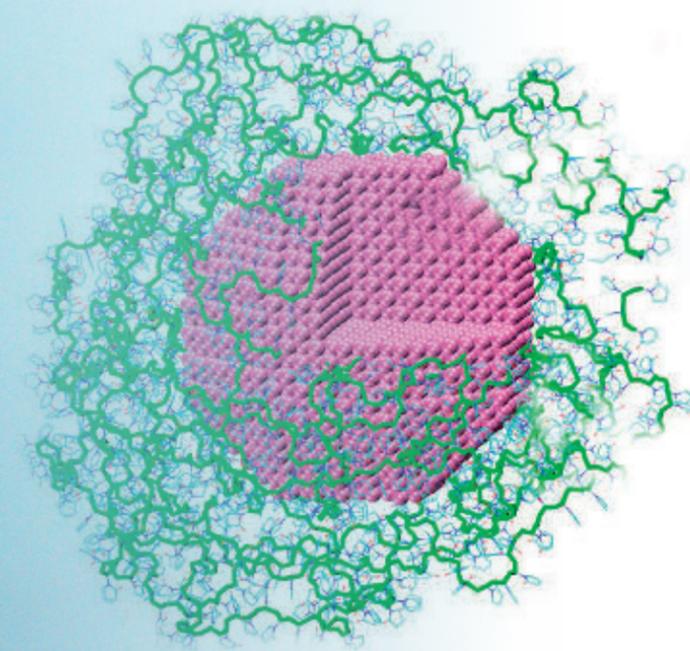


¿Por qué es una buena opción combatir enfermedades del camarón de cultivo con nanopartículas metálicas?

Why is it a good option to combat farmed shrimp diseases with metallic nanoparticles?

Autores:
Laura Camacho-Jiménez^{1,2} y
Claudio Humberto Mejía-Ruiz^{1*}



Resumen

A nivel mundial, la acuicultura del camarón es una industria en expansión que se ha visto impactada de manera negativa por las enfermedades infecciosas. La bionanotecnología es una disciplina que ofrece alternativas a las terapias tradicionales con antibióticos y otros fármacos que generalmente tienen mecanismos de acción limitados y generan resistencias microbianas. Las nanopartículas metálicas (NPs) son una nueva clase de materiales que han mostrado efectos biocidas contra patógenos que infectan humanos, pero que también recientemente se asoman como una solución para el manejo de enfermedades virales y bacterianas que afectan al camarón. En el presente trabajo, resumimos los fundamentos del uso de las NPs metálicas como una nueva clase de agentes antimicrobianos, así como los avances y perspectivas de su administración en la camaronicultura, poniendo en manifiesto que podrían ser una buena opción para manejar enfermedades del camarón causadas por patógenos.

Palabras claves: Bionanotecnología, nanopartículas metálicas, enfermedades, acuicultura, camarón

¹Laboratorio de Biotecnología de Organismos Marinos, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Calle IPN #195, 23060, La Paz, B.C.S, México.

²Comercializadora de Larvas Nauplios y Camarón S.A. de C.V. (PROLAMAR), Oscar Pérez Escobosa #6341, 82129, Mazatlán, Sinaloa, México.

*Autor de correspondencia, hmejia@cibnor.mx



Abstract

Globally, shrimp aquaculture is a growing industry that has been negatively impacted by infectious diseases. Bionanotechnology is a discipline that offers alternatives to traditional therapies with antibiotics and other drugs that generally have limited action mechanisms and generate microbial resistance. Metallic nanoparticles (NPs) are a new class of materials that have shown biocidal effects against pathogens that infect humans but have also recently emerged as a solution for the management of viral and bacterial diseases that affect shrimp. In the present work, we summarize the fundamentals of the use of metallic NPs as a new class of antimicrobial agents, as well as the advances and perspectives of their administration in shrimp culture, showing that they could be a good option to manage shrimp diseases caused by pathogens.

