



Investigación e Innovación en Nutrición Acuícola

**Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez,
Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe
Nieto López, David A. Villarreal Cavazos,
Julián Gamboa Delgado, y Carlos A.
Martínez Palacios**

Investigación e Innovación en Nutrición Acuícola
2022, Monterrey, Nuevo León, México

Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado y Carlos A. Martínez Palacios.

Programa Maricultura
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León 2022

Copias disponibles en:
Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ciencias Biológicas
Programa Maricultura
Cd. Universitaria
San Nicolás de los Garza, Nuevo León
C.P. 66455
Tel.+Fax. 818352 6380
E-mail: lucia.cruzsr@uanl.edu.mx

Para citar alguna parte de ésta obra siga el siguiente estilo:

- Autores del escrito. 2022. Nombre del artículo. Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado y Carlos A. Martínez Palacios. Investigación e innovación en nutrición acuícola, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, pp.473 ISBN: 978-607-27-1732-9. El cuidado de la presente edición, así como su realización estuvo a cargo de los editores.

La reproducción total o parcial de ésta obra requiere la autorización escrita por los titulares del derecho de autor.

Los editores hacemos extensivo nuestro profundo agradecimiento:

- A las personas que colaboraron en la edición técnica de estas memorias

Directorio

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario. General

Dr. Celso José Garza Acuña
Secretario extensión y cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de Editorial Universitaria

Dr. José Ignacio González Rojas
Director de la Facultad de Ciencias Biológicas

Editores

Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado, y Carlos A. Martínez Palacios.

Dirección de edición: Programa Maricultura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Dra. Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Av. Universidad S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66455
Email: elicruz@hotmail.com, lucia.cruzsr@uanl.edu.mx
Teléfonos: 52 8183526380

Primera edición 2022. ©Universidad Autónoma de Nuevo León. ©L. Elizabeth Cruz Suárez, ©Mireya Tapia Salazar, ©Martha Guadalupe Nieto López, ©David Alonso Villarreal Cavazos, ©Julián Gamboa Delgado, ©Carlos A. Martínez Palacios.

ISBN:978-607-27-1732-9. El cuidado y edición estuvo a cargo de los editores. El contenido es responsabilidad de los autores.

Párrafo legal: Reservado todos los derechos conforme a la ley. Prohibida la reproducción total o parcial de la obra sin previa autorización por escrito del titular propietario y editor de la obra.

Alimentos Funcionales y su Aplicación en Organismos Acuáticos

María del Carmen Monroy Dosta
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
Departamento El Hombre y Su Ambiente
Calzada del Hueso 1100.col Villa Quietud, Coyoacan,
04960. Ciudad de México, E-mail: monroydosta@hotmail.com

Resumen

La gran expansión que ha experimentado la acuicultura en los últimos años, también ha demandado el desarrollo de estrategias para la mejora de los procesos de alimentación, con el fin de asegurar la producción de biomasa de buena calidad, con la disminución de las enfermedades, la reducción del impacto ambiental y el costo económico para los productores. Por lo que en los últimos años se ha generado gran interés por el uso de compuestos bioactivos naturales para utilizarlos como ingredientes funcionales. Los reportes indican que estos compuestos funcionan como antioxidantes, antimicrobianos, moduladores del sistema inmune y la microbiota, propiedades que se pueden aprovechar con la finalidad de mejorar la salud de los organismos. Sobre todo, porque en la mayoría de los casos las dietas comerciales no cubren todos los requerimientos de las especies cultivadas, por lo que se requieren adicionar diferentes sustancias que mejoren su nutrición y salud dentro de los que podemos mencionar a los probióticos, prebióticos, simbióticos, extractos microalgales entre muchos otros (D'Abramo, 2018). Este trabajo muestra los avances, retos y perspectivas del uso de aditivos funcionales para la producción de peces y crustáceos de consumo humano y de ornato, que se ha desarrollado por el grupo de investigación del Laboratorio de Alimentos funcionales de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Donde se han podido adicionar a las dietas balanceadas microorganismos probióticos, extractos microalgales, vegetales y de algunas macrófitas acuáticas, para mejorar la sobrevivencia, el crecimiento, control de enfermedades y pigmentación de peces y crustáceos de importancia comercial.

