality and growth performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, 25, 101210.
- Callegaro, K., Brandelli, A., & Daroit, D. J. (2019). Beyond plucking: feathers bioprocessing into valuable protein hydrolysates. *Waste Management*, 95, 399-415.
- Camanõ, H. N. (2014). *Substituição da farinha e do óleo do peixe por farinha e óleo de origem vegetal em rações utilizadas na fase de engorda do camarão branco Litopenaeus vannamei em sistemas de bioflocos (BFT)* [Master's thesis]. https://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/9281/Hernando_Camano_2014.pdf?sequence=1&i-Allowed=y
- Centenaro, G. S., Prentice-Hernández, C., Salas-Mellado, M. & Netto, F. M. (2009). Efeito da concentração de enzima e de substrato no grau de hidrólise e nas propriedades funcionais de hidrolisados proteicos de corvina (*Micropogonias furnieri*). *Química nova*, 32, 1792-1798.
- Cervantes-Hernández, P., Ramos-Cruz, S. & Gracia Gasca, A. (2006). Evaluación del estado de la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica*, 16(3), 233-239.
- Chen, F., Leng, Y., Lu, Q. & Zhou, W. (2021). The application of microalgae biomass and bio-products as aquafeed for aquaculture. *Algal Research*, 60, 102541.
- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., ... & Xie, S. (2021). Replacement of fish meal with Methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) bacteria meal in the diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 541, 736801.
- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., ... & Xie, S. (2022). Evaluation of Methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) bacteria meal on body composition, lipid metabolism, protein synthesis and muscle metabolites of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 547, 737517.
- Cheng, K. M., Hu, C. Q., Liu, Y. N., Zheng, S. X. & Qi, X. J. (2005). Dietary magnesium requirement and physiological responses of marine shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity water. *Aquaculture Nutrition*, 11(5), 385-393.

- Cheng, K. M., Hu, C. Q., Liu, Y. N., Zheng, S. X., & Qi, X. J. (2006). Effects of dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio on the growth and tissue mineralization of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity water. *Aquaculture*, 251(2-4), 472-483.
- Cheng, Z. J., Behnke, K. C. & Dominy, W. G. (2002). Effects of poultry by-product meal as a substitute for fish meal in diets on growth and body composition of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Applied Aquaculture*, 12(1), 71-83.
- Choi, I. H., Kim, J. M., Kim, N. J., Kim, J. D., Park, C., Park, J. H. & Chung, T. H. (2018). Replacing fish meal by mealworm (*Tenebrio molitor*) on the growth performance and immunologic responses of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40. e35015
- Chumpol, S., Kantachote, D., Nitoda, T. & Kanzaki, H. (2018). Administration of purple nonsulfur bacteria as single cell protein by mixing with shrimp feed to enhance growth, immune response and survival in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultivation. *Aquaculture*, 489, 85-95.
- Cole, A. J., De Nys, R., & Paul, N. A. (2015). Biorecovery of nutrient waste as protein in freshwater macroalgae. *Algal Research*, 7, 58-65.
- Cruz-Suárez, L. E., Nieto-López, M., Guajardo-Barbosa, C., Tapia-Salazar, M., Scholz, U. & Ricque-Marie, D. (2007). Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets. *Aquaculture*, 272(1-4), 466-476.
- Cruz-Suárez, L. E., Tapia-Salazar, M., Villarreal-Cavazos, D., Beltran-Rocha, J., Nieto-López, M. G., Lemme, A. & Ricque-Marie, D. (2009). Apparent dry matter, energy, protein and amino acid digestibility of four soybean ingredients in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*, 292(1-2), 87-94.
- Cruz-Suárez, L. E., Villarreal-Colmenares, H., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M. G., Villarreal-Cavazos, D. A. & Ricque-Marie, D. (2008). *Manual de metodologías de digestibilidad in vivo e in vitro para ingredientes y dietas para camarón*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Mty., NL, Mexico. ISBN: 978-607-433-020-5. No.
- Cummins Jr, V. C., Rawles, S. D., Thompson, K. R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., & Webster, C. D. (2017). 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*, 473, 337-344.
- Cuzon, G., Lawrence, A., Gaxiola, G., Rosas, C., & Guillaume, J. (2004). Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds. *Aquaculture*, 235(1-4), 513-551.
- Cuzon, G., Santos, R. D., Hew, M. & Poullaouec, G. (1981). Use of Spirulina in Shrimp (*Penaeus japonicus*) diet. *Journal of the World Mariculture Society*, 12(2), 282-291.
- Davis, D. A. & Arnold, C. R. (2000). Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 185(3-4), 291-298.
- Davis, D. A. & Gatlin III, D. M. (1996). Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. *Reviews in Fisheries Science*, 4(1), 75-99.
- Davis, D. A., Lawrence, A. L. & Gatlin III, D. (1993a). Dietary copper requirement of *Penaeus vannamei*. *Japan Society of Fisheries Sciences*, 59(1), 117-122.
- Davis, D. A., Lawrence, A. L. & Gatlin III, D. M. (1993b). Evaluation of the dietary zinc requirement of *Penaeus vannamei* and effects of phytic acid on zinc and phosphorus bioavailability. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24(1), 40-47.

