

Innovación tecnológica en la producción de alimentos para acuicultura: hacia la sostenibilidad ambiental

Mary Cruz Sánchez Alcalde¹

Héctor José Peinado Guevara²

Griselda Karina González Félix³

Resumen

La acuicultura es uno de los sectores de mayor crecimiento a nivel mundial, generando una gran demanda de alimentos para consumo humano. Sin embargo, en el desarrollo de esta actividad, la alimentación de los organismos cultivados representa entre el 65 y el 95 % de los costos y de los impactos ambientales generados en una granja acuícola. Donde la principal forma de disminuir esta contaminación y costo es a través del mejoramiento en la eficiencia de los alimentos y el rendimiento del crecimiento. Esto se puede lograr a partir de la implementación de nuevas estrategias en la elaboración y procesamiento de dietas. El objetivo de la presente investigación es analizar bajo un contexto documental las innovaciones tecnológicas en la formulación de alimentos para acuicultura y su aporte en la sostenibilidad ambiental. Para alcanzar el objetivo de la presente investigación se diseñó como un estudio de enfoque cualitativo, exploratorio y documental, partiendo de una búsqueda en los principales acervos y bases de datos referente al estado del arte del tema que se investiga. Encontrando que existen innovaciones tecnológicas tanto en el procesamiento como en técnicas que disminuyen la utilización de calor y permiten la elaboración de alimentos que se conserven por más tiempo. Así como la implementación de ingredientes que logran un remplazo parcial o total de la harina de pescado como: harinas vegetales, desechos derivados de otros productos e insectos. Otro hallazgo relevante es la adición de aditivos, como prebióticos, probióticos, enzimas y antioxidantes que, promueven la absorción de nutrientes, el crecimiento, proliferación de bacterias benéficas, salud en los organismos de cultivo y, además, disminuyen el impacto ambiental generado tanto por el uso de harina de pescado como por la contaminación de agua por desechos y alimento no digerido. Se concluye que, las innovaciones en la alimentación para especies acuícolas han demostrado un gran potencial para mejorar la eficiencia en la producción y reducir el impacto ambiental de la industria. Sin embargo, es importante continuar con estas investigaciones hasta lograr una sustitución total del uso de harina de pescado y el desarrollo de una acuicultura sostenible.

Conceptos clave: Acuicultura sostenible, Impacto ambiental, Formulación de alimentos

Introducción

En los últimos 40 años la acuicultura ha tenido un crecimiento continuo a nivel mundial (Cuéllar-Lugo et al., 2018). Tomando un rol fundamental en la seguridad alimentaria, puesto que, se

¹ Doctora, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Autónoma de Sinaloa, marycruz.alcalde@uas.edu.mx

² Doctor, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Autónoma de Sinaloa, hpeinado75@uas.edu.mx

³ Doctora, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Autónoma de Sinaloa, griselda.gonzalez@uas.edu.mx,

identifica como una alternativa para la producción de alimentos de alto aporte nutricional y con un impacto ambiental bajo con respecto al resto de la producción agroalimentario (Vázquez & Chávez, 2022).

El desarrollo de esta actividad contribuye en la satisfacción de la creciente demanda de alimentos marinos, como pescado y productos pesqueros, que son fuentes esenciales de proteínas, grasas saludables, vitaminas y minerales en la dieta humana. Además, los países que la practican pueden reducir la dependencia de peces silvestres, ayudando a preservar los ecosistemas marinos y la biodiversidad (Cortés-Sánchez et al., 2023).

Tan solo en México, para 2019, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) informó que, este país destinó 125 000 hectáreas para el cultivo de especies acuícolas y, para 2022, las principales producciones fueron de camarón *Litopenaeus vannamei* con 261 000 958 toneladas y la mojarra tilapia con 101 000 749 toneladas, destacando a Sinaloa y Nayarit como principales estados productores (SADER, 2022).

La acuicultura como sector económico y productivo de México genera ingresos derivados del mercado nacional e internacional. No obstante, las altas demandas de producto y la creciente producción acuícola han traído externalidades negativas que afectan a los sectores ambientales, económicos y sociales (Joffre, Klerkx y Khoa, 2018).

Estas externalidades pueden derivarse de diferentes factores, uno de ellos es la alimentación de las especies de cultivo, siendo la inversión de mayor peso en el desarrollo de la acuicultura, pues a partir de ella depende que los organismos alcancen una talla comercial (Núñez-Torres, 2017). Por esta razón, los productores buscan alternativas que puedan contribuir a reducir los costos de alimentación y/o al uso eficiente de los nutrientes de los alimentos balanceados (García-Ulloa et al., 2017).

Mientras que, en el área de investigación, diversos autores trabajan en la búsqueda de alimentos mejorados que contribuyan a la nutrición acuícola (Arriaga-Hernández et al., 2021; Faillace, Vergara y Suárez, 2016; Yao et al., 2019). En estas investigaciones se pretende que, las especies de cultivo aprovechen al máximo los nutrientes necesarios sin incrementar costos, y no generar afectaciones al medioambiente por factores como la descarga de aguas residuales con alto contenido de restos de alimento (Effendy, Al Deen y Chithambaran, 2016).

Los métodos tradicionales de alimentación en la acuicultura incluyen el uso de harina y aceite de pescado como ingredientes principales, toda vez que, estos insumos están considerados como una fuente importante de proteínas y ácidos grasos en la alimentación de las especies acuícolas en general (Ayisi et al., 2017).

Sin embargo, el uso de estos productos presenta diversas limitaciones que impactan tanto en la sostenibilidad ambiental como en la eficiencia económica del sector. Ya que, la obtención de estos depende en gran medida de la pesca de captura para obtener los ingredientes necesarios, lo cual ejerce presión sobre las poblaciones silvestres de peces y contribuye a la sobreexplotación de los océanos (Tacon y Metian, 2008).