Keywords: *alimentos funcionales, probióticos, Fito bióticos, simbióticos*

1.Introducción

La acuicultura es probablemente el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento y representa casi el 50% del pescado destinado a la alimentación a nivel mundial, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y la disminución de la pobreza en el mundo (FAO.2016). Sin embargo, los organismos acuáticos son susceptibles a las enfermedades infecciosas y nutricionales, que trae como consecuencia mortalidad y bajas tasas de crecimiento, de tal forma, que se demandan procedimientos estrictos y estrategias de alimentación para su correcto aprovechamiento, desde la fase de cría hasta la etapa de comercialización (Sharifuzzaman y Austin, 2017). En la actualidad, la optimización de las dietas y el control de las enfermedades son dos objetivos principales para garantizar la continua expansión de la acuicultura, sobre todo porque en la mayoría de los casos las dietas comerciales no cubren todos los requerimientos de las especies cultivadas, por lo que se requiere adicionar diferentes sustancias que mejoren su nutrición y salud (D'Abramo, 2018). Así mismo otra problemática dentro de la producción acuícola es el abuso de la aplicación de compuestos químicos y antibióticos lo que ha provocado un gran incremento en la presencia de plásmidos resistentes a dichos compuestos, contaminación de los cuerpos de agua y la restricción de las exportaciones por presencia de residuos en los tejidos de los peces, llegando a incidir en la salud humana (Del'duca *et al.*, 2013). Considerando que estando en cautiverio es difícil proveer todos los nutrientes que requieren los organismos en cultivo, es importante adicionar diferentes sustancias que mejoren su estado nutricional y obtener mayores tasas de crecimiento y reproducción. En ese sentido, en los últimos años se ha dado un cambio en el concepto básico de la nutrición animal ya que tradicionalmente una “dieta adecuada” estaba en función del aporte de proteína para cubrir sus necesidades metabólicas y satisfacer la sensación de hambre de las especies en cultivo (Cheng *et al.*, 2012), pero hoy en día se busca lograr el bienestar animal mediante el aporte de todos los requerimientos nutricionales con el uso de microorganismos y sustancias que mejoren su nutrición y salud. En años recientes se ha desarrollado una novedosa etapa en el área de las ciencias de los alimentos y de la nutrición animal, donde se ha tomado particular atención en la interacción alimentos-medicina reconocidos con la denominación de "alimentos funcionales", donde se acentúa el papel de los componentes alimenticios como nutrientes esenciales para el

mantenimiento de la vida y la salud, pero destaca también el papel de elementos no nutricionales, que contribuyen a prevenir o retardar las enfermedades (Pérez *et al.*, 2014).

2.Trabajos desarrollados en el Laboratorio de Alimentos funcionales de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

En el Laboratorio de alimentos funcionales, se han tenido avances significativos en la obtención de bacterias probióticas aisladas del tracto digestivo de diversos organismos acuáticos (*Oreochromis niloticus*, *Onchoryncus mikys*, *Macrobrachium* sp, *Puntius conchoni*, *Puntius tetrazona*, *Ambystoma mexicanum*, entre otros) (Monroy *et al.*, 2015; Ramirez *et al.*, 2018) conformando un cepario de más de 60 especies, las cuales han sido sometidas a diversas pruebas tanto *in vitro* como *in vivo* para determinar su potencial probiótico, lo cual es importante ya que en la mayoría de los estudios realizados en otras instituciones, han utilizado probióticos comerciales aislados de mamíferos o del ser humano con resultados no tan eficientes como los observados con las cepas aisladas de los organismos acuáticos (Ponce *et al.*, 2016). Dentro de los parámetros evaluados en los peces, crustáceos y anfibios están: la sobrevivencia, el crecimiento, el incremento de la actividad enzimática digestiva, la composición de la microbiota intestinal mediante secuenciación masiva (Orozco *et al.*, 2015; Monroy, 2017; Cienfuegos *et al.*, 2018)

También se han utilizado las cepas aisladas para el control de diversas enfermedades infecciosas en los peces. Sin embargo, hay muchos otros aspectos que evaluar, como es el caso de la respuesta inmune. Por ello, en los últimos meses se está llevando a cabo el análisis del incremento de la actividad inmunológica mediante el conteo de linfocitos, macrófagos y células granulares eosinofílicas, así como algunas moléculas inmunológicas como la proteína C reactiva, la lisozima y se está iniciando una tesis doctoral para evaluar el efecto de bacterias probióticas sobre la expresión de los genes (*trf*, *il-1b*, *fnt α*) relacionados con la respuesta inmune innata (Ray *et al.*, 2012).

Es importante mencionar que, dentro de los alimentos funcionales, el proyecto se ha centrado más en el estudio de probióticos, por el tiempo y esfuerzo que han requerido. Pero hemos podido evaluar diferentes fuentes prebióticas como la inulina de agave, la *Moringa oleorifera* y el acetato, para estimular el crecimiento de uno o más tipos de bacterias benéficas intestinales en los peces y crustáceos (Orozco *et al.*, 2017) si bien se ha observado que si son

una fuente de carbono ideal para las bacterias, cuando se administra en la dietas de los peces, en la mayoría de los casos los resultados no han sido del todo satisfactorios, consideramos que esto se debe a que se han utilizado fuentes vegetales utilizadas en el consumo humano, pero que en los peces puede dañar su fisiología digestiva al no contar con las enzimas para aprovecharlas, por lo que se requiere realizar más estudios para evaluar otras fuentes prebióticas más cercanas a los peces y crustáceos, como las obtenidas a partir de micro y macroalgas y plantas acuáticas (Renteria *et al.*, 2020) . En este momento se está trabajando sobre el uso de la lentejilla de agua, *Lemna minor*, la microalga *Porphiridium cruentum* y el uso de hoja de almendro *Terminalia catappa* en forma de harina. Hasta el momento los resultados han sido positivos en las pruebas *in vitro*, pero falta evaluar la parte *in vivo*, es decir, en los cultivos de peces y crustáceos adicionando dichas fuentes naturales en las dietas y en combinación con bacterias probióticas para comprobar sus efectos funcionales en forma de simbióticos. Algunos de los resultados obtenidos se discutirán a continuación:

