







Reseña

Los fructooligosacáridos (FOS) como aditivos inmunoestimulante en el cultivo del camarón *Penaeus vannamei*: una revisión

Fructooligosaccharides (FOS) as Immunostimulating Additives in *Penaeus vannamei* Shrimp Culture, a Review

Yulaine Corrales Barrios *, Yeidel López Zaldivar *, Leonardo Davier Martín Ríos *, Amílcar Arenal Cruz **

*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey, Cuba.

**School of Veterinary Medicine, Saint Nicholas University, Morne Daniel, Roseau 00152, Dominica.

Correspondencia: yulaine.corrales@reduc.edu.ec

Recibido: Junio, 2023; Aceptado: Junio, 2023; Publicado: Noviembre, 2023.

RESUMEN

Antecedentes: Los suplementos dietéticos de aditivos alimentarios sostenibles como los prebióticos pueden tener efectos beneficiosos sobre el crecimiento y el sistema inmune de crustáceos. **Objetivo.** Caracterizar el uso de fructooligosacáridos como aditivos inmunoestimulante en el cultivo del camarón *Penaeus vannamei*. **Desarrollo:** Los prebióticos son, ingredientes alimentarios no digeribles que afectan benéficamente al hospedero estimulando selectivamente el crecimiento y/o la actividad de un determinado grupo de bacterias benéficas en el tracto digestivo. Los prebióticos son uno de los aditivos alimentarios que se encuentran bajo estudio para mejorar de manera potencial en el crecimiento de los organismos acuáticos. En acuicultura, tanto FOS dietéticos como ScFOS han ganado mucho interés debido a sus factores promotores del crecimiento en varias especies acuáticas, entre ellos los crustáceos decápodos. Los efectos de los aditivos dietéticos de fructooligosacáridos (FOS) a varias concentraciones estimulan el sistema inmune de estos crustáceos, así como la microbiota, pueden ser importantes herramientas para potenciar el sistema inmune. **Conclusiones:** El empleo de los fructooligosacáridos como aditivos inmunoestimulantes en el cultivo de los camarones *P. vannamei* mejora su estado fisiológico debido a los cambios beneficiosos en la microbiota y en consecuencia el desplazamiento de microorganismos patógenos y potencia los mecanismos de la respuesta inmunológica innata por medio de la estimulación respuesta celular, específicamente un aumento de enzimas del sistema inmune y un mayor reconocimiento microbiano estimulación en los títulos de lectinas.

Como citar (APA)

Corrales Barrios, Y., López Zaldivar, Y., Martín Ríos, L., & Arenal Cruz, A. (2023). Los fructooligosacáridos (FOS) como aditivos inmunoestimulante en el cultivo del camarón *Penaeus vannamei*: una revisión. *Revista de Producción Animal*, 35(3). <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4564>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

Palabras claves: camarón; fructooligosacáridos; prebióticos; respuesta inmune; microbiota (Fuente: AGROVOC)

ABSTRACT

Background: Sustainable food additives used as diet supplements can have beneficial effects on crustacean growth and immunity. **Aims.** Characterize the inclusion of oligofructosacharides as immunostimulating additives in *Penaeus vannamei* shrimp culture. **Development:** Prebiotics are non-digestible food ingredients that bring benefits to the host, stimulating growth and/or the activity of certain groups of bacteria in the digestive tract selectively. Prebiotics are food additives studied as potential growth promoters in aquatic organisms. In aquaculture, both diet FOS and ScFOS have gained increasing interest due to their growth-promoting factors in several aquatic species, including decapod crustaceans. The effect of several concentrations of fructoolisacharide (FOS) additives in the food stimulates the immune system of these crustaceans, as well as the microbiota, and can be important tools to boost the immune system. **Conclusions:** The utilization of fructooligosaccharides as immunostimulating additives in *P. vannamei* shrimp culture, improves their physiological state thanks to positive changes in the microbiota, and consequently, the displacement of pathogenic microorganisms. It also enhances innate immune response mechanisms through cell response stimulation, particularly an increase in the number of enzymes in the immune system, and greater microbial recognition in lectin titers.

Keywords: shrimp, fructooligosaccharide, immune response, microbiota (Source: AGROVOC)

INTRODUCCIÓN

La acuicultura representa en el contexto actual un eslabón principal cuando de producción de alimentos se trata. En los últimos cinco años los porcientos que agrupan a la producción de animales acuáticos se ha mantenido por encima de un 40% (FAO, 2020). La producción acuícola mundial en 2020 alcanzó un récord de 122,6 millones de toneladas, incluidos 87,5 millones de toneladas de animales acuáticos, donde la contribución de estos, alcanzó un récord del 49,2 %, ese mismo año, mantuvo su tendencia de crecimiento medio, por la propagación mundial de la pandemia COVID-19, aunque con diferencias entre regiones y entre los países productores dentro de cada región (FAO, 2022).

El cultivo del camarón, tanto en Cuba como en el mundo, enfrenta riesgos de grandes pérdidas financieras por enfermedades que causan una alta mortalidad, así como una disminución en la calidad de las producciones. Los agentes infecciosos que afectan a los camarones son: virus, hongos, protozoos y bacterias (Gram negativas y positivas), siendo las del género *Vibrio* las más comunes (Thitamadee *et al.*, 2016). Debido al continuo desarrollo y propagación de enfermedades en los sistemas de cultivo de camarón, urge identificar el efecto de factores ambientales sobre la respuesta inmune de camarones peneidos (Martín *et al.*, 2022),

La aplicación de antibióticos como profilácticos, fue una estrategia efectiva en el control de las enfermedades bacterianas en este cultivo, pero el uso indiscriminado implica el desarrollo de resistencia bacteriana (Lulijwa *et al.*, 2019). En los últimos tiempos tienen impacto prometedor y controversial el efecto de moléculas y células completas de bacterias y levaduras, (Mastan, 2015).

Los efectos beneficiosos de los mismos, dependen de diversos factores como el tipo de inmunoestimulante (prebióticos), vía de administración, dosis, especie de camarón y condiciones de cultivo.

Los prebióticos son alimentos metabolizados selectivamente por bacterias benéficas del tracto digestivo que promueven la modulación dietética de la microbiota intestinal y por ende mejoran la salud del animal. (Glenn, *et al*, 2017). Además, no generan dependencia ni impactos negativos en los organismos de cultivo o en el medio. Los crustáceos no requieren mucho gasto energético para metabolizar estas sustancias por lo que el crecimiento no se afecta y el uso puede ser recurrente (Otero, 2018).

Entre los prebióticos que se utilizan en la acuicultura se encuentran los fructooligosacáridos (FOS) que son prebióticos, definidos como ingredientes alimentarios no digeribles que afectan al huésped estimulando el crecimiento y la actividad de bacterias beneficiosas en el tracto digestivo. Otros ejemplos de posibles beneficios para promover la salud, son la inhibición del crecimiento de bacterias dañinas, una mejor absorción de nutrientes esenciales, la síntesis de ciertas vitaminas y la estimulación de las funciones inmunitarias. La aplicación de FOS ha demostrado una mejora en la flora gastrointestinal, la digestión, el crecimiento y la resistencia a enfermedades (Mustafa *et al.*, 2019).

