

Avance y perspectiva de la investigación del uso de microorganismos antagónicos en la actividad camaronícola

Gutiérrez- García Félix J.¹, Peraza- Gómez Viridiana ^{1,2*}, Robles- Ravelero Maricruz ², Castellanos-Cruz Jaime ³, Trejo- Flores José V. ⁴, López- Sánchez Armando ^{1,2}, Bautista- Covarrubias Juan C.^{1,2}, Jiménez- Ruíz Edgar I.^{2,5}, Arvizu María D.¹, Isordia-Pérez Elifonso¹

¹Unidad Académica Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit.

²Programa de Maestría en Ciencias, Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit.

³Egresado de la licenciatura de Biología Marina de la Universidad del Mar.

⁴Insumos Novanatura, S.A de C.V

⁵Unidad de Tecnología de Alimentos, Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit,.

Recibido: 22 de septiembre de 2018

Aceptado: 23 de noviembre de 2018

Resumen. Este trabajo tuvo como objetivo valorar los avances y perspectivas del empleo de antagonistas microbianos en el manejo integrado de las diferentes enfermedades que atentan contra la estabilidad de los cultivos camaronícolas. Provocadas principalmente por especies del género *Fusarium*. Se resumen los principales componentes del manejo de las enfermedades como es el uso de antibióticos, antibióticos naturales y probióticos, profundizando en el uso y perspectivas de hongos antagonistas. Los antagonistas microbianos constituyen una alternativa a utilizar dentro del manejo integrado del cultivo de camarón, ya que pueden mitigar los efectos deletéreos ocasionados por *Fusarium sp.* Tres aislados de hongos nativos de granjas camaronícolas de Nayarit preservados en el laboratorio (LABME-ENIP) presentan actividad antagonista *in vitro* ante *Fusarium sp* lo que sugiere sus potencialidades para el manejo de la fusariosis.

Palabras clave: Camaronicultura, enfermedades

de camarón, control biológico, microorganismos antagónicos, *Fusarium sp.*

Abstract. This work was aimed to demonstrate the advances and perspective use of microbial antagonists in the integrated management of different diseases that threaten the stability of shrimp farms. . Caused mainly by species of the genus *Fusarium*. Some of the main management strategies of diseases are summarized, such as the use of antibiotics, natural antibiotics and probiotics, making emphasis on the use and perspectives of antagonists fungi. Microbial antagonists are suggested as an alternative in the integrated management of the shrimp farms, since they could mitigate the deleterious effects caused by *Fusarium sp.* Three isolates of native fungi from Nayarit shrimp farms preserved in the laboratory (LABME-ENIP) have antagonistic activity *in vitro* against *Fusarium sp*, which suggests their potentialities for the management of fusariosis.

Keywords: Shrimp farming, shrimp diseases, biological control, antagonistic microorganisms, *Fusarium sp.*

Introducción

Acuicultura, un panorama mundial. La acuicultura es una actividad de innovación constante que genera altas tasas de crecimiento y producciones pesqueras y acuícolas con excelentes perspectivas (Norzagaray-Campos, 2012; FAO, 2016). Los principales organismos acuáticos producidos son peces, moluscos, crustáceos y otros invertebrados (FAO, 2016). De esta manera la actividad promueve el desarrollo socio-económico, generación de ingresos, y provisión de empleo para la población mundial (DeWalt et al., 2002). Esta actividad se encuentra sustentada con la producción mundial del año 2016 donde se produjeron 105.3 millones de toneladas, de las cuales el 73.8 millones de toneladas procedían de la acuicultura, lo que representa más de un 70% de producción por parte de este sector; y uno de los cultivos del sector acuícola con mayor demanda es el camarón, ocupando la segunda posición después de los peces (FAO, 2016; FAO 2018) con una producción mundial de camarón superior a los seis millones de toneladas (Awad y Awaad, 2017).

La camaronicultura. La camaronicultura es una de las industrias de mayor crecimiento a nivel mundial, logrando que en más de 50 países se realice esta actividad, aunque las mayores producciones de camarón se concentran en 12 países de Sureste de Asia y América Latina (FAO, 2018). En México la producción acuícola promedio de camarón *Penaeus vannamei* para el año 2014 fue de 176 mil 638 toneladas, volumen que fue superado en el año 2016 con 196 mil 132 toneladas, las cuales corresponden a las cinco entidades más productoras en el país que realizan camaronicultura como son Sinaloa, Sonora, Nayarit, Tamaulipas y Baja California Sur. El estado de Nayarit representa el tercer lugar en producción acuícola a nivel nacional produciendo un total de 17 mil 617 toneladas (SAGARPA, 2017).