Utilizar alimentos que no cumplan con los requerimientos nutricionales de los organismos, pueden provocar desequilibrios nutricionales y problemas de salud en los peces cultivados, teniendo como consecuencia una afectación en la productividad y aumento en los costos de producción (Naylor et al., 2009). Otra limitación significativa es la baja eficiencia de conversión alimenticia, es decir, la cantidad de alimento (gramos) transformado a peso vivo (gramos); ya que

gran parte del alimento suministrado no es consumido o asimilado por los organismos, generando residuos que pueden contaminar al medioambiente acuático circundante (Troell et al., 2014).

Además, este tipo de alimentación tradicional involucra el uso de antibióticos, el riesgo de intoxicación alimentaria y la competencia entre los peces por el alimento, esto debido al uso de alimentadores manuales, los cuales promueven el desperdicio del mismo (Jeyabharathi, Divyadharshini y Haripriya, 2022).

Por esta razón es importante la aplicación de innovaciones tecnológicas en la formulación, elaboración y producción de alimentos para especies acuícolas que contribuyan a una mejor nutrición y además promuevan una producción de alimentos para la dieta humana de manera sostenible.

La innovación en la producción de alimentos acuícolas está vinculada con el desarrollo e implementación de nuevas ideas, métodos o tecnologías para mejorar la producción, procesamiento, distribución y consumo de estos alimentos. Implica la creación de soluciones novedosas a los desafíos del sistema alimenticio, como: mejorar la productividad, garantizar la seguridad alimentaria, reducir el desperdicio y promover la sustentabilidad (Bunting et al., 2023).

En los últimos años, la innovación tecnológica en el contexto de los alimentos acuícolas ha avanzado significativamente. Siendo impulsada principalmente por la necesidad de mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de la producción acuícola. Se destacan avances tecnológicos como: el desarrollo de dietas basadas en ingredientes vegetales, macroalgas, microalgas, y otras fuentes de proteína que, sustituyen parcial o totalmente la harina y el aceite de pescado tradicionalmente utilizados. Permitiendo dar un respiro a la pesca insostenible, la cual ha generado gran presión a partir de la creciente demanda de proteína para la generación de alimentos para la acuicultura (Elleby et al., 2023).

El estudio y desarrollo de la biotecnología ha permitido la creación de aditivos alimentarios, como probióticos, prebióticos, enzimas, antioxidantes, concentrados y otros aditivos, los cuales, mejoran la salud intestinal y el crecimiento de los organismos, aumentando la eficiencia alimenticia y reduciendo la incidencia de enfermedades (Borompichaichartkul y Phumsombat, 2024). Otro avance importante es el uso de sistemas de alimentación automatizados y sensores inteligentes, los cuales permiten optimizar la cantidad y el horario de la alimentación, minimizando el desperdicio de alimentos y mejorando la calidad del agua en los sistemas de cultivo (Pratiwy y Haetami, 2023).

Chauhan y Mishra (2022) destacan el uso de sistemas de acuicultura recirculatoria y tecnología Biofloc, para mejorar la calidad del agua en los sistemas de producción. Señalan también que, el desarrollo de acuaponía y la implementación de películas nutrientes promueven la utilización eficiente de los recursos, contribuyendo al crecimiento y salud de las plantas y organismos dentro del cultivo. Para finalizar, señalan que la acuicultura en jaula es una tecnología adecuada para utilizar embalses y lagos para mejorar la producción de peces, proporcionando un método eficiente para la producción sostenible de agua.

Estos desarrollos no solo promueven una producción más sostenible y eficiente, sino que también abren nuevas oportunidades para la innovación en la formulación de dietas acuícolas que maximicen el rendimiento y la sostenibilidad ambiental.

Por esta razón, el objetivo de la presente investigación es analizar bajo un contexto documental las innovaciones tecnológicas en la formulación de alimentos para acuicultura y su aporte en la sostenibilidad ambiental.

Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, exploratorio y de alcance documental (Hernández & Mendoza, 2018). Toda vez que, se busca una comprensión profunda y contextual de fenómenos relacionados con las innovaciones en la alimentación acuícola. Al ser de naturaleza exploratoria, busca identificar tendencias, patrones y posibles áreas de mejora en un campo donde aún existen vacíos de conocimiento. Mientras que el alcance documental se emplea para revisar y analizar información previamente publicada, como estudios científicos, informes técnicos y literatura especializada, permitiendo así una evaluación crítica interpretativa de los avances y desafíos actuales sin la necesidad de recabar datos de campo.

Resultados

Formulación de Alimentos:

La producción pesquera y acuícola alcanzó un récord de 214 millones de toneladas en 2020. De la cual, el 89 % se destina al consumo humano, donde la acuicultura es el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento en el mundo (FAO, 2022).

Resultado de ello, la demanda de proteínas de animales acuáticos ha incrementado más rápido que la oferta de la pesca de captura en todo el mundo, donde el desarrollo de la acuicultura ha permitido cumplir con la producción que requiere el mercado. sin embargo, como se mencionó anteriormente, la alimentación de especies de cultivo tiene gran impacto en la contaminación del medioambiente tanto por la fabricación de alimentos como por alimentos no consumidos, heces y excreciones de amoníaco en el agua de cultivo (Engin y Koyunco, 2023).

Los alimentos representan entre el 65 y el 95 % de los impactos ambientales de los productos animales que salen de una granja acuícola y la principal forma de disminuir esta contaminación es a través del mejoramiento en la eficiencia de los alimentos y el rendimiento del crecimiento, implementando nuevas estrategias de formulación de dietas (Wilfart et al., 2019).

Dentro de los principales desafíos actuales en la alimentación de especies acuícolas y la búsqueda de una producción sostenible, la innovación tecnológica ha contribuido de la siguiente manera:

Tecnologías de Procesamiento

Como se mencionó anteriormente, el uso de harina y aceite de pescado en la elaboración de alimentos acuícolas repercuten negativamente en el cuidado del medioambiente, por la sobreexplotación de la pesca, pero también por su procesamiento para la formulación de dietas. Métodos tradicionales en la elaboración de alimentos, sugieren el uso de calor para la extracción de componentes bioactivos de los desechos de pescado, lo que genera problemas como: alto consumo de energía, pérdida de propiedades funcionales, mala estabilidad del producto y aumento de los costos de fabricación (Joshi et al., 2024).