Experiencias con el uso de probióticos endógenos

Dentro de los alimentos funcionales los microorganismos probióticos son los que más se han estudiado, los cuales son definidos como microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades apropiadas, confieren al hospedero un beneficio para su salud (FAO,2006). La principal diferencia entre la concepción de probiótico en organismos terrestres y acuáticos, es que los benéficos no solo son conferidos al hospedero, sino también al ambiente (Dalmin *et al.*, 2001; Nimrat *et al.*, 2012); debido a que la dinámica entre organismos acuáticos y su ambiente es diferente ya que comparten el mismo nicho y por tanto hay una relación directa (Spanggaard *et al.*, 2000; Ray *et al.*, 2012).

Pero para poder hablar de probióticos y sobre todo de los que han sido aislados de los propios peces y crustáceos de interés, tenemos que reconocer la microbiota intestinal permanente. Por ello el estudio de la microbiota intestinal de cualquier organismo ha tomado relevancia en los últimos años, debido a que estudios más detallados han demostrado que posee numerosas e importantes funciones como la digestión, el desarrollo de la mucosa protectora, la angiogénesis, el reconocimiento del sistema inmune y la expresión de más de 200 genes (Macfarlane, 2007). En el caso de las especies acuáticas hay una estrecha relación entre la

microbiota intestinal y la que se encuentra en el medio que le rodea; algunas de las cuales pueden permanecer de manera definitiva formando parte de la microbiota benéfica. Sin embargo, se ven afectadas por diversos factores ambientales (temperatura, concentración de oxígeno, salinidad, calidad y cantidad de alimento), así como de contaminantes químicos o antibióticos, los cuales pueden dañarla y permitir que organismos patógenos ingresen y se muestren virulentos causando procesos infecciosos en los peces y crustáceos. Conocer la microbiota benéfica permanente es fundamental para obtener probióticos específicos y que puedan ser adicionados en la alimentación de los peces (Monroy y Ramírez, 2020).

Dentro de los restudios realizados podemos mencionar el de Monroy *et al.* (2016), quienes identificaron la microbiota que se encuentra en el tracto intestinal de *Chirosoma jordani*, *Chirostoma humboldtianum* y *Chirostoma estor* con la idea de reconocer aquellas que tuvieran capacidad probiótica y se pudieran utilizar como probióticos en el cultivo de peces del género *Chirostoma*. La identificación se llevó a cabo mediante la secuenciación del gen 16S del ARNr. A las cepas identificadas se les procedió a realizar los ensayos para determinar su capacidad probiótica a través de su crecimiento en pH ácido, crecimiento en sales biliares, inhibición de los patógenos *Aeromonas hydrophila* y *Vibrio fluvialis in vitro* y crecimiento frente a antibióticos según lo estipulado por la FAO (2006) y de acuerdo con los resultados evidenciaron que el tracto digestivo de peces del género *Chirostoma* analizados en esta investigación, se encuentra dominado por los filos Protobacteria, Actinobacteria y Firmicutes, identificándose 60 cepas de las cuales el 40 % corresponden al tracto intestinal de *C. jordani*, el 30% a *C. humboldtianum*, mientras que *C. estor* solo aportó el 20% de las cepas. Las tres especies analizadas comparten algunos grupos bacterianos aun cuando se cultivan en condiciones ambientales diferentes. La microbiota común entre ellos, está conformada por cepas de las especies *Lactobacillus* sp, *L. crispatus*, *Bacillus subtilis*, *B. sp*, *Aeromonas hydrophila*, *A. hydrophila caviae*, *Vibrio fluvialis* y *Pseudomonas luteola*. Las únicas especies bacterianas que resistieron las pruebas de estrés corresponden al Género *Bacillus* representadas por *Bacillus subtilis*, *Bacillus sp*, *Bacillus laterodporus*, por lo que son buenos candidatos probióticos para el cultivo del género *Chirostoma*. En otro estudio realizado por Orozco en el 2017, donde identificó la microbiota de *Carasisus auratus*, se pudo observar que hay variaciones con las bacterias dominantes en comparación con el estudio anterior, ya que para *C. auratus* las especies dominantes fueron: *Bacillus*

methylophilus, *Vibrio* sp. *Vagococcus* sp, *Bacillus cereus*, *Brevibacillus agri*, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas stutzeri*, *Shewanella xiamensis* *Enterococcus* sp. *Enterococcus eurekaensis*, *Paenibacillus lactis*, *Bacillus* sp, *Morganella morganii*. Para este caso solo *Pseudomonas stutzeri*, *Shewanella xiamensis* y *Morganella morganii* cumplieron con las características para ser considerados como probióticos.

Para el Caso de la Trucha arcoíris, Ramirez *et al.*, (2017) identificaron como parte de la microbiota benéfica con características probióticas a las bacterias *B. pumilus*, *S. xiamensis*, *Bacillus* sp. *B. methylophilus* y *Rhodococcus* sp. Como podemos observar en los casos anteriores, la microbiota benéfica intestinal varía entre las especies, dependiendo sus hábitos alimenticios, el tipo de cultivo y los factores ambientales, esto permite reconocer la necesidad de buscar probióticos específicos para brindar un mejor resultado (Monroy *et al.*, 2016).

