



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO DE ENSAYO

Revisión bibliográfica de los principales mecanismos de desinfección
contra agentes bacterianos para el tratamiento del agua de cultivo de camarón
(*Penaeus vannamei*).

AUTORA

Andrea Soledad Ríos Jarrín

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ACUICULTURA**

TUTORA

PhD. Veronica Vera Vera

Santa Elena, Ecuador

Año 2026



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos calificadores, aprueban el presente trabajo de titulación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por el Instituto de Postgrado de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ROXANA DEL CARMEN
ALVAREZ ACOSTA**

**PhD. Roxana Álvarez Acosta
COORDINADOR DEL
PROGRAMA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**VERONICA ISABEL
VERA VERA**

**PhD. Verónica Vera Vera
TUTOR**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**JOSE ANTONIO MELENA
CEVALLOS**

**PhD. José Melena Cevallos
ESPECIALISTA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**SONNYA PATRICIA
MENDOZA LOMBANA**

**PhD. Sonnya Mendoza Lombana
ESPECIALISTA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MARIA MARGARITA
RIVERA GONZALEZ**

**Ab. María Rivera González, Mgs.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN:

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Andrea Soledad Ríos Jarrín, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Acuicultura.

Atentamente,



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**VERONICA ISABEL
VERA VERA**

Ing. Verónica Vera Vera, PhD
TUTORA



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Andrea Soledad Ríos Jarrín

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, **Revisión bibliográfica de los principales mecanismos de desinfección contra agentes bacterianos para el tratamiento del agua de cultivo de camarón (*Penaeus vannamei*)** previo a la obtención del título en Magíster en Acuicultura, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 20 días del mes de Julio de año 2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ANDREA SOLEDAD RIOS
JARRIN**

Andrea Soledad Ríos Jarrín
AUTORA



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACION

Yo, Andrea Soledad Ríos Jarrín

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de la investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este informe de investigación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, a los 20 días del mes de Julio de año 2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ANDREA SOLEDAD RIOS
JARRIN**

**Andrea Soledad Ríos Jarrín
AUTORA**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **(Revisión bibliográfica de los principales mecanismos de desinfección contra agentes bacterianos para el tratamiento del agua de cultivo de camarón (*Penaeus vannamei*)).**, presentado por el estudiante, Andrea Soledad Ríos Jarrín fue enviado al Sistema Antiplagio TURNITIN, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 6%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 Página 2 de 29 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: tm:oid::1:3616659140

6% Similitud general
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

5%	 Fuentes de Internet
3%	 Publicaciones
1%	 Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**VERONICA ISABEL
VERA VERA**

Ing. Verónica Vera Vera, PhD
TUTORA

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme fortaleza, sabiduría y perseverancia
para culminar esta importante etapa de mi vida.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena
UPSE por brindarme la oportunidad de continuar mi formación
académica.

A todos los profesores por compartir sus enseñanzas y
experiencias, las cuales aportaron a mi crecimiento profesional.

De manera especial, agradezco a mi tutora, Verónica
Vera, PhD, por su apoyo, tiempo y por compartir sus
conocimientos, fundamentales para la culminación de esta
investigación

Andrea Soledad Ríos Jarrín

DEDICATORIA

A mi padre, que hoy está en el cielo, cuyo ejemplo de lucha, esfuerzo y superación sigue siendo mi mayor inspiración.

A mi madre, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, su apoyo permanente y confianza en cada una de mis decisiones. Por ser mi mayor motivación que me inspira a continuar superándome cada día.

A mis hermanos, por su cariño y apoyo incondicional, los cuales han sido un impulso importante para seguir adelante y alcanzar esta meta.

Andrea Soledad Ríos

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE GRADO	ii
CERTIFICACIÓN:.....	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iv
AUTORIZACION	v
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO.....	vi
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO TEÓRICO	3
Importancia de la Calidad del Agua en la Camaronicultura.....	3
Principales Agentes Bacterianos Patógenos	4
Mecanismos de Desinfección Química	5
<i>Hipoclorito de Sodio y Ácido Hipocloroso en Agua Salina</i>	5
<i>Peróxido de Hidrógeno</i>	6
<i>Procesos de Oxidación y Desinfección</i>	7
<i>Ozono (O₃)</i>	7

Mecanismos de Desinfección Física	8
<i>Radiación Ultravioleta (UV-C)</i>	8
Eficacia de los Mecanismos de Desinfección	9
Mecanismos Biológicos de Control Microbiológico	10
<i>Uso de Probióticos y Bacteriófagos</i>	10
Residuos Tóxicos y Sostenibilidad Ambiental	11
<i>Cloro (HOCl/NaOCl):</i>	11
<i>Ozono (O₃) y Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂)</i>	12
<i>Radiación Ultravioleta (UV-C)</i>	12
<i>Probióticos y Bacteriófagos</i>	13
METODOLOGÍA	16
DISCUSIÓN.....	35
CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de la calidad del agua en la camaronicultura	3
Tabla 2 Desinfectantes contra bacterias patógenas	9
Tabla 3 Comparación de la efectividad de los mecanismos de desinfección	14
Tabla 4 Técnica SPICE.....	16
Tabla 5 Método PRISMA 2020	18
Tabla 6 Evolución anual de la producción científica sobre mecanismos de desinfección para el tratamiento del agua en el cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> (2010-2025)	22
Tabla 7 Distribución geográfica de la producción científica por país sobre mecanismos de desinfección aplicados al tratamiento del agua en el cultivo de <i>Penaeus vannamei</i>	23
Tabla 8 Caracterización epidemiológica de los principales patógenos bacterianos del cultivo de camarón	25
Tabla 9 Desinfección por ozono - parámetros operativos y eficacia.....	27
Tabla 10 Evaluación de desinfectantes químicos combinados: mecanismos de acción y efectos sinérgicos.....	28
Tabla 11 Mecanismos biológicos de control microbiológico aplicados al tratamiento del agua en el cultivo de <i>Penaeus vannamei</i>	29
Tabla 12 Comparación de los principales mecanismos de desinfección	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Flujo PRISMA del proceso de selección de artículos científicos.20

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Matriz de identificación y trazabilidad de los 48 estudios incluidos.....	50
----------------	---	----

RESUMEN

Esta revisión analiza los principales mecanismos de desinfección contra agentes bacterianos para el tratamiento del agua en el cultivo intensivo de *Penaeus vannamei*. El objetivo fue evaluar la eficacia, impacto inmunológico y sostenibilidad ambiental de métodos químicos, físicos y biológicos de control microbiológico. Se realizó una revisión sistemática de 48 artículos (2010-2025) mediante bases de datos Scopus y Web of Science; las preguntas de investigación se estructuraron mediante SPICE y el proceso de selección se reportó conforme a PRISMA 2020. Los resultados evidenciaron que el ozono como agente oxidante, y la radiación UV-C, como método físico, presentaron una elevada eficacia de inactivación microbiana bajo condiciones operativas controladas. Sin embargo, su eficacia y seguridad dependieron de factores como la dosis, la demanda de ozono, los oxidantes residuales totales (TRO), el potencial de oxido reducción (ORP), la salinidad, la materia orgánica, la transmitancia del agua y el tiempo de contacto. Los desinfectantes químicos como el cloro fueron eficaces, pero pudieron generar residuos tóxicos y afectar el microbioma. La integración de probióticos y bacteriófagos contribuyó a mejorar la salud del camarón y la sostenibilidad del sistema. Se concluye que los mecanismos de desinfección deben aplicarse en condiciones optimizadas y combinados para maximizar la desinfección sin comprometer la salud inmunológica del camarón ni el medio ambiente, fortaleciendo la bioseguridad y sostenibilidad en la camaronicultura.

Palabras clave: Agentes bacterianos, agua de cultivo, desinfección microbiana, *Penaeus vannamei*.

ABSTRACT

This review analyzes the main disinfection mechanisms against bacterial agents for water treatment in the intensive culture of *Penaeus vannamei*. The objective was to evaluate the efficacy, immunological impact, and environmental sustainability of chemical, physical, and biological methods for microbiology control.. A systematic review of 48 articles (2010–2025) was conducted using the Scopus and Web of Science databases; the research questions were structured using the SPICE framework, and the selection process was reported in accordance with PRISMA 2020. The results demonstrated that ozone (as an oxidizing agent) and UV-C radiation (as a physical method) exhibited high microbial inactivation efficacy under controlled operating conditions. However, their efficacy and safety depended on factors such as dosage, ozone demand, total residual oxidants (TRO), oxidation-reduction potential (ORP), salinity, organic matter, water transmittance, and contact time. Chemical disinfectants like chlorine were effective but could generate toxic residues and affect the microbiome. The integration of probiotics and bacteriophages contributed to improving shrimp health and system sustainability. It is concluded that disinfection mechanisms should be applied under optimized conditions and in combination to maximize disinfection without compromising shrimp immunological health or the environment, thereby strengthening biosecurity and sustainability in shrimp farming.

Keywords: *Bacterial agents, culture water, microbial disinfection, Penaeus vannamei.*

INTRODUCCIÓN

La acuicultura del camarón blanco (*Penaeus vannamei*) se consolida como una de las actividades productivas más relevantes a nivel global. En especial, dentro de los sistemas intensivos donde la calidad del agua es un factor determinante para el éxito del cultivo. En dichos sistemas, la proliferación de bacterias patógenas como *Vibrio* spp., *Aeromonas* spp. y *Pseudomonas* spp., se asocia con el brote de enfermedades, el deterioro fisiológico del organismo y con elevadas tasas de mortalidad que afecta directamente la rentabilidad de la producción (Choudhary et al., 2025).

Ante esta problemática, la desinfección del agua se ha establecido como una estrategia clave para el control microbiológico en sistemas acuícolas. Diversos métodos han sido evaluados en la literatura, incluyendo desinfectantes químicos como el cloro y el peróxido de hidrógeno, procesos de oxidación como la ozonización y métodos físicos como la radiación UV-C, así como enfoques biológicos basados en probióticos y en sistemas biofloc (Feng et al., 2018; Ranjit et al., 2025; Situmorang et al., 2025). No obstante, la eficacia de dichos mecanismos varía significativamente en función de las condiciones del sistema de cultivo.

Si bien algunos métodos presentan altos niveles de inactivación bacteriana en condiciones controladas, su aplicación en sistemas de producción reales podría generar resultados variables. De hecho, el uso de desinfectantes químicos desencadenaría la producción de subproductos tóxicos, lo cual, eventualmente afectaría el microbiota del sistema, mientras que los métodos físicos y biológicos de control microbiológico ofrecen alternativas más sostenibles, aunque requieren un manejo técnico adecuado para garantizar su eficiencia (Imaizumi et al., 2024; König et al., 2021).

En este contexto, existe un creciente interés en el desarrollo de estrategias integradas que combinen diferentes mecanismos de desinfección, con el objetivo de lograr un equilibrio entre la

eficacia microbiológica, la salud del camarón y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, persisten limitaciones en la literatura, debido a que muchos estudios han sido realizados en condiciones controladas lo que dificulta su extrapolación a nivel de sistemas de cultivos reales.

Por ello, este estudio se desarrolló mediante una revisión sistemática de la literatura, que permitió recopilar, organizar y analizar información acerca de los mecanismos de desinfección durante el tratamiento del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei* y, a su vez, facilita la detección de áreas disciplinarias inexploradas. Bajo esta premisa, la relevancia de la investigación reside en aportar una perspectiva que contraste la capacidad de inactivación bacteriana de los métodos de desinfección y la incidencia que estos tienen sobre la calidad del camarón. Esto permite que exista un equilibrio entre las producciones a gran escala y el ecosistema.

En este marco, los hallazgos de la investigación pueden ser aplicados en escenarios reales, ya que dan paso al desarrollo de procesos sanitarios orientados a la preservación de la bioseguridad. A partir de este panorama, surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿qué métodos de desinfección se utilizan en el tratamiento del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei*?, ¿qué nivel de eficacia presentan los métodos químicos, físicos y biológicos de control microbiológico?, y ¿qué efectos generan sobre la salud del camarón y el ambiente?

En función de estas interrogantes, el presente estudio tiene como objetivo analizar los principales mecanismos de desinfección del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei* mediante una revisión sistemática de la literatura. Para ello se considera la eficacia bacteriana, el impacto en la salud del camarón y la sostenibilidad dentro de los sistemas productivos.

MARCO TEÓRICO

Importancia de la Calidad del Agua en la Camaronicultura

La calidad del agua constituye uno de los factores más determinantes para el éxito productivo en la camaronicultura. Debido a que, parámetros como el pH, la salinidad, el oxígeno disuelto, la temperatura y los compuestos nitrogenados influyen directamente sobre el desempeño fisiológico, el crecimiento y la supervivencia del camarón (Boyd et al., 2021).

Tabla 1

Parámetros de la calidad del agua en la camaronicultura

Parámetro	Rango óptimo / recomendado	Impacto en el cultivo	Referencia bibliográfica
Ph	7,5–8,5	Valores fuera del rango generan estrés fisiológico, alteración metabólica y mayor susceptibilidad a enfermedades	(Boyd et al., 2021)
Salinidad	15–30 g/L	Mantiene el equilibrio osmótico y favorece el crecimiento y supervivencia	(Boyd et al., 2021)
Oxígeno disuelto	> 5 mg/L	Favorece el metabolismo, crecimiento y disminuye mortalidad	(Boyd et al., 2021)
Temperatura	25–32 °C	Influye sobre metabolismo, consumo de alimento y respuesta inmune	(Hargreaves, 2013)
Amoniaco (NH ₃)	< 0,1–0,5 ppm	Concentraciones elevadas producen toxicidad y reducen supervivencia	(Hargreaves, 2013; Boyd et al., 2021)
Nitritos (NO ₂ ⁻)	< 0,1 ppm	Incrementan el estrés fisiológico y afectan el crecimiento	(Boyd et al., 2021)

Nota. Datos sintetizados de Boyd et al. (2021) y Hargreaves (2013).