Teniendo en cuenta la importancia que representa en Cuba, el mejoramiento del cultivo de camarones, es necesario profundizar en el estudio de aditivos inmunoestimulante que permitan potenciar la respuesta del sistema inmune, ante los principales patógenos que afectan al camarón. En los últimos años existe un aumento de la bibliografía sobre el tema, el objetivo de la presente revisión, es caracterizar el uso de fructooligosacáridos como aditivos inmunoestimulante en el cultivo del camarón *Penaeus vannamei*.

DESARROLLO

El cultivo de camarón se desarrolla desde mediados del siglo pasado, y en la actualidad es el segundo sector de producción animal más grande en términos de valores, con un aumento constante en la demanda del mercado de los países desarrollados. (FAO, 2020). Los países de América Latina y Asia oriental y sudoriental representan la mayor parte de la producción de estas especies (Roy *et al.*, 2020), donde su consumo se ha incrementado aceleradamente, ya que de forma general la proporción del consumo de alimentos de origen acuícola ha crecido cinco veces la cantidad consumida hace 60 años (FAO, 2022).

Existen varias especies con potenciales productivos notables, pero los camarones del género *Penaeus* son los que más se explotan en condiciones de granjas camaroneras, debido a su rápido crecimiento y adaptación (FAO, 2018). El camarón tigre negro *Penaeus monodon*, dominó la producción mundial en sus inicios, pero presentó dificultades en el suministro de reproductores, su domesticación, las enfermedades virales y el aumento de la competencia en el mercado de

otros *Penaeus* (Jerry, 2016). Por tales razones, la industria trasladó sus producciones a las del camarón blanco del Pacífico *Penaeus vannamei*.

Penaeus vannamei es especie eurihalina con adaptabilidad a un amplio rango de salinidades. Poseen una mejor tolerancia a una alta densidad de población y una mayor disponibilidad de reproductores domesticados, libres de patógenos virales seleccionados genéticamente (Reyes, 2021). En Cuba se considera la principal especie de cultivo, debido a su capacidad de adaptación al cautiverio, la resistencia al estrés de manejo y las enfermedades, indicadores de cultivo, así como la bibliografía de consulta y líneas genéticas que poseen (Espinosa, 2021).

Camarón blanco del Pacífico

Los orígenes de su cultivo se trasladan a finales de los años setenta, cuando investigadores franceses de Tahití, desarrollaron técnicas para la cría y reproducción intensiva de más de una especie de camarones peneidos incluyendo *P. japonicus*, *P. monodon*, *P. stylostris* y *P. vannamei* (Núñez, 2022). Dentro de este renglón, como una de las principales especies se desarrolla el camarón patiblanco del pacífico (*P. vannamei*) con una representación del 70 % de la producción mundial dentro del cultivo de camarón (Asche *et al.*, 2021).

La especie en cuestión es un decápodo que se desarrolla habitualmente en ambientes acuáticos donde la temperatura media es de 20°C durante todo el año y toleran un intervalo de salinidad que va desde los 2 hasta 40 unidades prácticas de salinidad (ups), encontrando su óptimo desarrollo a 35 ups. Usualmente, las hembras de esta especie presentan un rápido crecimiento en relación al de los machos. Los camarones juveniles y pre-adultos se desarrollan en estuarios y lagunas costeras, mientras que los adultos viven en ambientes acuáticos con fondos arenosos con alimentación omnívora en el medio natural donde viven (Quintino, 2022).

Durante el desarrollo larval los peneidos pasan a través de tres diferentes fases conocidas como: nauplio, zoea, mysis, antes de convertirse en postlarva, durante este período los organismos pasan por diferentes cambios morfológicos y fisiológicos, que se encuentran relacionados con el desarrollo de las funciones motoras y metabólicas (Quintino, 2022). La salud de estos animales, se determina por las interacciones entre los parámetros ambientales, las comunidades microbianas y el huésped.

Principales afectaciones en el cultivo del camarón blanco

La industria del cultivo de camarón reporta anualmente grandes pérdidas económicas causadas por brotes de enfermedades infecciosas, particularmente, enfermedades causadas por bacterias del género *Vibrio* (Vibriosis), las cuales han sido asociadas con alrededor del 40% de las incidencias a nivel mundial para este cultivo (Licona, 2022). La industria camaronera asiática experimentó una pérdida anual de hasta cuatro mil millones debido a las enfermedades que aquejan al camarón desde 2009 hasta 2018, estimó que el 60% de las pérdidas en la producción de camarones, es debido al virus del Síndrome de la Mancha Blanca (WSSV), mientras que el 20% por patógenos bacterianos, principalmente por *Vibrio* spp. Las características e incidencia de

la vibriosis en la camaricultura son reconocidas como una amenaza constante. Especies como el *Vibrio harveyi*, causante de la llamada “luminiscencia del camarón”, es uno de los patógenos del camarón capaz de causar la mortalidad masiva de camarones peneidos en criaderos y estanques de cultivo (Amatul *et al.*, 2020).

El uso excesivo e irresponsable de antibióticos y productos químicos para tratar o prevenir brotes de enfermedades, ha conllevado a la rápida propagación de patógenos resistentes a los medicamentos en ambientes acuícolas y antibióticos residuales en productos acuáticos (Tan *et al.*, 2019), por lo que actualmente existen restricciones para su uso, y así disminuir el impacto en la producción acuícola como efecto directo (Amatul *et al.*, 2020). El reconocimiento de los riesgos asociados al uso de antimicrobianos promueve la búsqueda de estrategias más amigables con el medio ambiente, tales como el uso de prebióticos y probióticos como aditivos inmunoestimulante, (Wang *et al.*, 2010; Mustafa *et al.*, 2019). El interés en la prevención de enfermedades por el uso de inmunoestimulante ha incrementado, estos alertan al sistema inmune de los organismos, mejorando la respuesta a infecciones manteniendo su estado inmunológico eficiente.

Sistema Inmune en camarones

Los crustáceos de forma general, su respuesta inmunológica está basada en la capacidad del exoesqueleto y la membrana peritrófica de actuar como barreras físicas y mecanismos hemostáticos, respuesta celular y humoral (Miccoli *et al.*, 2021). En muchos años de investigación, se pensó que el sistema inmune de los crustáceos carecía de cualquier forma de memoria inmunológica análoga a la de los vertebrados. Sin embargo, en los últimos años se habla de un tipo de memoria inmunológica por lo que (Roy *et al.* 2020a) sugieren el término de respuesta inmune entrenada frente a memoria inmune adaptativa, por diferenciarse en varios aspectos, de esta última fundamentalmente en el tiempo de persistencia de la memoria y los mecanismos celulares y moleculares que la llevan a cabo.

