

Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión

The probiotics and their metabolites in aquaculture. A review

María de Lourdes Pérez-Chabela*¹, Yenizey, M. Alvarez-Cisneros¹, Jorge Soriano-Santos¹ y Marco Aurelio Pérez-Hernández².

Recibido: 07 de noviembre de 2018.

Aceptado: 23 de marzo de 2020.

Publicado: abril de 2020.

RESUMEN

Antecedentes: Actualmente la acuicultura produce la mitad del pescado que se consume en el mundo. En México esta actividad debe tender a la sustentabilidad, propiciando que los medios de producción y los productos obtenidos incrementen su calidad y cantidad, se diversifiquen y disminuyan su impacto ambiental. **Objetivos:** Analizar la información referente al uso de probióticos en la acuicultura y su perspectiva actual de desarrollo en México. **Métodos:** Se compiló la literatura disponible sobre probióticos en procesos acuiculturales, con énfasis en la evaluación de los efectos positivos en la producción, inocuidad, seguridad alimentaria y sustentabilidad. **Resultados:** La información analizada permite establecer que, la resistencia de los microorganismos patógenos a antibióticos se ha vuelto un problema en esta actividad cuando se desea prevenir o tratar enfermedades en las especies cultivadas. En la acuicultura, los probióticos han demostrado tener grandes beneficios, como estimular la respuesta inmune, incrementar la sobrevivencia de las larvas, el apetito y la resistencia a enfermedades, mejorar el crecimiento, rendimiento y producción y reducir significativamente la producción de residuos contaminantes. Los probióticos más utilizados son las bacterias ácido lácticas y sus metabolitos como las bacteriocinas, sin embargo, también se utilizan otros géneros de bacterias como: *Bacillus* y *Streptomyces*, además de microalgas y levaduras. **Conclusiones.** En México, la investigación y uso de probióticos en procesos de producción acuícola debe reforzarse, ya que representan un gran potencial social, económico y ecológico-ambiental y los sectores involucrados deben poner especial atención al respecto, dados los resultados exitosos obtenidos en otras regiones del mundo.

Palabras clave: acuicultura, metabolitos, probióticos

ABSTRACT

Background: Currently, aquaculture produces half of the fish consumed in the world. In Mexico, this activity must tend towards sustainability, favoring that the means of production and the products obtained increase their quality and quantity, diversify and reduce their environmental impact. **Objective:** Analyze the information regarding the use of probiotics in aquaculture and its current development perspective in Mexico. **Methods:** The available literature on probiotics in aquacultural processes was compiled, with emphasis on the evaluation of positive effects in production, safety, food safety and sustainability. **Results:** The information analyzed allows establishing that the resistance of pathogenic microorganisms to antibiotics has become a problem in this activity when it is desired to prevent or treat diseases in cultivated species. In aquaculture, probiotics have shown great benefits, such as stimulating the immune response, increasing the survival of larvae, appetite and disease resistance, improving growth, yield and production and significantly reducing the production of polluting waste. The most commonly used probiotics are lactic acid bacteria and their metabolites such as bacteriocins, however, other genera of bacteria are also used, such as *Bacillus* and *Streptomyces*, as well as microalgae and yeasts. **Conclusions:** In Mexico the research and use of probiotics in aquaculture production processes must be reinforced, since they represent a great social, economic and ecological-environmental potential and the sectors involved must pay special attention to this, given the successful results obtained in other regions of the world.

Keywords: aquaculture, metabolites, probiotics

¹ Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 196, Colonia Vicentina. Alcaldía Iztapalapa. 09340. Ciudad de México

² Departamento de Biología. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 196, Colonia Vicentina. Alcaldía Iztapalapa. 09340. Ciudad de México

***Corresponding author:**

María de Lourdes Pérez-Chabela: e-mail: lpch@xanum.uam.mx

To quote as:

Pérez-Chabela M. de L., Y. M. Alvarez-Cisneros, J. Soriano-Santos & M. A. Pérez-Hernández. 2020. Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión. *Hidrobiológica* 30 (1):93-105.

DOI: [10.24275/uam/izt/dcb/hidro/2020v30n1/Perez](https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcb/hidro/2020v30n1/Perez)

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el acceso humano al consumo de proteína animal consta básicamente de tres fuentes: cárnica (bovinos y porcinos), aves y pescados y mariscos. A diferencia de las dos primeras, la proteína de pescado (derivada de peces, crustáceos y moluscos, en general), procede de la pesca de captura (extracción del medio natural) y de algún tipo de manejo o cultivo definido como acuicultura. A diferencia de la agricultura y ganadería, la acuicultura se ha desarrollado y expandido por todo el mundo de manera significativa a partir de la mitad del siglo pasado. En términos per cápita, el consumo de pescado comestible aumentó de 9.0 kg en 1961 a 20.2 kg en 2015, a una tasa media de aproximadamente un 1.5% al año (FAO, 2018).

La producción de proteína de especies acuáticas, derivada de la pesca de captura y de la acuicultura (a pesar de su impresionante incremento productivo en los últimos 40 años), muestra grandes contrastes entre países desarrollados y en desarrollo en cuanto avance tecnológico, eficiencia productiva y reducción de niveles de impacto ambiental. En México (y gran parte de Latinoamérica), la pesca de captura de las especies de escama marinas más importantes, se encuentran sobreexplotadas. Mientras la producción acuícola se ha incrementado y mantenido en las últimas dos décadas en nuestro país, su desarrollo también presenta grandes niveles de desigualdad productiva y económica a nivel regional o estatal (Inzunza-Montoya, 2014).

Los sistemas de producción acuícola (desarrollados en ambientes marinos, salobres o continentales-dulceacuícolas), poseen elementos de control que no poseen las pesquerías de captura y suelen diferenciarse en intensivos semintensivos y extensivos. Éstos, por ser más rudimentarios, suelen manejarse con bajos insumos y aporte tecnológico, a diferencia de los intensivos, que pueden involucrar selección de especies, mejora genética, aprovisionamiento de alimento mejorado, control de enfermedades etc. En México, los sistemas de repoblamiento y de subsistencia (rural), característicamente extensivos de baja intervención, son los más practicados, mientras que los sistemas comerciales o industriales de tipo intensivo representan el menor porcentaje (FAO, 2005). En 2016 la producción nacional pesquera fue de 1 millón 752 mil toneladas, de las cuales 388 mil toneladas aportó la acuicultura, la cual en los últimos años, registró una tasa media de crecimiento anual de 15%, y a nivel mundial es del 6%. Este incremento tiene impacto en la mejora de la dieta de la población, se cuenta con mayor disponibilidad de alimentos con alta calidad nutricional y ayuda a la reactivación de las economías regionales (CONAPESCA, 2017).

La investigación y análisis de probióticos como elementos de impulso de la acuicultura, es un campo reciente, que en el contexto de la sustentabilidad y de la producción sostenida, pretende reducir el impacto ecológico de la producción acuícola (SAGARPA, 2013). Como probióticos los microorganismos actúan beneficiando al hospedero: a) por exclusión competitiva de microorganismos patógenos en el tracto digestivo; b) induciendo una respuesta inmune que puede ser efectiva contra organismos patógenos y c) aportando enzimas exógenas que coadyuvan a la digestión de los alimentos ingeridos por el hospedero (Balcazar *et al.*, 2006), además de mejorar la calidad del agua al producir oxígeno y consumir CO₂ y materia orgánica residual.

Los probióticos que favorecen el crecimiento, sobrevivencia e inmunoresistencia de organismos acuáticos (bacterias lácticas, bifidobacterias y levaduras) han sido analizados y obtenidos, principalmente

a partir de cultivos de la especie humana y de otros mamíferos (Monroy-Dosta *et al.*, 2012), aunque cada vez hay más evidencia de que estos microorganismos deben ser aislados, evaluados y aplicados de la manera más específica posible a los hospederos a los que están destinados (Sorroza-Ochoa, 2012).

Considerando que esta línea de investigación y desarrollo biotecnológico es potencialmente de gran interés dada la situación de la acuicultura en el país, el objetivo de este trabajo fue analizar la información referente al uso de probióticos en esta actividad y su perspectiva actual de desarrollo en México.

PROBIÓTICOS

La primera definición de probiótico fue acuñada por Parker en 1974, en la cual, estableció que son organismos y sustancias que contribuyen al balance microbiano intestinal. Posteriormente se han propuesto otras definiciones, como la de la FAO/WHO (2001), la cual conceptualiza a los probióticos como aquellos microorganismos vivos que, cuando son administrados en cantidades adecuadas, proporcionan un beneficio a la salud del huésped.

Finalmente, y de manera general, se consideran como probióticos a los suplementos alimenticios que contienen microorganismos vivos o muertos - o ambos -. Asimismo, se refiere a los aditivos acuosos en forma de cepas individuales o múltiples o combinadas con prebióticos u otros inmuoestimulantes, los cuales se administran para mejorar la calidad del agua, para reforzar la respuesta inmune y fisiológica de animales acuáticos y, en última instancia, para reducir el uso de compuestos químicos sintéticos, así como antibióticos en la acuicultura (Hai, 2015).

Los microorganismos probióticos se pueden aislar de varias fuentes, aunque la principal es el tracto digestivo (TD) de los animales acuáticos y el mucus de los peces. En particular, los probióticos pueden ser cultivos aislados o también hallarse en sedimentos de ambientes acuáticos o aislados de consorcios microbianos (Ferreira *et al.*, 2015).

CARACTERÍSTICAS DE LOS PROBIÓTICOS

Las características que debe tener un microorganismo para ser considerado como probiótico son las siguientes: (i) no dañar al huésped; (ii) ser aceptado por el huésped a través de la ingestión, colonización y posterior reproducción dentro del mismo; (iii) capacidad de llegar a los órganos meta donde deben ejercer su beneficio; y (iv) no ofrecer resistencia a los virus o genes de resistencia antibacteriana. Los probióticos deben seleccionarse con base en su actividad inhibidora contra los patógenos *in vitro*. De igual manera, deben evaluarse para determinar su seguridad o la patogenicidad en los huéspedes (Kesarcodi-Watson *et al.*, 2008).