- Dawood, M. A. (2021). Nutritional immunity of fish intestines: Important insights for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 642-663.
- Del Cisne Castillo-Ochoa, B. & Velásquez-López, P. C. (2021). Manejo estacional de los sistemas de producción de camarón en el Ecuador. *Sociedad & Tecnología*, 4(3), 447-461.
- Dieterich, F., Boscolo, W. R., Pacheco, M. T. B., Silva, V. D., Gonçalves, G. S. & Vidotti, R. M. (2014). Development and characterization of protein hydrolysates originated from animal agro industrial byproducts. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 1(2), 1-7.
- Drew, M. D., Borgeson, T. L. & Thiessen, D. L. (2007). A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Animal Feed Science and Technology*, 138(2), 118-136.
- Duan, Y., Wang, Y., Dong, H., Ding, X., Liu, Q., Li, H., ... & Xiong, D. (2018). Changes in the intestine microbial, digestive, and immune-related genes of *Litopenaeus vannamei* in response to dietary probiotic *Clostridium butyricum* supplementation. *Frontiers in microbiology*, 9, 2191.
- El-Saadony, M. T., Alagawany, M., Patra, A. K., Kar, I., Tiwari, R., Dawood, M. A., ... & Abdel-Latif, H. M. (2021). The functionality of probiotics in aquaculture: an overview. *Fish & Shellfish Immunology*, 117, 36-52.
- Feng, P., He, J., Lv, M., Huang, G., Chen, X., Yang, Q., ... & Ma, H. (2019). Effect of dietary *Tenebrio molitor* protein on growth performance and immunological parameters in *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 511, 734-747.
- Fernández Gimenez, A. V., Fenucci, J. L. & Petriella, A. M. (2004). The effect of vitamin E on growth, survival and hepatopancreas structure of the Argentine red shrimp *Pleoticus muelleri* Bate (Crustacea, Penaeidea). *Aquaculture research*, 35(12), 1172-1178.
- Francis, G., Makkar, H. P. & Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199(3-4), 197-227.
- Freccia, A., Tubin, J. S. B., Rombenso, A. N. & Emericiano, M. G. C. (2020). Insects in aquaculture nutrition: an emerging eco-friendly approach or commercial reality? *Emerging Technologies, Environment and Research for Sustainable Aquaculture*, 1-14.
- Galkanda Arachchige, H. S. C., Qiu, X., Stein, H. H., & Davis, A. (2019). Evaluation of soybean meal from different sources as an ingredient in practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 50(4), 1230-1247.
- Galkanda-Arachchige, H. S., Guo, J., Stein, H. H. & Allen Davis, D. (2020). Apparent energy, dry matter and amino acid digestibility of differently sourced soybean meal fed to Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 51(1), 326-340.
- Galkanda-Arachchige, H. & Davis, D. A. (2020). Evaluation of differently processed soybean meal products as ingredients in practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 26(2), 287-295.
- Gamboa-Delgado, J. & Márquez-Reyes, J. M. (2018). Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), 224-246.
- Gamboa-Delgado, J., Nieto-López, M. G., Maldonado-Muñiz, M., Villarreal-Cavazos, D., Tapia-Salazar, M. & Cruz-Suárez, L. E. (2020). Comparing the assimilation of dietary nitrogen supplied by animal-, plant-and microbial-derived ingredients in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: A stable isotope study. *Aquaculture reports*, 17, 100294.