El sistema inmune de los camarones depende de la respuesta innata y sus dos componentes: celular y humoral, (Martín *et al.*, 2023) La parte celular está influenciada directamente por los hemocitos que poseen capacidad citotóxica e intercelularmente comunicativa, que permite realizar las funciones de reconocimiento, fagocitosis, coagulación, melanización formación de nódulos y encapsulación. La defensa humoral involucra la producción de péptidos antimicrobianos, radicales libres de oxígeno y nitrógeno, así como una compleja cascada enzimática que regula la coagulación o melanización de la hemolinfa. (Reyes, 2021). La activación de la inmunidad innata en camarones es realizada mediante receptores de reconocimiento de patrones (PRRs), incluyendo los receptores tipo Toll (TLRs) (Licona, 2022).

Los mecanismos de la respuesta activa del sistema inmune en camarones peneidos se basan en una primera etapa, en el reconocimiento y asociaciones moleculares entre antígenos patógenos y moléculas de reconocimiento (Liu *et al.*, 2020), y una segunda etapa, que abarca desde la activación de enzimas tales como peroxidasa (PX), superóxido dismutasa (SOD), y el sistema

pro-fenoloxidasa (proPO) hasta el mecanismo de reconocimiento, citotóxicos y celulares, entre los que se encuentran las proteínas de la coagulación, lectinas, péptidos, antimicrobianos, peroxinectinas, generación de O₂, quinonas, opsonización, fagocitosis y nodulación, entre otras, con el objetivo de eliminar el agente patógeno (Miccoli *et al.*, 2021). En estos mecanismos, los hemocitos juegan un papel central, tanto en la producción y liberación de proteínas y especies bioactivas como en procesos más complejos como la interacción célula-célula (Kulkarni *et al.*, 2021)

Los crustáceos poseen un sistema circulatorio abierto, con tres tipos celulares (hemocitos) que han sido identificados en este sistema, células hialinas carentes de gránulos, células semigranulares con un número variable de pequeños gránulos y células granulares con abundante número de gránulos. Los hemocitos realizan la función como el principal sistema de reconocimiento de moléculas propias y extrañas, promueven la eliminación de patógenos y desatan diferentes mecanismos de defensa, tales como fagocitosis, aglutinación, encapsulación, activación del estallido respiratorio y producción de péptidos antimicrobianos (Licona, 2022).

Los hemocitos son efectores celulares, cruciales en estas reacciones inmunitarias (Liu *et al.*, 2020, Martín *et al.*, 2022; Licona, 2022). Estos se constituyen en la fracción celular de la hemolinfa y son generalmente clasificados en tres tipos: hialinos que se caracterizan por no tener gránulos, con un delgado citoplasma basófilo y un núcleo amplio en el centro, tienen capacidad fagocítica e intervienen en el proceso de coagulación; semigranulares por tener un núcleo esférico o con forma de herradura y muchos gránulos redondos, involucrados en la fagocitosis, encapsulación y liberación del sistema pro-PO, sintetizan y liberan péptidos antimicrobianos; y los granulares que se caracterizan por ser células grandes con gránulos, con una alta relación citoplasma-núcleo, almacenan las enzimas que constituyen al sistema proPO incluso más que los semigranulosos y en el proceso de encapsulación (Camacho *et al.*, 2019). En estos animales, los hemocitos no solo participan en la inmunidad celular, sino también en la inmunidad humoral a través del almacenamiento y liberación de factores inmunes, (Liu., *et al.*; 2020,),

En la respuesta humoral están involucrados indisolublemente, la síntesis y descarga en la hemolinfa de los mediadores moleculares que protagonizan dicha respuesta y que algunos de ellos fueron descritos anteriormente: aglutininas, factores y proteínas de la coagulación, lectinas, péptidos antimicrobianos, α 2M, peroxinectinas, lisozimas, y los componentes del sistema pro-fenoloxidasa (proPO). Las lectinas son proteínas no enzimáticas o glicoproteínas, se consideran moléculas de reconocimiento capaces de detectar carbohidratos que promueven la activación de diversos componentes del sistema inmune en crustáceos, entre ellos la activación del sistema proPO. Recientemente, un incremento en el número de funciones realizadas por lectinas tipo C (CTLs) en la respuesta inmune han sido identificadas y caracterizadas en crustáceos. Estas CTLs de crustáceos no solo participan en la unión y reconocimiento, además, estas involucradas en otras respuestas inmunes que incluyen la aglutinación de microorganismos, así como en otras

funciones bactericidas y antivirales como el incremento en la opsonización y encapsulamiento celular (Martin *et al.*, 2022).

Los antimicrobianos péptidos, (AMPs), son proteínas de bajo peso molecular cruciales en organismos que no presentan inmunidad adaptativa, actuando como un mecanismo de defensa contra patógenos. Estos presentan múltiples clases de isoformas y poseen actividad antibacterial, antifúngica y antiviral contra diferentes patógenos en camarón (Tassanakajon *et al.*, 2013). Los pueden ser liberados por exocitosis posterior a una estimulación con microorganismos (Tassanakajon *et al.*, 2018).

Otro aspecto significativo, es la activación del sistema inmune cuando aumenta la secreción de péptidos antimicrobianos circulantes y otras proteínas, para combatir la infección (Tassanakajon *et al.*, 2018). En esta respuesta, se encuentran involucradas dos principales rutas de señalización del sistema inmune, conocidas como rutas Toll (TLR) e Imd (Inmuno deficiencia), las cuales regulan la expresión de AMPs. Las rutas que incluyen receptores TLR y de inmunodeficiencia son rutas de señalización esenciales para inducir genes relacionados con el sistema inmune innato durante una infección con patógenos (Licon, 2022). Existe un marcado interés por el uso de inmunoestimulante, en la prevención de enfermedades, estos alertan al sistema inmune de los organismos, mejorando la respuesta a infecciones, manteniendo su estado inmunológico eficiente.

Aditivos inmunoestimulantes

En la actualidad, muchos de los inmunoestimulantes existentes son nutrientes habituales de la dieta, como los polisacáridos, proteínas o lípidos, que suministrados en concentraciones elevadas tienen la capacidad de producir un efecto estimulante acelerando (Costavalo, 2021). La resistencia a enfermedades mediante mecanismos específicos o inespecíficos de la respuesta inmunológica, convirtiéndose en agentes primarios profilácticos, por lo que las limitaciones dentro de la inmunoestimulación dependen del estado de desarrollo del sistema inmunológico del organismo.