Una de las características que deben tener las bacterias probióticas utilizadas en acuicultura es la actividad antimicrobiana, para así poder excluir o inhibir de forma competitiva a las bacterias patógenas presentes en diferentes especies acuáticas, entre los patógenos más importantes se encuentran: *Lactococcus garvieae*, *Listonella anguillarum* (Bergeman, 1909, McDonnell & Colwell, 1985), *Aeromonas hydrophila* (Chester, 1901), *Photobacterium damsela* (McDonnell & Colwell, 1986), *Vibrio anguillarum* (Bergeman, 1909), *Vibrio vulnificus* (Reichelt, Baumann & Baumann, 1979; Farmer, 1980) *Vibrio alginolitycus* (Miya-

moto, Nakamura & Takizawa, 1961; Sakazaki, 1968) *Streptococcus iniae*, *Carnobacterium piscicola*, y *Yersinia ruckeri* (Desriac *et al.*, 2010; Muñoz-Atienza *et al.*, 2013; Watts *et al.*, 2017).

Los probióticos son bacterias productoras de ácido láctico que se usan mucho en animales terrestres (Lauzon *et al.*, 2008), mientras que una amplia gama de microorganismos se emplea en la acuicultura, según la última Carta Nacional Acuícola publicada en 2012, se mencionan 46 especies acuícolas, 5 de especies de peces marinos (nativos), 34 dulceacuícolas (6 nativas y 28 introducidas), 3 de moluscos marinos y salobres (2 nativas y 1 introducida), 2 de crustáceos dulceacuícolas (introducidas), 1 crustáceo marino (nativo) y una especie de anfibio (introducida). De acuerdo con el Anuario Estadístico de Pesca (2011), las principales especies cultivadas en ese orden son: camarón, mojarra, ostión, carpa, trucha, atún, bagre, charal, lobina y langostino (Carta Nacional Acuícola, 2012). Tabla 1.

No sólo las bacterias pueden considerarse como probióticos porque se ha descubierto que los bacteriófagos, las microalgas y las levaduras también se utilizan comúnmente como tales en la acuicultura. De igual manera, una amplia gama de bacterias Gram-positivas se usa como probióticos en todo el mundo. Las principales aplicaciones pertenecen a los miembros del género *Bacillus*, formadores de endosporas (Hong & Cuttings, 2005), de los cuales, el más utilizado en la acuicultura es *Bacillus subtilis*. Por otro lado, se ha observado que los bacteriófagos de dos familias, *Myoviridae* y *Podoviridae*, protegieron a los peces Ayu (*Plecoglossus altivelis* Temmick & Schlegel, 1846) contra *Pseudomonas plecoglossicida*, y simultáneamente mejoraron la calidad del agua debido a que redujeron los patógenos bacterianos presentes (Park *et al.*, 2000).

De igual manera que con los probióticos, la salud de los animales acuáticos se apoya, por ejemplo, en la terapia de fagos, la cual se ha considerado como una alternativa al uso de los antibióticos en la acuicultura puesto que los fagos lisogénicos tienen la capacidad de transformar las cepas bacterianas no virulentas en virulentas (Rao & Lalitha, 2015). Asimismo, varias microalgas como la *Dunaliella salina* (Teodoresco, 1905), *Dunaliella tertiolecta* (Butcher, 1959) *Isochrysis galbana* (Parke, 1949) y *Tetraselmis suecica* (Butcher, 1959) han mejorado el crecimiento, la salud y la supervivencia de estos animales (Nass *et al.*, 1992; Marques, *et al.*, 2006). Por lo que respecta a las levaduras, se ha demostrado que varias tienen efectos benéficos en los animales acuáticos; por ejemplo, se sabe que *Saccharomyces cerevisiae* (Hansen, 1883) tiene potencial como sustituto del alimento vivo en la producción de peces payaso, entre otros.

METABOLITOS PRODUCIDOS POR BACTERIAS PROBIÓTICAS

Algunos de los compuestos antimicrobianos sintetizados y excretados por las bacterias probióticas son: antibióticos, ácidos grasos de cadena corta (fórmico, acético, propiónico, butírico y láctico), peróxido de hidrógeno, sideróforos (compuestos quelantes) de hierro, enzimas bacteriolíticas (lisozima), proteasas, amilasas, compuestos antimicrobianos tipo bacteriocina (BLIS), y bacteriocinas (Gillor *et al.*, 2008; Muñoz-Atienza *et al.*, 2013; Ibrahem, 2015; Tan *et al.*, 2016; Watts *et al.*, 2017). Aunque también existen otros metabolitos poco estudiados con alta actividad antimicrobiana, algunos de ellos son los terpenoides, alcaloides y policétidos (polímeros de subunidades acetilo y propionilo) producidos por bacterias marinas como las *Pseudomonas alteromonas* no pigmentadas, las cuales se encuentran asociadas con microorganismos (Offret *et al.*, 2016).

Los metabolitos antimicrobianos con mayor potencial para ser utilizados como biocontroladores de patógenos en la acuicultura son las bacteriocinas, y algunos metabolitos producidos por el género *Streptomyces* como los antibióticos. Aponte-Ubillus *et al.* (2015) reportaron a *Streptomyces eythrogriseus* cepa M10-77 como un productor de metabolitos antibacterianos de alta potencia y con actividad sinérgica con antibióticos de referencia médica. Evangelista-Martínez *et al.* (2017) encontraron que actinobacterias aisladas de suelos en México poseen una alta actividad antimicrobiana contra bacterias y hongos fitopatógenos. Otros antibióticos reportados producidos por el género *Streptomyces* son: terpenos, terpenoides, policétidos, péptidos, caprolactonas, butenolidas, xantonas policíclicas, piericidinas, quinonas, macrólidos, alcaloides, ésteres, estreptocordina, lactamas e inhibidores enzimáticos (Solanki *et al.*, 2008; León *et al.*, 2016).

Bacteriocinas. Las bacteriocinas son definidas por algunos autores (Desriac *et al.*, 2010; Cheng *et al.*, 2014; Ibrahem, 2015) como péptidos antimicrobianos sintetizados en los ribosomas de bacterias y algunas arqueas (organismos unicelulares carentes de núcleo), los cuales presentan actividad antimicrobiana contra cepas estrechamente relacionadas con el microorganismo productor, en su mayoría son compuestos estables a temperaturas menores a 10 °C y a pHs ácidos y neutros.

Las bacteriocinas se han considerado como un arma eficiente para proteger y defender nichos ecológicos en los criaderos utilizados en acuicultura, además la capacidad de producir bacteriocinas con alta actividad contra patógenos acuáticos y un espectro específico son consideradas como criterios de selección de probióticos, ya que no es rentable utilizar las bacteriocinas puras en este tipo de ecosistemas. Además, son una alternativa para el uso de antibióticos en acuicultura, para lo cual se recomienda seleccionar cepas bacteriogénicas de origen marino con alta actividad antimicrobiana contra patógenos acuáticos (Desriac *et al.*, 2010), y evaluar que las cepas seleccionadas no presenten genes de resistencia a antibióticos, ya que se puede presentar un problema de seguridad en los criaderos (Cheng *et al.*, 2014).

Las bacteriocinas se clasifican en dos grandes grupos: las que son producidas por bacterias Gram positivas y las producidas por Gram negativas (Álvarez-Cisneros *et al.*, 2017). Existen pocas publicaciones dedicadas a la producción de bacteriocinas por bacterias marinas. Algunas de las bacteriocinas identificadas y aisladas de bacterias presentes en nichos marinos son principalmente aisladas de corales blandos (*Sarcophyton glaucum* Quoy & Gaiward, 1833) (Elahwany *et al.*, 2015), trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) (Lobos *et al.*, 2017), pez negro japonés (*Sparus macrocephalus* Basilewsky, 1855) (Zhang *et al.*, 2013) e invertebrados marinos (ostras, briozoos, moluscos, tunicados, erizos de mar, algas y esponjas de mar) (Christensen & Martin, 2017; Desriac *et al.*, 2010). Entre las bacterias aisladas de fuentes marinas y con capacidad de producir compuestos antimicrobianos se encuentran: *Bacillus subtilis*, *Aeromonas hydrophila*, *Clostridium butyricum*, *Vibrio fluvialis*, *Vibrio mediterranei* (Pujalte & Garay, 1986), Actinobacterias (Gillor *et al.*, 2008; Desriac *et al.*, 2010) y bacterias del ácido láctico (BAL) presentes en la microbiota gastrointestinal de los peces como son: *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus*, *Carnobacterium maltaromaticum*, *Carnobacterium divergens*, *Leuconostoc lactis*, *Lactococcus lactis* y *Enterococcus faecium* (Zhang *et al.*, 2013; Gómez-Sala *et al.*, 2015; Lobos *et al.*, 2017), teniendo este grupo de bacterias una mayor capacidad de ser utilizadas como parte de un método de bioconservación por su categoría GRAS (Generally Recognize As Safe, por sus siglas en inglés).

Tabla 1. Especies acuaculturales en México, señalando el nombre científico y el nombre común, según la Carta Nacional Acuícola (2012).