Presencia de enfermedades en la actividad camaronícola. Sin embargo, junto con el crecimiento de esta industria, se ha incrementado la aparición de diversas enfermedades de carácter infeccioso, cuyos agentes causales son principalmente virus, bacterias, parásitos y hongos (Rosales-Inzunza y Acevedo-Valerio, 2008), siendo las enfermedades virales y bacterianas unas de las más letales que provocan epizootias de hasta el 100% de mortalidad.

Las enfermedades virales. Existen aproximadamente 20 virus en especies de camarón silvestre o de cultivo, algunos con subtipos que difieren en virulencia, sólo unos pocos plantean una grave amenaza para los productores de camarón, y la lista de virus graves difiere según la especie de camarón y el país de cultivo (Lightner, 1996a; Lightner y Redman, 1998; Flegel, 2012). Los virus que provocan las enfermedades en el camarón se agrupan en cuatro familias de virus de ADN y cuatro familias de virus de ARN (Lightner, 1996b). Cuatro de estos agentes causales son de particular interés en América: el virus de la cabeza amarilla (YHV, *por sus siglas en inglés*), el virus del síndrome del taura (TSV, *por sus siglas en inglés*), el virus de la necrosis infecciosa hipodérmica y hematopoyética (IHHNV, *por sus siglas en inglés*) y el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV, *por sus siglas en inglés*) (Lightner, 2003).

En Nayarit sólo se han reportado oficialmente los tres últimos patógenos (DOF 2013).

Las enfermedades bacterianas. Las enfermedades bacterianas del género *Vibrio*, se han registrado a menudo como patógenas oportunistas para camarón tanto en la fase de larvicultura como en la engorda. *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio vulnificus* y *Photobacterium damsela* afectan principalmente estanques de engorda, mientras que *Vibrio harveyi* y *Vibrio splendidus* se reconocen como dominantes en el cultivo larvario. Muchas de estas especies también han sido encontradas en la hemolinfa y el hepatopáncreas de camarones juveniles (Gómez-Gil *et al.*, 1998). Es por ello que la infección causada por bacterias del género *Vibrio* se considera una de las más dañinas para la industria camaronícola.

Las enfermedades parasitarias. Los principales parásitos de camarones causantes de la parasitosis son gregarinas, epicomensales (protozoarios, algas y bacterias filamentosas), microsporidios, haplosporidios y metazoarios (nematodos o tremátodos). Los protozoarios son los que más comúnmente afectan a los camarones, pudiendo ser observados en branquias, apéndices, exoesqueleto y tracto digestivo (intestino medio y eventualmente hepatopáncreas) (Cuéllar-Anjel, 2014).

Las enfermedades fúngicas. Otra de las enfermedades no menos importante que las provocadas por virus, bacterias y parásitos aunque de menor incidencia y que afectan la producción acuícola son las enfermedades fúngicas provocadas por hongos, los cuales fungen como patógenos de los camarones, en etapas larvarias, juveniles y adultos. Los géneros más comunes que se encuentra en las larvas son: *Lagenidium*, *Sirolopidium* y *Haliphthoros* (Brock y LeaMaster, 1992). En los juveniles y adultos, *Fusarium* es el género que ocasiona mayores problemas, la infección es progresiva y sirve como punto de entrada a otros patógenos oportunistas (Johnson, 1989).

En vista a la gran problemática que representan las enfermedades y su significativo impacto económico en la industria camaronícola se ha imple.

mentado y promovido el uso de diferentes alternativas que ayuden a prevenir o combatir las enfermedades en los camarones cultivados. Tales como:

1.- Antibióticos. Un antibiótico es una sustancia química derivada o producida por microorganismos que poseen la capacidad de matar o inhibir el desarrollo de otros microorganismos (Santiago *et al.*, 2009). En la mayoría de los casos son adicionados en el alimento (Morales-Covarrubias, 2013; Han *et al.*, 2015). En México, los antibióticos son utilizados para contrarrestar las enfermedades producidas por bacterias del género *Vibrio* (Roque *et al.*, 2001; Soto *et al.*, 2006). Sin embargo, en ocasiones han sido utilizados contra enfermedades causadas por virus resultando nulamente efectivos, esto no ha sido suficiente para el control de las enfermedades, incluso el uso excesivo de antibióticos químicos y compuestos químicos formulados con sales cuaternarias de amonio (Espinosa-Plasencia *et al.*, 2012; Gómez-Gil *et al.*, 2014) ha generado un impacto directo en medio ambiente, ya que una vez que se aplican los antibióticos estos se acumula en el medio (agua, sedimento, organismos) alterando los procesos de circulación biogeoquímica del medio; además la exposición de antibióticos a largo plazo puede causar estrés en los organismos, lo cual incrementa la producción bacteriana resistente a esos antibióticos (Abreu *et al.*, 2018); además la acumulación de antibióticos en los organismos tiene una repercusión indirecta en la salud de los seres humanos mediante la ingesta de los organismos medicados.