Estudios con relación a la aplicación de probióticos endógenos

Los probióticos proveen de diversos beneficios a las especies cultivadas a través de diversos mecanismos de acción, por ejemplo, al producir compuestos antimicrobianos y enzimas digestivas mejoran la nutrición de los peces, facilitan la conversión de alimento, refuerzan el sistema inmune e incrementan la tolerancia a las enfermedades (Sharifuzzaman y Austin, 2017). En ese sentido, los estudios sobre fisiología digestiva han resultado de gran utilidad, ya que los peces en cultivo toman componentes de la dieta y los utilizan para formar moléculas para la construcción de tejido o bien son usadas como combustible para el desarrollo de las distintas actividades como movimiento, reproducción, competencia, defensa entre otras.

Tal es el caso del estudio de Guardiola *et al.* (2016) quienes efectuaron el control biológico de *Aeromonas salmonicida* en *Puntius Conchoniis* en condiciones de laboratorio y granja. En los cuales realizaron pruebas desafío con el patógeno y los probióticos *Citrobacter* sp, *Exiguobacterium* sp. y *Enterobacter* sp a una concentración de 10^7 ufc/ML, la primera fase en laboratorio y la segunda en granja productora de peces de ornato. Trabajo relevante ya que la mayoría de los estudios de laboratorio no reflejan las condiciones ambientales y de manejo de las granjas, dado que en condiciones de laboratorio no se produjo el proceso infeccioso al inocular el patógeno. Debido a que en condiciones de laboratorio los parámetros ambientales son controlados y no se cumple con la triada ecológica de un proceso infeccioso la cual indica

que los animales deben estar susceptibles, el patógeno debe ser virulento y debe haber condiciones favorables para este, pero en condiciones de granja el proceso infeccioso se desarrolló en las primeras 24 horas en las que se suministró *A. salmonicida* a través de *Artemia*, al observarse heridas en la piel, petequias, nado errático, exoftalmia, características de la septicemia hemorrágica. lo cual se ve atribuido a las variaciones ambientales y el estrés por el manejo.

En los tratamientos donde se adicionó *Citrobacter* sp, *Exiguobacterium* sp. y *Enterobacter* sp. junto con el patógeno, tuvieron una supervivencia del 100, 88 y 44% respectivamente, mientras que en el tratamiento control la mortalidad fue del 100%. Lo que implica que las bacterias probióticas lograron eliminar el proceso infeccioso al excluir a *A. salmonicida*. Tal como se muestra en la figura 1.

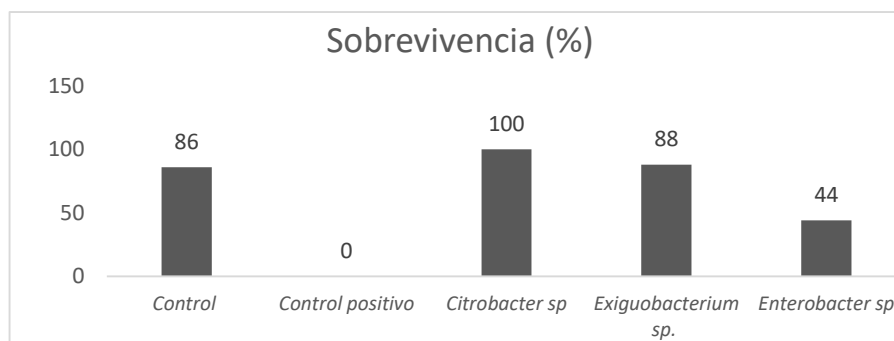


Figura 1.-Porcentaje de supervivencia de los peces durante la prueba desafío en granja. El control fue tratamiento que solo se alimentó con *Artemia* sin probiótico y sin patógeno. El control positivo solo se alimentó con *Artemia* y la bacteria patógena.

Otra de las experiencias interesantes obtenidas por el grupo de investigación, es que durante todo este tiempo que hemos caracterizado bacterias probióticas, hemos encontrado algunas cepas que además de ser probióticas tienen potencial Biotecnológico, como es el caso de la bacteria *Rhodococcus* sp la cual produce pigmentos carotenoides que pueden ser utilizados de manera exitosa en la acuicultura enfocada a la producción de especies ornamentales, ya que la coloración es uno de los puntos primordiales para su comercialización, sobre todo si se considera que los peces son incapaces de sintetizar carotenoides de novo, por lo que requieren ser adicionados en la dieta o estar presentes en el sistema de cultivo (Rajinder y Tarang, 2017). Así mismo es importante resaltar que los pigmentos carotenoides tienen una

importancia fisiológica en los peces, que implican propiedades antioxidantes, precursores de hormonas, promotores de crecimiento y mejoras en la sobrevivencia larvaria (Meyers, 2000).