Ante esta problemática, es necesario implementar tecnologías no térmicas que ofrezcan un enfoque eficiente y sostenible para procesar los desechos de pescado, preservando su valor nutricional. Entre ellos se destaca la tecnología de fluidos supercríticos, siendo un método que utiliza fluidos (como el dióxido de carbono) a altas temperaturas y presiones para extraer

compuestos bioactivos de manera efectiva con el uso de determinados solventes específicos bajo la combinación de temperatura y presión (Braga, Gaspar y de Sousa, 2023).

Zhou et al. (2021) aplicaron esta técnica en el procesamiento de alimentos marinos con el fin de explorar el potencial en la recuperación de moléculas bioactivas, destacando los beneficios de este método de extracción verde sobre las técnicas tradicionales. Esta técnica permitió la extracción de las sustancias bioactivas, las cuales, mostraron potencial para diversas aplicaciones, incluido el desarrollo de alimentos funcionales y productos nutraceuticos enriquecidos con compuestos promotores de la salud contribuyendo al crecimiento sustentable en el sector alimentario a través del enfoque de economía circular.

Otro método utilizado es el campo eléctrico pulsado, el cual consiste en aplicar pulsos cortos de alto voltaje, esta tecnología interrumpe las membranas celulares, lo que ayuda en la extracción de compuestos valiosos sin calor. Permitiendo limitar la exposición a altas temperaturas y reducir la adición de aditivos alimentarios. Además, promueve la inactivación de organismos patógenos, favorece la transferencia de masa, mantiene el color, sabor y contenido de compuestos antioxidantes y mejora la eficiencia en el procesamiento de alimentos (Vivanco et al., 2021).

A través de esta técnica se llevó a cabo un estudio para producir extractos antioxidantes a partir de residuos de peces, los resultados mostraron que la actividad antioxidante se confirmó con los valores más altos obtenidos empleando este método. Demostrando que, el campo eléctrico pulsado es viable y respetuoso con el medioambiente para producir extractos antioxidantes a partir de subproductos de procesamiento de pescado de bajo valor, ofreciendo un beneficio económico potencial en la conversión de estos residuos en productos de valor agregado (Franco et al., 2020).

El procesamiento de alta presión es un método que a través de la aplicación de alta presión extrae eficientemente los componentes bioactivos de los desechos de peces mientras mantiene su calidad. Siendo efectiva en procesos como: la extracción de carne de conchas de moluscos, modificación de la estructura de proteínas o de polisacáridos (mejorar texturas, pre cocción, modulación de actividades enzimáticas, entre otras), así como la esterilización, congelación y descongelación asistidas (Tonello Samson, 2022). A través de un experimento Truong (2022) observo que, el procesamiento a alta presión conducía a la inactivación de microorganismos y enzimas autolíticas en los músculos de los peces, con lo que se alarga la vida útil de los productos.

Aunque no son las únicas, estas innovaciones tecnológicas no térmicas en el procesamiento de alimentos para la acuicultura ofrecen ventajas como una mayor eficiencia en la producción, pérdida mínima de nutrientes, mayor estabilidad del producto y menor consumo de energía en comparación con los métodos tradicionales basados en el calor, lo que las hace prometedoras para la utilización sostenible de desechos de pescado en diversas industrias (Joshi et al., 2024).

Innovaciones en Ingredientes:

La proteína es el pilar de una dieta equilibrada, pues influye en el crecimiento y la supervivencia de los organismos que la consumen (Villafuerte Mojica et al., 2016). Por esta razón, resulta importante encontrar fuentes alternativas de proteínas que permitan cumplir con los requerimientos nutricionales como el valor comercial, sin afectar negativamente los parámetros de producción (Piñeros-Roldán, Gutiérrez-Espinosa y Castro-Guerrero, 2014). Respecto al uso de nuevos ingredientes en la elaboración de alimentos acuícolas, para la sustitución parcial o total de harina de pescado se puede destacar el uso de harinas de origen vegetal o proteínas alternativas.

La soja es una de las proteínas vegetales más utilizadas para la sustitución de harina de pescado, por sus propiedades nutricionales, la disponibilidad y bajo costo. Yun et al. (2017) encontró que, este ingrediente puede reemplazar hasta el 33 % de harina de pescado con o sin suplementos de aminoácidos en dietas de camarones patiblanco juveniles. Mientras que Hamidoghli et al. (2020) señalan que, al utilizarla además de mejorar el peso de los organismos, disminuyen significativamente los niveles de nitrógeno amoniacal total y el NO₂-N en el agua de cultivo. Generando menor impacto ambiental por desechos orgánicos en el agua.

Otro ingrediente utilizado son las algas, las microalgas se utilizan para el mejoramiento de aspectos como la salud intestinal, la composición química de los peces y los atributos de calidad del filete de pescado después del engorde. Teniendo el potencial de contribuir a la sustentabilidad y valor nutricional de las prácticas de la acuicultura, ofreciendo una alternativa prometedora para desarrollar futuros alimentos para peces (Torres et al., 2024). Štěrbová et al. (2023) demostraron que, las microalgas poseen una diversa composición de ácidos grasos, mostrando su potencial como fuentes de alimento vivo de calidad para criaderos de peces.

Por otra parte, el uso de macroalgas como ingrediente en la elaboración de alimentos acuícolas es una práctica sostenible para mejorar la calidad del agua, estimular el sistema inmunológico, mejorar el rendimiento del crecimiento y aumentar la resistencia a enfermedades en animales acuáticos (Vijayaram et al., 2024). Mota et al. (2023) al alimentar peces con una mezcla de micro y macroalgas en diferentes concentraciones, encontraron que, la adición de la mezcla de algas a las dietas mejoró significativamente la digestibilidad de nutrientes y energía, lo que llevó a mayores eficiencias de retención de lípidos y energía en los peces. Además, el rendimiento de crecimiento se mejoró notablemente.

En la búsqueda de una producción de alimentos más sostenible la utilización de diferentes proteínas ha sido cada vez más frecuente, no obstante, una limitación es el bajo contenido proteico, deficiencia en algunos aminoácidos esenciales o factores antinutricionales que pueden afectar el aprovechamiento de los alimentos, recurriendo a la desnaturalización de proteínas para aumentar su digestibilidad y reducir factores antinutricionales, obteniendo concentrados proteicos con mejor accesibilidad a las proteínas y menor costo (González-Félix et al., 2023; Hua et al., 2019).