- Gamboa-Delgado, J., Rojas-Casas, M. G., Nieto-López, M. G. & Cruz-Suárez, L. E. (2013). Simultaneous estimation of the nutritional contribution of fish meal, soy protein isolate and corn gluten to the growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using dual stable isotope analysis. *Aquaculture*, 380, 33-40.
- Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle Zotte, A., Danieli, P., De Angelis, A., ... & Roncarati, A. (2020). Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 360-372.
- Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., ... & Caruso, G. (2018). Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. *Feeds for the aquaculture sector: current situation and alternative sources*, 1, 1-28.
- Gatlin III, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., ... & Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture research*, 38(6), 551-579.
- Gerasimidis, K., Fillou, D. T., Babatzimcpoulou, M., Tassou, K. & Katsikas, H. (2007). Preparation of an edible cottonseed protein concentrate and evaluation of its functional properties. *International Journal of food sciences and nutrition*, 58(6), 486-490.
- Glencross, B. D., Booth, M. & Allan, G. L. (2007). A feed is only as good as its ingredients—a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture nutrition*, 13(1), 17-34.
- Glencross, B. D., Smith, D. M., Thomas, M. R. & Williams, K. C. (2002). Optimising the essential fatty acids in the diet for weight gain of the prawn, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 204(1-2), 85-99.
- González-Félix, M. L., Lawrence, A. L., Gatlin III, D. M. & Perez-Velazquez, M. (2002). Growth, survival and fatty acid composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* fed different oils in the presence and absence of phospholipids. *Aquaculture*, 205(3-4), 325-343.
- Guo, J., Huang, Y., Salze, G., Roy, L. A. & Davis, D. A. (2020). Use of plant-based protein concentrates as replacement for fishmeal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under high stocking density and low salinity conditions. *Aquaculture Nutrition*, 26(2), 225-232.
- Han, F., Qian, J., Qu, Y., Li, Z., Chen, H., Xu, C., ... & Li, E. (2022). Partial replacement of soybean meal with fermented cottonseed meal in a low fishmeal diet improves the growth, digestion and intestinal microbiota of juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 27, 101339.
- Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, 41(5), 770-776.
- Hazreen-Nita, M. K., Kari, Z. A., Mat, K., Rusli, N. D., Sukri, S. A. M., Harun, H. C. ... & Dawood, M. A. (2022). Olive oil by-products in aquafeeds: Opportunities and challenges. *Aquaculture Reports*, 22, 100998.
- He, G., Zhang, T., Zhou, X., Liu, X., Sun, H., Chen, Y., ... & Lin, S. (2022). Effects of cottonseed protein concentrate on growth performance, hepatic function and intestinal health in juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *Aquaculture Reports*, 23, 101052.
- He, H. & Lawrence, A. L. (1993). Vitamin C requirements of the shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 114(3-4), 305-316.
- He, Y., Guo, X., Tan, B., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., ... & Chi, S. (2021). Replacing fishmeal with cottonseed protein concentrate in feed for pearl gentian groupers (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *E. lanceolatus*♂): Effects on growth and expressions of key genes involved in appetite and hepatic glucose and

- lipid metabolism. *Aquaculture Reports*, 20, 100710.
- Hernández, C., Olvera-Novoa, M. A., Aguilar-Vejar, K., González-Rodríguez, B. & de la Parra, I. A. (2008). Partial replacement of fish meal by porcine meat meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 277(3-4), 244-250.
- Hernández, C., Olvera-Novoa, M. A., Hardy, R. W., Hermosillo, A., Reyes, C. & González, B. (2010). Complete replacement of fish meal by porcine and poultry by product meals in practical diets for fingerling Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: digestibility and growth performance. *Aquaculture nutrition*, 16(1), 44-53.
- Hou, Y., Wu, Z., Dai, Z., Wang, G. & Wu, G. (2017). Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), 1-13.
- Hu, J., Wang, G., Huang, W., Zhao, H., Mo, W. & Huang, Y. (2019). Effects of fish meal replacement by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, body composition, serum biochemical indexes and antioxidant ability of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 31(11), 5292-5300.
- Hua, K., Cobcroft, J. M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D. R., Mangott, A., ... & Strugnell, J. M. (2019). The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, 1(3), 316-329.
- Huang, F., Wang, L., Zhang, C. X. & Song, K. (2017). Replacement of fishmeal with soybean meal and mineral supplements in diets of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity water. *Aquaculture*, 473, 172-180.
- Israel, A., Gavrieli, J., Glazer, A. & Friedlander, M. (2005). Utilization of flue gas from a power plant for tank cultivation of the red seaweed *Gracilaria cornea*. *Aquaculture*, 249(1-4), 311-316.
- Jaime-Ceballos, B., Civera Cerecedo, R., Villarreal, H., Galindo López, J. & Pérez-Jar, L. (2007). Uso de la harina de *Spirulina platensis* como atrayente en el alimento para el camarón *Litopenaeus schmitti*. *Hidrobiológica*, 17(2), 113-117.
- James, R., Sampath, K., Thangarathinam, R. & Vasudevan, I. (2006). Effect of dietary Spirulina level on growth, fertility, coloration and leucocyte count in red swordtail, *Xiphophorus helleri*. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 58, 1-9.
- Jescovitch, L. N., Ullman, C., Rhodes, M. & Davis, D. A. (2018). Effects of different feed management treatments on water quality for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 49(1), 526-531.
- Lall, S. P. (2002). *The Minerals*. In: Fish Nutrition (Ed.), Elsevier Academic Press, San Diego, CA, USA, pp. 259-308.
- Lee, C. & Lee, K. J. (2018). Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(1), 1-6.
- Li, E., Wang, X., Chen, K., Xu, C., Qin, J. G. & Chen, L. (2017). Physiological change and nutritional requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at low salinity. *Reviews in Aquaculture*, 9(1), 57-75.
- Li, W., Pan, L., Liu, H., Tan, B., Dong, X., Yang, Q., ... & Xie, R. (2022). Effects of the *Clostridium butyricum* on growth performance, antioxidant capacity, immunity and disease resistance of *Litopenaeus Vannamei* fed with cottonseed protein concentrate (CPC) replacement of fishmeal in diet. *Fish & Shellfish Immunology*, 126, 283-291.
- Lim, C. (1996). Substitution of cottonseed meal for marine animal protein in diets for *Penaeus*