Méndez *et al.* (2021) conceptualizan el criterio de que “el uso de bioestimulantes en dietas para peces, como estrategia prometedora para reducir el uso de antibióticos, potenciar la respuesta bioquímica e inmune, lo cual contribuye a mejorar rendimientos productivos y disminuir las pérdidas económicas...”, otros autores como (Cavalcante *et al.*, 2020) fundamentan que la asociación de tecnologías aplicadas a la nutrición y el mantenimiento de la salud animal, están bien aceptadas en acuicultura, dado que los estudios modernos demuestran la clara evidencia, de la capacidad de los nutrientes y los aditivos alimentarios para estimular la inmunidad de los peces y protegerlos contra los patógenos más comunes en el cultivo.

El uso de estos aditivos inmunoestimulantes se asocia a una mejora de la inmunidad inespecífica, un incremento en la resistencia a las enfermedades y el favorecimiento del crecimiento de los animales. Dentro de este término, de forma general incluyen agentes químicos, componentes bacterianos, polisacáridos, extractos de animales o de algas, factores nutricionales, citoquinas,

entre otros. Dentro de los más utilizados en acuicultura se encuentran los β -glucanos, los lipopolisacáridos y se incluyen también las bacterias con propiedades beneficiosas, denominadas probióticos (Gutiérrez, 2021). La adición de componentes beneficiosos a las dietas juega un papel importante en la manipulación de la microflora intestinal, responsable de mantener una buena salud del individuo y la salud de estos microbios, está directamente influenciada por la ingesta de prebióticos (Gutiérrez, 2021).

Prebióticos

Hasta la fecha existen muchas definiciones sobre los prebióticos, pero la mayoría de estas definiciones hacen referencia al hombre y a mamíferos. Los prebióticos son “ingredientes alimentario no digerible que afecta beneficiosamente al hospedero, al estimular selectivamente el crecimiento y/ o actividad de uno o un limitado número de especies bacterianas en el colon y que por lo tanto mejora la salud”, según la Asociación Científica Internacional de Prebióticos y Probióticos (2017).

Los prebióticos requieren una utilización selectiva por parte de microorganismos vivos del huésped, no simplemente enzimas o productos químicos bioactivos, de una manera que sustente, mejore o restaure la salud del huésped. Por lo general, son sustratos de hidratos de carbono de muy baja digestibilidad como los oligosacáridos o la fibra dietética, que contribuyen a la proliferación de bacterias en la flora intestinal de los animales, lo que redundará en una mejora de la salud y de las respuestas productivas, además de actuar estrechamente con los probióticos, constituyendo así el alimento de las bacterias probióticas, ya que no son degradadas por acción directa del tracto digestivo (Wee *et al.*, 2022).

En el estudio de López y Torres (2022) se aborda el término prebiótico refiriéndose a los “ingredientes de los alimentos no digeribles que producen efectos beneficiosos sobre el huésped estimulando selectivamente el crecimiento y/o actividad de un tipo o de un número limitado de bacterias en el tracto digestivo”. Es decir, un prebiótico es un ingrediente fermentado selectivamente que permite cambios específicos, en la composición y/o actividad en la microflora gastrointestinal, que promueve el bienestar y la salud del animal. Para que un ingrediente alimentario sea considerado como prebiótico debe cumplir con tres criterios principales, resistencia a la acidez gástrica, a la hidrólisis por enzimas de mamíferos y a la absorción gastrointestinal; seguido de la fermentación por microflora intestinal; y por último la estimulación selectiva del crecimiento y/o actividad de aquellas bacterias intestinales que contribuyen a la salud y el bienestar (Mustafa *et al.*, 2019). A pesar de tantas definiciones de prebióticos, en el que aparecen elementos comunes, nosotros asumimos la descrita por el Consenso de la Asociación Internacional, donde la dosis adecuada está implícita, debe ser suficiente para generar un efecto prebiótico, pero no demasiado alta para inducir efectos no deseados o adversos, como la formación excesiva de gases o la utilización no selectiva. La dosis "adecuada" variará según el ecosistema microbiano y los efectos metabólicos asociados.

El uso de prebióticos en acuicultura es reciente, si lo comparamos con estudios realizados en otras especies terrestres (Gutiérrez, 2021), su incorporación en la dieta, tiene ventajas, pues no necesita autorización como aditivos alimentarios. Originalmente, estos se utilizan para estimular *Bifidobacterias* y *Lactobacilos* en la microbiota humana (Carbone y Faggio, 2016), donde se pudo conocer la capacidad de modificar la comunidad microbiana del tracto gastrointestinal para potenciar las respuestas inmunes no específicas. De hecho, los oligosacáridos sirven como sustrato para el crecimiento y la proliferación de bacterias anaerobias, principalmente las *Bifidobacterias*, que inhiben el crecimiento de bacterias putrefactivas y patógenas presentes en el colon (Mancilha y Mussatto, 2007).

Actividad prebiótica en el tracto intestinal y el organismo

Los prebióticos son posibles alternativas para combatir el desarrollo de resistencia antimicrobiana (Elshagabee y Rokana, 2021). Su principal acción, al ser incorporados en el sistema digestivo consiste, en el cambio potencial de la comunidad bacteriana intestinal, a una dominada por bacterias beneficiosas, lo que favorece la inhibición de la colonización de organismos patógenos. Estas sustancias como refieren diversas literaturas, (Song, *et al.*, 2014; Glenn, 2017; Cavalcante, *et al.*, 2020; Elshagabee y Rokana, 2021; Anacona, 2021), no se digieren, pero establecen cambios en la microbiota gastrointestinal, modifican su composición o actividad, con el fin de mejorar la salud general del hospedador.

Estimulan el crecimiento de bacterias beneficiosas reportadas en peces, moluscos y crustáceos, como *Lactobacillus*, mientras que limita la presencia de bacterias potencialmente patógenas, como *Vibrio*, *Aeromonas* y *Streptococcus*. Se pueden considerar de acción indirectos porque son mediados por los cambios promovidos en la composición y/o actividad de la microbiota intestinal (Anacona, 2021). Es importante señalar, que los prebióticos solo actúan como complementos alimenticios, pero no sustituyen a las dietas ya establecidas para el cultivo del camarón. Por ello, la adecuación nutricional del huésped sigue siendo un requisito previo para que los prebióticos liberen todo su potencial, ya que alimenta principalmente a la población microbiana dentro del organismo, pero no el huésped en sí (Hu *et al.*, 2019).

Prebióticos en el cultivo de camarones

Los prebióticos más empleados son los fructanos, carbohidratos con unidades de fructosa, formando polisacáridos como inulina u oligosacáridos, fructooligosacáridos (Di Primio *et al.* 2021). Según el criterio de autores como Henríquez (2021) la International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) describen el prebiótico como ``un sustrato utilizado selectivamente por los microorganismos del huésped que confieren un beneficio para la salud``, los prebióticos, donde se incluye la inulina (Li *et al.*, 2018); β -glucanos (Li *et al.*, 2019), mananoligosacáridos (MOS) (Li *et al.*, 2018) , fructooligosacáridos (Zhou *et al.*, 2007), isomaltooligosacáridos (IMO) (Li *et al.*, 2009), xilooligosacáridos (XOS) (Wang *et al.*, 2010) se estudió en camarones, debido a que estimulan el rendimiento del crecimiento, la utilización de alimentos, los efectos positivos en el intestino, morfología, microbiota intestinal, sistema

inmunitario y resistencia a enfermedades (Yousefian y Amiri, 2009). En correlación con esto se plantea que existen compuestos como FOS de cadena corta (scFOS) y MOS que actúan como sacáridos inmunoestimulantes al activar directamente las respuestas inmunitarias innatas y así promueven la salud de los camarones. (Sivasankar *et al.*, 2017).