Estos concentrados se pueden obtener de diversas fuentes, tales como: proteínas animales, vegetales y microbianas. Por ejemplo, harinas de pescado, subproductos avícolas, harina de soja, guisante, gluten, entre otros (Hinostroza Canturín, 2021).

La utilización de estos concentrados en la producción de alimentos para acuicultura permite reducir la dependencia de las harinas de pescado tradicionales, además disminuye los costos de alimentación y mejorar el rendimiento de los peces aumentando el crecimiento. Estos avances son una alternativa rentable y sostenible, alivian la presión sobre la pesca silvestre y promueven la viabilidad económica de la acuicultura moderna (Kolawole y Mustapha, 2023; Nikolaev et al., 2024).

Wang et al. (2023) sustituyeron completamente la harina de pescado con concentrado de proteína de semilla de algodón en la dieta de esturión, encontrando que, los niveles de aminoácidos no esenciales y la actividad transaminasa sérica aumentaron en el esturión que fue alimentado con la dieta experimental. Señalan que aunque la sustitución de harinas aún no puede ser completa, sí puede ser remplazada en mayor porcentaje respecto a las proteínas no concentradas.

En los últimos años otro ingrediente que ha tomado relevancia es la harina elaborada con insectos, entre los más utilizados se encuentran las larvas de mosca soldado, gusanos de la harina

y grillos. Estudios recientes demuestran que, el uso de insectos en la alimentación de organismos acuícolas es altamente eficientes, convirtiéndose en biomasa rica en proteínas y lípidos, convirtiéndolos en una opción prometedora para la industria acuícola (Henry et al., 2015). La creciente aceptación de este ingrediente por su alto contenido de proteínas y propiedades inmunomoduladores, así como su viabilidad económica y ecológica, proyectando un futuro prometedor para una acuicultura sostenible (Islam et al., 2024).

Innovación en aditivos

No obstante, aunque la adición de estos ingredientes es cada vez más común, toda vez que permite una producción de alimentos más económica y sostenible, es importante destacar que, existen limitaciones que no han hecho posible que el remplazo sea total. Pues es importante mencionar que, un factor determinante en la elección de estos ingredientes es la manera en que los organismos aprovechan los nutrientes, el cual se logra incrementando la digestibilidad del alimento, pues es considerado factor o promotor de crecimiento. Por lo que, esta variable determina la eficacia de los ingredientes utilizados en la formulación de las dietas (Baltodano Tapia et al., 2022).

Para ello, se ha implementado diferentes estrategias como el uso de aditivos, entre ellos el uso de enzimas, que ayudan a estimular las reacciones biológicas, permitiendo la disponibilidad de nutrientes en el organismo que las consume (Sifuentes-Penagos, León-Vásquez y Castillo, 2018).

El uso de enzimas promueve la utilización y aprovechamiento de nutrientes de las proteínas utilizadas en los alimentos, mejoran la descomposición de nutrientes, reflejándose en un mejor crecimiento del organismo.

Se destaca el uso de enzimas como xilanasas para la digestión de alimentos de origen vegetal altos en fibra (Martínez-Aispuro et al., 2017). Mientras que, las fitasas, proteasas y tripsinas promueven el rompimiento de los enlaces péptidos de las proteínas, permitiendo una mayor disponibilidad de estas, especialmente de origen animal (Juárez Morales et al., 2020).

Las carbohidrasas, amilasas y celulasas son enzimas que ayudan a incrementar la energía y los aminoácidos digeribles (Islam y Ju, 2021). Se destaca el uso de enzimas para mejorar variables como: asimilación de nutrientes, crecimiento, supervivencia, sustitución de proteína y reducción de costos de producción, entre otras.

Autores como (Sánchez-Alcalde et al., 2023; Wong, Tang y Kwok, 1996; Yao et al., 2019) han encontrado que la adición de enzimas al alimento mejora el rendimiento del crecimiento, sobrevivencia, factor de conversión alimenticia y en la asimilación de nutrientes que ayudan en la sustitución parcial o total de la harina de pescado por harina vegetal.

Existen otros aditivos que son incorporados en la formulación de dietas para organismos acuícolas, los cuales son utilizados para mejorar no solo el crecimiento, sino también la salud de los animales. Entre estos aditivos, se destaca el uso de antioxidantes, prebióticos y probióticos.

Respecto a la incorporación de antioxidantes, se ha demostrado que mejoran significativamente la productividad, las tasas de crecimiento y los parámetros fisiológicos en especies como tilapia (Akhmedzhanova et al., 2023).

Los antioxidantes se emplean principalmente para prevenir oxidación lipídica, asegurar la estabilidad del producto y preservar la calidad nutricional y organoléptica, pues la oxidación de lípidos puede generar compuestos tóxicos y reduce la eficiencia alimenticia, lo que afecta la salud

y el crecimiento de los peces y crustáceos (Turchini, Torstensen y Ng, 2009). Estos pueden obtenerse de manera natural o sintética protegiendo las grasas y aceites en los piensos acuícolas, lo que prolonga su vida útil y evita el deterioro de las vitaminas sensibles a la oxidación, como la vitamina E y los carotenoides (Kheiri, Aliakbarlu y Tahmasebi, 2022).

Vivanco et al. (2021) mencionan que, los antioxidantes Protegen a las células de los radicales libres y enfermedades. Además de cumplir un papel importante en la duración de los alimentos al actuar como conservantes.

Preservar una comunidad microbiana saludable tanto en el agua como en los tractos digestivos de las especies acuáticas es esencial para el bienestar y la eficiencia de los sistemas de acuicultura. Donde probióticos y prebióticos han sido utilizados por poseer un gran potencial para fomentar la salud, el crecimiento y la resistencia a enfermedades en las especies acuáticas cultivadas (Singh et al., 2024).