En ese sentido podemos citar el trabajo de Ponce *et al.*(2016), en el cual se evaluó el efecto de la bacteria *Rhodococcus sp.* en el crecimiento, sobrevivencia y coloración de *Puntius conchoni*, a un lote de 300 larvas de siete días después de la eclosión que fueron divididas en seis acuarios de 60 litros (50 org/acuario) y alimentados con nauplios de *Artemia franciscana* enriquecida con *Rhodococcus sp.* a una concentración de 1×10^7 ce/mL También se contó con un tratamiento control donde las larvas solo se alimentaron con nauplios de *Artemia* sin probiótico. Cada quince días se obtuvieron los parámetros biométricos como peso, longitud total, alto y ancho. Al mismo tiempo se midieron parámetros fisicoquímicos como pH, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos y amonio y se evaluó el incremento de la coloración de los peces siguiendo el método para la extracción de pigmentos descrito por Olson (1979) y citado en Narayan *et al.* (2008). El periodo de alimentación se llevó a cabo durante 60 días. La sobrevivencia, fue del 100% en ambos tratamientos, pero para el caso del crecimiento se observaron mejores resultados en longitud total, ancho y peso en los peces alimentados con *Rhodococcus* en comparación con el control (Tabla1). Con respecto a la coloración de los peces, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P=0.035$) observándose mejor coloración en el tejido de los peces al utilizar el probiótico, demostrando que este género presenta enormes beneficios, ya que no solo mejora los parámetros productivos, sino que también incrementa la coloración de los peces.

Tabla 1. Valores promedio del crecimiento (peso, longitud, altura y ancho) de *Puntius conchoni*

Mediciones	Control				<i>Rhodococcus</i>			
	Peso (g)	Longitud (mm)	Alto (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)	Longitud (mm)	Alto (mm)	Ancho (mm)
1	0.24 ± 0.027	22.52 ± 1.277	6.60 ± 0.555	3.01 ± 0.146	0.33 ± 0.073	25.84 ± 1.419	7.98 ± 0.702	3.88 ± 0.197
2	0.74 ± 0.249	27.58 ± 2.149	7.55 ± 1.075	2.51 ± 0.218	0.99 ± 0.712	32.11 ± 1.083	10.63 ± 0.302	4.49 ± 0.137
3	0.49 ± 0.071	32.61 ± 0.444	10.93 ± 0.445	4.98 ± 0.096	1.18 ± 0.110	34.37 ± 1.637	11.60 ± 0.242	5.58 ± 0.369
4	0.69 ± 0.038	33.09 ± 1.471	12.71 ± 0.278	4.21 ± 0.142	1.09 ± 0.002	38.42 ± 0.987	13.12 ± 0.200	5.02 ± 0.330
Ganancia obtenida	0.006	2.81	4.59	0.002	0.072	8.07	1.14	1.03



Rhodococcus Control
 Figura 3. Diferencia de coloración de los peces entre tratamientos



Figura 4. *Rhodococcus* sp en placa.

Tabla 3. Densidad óptica y contenido de carotenoides en ambos tratamientos

Tratamientos	Densidad óptica (500 nm)	Contenido de carotenoides
<i>Rhodococcus</i> sp	0.085	3.4
<i>Rhodococcus</i> sp	0.175	7.04
<i>Rhodococcus</i> sp	0.156	6.24
Control	0.051	2.04
Control	0.052	2.08
Control	0.53	2.12

Uso de extractos algales como aditivos funcionales en la acuicultura

La alimentación de especies acuícolas en el futuro va orientada a tres aspectos: mayor utilización de proteínas vegetales y derivados de proteínas animales; menor excreción de nutrientes en las aguas y mínimo riesgo para la salud humana. Las múltiples posibilidades de elaboración de alimentos funcionales basados en la incorporación de ingredientes con actividad biológica en alimentos convencionales permiten el desarrollo de una gama de productos que pueden ser utilizados (FECYT,2005). Sin embargo, la elección de dichos aditivos es importante, para buscar aquellos compuestos obtenidos de ambientes cercanos a las especies de interés con el fin de minimizar los efectos negativos. En el caso de los extractos algales podemos encontrar las microalgas como *Spirulina*, *Chlorella* y *Dunaliella*, las cuales se pueden producir a través de tecnologías de bajo costo y se comercializan como

polvos secos, pastillas y en forma líquida; así mismo las macroalgas de los géneros *Laminaria*, *Undaria*, *Durvillea* y *Ascophyllum*, que se utilizan como fuente de yodo, aluminio y hierro adicionados al alimento balanceado (Hussein *et al.*, 2019) y han mostrado su capacidad de funcionar como antioxidante además de interactuar en la fosforilación de proteínas, quelación de hierro e interferir con diversas reacciones enzimáticas, siendo la más relevante su función como antioxidantes.

En nuestra experiencia hemos optado por el uso de extractos de *Lemna Minor* para especies dulceacuícolas como la tilapia, y algunos peces ornamentales (Rentería *et al.*, 2020). También la inclusión de extractos acuosos de las hojas de *Terminalia catapa* en peces ornamentales, donde hemos observado resultados positivos, en la sobrevivencia, crecimiento, control de patógenos e incremento de pigmentos para el caso de *T. catapa*.