Fructooligosacáridos

Los fructooligosacáridos son prebióticos conocidos por el nombre común oligofructosa, oligofructanos, oligómeros de fructosa, fructanos o glucofructanos, y representa a una serie de homólogos oligosacáridos con enlaces glucosídicos β (2 \rightarrow 1) fructosil-fructosa (Sánchez *et al.*, 2020). Algunos apuntes (Di Primio *et al.* 2021) afirman que los FOS son fermentados por ciertas bacterias del género *Lactobacillus* y *Bifidobacterias*. La naturaleza bifidogénica de estos compuestos, se debe a que la mayoría de las cepas de las bifidobacterias tienen ventajas nutricionales sobre otros grupos de microorganismos del tracto intestinal.

Los fructanos de la dieta que llegan al colon pueden, por tanto, beneficiar el crecimiento y la actividad de la población de las bifidobacterias autóctonas, ya que poseen una hidrolasa intracelular D-fructano-fructano que hidroliza las moléculas de fructano en un sustrato asimilable (Di Primio *et al.* 2021). Se ha demostrado que la suplementación dietética de FOS mejora la tasa de crecimiento de algunos animales acuáticos (Yousefian y Amiri, 2009) el crecimiento específico, tasas y conversiones alimenticias en juveniles de camarón más jóvenes, así como disminuciones en los recuentos de patógenos oportunistas tales como de *V. parahemolyticus*, *Aeromonas hydrophila*, *Lactobacillus spp.* y *Streptococo spp* en heces del intestino de los camarones (Zhou *et al.*, 2007).

Enzimas del sistema Inmune

Fenoloxidasa

La PO es una proteasa de tipo metalo, dependiente de Cu, que cataliza múltiples reacciones: producción de quinonas, fenoles orto-hidroxilados, L-DOPA, L-DOPA quinona y melanina. Es una enzima esencial para la respuesta inmune de los invertebrados dado que su actividad no solo se limita a la producción de compuestos de acción bactericida, sino que también posibilita la reparación de heridas y esclerotización de la cutícula por sus efectos microbicidas (Vaseeharan *et al.*, 2016).

Martin *et al.*, (2022) refiere que las PO de diversos crustáceos catalizan reacciones tipo tirosinasas como: hidroxilación de monofenoles y oxidación de o-difenoles a quinonas; y no son proteínas integrales de membranas de un organelo específico. El resultado final de todas las reacciones es la formación de metabolitos tóxicos y con actividad antimicrobiana. Las quinonas y fenoles están involucrados en la obtención de varios metabolitos citotóxicos como superóxidos y radicales hidroxilos, así como en el entrecruzamiento covalente de moléculas cercanas para formar la melanina en los sitios afectados y alrededor de los organismos invasores. La actividad

PO constituye un indicador que se toma como referencia para analizar el estado inmunológico de los crustáceos.

Lisozimas

Las lisozimas se incluyen dentro de la familia de los péptidos antibacterianos sobre la base de su bajo peso molecular y su poderoso efecto bacteriostático que es además inespecífico. Ejercen su función por la hidrólisis de los enlaces glucosídicos que están vinculados con la pared celular bacteriana. Estas proteínas se sintetizan específicamente en hemocitos, principalmente los granulares. Además, están bien caracterizadas en los camarones Peneidos, donde tienen actividad lítica contra un amplio número de especies de bacterias Gram negativas y Gram positivas, entre ellas las patogénicas *Vibrio* spp. Cuando los hemocitos son reclutados rápidamente a los sitios de infección, descargan las lisozimas junto al resto de los efectores inmunológicos como péptidos antimicrobianos, transglutaminasas, entre otros. Existen tres tipos de lisozima, c-lisozima, g-lisozima e i-lisozima, de las cuales c-lisozima e i-lisozima han sido reportadas en *P. vannamei*, ambas con potente actividad antimicrobiana (Hu *et al.*, 2022).

Peroxidasa

La actividad (PX) está estrechamente relacionada con la generación y eliminación de las especies reactivas del oxígeno (ROS) generadas durante el metabolismo oxidativo durante la fagocitosis de partículas extrañas y la actividad citotóxica contra tipos celulares foráneos que invaden el organismo, por lo que se le confiere además función inmunitaria (Martin *et al.*, 2022). La peroxinectina posee un dominio funcional peroxidasa, por lo que la actividad peroxidasa incluye y está estrechamente asociada a la actividad peroxinectina (Licon, 2022).

Las peroxinectinas se sintetizan en los hemocitos granulados y semi-granulados en forma inactiva y son liberadas a la hemolinfa a través de exocitosis en respuesta a estímulos producto de la invasión de patógenos. Las peroxinectinas poseen varias actividades biológicas entre las que podemos citar: activación del sistema proPO, adhesión y degranulación de los hemocitos, promotora de la encapsulación, opsonisante, actividad peroxidasa (Martin *et al.*, 2022).

Superóxido dismutasa

La SOD posee la capacidad de disminuir el anión superóxido que genera como resultado agua y peróxido de hidrógeno. Están compuestos por tres grupos mayores, según del ion metálico que contengan. La Mn-SOD está en las mitocondrias, la Fe-SOD en bacterias y la Cu/Zn-SOD en eucariotas. La SOD extracelular coopera en la destrucción de parásitos ingeridos o encapsulados durante la explosión respiratoria generada durante la fagocitosis (Li *et al.*, 2019). Además, se conoce que factores ambientales como la hipoxia y altas temperaturas inducen un aumento de la expresión de SOD en camarones, sin embargo, (Lin *et al.*, 2010).

La SOD extracelular coopera en la destrucción de parásitos ingeridos o encapsulados durante la explosión respiratoria generada durante la fagocitosis (Li *et al.*, 2019). Esta distribución está estrechamente relacionada con la función antioxidante y los lugares donde ocurre en mayor

medida el estallido respiratorio, lo que confirma su papel en la prevención y eliminación del daño oxidativo (Wang *et al.*, 2007).

Lectinas

Las lectinas de la hemolinfa de crustáceos, también presentan actividad antimicrobiana. Son glicoproteínas sin actividad catalítica presentes en la mayoría de los seres vivos, presentan uno o más dominios conservados de reconocimiento a carbohidratos, capaces de discriminar y unirse alternativamente a mono y oligosacáridos en solución o en la superficie celular (Sánchez *et al.*, 2017). Las mismas poseen la habilidad de unir específicamente carbohidratos que se expresan en la superficie de diferentes células. Debido a que son por lo general divalentes (tienen al menos dos sitios de unión específica, pueden unir células y por tanto aglutinarlas.