Los prebióticos son compuestos no digeribles que estimulan el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino de especies acuáticas, entre los más utilizados se encuentran la inulina y los fructooligosacáridos. Mientras que los probióticos son cepas bacterianas y de levadura, que mantienen el equilibrio microbiano intestinal y la salud general del organismo que los consume (Badguzar et al., 2024).

Rowland (2023) adicionó prebióticos en dietas para acuicultura, encontrando que mejoran significativamente el desempeño de crecimiento en peces, conduciendo a mejores tasas de crecimiento entre las especies acuáticas. Fitriana et al. (2024) implementaron el uso de probióticos en dietas balanceadas para bagres de cultivo, demostraron que, la inclusión de probióticos condujo a una mejora significativa en el crecimiento, mayor aumento de peso promedio y mayor longitud.

Desafíos y Consideraciones Futuras

Es evidente la necesidad de desarrollar nuevas innovaciones tecnológicas en la formulación de alimentos para la acuicultura, destacando la búsqueda de ingredientes sostenibles, optimización de nutrición para diferentes especies y la reducción de impactos ambientales. A pesar de la existencia de investigaciones relacionadas al tema y con resultados favorables, los datos existentes aún son limitados, destacando la necesidad de más estudios para comprender completamente las implicaciones de estos nuevos ingredientes en la salud y el bienestar de los peces (Aragão et al., 2022).

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales retos es la dependencia de la harina y aceite de pescado, recursos limitados que generan alto impacto en la contaminación al medioambiente. Una de las razones por las que las innovaciones tecnológicas no han tenido el impacto esperado, es debido a que las necesidades nutricionales son específicas para cada especie (Nahum et al., 2015).

En cuanto a investigaciones futuras, es preciso determinar y entender los requerimientos nutricionales de cada especie, para el óptimo desarrollo de ingredientes funcionales que mejoren el crecimiento, inmunidad, resistencia a enfermedades y promuevan una producción de alimentos sostenibles. Esto puede lograrse con la incorporación de tecnología de precisión en la alimentación, y la evaluación de su impacto (Symonds y Budge, 2009). La integración de estas innovaciones puede contribuir significativamente a la sostenibilidad y eficiencia de la acuicultura global.

Conclusiones

Se concluye que sigue existiendo una necesidad inminente en el desarrollo de nuevas fórmulas para la elaboración de alimentos para acuicultura, toda vez que estos representan el costo más importante y el factor de mayor contaminación en el desarrollo de esta actividad (Ibrahim et al., 2023).

No obstante, se destacan las innovaciones tecnológicas en el procesamiento y formulación de dietas balanceadas para la acuicultura que permiten el aprovechamiento al máximo de los nutrientes necesarios en las especies. Sin incrementar costos, y sin generar afectaciones al medioambiente por factores como la pesca insostenible para la elaboración de harina y aceite de pescado, como la descarga de aguas residuales con alto contenido de restos de alimento. La incorporación de ingredientes alternativos, como las proteínas vegetales y subproductos marinos, ha contribuido significativamente a reducir la dependencia de estos recursos. No obstante, persisten desafíos importantes en términos de digestibilidad, costos de producción y aceptación en el mercado.

Si bien, se ha demostrado que, en los últimos años, las investigaciones en el área de la nutrición acuícola han incrementado considerablemente mostrando un notable potencial para incrementar la eficiencia productiva y mitigar el impacto ambiental del sector (Islam & Ju, 2021; Wang et al., 2023; Yao et al., 2019). Es importante mencionar que, no se ha logrado en primera instancia una sustitución total de la harina de pescado, además de una reconversión en el uso de los nuevos alimentos. Es decir, se ha encontrado que existe aún una resistencia al uso de estas innovaciones tecnológicas. Una de las razones se deriva a partir de los requerimientos nutricionales y energéticos, pues cada especie requiere de una dieta con nutrientes específicos. Generando desconfianza en los productores acuícolas que demandan estos productos.

Esto ha causado que en cada investigación realizada se determine en primer lugar el perfil nutricional de la especie y a partir de ello incorporar la búsqueda de ingredientes o aditivos que se puedan incorporar en su dieta.

Se recomienda continuar con investigaciones orientadas a optimizar estas innovaciones y asegurar su viabilidad a largo plazo, especialmente en un contexto de creciente demanda global por productos acuícolas sostenibles.

Referencias literarias

- Akhmedzhanova, A.B., Ponomarev, S.V., Fedorovykh, Y.V., Levina, O.A. y Terganova, N.V.** (2023) “The results of tilapia juveniles growing on production compound feeds with the antioxidant astaxanthin addition” en *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2023 (4), 63–71. doi:10.24143/2073-5529-2023-4-63-71.
- Aragão, C., Gonçalves, A.T., Costas, B., Azeredo, R., Xavier, M.J. y Engrola, S.** (2022) “Alternative Proteins for Fish Diets: Implications beyond Growth” en *Animals*. 12 (9), 1211. doi:10.3390/ani12091211.
- Arriaga-Hernández, D., Hernández, C., Martínez-Montaña, E., Ibarra-Castro, L., Lizárraga-Velázquez, E., Leyva-López, N. y Chávez-Sánchez, M.C.** (2021) “Fish meal replacement by soybean products in aquaculture feeds for white snook, *Centropomus*