- vannamei. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27(4), 402-409.
- Liu, Fa-yi. & Lawrence, A. L. (1997). Dietary manganese requirement of *Penaeus vannamei*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 15(2), 163-167.
- Liu, H., Chen, G., Li, L., Lin, Z., Tan, B., Dong, X., ... & Zhou, X. (2022). Supplementing artemisinin positively influences growth, antioxidant capacity, immune response, gut health and disease resistance against *Vibrio parahaemolyticus* in *Litopenaeus vannamei* fed cottonseed protein concentrate meal diets. *Fish & Shellfish Immunology*, 131, 105-118.
- Liu, H., Zhang, X., Tan, B., Lin, Y., Chi, S., Dong, X., & Yang, Q. (2014). Effect of dietary potassium on growth, nitrogen metabolism, osmoregulation and immunity of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in low salinity seawater. *Journal of Ocean University of China*, 13(2), 311-320.
- Macias-Sancho, J., Poersch, L. H., Bauer, W., Romano, L. A., Wasielesky, W., & Tesser, M. B. (2014). Fishmeal substitution with *Arthrospira (Spirulina platensis)* in a practical diet for *Litopenaeus vannamei*: effects on growth and immunological parameters. *Aquaculture*, 426, 120-125.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V. & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197, 1-33.
- Malcorps, W., Kok, B., van 't Land, M., Fritz, M., van Doren, D., Servin, K., ... & Davies, S. J. (2019). The sustainability conundrum of fishmeal substitution by plant ingredients in shrimp feeds. *Sustainability*, 11(4), 1212.
- Mata, L., Magnusson, M., Paul, N. A., & de Nys, R. (2016). The intensive land-based production of the green seaweeds *Derbesia tenuissima* and *Ulva ohnoi*: biomass and bioproducts. *Journal of applied phycology*, 28(1), 365-375.
- Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., & Verstraete, W. (2016). Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial biotechnology*, 9(5), 568-575.
- Maulu, S., Langi, S., Hasimuna, O. J., Missinhoun, D., Munganga, B. P., Hampuwo, B. M., ... & Dawood, M. A. (2022). Recent advances in the utilization of insects as an ingredient in aquafeeds: A review. *Animal Nutrition*, 11(2022), 334-349.
- McLean, E., Barrows, F. T., Craig, S. R., Alfrey, K. & Tran, L. (2020). Complete replacement of fishmeal by soybean and poultry meals in Pacific whiteleg shrimp feeds: Growth and tolerance to EMS/AHPND and WSSV challenge. *Aquaculture*, 527, 735383.
- Menz, A. & Blake, B. F. (1980). Experiments on the growth of *Penaeus vannamei* Boone. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 48(2), 99-111.
- Molina-Poveda, C. (2016). *Nutrient requirements*. In: Nates, S.F. (Ed.), *Aquafeed Formulation*. Academic Press, San Diego, pp. 75-216.
- Motte, C., Rios, A., Lefebvre, T., Do, H., Henry, M., & Jintataporn, O. (2019). Replacing fish meal with defatted insect meal (Yellow Mealworm *Tenebrio molitor*) improves the growth and immunity of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals*, 9(5), 258.
- Nagappan, S., Das, P., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Khan, S., Mahata, C., ... & Kumar, G. (2021). Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. *Journal of Biotechnology*, 341, 1-20.
- Nasri, M. (2017). Protein hydrolysates and biopeptides: Production, biological activities, and applications in foods and health benefits. A review. *Advances in food and nutrition research*, 81, 109-159.
- National Research Council (NRC). (2011). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*.

- National Academies Press. https://books.google.es/books?id=H8tA-BAAAQBAJ&dq=Nutrient+Requirements+of+Fish+and+Shrimp&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., ... & Nichols, P. D. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36), 15103-15110.
- Nieto López, M. G., Cruz Suárez, L. E., Ricque Marie, D., & Ezquerro Brauer, M. (2005). Técnica de digestibilidad in vitro en ingredientes y alimentos para camarón. *Ciencia Uanl*, 8(1), 65-73.
- Nunes, A. J. P., Sá, M. D. C. & Neto, H. (2011). As próximas gerações de ração para camarão marinho. *Panorama da Aqüicultura*, 21(123), 24-35.
- Ogello, E. O., Outa, N. O., Obiero, K. O., Kyule, D. N., & Munguti, J. M. (2021). The prospects of Bio-floc Technology (BFT) for sustainable aquaculture development. *Scientific African*, 14, e01053.
- Olsen, R. L., & Hasan, M. R. (2012). A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology*, 27(2), 120-128.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma (Italia). FAO, Departamento de Pesca y Acuicultura [en línea]. 20 de agosto 2022. 243 páginas. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229es>
- Overland, M., Mydland, L. T., & Skrede, A. (2019). Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1), 13-24.
- Panini, R. L., Pinto, S. S., Nóbrega, R. O., Vieira, F. N., Fracalossi, D. M., Samuels, R. I., ... & Amboni, R. D. (2017). Effects of dietary replacement of fishmeal by mealworm meal on muscle quality of farmed shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Food Research International*, 102, 445-450.
- Paripatananont, T., Boonyaratpalin, M., Pengseng, P. & Chotipuntu, P. J. A. R. (2001). Substitution of soy protein concentrate for fishmeal in diets of tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture research*, 32, 369-374.
- Peisker, M. (2001). Manufacturing of soy protein concentrate for animal nutrition. *Cahiers Options Mediterraneennes*, 54, 103-107.
- Possamai, A. J., Zervoudakis, J. T., de Oliveira, A. S., Hatamoto-Zervoudakis, L. K., da Rosa e Silva, P. I. J. L., da Freiria, L. B. & Boas e Silva, Y. R. V. (2021). Modulating the lipid profile of beef using cottonseed and crude glycerin. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 1-9.
- Quang Tran, H., Van Doan, H., & Stejskal, V. (2022). Environmental consequences of using insect meal as an ingredient in aquafeeds: A systematic view. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 237-251.
- Rabasso Krohnert, M. S. (2006). Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos. *Vector Plus Misc Cient Cultural*, 28, 89-98.
- Rahimnejad, S., Hu, S., Song, K., Wang, L., Lu, K., Wu, R. & Zhang, C. (2019). Replacement of fish meal with defatted silkworm (*Bombyx mori* L.) pupae meal in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 510, 150-159.
- Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R. & Pino, J. M. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *Journal of economic entomology*, 95(1), 214-220.