Sánchez *et al.* (2017) plantean que las lectinas están presentes en casi todos los organismos y se le atribuyen varias funciones biológicas como transporte de carbohidratos a nivel celular y entre tejidos; factores citolíticos y citotóxicos; y adhesión, migración y apoptosis celular. Las lectinas funcionan como Receptor de reconocimiento de patrones (PRR) y que la variabilidad del reconocimiento de carbohidratos podría representar una amplia gama de identificación para diferentes patógenos. A pesar del papel fundamental de las lectinas en el reconocimiento de lo no propio y la opsonización, también parecen estar involucradas en la neutralización, y algunas evidencias apuntan a que pueden además estar implicadas en los sistemas de coagulación y proPO (Martin *et al.*, 2022).

FOS como inmunoestimulantes

Para estimular la respuesta inmune, la resistencia al estrés y a enfermedades, mediante la interacción directa con las células del sistema inmune y la activación de ellas, se emplean los inmunoestimulantes dentro de los cuales podemos observar los prebióticos oligosacáridos (Di Primio *et al.* 2021) como los FOS. Como se menciona anteriormente, el FOS al igual que otros oligosacáridos prebióticos promueven la inhibición del crecimiento de bacterias dañinas, absorción mejorada de nutrientes esenciales, síntesis de ciertas vitaminas, y por consiguiente la estimulación de las funciones inmunitarias dada las interacciones que allí se establecen (Li *et al.*, 2007).

En acuicultura, tanto el FOS dietético como ScFOS han ganado mucho interés debido a sus factores promotores del crecimiento en varias especies acuáticas, incluyendo el camarón blanco *Penaeus vannamei* (Zhou *et al.*, 2007). Las inclusiones dietéticas de FOS apoyan selectivamente el crecimiento y la supervivencia de dichas bacterias en el tracto gastrointestinal de los animales. En la medida en que FOS modifica las comunidades microbianas en los camarones, a su vez puede explicar su capacidad para iniciar una respuesta inmune en *P. vannamei* (Li *et al.*, 2007).

Los estudios Li *et al.* (2007) y Mustafa *et al.* (2019) informan sobre el efecto de la suplementación dietética de scFOS en la microbiota beneficiosa del camarón blanco, estos demostraron que el FOS exhibe características ya identificadas en otros prebióticos, que al

suplementarlos en la dieta de camarones *P. vannamei* pueden modificar la microbiota intestinal y a su vez iniciar una secuencia de respuesta inmunológica superior.

Según los criterios de algunos autores (Song *et al.*, 2014), los prebióticos como FOS también se clasifican como inmunosacáridos por su capacidad de mejorar directamente las respuestas inmunitarias no específicas a través de interacciones con PRR. Además, las bacterias beneficiosas en los intestinos pueden interactuar con el tejido linfoide asociado al intestino (GALT), lo que se traduce como un estímulo al sistema inmunitario y mejorar la capacidad del huésped para prevenir infecciones.

El análisis en el informe de Zhou *et al.*, (2007) expone que la suplementación con scFOS en la dieta no solo mejora la tasa de crecimiento, y la supervivencia, sino que estimula el crecimiento de bacterias benéficas y la producción de enzimas inmunes y digestivas. Además, una mayor estimulación de las células de defensa, por un aumento del crecimiento de bacterias beneficiosas en los intestinos puede inducir una sobreexpresión de lectinas, lo que se traduce como una mayor condición fisiológica en el reconocimiento bacteriano (Bi *et al.*, 2020).

Safari *et al.*, (2014) demostraron que la administración de FOS puede estimular y mejorar la tasa de proliferación de hemocitos, el incremento en el número de esta célula explica la elevada actividad de PO debido a que son los principales productores de esta enzima. Como consecuencia a la estimulación de esta célula no solo puede verse aumentada actividad enzimática específica de la fenoloxidasa, sino también de la superóxido dismutasa, esto claramente puede influir positivamente sobre la tasa de supervivencia de *P. vannamei* (Dong y Wang, 2013).

CONCLUSIONES

El empleo de los fructooligosacáridos como aditivos inmunoestimulantes en el cultivo de los camarones *P. vannamei* mejora su estado fisiológico debido a los cambios beneficiosos en la microbiota y en consecuencia el desplazamiento de microorganismos patógenos que pueden afectarlo.

La adición de este prebiótico en las dietas del camaron *P. vannamei* potencia los mecanismos de la respuesta inmunológica innata por medio de la estimulación respuesta celular, específicamente un aumento de enzimas del sistema inmune y un mayor reconocimiento microbiano estimulación en los títulos de lectinas.

REFERENCIAS

Amatul Samahah, M. A., Omar, W. H. H. W., Ikhsan, N. F. M., Azmai, M. N. A., Zamri-Saad, M., y Ina-Salwany, M. Y. (2020). Vaccination trials against *Vibriosis* in shrimp: A review. *Aquaculture Reports*, 18, 100471. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100471>

- Anacona, H. D. (2021). Efecto del alimento enriquecido con prebiótico y probióticos en el crecimiento y aprovechamiento nutritivo de Tilapia Roja *Oreochromis spp.* <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80030>
- Asche, F., Anderson, J. L., Botta, R., Kumar, G., Abrahamsen, E. B., Nguyen, L. T., y Valderrama, D. (2021). The economics of shrimp disease. *Journal of Invertebrate Pathology*, 186, 107397. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022201120301038>
- Bi, J., Ning, M., Xie, X., Fan, W., Huang, Y., Gu, W., ... & Meng, Q. (2020). A typical C-type lectin, perlucin-like protein, is involved in the innate immune defense of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish & shellfish immunology*, 103, 293-301.
- Camacho Ipanaque, J. D., y Prado Mendoza, M. L. (2019). Supervivencia y respuestas inmunitarias de juveniles *Litopenaeus vannamei* mejorados genéticamente, infectados con *Vibrio spp.* y *Pseudomonas spp.* <http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/284/TESIS%20-%20CAMACHO%20Y%20PRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carbone, D., y Faggio, C. (2016). Importance of prebiotics in aquaculture as immunostimulants. Effects on immune system of *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax*. *Fish y Shellfish Immunology*, 54, 172-178. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050464816301620>
- Cavalcante, R. B., Telli, G. S., Tachibana, L., De Carla, D., Oshiro, E., Natori, M. M., y Ranzani, M. J. (2020). Probiotics, Prebiotics and Synbiotics for Nile tilapia: Growth performance and protection against *Aeromonas hydrophila* infection. *Aquaculture Reports*, 17, 100343. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352513420300016>
- Costavalo, J. A. (2021). *Composición química y enzimas digestivas en juveniles de tilapia roja (Oreochromis mossambicus x Oreochromis niloticus) alimentados con β -glucano* (Tesis de Pregrado) Universidad Técnica Estatal De Quvedo, Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6554>
- Di Primio, N., Duca, G., y Rubio, C. (2021). Actividad de los fructooligosacáridos como prebiótico y efectos sobre el tracto intestinal. *BioTecnología*, 25(1), 10-20. <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/05/Di-Primio-et-al-2021.pdf>
- Dong, C., y Wang, J. (2013). Immunostimulatory effects of dietary fructooligosaccharides on red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard). *Aquaculture Research*, 44(9), 1416-1424. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03146.x>
- Elshaghabee, F. M., y Rokana, N. (2021). Dietary management by probiotics, prebiotics and synbiotics for the prevention of antimicrobial resistance. In *Sustainable Agriculture Reviews 49* (pp. 33-56). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-58259-3_2