- viridis: Effect on growth, diet digestibility, and digestive capacity” en *Aquaculture*. 530, 735823. doi:10.1016/J.AQUACULTURE.2020.735823.
- Ayisi, C.L., Hua, X., Apraku, A., Afriyie, G. y Kyei, B.A.** (2017) “Recent Studies Toward the Development of Practical Diets for Shrimp and Their Nutritional Requirements” en *HAYATI Journal of Biosciences*. 24 (3), 109–117. doi:10.1016/J.HJB.2017.09.004.
- Badguzar, V.S., Satkar, S.G., Kumar, R. y A, A.** (2024) “Comprehensive review of prebiotics and probiotics in aquaculture: Mechanisms and applications” en *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*. 9 (1S), 777–780. doi:10.22271/veterinary.2024.v9.i1Sk.1157.
- Baltodano Tapia, J., Olivares Narcizo, E., Reyes-Avalos, W., Baltodano Tapia, J., Olivares Narcizo, E. y Reyes-Avalos, W.** (2022) “Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y carbohidratos de la dieta con ensilado biológico de harina de maíz en *Cryphiops (C.) caementarius*” en *Revista Peruana de Biología*. 29 (2). doi:10.15381/RPB.V29I2.21144.
- Borompichaichartkul, C. y Phumsombat, P.** (2024) “Developing Functional Properties of Food Through Biotechnology” en *Opportunities for Biotechnology Research and Entrepreneurship*. Bentham Science Publishers. pp. 17–36. doi:10.2174/9789815196115124010005.
- Braga, M.E.M., Gaspar, M.C. y de Sousa, H.C.** (2023) “Supercritical fluid technology for agrifood materials processing” en *Current Opinion in Food Science*. 50, 100983. doi:10.1016/j.cofs.2022.100983.
- Bunting, S.W., Bostock, J., Leschen, W. y Little, D.C.** (2023) “Evaluating the potential of innovations across aquaculture product value chains for poverty alleviation in Bangladesh and India” en *Frontiers in Aquaculture*. 2. doi:10.3389/faq.2023.1111266.
- Chauhan, R.S. y Mishra, A.** (2022) “New Innovative Technologies for Sustainable Aqua Production” en Sobti, R. C. (ed), *Biodiversity*. Boca Raton, CRC Press. pp. 97–111. doi:10.1201/9781003220398-8.
- Cortés-Sánchez, A.D.J., Salgado-Cruz, M. de la P., Diaz-Ramírez, M., Torres-Ochoa, E. y Espinosa-Chaurand, L.D.** (2023) “A Review on Food Safety: The Case of *Citrobacter* sp., Fish and Fish Products” en *Applied Sciences*. 13 (12), 6907. doi:10.3390/app13126907.
- Cuéllar-Lugo, M.B., Asiain-Hoyos, A., Juárez-Sánchez, J.P., Reta-Mendiola, J.L., Gallardo-López, F., Cuéllar-Lugo, M.B., Asiain-Hoyos, A., Juárez-Sánchez, J.P., Reta-Mendiola, J.L. y Gallardo-López, F.** (2018) “Evolución normativa e institucional de la acuicultura en México” en *Agricultura, sociedad y desarrollo*. 15 (4), 541–564. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000400541&lng=es&isoyt=es.
- Effendy, I., Al Deen, S. y Chithambaran, S.** (2016) “Semi Intensive and Semi Biofloc Methods for the Culture of Indian White Prawn, *Fenneropenaeus indicus* in High-density Polyethylene Liner Ponds” en *HAYATI Journal of Biosciences*. 23 (3), 106–110. doi:10.1016/j.hjb.2016.06.004.
- Elleby, C., Dominguez, I., Costello, C., Best, B., Lirette, P., Hoff, A., Nielsen, M. y Nielsen, R.** (2023) “Enhancing global food security through the introduction of Maximum Sustainable Yield targets in fisheries” doi: 10.21203/rs.3.rs-3611018/v1.

- Engin, K. y Koyuncu, C.** (2023) “The Recent Advances to Increase Nutrient Utilization of Dietary Plant Proteins by Enzyme Supplementation and Fermentation in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): A Review” en *Journal of Agricultural Sciences*, 29 (4), 960-972. doi:10.15832/ankutbd.1192888.
- Faillace, J., Vergara, R. y Suarez, A.** (2016) “Evaluación de una fórmula alimenticia para camarón de cultivo (*L. vannamei*) con inclusión de proteína vegetal a base de harina de soya” en *Revista AquaTIC*. 44, 12–29. <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic>.
- FAO** (2022) “*Fishery and Aquaculture Statistics. Global aquaculture production 1950-2020*” Rome, FAO Fisheries and Aquaculture Division.
- Fitriana, W.D., Bakri, Masrur, M., Qomariana, A. y Anugrah, C.S.** (2024) “Effect of probiotics addition on artificial feed for catfish growth” en *Proceeding International Seminar of Science and Technology*. 3, 151–156. doi:10.33830/isst.v3i1.2303.
- Franco, D., Munekata, P.E.S., Agregán, R., Bermúdez, R., López-Pedrouso, M., Pateiro, M. y Lorenzo, J.M.** (2020) “Application of Pulsed Electric Fields for Obtaining Antioxidant Extracts from Fish Residues” en *Antioxidants*. 9 (2), 90. doi:10.3390/antiox9020090.
- González-Félix, G.K., Luna-Suárez, S., García-Ulloa, M., Martínez-Montaña, E., Barreto-Curiel, F. y Rodríguez-González, H.** (2023) “Extraction methods and nutritional characterization of protein concentrates obtained from bean, chickpea, and corn discard grains” en *Current Research in Food Science*. 7, 100612. doi:10.1016/j.crfs.2023.100612.
- Hamidoghli, A., Won, S., Farris, N.W., Bae, J., Choi, W., Yun, H. y Bai, S.C.** (2020) “Solid state fermented plant protein sources as fish meal replacers in whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*” en *Animal Feed Science and Technology*. 264, 114474. doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2020.114474.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G. y Fountoulaki, E.** (2015) “Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future” en *Animal Feed Science and Technology*. 203, 1–22. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C.** (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. (2018th ed.). Mc Graw Hill Education.
- Hinostroza Canturín, M.A.** (2021) *Evaluación de la calidad proteica de materias primas vegetales y animales para las principales especies de Acuicultura*. Master. Valencia, Universitat Politècnica Valencia.
- Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K. y Strugnell, J.M.** (2019) “The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets” en *One Earth*. 1 (3), 316–329. doi:10.1016/j.oneear.2019.10.018.
- Islam, S.M.M. y Ju, L.K.** (2021) “Enzymatic soybean flour processing: Modeling for insights into optimal carbohydrases composition and carbohydrate monomerization from complex biomass” en *Catalysis Communications*. 149, 106244. doi:10.1016/j.catcom.2020.106244.
- Islam, S.M.M., Siddik, M.A.B., Sørensen, M., Brinchmann, M.F., Thompson, K.D., Francis, D.S. y Vatsos, I.N.** (2024) “Insect meal in aquafeeds: A sustainable path to enhanced