Keywords: Bionanotechnology, metal nanoparticles, diseases, aquaculture, shrimp

Introducción

El desarrollo de la ciencia y la tecnología que se fraguó a finales del siglo pasado, y que permitió la fusión de metodologías de diferentes disciplinas. La bionanotecnología es un conocimiento multidisciplinario obtenido en la intersección de la biología y la nanotecnología. Ciertamente, la biología opera en el régimen de la nanoescala, utilizando procesos naturales que ocurren por debajo de los 100 nm de dimensión (Reisner *et al.*, 2014). Por lo tanto, la bionanotecnología es una disciplina que manipula materiales a un nivel atómico o molecular para originar estructuras y dispositivos con propiedades distintas al material original (Morrow *et al.*, 2007). Estos “nuevos” materiales

comúnmente caen en una escala nanométrica, por lo que son extremadamente pequeños e invisibles al ojo humano. Para darnos una idea de las dimensiones de un nanomaterial, 1 nm equivale a una millonésima parte de 1 mm, por lo que un objeto de 100 nm sería miles de veces más pequeño que el tamaño de una bacteria o una célula animal o vegetal, y cientos de veces más pequeña que el grosor de un cabello humano (Fig. 1).

Entre los nanomateriales más conocidos y estudiados se encuentran las nanopartículas (NPs), las cuales son nano-objetos con tres dimensiones externas sintetizados a partir de materiales orgánicos, inorgánicos o ambos. La diversidad y versatilidad en la composición de las NPs hace posible su aplicación en diferentes sectores de la industria, por ejemplo, en la electrónica y comunicaciones, construcción, energía, biorremediación ambiental, alimentación, cosmética,

y medicina. Particularmente, en medicina, las NPs han sido mayormente utilizadas en el desarrollo de fármacos contra enfermedades infecciosas y no infecciosas (Ealia y Saravanakumar, 2017).

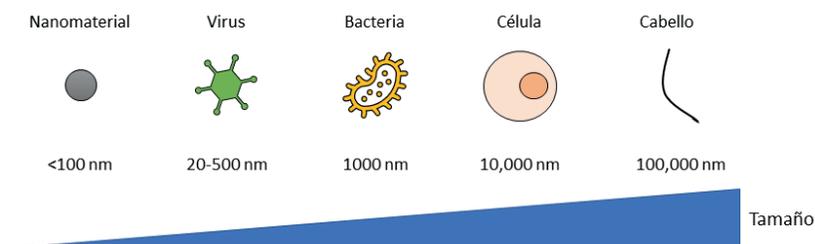


Figura 1. Comparación entre el tamaño de los nanomateriales y diversos sistemas biológicos.

En la actualidad, la lucha contra las enfermedades infecciosas ha sido mermada por la resistencia a los antibióticos y antivirales conocidos, así como por la presencia de patógenos emergentes, lo cual hace necesario acelerar la búsqueda de nuevos agentes antimicrobianos. Este interés ha llegado a la acuicultura, pues el rápido crecimiento de esta actividad ha ido acompañado de la aparición y rebotes de distintas enfermedades infecciosas con graves consecuencias a nivel económico (Tabla 1). En la actualidad, algunas de las medidas adoptadas por los acuicultores para evitar brotes infecciosos en granjas de camarón incluyen: el uso de semilla certificada de camarón libre de patógenos específicos (SPF), la implementación de métodos de diagnóstico, una mayor rigurosidad en las prácticas de bioseguridad, así como el uso de inmunoestimulantes, desinfectantes y antibióticos permitidos por las autoridades sanitarias de cada país (Lee *et al.*, 2022).

Sin embargo, el gran riesgo del uso de antibióticos y antivirales es el desarrollo de resistencias microbianas. En este sentido, las NPs basadas en metales representan una alternativa revolucionaria, pues a diferencia de la mayoría de los fármacos en el mercado, poseen múltiples mecanismos de acción sobre

los microorganismos, lo que magnifica su espectro de acción y disminuye la probabilidad de que generen resistencia (Kumar *et al.*, 2018). Aunque la actividad de las NPs metálicas se ha estudiado mayormente en patógenos que causan enfermedades en el hombre, también existen algunos avances sobre su uso en el manejo de enfermedades del camarón.

Procedencia de las nanopartículas (NPs) metálicas

A lo largo de la historia, metales como el cobre (Cu), el oro (Au) y la plata (Ag) han sido utilizados para la prevención y tratamiento de infecciones.