Uso de alimentos funcionales como inmunoestimulante

Por otra parte, los aditivos acuícolas no solo se han utilizado para mejorar la nutrición, sino que también funcionan como inmunoestimulantes. La inmunidad innata es un mecanismo de defensa sumamente importante en los peces, lo que les permite protegerse de una gran variedad de microorganismos que están inmersos en el agua que les rodea (Mohammadian *et al.*, 2016). Con el descubrimiento del ADN a finales del siglo veinte y posteriormente con los estudios sobre los mecanismos que codifican la información genética, se ha abierto la posibilidad para comprender muchos procesos de respuesta a alteraciones ambientales o aditivos en los alimentos. Dentro de las herramientas moleculares, la expresión de genes nos permite identificar los cambios transcripcionales como respuesta al uso de aditivos y nuevos componentes en las dietas (Zaha *et al.*, 2019). Por lo tanto, se convierte en una herramienta eficaz para identificar los factores claves para la supervivencia de los peces y con ello, establecer las bases para diseñar programas específicos de nutrición y control de enfermedades mediante el uso de inmunoestimulantes en acuicultura. Respecto a las diferencias entre peces y el sistema inmunitario de los mamíferos, una de las más marcadas es la ausencia de medula ósea y ganglios linfáticos, considerándose en los peces óseos al timo, riñón y bazo como análogos a la medula ósea y ganglios linfáticos en la Tabla 1 se describen las funciones de dichos órganos. Por otro lado, las investigaciones más recientes, consideran al microbioma (conjunto formado por los microorganismos en un nicho ecológico

dado), como un nuevo órgano/tejido y lo destacan por las diversas funciones relacionadas con la respuesta inmune en las que participa (Barko *et al.*, 2018).

Tabla 1 Principales órganos del sistema inmune y sus funciones (Barko *et al.*, 2018)

Órgano	Función relacionada a la inmunidad
Timo	Su principal función es la diferenciación y selección de linfocitos T.
Riñón	Contiene un gran número de macrófagos y de linfocitos B, debido a su gran capacidad hematopoyética se le considera como un análogo de la médula ósea de los mamíferos.
Bazo	Tiene funciones semejantes a las del riñón con énfasis en la presentación de antígenos y la inducción de la respuesta inmune adaptativa.
Tejido linfoide asociado a mucosas o intestino (MALT y GALT)	Se considera tejido con importantes funciones defensivas, está conformado por diferentes tipos celulares asociados a la respuesta inmune como; linfocitos, células plasmáticas, macrófagos y algunos tipos de granulocitos.
Microbioma	Participa en la señalización endocrina, prevención de la colonización de microorganismos patógenos y regulación de la función inmunológica.

La respuesta innata incluye todos componentes presentes en el cuerpo antes de la aparición del agente patológico, entre estos componentes se encuentra la piel como una barrera física, el sistema de complemento, enzimas antimicrobianas, Interleucinas, el interferón y células, tales como granulocitos, monocitos, macrófagos, y células citotóxicas no específicas (NCC) (Biller y Urbinati , 2014).

Así mismo este mecanismo de defensa se caracteriza por presentar una serie de receptores de reconocimiento de patrones codificados en la línea germinal que reconocen dos tipos de patrones moleculares: los asociados a patógenos (PAMPs) como las glicoproteínas y lipopolisacáridos (LPS) de bacterias y hongos, el ADN bacteriano, el ARN viral y otras moléculas que no se encuentran normalmente en la superficie de los organismos multicelulares y por otro lado, los patrones moleculares del propio hospedador, que son el resultado del daño tisular debido a la infección o trauma, cambios necróticos o muerte celular

programada natural, pero que no se expresan normalmente en la superficie celular (Magnadóttir, 2006).

Entre los beneficios del uso de probióticos es el modular aspectos relacionados a la respuesta innata, al incrementar la expresión de genes proinflamatorios y anti-inflamatorios así como la expresión de receptores en la mucosa que disparan la respuesta inmune inespecífica, aumentan los niveles de células y proteínas relacionadas con la inmunidad inespecífica, producen sustancias antimicrobianas y presentan antagonismo frente a organismos patógenos (Gómez y Balcazar, 2008). En la tabla 2, se muestran algunas cepas empleadas en *O. niloticus* y el efecto producido en parámetros de la respuesta inmune.

Tabla 2 Algunas cepas probióticas y su efecto sobre la inmunidad de *O. niloticus*

Cepa	Fuente	Efecto	Referencia
<i>Bacillus pumilus</i>	Peces cultivados	Incremento en la actividad fagocítica y los niveles de aniones superóxido, indican una resistencia más efectiva frente a estreptococosis	Srisapoomme y Areechon, 2017
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	n/e	Incrementa la actividad de lisozima y mejora en adherencia de neutrófilos , así como resistencia contra patógenos	Aly <i>et al.</i> , 2008
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Humanos	Incremento de linfocitos intraepiteliales, granulocitos acidofilicos, y aumento en la actividad del complemento y TNF α e IL-1.	Pirarat <i>et al.</i> , 2011

<i>Pediococcus acidilactici</i>	Laboratorio	Aumento en los niveles séricos de lisozima y leucocitos, efecto competitivo en intestino	Ferguson <i>et al.</i> , 2010
<i>Lactobacillus plantarum AH 78</i>	Ambiente marino	Observó una regulación significativa de la expresión de los genes de citocinas, IL-4, IL-12 e IFN- γ	Hamdam <i>et al.</i> , 2016