2.- Antibióticos naturales. En perspectiva al control de las enfermedades y al uso indiscriminado de antibióticos se han implementado: El uso de antibióticos naturales a base de sustancias naturales (SN) y/o plantas medicinales (PM). La aplicación de SN y PM, en los sistemas de cultivo es una técnica relativamente nueva, la cual ha tenido efectos positivos en el control de las enfermedades debido a sus compuestos naturales los cuáles funcionan como antioxidantes, aperitivos, tónicos,

inmunoestimulantes y antimicrobianos (Awad y Awaad, 2017), son biodegradables y biocompatibles, es por ello que no generan efectos contradictorios en el medio ni en el bienestar de los organismos (Reverter *et al.*, 2014; Trejo-Flores *et al.* 2016). La tabla 1 presenta de forma resumida los datos principales de varios trabajos elaborados con SN y PM.

Sin embargo, de acuerdo a Peraza-Gómez (2015) una de las principales desventajas de usar tratamientos a base de plantas medicinales ante un episodio de enfermedad y no de infección es que suelen ser utilizadas bajo términos profilácticos y no de combate y/o eliminación, aunque esto no cuestiona su efectividad sino que hace hincapié a la importancia de establecer una adecuada concentración y administración previa y constante de los antibióticos naturales.

3.- Probióticos. Como tantas del léxico científico, la palabra probiótico deriva del griego “pro-vida”, es decir “a favor de la vida”, en oposición al término antibiótico puesto a la luz previamente y que significa “contra la vida”. Las ventajas de los probióticos sobre los antibióticos fue discutido por Moriarty (1998), donde enfatizó los beneficios de los probióticos. El proceso de selección de cepas con potencial probiótico consiste en aislar y caracterizar microorganismos presentes en el intestino de camarones adultos o bien del medio habitual de estos organismos de cultivo. Existen muchas especies de microorganismos con potencial probiótico, entre los que destacan mayormente bacterias y hongos, y su efecto es atribuido a diversos mecanismos de acción como: Exclusión competitiva y antibiosis, competencia por nutrientes, secreción de enzimas y/o sustancias inhibitorias, entre otros (Naydenov y Dragonova, 2007). La tabla 2 presenta de forma resumida los datos principales de varios trabajos elaborados con probióticos que desarrollan el antagonismo como su principal mecanismo de acción.

Antibiosis. Sin embargo, la fusariosis causada por un hongo del género *Fusarium* hasta el momento ha sido tratada con antibióticos y

fungicidas químicos usados comúnmente para la erradicación o tratamiento de otros patógenos de camarón y no han dado resultados favorables en la cura de esta enfermedad; es por ello que es importante reconocer y controlar las infecciones con *Fusarium sp* en los cultivos de camarón ya que representa un potencial foco de infección en las instalaciones de producción (Lozano-Olvera *et al.*, 2012). En este sentido, algunas de las estrategias para contrarrestar los brotes de fusariosis de acuerdo a Martínez-Córdova *et al.*, 2009 sugieren como medida preventiva la eliminación de las fuentes de conidiosporas de *Fusarium* y la destrucción de organismos infectados. Por lo anterior, se hace necesaria la investigación sobre nuevas estrategias y/o productos de control biológico para el combate de las enfermedades fúngicas en el camarón sin causar un efecto negativo para el ambiente y los camarones en cultivo como: la antibiosis, utilizando hongos antagonistas nativos de las granjas de camarón mismos que aportarían un valor de cultivo orgánico. La antibiosis es el fenómeno mediante el cual un microorganismo antagonista inhibe o destruye a un organismo por medio de la producción metabólica de pequeñas moléculas tóxicas, compuestos volátiles y de enzimas, por efectos fungistáticos (no permite el crecimiento) o por efecto fungicida (elimina al patógeno). Los modos de acción incluyen: limitación de la formación de la pared celular o su degradación, inhibición o interferencia en la síntesis de proteínas y ADN, bloqueo de procesos metabólicos, entre otros (Haggag y Mohamed, 2007). Entre los principales hongos antagonistas destacan especies pertenecientes al género *Trichoderma sp*, que destaca principalmente por su alta capacidad de combatir a otras especies de hongos patógenos de plantas y algunos animales, y sus principales mecanismos de acción son micoparasitismo, competencia y antibiosis (Naydenov y Dragonova, 2007). En el caso de estos hongos, sus compuestos difusibles de bajo peso molecular son capaces de inhibir el