- Rawles, S. D., Riche, M. A. R. T. I. N., Gaylord, T. G., Webb, J., Freeman, D. W. & Davis, M. E. G. A. N. (2006). Evaluation of poultry by-product meal in commercial diets for hybrid striped bass (*Morone chrysops*♀ × *M. saxatilis*♂) in recirculated tank production. *Aquaculture*, 259(1-4), 377-389.
- Ray, G. W., Yang, Q., Tan, B., Dong, X., Chi, S., Liu, H. & Zhang, S. (2021). Effects of replacing fishmeal with dietary wheat gluten meal (WGM) on growth, serum biochemical indices, and antioxidative functions, gut microbiota, histology and disease resistance for juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Animal Feed Science and Technology*, 281, 115090.
- Reis, J., Novriadi, R., Swanepoel, A., Jingping, G., Rhodes, M. & Davis, D. A. (2020). Optimizing feed automation: improving timer-feeders and on demand systems in semi-intensive pond culture of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 519, 734759.
- Richardson, A., Dantas-Lima, J., Lefranc, M. & Walraven, M. (2021). Effect of a Black Soldier Fly Ingredient on the Growth Performance and Disease Resistance of Juvenile Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals*, 11(5), 1450.
- Richardson, C. M., Siccardi, A. J., Palle, S. R., Campbell, L. M., Puckhaber, L., Stipanovic, R. D., ... & Samocha, T. M. (2016). Evaluation of ultra-low gossypol cottonseed and regular glandless cottonseed meals as dietary protein and lipid sources for *Litopenaeus vannamei* reared under zero-exchange conditions. *Aquaculture Nutrition*, 22(2), 427-434.
- Riche, M. (2015). Nitrogen utilization from diets with refined and blended poultry by-products as partial fish meal replacements in diets for low-salinity cultured Florida pompano, *Trachinotus carolinus*. *Aquaculture*, 435, 458-466.
- Rosas, C., Bolongaro-Crevenna, A., Sanchez, A., Gaxiola, G., Soto, L. & Escobar, E. (1995). Role of digestive gland in the energetic metabolism of *Penaeus setiferus*. *The Biological Bulletin*, 189(2), 168-174.
- Rossi Jr, W. & Davis, D. A. (2012). Replacement of fishmeal with poultry by-product meal in the diet of Florida pompano *Trachinotus carolinus* L. *Aquaculture*, 338, 160-166.
- Roy, L. A., Bordinhon, A., Sookying, D., Davis, D. A., Brown, T. W. & Whitis, G. N. (2009). Demonstration of alternative feeds for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters of west Alabama. *Aquaculture research*, 40(4), 496-503.
- Roy, L. A., Davis, D. A., Saoud, I. P., & Henry, R. P. (2007). Supplementation of potassium, magnesium and sodium chloride in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture Nutrition*, 13(2), 104-113.
- Sá, M. V. C., Sabry-Neto, H., Cordeiro-Júnior, E. & Nunes, A. J. P. (2013). Dietary concentration of marine oil affects replacement of fish meal by soy protein concentrate in practical diets for the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 19(2), 199-210.
- Samocha, T. M., Davis, D. A., Saoud, I. P. & DeBault, K. (2004). Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 231(1-4), 197-203.
- Shen, J., Liu, H., Tan, B., Dong, X., Yang, Q., Chi, S. & Zhang, S. (2020). Effects of replacement of fishmeal with cottonseed protein concentrate on the growth, intestinal microflora, haematological and antioxidant indices of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquaculture Nutrition*, 26(4), 1119-1130.
- Shiau, S. Y. (1998). Nutrient requirements of penaeid shrimps. *Aquaculture*, 164(1-4), 77-93.
- Silva, A. F. D. (2015). *Uso da farinha de paixe análoga como fonte alternativa à farinhas de*

- peixe no cultivo super intensivo do camarão branco *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos [Tesis de maestría, Universidade Federal do Rio Grande]. <https://repositorio.furg.br/handle/1/9283>.
- Silva, N. P. (2019). *Substituição da farinha de peixe pelo farelo de soja em dietas para juvenis do camarão branco, Litopenaeus vannamei, suplementadas com aminoácidos* [Tesis predicada, Universidade Federal do Ceará]. <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/50500>
- Silva-Neto, J. F., Nunes, A. J. P., Sabry-Neto, H. & Sá, M. V. C. (2012). Spirulina meal has acted as a strong feeding attractant for *Litopenaeus vannamei* at a very low dietary inclusion level. *Aquaculture Research*, 43(3), 430-437.
- Smith, D. M., Tabrett, S. J., Barclay, M. C., & Irvin, S. J. (2005). The efficacy of ingredients included in shrimp feeds to stimulate intake. *Aquaculture Nutrition*, 11(4), 263-272.
- Soares, A. N. (2021). *Substituição integral da farinha de salmão por farinha de vísceras de aves Low-Ash, em rações para juvenis do camarão Litopenaeus vannamei*. [Tesis de maestría, Universidade Federal do Ceará]. <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/59269>.
- Soares, M. (2014). *Avaliação do desempenho zootécnico do camarão-branco do Pacífico alimentado com dietas com diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por concentrado proteico de soja*. [Tesis de maestría, Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/123288>.
- Soares, M., Rezende, P. C., Correa, N. M., Rocha, J. S., Martins, M. A., Andrade, T. C., ... & do Nascimento Vieira, F. (2020). Protein hydrolysates from poultry by-product and swine liver as an alternative dietary protein source for the Pacific white shrimp. *Aquaculture Reports*, 17, 100344.
- Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S. & Gasco, L. (2019). The potential role of insects as feed: A multi-perspective review. *Animals*, 9(4), 119.
- Sookying, D. & Davis, D. A. (2011). Pond production of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed high levels of soybean meal in various combinations. *Aquaculture*, 319(1-2), 141-149.
- Sookying, D. & Davis, D. A. (2012). Use of soy protein concentrate in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under field conditions. *Aquaculture International*, 20(2), 357-371.
- Sookying, D., Davis, D. A. & Soller Dias da Silva, F. (2013). A review of the development and application of soybean-based diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 19(4), 441-448.
- Sookying, D., Silva, F. S. D., Davis, D. A. & Hanson, T. R. (2011). Effects of stocking density on the performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured under pond and outdoor tank conditions using a high soybean meal diet. *Aquaculture*, 319(1-2), 232-239.
- Storebakken, T. (2000). Soy products as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture. *Soy in animal nutrition*, 127-170.
- Suresh, A. V. & Nates, S. (2011). Attractability and palatability of protein ingredients of aquatic and terrestrial animal origin, and their practical value for blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* fed diets formulated with high levels of poultry byproduct meal. *Aquaculture*, 319(1-2), 132-140.
- Tacon, A. G. & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1-4), 146-158.