- Espinosa Martínez, E. G., y Díaz Forte, E. (2021). Consideraciones sobre la cadena de valor del camarón en Cuba. Apuntes para un diagnóstico. *Cofin Habana*, 15(1). <http://orcid.org/0000-0003-2813-1785>
- FAO. (2018) The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. In, *Food and Agriculture Organization of the United Nation*. Rome.
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO, (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Glenn R. Gibson, Robert Hutkins, Mary Ellen Sanders, Susan L. Prescott, Raylene A. Reimer, Seppo J. Salminen, Karen Scott, Catherine Stanton, Kelly S. Swanson, Patrice D. Cani, Kristin Verbeke and Gregor Reid (2017) EXPERT CONSENSUS DOCUMENT The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics 2017
- Gutiérrez, A. I. (2021). *Nuevas Cepas Probióticas Para Acuicultura* (Tesis de Doctorado) Universidad de Las Palmas de Bran Canarias, España. <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/107929/1/Tesis%20Ana%20Isabel%20Guti%C3%A9rrez%20Falc%C3%B3n%20sin%20firmas.pdf>
- Henríquez Ramírez, C. V. (2021). Caracterización de la hidrólisis enzimática de xilano mediante herramientas experimentales y modelación en el marco de la producción de xilo-oligosacáridos. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181941>.
- Hu, X., Yang, H. L., Yan, Y. Y., Zhang, C. X., Ye, J. D., Lu, K. L., ... y Sun, Y. Z. (2019). Effects of fructooligosaccharide on growth, immunity and intestinal microbiota of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed diets with fish meal partially replaced by soybean meal. *Aquaculture Nutrition*, 25(1), 194-204. <https://doi.org/10.1111/anu.12843>.
- Hu, F., Wang, Y., Hu, J., Bao, Z., y Wang, M. (2022). A novel c-type lysozyme from *Litopenaeus vannamei* exhibits potent antimicrobial activity. *Fish y Shellfish Immunology*, 131, 729-735. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.10.056>
- Jerry, D. R. (2016). Liberando el potencial genético del camarón tigre negro. <https://www.globalseafood.org/advocate/liberando-el-potencial-genetico-del-camaron-tigre-negro/>
- Kulkarni, A., Krishnan, S., Anand, D., Kokkattunivarthil Uthaman, S., Otta, S. K., Karunasagar, I., y Kooloth Valappil, R. (2021). Immune responses and immunoprotection in crustaceans with special reference to shrimp. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 431-459. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/raq.12482>
- Li, E., Wang, X., Chen, K., Xu, C., Qin, J. G., y Chen, L. (2017). Physiological change and nutritional requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at low salinity. *Reviews in Aquaculture*, 9(1), 57-75. <https://doi.org/10.1111/raq.12104>

- Li, H., Xu, C., Zhou, L., Dong, Y., Su, Y., Wang, X., ... y Li, E. (2019). Beneficial effects of dietary β -glucan on growth and health status of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at low salinity. *Fish y Shellfish Immunology*, 91, 315-324. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.05.052>
- Li, J., Tan, B., y Mai, K. (2009). Dietary probiotic Bacillus OJ and isomaltooligosaccharides influence the intestine microbial populations, immune responses and resistance to white spot syndrome virus in shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 291(1-2), 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.005>
- Li, P., Burr, G. S., Gatlin, D. M., Hume, M. E.; Patnaik, S., Castille, F. L. y Lawrence, A. L. (2007). Dietary Supplementation of Short-Chain Fructooligosaccharides Influences Gastrointestinal Microbiota Composition and Immunity Characteristics of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* Cultured in Recirculating System. *J. Nutr.*, 137, 2763–2768. <https://doi.org/10.1093/jn/137.12.2763>
- Li, Y., Liu, H., Dai, X., Li, J., y Ding, F. (2018). Effects of dietary inulin and mannan oligosaccharide on immune related genes expression and disease resistance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish y shellfish immunology*, 76, 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.02.034>
- Licona Jain, A. B. (2022). Efecto de la suplementación de inmunoestimulantes sobre parámetros inmunológicos, expresión de genes y resistencia a *Vibrio parahaemolyticus* en camarón blanco *Penaeus vannamei*. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2602/1/licona_a%20TESIS.pdf
- Lin, Y. C., Lee, F. F., Wu, C. L., & Chen, J. C. (2010). Molecular cloning and characterization of a cytosolic manganese superoxide dismutase (cytMnSOD) and mitochondrial manganese superoxide dismutase (mtMnSOD) from the kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 28(1), 143-150.
- Liu, S., Zheng, S.-C., Li, Y.-L., Li, J., y Liu, H.-P. (2020). Hemocyte-mediated phagocytosis in crustaceans. *Frontiers in Immunology*, 11. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2020.00268/full>
- López Zaldivar, Y., y Torres Rodríguez, A. (2022). Aditivos inmunoestimulantes en la dieta de especies de tilapias (*Oreochromis* spp.). *Revista De Producción Animal*, 34(3). <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4305>
- Lulijwa R., Rupia E. J., y Alfaro A. (2019). Antibiotic use in acuaculture, policies and regulation, health an enviromental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Acuaculture*. 12 (2), 640-663. <https://doi.org/10.1111/raq.12344>.
- Mancilha, I. M., y Mussatto, S. I. (2007). Non-digestible oligosaccharides: a review. *Carbohydrate polymers*, 68(3), 587-597. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.12.011>
- Martín Ríos, L. D., Corrales Barrios, Y., González Salotén, M., Carrillo Farnés, O., Cabrera Alarcón, H., y Arenal Cruz, A. (2023). Principales factores que modifican el sistema inmune en camarones peneidos estrategias para un cultivo sostenible. *Revista de*