Los griegos y romanos bebían agua mantenida en vasijas de plata, pues así se mantenía limpia y fresca (Medici *et al.*, 2019). En otro ejemplo, las medicinas tradicionales chinas e hindús basan sus terapias en distintas preparaciones de minerales metálicos y plantas (Gyamfi, 2019). Mas recientemente,

**Tabla 1.** Patógenos que causan enfermedades en el camarón*

Patógeno	Enfermedad (es)	Especies susceptibles
Virus		
Virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV)	Enfermedad de la mancha blanca	Camarones peneidos y otros décapodos
Virus de la cabeza amarilla (YHV)	Enfermedad de la cabeza amarilla	<i>Metapenaeus affinis</i> , <i>Penaeus monodon</i> , <i>Litopenaeus vannamei</i> , <i>Litopenaeus stylirostris</i>
Virus de la necrosis infecciosa hipodérmica y hematopoyética (IHHNV)	Necrosis infecciosa hipodérmica y hematopoyética	<i>P. monodon</i> , <i>Penaeus californiensis</i> , <i>Penaeus setiferus</i> , <i>L. vannamei</i> , <i>L. stylirostris</i>
Parvovirus hepatopancreático (HPV)	Enfermedad por parvovirus hepatopancreático	<i>Penaeus duorarum</i> , <i>Penaeus aztecus</i> , <i>P. setiferus</i> , <i>Penaeus marginatus</i> , <i>L. vannamei</i> , <i>Penaeus schmittii</i> , <i>Penaeus paulensis</i> , <i>Penaeus subtilis</i>
Virus Taura	Síndrome Taura	<i>Metapenaeus ensis</i> , <i>P. aztecus</i> , <i>P. monodon</i> , <i>P. setiferus</i> , <i>L. stylirostris</i> , <i>L. vannamei</i>
Virus de la mionecrosis infecciosa (IMNV)	Mionecrosis infecciosa	<i>Penaeus esculentus</i> , <i>Penaeus merguensis</i> , <i>L. vannamei</i> .
Baculovirus de <i>Penaeus monodon</i> (MBV)	Baculovirus esférica	<i>P. monodon</i>
Baculovirus penaei (BP)	Baculovirus tetraédrica	<i>P. duorarum</i> , <i>P. aztecus</i> , <i>P. setiferus</i> , <i>P. marginatus</i> , <i>L. vannamei</i> , <i>P. schmittii</i> , <i>P. paulensis</i> , <i>P. subtilis</i>
Virus de la vacuolización del órgano linfóide (LOVV)	Enfermedad de la vacuolización del órgano linfóide	<i>L. vannamei</i> , <i>P. monodon</i>
Bacterias		
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Enfermedad de la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND)	<i>P. monodon</i> , <i>L. vannamei</i>
<i>Vibrio harveyi</i>	Vibriosis luminiscente	Camarones peneidos
<i>Vibrio spp.</i>	Enfermedad de la mancha café, astilla negra, síndrome gaviota	Camarones peneidos
<i>Leucothrix mucor</i>	Enfermedad de las branquias negras	Camarones peneidos
<i>Hepatobacter penaei</i>	Hepatopancreatitis necrotizante	<i>L. vannamei</i>
Hongos		
<i>Fusarium solani</i>	Infecciones	Juveniles y adultos de camarones peneidos
<i>Lagenidium spp.</i>	infecciones	Larvas de camarones peneidos
Parásitos		
Microsporidios	Enfermedad del camarón algodonoso	Camarones peneidos
Gregarinas	Infecciones	Camarones peneidos

*Modificado de Camacho-Jiménez *et al.* (2020)

en los inicios de la medicina moderna y antes del descubrimiento de los antibióticos, los metales eran utilizados para tratar diversas enfermedades infecciosas. Por ejemplo, Robert Koch, premio Nobel de medicina en 1905, introdujo una terapia basada en oro para combatir la tuberculosis

en el siglo XX (Singh *et al.*, 2021). Evidentemente, con el descubrimiento de la penicilina por Alexander Flemming en 1928, los antibióticos y otros fármacos desplazaron progresivamente a los metales como tratamientos de elección contra enfermedades infecciosas. Sin embargo, en la actualidad, el abuso de los antibióticos ha favorecido el surgimiento de cepas multi-resistentes, lo cual ha obligado a visitar a los metales para la prospección de nuevas terapias antimicrobianas, entre las cuales están las NPs metálicas.

Diversos elementos metálicos como Ag, Au, cadmio (Cd), Niquel (Ni), zinc (Zn), entre otros, pueden ser utilizados en la síntesis de NPs con propiedades antimicrobianas.