En la búsqueda de promover el bienestar y preservar la calidad del animal, sin comprometer al medio ambiente y la salud de los consumidores, la investigación científica se ha enfocado en la evaluación de inmunoestimulantes y antioxidantes provenientes de fuentes naturales (Bulfon y *et al.*, 2015). En este sentido, los polifenoles y flavonoides presentes en las plantas exhiben propiedades inmuno-estimulantes; estas últimas relacionadas directamente con la reducción de estrés oxidativo, el incremento de función hormonal y una mejor digestión, de tal manera que junto con los probióticos constituyen una herramienta de gran potencial para la reducción de enfermedades debido a la mejora de la respuesta inmune. Sin embargo, queda mucho por experimentar y comprender sobre el uso de aditivos, también será necesario reglamentar el uso de estos aditivos con las pruebas que permitan reconocerlos como seguros para el cultivo de peces y crustáceos, pero también para el ambiente y la salud del ser humano como consumidor final. Resaltar la necesidad de un marco regulatorio será determinante para el éxito en el sector acuícola (Monroy y Ramírez, 2020).

Literatura citada

- Balcazar, Jose & de Blas, Ignacio & Ruiz-Zarzuela, Imanol & Cunningham, David & Vendrell, Daniel & Muzquiz, José. (2006). The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary Microbiology*. 114. 173-86. 10.1016/j.vetmic.2006.01.009.
- Barko, P., McMichael, M., Swanson, K. y Williams, D. (2018), El microbioma gastrointestinal: una revisión. *J Vet Intern Med*, 32: 9-25. <https://doi.org/10.1111/jvim.14875>.
- Biller-Takahashi JD, Urbinati EC. *Fish Immunology*.(2014) The modification and manipulation of the innate immune system: Brazilian studies. *An Acad Bras Cienc*. 2014 Sep;86(3):1484-506. doi: 10.1590/0001-3765201420130159. Epub. Sep 9. PMID: 25211116.
- Bulfon, C. (2015) Current research on the use of plant-derived products in farmed fish. *Aquaculture Research*, v.46, n.3, p.513-551, mar. 2015. Available from: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/are.12238/full>>. Accessed: Mar. 19, 2017. doi: 10.1111/are.12238.
- Cheng Z., Gatlin D.M. & Buentello A. (2012) Dietary supplementation of arginine and/or glutamine influences growth performance, immune responses and intestinal morphology of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*). *Aquaculture* 362–363, 39-43.
- Cienfuegos KM, Monroy, M.C, Hamdan, AP, Castro, JM, Aguirre, JFG, Bustos, JAM. (2018). Effect of two probiotics on bacterial community composition from biofloc system and their impact on survival and growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6(2): 523–533.
- Dalmin, G & Kandasamy, Kathiresan & Purushothaman, A. (2001). Effect of probiotics on bacterial population and health status of shrimp in culture pond ecosystem. *Indian Journal of Experimental Biology*. 39. 939-42.
- D'Abramo, L. (2018). Fulfilling the Potential of Probiotics, Prebiotics, and Enzymes as Feed Additives for Aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society* Vol. 49, No. 3 June, 2018 doi: 10.1111/jwas.12528.
- Del'duca, A. Cesar, DE, Diniz, CG y Abreu, PC. (2013) Evaluation of the presence and efficiency of possible probiotic bacteria in the intestine of tilapia (*Oreochromis niloticus*) using the fluorescent in situ hybridization technique.. *Aquaculture*. 388–391 , 115 – 12
- FAO (2006). Probióticos en los alimentos propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Vol. 8. 83p.
- FAO. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT. (2005). Alimentos funcionales. SBN/NIPO: 84-689-4204-9.313p
- Gómez GD, Balcázar JL. A. (2008). Review on the interactions between gut microbiota and innate immunity of fish. *FEMS Immunol Med Microbiol*. Mar;52(2):145-54. doi: 10.1111/j.1574-695X.2007.00343.x. Epub 2007 Dec 14. PMID: 18081845.