- Terova, G., Gini, E., Gasco, L., Moroni, F., Antonini, M. & Rimoldi, S. (2021). Effects of full replacement of dietary fishmeal with insect meal from *Tenebrio molitor* on rainbow trout gut and skin microbiota. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 1-14.
- Tesser, M. B., Cardozo, A. P., Camaño, H. N. & Wasielesky, W. (2019). Substituição da farinha e do óleo de peixe por farinha e óleo de origem vegetal em rações utilizadas na fase de engorda do camarão-branco-do-pacífico *Litopenaeus vannamei*, em sistemas de bio-flocos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71, 703-710.
- Tibbetts, S. M., Yasumaru, F. & Lemos, D. (2017). In vitro prediction of digestible protein content of marine microalgae (*Nannochloropsis granulata*) meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Algal research*, 21, 76-80.
- Tseng, Y. C. & Hwang, P. P. (2008). Some insights into energy metabolism for osmoregulation in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148(4), 419-429.
- Ullman, C., Rhodes, M., Hanson, T., Cline, D. & Davis, D. A. (2019). Effects of four different feeding techniques on the pond culture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 50(1), 54-64.
- Van Huis, A., Dicke, M. & van Loon, J. J. (2015). Insects to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 3-5
- Van Wyk, P. (1999). Nutrition and feeding of *Litopenaeus vannamei* in intensive culture systems. *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*, 220.
- Van Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K. L., Mountain, J., & Scarpa, J. (1999). Nutrition and Feeding of *Litopenaeus vannamei* in Intensive Culture Systems. In: Van Wyk, P. (Ed.), *Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems* (Vol. 7, pp. 125-140). Harbor Branch Oceanographic Institution.
- Molina-Poveda, C. (2016). *Nutrient requirements*. In: Nates, S.F. (Ed.), *Aquafeed Formulation*. Academic Press, San Diego, pp. 75-216.
- Vela, L., Álvarez, G., Cossio, J., Helguero, B., Martínez, M., & Santacruz, R. (2014). *Diagnóstico estratégico del sector pesquero peruano*. <https://web.ua.es/es/giecryal/documentos/pesca-peru.pdf>.
- Vizcaíno, A. J., López, G., Sáez, M. I., Jiménez, J. A., Barros, A., Hidalgo, L., ... & Alarcón, F. J. (2014). Effects of the microalga *Scenedesmus almeriensis* as fishmeal alternative in diets for gilthead sea bream, *Sparus aurata*, juveniles. *Aquaculture*, 431, 34-43.
- Wang, H., Hu, X., Zheng, Y., Chen, J., Tan, B., Shi, L., & Zhang, S. (2022). Effects of replacing fish meal with cottonseed protein concentrate on the growth, immune responses, digestive ability and intestinal microbial flora in *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 128, 91-100.
- Wang, H., Hu, X., Zheng, Y., Chen, J., Tan, B., Shi, L. & Zhang, S. (2022). Effects of replacing fish meal with cottonseed protein concentrate on the growth, immune responses, digestive ability and intestinal microbial flora in *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 128, 91-100.
- Wang, J., Zhang, H., Yang, Q., Tan, B., Dong, X., Chi, S., ... & Zhang, S. (2020). Effects of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization and non-specific immune enzyme activities for juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 16, 100255.
- Wangsoontorn, S., Chuchird, N., Wudtisai, I. & Crook, A. (2018). The effect of substituting fish meal with fermented soybean meal on the growth performance and immune parameters of Pacific white shrimp (*Litope-*

- naeus vannamei). *Journal of Fisheries and Environment*, 42(2), 32-40.
- Were, G. J., Irungu, F. G., Ngoda, P. N., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., ... & Mutungi, C. M. (2022). 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*, 34(4), 1036-1052.
- Xie, S. W., Liu, Y. J., Zeng, S., Niu, J. & Tian, L. X. (2016). Partial replacement of fish-meal by soy protein concentrate and soybean meal based protein blend for juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 464, 296-302.
- Xie, S. W., Wei, D., Chen, S. J., Zhuang, Z., Yin, P., Liu, Y. J., ... & Niu, J. (2020b). Dietary fishmeal levels affect anti-oxidative ability and metabolomics profile of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 26(3), 978-989.
- Xie, S., Wei, D., Fang, W., Yin, P., Liu, Y., Niu, J. & Tian, L. (2020a). Survival and protein synthesis of post-larval White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* were affected by dietary protein level. *Animal Feed Science and Technology*, 263, 114462.
- Xie, S., Wei, D., Yin, P., Zheng, L., Guo, T., Liu, Y., ... & Niu, J. (2019). Dietary replacement of fish-meal impaired protein synthesis and immune response of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* at low salinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 228, 26-33.
- Yadav, G., Meena, D. K., Sahoo, A. K., Das, B. K. & Sen, R. (2020). Effective valorization of microalgal biomass for the production of nutritional fish-feed supplements. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118697.
- Yarnold, J., Karan, H., Oey, M. & Hankamer, B. (2019). Microalgal aquafeeds as part of a circular bioeconomy. *Trends in plant science*, 24(10), 959-970.
- Yildirim-Aksoy, M., Eljack, R., Beck, B. H. & Peatman, E. (2022). Nutritional evaluation of frass from black soldier fly larvae as potential feed ingredient for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 27, 101353.
- Yu, X., He, Q. & Wang, D. (2021). Dynamic Analysis of Major Components in the Different Developmental Stages of *Tenebrio molitor*. *Frontiers in Nutrition*, 8, 689746.
- Zarantoniello, M., Randazzo, B., Gioacchini, G., Truzzi, C., Giorgini, E., Riolo, P., ... & Olivotto, I. (2020). Zebrafish (*Danio rerio*) physiological and behavioural responses to insect-based diets: A multidisciplinary approach. *Scientific reports*, 10(1), 1-16.
- Zhang, Q., Liang, H., Longshaw, M., Wang, J., Ge, X., Zhu, J., ... & Ren, M. (2022). 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 & Shellfish Immunology*, 122, 298-305.
- Zhou, Y. G., Davis, D. A. & Buentello, A. (2015). Use of new soybean varieties in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 21(5), 635-643.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales de macronutrientes del cultivo de camarón

Estado de crecimiento	Postlarva	Juvenil	Adulto	Referencia
Promedio de peso (g)	0,005 - 1	1 - 10	10 - en adelante	Anaya, 2005; Del cisne & Velásquez, 2021
Proteína (%)	35 - 45	30 - 35	25 - 30	Cuzon, et al., 2004; Lee & Lee, 2018
Carbohidratos (%)	15 - 35	15 - 35	15 - 35	Molina, 2016
Lípidos (%)	8 - 15	6 - 7.5	5 - 6.5	Wyk et al., 1999; Cuzon et al., 2004; Yildirim et al., 2022
Energía bruta (kcal/kg)	3200 - 3500	3500	2800	Rosas et al., 1995

Tabla 2. Requerimientos vitamínicos estimados para la inclusión en formulaciones nutricionales de camarón.

Vitamina	Inclusión en la dieta	Referencia
Vitamina C	30 mg/kg	Moreau et al., 1998
Vitamina E	99 mg/kg	He y Lawrence, 1993b; Fernandez et al., 2004
Vitamina A	50 g/kg	Van Wyk et al., 1999; Ray et al., 2021
Vitamina D	50 g/kg	Van Wyk et al., 1999; Ray et al., 2021
Vitamina K	5 g/kg	Van Wyk et al., 1999; Ray et al., 2021

Tabla 3. Requerimientos de minerales estimados para la inclusión en formulaciones nutricionales de camarón.

Mineral	Inclusión en la dieta	Referencia
Calcio (Ca)	5 g/kg	Cheng et al., 2006
Fosforo (P)	5-10 g/kg	Cheng et al., 2006
Potasio (K)	10-15 g/kg	Roy et al., 2007; Liu et al., 2014
Magnesio (Mg)	2,6-3,5 g/kg	Cheng et al., 2005
Cobre (Cu)	32 mg/kg	Davis et al., 1993a
Magnesio (Mn)	70 mg/kg	Liu & Lawrence, 1997
Zinc (Zn)	33 mg/kg	Davis et al., 1993b