Esto es principalmente porque los elementos metálicos poseen carga eléctrica positiva (cationes), lo que facilita su interacción con componentes exteriores de las células o virus que tienen cargas negativas. Las NPs pueden ser sintetizadas

a partir de un compuesto metálico o mineral por métodos físicos (evaporación-condensación y ablación laser), químicos (reducción orgánica o fotoinducida, micro-emulsión) o biológicos utilizando microorganismos (no patógenos), plantas o derivados (extractos) (Jamkhande *et al.*, 2019). En principio, las NPs tienen un comportamiento totalmente distinto al compuesto original (por ejemplo, óxido o dióxido), al poseer una mayor relación superficie/volumen que incrementa de manera inversa a su tamaño. Esto a su vez altera sus propiedades fisicoquímicas (transferencia de calor y masa, conductividad, capacidad de disolución, actividad catalítica), lo cual en muchos casos favorece su capacidad de interactuar con las biomoléculas que componen a los microorganismos (Hoseinzadeh *et al.*, 2017).

Actividad antimicrobiana de las nanopartículas metálicas

Como se mencionó anteriormente, las NPs metálicas poseen múltiples mecanismos de acción antimicrobiana. En patógenos unicelulares como bacterias, hongos y algunos parásitos (Fig.

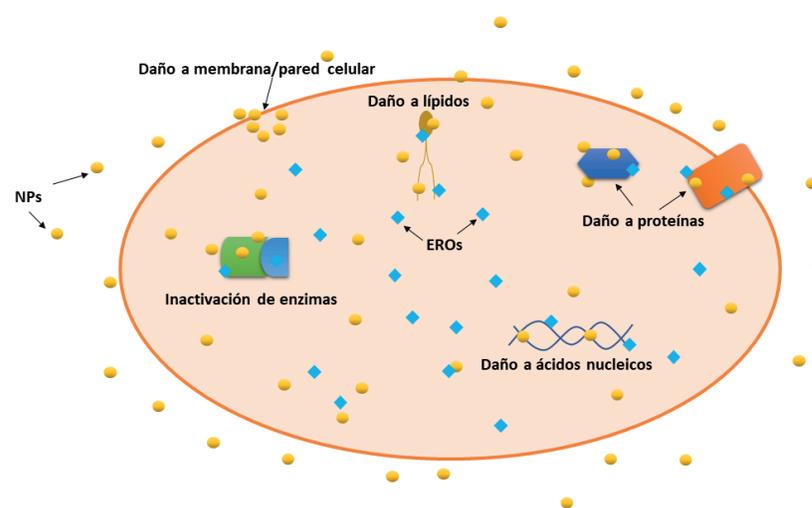


Figura 2. Esquema general de los mecanismos de acción de las NPs metálicas en bacterias, hongos y parásitos. Las NPs pueden dañar las biomoléculas (lípidos, proteínas y ácidos nucleicos) presentes, tanto en la superficie (membrana o pared) como en el interior de la célula. Estos efectos pueden ser exacerbados por una sobreproducción de EROs.



2), las NPs metálicas pueden actuar a nivel de superficie mediante la interacción con las proteínas y lípidos de la membrana y/o pared celular, afectando su estructura, integridad y permeabilidad.

Al ingresar a las células, las NPs pueden interactuar con las proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, causando alteraciones en su estructura y función, además de promover la formación de especies reactivas de oxígeno (EROs) con capacidad oxidante (Sharmin *et al.*, 2021). Estos daños en las biomoléculas afectan procesos vitales en el microorganismo, como el metabolismo, transporte de sales y agua, replicación del ADN y división celular, entre otros, lo que inminentemente causa su muerte (Gold *et al.*, 2018).

Con respecto a la actividad antiviral, se ha determinado que las NPs tienen el potencial de inhibir la proliferación de virus en el hospedero (Fig. 3). En el exterior de la célula diana, las NPs evitan la entrada

de los virus al destruir las biomoléculas de la partícula viral, o bien, impidiendo su unión a los receptores en la superficie celular que intervienen en el reconocimiento e internalización del virus. Dentro de la célula, tanto las NPs como las EROs producidas dañan las proteínas y material genético virales, impidiendo que el virión se replique y ensamble (Salleh *et al.*, 2020).