crecimiento de otros microorganismos. Algunos de estos compuestos son metabolitos tóxicos volátiles y no volátiles que impiden colonización por microorganismos antagonizados; entre otros metabolitos, podrían encontrarse el ácido harzianico, alamicinas, tricholinas, peptaiboles, antibióticos, 6-pentyl α pirona, massoilactona, viridina, gliovirina, glisoperonas y ácido heptéldico (Howell *et al.*, 1998).

Por lo anterior, la principal razón para desarrollar el biocontrol y nuevas alternativas a través del uso de hongos antagonistas para combatir enfermedades del camarón es concientizar a los productores y a la sociedad para disminuir y mitigar los daños causados al medio ambiente y a la salud del consumidor por parte de antibióticos sintéticos y otras sustancias químicas que impactan gravemente al ecosistema.

Avance y perspectivas. Los trabajos actuales sobre microorganismos antagonistas evidencian su potencial de empleo en el control de patógenos que afectan al cultivo de camarón. En la búsqueda de antagonistas microbianos se han evaluado 15 aislados de hongos (*Trichoderma sp*) para el manejo de hongos patógenos (*Fusarium sp*) en camarón de cultivo, sugiriendo que pueden representar una alternativa a utilizar en la camaronicultura. La aplicación de estos hongos y sus productos activos potenciarían las técnicas acuícolas-biotecnológicas, permitiendo obtener organismos con respuestas de defensa ante *Fusarium sp* para que prevalezca una mayor sobrevivencia de los camarones en cultivo; y posiblemente de otras especies de importancia acuícola, aspectos que constituyen objeto de investigaciones en el Laboratorio de Biotecnología Molecular Experimental (LABME) de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (ENIP) de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN).

Autor/año	Alternativas naturales	Enfermedad	Efecto/resultados
Balasubramanian, <i>et al.</i> , (2008)	<i>Cuonodon dactylon</i>	Síndrome de la mancha blanca (WSSV)	El uso de extractos de plantas antivirales derivados de <i>Cuonodon dactylon</i> mejora la modulación de la inmunidad del camarón, contra la infección por WSSV.
Yong-Chin <i>et al.</i> , (2011)	<i>Gracilaria tenuistriata</i>	Síndrome de la mancha blanca (WSSV)	La aplicación de <i>G. tenuistriata</i> mostró un efecto positivo a la inmunidad de la confección de WSSV. Mejor el rendimiento de la actividad de la lisozima y la respuesta antioxidante en camarones infectados con WSSV.
Peraza-Gómez <i>et al.</i> , (2011)	<i>Ucaria tomentosa</i> <i>Echinacea purpurea</i> <i>Ocimum sanctum</i> Guayaba	Síndrome de la mancha blanca (WSSV)	Los extractos de plantas y plantas en polvo, mostraron una alta supervivencia, y una disminución en la prevalencia de WSSV en el camarón, además aumento la actividad de las enzimas lisosomales, N-Acetil - β - glucosaminidasa y ácido fosfatasa.
Harikrishnan, Ramasamy, <i>et al.</i> , (2012)	<i>Vitania somnifera</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>	La administración de <i>V. somnifera</i> mejora positivamente el sistema inmunitario innato y aumenta la tasa de supervivencia en <i>M. rosenbergii</i> contra la infección por <i>A. hydrophila</i> .
Chin-Chuan <i>et al.</i> (2013)	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Lactococcus garriusae</i>	El extracto de <i>E. crassipes</i> tuvo un efecto positivo como inmunostimulante para el camarón mejorando la resistencia inmunitaria contra <i>L. garriusae</i> .
Peraza-Gómez <i>et al.</i> , (2014)	<i>Ucaria tomentosa</i> <i>Echinacea purpurea</i> <i>Redicoccus parvulus</i> <i>Canthida parasitosis</i>	Síndrome de la mancha blanca (WSSV)	La mezcla de plantas en polvo (PP) y inmunostimulantes microbianos (MI) son una buena alternativa para el uso antiviral contra WSSV ya que la prevalencia de WSSV en camarones con baja carga viral presentaron una disminución del 100%.
Trejo-Flores <i>et al.</i> , (2016)	<i>Aloe vera</i>	Síndrome de la mancha blanca (WSSV) y <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	El aloe vera es una buena alternativa como tratamiento profiláctico ya que protege a los camarones contra las infecciones de WSSV y <i>V. parahaemolyticus</i> , mejorando la supervivencia y crecimiento de los camarones.
Konechum, Pawapol, <i>et al.</i> , (2016)	Té verde	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	La exposición al extracto de té verde funciona como un agente antibacteriano para el control de <i>V. parahaemolyticus</i> en larvas de camarón.
Fierro-Coronado <i>et al.</i> , (2018)	Ácido fúlvico	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	El ácido fúlvico mejora la supervivencia en el camarón blanco desafiado con <i>V. parahaemolyticus</i> y modula la respuesta inmune.

Tabla 1. Estudios experimentales elaborados con sustancias naturales y plantas medicinales.

Probiótico	Origen	Observaciones	Modo de administración	Posible modo de acción	Referencia
<i>Bacillus cepa 514</i>	<i>Pennisae monodon</i> mudas y agua de los estanques de camarón	Incremento en el peso y supervivencia de larvas y <i>post-larvas</i> de <i>P. monodon</i> . Reducción de la mortalidad luego de una infección con <i>V. karstevi</i> D331	Adicionado en la dieta	Antagonismo	<i>Renepipat et al.</i> , (1998)
<i>Bacillus</i> y <i>Vibrio</i> sp.	Cultivo de <i>Litopenaeus setiferus</i>	Incrementa la resistencia a <i>Vibrio karstevi</i> y mancha blanca en <i>L. setiferus</i>	Adicionado en la dieta	Antagonismo, <i>in vitro</i> , estimulación	Balcázar (2003)
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pennisae monodon</i>	Incrementa la supervivencia <i>in vivo</i> en una infección experimental con <i>V. karstevi</i>	Adicionado al agua del cultivo	Antagonismo	<i>Vaseharian Y Ramasamy</i> (2003)
<i>Pasteurella</i> spp., <i>E. cereus</i> y <i>Pa. polydora</i>	Agua de mar, sedimento y muestras de intestino de peces marinos	Actividad probiótica de <i>Pasteurella</i> spp., <i>E. cereus</i> y <i>Pa. polydora</i> luego de infecciones con <i>Vibrios</i> en <i>post-larvas</i> de <i>P. monodon</i>	Cepas aisladas	Antagonismo	<i>Ravi et al.</i> (2007)
<i>Apelvinia nasuta</i> , <i>Apelvinia lacunosa</i> , <i>Donaix</i> sp.	Cepas aisladas de esponjas de mar y bivalvos	El porcentaje total de interacción antagonística entre estas cepas bacterianas fue del 64 %, por lo que se propone la interacción bacteriana antagonística como posible mecanismo de regulación del crecimiento poblacional de <i>Macrobrachium</i> .	Cepas aislada	Antagonismo	<i>Mora-Cristancho et al.</i> , (2009)
<i>Trichoderma</i> Fitopatógenos	Cepas aisladas de hongos	El aislamiento de <i>Trichoderma</i> manifieste varios modos de acción: más eficiente y duradero será el control sobre el patógeno, aspectos que no poseen los plaguicidas químicos.	Cepas aislada	Antagonismo	<i>Infante-Dauay et al.</i> , (2009)
Bacterias de ácido láctico Levadura <i>Vibrio</i> <i>Sikaelonisis</i>	Cultivo de <i>Litopenaeus setiferus</i>	Los resultados indican que estos inmunostimulantes microbianos son un buen aditivo alimentario contra <i>Vibrio</i> spp. En el cultivo del camarón.	Antagonismo, <i>in vitro</i> , estimulación	Antagonismo	<i>Flores-Miranda et al.</i> , (2011)
<i>Lactobacillus</i> <i>acidophilus</i>	Cepas de aislados 8 especies de hongos y de 10 especies de bacterias del pepino de mar	El enfrentamiento entre estas especies bacterianas no reflejó actividad inhibitoria en el crecimiento, mientras que para las especies fúngicas si hubo un efecto inhibitorio en las pruebas de enfrentamiento dual.	Cepas aislada	Antagonismo	<i>Luna-Fontalvo et al.</i> , (2014)