Espece	Nombre Científico
Abulón colorado	<i>Haliotis rufescens</i> (Swainson, 1822)
Atún rojo del Atlántico	<i>Thunnus thynnus</i> (Linnaeus, 1758)
Bagre de canal	<i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque, 1818)
Camarón patiblando	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758)
Carpa china	<i>Ctenopharyngodon idellus</i> (Valenciennes, 1844)
Carpa plateada	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844)
Carpa cabezona	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> (Richardson, 1845)
Carpa negra	<i>Mylopharyngodon piceus</i> (Richardson, 1846)
Catán	<i>Atractosteus spatula</i> (Lacepède, 1803)
Cobia	<i>Rachycentron canadum</i> (Linnaeus, 1766)
Corvinón ocelado	<i>Sciaenops ocellatus</i> (Linnaeus, 1766)
Medregal rabo amarillo	<i>Seriola lalandi</i> (Valenciennes, 1833)
Lenguado de California	<i>Paralichthys californicus</i> (Ayes, 1859)
Langosta de agua dulce	<i>Cherax quadricarinatus</i> (Von Martens, 1868)
Langostino de río	<i>Macrobrachium rosenbergii</i> (De Man, 1879)
Ostión japonés	<i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793)
Ostra de Cortez	<i>Crassostrea corteziensis</i> (Hertlein, 1951)
Gaspar	<i>Atractosteus tropicus</i> (Gill, 1863)
Pescado blanco	<i>Chirostoma estor</i> (Jordan, 1880)
	<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)
	<i>Poecilia reticulata</i> (Peters, 1859)
	<i>Poecilia latipinna</i> (Lesueur, 1821)
	<i>Poecilia velifera</i> (Regan, 1914)
	<i>Pterophyllum scalare</i> (Schultze, 1823)
	<i>Trichogaster trichopterus</i> (Pallas, 1770)
	<i>Xiphophorus maculatus</i> (Günther, 1866)
	<i>Brachydanio rerio</i> (Hamilton, 1822)
	<i>Xiphophorus helleri</i> (Heckel, 1848)
Peces de Ornato	<i>Gymnocorymbus ternetzi</i> (Boulenger, 1895)
	<i>Melanochromis johanni</i> (Eccles, 1973)
	<i>Hemigrammus caudovittatus</i> (Eigenmann, 1907)
	<i>Haplochromis fenestratus</i> (Trewavas, 1935)
	<i>Astronotus ocellatus</i> (Agassiz, 1831)
	<i>Capoeta titteya</i> Deraniyagala, 1929
	<i>Colisa lalia</i> (Hamilton, 1822)
	<i>Neolamprologus leleupi</i> (Poll, 1956)
	<i>Hypostomus plecostomus</i> (Linnaeus, 1758)
	<i>Betta splendens</i> (Regan, 1910)
Rana toro	<i>Rana catesbeiana</i> (Shaw, 1802)
Mojarra herbívora	<i>Tilapia rendalli</i> (Boulenger, 1897)
Tilapia azul	<i>Oreochromis aureus</i> (Steindachner, 1864)
Tilapia del Nilo	<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)
Tilapia del Mozambique	<i>Oreochromis mossambicus</i> (Peters, 1852)
Tilapia adolfi	<i>Oreochromis urolepis</i> (Norman, 1922)
Trucha arco iris	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)

Gómez-Sala *et al.* (2015) realizaron un estudio en el cual aislaron bacterias de peces, mariscos y productos de origen marino, encontrando que el género *Enterococcus* tiene una presencia del 72% entre las diferentes fuentes de aislamiento, los genes estructurales de bacteriocinas identificados entre las cepas aisladas son entL50A–entL50B y entP, son pocos los estudios de bacteriocinas obtenidas de bacterias acuáticas que son caracterizadas de forma bioquímica y molecular. Otros estudios, se han enfocado a la aplicación de bacteriocinas producidas por BAL previamente caracterizadas, en productos de importancia económica en la acuicultura como parte de un método de bioconservación para así sustituir los antibióticos sintéticos. Lyapparaj *et al.* (2013) realizaron estudios para optimizar la producción de una bacteriocina producida por *Lactobacillus sp.* MSU3IR con un alto efecto inhibidor contra patógenos de camarón (*S. aureus*, *P. aeruginosa*, *A. hydrophila*, *V. harveyi* Johnson & Shunk, 1936, y *V. parahaemolyticus* Sakazaki, Iwanawi & Fukumi, 1963) y bajo las condiciones utilizadas para el crecimiento de camarones, pero aún faltan estudios de aplicación, principalmente de bacteriocinas producidas por bacterias acuáticas. En la tabla 2 se resumen los principales metabolitos producidos por bacterias probióticas.

BACILLUS COMO PROBIÓTICO EN ACUICULTURA

El género *Bacillus* se ha convertido en los últimos años en un probiótico usado en humanos, productos de origen animal y acuicultura, ya que es reconocido como un microorganismo con potencial antimicrobiano por la diversidad de metabolitos que produce, como son: glucopéptidos, lipopéptidos, péptidos cíclicos, policétidos, enzimas líticas, péptidos no ribosomales y bacteriocinas (Phelan *et al.*, 2012; Álvarez-Cisneros *et al.*, 2017; Kuebutornye *et al.*, 2019). Además, también es utilizado como probiótico para mejorar el crecimiento y captación de nutrientes por su capacidad de sintetizar enzimas digestivas, puede tener efectos inmunorreguladores y de estimulación de la microflora intestinal beneficiosa mejorando así la inmunidad innata y adaptativa del huésped (Van Hai, 2015; Kuebutornye *et al.*, 2019). Algunos mecanismos de inhibición de patógenos reportados por *Bacillus sp.* utilizados como probióticos en acuicultura son: a) despolarización celular por formación de poros en la membrana celular, b) inhibición del crecimiento por competencia en sitios de adhesión, c) inhibición de la expresión de genes de virulencia (quorum sensing), d) producción de enzimas líticas (proteasas, quitinasas, celulasas, β -1,3-glucanasas), e) inducción de antioxidantes como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx) y f) activando los genes de los moduladores de la inmunidad humoral que pueden actuar a nivel de suero como antibacterianos, por ejemplo la lisozima, peroxidasa, SOD, CAT, pro-

teasas y mieloperoxidasas (MPO), que al aumentar su actividad en el huésped, incrementan la respuesta inmune; o a nivel de la mucosa donde juegan un rol vital en la defensa contra bacterias infecciosas induciendo moléculas que participan en el sistema inmunológico como son: almodulina, interferon, lectina, inmunoglobulinas, agglutinina C, péptidos antimicrobianos, enzimas proteolíticas, y vitelogenina (Kuebutornye *et al.*, 2019; Figura 1).

Las principales especies de *Bacillus* utilizadas como probióticos en acuicultura son: *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. pumilus* y *B. amylo-liquefacien* aisladas principalmente de suelo, agua de estanque, tracto intestinal de peces, algas marinas, esponjas de mar (Prieto *et al.*, 2012; Yi *et al.*, 2018).

Prieto *et al.* (2012) aislaron cepas de *Bacillus sp.* a partir de algas marinas, arena de mar y agua de mar en Irlanda; identificando a las bacterias marinas como una importante fuente de compuestos antimicrobianos, en particular se identificó la bacteriocina lichenicidina producida por *Bacillus licheniformis* WIT 562, 564 and 566, aisladas de algas (*Polysiphonia lanosa* Tandy, 1931, *Ulva sp.* y *Ulva lactuca* Linnaeus, 1753, respectivamente).

Las aplicaciones de *Bacillus pumilus* AQAHBS01 aislada de granjas de tilapia del Nilo como probióticos se han estudiado tanto en laboratorio como en granja. La alimentación de peces (aproximadamente 50 g) con pienso que contenía *B. pumilus* viable a concentraciones de 1×10^7 – 10^9 UFC/k de dieta elevó la respuesta inmune de los peces, de acuerdo a la evaluación de su actividad fagocítica y sus niveles de anión superóxido. La tilapia del Nilo también mostró resistencia contra *Streptococcus agalactiae*. Lo cual demostró la aplicación efectiva de *B. pumilus* como probiótico para la resistencia a estreptococosis en condiciones de laboratorio y cultivo en campo (Srisapoom & Areechon, 2017). Cuando se utilizó una mezcla probiótica comercial constituida por *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* con el fin de mejorar el crecimiento, la respuesta inmune y la resistencia a las enfermedades en tilapia *Oreochromis niloticus*, se encontró que con concentraciones en el rango de 3 a 10 g/k de la mezcla probiótica y durante 4 semanas, el aumento de peso, la tasa de crecimiento específico y la proporción de conversión alimenticia se mejoraron. La lisozima, proteasa, antiproteasa, las actividades de superóxido dismutasa y el nivel de inmunoglobulina M fueron significativamente ($P < 0.05$) altos sobre todo a la mayor concentración, tanto en suero como en moco cutáneo. Se mejoró la actividad catalasa y se observaron actividad sérica y mieloperoxidasa tanto en el suero como en el moco de la piel. Se encontró expresión de C-lisozima, proteína de choque térmico 70 y β -defensina. En conclusión, Abarike *et al.*, 2018; consideraron que la aplicación de la mezcla probiótica a 10 g/k puede utilizarse para mejorar el crecimiento y estado inmunológico

Tabla 2.- Principales metabolitos producidos por bacterias probióticas

Metabolito	Microorganismo	Referencia
Bacteriocinas	<i>Lactobacillus sp.</i> <i>Streptococcus sp.</i> <i>Enterococcus sp.</i>	Zhang <i>et al.</i> , 2013, Gomez-Sala <i>et al.</i> , 2015; Lobos <i>et al.</i> , 2017; Lyapparaj <i>et al.</i> , 2013.
Terpenoides. Alcaloides y policétidos	<i>Pseudomonas alteromonas</i>	Offret <i>et al.</i> , 2016
Antibióticos	<i>Streptomyces</i>	Aponte-Ubillus <i>et al.</i> , 2015; Evangelista-Martínez <i>et al.</i> , 2017

en el cultivo de tilapia. La administración del probiótico de *G. candidum* encapsulado se ha propuesto como una estrategia nutricional, como suplemento alimenticio, para mejorar el rendimiento del crecimiento y estado inmune de alevines de *Labeo rohita* (Amir et al., 2019). Los alevines se alimentaron con una dieta basal suplementada con 10^9 UFC/g de *G. candidum* encapsulado durante once semanas. Los resultados indicaron una mejora significativa en la velocidad de crecimiento y un incremento en las actividades intestinales enzimáticas (proteasa, amilasa y celulasa) e índices hematoinmunológicos. Debido al efecto pronunciado de *G. candidum* encapsulado sobre el crecimiento, estado de salud e inmunidad de *L. rohita* los autores sugieren su aplicación como aditivo en piensos para la alimentación de peces. En la literatura se ha publicado el efecto probiótico de *Bacillus subtilis*, aislado del intestino sano de peces, sobre el esturión de Dabry (*Acipenser dabryanus*). Las cepas aisladas de *B. subtilis* BStH-5 y BStH-19 exhibieron efecto antimicrobiano in vitro contra cuatro bacterias patógenas para el esturión, en las que se incluyen: *Aeromonas hydrophila*, *A. veronii*, *A. media* y *Streptococcus iniae*. Un grupo de esturiones de Dabry se alimentaron con una dieta control y dos grupos se alimentaron con dietas que contenían 2.0×10^8 UFC / g BStH-5 (grupo T1) o BStH-19 (grupo T2) durante 8 semanas. Después de ese lapso se observó una mejora en la tasa de supervivencia después de la infección por *Aeromonas hydrophila*. La capacidad antioxidante en suero aumentó debido a un incremento en la actividad de la superóxido dismutasa y los niveles de IgM se incrementaron con respecto al grupo control. Los niveles séricos de malondialdehído disminuyeron desde la cuarta semana. La suplementación dietética con las cepas probióticas BStH-5 y BStH-19 propiciaron una mayor resistencia a las enfermedades en *A. dabryanus* (Di et al., 2019). Yang et al. (2019) evaluaron los efectos de la suplementación dietética de *Bacillus cereus* como probióticos en el crecimiento, calidad de filete, parámetros bioquímicos séricos e histología intestinal de la carpa de Pengze (*Carassius auratus var. Pengze*). Las carpas se alimentaron con dieta básica (grupo control) y tres dietas suplementadas