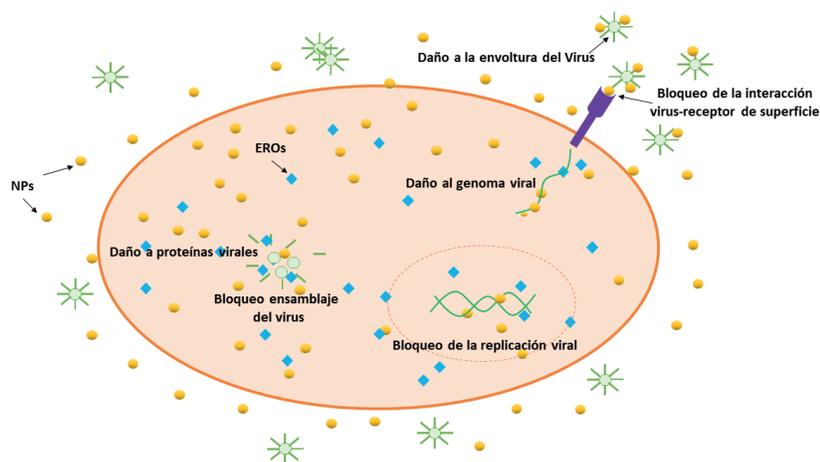


Figura 3. Esquema general de los mecanismos de acción antiviral de las NPs metálicas. Las NPs pueden impedir la entrada del virus a las células hospederas destruyendo la partícula viral o bloqueando su interacción con los receptores de superficie. Dentro de las células, las NPs y las EROs dañan las proteínas y el material genético del virión, evitando su replicación y ensamblaje.

Por otro lado, entre los factores más determinantes para la actividad antimicrobiana de las NP metálicas, está el tipo de metal que las compone. Por ejemplo, Ramamurthy *et al.* (2013), encontraron que las NPs de plata (AgNPs) presentan una mayor capacidad de inhibir el crecimiento de diferentes bacterias (*Escherichia coli*, *Pseudomonas sp.* y *Bacillus sp.*) que las NPs de oro (AuNPs). El tamaño también incide sobre la actividad de las NPs.

Experimentos con AgNPs han revelado que a menor tamaño estas poseen un mayor efecto antibacteriano, sobre todo en tamaños <10nm, ya que pueden penetrar en las células por difusión, mientras que las NPs más grandes interactúan con proteínas extracelulares (Hoseinzadeh *et al.*, 2017).

Sin embargo, una limitante para la aplicación terapéutica de

las NPs metálicas son los posibles efectos tóxicos en humanos y animales. La toxicidad de las NPs depende en gran medida de su estabilidad tanto en el medio de suspensión como dentro de las células animales. La estabilidad de las NPs puede verse alterada por factores como la fuerza iónica, composición y pH del medio acuoso, los cuales pueden favorecer su aglomeración y disolución en iones metálicos, disminuyendo su actividad antimicrobiana y causando efectos indeseados en las células animales (Yang *et al.*, 2019). Se han investigado diversas formas de administrar las NPs en humanos y animales sin que causen toxicidad o sufran alteraciones en las propiedades terapéuticas. Lo más común, es estabilizar las NPs en una suspensión coloidal o un polímero de origen sintético (por ejemplo, polietilenglicol y polivinilpirrolidona) o natural (por ejemplo, alginato y quitosano) que interactúa con las cargas positivas en la superficie de las NPs (Yang *et al.*, 2018). Estos agentes actúan a manera de cubierta y evitan la disolución y agregación de las NPs, lo que reduce considerablemente su toxicidad en comparación con las NPs “desnudas”, e inclusive tiene un efecto potenciador de su actividad antimicrobiana (Javed *et al.*, 2020). Un enfoque más novedoso, aunque todavía experimental, es combinarlas con biomoléculas (proteínas, ADN, anticuerpos) para incrementar su compatibilidad con los tejidos diana (Sharma *et al.*, 2017).