- mucosal immunity in fish” en *Fish y Shellfish Immunology*. 150, 109625. doi:10.1016/j.fsi.2024.109625.
- Jeyabharathi, D., Divyadharshini, M. y Haripriya, S.P.** (2022) “Smart Fish Feeding System based on Fish Feeding Intensity” en *2022 7th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*. 22 June 2022 IEEE. pp. 1491–1496. doi:10.1109/ICCES54183.2022.9835981.
- Joffre, O.M., Klerkx, L. y Khoa, T.N.D.** (2018) “Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming” en *Agronomy for Sustainable Development*. 38 (3). doi:10.1007/s13593-018-0511-9.
- Joshi, T.J., Sivaranjani, S., Puja, N., Rout, R.K. y Kumar, T.D.** (2024) “Emerging Nonthermal Technologies for the Processing of Fish Waste and By-Products” en Maqsood, S., Naseer, M.N., Benjakul, S., Zaidi, A.A. (eds), *Fish Waste to Valuable Products. Sustainable Materials and Technology*. Springer, Singapore 49–66. doi:10.1007/978-981-99-8593-7_3.
- Juárez Morales, P., Cortes Cuevas, A., Arce Menocal, J., Del Río García, J.C., Gómez Verduzco, G. y Avila González, E.** (2020) “Efecto de un complejo multienzimático y un probiótico en gallinas de postura alimentadas con dietas sorgo-soya-canola” en *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*. 11 (2), 369–379. doi:10.22319/RMCP.V11I2.4843.
- Kheiri, A., Aliakbarlu, J. y Tahmasebi, R.** (2022) “Antioxidant potential and fatty acid profile of fish fillet: effects of season and fish species” en *Veterinary research forum: an international quarterly journal*. 13 (1), 91–99. doi:10.30466/vrf.2021.526596.3153.
- Kolawole, A.A. y Mustapha, A.K.** (2023) “Farmed Fish Feeds: Use of Non-Conventional Feed as Fishmeal Replacement in Nigeria” en *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 27 (7), 1387–1398. doi:10.4314/jasem.v27i7.8.
- Martínez-Aispuro, J.A., Figueroa-Velasco, J.L., Cordero-Mora, J.L., Sánchez-Torres-Esqueda, M.T., Martínez-Aispuro, M., Martínez-Aispuro, J.A., Figueroa-Velasco, J.L., Cordero-Mora, J.L., Sánchez-Torres-Esqueda, M.T. y Martínez-Aispuro, M.** (2017) “Dietas para cerdos en iniciación incluyendo salvado de trigo y adicionadas con xilanasas” en *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 4 (10), 73–80. doi:10.19136/ERA.A4N10.996.
- Mota, C.S.C., Pinto, O., Sá, T., Ferreira, M., Delerue-Matos, C., Cabrita, A.R.J., Almeida, A., Abreu, H., Silva, J., Fonseca, A.J.M., Valente, L.M.P. y Maia, M.R.G.** (2023) “A commercial blend of macroalgae and microalgae promotes digestibility, growth performance, and muscle nutritional value of European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles” en *Frontiers in Nutrition*. 10. doi:10.3389/fnut.2023.1165343.
- Nahum, M.J.C., Faccioni, A.L. de O., Silva, B.C.P. da, Bueno, E.R. y Pita, M.C.G.** (2015) “Perigos do consumo monótono de sementes pelas aves: Revisão” en *Pubvet*. 9 (04). doi:10.22256/pubvet.v9n4.189-194.
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I., Gatlin, D.M., Goldburg, R.J., Hua, K. y Nichols, P.D.** (2009) “Feeding aquaculture in an era of finite resources” en *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106 (36), 15103–15110. doi:10.1073/pnas.0905235106.

- Nikolaev, S.I., Karapetyan, A.K., Kashirina, A.A., Lebedev, S.Yu., Stavtsev, A.E., Chekhranova, S. V., Danilenko, I.Yu., Shkalenko, V. V. y Ryabova, M.A.** (2024) “Influence of protein concentrates in compound feeds on hematological parameters of fish” en *Kormlenie sel'skhozjajstvennyh zhivotnyh i kormoproizvodstvo (Feeding of agricultural animals and feed production)*. (2), 40–51. doi:10.33920/sel-05-2402-04.
- Núñez-Torres, O.P.** (2017) “Los costos de la alimentación en la producción pecuaria” en *Journal of the Selva Andina Animal Science*.4 (2) pp.93–94. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttextypid=S2311-25812017000200001ylnng=esynrm=isoytlnng=es.
- Piñeros-Roldan, A.J., Gutiérrez-Espinosa, M.C. y Castro-Guerrero, S.R.** (2014) “Sustitución total de la harina de pescado por subproductos avícolas suplementados con aminoácidos en dietas para juveniles de *Piaractus brachipomus*, Cuvier 1818” en *Orinoquia*. 18 (2), 13–24. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0121-37092014000200002ylnng=enynrm=isoytlnng=es.
- Pratiwy, F.M. y Haetami, K.** (2023) “Towards feed independence: Types of auto-feeder technologies for efficient fish farming” en *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 11 (4), 16–18. doi:10.22271/fish.2023.v11.i4a.2819.
- Ibrahim, R. A., Aizam, N. A. H., Liew, H. J., Din, N. S., & Mubarak, A.** (2023). “Sustainable aquafeed development: Incorporating select fruit wastes into Zebrafish diets using mathematical model-based approach” en *Saudi Journal of Biological Sciences*. 30 (11). 103834. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103834>
- Rowland, K.** (2023) “Prebiotics as Functional Ingredients in Aquafeed: Trends and Prospects in African Aquaculture” en *Emerging Sustainable Aquaculture Innovations in Africa*. pp. 131–147. doi:10.1007/978-981-19-7451-9_5.
- SADER** (2022) “Acuicultura en México” en *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. [En línea]. México, <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-en-mexico?idiom=es> [Accessed: 29 April 2023].
- Sánchez-Alcade, M.C., García-Ulloa, M., Montaña, E.M., Castro-Martínez, C., Álvarez-Ruiz, P. y González, H.R.** (2023) “Use of Enzyme Mixtures in Diets Based on Animal and Plant Ingredients for *Litopenaeus vannamei*: Effect on Digestibility, Growth, and Enzyme Activity” en *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 23 (10). doi:10.4194/TRJFAS21999.
- SIAP** (2019) “Panorama Agroalimentario 2019” en *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. [En línea]. México, https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019.
- Sifuentes-Penagos, G., León-Vásquez, S. y Castillo, A.** (2018) “Hydrolysis of proteins from anchovy (*Engraulis ringens*) whole by action of the ProtamexTM enzyme” en *Scientia Agropecuaria*. 9 (1), 93–102. doi:10.17268/sci.agropecu.2018.01.10.
- Singh, A., Iqbal, G., Chauhan, V. y Teja, S.S.** (2024) “enhancing aquaculture health and performance: exploring the applications of probiotics and prebiotics” en *Futuristic Trends*