con *B. cereus* en dosis de 10^7 , 10^9 y 10^{11} UFC / kg durante 70 días. Durante el experimento se observó que la suplementación de *B. cereus* 10^9 UFC/kg mejoró significativamente el crecimiento comparado con el del grupo control. Se mejoró la textura del músculo, así como la dureza y la sensación de masticabilidad. También se observó un incremento en la inmunidad y la capacidad antioxidante, esto debido a que en suero se aumentó la presencia de la fosfatasa alcalina, glutatión peroxidasa, glutatión reducido y catalasa. A su vez también se observó una reducción significativa en malondialdehído. Una suplementación dietética de *B. cereus* podría promover el crecimiento, elevar la inmunidad y el estado antioxidante de la carpa, y mejorar significativamente la textura del filete de pescado.

Otra área importante de la acuicultura en la que se emplean *B. subtilis* y *B. licheniformis* como probióticos es para la crianza de camarón (*Litopenaeus vannamei* y *Penaeus monodo*). Laranja et al. (2017) demostró con técnicas de Q-PCR, la capacidad probiótica de *Bacillus sp.* JL47 productor de un biopolímero poli-beta-hidroxibutirato (PBH) para sobreinducir los genes (*proPO* y *TGase*) relacionados con el sistema inmune del camarón tigre en su estado post-larvario (*Penaeus monodo*) después de ser infectados con *Vibrio campbellii*. Algunos otros estudios relacionados con el sistema inmune en camarones, se ha realizado con mezclas de cepas de *Bacillus licheniformis* MAT32, *B. subtilis* MAT43 y *B. subtilis subsp. subtilis* GATB1, aisladas de moluscos bivaldos (*Anadara tuberculosa*) y suministrados como probióticos inmunoestimuladores en camarones jóvenes (*Litopenaeus vannamei*) en concentraciones de 1×10^6 a 6×10^6 UFC/ g de alimento, y se obtuvieron mayores tasas de crecimiento a comparación del control conforme aumentaba la concentración de la mezcla de probióticos, además se observó una sobreinducción de los genes *proPO* (propenoloxidas) y *LvToll* (receptor Toll) responsables del sistema inmune en camarón (Sánchez-Ortiz et al., 2015). Por otra parte Madani et al. (2018) evaluaron el efecto de una mezcla de probióticos comerciales (*Bacillus subtilis* y *Bacillus*

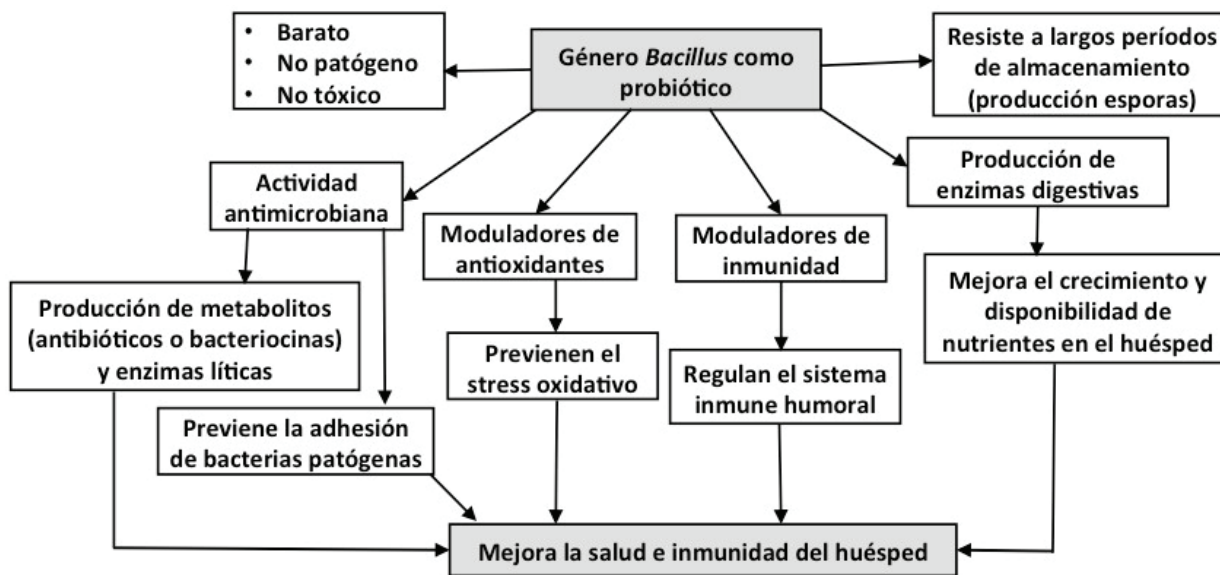


Figura 1. Características que presenta el género *Bacillus* para ser utilizado como probiótico en acuicultura (modificada de Kuebutornye et al., 2019).

licheniformis) en larvas de camarón (*Litopenaeus vannamei*) en concentraciones de 1×10^4 a 1×10^8 UFC/ g de alimento y los resultados obtenidos demostraron que la administración oral de la mezcla comercial tuvo efecto en el crecimiento (peso, tamaño y velocidad específica de crecimiento), composición química con respecto a la concentración de proteína (5.7 g/dL) e inmunoglobulinas (156 mg/dL), y parámetros inmunológicos (hematocitos); obteniendo los mejores resultados en la concentración más alta de la mezcla de *Bacillus*. En la tabla 3 se resumen algunos de los estudios más recientes usando al género *Bacillus* como probióticos.

ADMINISTRACION DE PROBIÓTICOS

La administración de los probióticos se realiza de manera oral o diluidos en el agua o como aditivos alimenticios, por ejemplo, a los camarones se les administra oralmente (Huang *et al.*, 2006). Sin embargo, el método más comúnmente utilizado en la acuicultura es diluís en agua (Hai *et al.*, 2009) ya que la mayoría de los probióticos están diseñados para mezclarse con el alimento (Gomes *et al.*, 2009). Los probióticos como aditivo alimenticio, por ejemplo (*Lactobacillus rhamnosus*), mejoraron la fecundidad del pez cebra (*Danio rerio*) (Gioacchini *et al.*, 2010). Por lo regular los probióticos se pueden agregar directamente al agua (Gram *et al.*, 1999; Hai *et al.*, 2009) como aditivos para ésta (Cha *et al.*, 2013), o en suspensión bacteriana (Gram *et al.*, 1999). Finalmente, el método de inmersión también es útil (Itami *et al.*, 1998).

Los probióticos pueden aplicarse de manera individual o combinados. Se ha observado que los probióticos basados en una sola cepa son menos efectivos que aquellos basados en variedades mixtas (Verschuere *et al.*, 2000; Hai *et al.*, 2009). Por otra parte, los probióticos de múltiples cepas mejoran la protección contra la infección de patógenos. Asimismo, se ha utilizado una combinación de probióticos con prebióticos, inmunoestimulantes o productos vegetales naturales (Hai & Fotedar, 2009). La aplicación combinada de probióticos y prebióticos es conocida como producto simbiótico, puesto que se basa en el principio de proporcionar un probionte con ventaja competitiva sobre poblaciones endógenas competitivas, además de mejorar la supervivencia y la implantación de un suplemento dietético con microorganismos vivos en el tracto digestivo del huésped (Gibson & Roberfroid, 1995). La alimentación simbiótica de *Enterococcus faecalis* y oligosacáridos de manano mostró una mejor relación de conversión alimenticia que la probiótica individual o la aplicación prebiótica sola. Toda vez que las aplicaciones de probióticos, prebióticos y simbióticos han elevado el índice de su-

pervivencia de los animales acuáticos, la salud de estos animales fue mejor en el tratamiento con probióticos, seguido de los que se alimentaron solo con prebióticos o simbióticos.

La encapsulación de los probióticos vivos para la alimentación de los animales acuáticos es una propuesta interesante porque los probióticos pueden permanecer viables o incluso proliferar en la alimentación en vivo (Gatesoupe, 1994). Por lo tanto, el huésped puede adquirir los probióticos de manera directa y efectiva. La concentración de probióticos, por ejemplo, en *Artemia* (Gatesoupe 1994; Hai *et al.*, 2010; Daniels *et al.*, 2013), rotíferos (Gatesoupe, 1997) y copépodos (Sun *et al.*, 2013) podría ser un excelente vehículo para su administración en animales acuáticos (Sun *et al.*, 2013; Daniels *et al.*, 2013). Por ejemplo, se ha encapsulado en *Artemia nauplii* una combinación de *Pseudomonas syrxantha* y *Pseudomona aureoginosa* para langostinos gigantes, *Panesus latisulcatus* (Hai *et al.*, 2010). Copépodos (*Pseudodiaptomus annandale*) es un vector adecuado para probióticos *Bacillus spp.* en larvas de mero *Epinephelus coioides* (Sun *et al.*, 2013).

FUNCIONES DE LOS PROBIÓTICOS

La utilización de probióticos en la acuicultura se ha realizado desde hace varios años, algunas funciones que han sido reportadas son: estimular la respuesta inmune (Nayak, 2010), establecer un ambiente sano en el tracto gastrointestinal (Pandiyani *et al.*, 2013); aumentar significativamente la sobrevivencia de larvas (Luis-Villaseñor *et al.*, 2013); aumentar la resistencia a enfermedades mediante competencia e inmunomodulación, aumentar el apetito y mejorar la conversión alimenticia (Newaj-Fyzul *et al.*, 2014) en reproducción, aumentando la síntesis vitelogenina e induciendo la maduración de los folículos (Banerjee & Kumar, 2017).