Como se observa en la tabla 1, los parámetros fisicoquímicos del agua condicionan la estabilidad del sistema y la proliferación bacteriana. Desviaciones en estos rangos incrementan el

estrés del camarón y favorecen el desarrollo de patógenos, lo que resalta la importancia de su control dentro de las estrategias de bioseguridad.

Principales Agentes Bacterianos Patógenos

Las enfermedades bacterianas son causadas por especies de género *Vibrio* (*V. harveyi*, *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus*) y son una amenaza relevante. Es necesario destacar que la enfermedad de Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND) es ocasionada por cepas de *V. parahaemolyticus* y son portadoras de los genes *pirA* y *pirB*. Lo cual genera un alto índice de mortalidad y altas pérdidas económicas. Por lo que el manejo adecuado de probióticos y el control de la calidad de agua, son puntos esenciales para mitigar este tipo de impacto y no afectar el sector de la camaronicultura.

Aunado a ello, existen otros géneros bacterianos oportunistas de importancia sanitaria en sistemas acuícolas. Entre ellos se incluyeron a las *Pseudomonas* spp. y *Aeromonas* spp., cuya presencia suele asociarse frecuentemente con alteraciones en la calidad del agua y con condiciones de estrés en cultivos intensivos. Dentro del género *Pseudomonas*, se ha reportado que determinadas cepas poseen una capacidad patogénica sobre organismos acuáticos. Lo que genera procesos inflamatorios, necrosis tisular y la disminución de la supervivencia, especialmente bajo condiciones de desequilibrio microbiológico del sistema.

Por su parte, las *Aeromonas* spp., particularmente las *Aeromonas hydrophila*, han sido ampliamente reconocidas como un patógeno oportunista de relevancia en la acuicultura. Debido a la expresión de factores de virulencia que favorecen procesos infecciosos, septicemia y pérdidas productivas. En consecuencia, el monitoreo microbiológico del agua, el mantenimiento de parámetros fisicoquímicos estables y la implementación de estrategias preventivas tales como: el establecimiento de medidas de bioseguridad, el uso racional de desinfectantes y las estrategias

biológicas constituyen herramientas fundamentales para disminuir el riesgo sanitario y fortalecer la sostenibilidad del cultivo de *Penaeus vannamei*.

Mecanismos de Desinfección Química

Hipoclorito de Sodio y Ácido Hipocloroso en Agua Salina

El hipoclorito de sodio (NaOCl) es uno de los compuestos más empleados en el tratamiento del agua dentro de los sistemas acuícolas. Pues posee la capacidad para generar cloro activo y reducir la carga microbiana (James et al., 2025). Al incorporarse al agua, el hipoclorito se disocia formando ácido hipocloroso (HOCl) e ion hipoclorito (OCl^-), especies responsables de la actividad oxidativa del sistema (Zhu et al., 2025).

El ácido hipocloroso (HOCl) es una de las especies con mayor actividad desinfectante. Debido a su elevada capacidad de difusión a través de membranas celulares bacterianas y a su acción oxidativa sobre proteínas, lípidos, enzimas y ácidos nucleicos, lo que provoca la inactivación microbiana (James et al., 2025). La eficacia del cloro libre depende principalmente del pH; en rangos cercanos a 6–7 predomina el HOCl , mientras que en condiciones alcalinas las características del agua marina ($\approx 7,8\text{--}8,3$) aumenta la fracción de OCl^- , reduciendo parcialmente la eficiencia desinfectante (Zhu et al., 2025).

En sistemas de camaronicultura y ambientes salinos, la presencia natural de bromuro (Br^-) modifica significativamente la química del cloro residual. El ácido hipocloroso reacciona rápidamente con el bromuro presente en el agua marina, formando ácido hipobromoso (HOBr) e ion hipobromito (OBr^-). A este fenómeno se lo conoce como bromación secundaria (Wang et al., 2018).

Como resultado, gran parte del cloro residual libre se transforma en oxidantes bromados residuales, predominando el ácido hipobromoso (HOBr). El cual mantiene una elevada actividad

antimicrobiana frente a bacterias y biofilms presentes en los sistemas acuícolas (Wang et al., 2018; James et al., 2025). Sin embargo, las dosis elevadas y los tiempos prolongados de exposición pueden formar subproductos bromados y generar efectos adversos sobre el microbioma del cultivo, como estrés oxidativo o alteraciones fisiológicas en el camarón. Se recomienda monitorear oxidantes residuales totales (TRO) y ajustar el tratamiento en función de la salinidad, la carga orgánica y las condiciones operativas del sistema (Zhu et al., 2025).

Peróxido de Hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es uno de los agentes oxidantes ampliamente utilizados en los sistemas acuícolas. Debido a su capacidad desinfectante y a que su degradación genera como producto final agua y oxígeno, lo que reduce el riesgo de acumulación de residuos persistentes en el ambiente. Su mecanismo de acción se basa en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), particularmente radicales hidroxilos (OH), capaces de oxidar componentes celulares esenciales como lípidos de membrana, proteínas estructurales, enzimas y material genético bacteriano. Lo cual provoca alteraciones metabólicas e inactivación microbiana.

En condiciones acuícolas, la eficacia del H_2O_2 está influenciada por factores como: la concentración aplicada, el tiempo de exposición, la temperatura, la salinidad, el contenido de materia orgánica y la carga microbiana del sistema. En producciones intensivas de cultivo de *Penaeus vannamei*, el uso controlado del peróxido de hidrógeno ha mostrado una capacidad significativa para reducir poblaciones bacterianas y mejorar condiciones sanitarias del agua. Empero, en exposiciones excesivas puede inducir estrés oxidativo, afectar el microbioma beneficioso y comprometer procesos biológicos asociados al biofloc o a sistemas de recirculación (Situmorang et al., 2025).

Por esta razón, el empleo de H_2O_2 debe realizarse bajo criterios rígidos de dosificación y mantenerse en monitoreo continuo para controlar los parámetros fisicoquímicos y la respuesta biológica del cultivo. Esto permite maximizar la eficacia desinfectante sin generar efectos adversos sobre el rendimiento productivo ni la salud del camarón.

Procesos de Oxidación y Desinfección

Ozono (O_3)

El ozono (O_3) es uno de los agentes oxidantes más potentes en la acuicultura, pues su capacidad de oxidación (2,07 V) es elevada, lo que permite la inactivación rápida de bacterias, virus, hongos y protozoos, a través del daño oxidativo sobre las membranas celulares, las proteínas y el material genético microbiano. Además, el ozono mejora la calidad del agua al oxidar la materia orgánica disuelta y favorecer la transformación de compuestos nitrogenados, disminuyendo la turbidez y la carga microbiológica.

No obstante, en sistemas acuícolas marinos y de camaronicultura, el uso del ozono requiere un control riguroso, debido a que puede reaccionar con el bromuro (Br^-), naturalmente presente en el agua salina, y generar subproductos oxidantes bromados, incluyendo el hipobromito (OBr^-), el ácido hipobromoso (HOBr) y el bromato (BrO_3^-). Estos compuestos pueden inducir estrés oxidativo, daño branquial, alteraciones del microbioma y generar efectos negativos sobre la salud del camarón si se acumulan en concentraciones elevadas (Feng et al., 2018; Sitthi et al., 2024). Se recomienda monitorear los oxidantes residuales totales (TRO), supervisar el tiempo de contacto y regular la dosis aplicada para evitar efectos tóxicos dentro del sistema productivo.

Mecanismos de Desinfección Física

Radiación Ultravioleta (UV-C)

El mecanismo de acción de la radiación ultravioleta (UV-C), especialmente en longitudes de onda cercanas a 254 nm, se basa en la absorción de energía por el ADN y el ARN microbiano. Esto induce la formación de dímeros de timina que bloquean los procesos de replicación y transcripción celular. Lo que provoca la inactivación de bacterias como *Vibrio* spp. y otros microorganismos acuáticos (Teitge et al.,2020; Thanajiradech et al.,2025).

La eficacia del tratamiento UV depende directamente de la transmitancia ultravioleta del agua (UVT, UV Transmitancia), definida como el porcentaje de radiación UV capaz de atravesar una columna de agua determinada. Asimismo, los valores elevados de sólidos suspendidos, la materia orgánica disuelta, la turbidez, el color y la biomasa microbiana reducen la transmitancia y limitan la penetración de la radiación. Lo que disminuye significativamente la dosis efectiva recibida por los microorganismos (Teitge et al.,2020; Thanajiradech et al.,2025). Por consiguiente, en sistemas acuícolas se recomienda maximizar la claridad del agua mediante la filtración previa para mantener una adecuada transmisión UV y garantizar la eficiencia del proceso de desinfección, sin generar residuos químicos secundarios (Teitge et al.,2020; Thanajiradech et al.,2025).

Eficacia de los Mecanismos de Desinfección

Tabla 2

Desinfectantes contra bacterias patógenas

Mecanismo / Desinfectante	Dosis operativa reportada	Eficacia reportada	Ventajas	Limitaciones críticas	Referencia bibliográfica
Cloro (HOCl/NaOCl)	≈ 1 mg/L de cloro libre residual	>90% reducción bacteriana bajo condiciones controladas.	Alta disponibilidad, rápida acción oxidativa y bajo costo.	Menor eficacia en presencia de materia orgánica, en agua salina puede formar oxidantes bromados residuales (HOBr/OBr ⁻).	(James et al., 2025; Wang et al., 2018)
Ozono (O₃)	10-20 mg/L (10-15 min)	95–99% de reducción microbiana.	La capacidad oxidativa es alta, optimiza la calidad del agua, reduce carga orgánica y mejora calidad de agua.	Requiere control estricto de TRO, riesgo de formación de bromato y estrés oxidativo.	(Feng et al., 2018; Sitthi et al., 2024)
Radiación UV-C	UV-C (280 nm) dependiente del sistema y transmitancia UV	Alta capacidad inactivación microbiana (>90%) dependiendo de dosis UV.	No genera residuos químicos; eficaz contra <i>Vibrio</i> spp. y coliformes.	Eficacia dependiente de transmitancia UV, turbidez y sólidos suspendidos.	(Teitge et al., 2020; Thanajiradech et al., 2025)
Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)	10–15 mg/L	≈80–90% reducción bacteriana	Se degrada en agua y oxígeno, compatible con tratamientos combinados.	Menor velocidad de inactivación frente al ozono, potencial estrés oxidativo en sobredosisificación.	(Wang et al., 2018)

Nota. Los valores de eficacia y dosis son referenciales y dependen de pH, salinidad, carga orgánica.

Como se observa en la tabla 2, la eficacia de los mecanismos de desinfección frente a bacterias patógenas en sistemas acuícolas depende del agente utilizado y de las condiciones fisicoquímicas y operativas del sistema. Los métodos físicos, la radiación UV-C, presentan elevados niveles de inactivación microbiana y menor generación de residuos químicos. Sin embargo, su desempeño está condicionado por factores como la salinidad, la formación de oxidantes residuales y la transmitancia del agua. Por su parte el ozono, como agente oxidante, mostró una elevada capacidad de inactivación microbiana y de mejora de la calidad de agua, aunque su eficacia y seguridad dependieron de la dosis, el tiempo de contacto, la demanda de ozono, la salinidad, la materia orgánica y la formación de oxidantes residuales bromados.

Ahora bien, el cloro y el peróxido de hidrógeno son desinfectantes eficaces y funcionales. Para su aplicación es necesario mantener una supervisión estricta, así es posible prevenir las alteraciones en el microbioma y las afecciones de la calidad del camarón. En definitiva, para elegir un método de desinfección se debe considerar tres elementos primordiales: el microbiológico, el ambiental y el entorno productivo.

Mecanismos Biológicos de Control Microbiológico

Uso de Probióticos y Bacteriófagos

Dentro de los mecanismos biológicos de control microbiológico aplicados en acuicultura, el uso de probióticos y bacteriófagos se ha posicionado como una alternativa sostenible para el control de microorganismos patógenos y la reducción del uso de desinfectantes químicos (Hai, 2015). Los probióticos corresponden a microorganismos vivos que, administrados en concentraciones adecuadas, generan efectos beneficiosos sobre el hospedador y el ambiente de cultivo. En camaronicultura, los géneros más utilizados incluyen *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp., *Pediococcus* spp. y *Enterococcus* spp. Los cuales actúan mediante mecanismos de exclusión

competitiva por nutrientes y sitios de adhesión, de producción de compuestos antimicrobianos, de modulación del microbioma y de estimulación de la respuesta inmune del camarón (Ringø et al., 2018).

Adicionalmente, los bacteriófagos representan una estrategia biológica emergente basada en ciertos virus que son capaces de infectar y lisar bacterias patógenas como *Vibrio* spp. incluyendo cepas asociadas a la necrosis hepatopancreática aguda (AHPND). Asimismo, su mecanismo de acción permite reducir selectivamente poblaciones bacterianas sin afectar significativamente el microbiota benéfico del sistema. Constituyendo así, una herramienta promisorio para programas de bioseguridad y de manejo sanitario (Kalatzis et al., 2018).

En sistemas intensivos de cultivo de *Penaeus vannamei*, la aplicación de probióticos puede realizarse directamente en el agua o mediante la suplementación alimenticia. lo que ayuda a mejorar la estabilidad microbiológica, optimizar la calidad del agua y disminuir la incidencia de enfermedades bacterianas.

Residuos Tóxicos y Sostenibilidad Ambiental

Al optar por determinados procedimientos para la desinfección de cultivos camaroneros, es necesario tomar en cuenta la efectividad antimicrobiana, la formación de subproductos y el impacto medioambiental. Los métodos químicos, físicos y biológicos de control microbiológico presentan perfiles ambientales diferentes que deben evaluarse según la calidad del agua, la salinidad, la concentración aplicada y las condiciones operativas del sistema (Zhu et al., 2025).

Cloro (HOCl/NaOCl):

El uso del cloro constituye una herramienta eficaz para el control microbiológico. Pero, puede reaccionar con la materia orgánica natural y con el bromuro que se encuentra presente en el

agua salina, formando subproductos de desinfección. Entre ellos se identifican a los trihalometanos (THM), los compuestos organobromados y bromato. Dichos subproductos pueden afectar organismos acuáticos, alterar el equilibrio microbiológico y generar riesgo eco toxicológico cuando no existe un manejo adecuado del efluente (Wang et al., 2018; James et al., 2025). Se recomienda controlar tanto la dosis como el tiempo de contacto y realizar una neutralización previa a la descarga cuando sea necesario.

Ozono (O_3) y Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2)

El ozono y el peróxido de hidrógeno son considerados como alternativas con menor persistencia ambiental debido a que se transforman principalmente en oxígeno y agua. No obstante, esto no implica una ausencia total de riesgo ambiental. En el agua marina, el ozono puede generar oxidantes bromados residuales y bromato, mientras que en concentraciones elevadas de H_2O_2 pueden inducir estrés oxidativo y afectar a microorganismos beneficiosos del sistema (Summerfelt et al., 2009). Por esta razón, ambos tratamientos requieren un monitoreo de concentración residual y de condiciones operativas.

Radiación Ultravioleta (UV-C)

La radiación UV-C se considera uno de los métodos con menor generación de residuos químicos debido a que actúa mediante inactivación del ADN y ARN microbiano sin incorporar compuestos al agua (Teitge et al., 2020; Thanajiradech et al., 2025). Sin embargo, su principal limitación es la ausencia de un efecto residual protector posterior al tratamiento, por lo que puede requerir la integración de otras estrategias sanitarias en sistemas intensivos. Además, su eficiencia depende de la transmitancia del agua, siendo afectada por sólidos suspendidos, turbidez y materia orgánica disuelta (Teitge et al., 2020; Thanajiradech et al., 2025).

Probióticos y Bacteriófagos

Los mecanismos biológicos, basados en el uso de probióticos y bacteriófagos, son considerados alternativas con alta sostenibilidad ambiental como resultado de su nula generación de residuos químicos persistentes y subproductos tóxicos en el agua de cultivo. Los probióticos contribuyen al mantenimiento del equilibrio microbiológico mediante exclusión competitiva, producción de compuestos antimicrobianos y estimulación de la respuesta inmune del camarón. Mientras que los bacteriófagos actúan de forma específica sobre bacterias patógenas sin alterar significativamente el microbiota benéfico del sistema (Ringø et al., 2018; Kalatzis et al., 2018). A pesar de ello, su eficiencia depende de factores como la estabilidad ambiental, la dosis, la frecuencia de aplicación y la compatibilidad con las condiciones del cultivo. Por lo mismo, se recomienda su integración dentro de programas de bioseguridad y manejo sanitario, con el fin de maximizar la sostenibilidad y minimizar el impacto ambiental.

Tabla 3

Comparación de la efectividad de los mecanismos de desinfección

Mecanismo	Espectro de inactivación bacteriana	Persistencia toxicológica y subproductos	Impacto fisiológico sobre el camarón	Viabilidad económica y operativa	Consideraciones técnicas	Referencia bibliográfica
Cloro (HOCl/NaOCl)	Alto	Alto/Moderado (formación potencial de subproductos halogenados y oxidantes residuales)	Moderado/Alto en sobredosificación	Alta disponibilidad y aplicación comercial	Requiere neutralización y monitoreo de cloro residual	(James et al., 2025; Wang et al., 2018)
Ozono (O₃)	Muy alto	Bajo/Moderado (riesgo de bromato en agua salina)	Bajo condiciones controladas	Moderada; requiere equipos especializados	Mejora calidad del agua; requiere control de TRO	(Sitthi et al., 2024);
Radiación UV-C	Alto	Nula	Nulo	Moderada; requiere mantenimiento y limpieza	No genera residuos ni efecto residual	(Yang et al., 2024)
Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)	Moderado/ Alto	Bajo (degradación a agua y oxígeno)	Bajo/Moderado según dosis	Alta; aplicación sencilla	Compatible con tratamientos integrados	(Wang et al., 2018)
Probióticos / Bacteriófagos	Variable (dependiente del microorganismo objetivo)	Nula	Beneficioso (modulación inmune y microbiota)	Moderada; requiere protocolos de aplicación	Alternativa sostenible; recomendable integración otros métodos	(Alagappan et al., 2016; Situmorang et al., 2025)

Nota. La eficacia e impacto de cada mecanismo dependieron de la salinidad, carga orgánica, microbiota, dosis aplicada y condiciones operativas del sistema.

Tal como se refleja en la tabla 3, los mecanismos de desinfección químicos como el peróxido de hidrógeno y el cloro poseen una inactivación bacteriana considerable. Dichos productos exigen una supervisión minuciosa para no exceder la cantidad a ser aplicada durante los procesos de desinfección del camarón. En contraste, la radiación UV-C constituyó el principal mecanismo físico evaluado, mientras que el ozono se clasificó como agente oxidante. En conjunto, la evidencia sugiere que el enfoque más eficiente corresponde a estrategias integradas que combinen eficacia sanitaria, seguridad biológica y sostenibilidad ambiental para optimizar el desempeño productivo del cultivo de *Penaeus vannamei*.

METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura, en la que se utilizaron las bases de datos Scopus y Web of Science para identificar los mecanismos de desinfección contra agentes bacterianos en el tratamiento del agua de cultivos de camarón. El proceso se organizó en las siguientes etapas: formulación de las preguntas de investigación, construcción de la estrategia de búsqueda, definición y aplicación de los criterios de elegibilidad, eliminación de duplicados, cribado por título y resumen, evaluación a texto completo, extracción de datos y síntesis de la evidencia. Las preguntas de investigación se estructuraron mediante la técnica SPICE (tabla 4), que permitió delimitar el escenario, la perspectiva, la intervención, la comparación y la evaluación. Los criterios de elegibilidad (tabla 5) fueron definidos previamente por la autora y se aplicaron de manera independiente en cada fase del cribado. La guía PRISMA 2020 se empleó como marco para reportar de forma transparente el proceso de identificación, cribado y selección de los estudios, y no como criterio de inclusión o exclusión.

Tabla 4

Técnica SPICE

Elemento	Descripción
Setting	Cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> (sistemas intensivos/RAS/estanques)
Perspective	Investigadores acuícolas, productores y gestores de calidad de agua
Intervention	Tecnologías de desinfección (ozono, Fenton, cloro, UV, probióticos, biofloc)
Comparison	Eficacia entre métodos (químicos, oxidativos, físicos y biológicos); parámetros operativos; laboratorio vs. Campo
Evaluation	Reducción de patógenos (<i>Vibrio</i> , <i>Aeromonas</i>), impacto en salud del camarón, sostenibilidad, tendencias 2010-2025

Las búsquedas definitivas en Scopus y Web of Science se ejecutaron el día 28 de Febrero del 2026, aplicando los filtros correspondientes al periodo 2010-2025, idioma inglés y español, y

tipo de documento Article y Review Article. A partir de estos criterios se construyeron las cadenas booleanas de búsqueda, adaptadas a la sintaxis propia de cada base de datos. La ecuación empleada en Scopus fue la siguiente:

TITLE-ABS-KEY(("ozone" OR "Fenton" OR "advanced oxidation" OR "UV" OR "ultraviolet" OR "chlorine" OR "chlorine dioxide" OR "hypochlorite" OR "hydrogen peroxide" OR "probiotic" OR "biofloc" OR "bacteriophage" OR "phage") AND ("shrimp" OR "prawn" OR "Penaeus" OR "Litopenaeus") AND ("disinfection" OR "water treatment" OR "pathogen control") AND ("aquaculture" OR "mariculture") AND ("bacteri*" OR "Vibrio*" OR "Aeromonas*" OR "Pseudomonas*")) AND PUBYEAR > 2009 AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE, "re"))*

Para Web of Science, cuya sintaxis no admite los operadores TITLE-ABS-KEY ni LIMIT-TO, la misma lógica booleana se tradujo al campo de tema (TS) y los filtros se aplicaron mediante las opciones de refinamiento de la plataforma:

TS=(("ozone" OR "Fenton" OR "advanced oxidation" OR "UV" OR "ultraviolet" OR "chlorine" OR "chlorine dioxide" OR "hypochlorite" OR "hydrogen peroxide" OR "probiotic" OR "biofloc" OR "bacteriophage" OR "phage") AND ("shrimp" OR "prawn" OR "Penaeus" OR "Litopenaeus") AND ("disinfection" OR "water treatment" OR "pathogen control") AND ("aquaculture" OR "mariculture") AND ("bacteri*" OR "Vibrio*" OR "Aeromonas*" OR "Pseudomonas*")) AND PY=(2010-2025)*

La búsqueda en Web of Science se refinó por tipo de documento (Article y Review Article) e idioma (English y Spanish). La incorporación explícita de los términos referidos al cloro, al dióxido de cloro, al hipoclorito, al peróxido de hidrógeno y a los bacteriófagos permitió recuperar de forma directa los estudios que sustentan estos mecanismos en los resultados y en las

conclusiones, los cuales en la ecuación inicial habían sido recuperados de manera indirecta a través de los términos generales de desinfección y tratamiento del agua.

A partir de las preguntas de investigación y de la estrategia de búsqueda se definieron previamente los siguientes criterios de elegibilidad:

Tabla 5

Criterios de elegibilidad aplicados en la revisión sistemática

Criterio	Inclusión	Exclusión
Población	<i>Penaeus vannamei</i> (camarón blanco del Pacífico); agua de cultivo con patógenos bacterianos (<i>Vibrio</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Pseudomonas</i>). De forma complementaria, se admitieron estudios en otras especies de peneidos, en organismos indicadores o en otras matrices acuáticas cuando aportaron evidencia mecanística o parámetros operativos del proceso de desinfección no disponibles para esta especie; dichos trabajos se clasificaron como evidencia de apoyo y no como evidencia directa.	Estudios en mamíferos, aves o humanos; estudios en otras especies u otras matrices acuáticas que no aporten evidencia mecanística ni parámetros operativos transferibles al tratamiento del agua de cultivo.
Intervención	Mecanismos de desinfección y estrategias de control microbiológico: ozono, Fenton, dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, UV, probióticos, biofloc, oxidación avanzada.	Estudios sobre tratamiento de enfermedades sin método de desinfección del agua; uso exclusivo de antibióticos sin evaluar tecnologías de desinfección o estrategias de control microbiológico-
Contexto	Acuicultura/maricultura; sistemas de recirculación (RAS), estanques intensivos o semi-intensivos.	Sistemas de agua potable urbana; tratamiento de efluentes industriales sin relación acuícola; acuarios ornamentales.
Tipo de documento	Artículos originales (research articles) y revisiones sistemáticas (review articles).	Editoriales, notas editoriales, capítulos de libro, tesis, actas de congreso, preprints.
Años	2010–2025	Publicaciones previas a 2010 o posteriores a 2025.
Idioma	Inglés y español	Otros idiomas (francés, portugués, chino, etc.) sin traducción al inglés o español.
Acceso	Texto completo recuperable a través de las bases de datos, del acceso institucional o del préstamo interbibliotecario, con independencia de que el artículo sea o no de acceso abierto.	Solo resumen disponible o texto completo no recuperable tras agotar las vías de acceso institucional e interbibliotecario. No se excluyó ningún estudio por el solo hecho de no ser de acceso abierto.
Duplicados	Primera aparición en bases de datos.	Artículos repetidos entre Scopus y Web of Science.

*Nota. El periodo 2010-2025 se aplicó a los estudios que conformaron la evidencia principal de la revisión sistemática. Las publicaciones anteriores a 2010 se utilizaron exclusivamente como literatura de apoyo para contextualizar mecanismos o parámetros operativos y no formaron parte de la evidencia directa en *Penaeus vannamei*.*

Luego de aplicar los criterios de elegibilidad y la depuración de la base de datos, la revisión quedó integrada por 48 artículos referentes al tema, publicados entre 2010 y 2025.

Los 48 estudios constituyeron el conjunto analizado en la revisión. De ellos, 39 se citaron de manera directa en el cuerpo del documento y figuran en el apartado de referencias, mientras que los restantes sustentaron el análisis descriptivo de la producción científica y la verificación cruzada de los parámetros operativos, sin dar lugar a una cita textual. Para garantizar la identificación y trazabilidad de los estudios incluidos, se elaboró una matriz bibliográfica que registró autores, año, país de afiliación institucional, título del artículo, revista o fuente, DOI y EID de Scopus. Esta matriz permitió vincular de manera individual los 48 registros incluidos con las fuentes utilizadas durante la síntesis de resultados y se presenta en el Anexo 1.

El análisis descriptivo de la producción científica se realizó sobre estos mismos 48 estudios. El conteo por año correspondió al número de artículos publicados en cada anualidad, de modo que la suma de la tabla 6 equivale a 48. En cambio, el conteo por país se efectuó sobre las filiaciones institucionales declaradas por los autores: dado que un mismo artículo con coautoría internacional aporta un registro a cada país participante, la suma de las frecuencias de la tabla 7 es superior a 48 y no debe interpretarse como el número de investigaciones independientes realizadas en cada país.

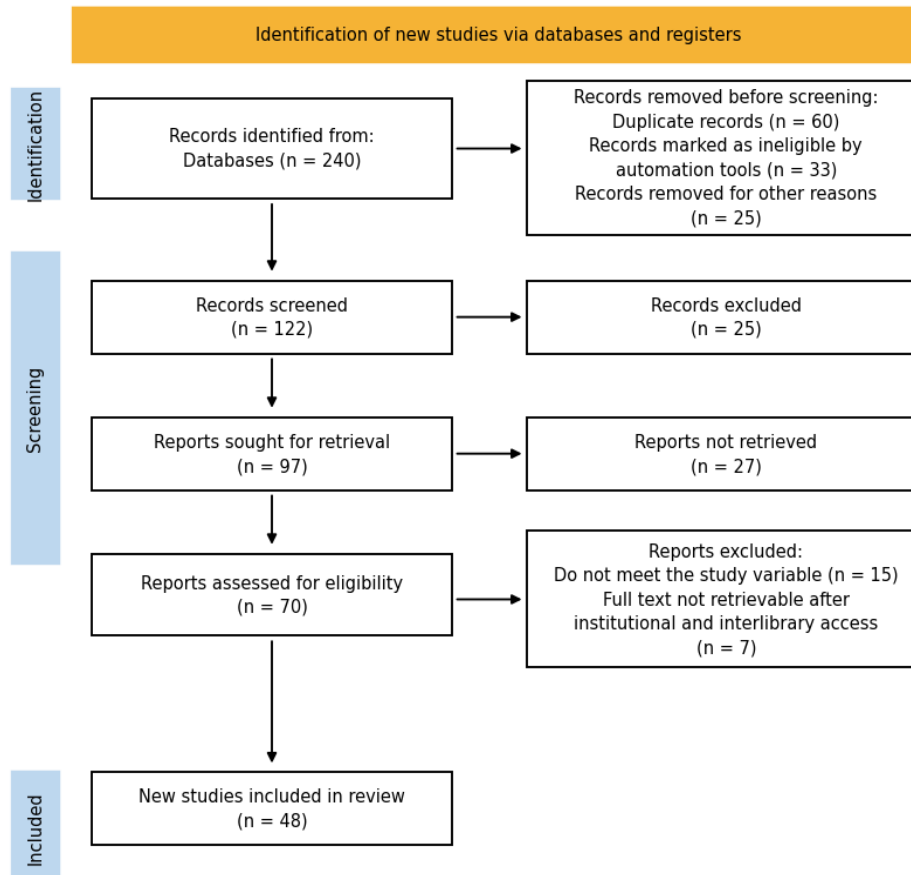
Conforme a los criterios de elegibilidad, la base de evidencia se organizó en dos niveles. La evidencia directa corresponde a los estudios realizados sobre *Penaeus vannamei* y patógenos bacterianos en agua de cultivo, y es la que sustenta las afirmaciones sobre eficacia y efectos en la especie objeto del trabajo. La evidencia de apoyo agrupa los trabajos que aportan parámetros del proceso de desinfección obtenidos en otras especies de peneidos, como Hernández-López et al. (1997) en *Penaeus californiensis* y Meunpol et al. (2003) en *Penaeus monodon*; en organismos indicadores, como Patil et al. (2009) y Moncayo-Lasso et al. (2009) con *Escherichia coli*; o frente a agentes no bacterianos, como Yang et al. (2024) con el virus IMNV, del cual se retuvo únicamente

la información relativa a la eficacia comparada de los desinfectantes y a sus condiciones operativas. Los resultados procedentes de este segundo nivel se identifican de forma expresa como extrapolaciones y no se presentan como evidencia obtenida en *P. vannamei*.

Para la elaboración del diagrama de flujo PRISMA (Figura 1) se utilizó la plataforma web *PRISMA Flow Diagram Generator*, la cual permitió organizar y sistematizar el proceso de identificación, selección, elegibilidad e inclusión de los artículos considerados en la revisión sistemática.

Figura 1

Diagrama de Flujo PRISMA del proceso de selección de artículos científicos



Nota. Diagrama construido con PRISMA Flow Diagram Generator a partir de los registros recuperados en Scopus y Web of Science (2010-2025).

El diagrama de flujo PRISMA muestra el proceso sistemático utilizado para seleccionar los artículos incluidos en la revisión bibliográfica. Inicialmente se identificaron 240 registros provenientes de bases de datos y registros científicos. Antes del proceso de evaluación se eliminaron 118 documentos: registros duplicados entre Scopus y Web of Science ($n = 60$); registros descartados automáticamente por las herramientas de filtrado de las bases de datos, esto es, documentos cuyo tipo era distinto de artículo o revisión, con año de publicación anterior a 2010 o en un idioma diferente del inglés o el español ($n = 33$); y registros descartados por otros motivos, correspondientes a documentos sin resumen, sin datos completos de autoría o con registro bibliográfico incompleto que impedía su evaluación ($n = 25$). En consecuencia, se sometieron a cribado por título y resumen los 122 registros restantes, de los cuales 25 fueron excluidos por no abordar la desinfección o el tratamiento del agua de cultivo. Luego se intentó recuperar 97 reportes, pero 27 no pudieron obtenerse. Finalmente, 70 estudios fueron evaluados a texto completo y se excluyeron 22 artículos por no cumplir con la variable de estudio ($n = 15$) o por no haberse podido recuperar el texto completo tras agotar las vías de acceso institucional e interbibliotecario ($n = 7$). Como resultado final, 48 estudios fueron incluidos en la revisión, conformando la base de evidencia analizada en el trabajo.

RESULTADOS

El estudio se basó en una búsqueda mediante operadores booleanos en las bases de datos científicas de Scopus y Web of Science, dichos resultados evidenciaron los principales mecanismos de desinfección contra agentes bacterianos en el tratamiento del agua de cultivo de camarón. A continuación, se presentaron los principales resultados:

La tabla 6 mostró la distribución anual de la producción científica incluida en la revisión bibliográfica sobre mecanismos de desinfección aplicados al tratamiento del agua en sistemas de cultivo de *Penaeus vannamei*. El análisis cronológico permitió identificar el comportamiento de la investigación, las etapas de mayor crecimiento y el interés científico en el desarrollo de tecnologías orientadas al control bacteriano y la sostenibilidad acuícola.

Tabla 6

Evolución anual de la producción científica sobre mecanismos de desinfección para el tratamiento del agua en el cultivo de Penaeus vannamei (2010-2025)

Year	Articles
2010	1
2011	1
2012	2
2013	2
2014	0
2015	0
2016	4
2017	1
2018	1
2019	3
2020	9
2021	4
2022	2
2023	3
2024	6
2025	9

Nota. Los datos correspondieron a los artículos científicos incluidos en la revisión sistemática (2010-2025).

El análisis de la producción científica anual entre 2010 y 2025 reveló una tendencia de crecimiento fluctuante con un interés académico que se intensificó en el último quinquenio. En

2010 se identificó un artículo, mientras que en 2014 y 2015 no se registraron publicaciones. No obstante, en 2016 se observó una recuperación de la producción científica, con 4 artículos, y el mayor número de publicaciones se registró en 2020 y 2025, con 9 artículos en cada año.

El cierre del periodo de estudio destacó por una producción científica consolidada, particularmente durante los últimos años del periodo analizado, lo que sumó un total de 48 artículos referentes al tema. Estos resultados evidenciaron que el desarrollo de mecanismos de desinfección contra agentes bacterianos en el tratamiento del agua para el cultivo de camarón *Penaeus vannamei* constituyó un área de estudio con relevancia actual y una proyección científica en expansión. La evolución de estas publicaciones sugirió una necesidad creciente de estrategias específicas para el control de patógenos como *Vibrio* spp. y *Aeromonas* spp. ante las fluctuaciones ambientales en la acuicultura.

La tabla 7 mostró la distribución geográfica de la producción científica incluida en la revisión bibliográfica. De dicha forma, se logró identificar los países con mayor aporte en investigaciones relacionadas con mecanismos de desinfección y tratamiento del agua en sistemas de cultivo de *Penaeus vannamei*. Este análisis permitió reconocer los focos de generación de conocimiento y la concentración regional del desarrollo científico en el área.

Tabla 7

*Distribución geográfica de la producción científica por país sobre mecanismos de desinfección aplicados al tratamiento del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei**

Region	Freq	Region	Freq
CHINA	26	TURKEY	3
INDIA	14	CANADA	2
MEXICO	9	JAPAN	2
THAILAND	9	SRI LANKA	2
GERMANY	8	AUSTRIA	1
BRAZIL	6	BANGLADESH	1
BELGIUM	5	ECUADOR	1
MALAYSIA	5	EGYPT	1
NETHERLANDS	5	GREECE	1
USA	5	ISRAEL	1
FRANCE	4	NORWAY	1
UK	4	OMAN	1
DENMARK	3	PERU	1
INDONESIA	3	QATAR	1
PHILIPPINES	3	SINGAPORE	1
SOUTH KOREA	3	SOUTH AFRICA	1
SPAIN	3	UNITED ARAB EMIRATES	1

Nota. Los datos correspondieron a los artículos científicos incluidos en la revisión sistemática (2010-2025).

El análisis de la producción científica por país permitió identificar a las naciones con mayor liderazgo en la investigación de mecanismos de desinfección para el cultivo de camarón. El mayor número de registros de filiación correspondió a China (26), seguido por India (14), México y Tailandia (9), Alemania (8) y Brasil (6). Estas frecuencias correspondieron a las filiaciones institucionales de los autores y no necesariamente al número de investigaciones independientes, debido a que un mismo artículo pudo incluir autoría internacional. Esto puso de manifiesto que los países con fuerte actividad productiva en la acuicultura concentraron una mayor producción científica en el área analizada.

En un segundo nivel de producción se encontraron países como Bélgica, Malasia, Países Bajos y Estados Unidos, cada uno con 5 artículos registrados. El resto de la producción científica se distribuyó de manera atomizada entre diversas naciones de Europa, Asia y América, donde

destacaron contribuciones menores en términos cuantitativos, pero que diversificaron el alcance geográfico del estudio, incluyendo a Ecuador y Perú con una publicación cada uno. Esta distribución sugirió que, aunque existió un interés global por la sanidad en el cultivo de *Penaeus vannamei*, la generación de literatura científica especializada se concentró en los principales polos de producción y desarrollo tecnológico del sector.

El cribado sistemático y la extracción de datos de los estudios primarios (n=48) permitieron caracterizar la dinámica microbiológica e identificar los principales vectores patógenos bacterianos que amenazan a las unidades de producción de *Penaeus vannamei*. Los hallazgos revelaron que la presencia y persistencia de estos microorganismos requirieron el desarrollo de medidas de bioseguridad orientadas al control bacteriano.

Tabla 8

Caracterización epidemiológica de los principales patógenos bacterianos del cultivo de camarón

Patógeno	Especies principales	Enfermedad/ Síndrome	Síntomas principales	Factores ambientales asociados	Referencias
<i>Vibrio</i> spp.	<i>V. parahaemolyticus</i> , <i>V. vulnificus</i> , <i>V. alginolyticus</i> , <i>V. cholerae</i> , <i>V. mimicus</i>	Vibriosis, enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda (AHPND) asociada a cepas de <i>V. parahaemolyticus</i> portadoras de los genes <i>pirA</i> y <i>pirB</i> .	Decoloración roja, exoesqueleto blando, degeneración tisular, alta mortalidad.	Baja salinidad, alta temperatura, alta carga bacteriana.	(Choudhary et al., 2025; Nursyirwani et al., 2022)
<i>Aeromonas</i> spp.	<i>Aeromonas</i> spp.	No especificado; bacteria oportunista detectada	No evaluados en el estudio.	Alteraciones en la calidad microbiológica del agua, ció.	(Choudhary et al., 2025)
<i>Pseudomonas</i> spp.	<i>P. fluorescens</i> , <i>P. aeruginosa</i>	Pseudomoniasis	Infecciones secundarias, necrosis tisular.	Alta carga orgánica, temperaturas variables.	(Choudhary et al., 2025; Hernández-López et al., 1997)

Nota. Los datos principales correspondieron a estudios incluidos en la revisión sistemática (2010-2025). Hernández-López et al., (1997) se utilizó únicamente como evidencia de apoyo sobre *Vibrio* spp y *Pseudomonas* spp. en *Penaeus californiensis* y no como evidencia directa en *Penaeus vannamei*.

Los resultados de la tabla 8 mostraron que *Vibrio spp.* constituyó el grupo bacteriano de mayor relevancia sanitaria en el cultivo de camarón. Esto se debió a su asociación con altas tasas de mortalidad y enfermedades entéricas. Asimismo, *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.* actuaron como patógenos oportunistas favorecidos por condiciones de estrés, deterioro de la calidad del agua y elevada carga orgánica. En conjunto, la evidencia indicó que el control bacteriano debía enfocarse no solo en la eliminación de patógenos, sino también en la gestión de parámetros ambientales y el mantenimiento del equilibrio microbiológico del sistema de cultivo.

La tabla 9 resumió los principales parámetros operativos asociados con la desinfección por ozono aplicada al tratamiento del agua en sistemas de cultivo de *Penaeus vannamei*. Se describieron las condiciones reportadas en los estudios analizados, su efecto sobre la eficacia de inactivación bacteriana y las consideraciones de seguridad necesarias para minimizar impactos sobre la salud del camarón y mantener la estabilidad del sistema acuícola.

Tabla 9

Desinfección por ozono - parámetros operativos y eficacia

Parámetro	Condición reportada en los estudios	Eficacia/Impacto	Consideraciones de seguridad	Referencias
pH	neutro (~7.0) condición experimental reportada	Favoreció el desempeño oxidativo bajo las condiciones experimentales evaluadas.	Considerarse el rango fisiológico recomendado para la especie.	(Jamil et al., 2017; Pita et al., 2018; Pumkaew et al., 2021)
Flujo	2 L/min	Contacto adecuado gas-líquido	Ajustar según volumen del sistema	(Jamil et al., 2017; Pita et al., 2018; Pumkaew et al., 2021)
Concentración residual	0.30–0.35 mg/L	97-99 % reducción <i>Vibrio</i> spp. Reportada bajo las condiciones experimentales del estudio.	Límite crítico: <0.5 mg/L (toxicidad branquial); el límite depende del sistema y de las condiciones de cultivo.	(Pumkaew et al., 2021)
Tiempo de exposición	45–60 s	Incremento de la inactivación bacteriana durante el tiempo evaluado	>60 s: riesgo de daño tisular no se estableció este tiempo como umbral universal de seguridad para <i>P.vannamei</i> .	(Jamil et al., 2017)
ORP (control)	~719 mV	Indicador de potencial xido-reducción	Monitoreo continuo recomendado	(Carbajal et al., 2025)
Tiempo de ozonización	~110 s	Eficacia maximizada a pH 7 desempeño observado bajo el pH experimental evaluado	Valoración referencial que debe ajustarse según la demanda de ozono, salinidad y materia orgánica	(Carbajal et al., 2025)
Temperatura	20–30 °C	↑ Tasas de inactivación	Sinergia positiva con dosis de ozono	(Jamil et al., 2017)
Efecto adicional	—	Reducción de amoníaco	Mejora calidad general del agua	(Sitthi et al., 2024)

Nota. Los valores presentados corresponden a condiciones experimentales reportadas en los estudios analizados y no representaron parámetros óptimos universales para sistemas de cultivo de *Penaeus vannamei*.

Los resultados de la tabla 9 indicaron que la eficacia de la ozonización dependió del control de los parámetros operativos reportados en cada estudio. La actividad oxidativa del ozono estuvo condicionada por variables como el pH, la concentración residual, el tiempo de exposición, el potencial oxido-reducción (ORP), la temperatura y las características fisicoquímicas del agua. Además, la eficacia de inactivación de *Vibrio* spp. varió según las condiciones experimentales y el diseño del sistema. Por esta razón, los valores reportados no debieron interpretarse como parámetros universales, sino como referencias experimentales que requirieron ajuste previo a su aplicación en sistemas comerciales de cultivo.

En la tabla 10 se abordaron las estrategias de desinfectantes químicos combinados. Se hizo hincapié en los mecanismos de acción y la eficacia antimicrobiana.

Tabla 10

Evaluación de desinfectantes químicos combinados: mecanismos de acción y efectos sinérgicos

Estrategia	Componentes	Mecanismo de acción	Eficacia	Referencias
Reactivo de Fenton	$\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$	Generación de radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$)	Inactivación <1 min (<i>E. coli</i> , bacterias heterotróficas)	(Castro-Ríos et al., 2017; Feng et al., 2018)
Foto-Fenton	Fenton + Luz solar/UV	ROS adicionales ($\bullet\text{OH}$, $\text{O}_2\bullet^-$)	Mayor eficacia que Fenton oscuro	(Feng et al., 2020)
Sinergia multiagente	Iones Ag^+ + Cloro libre	Múltiples mecanismos de inactivación,	Efecto bactericida sinérgico	(Estrella-You & Smith, 2022)
Modulación DOM	Materia orgánica disuelta	Formación de complejos fotosensibles	Potenciación o inhibición	(Kohantorabi et al., 2019)

Nota. Los datos corresponden a los artículos científicos incluidos en la revisión sistemática (2010-2025).

La tabla 10 evidenció que los desinfectantes químicos combinados presentaron una mayor capacidad de inactivación bacteriana que los tratamientos individuales, debido a la generación simultánea de múltiples especies oxidantes y vías complementarias de acción. El Fenton y el Foto-Fenton presentaron una elevada eficacia antimicrobiana y se caracterizaron por la generación de radicales de hidroxilo. Las estrategias multiagente presentaron efectos sinérgicos superiores a los obtenidos mediante los tratamientos individuales. Es pertinente mencionar que la eficiencia del procedimiento dependió de la presencia y concentración la materia orgánica disuelta (DOM). De hecho, dichas tecnologías de oxidación necesitaron un monitoreo exhaustivo para garantizar parámetros operativos óptimos y, así, evitar daños colaterales. En suma, se consolidaron como soluciones potenciales para el rendimiento y la bioseguridad del cultivo.

La tabla 11 resumió los principales mecanismos biológicos de control microbiológico aplicados al tratamiento del agua en sistemas de cultivo de *Penaeus vannamei*, incluyendo probióticos, sistemas simbióticos y tecnologías biofloc e IMTA. Estas estrategias no constituyeron procesos de desinfección directa, sino que regularon la comunidad microbiana mediante exclusión

competitiva, modulación de la microbiota y control biológico, aunque presentaron limitaciones operativas.

Tabla 11

*Mecanismos biológicos de control microbiológico aplicados al tratamiento del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei**

Estrategia	Agentes / componentes	Mecanismo de control	Beneficios adicionales	Limitaciones	Referencias
Probióticos directos	<i>Bacillus</i> spp., <i>Lactobacillus</i> spp.	Exclusión Competitiva, producción de compuestos antimicrobianos y modulación inmune	↑ Crecimiento, ↑ calidad agua, ↓ patógenos	Variabilidad cepas, estabilidad formulaciones	(Situmorang et al., 2025)
Sistemas simbióticos	Prebióticos (salvado fermentado) + probióticos	Desarrollo bucle microbiano, supresión patógenos	Sostenibilidad, ↓ antibióticos	Falta protocolos estandarizados	(Pimentel et al., 2025)
IMTA	Macroalgas, filtradores (mejillones, ostras)	Extracción patógenos, biofiltración	Resiliencia sistema, productos adicionales	Complejidad diseño, requerimientos específicos especies	(Arriescado et al., 2025)
Tecnología Biofloc	Flocs microbianos (bacterias, algas, detritus)	Inmersión en flocs, competición nutricional	↑ Calidad agua, ↓ residuos nitrogenados, ↑ proteína alimento	Curva aprendizaje, monitoreo intensivo	(Jing et al., 2025)

Nota. Los datos corresponden a los artículos científicos incluidos en la revisión sistemática (2010-2025).

La tabla 11 mostró que los mecanismos biológicos de control microbiológico constituyeron alternativas sostenibles para el control de patógenos y el mantenimiento del equilibrio microbiológico del cultivo. Los probióticos directos favorecieron la exclusión competitiva y la modulación inmune, mientras que los sistemas simbióticos promovieron estabilidad microbiológica y menor dependencia de antibióticos. En cambio, IMTA y la tecnología Biofloc contribuyeron indirectamente al control microbiológico mediante la mejora de la calidad del agua, el aprovechamiento de nutrientes y la resistencia del sistema productivo. A diferencia de los desinfectantes químicos o físicos, estas estrategias no produjeron una desinfección directa del agua, sino que complementaron el manejo sanitario mediante procesos de control biológico y ecológico.

Finalmente, la tabla 12 resumió y comparó los principales mecanismos empleados para la desinfección del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei*, considerando su eficacia frente a bacterias patógenas, el impacto sobre la salud del camarón, el potencial de formación de subproductos, el nivel de sostenibilidad y las principales consideraciones operativas reportadas en la literatura científica.

Tabla 12

Comparación de los principales mecanismos de desinfección

Mecanismo / Tecnología	Eficacia sobre bacterias	Impacto en salud del camarón	Formación de subproductos	Sostenibilidad	Notas clave	Referentes
Ozonización	Alta (88–97% reducción de <i>Vibrio</i> spp.)	Baja toxicidad si se optimiza pH y flujo; mejora calidad de agua	Moderada; depende de pH y materia orgánica	Alta si se controla	Daño membrana bacteriana, requiere control de parámetros	(Feng et al., 2018; Pita et al., 2018)
Cloro/CIO₂	Alta (1 ppm efectivo)	Riesgo de toxicidad >1.2 ppm; reduce diversidad microbiana intestinal	Alta; genera DBPs	Media	Efectivo, pero puede alterar microbioma y generar DBPs	(Imaizumi et al., 2024)
Fenton's reagent	Muy alta	Potencialmente disruptivo para comunidades microbianas	Moderada	Baja	Efectivo, pero puede afectar nitrificación y biodegradación	(Jho et al., 2014)
Peróxido de hidrógeno	Moderada	Puede afectar nitrificación y causar estrés oxidativo	Baja	Media	Menos efectivo que Fenton, riesgo de estrés oxidativo	(König et al., 2021; Ranjit et al., 2025)
Probióticos (<i>Bacillus</i>, etc.)	Indirecta (exclusión competitiva)	Mejora crecimiento, inmunidad y microbioma	Nulo	Alta	Sostenible, restaura microbioma tras químicos	(Fierro-Coronado et al., 2025; Melgar et al., 2013; Satyari et al., 2025)
Combinados (ozono+UV, PMS+PVP-I)	Muy alta (sinergia)	Baja toxicidad si se optimiza	Baja-moderada	Alta	Sinergia, minimiza DBPs, requiere protocolos precisos	(Yang et al., 2024)

Nota. Los datos corresponden a los artículos científicos incluidos en la revisión sistemática (2010-2025).

La tabla 12 mostró la relevancia de seleccionar enfoques holísticos que integren mecanismos de desinfección tanto físicos como químicos usando recursos biológicos que garanticen la bioseguridad y el equilibrio ambiental. Así pues, los resultados evidenciaron una elevada eficacia cuando se combinaron el ozono, la radiación UV y los procesos oxidativos avanzados, siempre y cuando se aplicaran en entornos monitoreados. Los probióticos, pese a presentar una actividad antibacteriana indirecta, se identificaron como una alternativa sostenible para favorecer el equilibrio microbiológico del sistema. Paralelamente, la ozonización presentó una elevada eficacia de inactivación microbiana bajo condiciones operativas controladas; sin embargo, su impacto ambiental y su seguridad dependieron de la dosis aplicada, la demanda de ozono, los oxidantes residuales totales (TRO), el potencial de óxido reducción (ORP), la salinidad, la materia orgánica y el tiempo de contacto, debido al riesgo de formación de subproductos bromados en agua salina.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de la investigación revelaron que los mecanismos de desinfección del tratamiento del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei* fueron estudiados desde diversas aristas. Dichos estudios profundizaron tanto en los enfoques biológicos de control microbiológico como en las tecnologías basadas en procesos de oxidación. Este comportamiento coincidió con el incremento de enfermedades bacterianas en sistemas intensivos y con la necesidad de implementar tecnologías que mejoraran simultáneamente la bioseguridad y la sostenibilidad del cultivo.

La evolución temporal presentada en la tabla 6 demostró un incremento progresivo de publicaciones durante el último quinquenio. Este comportamiento reflejó el creciente interés científico por desarrollar tecnologías capaces de controlar bacterias oportunistas bajo condiciones de alta intensidad productiva. Este aumento también se relacionó con la expansión de sistemas de recirculación (RAS) y Biofloc, donde la estabilidad microbiológica constituyó uno de los principales desafíos sanitarios (Pimentel et al., 2025; Arriesgado et al., 2025).

La distribución geográfica observada en la tabla 7 confirmó que China, India y otros países asiáticos concentraron la mayor producción científica, dado que representaron las principales regiones productoras de camarón a nivel mundial. Esta concentración favoreció el desarrollo de tecnologías adaptadas a sistemas con elevadas densidades de cultivo, altas cargas orgánicas y mayor presión epidemiológica por *Vibrio* spp. (Pita et al., 2018).

La tabla 8 confirmó que *Vibrio* spp. constituyó el principal grupo bacteriano asociado a mortalidades en *Penaeus vannamei*. Esto se debió a la presencia de factores virulentos como hemolisinas, metaloproteasas, formación de biopelículas y sistemas de secreción, cuya expresión se incrementó bajo condiciones de estrés ambiental. Asimismo, *Aeromonas* spp. y *Pseudomonas* spp. actuaron como patógenos oportunistas cuya proliferación se favoreció por el deterioro de la

calidad del agua, el incremento de materia orgánica y el estrés fisiológico del hospedador (Choudhary et al., 2025).

Los parámetros operativos resumidos en la tabla 9 demostraron que la eficacia de la ozonización dependió directamente de la activación cinética del proceso oxidativo. Esto estuvo determinado por variables como el potencial óxido-reducción (ORP), el tiempo de contacto, el pH y la transferencia gas-líquido. Bajo condiciones óptimas se incrementó la generación de especies reactivas de oxígeno responsables de la rápida inactivación bacteriana (Jamil et al., 2017; Pita et al., 2018).

No obstante, la literatura indicó que estos hallazgos fueron inversamente proporcionales a la concentración de carbono orgánico total (TOC) presente en el agua. A medida que aumentó la carga orgánica, la materia orgánica natural consumió competitivamente el ozono y los radicales hidroxilos, reduciendo la disponibilidad de especies oxidantes para atacar las células bacterianas. Por tanto, la constante cinética de inactivación disminuyó significativamente en el agua que presentó una elevada demanda química de oxígeno.

Este fenómeno resultó particularmente importante en sistemas Biofloc y RAS, donde la elevada concentración de sólidos suspendidos, bioflóculos y materia orgánica disuelta generó un efecto pantalla que limitó la penetración de la radiación UV y la difusión de oxidantes hacia los microorganismos. En consecuencia, disminuyó la reproducibilidad de los tratamientos reportados en condiciones de laboratorio cuando se transfirió a sistemas comerciales con elevada carga orgánica (Teitge et al., 2020; Thanajiradech et al., 2025).

La tabla 10 demostró que los procesos de oxidación avanzada, como Fenton y Foto-Fenton, presentaron mayor eficacia debido a la activación simultánea de múltiples mecanismos oxidativos. La radiación UV aceleró la regeneración catalítica del hierro ferroso, incrementó la producción de radicales hidroxilo y favoreció una mayor velocidad de reacción respecto al reactivo de Fenton

convencional (Feng et al., 2020; Castro-Ríos et al., 2017). Asimismo, la estrategia multibarrera mostró un efecto sinérgico superior a la suma de los tratamientos individuales.

Sin embargo, el incremento del potencial oxidativo también favoreció la formación de subproductos de oxidación, especialmente cuando existió una elevada concentración de materia orgánica natural. Así pues, dependiendo de la composición química del agua, pudieron generarse aldehídos, cetonas, bromatos y otros compuestos secundarios potencialmente tóxicos, capaces de alterar el microbiota benéfico y afectar procesos biológicos como la nitrificación (Ranjit et al., 2025).

Adicionalmente, la exposición repetida hacia diferentes oxidantes pudo generar toxicidad cruzada sobre bacterias nitrificantes, desnitrificantes y otros microorganismos funcionales que se encargan de reutilizar nutrientes dentro del sistema. Esta alteración microbiológica redujo la resiliencia ecológica del cultivo y pudo incrementar la susceptibilidad frente a reinfecciones bacterianas (Jho et al., 2014; König et al., 2021).

Los mecanismos biológicos de control microbiológico resumidos en la tabla 11 representaron estrategias complementarias orientadas a restaurar el equilibrio microbiológico del sistema. Se evidenció que los probióticos favorecieron la exclusión competitiva, produjeron metabolitos antimicrobianos y estimularon la respuesta inmune del hospedador mediante la activación de rutas relacionadas con AMPK y otros mecanismos de regulación metabólica. De igual forma, los sistemas Biofloc e IMTA contribuyeron a mejorar la calidad del agua mediante biofiltración natural y reciclaje de nutrientes, disminuyendo la dependencia de tratamientos químicos (Arriesgado et al., 2025; Jing et al., 2025).

Desde el punto de vista fisiológico, diversos estudios demostraron que estas estrategias favorecieron la respuesta inmunológica del camarón, incrementando la actividad de enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa. Asimismo, estimularon

la actividad de fenoloxidasa y aumentaron la resistencia frente a infecciones bacterianas posteriores (Melgar et al., 2013).

Por último, la comparación presentada en la tabla 12 confirmó que ninguna tecnología constituyó una solución universal. A pesar de que los oxidantes presentaron mayor velocidad de inactivación bacteriana, su eficacia disminuyó conforme aumentó la carga orgánica y existió mayor riesgo de formación de subproductos. Por el contrario, las estrategias biológicas presentaron menor velocidad inicial, pero ofrecieron mayor estabilidad microbiológica y sostenibilidad a largo plazo (Melgar et al., 2013; Ranjit et al., 2025).

En conjunto, la evidencia científica sugirió que la mayor eficacia sanitaria se obtuvo mediante estrategias integradas, en las que la reducción previa de la carga orgánica, seguida de procesos de oxidación controlada y de estabilización microbiológica, mediante probióticos o sistemas Biofloc, permitió maximizar la inactivación bacteriana. Este enfoque minimizó la formación de subproductos de oxidación y preservó la respuesta fisiológica del camarón, especialmente en sistemas RAS y Biofloc de alta intensidad productiva (Pimentel et al., 2025; Jing et al., 2025).

CONCLUSIONES

La revisión permitió determinar que los principales métodos utilizados para el tratamiento y control microbiológico del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei* incluyeron mecanismos químicos, físicos y biológicos de control microbiológico. Entre los agentes químicos y procesos de oxidación se identificaron el cloro, el dióxido de cloro, el peróxido de hidrógeno, la ozonización y los procesos de oxidación avanzada como Fenton y Foto-Fenton; entre los métodos físicos destacó la radiación UV-C; mientras que los mecanismos biológicos comprendieron principalmente el uso de probióticos, bacteriófagos, sistemas Biofloc y otras estrategias de control microbiológico. La evidencia analizada mostró que estos métodos no fueron excluyentes, sino que su selección dependió de las características del agua, la carga orgánica, la salinidad y las condiciones propias del sistema de cultivo.

En relación con la eficacia, los métodos físicos y oxidativos presentaron las mayores capacidades de inactivación bacteriana cuando se aplicaron bajo condiciones operativas controladas. La ozonización alcanzó reducciones elevadas de *Vibrio* spp., mientras que la radiación UV-C mostró una alta capacidad de inactivación cuando el agua presentó adecuada transmitancia y baja turbidez. Los tratamientos químicos también resultaron eficaces, aunque su desempeño estuvo condicionado por la materia orgánica, la dosis y el tiempo de contacto. Por su parte, los probióticos y los sistemas Biofloc ejercieron un control indirecto de los patógenos mediante exclusión competitiva y estabilización del microbiota. Por tanto, no se identificó un único método como absolutamente superior en todas las condiciones, sino que la mayor eficacia se obtuvo cuando la elección y combinación de los tratamientos se ajustó a las características del sistema productivo.

Respecto a los efectos sobre la salud del camarón y el ambiente, la evidencia mostró que un control adecuado de los microorganismos patógenos favoreció la estabilidad sanitaria del

cultivo; sin embargo, la aplicación excesiva o inadecuada de agentes oxidantes pudo generar estrés fisiológico, alteraciones de la microbiota y subproductos potencialmente tóxicos. En agua salina, la ozonización y los tratamientos con cloro requirieron especial control de la dosis, la demanda de ozono, los oxidantes residuales totales (TRO), el ORP, la salinidad, la materia orgánica y el tiempo de contacto, debido a la posible formación de compuestos bromados. Los mecanismos biológicos presentaron el perfil ambiental más favorable al contribuir al equilibrio microbiológico sin generar residuos químicos persistentes.

REFERENCIAS

- Alagappan, K., Karuppiah, V., & Deivasigamani, B. (2016). Protective effect of phages on experimental *Vibrio parahaemolyticus* infection and immune response in shrimp (Fabricius, 1798). *Aquaculture*, 453, 86–92.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.037>
- Arriesgado, E., Besoña, J., Navarro, V., Eballe, R. & Arriesgado, D. (2025). Application of Multi-trophic Aquaculture to Improve Management of Bacterial Load and Health in Pond Culture of *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) [Aplicación de la acuicultura multitrófica para mejorar el control de la carga bacteriana y la salud en el cultivo en estanques de *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798)]. *Aquaculture Studies*, 25(4), 182–192.
<http://doi.org/10.4194/AQUAST1917>
- Boyd, C., Davis, R., González, A., Marcillo, F., Brian, S. & McNevin, A. (2021). Resource use in whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* farming in Ecuador [Uso de recursos en el cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en Ecuador]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(4), 772–788. <https://doi.org/10.1111/jwas.12818>
- Carbajal, H., Galván, C., Susanibar, D., Camarena, E., Osorio, E. & Zárate, R. (2025). Optimization of bacterial disinfection in drinking water by ozone-induced oxidation-reduction potential control using response surface methodology [Optimización de la desinfección bacteriana en agua potable mediante el control del potencial de oxidación-reducción inducido por ozono utilizando la metodología de superficie de respuesta]. *Journal of Ecological Engineering*, 26(12), 28–42. <https://doi.org/10.12911/22998993/208371>

- Castro-Ríos, K., Corpas, E., Cárdenas, V. & Taborda, G. (2017). Inactivation efficiency of total coliforms and *Escherichia coli* in doped natural water by heterogeneous Fenton: Effect of process factors [Eficiencia de inactivación de coliformes totales y *Escherichia coli* en agua natural tratada mediante Fenton heterogéneo: Efecto de los factores del proceso]. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(1), 364–369. https://www.researchgate.net/publication/312384060_Inactivation_efficiency_of_total_coliforms_and_Escherichia_coli_in_doped_natural_water_by_heterogeneous_Fenton_Effect_of_process_factors
- Choudhary, B., Pawase, A., Ghode, G., Tibile, R., Bhatkar, V., Choudhary, D. & Choudhary, U. (2025). A study of bacterial community structure of shrimp farms along the Ratnagiri coast, Maharashtra [Un estudio de la estructura de la comunidad bacteriana de las granjas camaroneras a lo largo de la costa de Ratnagiri, Maharashtra]. *Heliyon*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41712>
- Estrella-You, A. & Smith, J. (2022). Synergistic Bacterial Inactivation by Silver Ions and Free Chlorine in Natural Waters [Inactivación bacteriana sinérgica mediante iones de plata y cloro libre en aguas naturales]. *Journal of Environmental Engineering*, 148(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0002053](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0002053)
- Feng, L., Peillex-Delphe, C., Lü, C., Wang, D., Giannakis, S. & Pulgarín, C. (2020). Employing bacterial mutations for the elucidation of photo-Fenton disinfection: Focus on the intracellular and extracellular inactivation mechanisms induced by UVA and H₂O₂ [Emplear mutaciones bacterianas para la elucidación de la desinfección foto-Fenton: Enfoque en los mecanismos de inactivación intracelular y extracelular inducidos por UVA y H₂O₂]. *Water Research*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116049>

- Feng, L., Zhang, K., Gao, M., Shi, C., Ge, C., Qu, D., Zhu, J., Shi, Y. & Han, J. (2018). Inactivation of *Vibrio parahaemolyticus* by Aqueous Ozone [Inactivación de *Vibrio parahaemolyticus* mediante ozono acuoso]. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(8), 1233–1246. <https://doi.org/10.4014/jmb.1801.01056>
- Fierro-Coronado, J., Ceseña, C., Luna-González, A., Campa-Cordova, Á., Diarte-Plata, G., Orozco-Medina, C., Vega-Carranza, A. & Escamilla-Montes, R. (2025). *Bacillus thuringiensis* and *Candida parapsilosis* protect white shrimp (*Penaeus vannamei*) against *Vibrio parahaemolyticus* IPNGS16 infection and modulate their gut microbiota [*Bacillus thuringiensis* y *Candida parapsilosis* protegen al camarón blanco (*Penaeus vannamei*) contra la infección por *Vibrio parahaemolyticus* IPNGS16 y modulan su microbiota intestinal]. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 53(2), 320–336. <http://dx.doi.org/10.3856/vol53-issue2-fulltext-3293>
- Hai, N. (2015). The use of probiotics in aquaculture [El uso de probióticos en la acuicultura]. *Journal of Applied Microbiology*, 119(4), 917–935. <https://doi.org/10.1111/jam.12886>
- Hargreaves, J. (2013). Biofloc production systems for aquaculture [Sistemas de producción de biofloc para acuicultura]. *Agricultural and Food Sciences*, (4503). <https://scispace.com/papers/biofloc-production-systems-for-aquaculture-1ivm6dwj5o>
- Hernández-López, J., Gollas-Galván, T., Magallón-Barajas, F. & Vargas-Albores, F. (1997). Isolation of *Vibrio* and *Pseudomonas* from brown shrimp (*Penaeus californiensis* Holmes) intestine [Aislamiento de *Vibrio* y *Pseudomonas* del intestino del camarón marrón (*Penaeus californiensis* Holmes)]. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 39(3–4), 109–115. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10932719/>
- Imaizumi, K., Nozaki, R., Konishi, K., Tagishi, H., Miura, T., Kondo, H. & Hirono, I. (2024). Investigating the impact of chlorine dioxide in shrimp-rearing water on the stomach

- microbiome, gill transcriptome, and infection-related mortality in shrimp [Investigación del impacto del dióxido de cloro en el agua de cultivo de camarones sobre el microbioma estomacal, el transcriptoma branquial y la mortalidad relacionada con infecciones en camarones]. *Journal of Applied Microbiology*, 135(7). <https://doi.org/10.1093/jambio/lxae176>
- James, S., Alteneiji, A., Alharmi, F., Balushi, N., Hassooni, S., Hassan, A. & Hamouda, M. (2025). Assessment of Disinfection Efficiency of Chlorine and Bromine-Based Biocides for Marine Biofouling [Evaluación de la eficacia desinfectante de biocidas a base de cloro y bromo para la bioincrustación marina]. *Sustainability*, 17(10).
- Jamil, A., Farooq, S. & Hashmi, I. (2017). Ozone Disinfection Efficiency for Indicator Microorganisms at Different pH Values and Temperatures [Eficiencia de la desinfección con ozono para microorganismos indicadores a diferentes valores de pH y temperaturas]. *Ozone: Science & Engineering*, 39(6), 407–416. <https://doi.org/10.1080/01919512.2017.1322489>
- Jho, E., Shin, D., Turner, S. & Singhal, N. (2014). Effect of Fenton reagent shock and recovery periods on anaerobic microbial community structure and degradation of chlorinated aliphatics [Efecto del choque con reactivo de Fenton y los períodos de recuperación sobre la estructura de la comunidad microbiana anaeróbica y la degradación de compuestos alifáticos clorados]. *Biodegradation*, 25, 253–264. <https://doi.org/10.1007/s10532-013-9657-y>
- Jing, L., Ren, H., Xu, W., Su, H., Hu, X., Wen, G., Xu, Y., Tu, L. & Cao, Y. (2025). Intensive cultivation of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under biofloc condition in land-based ponds [Cultivo intensivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en condiciones

- de biofloc en estanques terrestres]. *Aquaculture Reports*, 41.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102690>
- Kalatzis, P., Castillo, D., Katharios, P. & Middelboe, M. (2018). Bacteriophage Interactions with Marine Pathogenic Vibrios: Implications for Phage Therapy [Interacciones de bacteriófagos con vibrios patógenos marinos: implicaciones para la terapia fágica]. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*, 7(1), 15.
- Kohantorabi, M., Giannakis, S., Gholami, M., Feng, L. & Pulgarín, C. (2019). A systematic investigation on the bactericidal transient species generated by photo-sensitization of natural organic matter (NOM) during solar and photo-Fenton disinfection of surface waters [Una investigación sistemática sobre las especies transitorias bactericidas generadas por la fotosensibilización de la materia orgánica natural (MON) durante la desinfección solar y foto-Fenton de aguas superficiales]. *Applied Catalysis B: Environment and Energy*, 244, 983–995. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.12.012>
- König, R., Furtado, P., Wasielesky, W. & Abreu, P. (2021). Effect of hydrogen peroxide on the microbial community present in biofloc production systems of the shrimp *Litopenaeus vannamei* [Efecto del peróxido de hidrógeno sobre la comunidad microbiana presente en sistemas de producción de biofloc del camarón *Litopenaeus vannamei*]. *Aquaculture*, 533. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736155>
- Melgar, C., Macías, E., Alvarez-González, C., Tovilla, C. & Sánchez, A. (2013). Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1215–1228.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000400018

- Meunpol, O., Lopinyosiri, K. & Menasveta, P. (2003). The effects of ozone and probiotics on the survival of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) [Efectos del ozono y los probióticos en la supervivencia del camarón tigre negro (*Penaeus monodon*)]. *Aquaculture*, 220(1–4), 437–448. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00586-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00586-0)
- Moncayo-Lasso, A., Sanabria, J., Pulgarin, C. & Benítez, N. (2009). Simultaneous *E. coli* inactivation and NOM degradation in river water via photo-Fenton process at natural pH in solar CPC reactor. A new way for enhancing solar disinfection of natural water [Inactivación simultánea de *E. coli* y degradación de NOM en agua de río mediante el proceso foto-Fenton a pH natural en un reactor solar CPC. Una nueva forma de mejorar la desinfección solar del agua natural]. *Chemosphere*, 77(2), 296–300. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07.007>
- Nursyirwani, N., Mardalisa, M., Batubara, U., Nurhayati, N. & Putri, R. (2022). Microbiological Quality of Vannamei Shrimp Pond Waters in Rupert Island, Bengkalis District, Riau [Calidad microbiológica de las aguas del estanque de camarones Vannamei en la isla Rupert, distrito de Bengkalis, Riau]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1118.
- Patil, S., Cullen, P., Kelly, B., Frías, J. & Bourke, P. (2009). Extrinsic control parameters for ozone inactivation of *Escherichia coli* using a bubble column [Parámetros de control extrínsecos para la inactivación de *Escherichia coli* mediante ozono utilizando una columna de burbujeo]. *Journal of Applied Microbiology*, 107(3), 830–837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04255.x>
- Pimentel, O., Wasielesky, W., Brito, L., Roy, L., Romano, N. & Krummenauer, D. (2025). The Fertilization of Synbiotic Systems in the Intensive Culture of *Penaeus vannamei* [La

- fertilización de sistemas simbióticos en el cultivo intensivo de *Penaeus vannamei*]. *Reviews in Aquaculture*, 17(2). <https://doi.org/10.1111/raq.13011>
- Pita, W., Julyta, E., Wulansarie, R. & Suryanto, A. (2018). Ozone Disinfection of *Vibrio vulnificus* in Shrimp Pond Water [Desinfección con ozono de *Vibrio vulnificus* en agua de estanques de camarones]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/316/1/012067>
- Pumkaew, M., Taweephitakthai, T., Satanwat, P., Yocawibun, P., Chumtong, P., Pungrasmi, W. & Powtongsook, S. (2021). Use of ozone for *Vibrio parahaemolyticus* inactivation alongside nitrification biofilter treatment in shrimp-rearing recirculating aquaculture system [Uso de ozono para la inactivación de *Vibrio parahaemolyticus* junto con el tratamiento de biofiltro de nitrificación en un sistema de acuicultura recirculante para la cría de camarones]. *Journal of Water Process Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102396>
- Ranjit, N., Kumar, S., Uchoi, D., Kishore, P., Madhu, V., Ayyappan, M., Rao, M., Kurcheti, P., Raman, R. & Mukteswar, M. (2025). Bacterial Inactivation Studies in Shrimp Pond Water by Using Different Disinfectant Agents [Estudios de inactivación bacteriana en agua de estanques de camarones mediante el uso de diferentes agentes desinfectantes]. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 108(1), 47–55. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsae073>
- Ringø, E., Hoseinifar, S., Ghosh, K., Van Doan, H., Beck, B. & Song, S. (2018). Lactic Acid Bacteria in Finfish—An Update [Bacterias lácticas en peces: una actualización]. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01818>
- Satyari, D., Ilham, I., Insani, L., Kusmiatun, A., Wahyu, W., Yudiati, E., Rahman, R., Albasri, H. & Szuzter, B. (2025). Commercial Probiotics Improve Growth, Feed Efficiency, Nitrogen Removal, Hemocyte Count and Suppression of *Vibrio* Population in Pacific White Shrimp Culture [Los probióticos comerciales mejoran el crecimiento, la eficiencia alimenticia, la

- eliminación de nitrógeno, el recuento de hemocitos y la supresión de la población de *Vibrio* en el cultivo de camarón blanco del Pacífico]. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 30(3), 395–410. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.30.3.395-410>
- Sitthi, S., Mirutanaphai, M., Satanwat, P., Powtongsook, S. & Pungrasmi, W. (2024). Effect of ozone on *Vibrio* removal in a simulated earthen shrimp pond [Efecto del ozono en la eliminación de *Vibrio* en un estanque de camarones de tierra simulado]. *Blue-Green Systems*, 6(2), 310–326. <https://doi.org/10.2166/bgs.2024.015>
- Situmorang, M., Fadillah, A., Azizy, A. & Suantika, G. (2025). Biofloc system with synbiotic supplementation improves *Penaeus vannamei* immunity against AHPND [El sistema de biofloc con suplementación simbiótica mejora la inmunidad de *Penaeus vannamei* contra AHPND]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 109(213). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41042351/>
- Teitge, F., Peppler, C., Steinhagen, D., & Jung-Schroers, V. (2020). Water disinfection by ozonation has advantages over UV irradiation in a brackish water recirculation aquaculture system for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Fish Diseases*, 43(10), 1259–1285. <https://doi.org/10.1111/jfd.13238>
- Thanajiradech, P., Suyamud, B., Duchda, P., Lohwacharin, J., & Larpparisudthi, O. A. (2025). Investigating the impact of organic matter on *Vibrio parahaemolyticus* inactivation in aquaculture water by UV-LED system. *Journal of Environmental Management*, 381, 125237. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125237>
- Wang, J., Hao, Z., Shi, F., Yin, Y., Cao, D., Yao, Z. & Liu, J. (2018). Characterization of Brominated Disinfection Byproducts Formed During the Chlorination of Aquaculture Seawater [Caracterización de los subproductos de desinfección bromados formados durante la

- cloración del agua de mar de acuicultura]. *Environmental Science & Technology*, 52(10), 5662–5670. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05331>
- Yang, M., Wang, B., Xu, R., Li, P., Xia, J., Jia, T., Li, W., Zhan, Y. & Zhang, Q. (2024). Evaluation of combined disinfection methods of infectious myonecrosis virus (IMNV) in seawater using Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) [Evaluación de métodos combinados de desinfección del virus de la mionecrosis infecciosa (IMNV) en agua de mar utilizando el camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*)]. *Aquaculture*, 590. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741063>
- Zhu, Z., Gross, A., Brown, P. & Luo, G. (2025). Disinfection By-Products in Aquaculture: Sources, Impacts, Removal and Future Research [Subproductos de la desinfección en la acuicultura: fuentes, impactos, eliminación e investigación futura]. *Reviews in Aquaculture*, 17(3). <https://doi.org/10.1111/raq.70035>

ANEXO 1

Matriz de identificación y trazabilidad de los 48 estudios incluidos

Revisión sistemática sobre mecanismos de desinfección y control microbiológico en el tratamiento del agua para el cultivo de *Penaeus vannamei* (2010–2025)

N.º	Autores	Año	País	Título	Revista/Fuente	DOI	EID Scopus
1	Rana, G.; Ray, A.J.	2025	Estados Unidos	The effects of filtration and horizontal substrate on Pacific White Shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>) production and water quality in RAS	Aquacultural Engineering	10.1016/j.aquaeng.2025.102576	2-s2.0-105007044877
2	Liao, L.; Song, J.; Qiu, R.; Liu, C.; Li, T.; Pan, L.	2025	China	Synthetic microbial communities for simultaneous nitrogen removal and pathogen control: probiotic isolation, efficacy analysis, consortium construction and application potential	Journal of Water Process Engineering	10.1016/j.jwpe.2025.108400	2-s2.0-105011267771
3	Zhu, W.; Yuan, G.; Song, Z.; Li, Q.; Liu, C.; Xu, A.; Luan, Y.; Liu, Y.	2025	China	In Situ Biofilm Aquaculture Systems (In Situ BFSs) for <i>Litopenaeus vannamei</i> : A Review	Reviews in Aquaculture	10.1111/raq.70058	2-s2.0-105009917214
4	Liang, Q.; Luan, Y.; Wang, Z.; Niu, J.; Li, Y.; Tang, H.; Li, Z.; Liu, G.	2025	China	Integration of Biofloc and Ozone Nanobubbles for Enhanced Pathogen Control in Prenursery of Pacific White Shrimp (<i>Penaeus vannamei</i>)	Fishes	10.3390/fishes10050218	2-s2.0-105006596233
5	Thanajiradech, P.; Suyamud, B.; Duchda, P.; Lohwacharin, J.; Larpparisudthi, O.-A.	2025	Tailandia	Investigating the impact of organic matter on <i>Vibrio parahaemolyticus</i> inactivation in aquaculture water by UV-LED system	Journal of Environmental Management	10.1016/j.jenvman.2025.125237	2-s2.0-105001715069
6	Al-Sayegh, S.Y.; Rosas, V.T.; Vethamony, P.; Kasan, N.A.; Liew, H.J.; Mhd, M.; Al Disi, Z.A.A.; Elsayed, H.; al-Khayat, J.A.	2025	Catar; Malasia	Maturation of the biofloc system in <i>Penaeus vannamei</i> culture under different salinities and its effects on the microbial communities	Aquaculture Reports	10.1016/j.aqrep.2024.102568	2-s2.0-85212235844
7	N'Souvi, K.; Sun, J.; Si, Y.; Sun, C.	2025	China	Assessing the influence of sociodemographic factors on biofloc technology adoption for sustainable water management in aquaculture: the case of shrimp farmers in Jiangsu and Shandong provinces, China	Aquaculture International	10.1007/s10499-024-01790-z	2-s2.0-85218129374
8	Nadella, R.K.; Panda, S.K.; Uchoi, D.; Kishore, P.; Madhu, V.R.;	2025	India	Bacterial Inactivation Studies in Shrimp Pond Water by Using Different Disinfectant Agents	Journal of AOAC International	10.1093/jaoacint/qsae073	2-s2.0-85216454618

N.º	Autores	Año	País	Título	Revista/Fuente	DOI	EID Scopus
	Ayyappan, M.V.; Madhusudana Rao, M.R.; Kuricheti, P.P.; Raman, R.P.; Mothadaka, M.P.						
9	Sampath, H.; Guruchandran, G.; Mukkalil, R.	2025	India	Harnessing Bacillus Probiotics: An Approach for Vibrio Pathogen Control and Organic Sludge Management in Shrimp Aquaculture	Aquaculture Research	10.1155/are/2767593	2-s2.0-105001966199
10	Sitthi, S.; Mirutanaphai, M.; Satanwat, P.; Powtongsook, S.; Pungrasmi, W.	2024	Tailandia	Effect of ozone on <i>Vibrio</i> removal in a simulated earthen shrimp pond	Blue-Green Systems	10.2166/bgs.2024.015	2-s2.0-85210765517
11	Brandão, H.; Dos Reis, W.G.; Krummenauer, D.; Wasielesky, W.	2024	Brasil	Growth performance of <i>Litopenaeus vannamei</i> under biofloc system using denitrified seawater	Aquaculture International	10.1007/s10499-023-01315-0	2-s2.0-85174840861
12	De la Peña, L.D.; Moquera, G.L.; Amar, E.C.; Castellano, J.L.A.; Cabillon, N.A.R.; Arboleda, J.I.; Nava, J.K.P.T.; Zamora, R.V.; de Schryver, P.	2024	Filipinas; Israel; Bélgica; Grecia	In vitro and in vivo evaluation of the efficacies of commercial probiotics and disinfectant against acute hepatopancreatic necrosis disease and luminescent vibriosis in <i>Litopenaeus vannamei</i>	Research in Veterinary Science	10.1016/j.rvsc.2024.105204	2-s2.0-85187408563
13	Minaz, M.; Yazıcı, I.S.; Sevgili, H.; Aydın, İ.	2024	Turquía	Biofloc technology in aquaculture: Advantages and disadvantages from social and applicability perspectives - A review	Annals of Animal Science	10.2478/aoas-2023-0043	2-s2.0-85161502222
14	Brune, D.E.	2024	Estados Unidos	AUTOTROPHIC AND HETEROTROPHIC WATER TREATMENT IN SEMI-INTENSIVE, INTENSIVE, AND SUPER-INTENSIVE FISH AND SHRIMP CULTURE	The Shrimp Book II	10.1079/9781800629363.0007	2-s2.0-85210707355
15	De Schryver, P.; Vadstein, O.; Defoirdt, T.; Sorgeloos, P.	2024	Bélgica; Noruega	MICROBIAL MANAGEMENT: A KEY CONCEPT FOR SUSTAINABLE SHRIMP CULTURE	The Shrimp Book II	10.1079/9781800629363.0008	2-s2.0-85210669532
16	Peeler, E.J.; Caballero-Celli, R.; Davila, C.E.S.; Canales Gomez, A.C.; Gilbert, W.; Gómez-Sánchez, M.	2023	Reino Unido; Perú; Estados Unidos; Vietnam; Países Bajos	Farm level bio-economic modelling of aquatic animal disease and health interventions	Preventive Veterinary Medicine	10.1016/j.prevetmed.2023.106055	2-s2.0-85175331794

N.º	Autores	Año	País	Título	Revista/Fuente	DOI	EID Scopus
	Huntington; Van, V.T.; Rushton, J.; Schrijver, R.S.; Kennerley, A.						
17	Liu, X.; Shang, X.; Cai, Q.; Hu, J.	2023	Singapur	Lab- and pilot- scale evaluation of bacterial inactivation and reactivation influenced by UV-LEDs arrangements in continuous flow water disinfection reactors	Journal of Water Process Engineering	10.1016/j.wpe.2023.104093	2-s2.0-85169842349
18	Menaga, M.; Rajasulochana, P.; Felix, S.; Sudarshan, S.; Kapoor, A.; Gandla, K.; Saleh, M.M.; Ibrahim, A.E.; El Deeb, S.	2023	India; Egipto; Omán; Alemania	Evaluation of Biofloc-Based Probiotic Isolates on Growth Performance and Physiological Responses in <i>Litopenaeus vannamei</i>	Water (Switzerland)	10.3390/w15163010	2-s2.0-85168796331
19	Zhang, F.; Xie, F.; Zhou, K.; Zhang, Y.; Zhao, Q.; Song, Z.; Cui, H.	2022	China	Nitrogen Removal Performance of Novel Isolated Bacillus sp. Capable of Simultaneous Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification	Applied Biochemistry and Biotechnology	10.1007/s12010-022-03877-w	2-s2.0-85127373720
20	Brune, D.E.	2022	Estados Unidos	RESOURCE UTILIZATION IN HETEROTROPHIC VS AUTOTROPHIC MARINE SHRIMP PRODUCTION	2022 ASABE Annual International Meeting	10.13031/aim.202200812	2-s2.0-85137542419
21	Yun, L.; Wang, W.; Li, Y.; Xie, M.; Chen, T.; Hu, C.; Luo, P.; Li, D.	2021	China; Francia	Potential application values of a marine red yeast, Rhodosporidium sphaerocarpum YLY01, in aquaculture and tail water treatment assessed by the removal of ammonia nitrogen, the inhibition to <i>Vibrio</i> spp., and nutrient composition	PLoS ONE	10.1371/journal.pone.0246841	2-s2.0-85101422544
22	Olmos-Soto, J.	2021	México	Feed intake improvement, gut microbiota modulation and pathogens control by using <i>Bacillus</i> species in shrimp aquaculture	World Journal of Microbiology and Biotechnology	10.1007/s1274-020-02987-z	2-s2.0-85099275236
23	Joning, E.J.; Yong, A.S.K.; Lajimin, S.; Ang, C.Y.; Ransangan, J.; Sano, M.; Dan, S.; Hamasaki, K.; Kasan, N.A.; Mohamad Lal, T.M.	2021	Malasia; Japón	Antifungal Prospect of <i>Bacillus cereus</i> Postbiotic on Crustacean Pathogen, <i>Lagenidium thermophilum</i>	Biocontrol Science	10.4265/BIOS.26.201	2-s2.0-85123514616
24	Tuanv, L.C.; Thanh, L.T.H.; Nguyen, N.D.; Trang, D.T.T.; Le,	2021	Vietnam	Antagonistic Activity Against Pathogenic <i>Vibrio</i> Isolates of Biofloculant-Producing Bacteria Isolated from Shrimp Ponds	Pakistan Journal of Biological Sciences	10.3923/pjbs.2021.1322.1332	2-s2.0-85123231896

N.º	Autores	Año	País	Título	Revista/Fuente	DOI	EID Scopus
	B.N.N.; Linh, N.L.N.; Khanh, N.V.; Tien, H.T.N.B.; Loc, N.H.						
25	Phung, L.T.; Phung, N.K.; Phuong, T.T.M.; Mounier, M.; Vincent, M.; Sandra, A.; Philippe, D.S.J.	2020	Vietnam; Francia	Effect of <i>Bacillus</i> sp. as probiotic on the treatment of environment in brackish water shrimp aquaculture	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	10.1088/1757-899X/991/1/012052	2-s2.0-85099117840
26	Teitge, F.; Peppler, C.; STEINHAGEN, D.; Jung-Schroers, V.	2020	Alemania	Water disinfection by ozonation has advantages over UV irradiation in a brackish water recirculation aquaculture system for Pacific white shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Journal of Fish Diseases	10.1111/jfd.13238	2-s2.0-85089732939
27	Tampangallo, B.R.; Idra Jaya Asaad, A.; Undu, M.C.; Khairana Kadriah, I.A.; Anshary, H.	2020	Indonesia	Bacterial diversity in superintensive vanname shrimp aquaculture wastewater treatment plants in Barru and Takalar Regencies	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	10.1088/1755-1315/564/1/012007	2-s2.0-85095845429
28	Ji, M.; Wu, K.; Li, J.; Ye, Z.; Li, H.; Zhu, S.	2020	China	The Effect of Ozonation on Particle Size Distribution for Recirculating Aquacultural Seawater: Analysis of Particle Flocculation and Breakup	Ozone: Science and Engineering	10.1080/01919512.2019.1644993	2-s2.0-85080831468
29	Jiang, W.; Ren, W.; Li, L.; Dong, S.; Tian, X.	2020	China	Light and carbon sources addition alter microbial community in biofloc-based <i>Litopenaeus vannamei</i> culture systems	Aquaculture	10.1016/j.aquaculture.2019.734572	2-s2.0-85073736386
30	Manan, H.; Amin-Safwan, A.; Kasan, N.A.; Mhd, M.	2020	Malasia	Effects of biofloc application on survival rate, growth performance and specific growth rate of Pacific whiteleg shrimp, <i>penaeus vannamei</i> culture in closed hatchery system	Pakistan Journal of Biological Sciences	10.3923/pjbs.2020.1563.1571	2-s2.0-85096867092
31	Cienfuegos-Martínez, K.; Monroy-Dosta, M.C.; Hamdan-Partida, A.; Hernández-Vergara, M.P.; Becerril-Cortés, D.; López-García, E.	2020	México	A review of the use of probiotics in freshwater prawn (<i>Macrobrachium</i> sp.) culture in biofloc systems	Latin American Journal of Aquatic Research	10.3856/vol48-issue4-fulltext-2464	2-s2.0-85093881372
32	Menanteau-Ledouble, S.; Gonçalves, R.A.; El-Matbouli, M.	2020	Austria; Dinamarca; España	Feed supplementation with a commercially available probiotic solution does not alter the composition of the microbiome in the biofilters of recirculating aquaculture systems	Pathogens	10.3390/pathogens9100830	2-s2.0-85092510521

N.º	Autores	Año	País	Título	Revista/Fuente	DOI	EID Scopus
33	Umamaheswari, T.; Rajakumar, M.; Sugumar, G.; Santhakumar, R.	2020	India	Value chain analysis of farmed shrimp sector in Tamil Nadu, South India	Indian Journal of Fisheries	10.21077/ijf.2020.67.3.88439-14	2-s2.0-85091857317
34	Kim, K.; Jung, J.-Y.; Han, H.-S.	2019	Corea del Sur	Utilization of microalgae in aquaculture system: Biological wastewater treatment	Emerging Science Journal	10.28991/esj-2019-01183	2-s2.0-85074133738
35	Deng, Y.; Xu, X.; Yin, X.; Lu, H.; Chen, G.; Yu, J.; Ruan, Y.	2019	China; Países Bajos	Effect of stock density on the microbial community in biofloc water and Pacific white shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>) gut microbiota	Applied Microbiology and Biotechnology	10.1007/s00253-019-09773-4	2-s2.0-85064247643
36	Chan-Vivas, E.; Magaña-Gallegos, M.-G.; Maldonado, C.; Escalante, K.; Gaxiola, G.; Cuzón, G.	2019	México	Does Biofloc Improve the Energy Distribution and Final Muscle Quality of Shrimp, <i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1883)?	Journal of the World Aquaculture Society	10.1111/jwas.12522	2-s2.0-85045702011
37	Aguilar-Ramírez, S.; Rosado, D.; Moreno-Andrés, J.; Cartuche, L.; Cruz, D.; Acevedo-Merino, A.; Nebot-Sanz, E.	2018	Ecuador; España	Inactivation of a wild isolated Klebsiella pneumoniae by photochemical processes: UV-C, UV-C/H ₂ O ₂ and UV-C/H ₂ O ₂ /Fe ³⁺	Catalysis Today	10.1016/j.cattod.2017.10.043	2-s2.0-85035054757
38	Ferreira, M.G.P.; Melo, F.P.; de Lima, J.P.V.; Andrade, H.A.; Severi, W.; de Souza Correia, E.S.	2017	Brasil	Bioremediation and biocontrol of commercial probiotic in marine shrimp culture with biofloc	Latin American Journal of Aquatic Research	10.3856/vol45-issue1-fulltext-16	2-s2.0-85018723672
39	Xiong, J.; Dai, W.; Li, C.	2016	China	Advances, challenges, and directions in shrimp disease control: the guidelines from an ecological perspective	Applied Microbiology and Biotechnology	10.1007/s00253-016-7679-1	2-s2.0-84975471779
40	Li, K.; Liu, L.; Clausen, J.H.; Lu, M.; Dalsgaard, A.	2016	China; Dinamarca	Management measures to control diseases reported by tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.) and whiteleg shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>) farmers in Guangdong, China	Aquaculture	10.1016/j.aquaculture.2016.02.008	2-s2.0-84958768268
41	Ali, H.; Rico, A.; Jahan, K.; Belton, B.	2016	Bangladés; Malasia; España; Estados Unidos	An assessment of chemical and biological product use in aquaculture in Bangladesh	Aquaculture	10.1016/j.aquaculture.2015.12.025	2-s2.0-84952944113
42	Alagappan, K.; Karuppiah, V.; Deivasigamani, B.	2016	India; Emiratos Árabes Unidos; Sudáfrica	Protective effect of phages on experimental V. parahaemolyticus infection and immune response in shrimp (Fabricius, 1798)	Aquaculture	10.1016/j.aquaculture.2015.11.037	2-s2.0-84949008569
43	Rico, A.; Phu, T.M.; Satapornvanit, K.; Jiang, J.; Shahabuddin, A.M.	2013	Países Bajos; Vietnam; Dinamarca; Tailandia; China; Bangladés;	Use of veterinary medicines, feed additives and probiotics in four major internationally traded aquaculture species farmed in Asia	Aquaculture	10.1016/j.aquaculture.2013.07.028	2-s2.0-84884371788

N.º	Autores	Año	País	Título	Revista/Fuente	DOI	EID Scopus
	Henriksson, P.J.G.; Murray, F.J.; Little, D.C.; Dalsgaard, A.; Van den Brink, P.J.		Japón; Reino Unido				
44	Krishnika, A.; Ramasamy, P.	2013	India	Effect of chlorination, antibiotics and UV radiation on <i>Vibrio</i> population in the hatchery system of <i>Macrobrachium rosenbergii</i> (DEMAN)	Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences	No disponible	2-s2.0-84878094048
45	Munasinghe, N.; Stephen, C.; Robertson, C.; Abeynayake, P.	2012	Sri Lanka; Canadá	Farm level and geographic predictors of antibiotic use in Sri Lankan shrimp farms	Journal of Aquatic Animal Health	10.1080/08997659.2012.667049	2-s2.0-84858603322
46	Natale, F.; Fiore, G.; Hofherr, J.	2012	Bélgica	Mapping the research on aquaculture. A bibliometric analysis of aquaculture literature	Scientometrics	10.1007/s11192-011-0562-z	2-s2.0-84856540315
47	Janeo, R.L.; Corre, V.L.	2011	Filipinas	Bacterial Change in the Gut and Hepatopancreas of Tiger Shrimp Reared in Bioaugmented System	Journal of the World Aquaculture Society	10.1111/j.1749-7345.2011.00534.x	2-s2.0-83055196803
48	Schroeder, J.P.; Gärtner, A.; Waller, U.; Hanel, R.	2010	Alemania	The toxicity of ozone-produced oxidants to the Pacific white shrimp <i>Litopenaeus vannamei</i>	Aquaculture	10.1016/j.aquaculture.2010.03.030	2-s2.0-77955552171

Nota. La matriz presenta los 48 registros recuperados e incluidos en el análisis bibliográfico y de trazabilidad. No todos los registros constituyeron evidencia directa sobre la eficacia de mecanismos de desinfección en *Penaeus vannamei*. Los estudios que no evaluaron directamente tecnologías de desinfección del agua se utilizaron únicamente para el análisis descriptivo, contextual o de verificación bibliográfica y no sustentaron las conclusiones sobre eficacia, salud del camarón o desempeño de los tratamientos.