- in Aquaculture*. Iterative International Publishers, Selfypage Developers Pvt Ltd. pp. 58–70. doi:10.58532/nbennurch195.
- Štěrbová, K., Manoel, J.C., Lakatos, G.E., Grivalský, T. y Masojídek, J.** (2023) “Microalgae as an aquaculture feed produced in a short light-path annular column photobioreactor” en *Journal of Applied Phycology*. 35 (2), 603–611. doi:10.1007/s10811-023-02928-x.
- Symonds, M.E. y Budge, H.** (2009) “Nutritional models of the developmental programming of adult health and disease” en *Proceedings of the Nutrition Society*. 68 (2), 173–178. doi:10.1017/S0029665109001049.
- Tacon, A.G.J. y Metian, M.** (2008) “Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects” en *Aquaculture*. 285 (1–4), 146–158. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.08.015.
- Tonello Samson, C.** (2022) “Las aplicaciones industriales de las altas presiones” en Centro Tecnológico del Mar (ed.). *Aplicación de tecnologías emergentes de procesado mínimo en el sector pesquero*. Centro Tecnológico del Mar. pp. 131–156.
- Torres, A.J.V., Casado, M.I.S., Díaz, A.G., Moya, T.F.M. y López, F.J.A.** (2024) “Practical approach to the use of microalgae in aquaculture feeds” en *Sustainable Industrial Processes Based on Microalgae*. Elsevier. pp. 209–233. doi:10.1016/B978-0-443-19213-5.00010-8.
- Troell, M., Naylor, R.L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P.H., et al.** (2014) “Does aquaculture add resilience to the global food system?” en *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 111 (37), 13257–13263. doi:10.1073/pnas.1404067111.
- Truong, B.Q.** (2022) “High pressure processing technology of aquatic products” en *The Journal of Agriculture and Development*. 21 (02), 35–44. doi:10.52997/jad.5.02.2022.
- Turchini, G.M., Torstensen, B.E. y Ng, W.** (2009) “Fish oil replacement in finfish nutrition” en *Reviews in Aquaculture*. 1 (1), 10–57. doi:10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x.
- Vázquez Vera, L. y Chávez Carreño, P.** (2022) *Diagnostico de la acuicultura en Mexico*. 1st edition. Mexico, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Libro_Acuicultura_2022.pdf.
- Vijayaram, S., Ringø, E., Ghafarifarسانی, H., Hoseinifar, S.H., Ahani, S. y Chou, C.-C.** (2024) “Use of Algae in Aquaculture: A Review” *Fishes*. 9 (2), 63. doi:10.3390/fishes9020063.
- Villafuerte Mojica, A., Hernández Hernández, L.H., Fernández Araiza, M.A., Ángeles López, O.** (2016) “Contribución al conocimiento de los requerimientos nutricionales del langostino nativo (*Macrobrachium acanthurus*)” en *Hidrobiológica*. 26 (1), 15–22. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000100004&lng=es&synrm=1&isoytlng=es.
- Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D. y Puente, L.** (2021) “Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes” en *Revista chilena de nutrición*. 48 (4), 609–619. doi:10.4067/S0717-75182021000400609.
- Wang, C., Zhao, Z., Lu, S., Liu, Y., Han, S., Jiang, H., Yang, Y. y Liu, H.** (2023) “Physiological, Nutritional and Transcriptomic Responses of Sturgeon (*Acipenser schrenckii*) to Complete

Substitution of Fishmeal with Cottonseed Protein Concentrate in Aquafeed” en *Biology*. 12 (4), 490. doi:10.3390/biology12040490.

- Wilfart, A., Dusart, L., Méda, B., Gac, A., Espagnol, S., Morin, L., Dronne, Y. y Garcia-Launay, F.** (2019) “Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d’élevage” en *INRA Productions Animales*. 31 (3), 289–306. doi:10.20870/productions-animales.2018.31.2.2285.
- Wong, M.H., Tang, L.Y. y Kwok, F.S.** (1996) “The use of enzyme-digested soybean residue for feeding common carp” en *Biomed Environ Sci*. 9(4), 418–423.
- Yao, W., Li, X., Kabir Chowdhury, M.A., Wang, J. y Leng, X.** (2019) “Dietary protease, carbohydrase and micro-encapsulated organic acid salts individually or in combination improved growth, feed utilization and intestinal histology of Pacific white shrimp” en *Aquaculture*. 503, 88–95. doi:10.1016/j.aquaculture.2018.12.064.
- Yun, H., Shahkar, E., Hamidoghli, A., Lee, S., Won, S. y Bai, S.C.** (2017) “Evaluation of dietary soybean meal as fish meal replacer for juvenile whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei* reared in biofloc system” en *International Aquatic Research*. 9 (1), 11–24. doi:10.1007/S40071-017-0152-7/FIGURES/1.
- Zhou, J., Gullón, B., Wang, M., Gullón, P., Lorenzo, J.M. y Barba, F.J.** (2021) “The Application of Supercritical Fluids Technology to Recover Healthy Valuable Compounds from Marine and Agricultural Food Processing By-Products: A Review” en *Processes*. 9 (2), 357. doi:10.3390/pr9020357.