- Producción Animal*, 34(1), 103-126.
<https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4036>
- Martín Ríos, L.D., Espinosa López, G., Carrillo Farnés, O. (2022). Sistema inmune de camarones peneidos de cultivo. Una revisión. *Rev. Prod. Anim.*, 34(1) <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4036>
- Mastan, S. (2015). Use of immunostimulants in aquaculture disease management. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2(4), 277-280.
<https://www.fisheriesjournal.com/archives/2015/vol2issue4/PartF/2-4-59.pdf>
- Méndez, Y. Y., Pacheco, G. K., Del Barco, K. A., Torres, Y. G., y Hernández, M. P. (2021). Respuesta bioquímica e inmune en tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) con suplementación de quitosano en dieta. *Rev. Fac. Agron*, 38(4), 1017-1035.
[https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n4.15](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n4.15)
- Miccoli, A., Picchiatti, S., Fausto, A. M., y Scapigliati, G. (2021). Evolution of immune defence responses as incremental layers among Metazoa. *The European Zoological Journal*, 88(1), 44–57. <https://doi.org/10.1080/24750263.2020.1849435>
- Mustafa, A., Buentello, A., Gatlin III, D., Lightner, D., Hume, M., & Lawrence, A. (2019). Effects of fructooligosaccharides (FOS) on growth, survival, gut microflora, stress, and immune response in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, cultured in a recirculating system. *Journal of Immunoassay and Immunochemistry*, 41(1), 45-59.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15321819.2019.1680386>
- Núñez Rondero, A. (2022). *Actividad enzimática digestiva y antioxidante durante el crecimiento compensatorio en el camarón blanco Penaeus vannamei* (Master's thesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC).
<http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/3118>
- Otero González, J. P. (2018). Enfermedades bacterianas más comunes en la larvicultura del camarón blanco *litopenaeusvannamei* y sus métodos de control.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12225>
- Quintino Rivera, J. G. (2022). *Cambios en la tasa de recambio metabólica, actividad digestiva y biota bacteriana en el camarón Penaeus vannamei por efecto del crecimiento compensatorio* (Master's thesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC).
<https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/2647>
- Reyes Mero, A. J. (2021). *Principales agentes infecciosos asociados al cultivo del camarón blanco Penaeus vannamei reportados en Ecuador durante el periodo 2010-2021* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021).
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6640/1/UPSE-TBI-2021-0016.pdf>
- Roy, K., Vrba, J., Kaushik, S. J., y Mraz, J. (2020). Feed based common carp farming and eutrophication: is there a reason for concern? *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1736-1758.
<https://doi.org/10.1111/raq.12407>

- Roy, S., Bossier, P., Norouzitallab, P., y Vanrompay, D. (2020)a. Trained immunity and perspectives for shrimp aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2351–2370. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1532045602001254>
- Safari, O., Shahsavani, D., Paolucci, M., y Atash, M. M. S. (2014). Single or combined effects of fructo-and mannan oligosaccharide supplements on the growth performance, nutrient digestibility, immune responses and stress resistance of juvenile narrow clawed crayfish, *Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823. *Aquaculture*, 432, 192-203. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.012>
- Sánchez Martínez, M. J., Soto-Jover, S., Antolinos, V., Martínez-Hernández, G. B., y López-Gómez, A. (2020). Manufacturing of short-chain fructooligosaccharides: from laboratory to industrial scale. *Food Engineering Reviews*, 12(2), 149-172. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-020-09209-0>
- Sánchez Salgado, J. L., Pereyra, M. A., Agundis, C., Vivanco Rojas, O., Sierra Castillo, C., Alpuche-Osorno, J. J., y Zenteno, E. (2017). Participation of lectins in crustacean immune system. *Aquaculture Research*, 48(8), 4001-4011. <https://doi.org/10.1111/are.13394>
- Sivasankar, P., John, K. R., George, M. R., Anushalini, S. V., Kaviarasu, D., y Petchimuthu, M. (2017). Prophylactics in shrimp aquaculture health management: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(4), 1049-1055. <https://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue4/PartN/5-4-20-100.pdf>
- Song, S. K., Beck, B. R., Kim, D., Park, J., Kim, J., Kim, H. D., y Ringø, E. (2014). Prebiotics as immunostimulants in aquaculture: a review. *Fish y shellfish immunology*, 40(1), 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.06.016>
- Tan, H. Y., Chen, S. W., y Hu, S. Y. (2019). Improvements in the growth performance, immunity, disease resistance, and gut microbiota by the probiotic *Rummeliibacillus stabekisii* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish shellfish immunology*, 92, 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.06.027>
- Tassanakajon, A., Rimphanitchayakit, V., Visetnan, S., Amparyup, P., Somboonwiwat, K., yCharoensapsri, W. (2018). Shrimp humoral responses against pathogens: antimicrobial peptides and melanization. *Developmental y Comparative Immunology*, 80, 81-93. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2017.05.009>
- Tassanakajon, A., Somboonwiwat K., Supungul P. y Tang S. (2013). Discovery of immune molecules an their crucial function in shrimp immunity. *Fish Shellfish Immunology*, 34(4), 954-967. <https://doi.org/10.1016/j.fci.2012.09.021>.
- Thitamadee, S., Prachumwat, A., Srisala, J., Jaroenlak, P., Salachan, P. V., Sritunyalucksana, K., ...y Itsathitphaisarn, O. (2016). Review of current disease threats for cultivated penaeid shrimp in Asia. *Aquaculture*, 452, 69-87. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.10.028>

- Vaseeharan, B., Ishwarya, R., Malaikozhundan, B., Selvaraj, D., & Chen, J. C. (2016). Phenoloxidase an important constituent in crustacean immune system-a review. *臺灣水產學會刊*, 43(3), 217-227.
- Wang, G., Zhou, Y., Huang, W., Huang, Y., Liu, X., y Dong, S. (2010). Effects of xylooligosaccharide on grow, body composition and non-specific immunity in *Litopenaeusvannamei*. *Freshwater Fish*, 40, 55-58. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anu.12818>
- Wang, Y. C., Chang, P. S., y Chen, H. Y. (2007). Tissue expressions of nine genes important to immune defence of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish y shellfish immunology*, 23(6), 1161-1177. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2007.04.004>
- Wee, W., Hamid, N. K. A., Mat, K., Khalif, R. I. A. R., Rusli, N. D., Rahman, M. M., ... y Wei, L. S. (2022). The effects of mixed prebiotics in aquaculture: A review. *Aquaculture and Fisheries*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468550X22000508>
- Yousefian, M., yAmiri, M. S. (2009). A review of the use of prebiotic in aquaculture for fish and shrimp. *African Journal of Biotechnology*, 8(25). <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/77730>
- Zhou, Z., Ding, Z., y Huiyuan, L. V. (2007). Effects of dietary short-chain fructooligosaccharides on intestinal microflora, survival, and growth performance of juvenile white shrimp, *Litopenaeusvannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2), 296-301. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00099>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: YCB, YLZ, LDMR, AAC; análisis e interpretación de los datos: YCB, YLZ, LDMR, AAC; redacción del artículo: YCB, YLZ, LDMR, AAC.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.