- Guardiola, Á. K. A., Monroy, D. M.C., Rodríguez, G.M. Núñez, C. M.T. (2016). Biological control of *Aeromonas salmonicida* in *Puntius Conchonus* culture using probiotic under laboratory and fish farm conditions. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 4(4): 440-443
- Hussein R. A., Abeer A.A. Salama, M. E. El Naggar, Gamila H. A. (2019). Medicinal impact of microalgae collected from high rate algal ponds; phytochemical and pharmacological studies of microalgae and its application in medicated bandages, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Volume 20,
- González, R. M. Monroy, D.M.C, Guzmán, G.X. Hernández, C.I., Ramos, L M.A. (2020) Antibacterial activity of *Lemna minor* extracts against *Pseudomonas fluorescens* and safety evaluation in a zebrafish model, *Saudi Journal of Biological Sciences*. Saudi Journal of Biological Sciences. Volume 27, Issue 12, 3465-3473
- MacFarlane GT, Cummings JH, Allison C. (2007) Protein degradation by human intestinal bacteria. *J Gen Microbiol* ;132:1647-1656.
- Magnadóttir B. (2006). Innate immunity of fish (overview). *Fish Shellfish Immunol.* ;20(2):137-51. doi: 10.1016/j.fsi.2004.09.006. PMID: 15950491.
- Meyers SP, Sandersonn GW. Natural pigments for salmon feeds. *Feed Man.*, (200); 43:12-20.
- Mohammadian, T., Alishahi, M., Tabandeh, MR., Ghorbanpoor, M., Gharibi, M. (2016) Efectos probióticos de *Lactobacillus plantarum* y *L. delbrueckii* ssp. *bulguricus* sobre algunos parámetros relacionados con la inmunidad en *Barbus grypus*. *Aquac Int.* 24: 225-242.
- Monroy, D.M.C., Castro, M.J., Castro, M. G., De Lara, A. R., Ocampo, C. J.A. and Cruz, C. I. (2015) El uso de cinco cepas probióticas para la determinación de la sensibilidad (positiva o negativa) del crecimiento de bacterias patógenas (in vitro), aisladas de peces enfermos. *Revista E-Bios*, 1: 25 - 31.
- Monroy, D.M.C, Velasco, S.J, Retana, O. D. A, Peralta, M. Á. Hernández, M.M, Rodríguez, M. O. G. A, Román, R. C. (2016). Intestinal microbiota composition with probiotic potential of three species of the genus *Chirostoma*. *International Journal of Animal Science*. 5(5): 297-305
- Monroy, D. M.C y Ramírez, T. J. A. (2020). La necesidad en México de generar un marco regulatorio para el uso de aditivos probióticos en la acuicultura costera. Cap. 40. Rivera-Arriaga, E., I. Azuz-Adeath, O. D. Cervantes Rosas, A. Espinoza-Tenorio, R. Silva Casarín, A. Ortega-Rubio, A. V. Botello y B. E. Vega-Serratos (eds.), *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones*. Universidad Autónoma de Campeche, ricomar. 894 p.
- Narayan, S., Kass, K.E., Thoma, SEA. (2007). El tratamiento crónico con haloperidol da como resultado una disminución en la expresión de mielina / oligodendrocito-genes relacionados en el cerebro del ratón. *J. Neurosci. Res.*, 85, 757-765.
- Nimrat, S, Suksawat, S, Boonthai, T, Vuthiphandchai, V. (2012). Potential *Bacillus* probiotics enhance bacterial numbers, water quality and growth during early development of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Veterinary microbiology*. 159. 443-50. 10.1016/j.vetmic.2012.04.029
- Orozco, R. D. I, Monroy, D. M.C, Castro, M. J. Hamdan, P. A, Ramírez, T. A. (2017). Microbiota intestinal de peces ornamentales *Carassius auratus*. *Scientif Journal of Animal Science*(2016) 5(2) 239-245

- Pérez, Rocmira, Romeu, Belkis, Lastre, Miriam, Morales, Yeny, Cabrera, Osmir, Reyes, Laura, González, Elizabeth, Sifontes, Sergio, & Pérez, Oliver. (2014). Immunopotentiators for the Aquaculture. *Vaccimonitor*, 23(1), 24-31.
- Ponce GCV, Monroy DMC, Ramirez TJA, Ocampo CJA, Castro MJ. *Rhodococcus* sp. as probiotic bacteria for increase the survival, growth and coloration of fish *Puntius conchonus*. *Scientific Journal of Animal Science*. 2016; 5(12):370-375.
- Ramírez-T. J, Monroy, D.M.C,Hernández, H.L, Castro, M, J. Bustos,M. J, Hamdan, P. A. (2018). Presumptive probiótic isolated de *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), cultivated in México. En t. J. of Aquatic Science , 9 (1), 3-12.
- Ray, A.K. K, Ghosh , E. Ringø. (2012) Bacterias productoras de enzimas aisladas del intestino de pescado: una revisión *Acuicultura. Nutr. , 18 (2012) , págs. 465 – 492.*
- Rajinder Kaur and Tarang Kumar Shah.(2017). Role of feed additives in pigmentation of ornamental fishes. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 2017; 5(2): 684-686.
- Sharifuzzaman, Sm & Austin, Brian. (2017). Probiotics for disease control in aquaculture. *Diagnosis and Control of Diseases of Fish and Shellfish*,First Edition. Edited by Brian Austin and Aweeda Newaj-Fyzul.© 2017 John Wiley & Sons Ltd.
- Spanggaard, B & Huber, I & Nielsen, J & Nielsen, T & Appel, K.F & Gram, Lone. (2000). The microflora of rainbow trout intestine: A comparison of traditional and molecular identification. *Aquaculture*. 182. 1-15. 10.1016/S0044-8486(99)00250-1.
- Zaha, D. C, Simona, B, Selim, A, Mirela, D, Cosmin. Tit. Mihai, V., Amarin, R. P, Pantis, C. Maghia, O. A, Bratu, O.G, Furau,C. R, Moleriu,D, Petre, I. (2019).What antibiotics for what pathogens? The sensitivity spectrum of isolated strains in an intensive care unit,*Science of The Total Environment*, Volume 687.