Nanopartículas metálicas contra enfermedades del camarón

Los estudios en camarón sobre la capacidad antimicrobiana de las NPs aún son escasos, pero con resultados esperanzadores. Se ha determinado que las NPs de plata (AgNPs), zinc (ZnNPs) y cobre (CuNPs) inhiben el crecimiento de bacterias del género *Vibrio*, las cuales pueden causar infecciones septicémicas y letales en el camarón (Kandasamy y Alikunhi, 2013; Nguyen *et al.*, 2020; Ramamoorthy *et al.*, 2013). Resultados similares se han obtenido mediante estudios *in vivo*, los cuales han revelado que la administración de NPs metálicas mejora la supervivencia y la

respuesta inmune del camarón infectado con bacterias del género *Vibrio* (Tello-Olea *et al.*, 2019). Con respecto a las enfermedades virales, los esfuerzos de los investigadores en bionanotecnología se han enfocado en buscar terapias contra el virus de la mancha blanca (*White Spot Syndrome Virus: WSSV*), el cual es desastroso para los acuicultores, pues puede provocar mortalidades masivas en periodos de tiempo extremadamente cortos (días) (Li *et al.*, 2019). Hasta el momento, no existen fármacos contra el WSSV disponibles en el mercado, por lo que la terapia con NPs metálicas es una opción prometedora.

Particularmente, las AgNPs son capaces de incrementar la supervivencia a infecciones por WSSV, al reducir la carga viral y estimular la respuesta inmune del camarón, sin producir signos de toxicidad (Juárez-Moreno *et al.*, 2017; Ochoa-Meza *et al.*, 2019; Romo-Quiñonez *et al.*, 2020).



Retos de la aplicación de NPs metálicas en la camaronicultura

Uno de los principales desafíos del uso de NPs metálicas como antimicrobianos en la camaronicultura es el método de administración. De manera experimental, la inyección intramuscular de NPs en suspensión es uno de los métodos que ha resultado eficaz (Juárez-Moreno *et al.*, 2017). Sin embargo, este método puede ser difícil de implementar en granjas, donde hay una gran cantidad de individuos, pues los protocolos de inyección masiva pueden ser costosos e imprácticos, sobre todo en cuanto a mano de obra. En ese caso, la administración oral incorporando las NPs en comprimidos de alimento para camarón podría simplificar la labor. Esto se ha evaluado directamente mediante la aspersion de NPs sobre el alimento (Tello-Olea *et al.*, 2019), o bien, incluyéndolas como parte de la formulación de los comprimidos de alimento (Romo-Quiñones *et al.*, 2020). Alternativamente, se pueden usar otros organismos como “vehículos” para la entrega de las NPs al ser depredados por el camarón. Por ejemplo, bacterias probióticas (*Bacillus subtilis*) productoras de AgNPs se han utilizado contra la vibriosis en camarón (Sivaramasamy *et al.*, 2016). De manera similar, también se ha probado la alimentación con nauplios de *Artemia* “cargados” con NPs como terapia antibacteriana (Alvarez-Cirerol, *et al.*, 2019). Sin embargo, aunque estas estrategias de administración oral han resultado inocuas para el camarón a corto plazo (Tello-Olea *et al.*, 2019; Romo-Quiñonez *et al.*, 2020), todavía se requieren más estudios para garantizar que las NPs no se bioacumulan en los tejidos y causan efectos tóxicos a largo plazo, que pudieran afectar la salud de los camarones o del consumidor.

Consideraciones finales y perspectivas

La bionanotecnología es un campo multidisciplinario que no solo ha cobrado relevancia en la lucha contra las enfermedades

infecciosas que afectan al hombre, sino también a animales de interés pecuario, incluyendo el camarón. De manera experimental, las NP metálicas han mostrado eficacia como terapia contra enfermedades causadas tanto por virus y bacterias que infectan al camarón, al ser suministradas ya sea por vía intramuscular u oral sin causar toxicidad. No obstante, es necesario buscar métodos que permitan su administración masiva en granjas. En ese sentido, el desarrollo de alimentos formulados cargados con NP es un enfoque prometedor.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) y a las empresas Genética Acuícola Mexicana S.A. de C.V. (GENAMEX) y Comercializadora de Larvas Nauplios y Camarón S.A. de C.V. (PROLAMAR) por todas las facilidades brindadas para las investigaciones realizadas por

el laboratorio de Biotecnología de Organismos Marinos (CIBNOR-La Paz) sobre antivirales para su aplicación en la camaronicultura. Se agradece al Lic. Gerardo Hernández García por el diseño gráfico editorial del manuscrito.