Los mecanismos de acción que se le atribuyen a los probióticos son dos fundamentales: 1) la síntesis de moléculas antibacterianas como las bacteriocinas y 2) la exclusión competitiva, bien mediante la inhibición de la adhesión a las células epiteliales intestinales (CEIs) de bacterias potencialmente patógenas o bien bloqueando la unión de toxinas (Romero y Menchan, 2013). Los probióticos también influyen en el ecosistema intestinal al afectar los mecanismos inmunológicos de la mucosa, interactuando con microorganismos comensales o potencialmente patógenos, generando productos metabólicos finales, como ácidos grasos de cadena corta, y comunicándose con las células del huésped utilizando señales químicas. Estos mecanismos pueden conducir al antagonismo de patógenos potenciales (Guarner *et al.*, 2017).

Tabla 3. Principales estudios realizados con el género *Bacillus* como probiótico

Uso	Referencia
Potencial antimicrobiano	Phelan <i>et al.</i> , 2012
Producción de bacteriocinas por <i>Bacillus licheniformes</i>	Prieto <i>et al.</i> , 2012
<i>Bacillus pumilus</i> como probiótico en el cultivo de peces tanto en laboratorio como en campo.	Srisapoom & Areechon, 2017
Mezcla de <i>Bacillus subtilis</i> y <i>B. licheniformis</i> utilizados como probióticos en la crianza de camarón.	Laranja <i>et al.</i> , 2017; Madani <i>et al.</i> , 2018
Mezcla de <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Bacillus licheniformis</i> para mejorar el crecimiento y el estado inmunológico en tilapia.	Abarike <i>et al.</i> , 2018
<i>Bacillus subtilis</i> para mejorar la resistencia a 4 bacterias patógenas en esturión.	Di <i>et al.</i> , 2019
<i>Bacillus cereus</i> para aumentar el crecimiento y la inmunidad de carpas.	Yang <i>et al.</i> , 2019

Los probióticos participan en la prevención y tratamiento de enfermedades infecciosas agudas digestivas, enfermedades crónicas intestinales y hepáticas, actúan sobre la función inmune del huésped y la homeostasis intestinal, y pueden modular la microbiota intestinal (Castañeda Guillot, 2018).

Vendrell *et al.* (2008) analizaron el efecto de la suplementación con probióticos sobre el control de la lactococosis en trucha arcoíris, los probióticos se administraron en forma oral por 30 días en una concentración de 10^7 CFU g de alimento. Los resultados mostraron que la suplementación con probióticos redujo la mortalidad de los peces de 78% en el control a 46-54% en los grupos suplementados con probióticos.

La técnica de hibridización fluorescente *in situ* (FISH por sus siglas en inglés) ha sido empleada para enumerar bacterias probióticas y patógenas en el intestino de tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) cultivadas en un sistema de acuicultura. Del'Duca *et al.* (2013) aislaron 2 bacterias que identificaron como *Bacillus* sp. y *Enterococcus* sp. las cuales inhibieron un gran número de bacterias patógenas (*Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis*, *Edwardsiella tarda*, *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas putida* aisladas también del sistema de acuicultura). Al final de 30 días *Bacillus* sp. y *Enterococcus* sp. estuvieron presentes en gran número en el estómago de los peces, sus resultados mostraron que esta técnica demostró un gran potencial para caracterizar bacterias probióticas y mostrar su eficiencia contra bacterias patógenas.

Vieira *et al.* (2013) aislaron cepas del tracto digestivo de camarones marinos que tuvieran características de un probiótico ideal, como son presentar una máxima velocidad de crecimiento, inhibición de patógenos marinos, resistencia de las cepas a NaCl (1.5 y 3%) y resistencia a pH y sales biliares (6-9 y 5% respectivamente). 10 cepas fueron aisladas e identificadas bioquímicamente como *Lactobacillus plantarum* (3), *L. brevis* (3), *Weissella confusa* (2), *Lactococcus lactis* (1), y *L. delbrueckii* (1). Las 3 cepas de *Lactobacillus plantarum* mostraron un gran potencial para ser usadas como probióticos en camarones marinos debido a su amplio espectro de inhibición de patógenos tanto Gram positivos como Gram negativos.

Luis-Villaseñor *et al.* (2013) aislaron 44 colonias diferentes de bacterias del estómago de camarones y ostras, de las cuales solo 2 demostraron tener una actividad citotóxica y una alta tolerancia a la sal, las cepas fueron identificadas como *Burkholderia ceparia* (estómago de camarones) y *Pseudomonas aeruginosa* (estómago de ostras). Cuando se adicionó la mezcla de las 2 cepas en un cultivo de larvas de camarones *L. vannamei* (Boone, 1931) la sobrevivencia de las larvas aumentó en un 50.15% comparado al 20% del control.

Pannu *et al.* (2014) estudiaron el efecto de probióticos y extractos de plantas sobre 11 bacterias patógenas de peces, las cuales eran resistentes a antibióticos, todo esto se realizó *in vitro* utilizando el método de difusión. Aunque sí se observaron halos de inhibición del rango de 1.1 a 2.433 cm, los autores concluyeron que se necesitan más estudios tanto *in vivo* como *in vitro* para poder conocer el efecto y dosis para ser usados en las granjas de peces.

Sánchez-Ortiz *et al.* (2015) aislaron e identificaron bacterias del tracto gastrointestinal de adultos de almejas "pata de mula" con potencial probiótico para el cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei*, se seleccionaron siete bacterias, tres con alto grado de hidrofobicidad

(>60% de adherencia a p-xileno) y cuatro con hidrofobicidad media, concluyendo que las cepas aisladas de *A. tuberculosa* tuvieron un efecto benéfico sobre el crecimiento y respuesta inmune de *L. vannamei*, por lo que tienen potencial como probióticos en la acuicultura de organismos marinos.

Kaktcham *et al.* (2017) aislaron e identificaron bacterias lácticas del intestino de la carpa común y la tilapia del Nilo en Camerún, encontrando que las bacterias lácticas poseen una potente actividad antimicrobiana extracelular, esto por la producción de ácidos orgánicos y bacteriocinas. La especie predominante encontrada fue *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* 42.85%. Posteriormente, estos mismos autores evaluaron las características probióticas de estas bacterias encontrando que las cepas son tolerantes a pH bajo, sobreviven en la presencia de bilis y en jugo gástrico simulado, no tienen actividad hemolítica, no producen aminos biogénicos y no muestran resistencia a antibióticos lo que confirma su aplicación como probióticos en la acuicultura (Kaktcham *et al.*, 2018).

En los últimos años se ha utilizado a los probióticos en una nueva área que es la de reproducción, ha sido reportado que los probióticos aumentan la reproducción de los peces debido a que aumentan la síntesis vitelogenina, inducen la maduración de los folículos e incrementan el índice GSI, sin embargo, los mecanismos no son claros. Es necesario seguir investigando en este campo (Banerjee & Kumar, 2017).

Una de las tecnologías que se está utilizando actualmente es la del biofloc, la cual junto con los probióticos tiene el objetivo de aumentar la sobrevivencia de animales acuáticos debido a que se evita la contaminación del agua siendo amigable con el medio ambiente, aunque su acción no es conocida todavía, se cree que evita la reducción de microorganismos patógenos (Daniel & Nageswari, 2017).

GÉNERO *STREPTOMYCES*. PHYLLUM ACTINOBACTERIA

Los actinomicetos son bacterias filamentosas prolíficas Gram positivas que se encuentran ampliamente dispersas en el ambiente, como puede ser suelo, agua estancada y estiércol, aunque recientemente es muy frecuente su aislamiento en ecosistemas marinos (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2016); tienen similitud con los hongos, por su morfología, tipo de reproducción y crecimiento en cultivos sólidos y líquidos ya que presenta crecimiento micelar filamentosos formado por hifas enramadas no septadas en medios sólidos y líquidos (Martínez *et al.*, 2017; León *et al.*, 2016). Principalmente el género *Streptomyces* sp. es de interés en biotecnología por su potencial de producir diversos metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana (antibióticos), antitumoral, inmunoestimulante, antiparasitaria, sideróforos, y exoenzimas, entre otros, los cuales en un medio acuático contribuyen en la reducción de patógenos como: *Vibrio* sp., *Aeromonas hydrophila*, *Edwardsiella tarda* y *Aeromonas sobria*; y de la materia orgánica (León *et al.*, 2016; Tan *et al.*, 2016). La principal fuente de aislamiento de *Streptomyces* es el sedimento marino, pero recientemente León *et al.* (2016) aislaron 3 cepas potenciales como probióticos en acuicultura a partir de *Argopecten purpuratus* Lamarck, 1819 (pectínidos o vieiras).

Dharmaraj & Dhevendaran (2010) realizaron el primer estudio utilizando el género *Streptomyces* aislado de esponjas marinas como probiótico para aumentar el crecimiento del pez ornamental *Xiphophorus helleri* (Heckel, 1848). Después de 50 días del experimento, los pa-

rámetros de crecimiento, tasa de crecimiento, crecimiento relativo y eficiencia de conversión del alimento fue significativamente más alta en los animales alimentados con probióticos teniendo unos animales más grandes que el control. Ellos concluyeron que las aplicaciones de *Streptomyces* como probiótico deberían jugar un papel importante en la nutrición en la acuicultura. Se ha determinado también el potencial antimicrobiano de actinomicetos marinos frente a cepas *S. aureus* meticilino-resistentes (MRSA) y *E. faecalis* vancomicina-resistentes (VRE) encontrando que los porcentajes inhibitorios fueron superiores a 85% para ambos patógenos con halos de inhibición mayores a 69 y 78 mm de diámetro para MRSA y VRE respectivamente (León *et al.*, 2011).

García-Bernal *et al.* (2015) aislaron 3 actinomicetos de sedimentos marinos que mostraron buenas características probióticas utilizando técnicas *in vitro* que pueden ser fácilmente implementadas en diferentes instituciones alrededor del mundo.

El género *Streptomyces* ha demostrado tener efectos probióticos entre los cuales se encuentra la producción de compuestos antagonistas, actividad antivirulencia, actividad antiviral, secreción de exoenzimas, aumenta el crecimiento de los peces, tienen una tolerancia a pH bajos y resisten enzimas intestinales, protección contra patógenos, etc. Sin embargo, se menciona que también tienen 2 grandes limitaciones: la primera es que producen 2 compuestos terpenoides los cuales producen olores y sabores desagradables que tienen un efecto negativo en la acuicultura, pero se ha demostrado que un tratamiento con ozono es un buen removedor de olores, por lo que podría ser una alternativa. La segunda es que existe un riesgo de transferencia de genes resistentes a antibióticos, el cual es un argumento contra el uso de *Streptomyces* en la acuicultura. Sin embargo, ha sido reportada la resistencia a antibióticos de cepas de *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* y *Bacillus* comúnmente usadas como probióticos (Tan *et al.*, 2016).

Yang & Sun (2016) desarrollaron el primer agente anti-Vibrio debido a que éste es el patógeno más serio en la acuicultura marina. El extracto crudo de seis *Streptomyces sp.* NHF165 inhibe drásticamente el crecimiento celular de 2 especies de *Vibrio*, la actinonina fue identificada como el componente funcional y que su efecto es dependiente de la dosis empleada. Los autores concluyeron que los *Streptomyces sp.* de origen marino pueden producir actinonina con actividad anti *Vibrio*.

La actividad antimicrobiana contra cepas de *Vibrio sp.* se debe principalmente a la presencia de sideróforos, los cuales son agentes quelantes que pueden competir en ambientes acuáticos por hierro, provocando así una reducción en la tasa de crecimiento de las cepas patógenas que necesitan hierro como parte de sus requerimientos nutricionales (Ahmed & Holmstrom, 2014). Prakashwadekar & Dharmadhikari (2015), reportaron el potencial de 5 actinomicetos productores de bacteriocinas que mostraron un amplio espectro de actividad antibacteriana contra patógenos. En la última década se han resaltado otros posibles usos de actinomicetos marinos, como es la producción de antibióticos para ser incorporados en alimentos de camarones para controlar al virus causante de la mancha blanca (WSSV, por sus siglas en inglés), control de biopelículas causantes de vibriosis, incorporación en alimento para aumentar la sobrevivencia de *Artemia nauplii* y *Penaeus monodon* Fabricius, 1798 (langostino jumbo) (Tan *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

El recambio de las unidades de producción hacia una mayor tecnificación y control tendientes a la sustentabilidad y pesca responsable, incluye la investigación y aplicación de líneas biotecnológicas que promuevan la calidad y cantidad de la producción acuícola. Una alternativa probada para incrementar la sanidad y la producción acuícola de alimentos inocuos, es el desarrollo, investigación y aplicación de probióticos.

La investigación y utilización de especies nativas, no sólo debe considerarse en el ámbito de producción alimentaria y económica, sino también como procesos integrados a la conservación de la biodiversidad.

Para el caso de México, el potencial acuicultural con base en la aplicación de probióticos debe considerarse como crucial en función de que:

- promueve el manejo y la utilización racional de los recursos acuáticos, la rehabilitación ambiental y la conservación ecológica y b) disminuye y amortigua el impacto ambiental que generan los procesos de producción y fomenta la producción de alimentos en calidad y disponibilidad en el contexto de la seguridad alimentaria. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones sobre este tema.

REFERENCIAS

- ABARIKE, E. D., J. CAIA, Y. LUA, H. YUA, L. CHEND, J. JIANA, J. TANGA, L. JUND, K.A. KJEBUTORNYE. 2018. Effects of a commercial probiotic BS containing *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on growth, immune response and disease resistance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish and Shellfish Immunology* 82: 229-238. DOI:10.1016/j.fsi.2018.08.037
- AHMED, E. & S. J. HOLMSTROM. 2014. Siderophores in environmental research: roles and applications. *Microbial Biotechnology* 7:196-208. DOI: 10.1111/1751-7915.12117
- ÁLVAREZ-CISNEROS, Y. M., F. J. FERNÁNDEZ & E. P. ALQUICIRA. 2017. Characteristics of antibacterial peptides produced by bacteria. In: Méndez-Vilas, A. (ed.). *Antimicrobial research: Novel bioknowledge and educational programs*. Formatex research center, pp. 35-45.
- AMIR, I., A. ZUBERI, M. KAMRAN, M. IMRAN, M.U.H. MURTAZA. 2019. Evaluation of commercial application of dietary encapsulated probiotic (*Geotrichum candidum* QAUGC01): Effect on growth and immunological indices of rohu (*Labeo rohita*, Hamilton 1822) in semi-intensive culture system. *Fish and Shellfish Immunology* 95: 464-472. DOI:10/1016/j.fsi.2019.11.011
- ANUARIO ESTADÍSTICO DE PESCA. 2011 *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 201*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 305 p.
- APONTE-UBILLUS, J., J. L. LEÓN QUISPE, R. ROJAS DURÁN, S. MONTERO TRUJILLO & L. LOAYZA SALAZAR. 2015. Actividad antimicrobiana y sinérgica de metabolitos producidos por *Streptomyces erythrogriseus* cepa M10-77 de origen marino. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 35: 13-19.

- BALCAZAR, J. L., I. DE BLAS, I. RUIZ-ZARZUELA, D. CUNNINGHAM, D. VENDRELL Y J. L. MUZQUIZ. 2006. The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary Microbiology* 114:173-186. DOI: 10.1016/j.vetmic.2006.01.009
- BANERJEE, G. & R. A. KUMAR. 2017. The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries. *Research in Veterinary Sciences* 115: 66-77. DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.01.016
- CARTA NACIONAL ACUICOLA. 2012. *Actualización de la Carta Nacional Acuicola (segunda sección)*. Diario Oficial de la Federación. México. Septiembre 9: 33-112.
- CASTAÑEDA GUILLOT, C. 2018. Probióticos, puesta al día. *Revista Cubana de Pediatría* 90: 286-298.
- COMISIÓN NACIONAL DE ACUACULTURA Y PESCA. 2017. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Comisión Nacional de Pesca. México. 234 p. También disponible en la página web: <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- CHA, J. H., S. RAHIMNEJAD, S. Y. YANG, K. W. KIM & K. J. LEE. 2013. Evaluations of *Bacillus spp.* as dietary additives on growth performance, innate immunity and disease resistance of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) against *Streptococcus iniae* and as water additives. *Aquaculture* 402-403: 50-57. DOI:10.1016/j.aquaculture.2013.03.030
- CHENG, G., H. HAO, S. XIE, X. WANG, M. DAI, L. HUANG & Z. YUAN. 2014. Antibiotic alternatives: the substitution of antibiotics in animal husbandry. *Frontiers in microbiology* 106:606-622. DOI:10.3389/fmicb.2014.00217
- CHRISTENSEN, A. & G. D. MARTIN. 2017. Identification and bioactive potential of marine microorganisms from selected Florida coastal areas. *Microbiology Open* 6 (4): e00448. DOI: 10.1002/mb03.448.
- DANIEL, N. & P. NAGESWARI. 2017. Exogenous probiotics on biofloc based Aquaculture: A Review. *Current Agriculture Research Journal* 5 (1): 88-107.
- DANIELS, C. L., D. L. MERRIFIELD, E. RINGØ & S. J. DAVIES. 2013. Probiotic, prebiotic and synbiotic applications for the improvement of larval European lobster (*Homarus gammarus*) culture. *Aquaculture* 416-417: 396-406. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.08.001
- DEL'DUCA, A., C. D. EVANGELISTA, D. C. GALUPPO & P. C. ABREU. 2013. Evaluation of the presence and efficiency of potential probiotic bacteria in the gut of tilapia (*Oreochromis niloticus*) using the fluorescent in situ hybridization technique. *Aquaculture* 388-391: 115-121. DOI:10.1016/j.aquaculture.2013.01.019
- DESRIAC, F., D. DEFER, N. BOURGOUGNON, B. BRILLET, P. LE CHEVALIER & Y. FLEURY. 2010. Bacteriocin as weapons in the marine animal-associated bacteria warfare: inventory and potential applications as an aquaculture probiotic. *Marine drugs* 8 (4): 1153-1177. DOI:10.3390/md8041153.
- DHARMARAJ, S., & K. DHEVENDARAN, 2010. Evaluation of *Streptomyces* as a probiotic feed for the growth of ornamental fish *Xiphophorus helleri*. *Food Technology and Biotechnology* 48 (4): 497-504. DOI:10.3856/vol43-issue1-fulltext-11
- DI, J., Z. CHUB, S. ZHANG, J. HUANG, H. DUB & Q. WEI. 2019. Evaluation of the potential probiotic *Bacillus subtilis* isolated from two ancient sturgeons on growth performance, serum immunity and disease resistance of *Acipenser dabryanus*. *Fish and Shellfish Immunology* 93: 711-719. DOI:10.1016/j.fsi.2019.08.020
- ELAHWANY, A., H. A. GHOZLAN, H. A. ELSHARIF & S. A. SABRY. 2015. Phylogenetic diversity and antimicrobial activity of marine bacteria associated with the soft coral *Sarcophyton glaucum*. *Journal of basic microbiology* 55 (1): 2-10. DOI:10.1002/jobm.201300195.
- EVANGELISTA-MARTÍNEZ, Z., E. QUINONES-AGUILAR & G. RINCÓN-MARTÍNEZ. 2017. Potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas de suelos de México como fuente natural de moléculas bioactivas: compuestos antimicrobianos y enzimas hidrolíticas. *Temas de Ciencia y Tecnología* 21: 39-51.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma, Italia. 250 p. También disponible en la página web: <http://www.fao.org/3/i9540es/i9540ES.pdf>
- FAO/WHO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS- WORLD HEALTH ORGANIZATION). 2001. *Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria*. Food and Agriculture Organization and World Health Organization Joint report. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/a-a0512e.pdf> (consultado el 7 febrero 2018).
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2005. *Visión general del sector acuícola nacional*. México. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma, Italia. 21 p. También disponible en la página: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_mexico/es#tcN700C5
- FERRERA, G. S., N. C. BOLÍVAR, S. A. PEREIRA, C. GUERTLER, F. D. N. VIEIRA, J. L. P. MOURIÑO & W. Q. SEIFFERT. 2015. Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 448: 273-279. DOI:10.1016/j.aquaculture.2015.06.006
- GARCÍA-BERNAL, M., A. I. CAMPA-CÓRDOVA, P. E. SAUCEDO, M. CASANOVA-GONZÁLEZ, R. MEDINA-MARRERO & J. M. MAZÓN-SUÁSTEGUI. 2015. Isolation and in vitro selection of actinomycetes strain as potential probiotics for aquaculture. *Veterinary World* 8 (2): 170-176. DOI:10.14202/vetworld.2015.170-176.
- GATESOUE, F. J. 1994. Lactic acid bacteria increase the resistance of turbot larvae. *Scophthalmus maximus*, against pathogenic *Vibrio*. *Aquatic Living Resource* 7:277-282.
- GATESOUE, F. J. 1997. Siderophore production and probiotic effect of *Vibrio sp.* Associated with turbot larvae, *Scophthalmus maximus*. *Aquatic Living Resource* 10: 239-246.
- GIBSON, G. R. & M. B. ROBERFROID. 1995 Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition* 125: 1401-1412. DOI:10.12691/jfnr-1-3-1
- GILLOR, O., A. ETZION & M. A RILEY. 2008. The dual role of bacteriocins as anti-and probiotics. *Applied microbiology and biotechnology* 81 (4): 591-606. DOI:10.1007/s00253-008-1726-5.

- GIOACCHINI, G., F. MARADONNA, F. LOMBARDO, D. BIZZARO, I. OLIVOTTO & O. CARNEVALI. 2010. Increase of fecundity by probiotic administration in zebra fish (*Danio rerio*). *Reproduction* 140: 953-959. DOI:10.1530/REP-10-0145
- GOMES, L. C., R. P. BRINN, J. L. MARCON, L. A. DANTAS, F. R. BRAND, J. S. DE ABREU, P. E. M. LEMOS & D. M. MCCOMB. 2009. Benefits of using the probiotic EfinoL during transportation of cardinal tetra, *Paracheirodon axelrodi* (Schultz), in the Amazon. *Aquatic Research* 40: 157-165.
- GÓMEZ-SALA, B., E. MUÑOZ-ATIENZA, J. SÁNCHEZ, A. BASANTA, C. HERRANZ, P. E. HERNÁNDEZ & L. M. CINTAS. 2015. Bacteriocin production by lactic acid bacteria isolated from fish, seafood and fish products. *European Food Research and Technology* 241 (3): 341-356. DOI:10.1007/s00217-015-2465-3
- GRAM, L., J. MELCHIOSEN, B. SPANGGAARD, I. HUBER & T. NIELSEN. 1999. Inhibition of *Vibrio anguillarum* by *Pseudomonas fluorescens* strain AH2-a possible probiotic treatment of fish. *Applied Environmental Microbiology* 65: 969-973.
- GUARNER, F., M. E. SANDERS, R. ELIAKIM, R. FEDORAK, A. GANGL, J. GARISCH, P. KAUFMANN, T. KARAKAN, A. G. KHAN, N. KIM, J. A. DE-PAULA, B. RAMAKRISHNA, F. SHANAHAN, H. SZAJEWSKA, A. THOMPSON & A. LE-MAIR. 2017. *Probióticos y Prebióticos*. Guías Mundiales de la Organización Mundial de Gastroenterología. 35 p. También disponible en la página web <https://www.worldgastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/probiotics-and-prebiotics-spanish-2017.pdf>
- HAI, N. V. 2015. The use of probiotics in aquaculture. *Journal of Applied Microbiology* 119: 917-935. DOI:10.1111/jam.12886
- HAI, N.V. & R. FOTEDAR. 2009. Comparison of the effects of the prebiotics (Bio-Mos and [beta]-1,3-D-glucan) and the customised probiotics (*Pseudomonas synxantha* and *P. aeruginosa*) on the culture of juvenile western king prawns (*Penaeus latisulcatus* Kishinouye, 1896). *Aquaculture* 289: 310-316. DOI:10.1016/j.aquaculture.2009.02.001
- HAI, N. V., N. BULLER & R. FOTEDAR. 2009. Effects of probiotics (*Pseudomonas synxantha* and *P. aeruginosa*) on the growth, survival and immune parameters of juvenile western king prawns (*Penaeus latisulcatus* Kishinouye, 1896). *Aquatic Research* 40: 590-602.
- HAI, N. V., N. BULLER & R. FOTEDAR. 2010. Encapsulation capacity of *Artemia* nauplii with customised probiotics for use in the cultivation of western king prawns (*Penaeus latisulcatus* Kishinouye, 1896). *Aquatic Research* 41: 893-903.
- HONG, H. A. & S. M. CUTTINGS. 2005. The use of bacterial spore formers as probiotics. *FEMS Microbiology Reviews* 29 (4): 813-835. DOI:10.1016/j.femsre.2004.12.001
- HUANG, X., H. ZHOU & H. ZHANG. 2006. The effect of *Sargassum fusiforme* polysaccharide extracts on vibriosis resistance and immune activity of the shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. *Fish Shellfish Immunology* 20: 750-757. DOI:10.1016/j.fsi.2005/09.008
- IBRAHEM, M. D. 2015. Evolution of probiotics in aquatic world: potential effects, the current status in Egypt and recent perspectives. *Journal of advanced Research* 6 (6): 765-791. DOI:10.1016/j.jare.2013.12.004.
- INZUNZA-MONTOYA, A. 2014. La maricultura es la industria del futuro. In: Cámara de Diputados & Poder Legislativo Federal (eds.). *Acuicultura. Alternativa para la Seguridad Alimentaria*. LXII Legislatura. México, 37: 13-19.
- ITAMI, T., M. ASANO, K. TOKUSHIGE, K. KUBONO, A. NAKAGAWA, A. N. TAKENO, H. NISHIMURA & M. MAEDA. 1998. Enhancement of disease resistance of kuruma shrimp, *Penaeus japonicus*, after oral administration of peptidoglycan derived from *Bifidobacterium thermophilum*. *Aquaculture* 164: 277-288.
- KAKTCHAM, P. M., J. B. TEMGOUA, F. N. ZAMBOU, G. DIAZ-RUIZ, C. WACHER & M. L. PÉREZ-CHABELA. 2018. In vitro evaluation of the probiotic and safety properties of bacteriocinogenic and non-bacteriocinogenic lactic acid bacteria from the intestines of Nile tilapia and common carp for their use as probiotics in aquaculture. *Probiotics and Antimicrobials Proteins* 10 (1): 98-109. DOI:10.1007/s12602-017-9312-8
- KAKTCHAM, P. M., J. B. TEMGOUA, F. N. ZAMBOU, G. DIAZ-RUIZ, C. WACHER & M. L. PÉREZ-CHABELA. 2017. Qualitative analyses of the bacterial microbiota of rearing environment, tilapia and common carp cultures in earthen ponds and inhibitory activity of its lactic acid bacteria on fish spoilage and pathogenic bacteria. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 33-32:1-12. DOI:10.1007/s11274-016-2197-y
- KESARCODI-WATSON, A., H. KASPAR, M. J. LATEGAN & L. GIBSON. 2008. Probiotics in aquaculture: the need, principles and mechanisms of action and screening processes. *Aquaculture* 274: 1-14.
- KUEBUTORNYE, F. K., E. D. ABARIKE & Y. LU. 2019. A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture. *Fish & shellfish immunology* 87: 820-828. DOI:10.1016/j.fsi.2019.02.010
- LARANJA, J. L. Q., E. C. AMAR, G. L. LUDEVESE-PASCUAL, Y. NIU, M. J. GEAGA, P. DE SCHRUYVER & P. BOSSIER. 2017. A probiotic *Bacillus* strain containing amorphous poly-beta-hydroxybutyrate (PHB) stimulates the innate immune response of *Penaeus monodon* postlarvae. *Fish & shellfish immunology* 68: 202-210. DOI:10.1016/j.fsi.2017.07.023
- LAUZON, H. L., S. GUDMUNSDOTTIR, M. H. PEDERSEN, B. B. BUDDE, B. K. GUDMUNSDOTTIR. 2008. Isolation of putative probiotics from cod rearing environment. *Veterinary Microbiology* 32: 328-339.
- LEÓN, J., J. J. APONTE, R. ROJAS, D. L. CUADRA, N. AYALA, G. TOMAS, M. GUERRERO. 2011. Estudio de actinomicetos marinos aislados de la costa central del Perú y su actividad antibacteriana frente a *Staphylococcus aureus* metilicina resistentes y *Enterococcus faecalis* vancomicina resistentes. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 28 (2): 237-246.
- LEÓN, J., J. J. D. APONTE, N. CUADRA, L. GALINDO, M. JARAMILLO, M. VALLEJO & E. MARGUET. 2016. Actinomicetos aislados de *Argopecten purpuratus* productores de enzimas extracelulares y con actividad inhibitoria de patógenos marinos. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 51 (1): 69-80. DOI:10.4067/S0718-19572016000100007.
- LOBOS, O., A. BARRERA & C. PADILLA. 2017. Microorganisms of the intestinal microbiota of *Oncorhynchus mykiss* produce antagonistic substances against bacteria contaminating food and causing disease in humans. *Italian Journal of Food Safety* 6 (2). DOI:10.4081/ijfs.2017.6240.

- LUIS-VILLASEÑOR, I. E., A. I. CAMPA-CÓRDOVA, N. HUERTA-ALDAZ, A. LUNA-GONZÁLEZ, J. M. MAZÓN-SUASTEGUI & F. FLORES-HIGUERA. 2013. Effect of beneficial bacteria on larval culture of Pacific whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *African Journal of Microbiology Research* 7 (27): 3741-3748. DOI:10.5897/AJMR12.1360
- LYAPPARAJ, P., T. MARUTHIAH, R. RAMASUBBURAYAN, S. PRAKASH, C. KUMAR, G. IM-MANUEL & A. PALAVESAM. 2013. Optimization of bacteriocin production by *Lactobacillus* sp. MSU3IR against shrimp bacterial pathogens. *Aquatic biosystems* 9 (1): 12. DOI:10.1186/2046-9063-9-12.
- MADANI, N. S. H., T. J. ADORIAN, H. GHAFARI-FARSANI & S. H. HOSEINIFAR. 2018. The effects of dietary probiotic Bacilli (*Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*) on growth performance, feed efficiency, body composition and immune parameters of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. *Aquaculture Research* 49: 1926-1933. DOI:10.1111/are.13648.
- MARQUES, A., T. H. THANH, P. SORGELOOS, P. BOSSIER. 2006. Use of microalgae and bacteria to enhance protection of gnotobiotic *Artemia* against different pathogens. *Aquaculture* 258: 116-126. DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.004.021
- MARTÍNEZ, Z. E., E. E. Q. AGUILAR, G. R. ENRÍQUEZ. 2017. Potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas de suelos de México como fuente natural de moléculas bioactivas: compuestos antimicrobianos y enzimas hidrolíticas. *Temas de Ciencia y Tecnología* 21(63): 39-51.
- MONROY-DOSTA, M. C., T. CASTRO-BARRERA, J. CASTRO-MEJÍA, G. CASTRO-MEJÍA & R. DE LARA-ANDRADE. 2012. Beneficios del uso de la flora bacteriana intestinal de los organismos acuáticos. *Contactos* 85:11-18.
- MUÑOZ-ATIENZA, E., B. GÓMEZ-SALA, C. ARAÚJO, C. CAMPANERO, R. DEL CAMPO, P. E. HERNÁNDEZ & L. M. CINTAS. 2013. Antimicrobial activity, antibiotic susceptibility and virulence factors of lactic acid bacteria of aquatic origin intended for use as probiotics in aquaculture. *BMC microbiology* 13 (1): 15. DOI:10.1186/1471-2180-13-15.
- NASS, K., T. NAESS & T. HARBOE. 1992. Enhanced first feeding of halibut larvae *Hippoglossus hippoglossus* L. in green water. *Aquaculture* 105: 143-156.
- NAVAK, S. K. 2010. Probiotics and immunity: A fish perspective. *Fish Shellfish Immunology* 29: 2-14. DOI:10.1016/j.fsi.2010.02.017
- NEWAJ-FYZUL, A., A. H. AL-HARBI & B. AUSTIN. 2014. Review: Developments in the use of probiotics for disease control in aquaculture. *Aquaculture* 431: 1-11. DOI:10.1016/j.aquaculture.2013.08.026
- OFFRET, C., F. DESRIAC, P. LE CHEVALIER, J. MOUNIER, C. JÉGOU & Y. FLEURY. 2016. Spotlight on antimicrobial metabolites from the marine bacteria *Pseudoalteromonas*: chemodiversity and ecological significance. *Marine drugs* 14 (7): 129.
- PANDIYAN, P., D. BALARAMAN, R. THIRUNAVUKKARASU, E. J. G. GNANA, K. SUBARAMANIAN, S. MANIKKAM, B. SADAYAPPANA. 2013. Probiotics in aquaculture. *Drug Invention Today* 5: 55-59. DOI:10.1016/j.dit.2013.03.003
- PANNU, R., S. DAHIYA, V. P. SABHLOK, D. KUMAR, V. SARSAR, S. K. GAHLAWAT. 2014. Effect of probiotics, antibiotics, and herbal extracts against fish bacterial pathogens. *Ecotoxicology and Environmental Contamination* 9 (1): 13-20. DOI:10.5132/eec.2014.01.002
- PARK, S. C., I. SHIMAMURA, M. FUKUNAGA, K. MORI & T. NAKAI. 2000. Isolation of bacteriophages specific to a fish pathogen, *Pseudomonas pleco-glossida*, as a candidate for disease control. *Applied Environmental Microbiology* 66: 1416-1422.
- PARKER, R. B. 1974. Probiotics: the other half of the antibiotic story. *Animal Nutrition Health* 29: 4-8.
- PHELAN, R. W., J. A. O'HALLORAN, J. KENNEDY, J. P. MORRISSEY, A. D. W. DOBSON, F. O'GARA & T. M. BARBOSA. 2012. Diversity and bioactive potential of endospore-forming bacteria cultured from the marine sponge *Haliclona simulans*. *Journal of applied microbiology* 112 (1): 65-78. DOI:10.1111/j.1365-2672.2011.05173.
- PRAKASHWADEKAR, B. & S. M. DHARMADHIKARI. 2015. Screening of marine actinomycetes as probiotics for production of bacteriocin. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 4 (11): 414-421.
- PRIETO, M. L., L. O'SULLIVAN, S. P. TAN, P. MC-LOUGHLIN, H. HUGHES, P. M. O'CONNOR & G. E. GARDINER. 2012. Assessment of the bacteriocinogenic potential of marine bacteria reveals lichenicidin production by seaweed-derived *Bacillus* spp. *Marine drugs* 10 (10): 2280-2299. DOI:10.3390/md10102280.
- QUIÑONES-AGUILAR, E. E., Z. EVANGELISTA-MARTÍNEZ & G. RINCÓN-ENRÍQUEZ. 2016. Los actinomicetos y su aplicación biotecnológica. *Elementos* 101: 59-64.
- RAO, B. M. & K. V. LALITHA. 2015. Bacteriophages for aquaculture: are they beneficial or inimical. *Aquaculture* 437: 146-154.
- ROMERO, M. & L. MENCHAN. 2013. Probióticos: nuevas líneas de investigación y aplicaciones terapéuticas en patología digestiva. *Nutrición Hospitalaria* 28: 46-48.
- SAGARPA. 2013. *Carta Nacional Acuícola 2013*. Diario Oficial de la Federación. México. Septiembre 9: 1-68.
- SÁNCHEZ-ORTIZ, A. C., A. LUNA-GONZÁLEZ, A. I. CAMPA-CÓRDOVA, R. ESCAMILA-MONTES, M. C. FLORES-MIRANDA & J. M. MAZÓN-SUASTEGUI. 2015. Isolation and characterisation of potential probiotic bacteria from pustulose ark (*Anadara tuberculosa*) suitable for shrimp farming. *Latin American Journal of Aquatic Research* 43 (1): 123-136.
- SOLANKI, R., M. KHANNA & R. LAL. 2008. Bioactive compounds from marine actinomycetes. *Indian Journal of microbiology* 48(4): 410-431.
- SRISAPOOME, P. & N. AREECHON. 2017. Efficacy of viable *Bacillus pumilus* isolated from farmed fish on immune responses and increased disease resistance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Laboratory and on-farm trials. *Fish & Shellfish Immunology* 67:199-210. DOI:10.1016/j.fsi.2017.06.018
- SORROZA-OCHOA, L. 2012. Propuesta de nuevas cepas probióticas para uso en acuicultura. Tesis Doctoral, Instituto Universitario de Sanidad Animal y Seguridad Alimentaria, Universidad de las Palmas. Gran Canaria, España. 97 p.
- SUN, Y. Z., H. L. YANG, K. P. HUANG, J. D. YE, C. X. ZHANG. 2013. Application of autochthonous *Bacillus* bioencapsulated in copepod to group *Epinephelus coioides* larvae. *Aquaculture* 392-395: 44-50. DOI:10.1016/j.aquaculture.2013.01.037

- TAN, L. T. H., K. G. CHAN, L. H. LEE & B. H. GOH. 2016. Streptomyces bacteria as potential probiotics in aquaculture. *Frontiers in microbiology* 7: 1-8. DOI:10.3389/fmicb.2016.00079.
- VAN HAI, N. 2015. Research findings from the use of probiotics in tilapia aquaculture: a review. *Fish Shellfish Immunology* 45: 592-597. DOI: 10.1016/j.fsi. 2015.05.026.
- VENDRELL, D., J. L. BALCÁZAR, I. DE BLAS, I. RUIZ-ZARZUELA, O. GIRONÉS, J. L. MÚZQUIZ. 2008. Protection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from lactococcosis by probiotic bacteria. *Comparative, Immunology, Microbiology & Infectious Diseases* 31: 337-345. DOI:10.1016/j.cimid.2007.04.002
- VERSCHUERE, L., G. ROMBAUT, P. SORGELOOS, W. VERSTRAETE. 2000. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbial Molecular Biology Reviews* 64: 655-671.
- VIEIRA, F. N., V. F. A. JATOBÁ, M. J. L. PEDREIRA, V. E. ALANO, M. SOAREZ, B. CORREA DA SILVA, S. W. QUADROS, M. M. LATERCA & L. J. VINATEA. 2013. *In vitro* selection of bacteria with potential for use a probiotic in marine shrimp culture. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 48 (8): 998-1004. DOI:10.1590/S0100-204X2013000800027
- WATTS, J. E., H. J. SCHREIER, L. LANSKA & M. S. HALE. 2017. The Rising Tide of Antimicrobial Resistance in Aquaculture: Sources, Sinks and Solutions. *Marine Drugs* 15 (6): 158. DOI.10.3390/md15060158.
- YANG, N. & C. SUN. 2016. The inhibition and resistance mechanism of actinonin, isolated from marine *Streptomyces* sp. NHF 165, against *Vibrio anguillarum*. *Frontiers in Microbiology* 7: 1467-1478. DOI:10.3389/fmicb.2016.01467
- YANG, G., H. CAO, W. JIANG, B. HU, S. JIAN, C. WEN, K. KAJBAF, V. KUMAR, Z. TAO, M. PENG. 2019. Dietary supplementation of Bacillus cereus as probiotics in Pengze crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze): Effects on growth performance, fillet quality, serum biochemical parameters and intestinal histology. *Aquaculture Research* 50 (8): 2207-2217. DOI: 10.1111/are.14102
- YI, Y., Z. ZHANG, F. ZHAO, H. LIU, L. YU, J. ZHA & G. WANG. 2018. Probiotic potential of *Bacillus velezensis* JW: antimicrobial activity against fish pathogenic bacteria and immune enhancement effects on *Carassius auratus*. *Fish Shellfish Immunology* 78: 322-330. DOI:10.1016/j.fsi.2018.04.055.
- ZHANG, W., M. LIU & X. DAI. 2013. Biological characteristics and probiotic effect of *Leuconostoc lactis* strain isolated from the intestine of black porgy fish. *Brazilian Journal of Microbiology* 44 (3): 685-691. DOI:10.1590/S1517-83822013005000053.