Tabla 2. Estudios experimentales elaborados con probióticos

No obstante, las potencialidades de estos antagonistas, han sido desarrollados y se ha evaluado su eficacia *in vitro* hasta el momento, obteniendo resultados positivos contra *Furarium sp*, por lo que se debe profundizar en el estudio de los microorganismos antagonicos, y en sus mecanismos de acción *in vivo*, así como evaluar la supervivencia y crecimiento de los organismos suplementados con estas cepas, después de ser retados con algún patógeno a nivel experimental, con escalamiento comercial. En este contexto, recurrir al control biológico haciendo uso de hongos antagonicos nativos de granjas camaroneras del estado de Nayarit, ofrece una alternativa atóxica de control natural contra un hongo patógeno, sin generar un efecto negativo en el ambiente y además de bajo costo comparado con el empleo de fungicidas. Estas características potencialmente favorables han motivado plantear este tipo de investigación.

Agradecimientos.

Los autores agradecen el apoyo de financiamiento a PRODEP a través del proyecto (511-6/17-7645). Gutiérrez- García Félix J. ha recibido una beca de estudios de licenciatura (PRODEP 511-6/17-7645).

Literatura citada.

Abreu, M. S., Giacomini, A. C. V. V., Zanandrea, R., Dos Santos, B. E., Genario, R., de Oliveira, G. G., Friend, A. J., Amstislavskaya, T. G. y Kalueff, A. V. (2018). Psychoneuroimmunology and immunopsychiatry of zebrafish. *Psychoneuroendocrinology*, 92, 1-12.

Awad, E. y Awaad, A. (2017). Role of medicinal plants on growth performance and immune status in fish. *Fish Shellfish Immunol*, 67, 40-54.

Balasubramanian, G., Sarathi, M., Venkatesan, C., Thomas, J., y Hameed, A. S. (2008). Studies on the immunomodulatory effect of extract of *Cyanodon dactylon* in shrimp, *Penaeus monodon*, and its efficacy to protect the shrimp from

white spot syndrome virus (WSSV). *Fish & Shellfish Immunology*, 25(6), 820-828.

Balcázar, J. L. (2003). Evaluation of probiotic bacterial strains in *Litopenaeus vannamei*. Final Report, National Center for Marine and Aquaculture Research, Guayaquil, Ecuador

Brock, J. A., y LeaMaster, B. (1992). A look at the principal bacterial, fungal and parasitic diseases of farmed shrimp. En J. Wyban (Ed.), *Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming* (pp. 212-226). Baton Rouge, Louisiana, USA: World Aquaculture Society.

Chin-Chyuan, C., Hui-Ching, T. y Winton, C. (2013). Effects of dietary administration of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) extracts on the immune responses and disease resistance of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Fish & shellfish immunology*, 35 (1), 92-100.

Cuéllar-Anjel, J. (2014). Métodos para el diagnóstico de enfermedades en camarones Penaeidos. En: V. Morale y J. Cuéllar-Ánjel (eds), *Guía técnica - Patología e inmunología de camarones Penaeidos* (pp. 21-96). Panamá: OIRSA.

De la Federación, DO (2013). Plan Nacional de desarrollo 2013-2018. Acuerdo mediante el cual se instrumenta el dispositivo nacional de emergencia de sanidad acuícola, en los términos del artículo 116 de la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables, con objeto de controlar y erradicar la ocurrencia de mortalidades atípicas en las unidades de producción de camarón en los estados de Nayarit, Sinaloa y Sonora. Secretaria de Gobernación, México. 22/08/2013.

DeWalt, B. R., Zavala, J. R. R., Noriega, L., & González, R. E. (2000). *Shrimp aquaculture, the people and the environment in coastal Mexico*. World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment.

Espinosa-Plascencia, A. y Bermúdez-Almada, M. C. (2012). La acuicultura y su impacto al medio ambiente. *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 2, 221-232.

- FAO. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma.
- FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sustentable. Roma.
- Fierro-Coronado, J. A., Angulo, C., Rubio-Castro, A., Luna-González, A., Cáceres-Martínez, C. J., Ruiz-Verdugo, C. A., y Diarte-Plata, G. (2018). Dietary fulvic acid effects on survival and expression of immune-related genes in *Litopenaeus vannamei* challenged with *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture Research*, 49(9), 3218-3227.
- Flegel, T. W. (2012). Historic emergence, impact and current status of shrimp pathogens in Asia. *Journal of invertebrate pathology*, 110, 166-173.
- Flores-Miranda, M. C., Luna-González, A., Campa-Córdova, Á. I., González-Ocampo, H. A., Fierro-Coronado, J. A., y Partida-Arangure, B. O. (2011). Microbial immunostimulants reduce mortality in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) challenged with *Vibrio sinaloensis* strains. *Aquaculture*, 320(1-2), 51-55.
- Gómez-Gil, B., Tron-Mayen, L., Roque, A., Turnbull, J. F., Inglis, V. y Guerra-Flores, A. L. (1998). Species of *Vibrio* isolated from hepatopancreas, haemolymph and digestive tract of a population of healthy juvenile *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 163, 1-9.
- Gómez-Gil, B., Soto-Rodríguez, S., Lozano, R. y Betancourt-Lozano, M. (2014). Draft Genome Sequence of *Vibrio parahaemolyticus* Strain M0605, Which Causes Severe Mortalities of Shrimps in Mexico. *Genome Announcements*, 2 (2), 55-14.
- Haggag, W. M., & Mohamed, H. A. L. A. (2007). Biotechnological aspects of microorganisms used in plant biological control. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 7-13.
- Han, J., Mohny, L., Tang, K., Pantoja, C. y Lightner, D. V. (2015). Plasmid mediated tetracycline resistance of *Vibrio parahaemolyticus* associated with acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in shrimps. *Aquaculture Rep*, 2, 17-21.
- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., Jawahar, S. y Heo, M. S. (2012). Immunomodulatory effect of *Withania somnifera* supplementation diet in the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) against *Aeromonas hydrophila*. *Fish & shellfish immunology*, 32 (1), 94-100.
- Howell, C. R. (1998). The role of antibiosis in biocontrol. *Trichoderma and Gliocladium*, 2, 173-84.
- Infante, D., Martínez, B., González, N., y Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de protección vegetal*, 24 (1), 14-21.
- Johnson, S. K. (1989). Handbook of shrimp diseases. USA: Texas A & M University.
- Kongchum, P., Chintong, S., Chareansak, N., y Subprasert, P. (2016). Effect of Green Tea Extract on *Vibrio Parahaemolyticus* Inhibition in Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Postlarvae. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 11, 117-124.
- Lightner DV. (1996a). A handbook of shrimp pathology and diagnostic procedures for diseases of cultured penaeid shrimp. Baton Rouge, Louisiana, USA: World Aquaculture Society.
- Lightner, D. V. (1996b). Epizootiology, distribution and the impact on international trade of two penaeid shrimp viruses in the Americas. *OIE Revue Scientifique et Technique*, 15 (2), 579-601.
- Lightner, D. V. y Redman, R. M. (1998). Shrimp diseases and current diagnostic methods. *Aquaculture*, 164 (1-4), 201-220.
- Lightner, D. V. (2003). The Penaeid shrimp viral pandemics due to IHHND, WSSV, TSV and YHV: history in the Americas and Current Status. *Aquaculture and pathobiology of crustacean and other species. proceedings of 32nd UJNR aquaculture pane symposium*, November 17-18 and 20th 2003 (pp. 1-20), Davis and Santa Barbara, California, USA.

- Luna-Fontalvo, J., Rodríguez-Forero, A. y Sarmiento-Rodríguez, J. (2014). Microbiota aislada del pepino de mar (*Isostichopus badionotus*) nativo de la bahía de Taganga, Caribe colombiano. *Revista Intropica*, 9, 75–83.
- Lozano Olvera, R., Marrujo López, F. I., & Abad Rosales, S. M. (2012). Necrosis cuticular en camarón *Litopenaeus vannamei* asociada a *Fusarium sp.* (Cuticular necrosis in shrimp *Litopenaeus vannamei* associated with *Fusarium sp.*). *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(7), 1-7.
- Martínez- Córdova, L. R., Martínez- Porchas, M., & Cortés- Jacinto, E. (2009). Camaronicultura mexicana y mundial: ¿actividad sustentable o industria contaminante?. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 181-196.
- Mora-Cristancho, J., Zea-Sjoberg, S. y Gil-Agudelo, D. (2009). Actividad antagónica entre bacterias epibióticas aisladas de esponjas marinas del caribe colombiano y su relación con la macroepibiosis. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 38 (1), 25–38.
- Morales-Covarrubias M. S. (2013). Camaronicultura en aguas de baja salinidad. México: Trillas.
- Moriarty, DJW (1998). Control de especies luminosas de *Vibrio* en estanques de acuicultura peneidos. *Acuicultura*, 164 (1-4), 351-358.
- Naydenov, M. y Draganova, D. (2007). Screening of antagonistic fungi from *Trichoderma spp.* for biological control of important plant pathogens. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 8 (3), 616–624.
- Norzagaray-Campos, M., Muñoz-Sevilla, P., Sánchez-Velasco, L., Capurro-Filigrasso, L. y Llánes-Cárdenas, O. (2012). Acuicultura: estado actual y retos de la investigación en México. *AquaTIC*, 37 (7), 20–25.
- Peraza-Gómez, V., Luna-González, A., Campa-Córdova, Á. I., Fierro-Coronado, J. A., González Ocampo, H. A. y Sainz-Hernández, J. C. (2011). Dietary microorganism and plant effects on the survival and immune response of *Litopenaeus vannamei* challenged with the white spot syndrome virus. *Aquaculture Research*, 42 (4), 559–570.
- Peraza-Gómez, V., Luna-González, A., González-Prieto, J. M., Fierro-Coronado, A. y González-Ocampo, H. A. (2014). Protective effect of microbial immunostimulants and antiviral plants against WSSV in *Litopenaeus vannamei* cultured under laboratory conditions. *Aquaculture*, 420, 160–164.
- Peraza-Gómez, V. (2015). Efecto de plantas medicinales e inmunoestimulantes microbianos en el crecimiento, supervivencia, prevalencia de WSSV e IHNV y sistema inmune del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) cultivado. Tesis de Doctorado en Ciencias en Biotecnología, CIIDIR- IPN Unidad Sinaloa, Guasave, México.
- Ravi, A.V., Musthafa, K.S., Jegathammbal, G., Kathiresan, K. y Pandian, S.K. (2007). Screening and evaluation of probiotics as a biocontrol agent against pathogenic *Vibrios* in marine aquaculture. *Letters in Applied Microbiology* 45, 219–223.
- Rengpipat, S., Phianphak, W., Piyatiratitivorakul, S. y Menasveta, P. (1998). Effect of a probiotic bacterium on black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture*. 167 (3–4), 301–313.
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B. y Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50–61.
- Roque, A., Molina, A. A., Bolán, M. C. y Gómez G. B. (2001). In vitro susceptibility to 15 antibiotics of vibrios isolated from penaeid shrimps in Northwestern México. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 17, 383–387.
- Rosales-Inzunza, S. y Acevedo-Valerio, V. A. (2011). La política Acuícola, ¿instrumento para el desarrollo regional?. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 52, 53–62.
- SAGARPA. (2017). Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2017 de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. México.

- Santiago, M., Espinosa, A. y Bermúdez, M. (2009). Uso de antibióticos en la camaronicultura. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 40 (3), 22-32.
- Soto, R. S., Simoes, N., Roque, A. y Gómez, G. B. (2006). Pathogenicity and colonization of *Litopenaeus vannamei* larvae by luminescent vibrios. *Aquaculture*, 258, 109-115
- Trejo-Flores, J. V., Luna-González, A., Álvarez-Ruíz, P., Escamilla-Montes, R., Peraza-Gómez, V., Diarte-Plata, G, and Rubio-Castro, A. (2016). Protective effect of *Aloe vera* in *Litopenaeus vannamei* challenged with *Vibrio parahaemolyticus* and white spot syndrome virus. *Aquaculture*, 465, 60-64.
- Vaseeharan, B. y Ramasamy, P. (2003). Control of pathogenic *Vibrio* spp. by *Bacillus subtilis* BT23, a possible probiotic treatment for black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Lett. Appl. Microbiol.* 36, 83-87.
- Yong-Chin, L., Su-Tuen, Y., Chang-Che, L., Li-Li, C., Ann-Chang, C. y Jiann-Chu, C. (2011). An immersion of *Gracilaria tenuistipitata* extract improves the immunity and survival of white shrimp *Litopenaeus vannamei* challenged with white spot syndrome virus. *Fish & shellfish immunology*. 31 (6), 1239-46.
- Naydenov, M. y Draganova, D. (2007). Screening of antagonistic fungi from *Trichoderma* spp. for biological control of important plant pathogens. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 8, 3, 616-624.