Referencias

- Alvarez-Cirerol, F.J., López-Torres, M.A., Rodríguez-León, E., Rodríguez-Beas, C., Martínez-Higuera, A., Lara, H.H., Vergara, S., Arellano-Jiménez, M.J., Larios-Rodríguez, E., Martínez-Porchas, M., de-la-Re-Vega, E. y R.A. Iñiguez-Palomares. 2019. *Silver nanoparticles synthesized with Rumex hymenosepalus: A strategy to combat early mortality syndrome (EMS) in a cultivated white shrimp*. Journal of Nanomaterials: 2019.
- Camacho-Jiménez, L., Álvarez-Sánchez, A.R. y C.H. Mejía-Ruiz. 2020. *Silver nanoparticles (AgNPs) as antimicrobials in marine shrimp farming: A review*. Aquaculture Reports, 18: 100512.
- Ealia, S.A.M. y M.P. Saravanakumar. 2017. *A review on the classification, characterization, synthesis of nanoparticles and their application*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 263(3): 032019.
- Gold, K., Slay, B., Knackstedt, M. y A.K. Gaharwar. 2018. *Antimicrobial activity of metal and metal-oxide based nanoparticles*. Advanced Therapeutics, 1(3): 1700033.
- Gyamfi, E. T. 2019. *Metals and metalloids in traditional medicines (Ayurvedic medicines, nutraceuticals and traditional Chinese medicines)*. Environmental Science and Pollution Research, 26(16): 15767-15778.
- Hoseinzadeh, E., Makhdoumi, P., Taha, P., Hossini, H., Stelling, J. y M. Amjad Kamal. 2017. *A review on nano-antimicrobials: metal nanoparticles, methods and mechanisms*. Current drug metabolism, 18(2): 120-128.
- Jamkhande, P.G., Ghule, N.W., Bamer, A.H. y M.G. Kalaskar. 2019. *Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications*. Journal of drug delivery science and technology, 53: 101174.
- Javed, R., Zia, M., Naz, S., Aisida, S.O. y Q. Ao. 2020. *Role of capping agents in the application of nanoparticles in biomedicine and environmental remediation: recent trends and future prospects*. Journal of Nanobiotechnology, 18(1): 1-15.
- Juárez-Moreno, K., Mejía-Ruiz, C.H., Díaz, F., Reyna-Verdugo, H., Re, A.D., Vazquez-Felix, E.F., Sánchez-Castrejón, E., Mota-Morales, J.D., Pestryakov, A. y N. Bogdanchikova. 2017. *Effect of silver nanoparticles on the metabolic rate, hematological response, and survival of juvenile white shrimp Litopenaeus vannamei*. Chemosphere, 169: 716-724.



- Kandasamy, K., Alikunhi, N.M., Manickaswami, G., Nabikhan, A. y G. Ayyavu. 2013. *Synthesis of silver nanoparticles by coastal plant Prosopis chilensis (L.) and their efficacy in controlling vibriosis in shrimp Penaeus monodon*. Applied Nanoscience, 3(1): 65-73.
- Kumar, M., Curtis, A. y C. Hoskins, C. 2018. *Application of nanoparticle technologies in the combat against anti-microbial resistance*. Pharmaceutics, 10(1): 11.
- Lee, D., Yu, Y.B., Choi, J.H., Jo, A.H., Hong, S.M., Kang, J.C. y J.H. Kim. 2022. *Viral Shrimp Diseases Listed by the OIE: A Review*. Viruses, 14(3): 585.
- Li, C., Weng, S., y J. He. 2019. *WSSV–host interaction: Host response and immune evasion*. Fish & Shellfish Immunology, 84: 558-571.
- Medici, S., Peana, M., Nurchi, V.M. y M.A. Zoroddu. 2019. *Medical uses of silver: history, myths, and scientific evidence*. Journal of medicinal chemistry, 62(13): 5923-5943.
- Morrow, K.J., Bawa, R. y C. Wei. 2007. *Recent advances in basic and clinical nanomedicine*. Medical Clinics of North America, 91(5): 805-843.
- Nguyen, N.Y., An, B.N., Le, M.V. y H.A. Hoang. 2020. *Antibacterial Activity of Copper Nanoparticles-Chitosan Composite against Vibrio parahaemolyticus*. Biocontrol Science, 25(3): 159-165.
- Ochoa-Meza, A.R., Álvarez-Sánchez, A.R., Romo-Quiñonez, C.R., Barraza, A., Magallón-Barajas, F.J., Chávez-Sánchez, A., García-Ramos, J.C., Toledano-Magaña, Y., Bogdanchikova, N., Pestriyakov, A. y C.H. Mejía-Ruiz. 2019. *Silver nanoparticles enhance survival of white spot syndrome virus infected Penaeus vannamei shrimps by activation of its immunological system*. Fish & Shellfish Immunology, 84: 1083-1089.
- Ramamoorthy, S., Kannaiyan, P., Moturi, M., Devadas, T., Muthuramalingam, J., Natarajan, L., Arunachalam, N. y A.G. Ponniah. 2013. *Antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles against Vibrio harveyi*. Indian J Fish, 60: 107-112.
- Ramamurthy, C.H., Padma, M., Mareeswaran, R., Suyavaran, A., Kumar, M.S., Premkumar, K. y C. Thirunavukkarasu. 2013. *The extra cellular synthesis of gold and silver nanoparticles and their free radical scavenging and antibacterial properties*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 102: 808-815.
- Reisner, D.E., Brauer, S., Zheng W. Raj, B., Alvelo, J. Gericke, M. y C. Vulpe. 2014. *Bionanotechnology*. pp. 436-489. En: I. Management Association (Eds.). Nanotechnology: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. IGI Global.
- Romo-Quiñonez, C.R., Álvarez-Sánchez, A.R., Álvarez-Ruiz, P., Chávez-Sánchez, M.C., Bogdanchikova, N., Pestriyakov, A. y C.H. Mejía-Ruiz. 2020. *Evaluation of a new Argovit as an antiviral agent included in feed to protect the shrimp Litopenaeus vannamei against White Spot Syndrome Virus infection*. PeerJ, 8: e8446.

- Salleh, A., Naomi, R., Utami, N.D., Mohammad, A. W., Mahmoudi, E., Mustafa, N. y M.B. Fauzi. 2020. *The potential of silver nanoparticles for antiviral and antibacterial applications: A mechanism of action.* Nanomaterials, 10(8): 1566.
- Singh, N., Sharma, R. y R. Bharti. 2021. *Gold complexes and their effect on antiarthritic activity and anticancer activity.* Materials Today: Proceedings.
- Sharma, A., Goyal, A.K. y G. Rath. 2018. *Recent advances in metal nanoparticles in cancer therapy.* Journal of drug targeting, 26(8): 617-632.
- Sharmin, S., Rahaman, M.M., Sarkar, C., Atolani, O., Islam, M.T. y O.S. Adeyemi. 2021. *Nanoparticles as antimicrobial and antiviral agents: A literature-based perspective study.* Heliyon, 7(3): e06456.
- Sivaramasamy, E., Zhiwei, W., Li, F. y J. Xiang. 2016. *Enhancement of vibriosis resistance in Litopenaeus vannamei by supplementation of biomastered silver nanoparticles by Bacillus subtilis.* J Nanomed Nanotechnol, 7(352): 2.
- Tello-Olea, M., Rosales-Mendoza, S., Campa-Córdova, A.I., Palestino, G., Luna-González, A., Reyes-Becerril, M., Velázquez, E., Hernández-Adame, L. y C. Angulo. 2019. *Gold nanoparticles (AuNP) exert immunostimulatory and protective effects in shrimp (Litopenaeus vannamei) against Vibrio parahaemolyticus.* Fish & Shellfish Immunology, 84: 756-767.
- Yang, K., Han, Q., Chen, B., Zheng, Y., Zhang, K., Li, Q. y J. Wang. 2018. *Antimicrobial hydrogels: promising materials for medical application.* International journal of nanomedicine, 13: 2217.
- Yang, Y., Xu, S., Xu, G., Liu, R., Xu, A., Chen, S. y L. Wu. 2019. *Effects of ionic strength on physicochemical properties and toxicity of silver nanoparticles.* Science of the Total Environment, 647: 1088-1096.

CITA DE ARTÍCULO:

Camacho-Jiménez L y C.H. Mejía-Ruiz. 2022. ¿Por qué es una buena opción combatir enfermedades del camarón de cultivo con nanopartículas metálicas? Recursos Naturales y Sociedad, 2022. Vol. 8 (1): 117-127. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.01.0008>

Sometido: 17 de diciembre 2021

Revisado: 10 de marzo 2022

Aceptado: 12 de mayo 2022

Editor Asociado: Dr. Joaquín Gutiérrez Jagüey.

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández