



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

**ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DEL USO DE BACTERIÓFAGOS PARA CONTROL DE
VIBRIO SPP. EN EL CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO DEL PACÍFICO (*PENAEUS
VANNAMEI*)**

*Trabajo de titulación previo a la obtención del título
de Ingeniero en Biotecnología*

AUTOR:

AARÓN ALEXANDER CORDERO JARA

TUTOR:

ING. JOSÉ LUIS BALLESTEROS LARA, PhD.

**GUAYAQUIL - ECUADOR
2025**

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Aarón Alexander Cordero Jara con documento de identificación N° 0704401298 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,



Aarón Alexander Cordero Jara

CI: 0704401298

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Aarón Alexander Cordero Jara con documento de identificación No. 0704401298, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del proyecto de investigación: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DEL USO DE BACTERIÓFAGOS PARA EL COTROL DE *VIBRIO SPP.* EN EL CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO DEL PACÍFICO (*PENAEUS VANNAMEI*), el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,



Aarón Alexander Cordero Jara

CI: 0704401298

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Luis Ballesteros Lara con documento de identificación N° 1714838123, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DEL USO DE BACTERIÓFAGOS PARA EL COTROL DE *VIBRIO SPP.* EN EL CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO DEL PACÍFICO (*PENAEUS VANNAMEI*), realizado por Aarón Alexander Cordero Jara con documento de identificación N° 0704401298, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ing. José Luis Ballesteros Lara, PhD.

CI: 1714838123

Dedicatoria

A Dios, por iluminarme y guiarme en este trayecto.

A mi esposa, mis hijos, mi madre y mi abuela que siempre me han apoyado y me han acompañado.

Agradecimientos

A Dios, por ser quien nos da vida y salud todos los días.

A mi esposa, mis hijos, mi madre y mi abuela por apoyarme siempre.

A los profesores, quienes aportaron con sus conocimientos y experiencia para nutrirme de ellos.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por abrirme sus puertas.

Resumen

El cultivo de camarón *Penaeus vannamei* es una actividad acuícola de importancia mundial, que representa una fuente clave de ingresos y exportaciones en Ecuador. Uno de los desafíos que presenta el sector productor camaronero es la presencia de enfermedades bacterianas, en particular aquellas originadas por *Vibrio spp.*, lo que ha generado cuantiosas pérdidas económicas por las elevadas tasas de mortalidad y descenso de la productividad. Para controlar al patógeno *Vibrio spp.* se ha incorporado, en los protocolos de producción, el uso de antibióticos; esto ha conducido al desarrollo de cepas resistentes, lo que ha causado preocupaciones ambientales y regulatorias.

En ese marco, la terapia con bacteriófagos aparece como una herramienta biotecnológica alternativa, innovadora y sostenible para controlar enfermedades de origen bacteriano en el cultivo de camarón blanco del Pacífico. Los bacteriófagos son virus caracterizados por su alta especificidad, que infectan y destruyen bacterias. Varios estudios han demostrado la efectividad de los fagos contra bacterias del género *Vibrio*, tales como *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio alginolyticus* y *Vibrio harveyi*, principales microorganismos patogénicos causantes de algunas enfermedades de importancia en el cultivo de camarón como la vibriosis.

En el presente estudio se examina el uso potencial de los bacteriófagos como método para mitigar las enfermedades causadas por *Vibrio spp.* en cultivos de camarón, mediante una revisión sistemática, que fue ejecutada en seis diferentes bases de datos, de las cuales se recopiló más de 5.000 artículos, se analizó más de 300 estudios y se realizó un fichaje crítico de 14 investigaciones que se enfocaron en el uso de bacteriófagos en la acuicultura. Para evaluar la metodología y el riesgo de sesgo de los artículos se utilizó el método QUADAS-2 mediante el software Review Manager 5.4. Se realizó una encuesta a personas inmersas en el sector acuícola con el fin de conocer su predisposición para usar los bacteriófagos como herramienta biotecnológica para

control de enfermedades bacterianas; finalmente, se desarrolló un bibliométrico mediante VOSviewer que permitió identificar patrones de colaboración entre autores, citas y tendencias en estudios.

Los resultados analizados de estudios preliminares señalan que la utilización de los bacteriófagos, particularmente en consorcios de diferentes cepas, permite controlar de manera mas eficiente las enfermedades bacterianas y disminuir el uso de antibióticos. Lo que perfila a la terapia con bacteriófagos como una alternativa viable y ambientalmente amigable para el control de *Vibrio* spp. en cultivos de camarón.

Palabras clave: Acuicultura, camarón blanco, *Vibrio*, bacteriófagos, enfermedades bacterianas.

Abstract

The *Penaeus vannamei* shrimp farming is a globally significant aquaculture activity, serving as a key source of income and exports in Ecuador. One of the main challenges faced by the shrimp farming sector is the presence of bacterial diseases, particularly those caused by *Vibrio* spp., which have resulted in substantial economic losses due to high mortality rates and decreased productivity. To control *Vibrio* spp., antibiotics have been incorporated into production protocols; however, this has led to the development of resistant bacterial strains, raising environmental and regulatory concerns.

In this context, bacteriophage therapy emerges as an innovative, sustainable, and alternative biotechnological tool for controlling bacterial diseases in Pacific white shrimp farming. Bacteriophages are viruses with high specificity that infect and destroy bacteria. Several studies have demonstrated the effectiveness of phages against *Vibrio* species, including *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio alginolyticus*, and *Vibrio harveyi*, which are the primary pathogenic microorganisms responsible for diseases such as vibriosis in shrimp farming.

This study examines the potential use of bacteriophages as a method to mitigate diseases caused by *Vibrio* spp. in shrimp farming through a systematic review. Research was conducted across six different databases, from which more than 5,000 articles were collected, over 300 studies were analyzed, and a critical review of 14 investigations focused on the application of bacteriophages in aquaculture was carried out. To evaluate the methodology and assess the risk of bias in the selected articles, the QUADAS-2 method was employed using the Review Manager 5.4 software. Additionally, a survey was conducted among individuals involved in the aquaculture sector to gauge their willingness to use bacteriophages as a biotechnological tool for controlling bacterial

diseases. Finally, a bibliometric analysis was performed using VOSviewer, allowing for the identification of collaboration patterns among authors, citations, and trends in related studies.

The analyzed findings from preliminary studies indicate that the use of bacteriophages, particularly in consortiums combining different strains, enables more effective control of bacterial diseases while reducing antibiotic dependence. This positions bacteriophage therapy as a viable and environmentally friendly alternative for managing *Vibrio* spp. infections in shrimp farming.

Key Words: Aquaculture, Whiteleg shrimp, *vibrio*, bacteriophages, bacterial disease.

Índice de contenido

Capítulo I	1
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general:.....	4
1.4.2 Objetivos específicos:	4
1.5 Hipótesis	5
Capítulo II	6
2 Marco Teórico	6
2.1 Introducción al cultivo de camarón blanco del Pacífico (<i>Penaeus vannamei</i>)	6
2.1.1 Importancia económica y social del cultivo de camarón	9
2.1.2 Breve descripción biológica y ecológica de <i>Penaeus vannamei</i>	10
2.1.3 Principales desafíos en el cultivo de camarón, con énfasis en enfermedades bacterianas	14
2.2 El problema de <i>Vibrio spp.</i> en el cultivo de camarón	16
2.2.1 Características del género <i>Vibrio</i> : morfología, ecología y patogenicidad	17
2.2.2 Especies de <i>Vibrio</i> más comunes asociadas a enfermedades en <i>Penaeus vannamei</i>	

2.2.3	Estrategias actuales de control y sus limitaciones: antibióticos, manejo ambiental, probióticos	24
2.3	Bacteriófagos: una solución prometedora.....	26
2.3.1	Definición y características generales de los bacteriófagos.....	28
2.3.2	Ciclo de vida de los bacteriófagos: ciclos lítico y lisogénico.	30
2.3.3	Especificidad y ventajas del uso de bacteriófagos como agentes antimicrobianos	34
2.4	Uso de bacteriófagos para controlar <i>Vibrio spp.</i> en acuicultura	34
2.4.1	Mecanismos de acción de los bacteriófagos sobre <i>Vibrio spp.</i>	36
2.4.2	Casos de estudio relevantes en acuicultura, especialmente en <i>Penaeus vannamei</i>	37
2.4.3	Ventajas frente a otras estrategias de control: seguridad ambiental, ausencia de resistencia cruzada.....	39
2.5	Factores que afectan la eficacia de los bacteriófagos en el control de <i>Vibrio spp.</i> ..	41
2.5.1	Interacciones entre bacteriófagos y el medio ambiente: pH, temperatura, salinidad	42
2.5.2	Coevolución entre bacterias y bacteriófagos: desarrollo de resistencia.....	44
2.5.3	Métodos para mejorar la eficacia de los bacteriófagos: cócteles, ingeniería genética, encapsulación.....	46
2.6	Regulación y aceptación del uso de bacteriófagos en la industria acuícola	47
2.6.1	Situación legal del uso de bacteriófagos en diferentes regiones del mundo	48
	Capítulo III.....	50
3	Metodología.....	50
3.1	Diseño del estudio	50

3.2	Definición del problema.....	50
3.3	Fuentes de información.....	50
3.4	Criterios de inclusión y exclusión	51
3.4.1	Criterios de inclusión:	51
3.4.2	Criterios de exclusión:	51
3.5	Estrategia de búsqueda	52
3.5.1	Proceso de selección	52
3.5.2	Extracción de datos.....	53
3.5.3	Evaluación de calidad	53
3.6	Análisis bibliométrico	53
3.7	Consideraciones éticas	54
	Capítulo IV.....	55
4	<i>Resultados y Discusiones</i>	55
4.1	Resultados	55
4.1.1	Selección de estudios	55
4.1.2	Características de los estudios	57
4.1.3	Especificidad y efectividad de los bacteriófagos	73
4.1.4	Encuesta para evaluar las percepciones de los productores y consumidores sobre el uso de bacteriófagos.	75
4.2	Discusiones	89
4.2.1	Fichaje crítico.....	91
	Capítulo V	102

5	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	102
5.1	Conclusiones	102
5.2	Recomendaciones	104
6	<i>Referencias bibliográficas</i>	105

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Penaeus vannamei</i>	11
Tabla 2. Parámetros físicoquímicos de <i>Penaeus vannamei</i>	13
Tabla 3. Clasificación taxonómica de <i>Vibrio spp.</i>	17
Tabla 4. Resultado de la búsqueda de información en seis bases de datos usando palabras clave y operadores booleanos, con filtros de criterios de inclusión y exclusión, y sin filtros.	57
Tabla 5. Resultado de la búsqueda de información en seis bases de datos aplicando filtros de criterios de exclusión.	58
Tabla 6. Resultado de la búsqueda de información en seis bases de datos sin aplicar criterios de inclusión y exclusión.	58
Tabla 7. Matriz CDIU sobre el uso de bacteriófagos en cultivos de <i>Penaeus vannamei</i> .	72
Tabla 8. Especificidad y efectividad de bacteriófagos en <i>Vibrio spp.</i>	73
Tabla 9. Fichaje crítico	91

Índice de figuras

Figura 1. Anatomía de <i>Penaeus vannamei</i> _____	12
Figura 2. Ciclo de vida del camarón blanco del Pacífico (<i>Penaeus vannamei</i>) _____	14
Figura 3. Morfología de <i>Vibrio harveyi</i> _____	21
Figura 4. Estructuras y factores de virulencia de <i>V. parahaemolyticus</i> _____	22
Figura 5. <i>Vibrio alginolyticus</i> con flagelo _____	23
Figura 6. Ilustración de bacteriófagos _____	27
Figura 7. Clasificación de fagos: material genético y familias _____	29
Figura 8. Ciclo de vida lítico _____	31
Figura 9. Ciclo de vida lisogénico _____	33
Figura 10. Diagrama de Flujo PRISMA. _____	56
Figura 11. Mapa de redes de coautoría de bibliografía extraída de la base de datos Scopus en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> . _____	60
Figura 12. Mapa de redes de coautoría de bibliografía extraída de la base de datos Web of Science en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> . _____	61
Figura 13. Densidad de coautoría de bibliografía extraída de la base de datos Scopus en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> . _____	63
Figura 14. Densidad de coautoría de bibliografía extraída de la base de datos Web Of Science en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> . _____	64
Figura 15. Mapa de redes de palabras de bibliografía extraída de la base de datos Scopus y Web of Science en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> . _____	66
Figura 16. Densidad de palabras de bibliografía extraída de la base de datos Scopus y Web Of Science en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> . _____	68

Figura 17. Gráfica de resultados de porcentajes de la evaluación de riesgo y preocupaciones sobre la aplicabilidad de los artículos seleccionados para la revisión bibliográfica. _____	70
Figura 18. Gráfica de puntuación de la evaluación del riesgo y preocupaciones de la aplicabilidad de los artículos seleccionados para la revisión bibliográfica. _____	71
Figura 19. Distribución de roles en el sector acuícola. _____	77
Figura 20. Enfermedades bacterianas causadas por <i>Vibrio</i> spp. en la producción de camarón. 78	
Figura 21. Frecuencia de enfermedades bacterianas causadas por <i>Vibrio</i> spp. por ciclo de cultivo en la producción de camarón _____	79
Figura 22. Métodos de control para enfermedades causadas por <i>Vibrio</i> spp en la producción de camarón. _____	81
Figura 23. Conocimiento de los bacteriófagos. _____	82
Figura 24. Predisposición para probar la terapia con fagos en la producción de camarón. ____	84
Figura 25. Predisposición para probar la terapia con fagos en la producción de camarón. ____	85
Figura 26. Preocupaciones sobre los efectos secundarios del uso de bacteriófagos en la producción de camarón. _____	87
Figura 27. Importancia de las Certificaciones de sostenibilidad respecto de los bacteriófagos. 88	

Capítulo I

1 Introducción

1.1 Antecedentes

El camarón es un organismo acuático, que pertenece a la familia de los crustáceos porque posee un caparazón duro; pertenece al orden de los decápodos, ya que posee diez patas; y al suborden “Pleocyemata”, porque los huevos fecundados son incubados por la hembra y permanecen adheridos a los pleópodos; se encuentra en el infraorden *Caridea*; y lo conforman aproximadamente 2500 especies distribuidas en 21 familias (De Grave et al., 2008).

En Ecuador, el sector camaronero ha alcanzado un gran desarrollo, siendo el camarón uno de los productos de mayor exportación del país a nivel mundial (Alvarado Barrera et al., 2024). Existen alrededor de 3344 granjas camaroneras y 421 laboratorios de larva según el listado del Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, actualizado a 2023, generando más de 180.000 plazas de trabajo (Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca [MPCEIP], 2023).

A lo largo del tiempo, el sector camaronero ha afrontado varios desafíos respecto a salud animal, tanto así que Ecuador se ha convertido en referente sobre cómo afrontarlos (Viera-Romero et al., 2024). Para ello, esta industria ha empleado la biotecnología como una herramienta valiosa para desarrollar una gran cantidad de terapias para combatir las enfermedades en la producción (Seethalakshmi et al., 2021).

Tradicionalmente, se ha utilizado antibióticos como estrategia de control de estas infecciones bacterianas, pero esto ha ocasionado grandes problemas respecto a la resistencia a los antibióticos (Huang et al., 2023) y la acumulación de estos en el medio ambiente; lo cual afecta no solo a la salud pública, sino compromete la sostenibilidad del sector acuícola (Mendes et al., 2023).

1.2 Planteamiento del problema

El *Vibrio* es un género de bacteria que afecta en gran medida a los organismos acuáticos marinos, causándoles graves enfermedades y pérdidas económicas (Mishra et al., 2024). Mediante experimentaciones se ha desarrollado terapias novedosas, de las cuales ha destacado la terapia con fagos (Loponte et al., 2021).

Algunas cepas de *Vibrio* son responsables de acarrear graves enfermedades como la necrosis hepatopancreática aguda (AHPND, por sus siglas en inglés), que apareció en Asia y migró hacia Norteamérica, habiendo provocado grandes pérdidas en dichas regiones (Aguirre Chanta et al., 2021). Otra enfermedad que se le atribuye a los *Vibrios* es el síndrome de Zoea II, caracterizado por la reducción en la tasa de alimentación y la incapacidad de metamorfosis provocando graves mortalidades (Sathish Kumar et al., 2017).

La terapia con fagos es un tipo de tratamiento que emplea bacteriófagos para combatir infecciones bacterianas, causadas por microorganismos multirresistentes (Cisek et al., 2017). Los bacteriófagos son una especie de virus que, al ingresar a la bacteria, depositan su material genético, y se valen de la misma maquinaria de replicación de ácido desoxirribonucleico (ADN) de su hospedero, para generar muchas copias que ocasionan lisis en la bacteria, provocando su muerte (Makarov et al., 2019).

El presente trabajo de investigación busca explorar en la literatura cómo la terapia con bacteriófagos ha influido en la mejora de la salud del camarón en las granjas camaroneras y laboratorio de larvas, a través de la metodología PRISMA 2020, tomando como base artículos científicos de los últimos cinco años, extraídos de diferentes motores de búsqueda; empleando

ecuaciones de palabras y criterios de inclusión y exclusión, para analizar, comparar y emitir un criterio de lo investigado.

1.3 Justificación

En Ecuador el sector camaronero es un sector muy robusto de la economía, con base en los datos de la Cámara Nacional de Acuicultura, durante enero hasta septiembre del presente año 2024 ha aportado con \$4,474,069,314 con una producción de 2,013,190,471 libras, teniendo como destinos principales con 53.68% China, 14.93% Estados Unidos, 22.98% Europa y 8.38% resto del mundo (Cámara Nacional de Acuicultura [CNA], 2024).

El *Vibrio* es una bacteria oportunista, Gram-negativa que puede ser portadora de muchas enfermedades graves, por ejemplo, el síndrome de la mortalidad temprana que a la postre se denominó necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND) del cual se ha reportado mortalidad de hasta 100% en camarones (Kumar et al., 2021). Esta consiste en una cepa altamente virulenta de *Vibrio parahaemolyticus* portadora de un plásmido nombrado pVA, que codifica una toxina binaria que le otorga patogenicidad, estas toxinas son las PirA y PirB, que pueden causar muerte en camarones (Barrantes, 2023).

La presente investigación está dirigida al estudio del uso de los bacteriófagos para el control de tres especies de *Vibrio* en los cultivos de camarón. La aplicación de bacteriófagos representa una alternativa viable y ecológica que transformaría de manera positiva las practicas actuales, mejora la salud de los camarones, la inocuidad y seguridad alimentaria, a la vez impacta de forma positiva a la sostenibilidad del sector acuícola (Moreno Figueroa et al., 2024).

Al mismo tiempo, los resultados de la presente investigación proporcionarían una base científica sólida para la puesta en funcionamiento de terapia con fagos en la producción de camarón, contribuyendo con nuevas oportunidades para el control biológico de patógenos en otros sistemas de producción animal (Elizabeth Cruz-Suarez et al., 2022).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

Realizar un análisis sistemático en la literatura existente sobre el modo de acción de los bacteriófagos en las especies de *Vibrio paraemolyticus*, *Vibrio alginolyticus* y *Vibrio harveyi* para combatirlo y erradicarlo del camarón.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Compilar información científica relacionada a la resistencia y tolerancia de los *Vibrios* ante los bacteriófagos mediante un fichaje crítico.
- Realizar una revisión sistemática de las condiciones de desarrollo de los bacteriófagos a través de la herramienta de VOSviewer.
- Estimar la especificidad y efectividad de los bacteriófagos sobre *Vibrio paraemolyticus*, *Vibrio alginolyticus* y *Vibrio harveyi* en camarón blanco del pacífico, mediante un análisis documental de estudios científicos.

1.5 Hipótesis

Ha: El uso de bacteriófagos como mecanismo de control biológico en el cultivo de camarón reduce significativamente la incidencia de infecciones por *Vibrio*, mejorando la supervivencia de los camarones.

Ho: El uso de bacteriófagos como mecanismo de control biológico en el cultivo de camarón no reduce significativamente la incidencia de infecciones por *Vibrio*, mejorando la supervivencia de los camarones.

Capítulo II

2 Marco Teórico

2.1 Introducción al cultivo de camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*)

En Ecuador, la producción de camarón se desarrolla en la región costa, donde convergen fundamentales características naturales que la tornan propicia para el cultivo de camarón (Marcillo, 2017).

Los inicios de la actividad camaronera, en Ecuador, se remontan al año 1968, en el cantón Santa Rosa, de la provincia de El Oro, por un grupo de empresarios agrícolas que notaron que en pequeños estanques cercanos a los estuarios crecía el camarón (Beitl, 2016).

En la década de los setenta, empezó la verdadera expansión de la industria camaronera, hacia el resto de la provincia de El Oro y Guayas, por su disponibilidad de salitrales y abundancia de larvas salvajes (C. Beitl, 2011). Para el año 1974 ya existían alrededor de 600 hectáreas de camaroneras (Alvarado et al., 2016)

La expansión de la industria continua en la década de los noventa, en donde las empresas no solo invertían en los cultivos, sino que se establecieron nuevas empacadoras, laboratorios de larvas, fábricas de balanceado y empresas productoras de insumos para la actividad (Stern & Sonnenhlzner, 2010).

Hasta el año 1998 la producción de camarón del país había experimentado un crecimiento continuo, con algunos derrumbes transitorios causados por enfermedades como el “Síndrome de la gaviota” en 1989 y el Síndrome de Taura (TSV, por sus siglas en inglés) de 1994 (Griffith, 2007).

Pero en el año 2000 ocurre un hito trascendental, cuando aparece el virus de la Mancha Blanca (WSSV, por sus siglas en inglés) que provocó magnas mortalidades; las exportaciones se desplomaron a 37.700 TM, de 115.000 TM reportadas en 1998, y la industria sufrió una contracción del 70% junto con la crisis económica que vivía el Ecuador en ese tiempo (Wurmann et al., 2004) Para contrarrestar a la mancha blanca, el sector camaronero se vio en la necesidad de emplear el método de la selección masal, mediante el cual se toman camarones de estanques que hayan sobrevivido a la mancha blanca con el fin de reproducirlos y obtener generaciones que resistan al virus. (Rocha, 2017).

La selección masal permitió a la industria camaronera recuperar los niveles de producción que tenía previo al brote de mancha blanca (Shin et al., 2023).

La década pasada, el sector camaronero experimentó aumento de producción y precios, lo cual permitió tener un crecimiento anual constante de aproximadamente 12%, tanto así que en 2017 exportó un aproximado de 246.000 TM, convirtiéndose en el principal productor de camarón en el continente. (Piedrahita, 2018).

En el período de 2019 – 2023, el sector camaronero ha tenido un rol fundamental en la economía ecuatoriana, al crear ingresos considerables, promover al desarrollo local y favorecer a la diversificación de las exportaciones no petroleras del país (Alvarado Barrera et al., 2024).

Los sistemas de producción de camarón se clasifican en extensivo, semi intensivo, intensivo y super intensivo, los cuales se basan en la densidad inicial de individuos sembrados (Thakur et al., 2018).

El cultivo de camarón blanco se desarrolla en varias fases, entre las que se pueden destacar están, construcción y preparación de piscinas o pre criaderos; adquisición de post larva y su proceso de

siembra; etapa de engorde de juveniles; administración de alimento, control fitosanitario y de calidad; por último; proceso de cosecha (Eras Agila & Meleán Romero, 2021).

La construcción de los estanques de camarón comienza con la preparación de terreno, estabilización de muros; para lo cual, se torna necesario disponer un tipo de suelo limo arcilloso de mínima filtración o cubierto por membrana (Boyd et al., 2010), Respecto a la preparación de las piscinas se emplea fertilizantes y desinfectantes. (Pesantez et al., 2021).

La adquisición de larva y aclimatación se puede resaltar, que es crucial la correcta selección de laboratorios, es decir, que estos cuenten con las debidas autorizaciones y certificaciones de las post larvas supervisión (Eras Agila & Meleán Romero, 2011), que se refiere a que el personal técnico verifique las condiciones de cultivo de la post larva y condiciones de transporte (Mariappan et al., 2015).

La fase de pre criaderos engloba la preparación del estanque, administración de la alimentación y control fitosanitario; control de parámetros del agua, tales como, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, amonio; densidad de siembra que no supere la capacidad de carga del estanque (Mishra et al., 2008).

En la etapa de engorde se procura que los camarones sean alimentados con formulaciones que contengan proteína cruda entre un 20% y 45%, dependiendo de la densidad y tamaño de los animales, las condiciones del agua, la calidad de la proteína, el contenido de energía y la palatabilidad.(Hernández Barrios et al., 2024). El alimento representa entre el 50% y 70% del costo de producción, por lo tanto, su administración debe ser óptima (Eras Agila & Meleán Romero, 2011).

En la cosecha, se debe poner en práctica las Buenas Prácticas de Manejo para garantizar la inocuidad del camarón cosechado, como mantener una cadena de frío adecuada, en donde la temperatura sea menor a cuatro grados centígrados, mediante la adición de hielo (Rives-Catalá, 2022).

2.1.1 Importancia económica y social del cultivo de camarón

Ecuador es uno de los principales países exportadores de camarón a nivel mundial, tanto así que este sector ha representado el segundo factor de mayor incidencia dentro del PIB (Producto Interno Bruto) nacional, lo cual aporta en gran medida a la economía nacional, destacando entre los primeros lugares de rubos pertenecientes a las exportaciones no petroleras a nivel nacional. (Alvarado Barrera et al., 2024).

La producción de camarón ecuatoriano está destinada a cubrir, casi en su totalidad, la demanda internacional, por su calidad, textura, sabor y la adaptación a los requerimientos por parte de los clientes han generado una preferencia por este producto. (López-López et al., 2023).

El sector camaronero ha alcanzado un gran desarrollo, siendo el camarón uno de los productos de mayor exportación del país a nivel mundial (Alvarado-Barrera et al., 2024). Existen alrededor de 3344 granjas camaroneras y 421 laboratorios de larva según el listado a diciembre de 2023 del Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, lo cual ha generado al menos 261 mil plazas de trabajo, de forma directa como indirecta (López-López et al., 2023).

Durante enero hasta septiembre del presente año 2024 ha aportado con \$4,474,069,314 con una producción de 2,013,190,471 libras, teniendo como destinos principales con 53.68% China, 14.93% Estados Unidos, 22.98% Europa y 8.38% resto del mundo (CNA, 2024).

Con el objetivo de aumentar las ventas hacia los Estados Unidos, las empresas camaroneras han pensado en nuevas estrategias de diversificación del producto con valor agregado, tales como, pelado, desvenado, colas, brochetas, entero, helado en bloque, colas de camarón cáscara fuera, y vena fuera, cocinado listo para quitar la cáscara, apanado (Rambay Tobar & Benitez Luzuriaga, 2024). Hasta el año 2020, se destinaron 210 mil hectáreas al cultivo de camarón; concentrando el 60% Guayas, el 15% en El Oro, Esmeraldas y Manabí el 9% cada una, y Santa Elena con el 7%; con un promedio de 1800 libras por hectárea de volumen de producción (Eras Agila & Meleán Romero, 2021). Debido a la gran expansión de la industria camaronera en zona de manglares, el Estado ha desarrollado procesos de regularización para frenar la construcción de nuevas camaroneras en zonas de playas y bahías, e instaurar planes de reforestación y conservación del manglar (Armijos Suárez et al., 2015).

2.1.2 Breve descripción biológica y ecológica de *Penaeus vannamei*

El camarón blanco del Pacífico o *Penaeus vannamei*, son artrópodos, ver **Tabla 1.**, pertenecen al subfilo crustácea son animales mandibulados con apéndices birrámeos articulados, cuentan con dos pares de antenas, branquias, exoesqueleto (Fast & Lester, 2013). Ver **Figura 1.** Son de hábitos acuáticos, con gran potencial reproductivo (Arancibia Cano & Cáceres Balmaceda, 2018).

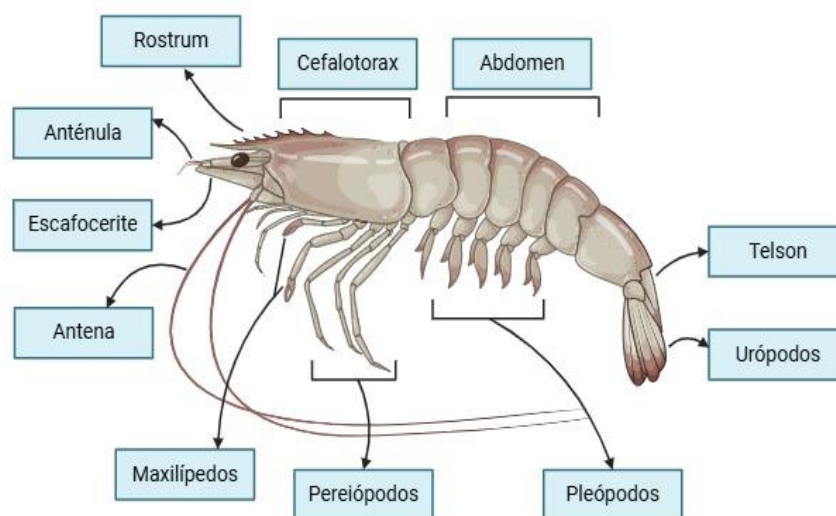
Tabla 1. *Clasificación taxonómica de Penaeus vannamei*

Taxonomía de <i>Penaeus vannamei</i>	
Reino	<i>Animalia</i>
Subreino	<i>Bilateria</i>
Infrareino	<i>Protostomia</i>
Superfilo	<i>Ecdysozoa</i>
Filo	<i>Arthropoda</i>
Subfilo	<i>Crustacea</i>
Clase	<i>Malacostraca</i>
Subclase	<i>Eumalacostraca</i>
Superorden	<i>Eucarida</i>
Orden	<i>Decapoda</i>
Suborden	<i>Dendrobranchiata</i>
Superfamilia	<i>Penaeoidea</i>
Familia	<i>Penaeidae</i>
Género	<i>Penaeus</i>
Especie	<i>Penaeus vannamei</i>

Nota. Elaborado por el autor, (2025). Fuente: (Boone, 1931).

Tomado de: (02, 07, 2025) Integrated Taxonomic Information System (ITIS), www.itis.gov.

Figura 1. Anatomía de *Penaeus vannamei*



Created in BioRender.com

Nota. Ilustración creada con Biorender.com, por el autor, (2025). Adaptada de: (Dueñas et al., 2012).

El camarón blanco es originario de la costa oriental del Océano Pacífico, se encuentra en hábitats marinos tropicales, donde la temperatura del agua es superior a 20°C durante todo el año (González et al., 2010) ver **Tabla 2**. En su etapa adulta, viven y se reproducen en mar abierto, a diferencia de las post larvas que migran a las costas hasta su etapa juvenil, y para su etapa adolescente y pre adulta habitan en los estuarios, lagunas costeras y manglares (Anger, 2006).

Tabla 2. *Parámetros físicoquímicos de *Penaeus vannamei**

Propiedad	Rango
Temperatura del agua	20°C a 35°C
Salinidad	25 ppt a 35 ppt
Oxígeno disuelto	4 mg/L a 10 mg/L
pH	7 a 9
Alcalinidad	80 a 140 ppm

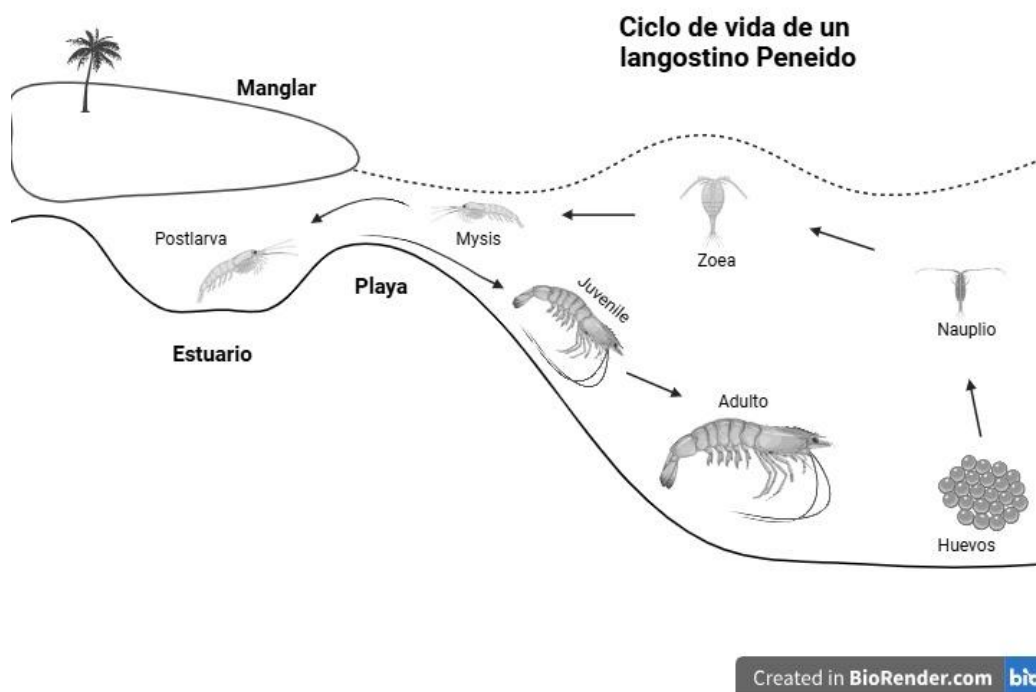
Nota. Elaborado por el autor, (2025). Tomado de: (Espinoza, 2014).

Los machos y hembras maduran en una edad entre 6 y 7 meses, cuando alcanzan los 20 gramos y 28 gramos de peso respectivamente (Ceballos-Vázquez et al., 2010). Al reproducirse, las hembras liberan entre 100.000 y 250.000 huevos de 0.22 mm de diámetro aproximadamente (Galitzine et al., 2009). Durante el desove, los huevos son expulsados a la columna de agua donde permanecen alrededor de 14 horas hasta que eclosiona un nauplio, que tiene hábitos planctónicos y obtiene su alimento de las reservas del vitelo por un lapso de 2 a 3 días, en el transcurso de este periodo, el nauplio atraviesa una serie de mudas y pasa por cinco etapas para llegar a protozoa, en donde se alimenta de plancton, con una duración de 3 a 4 días. (Flores-Hernández et al., 1997).

Después, la protozoa cambia de estadio a mysis, que dura 3 días aproximadamente (Hembrom et al., 2023). Tras sufrir varios procesos de muda, la mysis se transforma en postlarva, este estadio dura de a 7 a 10 días aproximadamente; en esta fase, la postlarva mide 5 mm de longitud en

promedio, ya tiene forma de camarón, en donde permanece suspendida en la columna de agua, sujeta a la acción de las masas de agua; en esta etapa, la postlarva cambia de hábitos planctónicos a bénticos. (Flores-Hernández et al., 1997). Ver **Figura 2**.

Figura 2. Ciclo de vida del camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*)



Nota. Ilustración creada con Biorender.com, por el autor, (2025). Adaptada de: (Rosenberry, 2009).

2.1.3 Principales desafíos en el cultivo de camarón, con énfasis en enfermedades bacterianas

A nivel global, la producción de camarón ha sufrido de manera periódica una diversidad de enfermedades infecciosas, que han causado grandes pérdidas económicas y han afectado la estabilidad de este sector (Walker & Winton, 2010). Los patógenos que han causado mayor impacto son los virus y las bacterias (Varela Mejías et al., 2017).

Los factores ambientales y el confinamiento que se someten los camarones constituyen los detonantes más importantes para la rápida multiplicación y ataque de virus, bacterias, hongos y parásitos, pudiendo localizarse en el tracto digestivo, las branquias y la cutícula de los camarones, así como en el agua, el alimento y los sedimentos de las piscinas de cultivo (Varela Mejías et al., 2017).

Las enfermedades que afectan a los camarones se las clasifica en: parasitarias, fúngicas, bacterianas y virales; las cuales se presentaron con más frecuencia en las camaroneras (Bachère, 2000). Una piscina de engorde de camarón se considera un sistema dinámico, donde interactúan diversos factores tales como, salinidad, pH, temperatura, oxígeno disuelto, así como diversos nutrientes orgánicos e inorgánicos (Ray et al., 2011).

Las comunidades microbianas presentes en los estanques son susceptibles a las fluctuaciones e interacciones que se dan entre los factores mencionados en el párrafo anterior, y que, debido a ellos, se puede modificar su composición y número, por lo que sus cambios pueden favorecer la predominancia de organismos patógenos (Xue et al., 2020).

A lo largo de los años las patologías causadas por bacterias han generado impacto en la producción de camarón, especialmente aquellas pertenecientes al género *Vibrio*, algunas de las especies reportadas con grados de afectación y virulencia variables son *V. parahaemolyticus*, *V. penaeicida*, *V. nigripulchritudo*, *V. alginolyticus*, *V. harveyi* y *V. campelli* (Varela Mejías et al., 2017).

Un ejemplo claro de enfermedades de origen bacteriano es la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND), originada por las cepas *V. parahaemolyticus* (Muthukrishnan et al., 2019). Para controlar esta enfermedad, los acuicultores emplean antibióticos de forma frecuente y en dosis excesivas, tales como, la oxitetraciclina, la más común, y en menor proporción, la enrofloxacina,

florfenicol y norflaxina, que al ser administrados sin criterio técnico generan resistencia bacteriana y un impacto ecológico negativo, debido a que se bioacumulan en los fondos de las piscinas, cuando el camarón excreta (Gracia-Valenzuela et al., 2024).

2.2 El problema de *Vibrio spp.* en el cultivo de camarón

El cultivo intensivo ha enfrentado crecientes problemas de salud animal, incluidos los de origen bacteriano debido a varias especies de *Vibrio* (Emerenciano et al., 2022). Como medida para contrarrestar esta situación, se ha utilizado los antibióticos para tratar enfermedades infecciosas, lo cual ha ocasionado un efecto de resistencia por parte de cepas de *Vibrio spp.* (Nurhafizah et al., 2021)

Una enfermedad de gran importancia en el cultivo de camarón es la vibriosis, que es originada por la bacteria oportunista *Vibrio spp.*; aunque, además de la vibriosis clásica, algunos *Vibrios spp.* son responsables de provocar la enfermedad de la necrosis aguda del hepatopáncreas, antiguamente conocido como el síndrome de la mortalidad temprana (EMS, por sus siglas en ingles), que desde 2013 ha escalado en la industria acuícola, cuando se reportó un impacto devastador en países del sur de Asia, en donde generó mortalidades de hasta un 100% entre 20 a 30 días de cultivo (Kumar et al., 2021).

En un estudio realizado en India indica que los camarones enfermos con *Vibrio spp.* muestran crecimiento lento, bajas tasas de sobrevivencia, baja tolerancia al estrés, reducción en resistencia a enfermedades, y síntomas como letargia, acalambamiento y comportamiento desorientado de nado en círculo, particularmente en bajas salinidades (El Saadony et al., 2022).

2.2.1 Características del género *Vibrio*: morfología, ecología y patogenicidad

Los *Vibrios* están considerablemente diseminados en ambientes marinos, algunas especies son halófilas, otras se encuentran presentes en estuarios, e incluso ambientes de agua fresca (Rowley et al., 2022). Pertenecen al filo Proteobacteria, clase γ -proteobacteria, miembros de la familia Vibrionaceae (Baidal Aguirre & Galarza Tipán, 2024) ver **Tabla 3**, constituyéndose algunas de estas en patogénicas para animales y humanos como *V. parahaemolyticus* que produce gastroenteritis (Rowley et al., 2022).

Tabla 3. Clasificación taxonómica de *Vibrio* spp.

Taxonomía de <i>Vibrio</i> spp.	
Reino	<i>Bacteria</i>
Subreino	<i>Negibacteria</i>
Filo	<i>Proteobacteria</i>
Clase	<i>Gammaproteobacteria</i>
Orden	<i>Vibrionales</i>
Familia	<i>Vibrionaceae</i>
Género	<i>Vibrio</i>

Nota. Elaborado por el autor, (2025). Fuente: (Pacini, 1954).

Tomado de: (02, 07, 2025) Integrated Taxonomic Information System (ITIS), www.itis.gov.

Vibrio spp. son un grupo de bacterias Gram-negativas, con forma de vara (Baker-Austin et al., 2018), mesofílicas, quimiorganotróficas, poseen facultades metabólicas fermentativas, ubicuas, es

decir, constituyentes naturales de ambientes acuáticos que incluyen estuarios, aguas y sedimentos costeros marinos y cultivos acuícolas (Sanches Fernandes et al., 2022). Su distribución y abundancia está estrechamente influenciada por factores ambientales como temperatura, salinidad, pH y disponibilidad de nutrientes, que determinan los ciclos de crecimiento y presencia de distintas especies; algunas son estacionarias, es decir, abundan en épocas cálidas y lluvias reducidas, lo cual se relaciona con su capacidad de adaptación a variaciones ambientales, además incrementan su virulencia y presencia durante aquellas épocas (Aguirre & Taipán, 2024).

Las especies que conforman este género comparten una gran variedad de rasgos biológicos y genómicos (Thompson et al., 2009). Sus genes están divididos en dos cromosomas, los cuales han tomado forma por recombinación y transferencia horizontal de genes (Le Roux & Blokesch, 2018). Aunque, estos patógenos pueden ser genómicamente diversos, todos provienen de ambientes acuáticos y marinos, prefieren agua de temperatura cálida y salobre, y su abundancia en la naturaleza tiende a reflejar temperaturas ambientales (Baker-Austin et al., 2018).

Recurriendo a la historia, la primera especie de *Vibrio* descrita fue *V. cholerae*, en 1854, en un estudio de brote de colera en Florencia, pero existen registros de enfermedades como la colera en tiempos de Hipócrates (460 – 377 BC) (Hamlin, 2009). Hoy en día, se han reconocido más de 130 especies que han sido agrupadas en 14 clados del género *Vibrio* incluyendo especies comensales, mutualistas y patogénicas. (Sanches-Fernandes et al., 2022).

En torno a su morfología, los *Vibrios* son considerados bacilos cortos, curvos, tienen con forma de varilla (Imhoff, 2005); de varios tamaños que van de uno a cinco μm de largo por 0.3 a 0.6 μm de ancho (J.R. Thompson & Polz, 2006). Estos microorganismos se presentan como células simples en forma de “S”, en parejas o en cadenas muy cortas (Wolin et al., 1961). Se las observan de forma de esferoplastos, y en medios líquidos, en formas espirilares; en cultivos viejos se aprecian formas

muy pequeñas, simulando gránulos y que fijan bien las coloraciones; en subcultivos, a menudo pierden su forma de coma. Cuentan con movilidad por su flagelo que se encuentra unido al blefaroplasto (Llop Hernández et al., 2001).

Respecto a la patogenicidad de *Vibrio* spp., se ha reportado que las cepas de *V. parahaemolyticus* que tienen los genes *tdh* (thermostable direct hemolysin/hemolisina directa termoestable, por sus siglas en inglés) y *trh* (*tdh*-related hemolysin/*tdh* – en relación a hemolisina) mostraron una alta citotoxicidad en la línea celular HEK, además de mostrar un alto potencial patogénico en experimentos con *L. rohita*, por lo que concluyen que la presencia de estas cepas virulentas en la acuicultura incrementa el riesgo de brote de enfermedades en animales acuáticos (Paria et al., 2021).

Las cepas específicas de *V. parahaemolyticus* cuentan con agentes patogénicos primarios de AHPND, los cuales son plásmidos extra cromosómicos, para este caso es el plásmido pVA1, que codifica genes específicos para las toxinas PirA^{VP} y PirB^{VP} (Chang et al., 2023). Cuando estas bacterias colonizan el estómago del camarón liberan las toxinas previamente mencionadas hacia el hepatopáncreas, produciendo desprendimiento de las células epiteliales del tubo digestivo, por consiguiente, la muerte del camarón (Vandeputte et al., 2024).

2.2.2 Especies de *Vibrio* más comunes asociadas a enfermedades en *Penaeus vannamei*

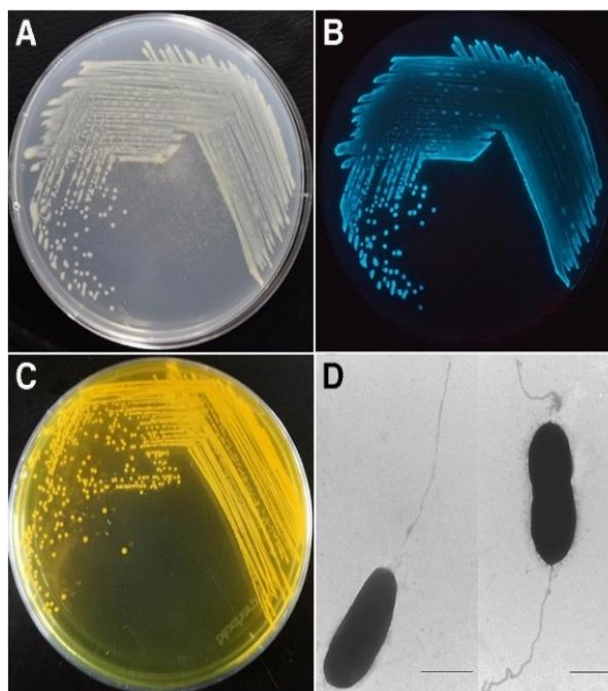
En los sistemas acuícolas, algunas especies de *Vibrio* son muy perjudiciales, provocan vibriosis, que es una enfermedad que se manifiesta como infecciones septicémicas locales en organismos marinos, lo que conlleva a grandes pérdidas económicas (Ina-Salwany et al., 2019). Las especies que causan mayores mortalidades en la acuicultura son *V. harveyi*, *V. alginolyticus*, *V.*

parahaemolyticus coligadas a enfermedades infecciosas en varias especies acuícolas (Baidal Aguirre & Galarza Taipán, 2024).

La complejidad taxonómica del clado *harveyi*, como *V. harveyi* y *V. campbelli*, presentan un alta similitud genética y fenotípica, que dificulta su diferenciación mediante métodos convencionales (Sreelakshmi, 2011). Estas especies comparten más del 99% de identidad en la secuencia del gen *16S ARNr*, lo que ha permitido el desarrollo de técnicas moleculares más avanzadas para identificarlas y clasificarlas de manera correcta (Baidal Aguirre & Galarza Taipán, 2024).

V. harveyi pertenece al género *Vibrio*, familia Vibrionaceae, orden Vibrionales, clase Gammaproteobacteria y filo Proteobacteria (X.-H. Zhang et al., 2020). Fenotípicamente, *V. harveyi* es una bacteria Gram-negativa, en forma de varilla, fermentativa, que requiere Cloruro de Sodio para su desarrollo, por su flagelo polar posee movimiento (Themptander, 2005). Crece en medio TCBS (Agar Tiosulfato Citrato Bilis Sacarosa) o como normalmente se lo conoce “Agar selectivo para *Vibrios*”, algunos cultivos irradian luminosidad (Gan et al., 2022). Ver **Figura 3**. A esta especie se lo asocia con la enfermedad de las *Bolitas negricans* o bolitas negras, que se produce en el tejido epidérmico y puede bloquear el tracto digestivo (Ghosh et al., 2023).

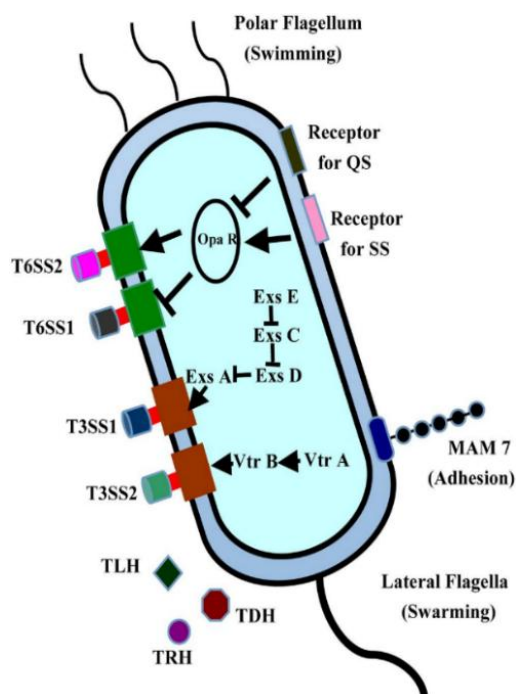
Figura 3. Morfología de *Vibrio harveyi*



Nota. A) Crecimiento de *V. harveyi* VIB 391 en agar marino 2216E; B) Luminiscencia de *V. harveyi* VIB391; C) crecimiento de *V. harveyi* VIB 645; D) Microscopía de transmisión electrónica de células VIB 645 obtenidas de caldo de cultivo marino. Escala = 1µm . Tomado de: (Zhang et al., 2020).

V. parahaemolyticus es un microorganismo Gram-negativo, halófilo, no productor de esporas, en forma de varilla recta o con una mínima curvatura rígida (R. Wang et al., 2015) ver **Figura 4**. Cuenta con un flagelo polar que le permite la movilidad cuando crece en medio líquido (H. Zhang et al., 2016). Esta bacteria se encuentra distribuida en ambientes marinos de temperaturas cálidas (Li et al., 2019). Crecen en medio TCBS, pero no se puede diferenciar con algunas ceas de *V. vulnificus* o *V. mimicus*, todas estas cepas bacterianas generan colonias verdes o verdeazuladas, por lo que se necesita realizar pruebas bioquímicas para su completa detección (Su & Liu, 2007).

Figura 4. Estructuras y factores de virulencia de *V. parahaemolyticus*

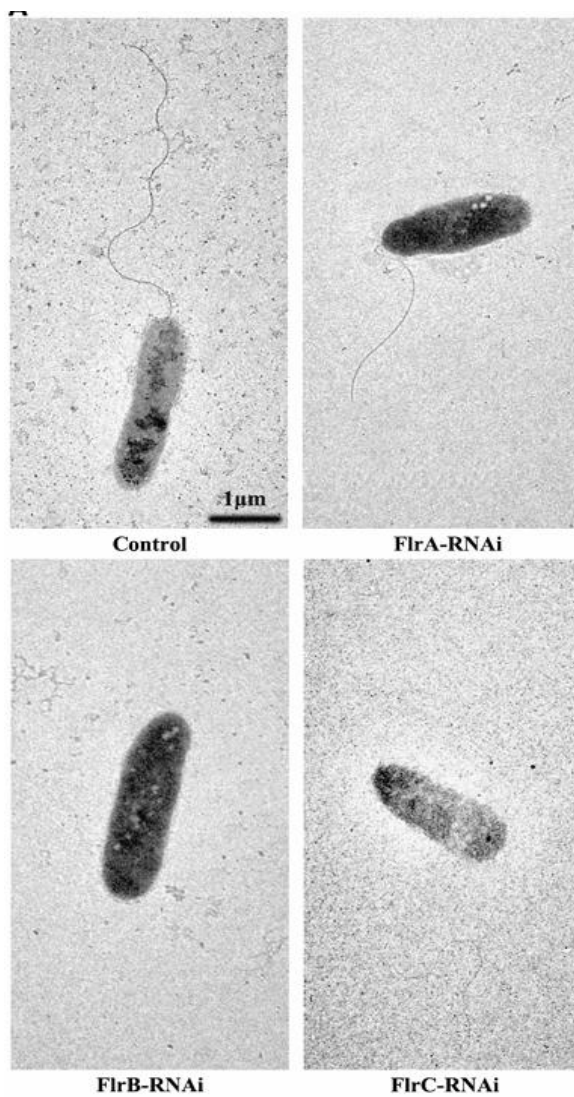


Nota. Tomado de (Wang et al., 2015).

V. alginolyticus es una bacteria miembro de la familia *Vibrionaceae*, es Gram negativa, con forma de varilla curva, ver **Figura 5**, tiene movimiento por su flagelo, no produce esporas y crece en medio con 10% de Cloruro de Sodio (Jacobs Slifka et al., 2017). Esta bacteria es propia de ambientes marinos (Mustapha et al., 2013). Puede aislarse de animales marinos enfermos que presente síntomas clínicos de septicemia bacteriana y úlceras en la piel. (Abdelsalam et al., 2024) Asimismo, esta bacteria es un patógeno oportunista que se asocia a infecciones por mariscos en

humanos. Se aísla en medio CHROMagar *Vibrio* y para los subcultivos se emplea medio TCBS (Bunpa et al., 2016).

Figura 5. *Vibrio alginolyticus* con flagelo



Nota. Tomada de: (Luo et al., 2016).

2.2.3 Estrategias actuales de control y sus limitaciones: antibióticos, manejo ambiental, probióticos

El control de enfermedades provocadas por *Vibrio spp.* en cultivos de *Penaeus vannamei* es un reto que influye en la productividad y salud de los organismos (Flegel, 2019).

Se puede definir a los probióticos como células microbianas que tienen la capacidad de viajar por el tracto gastro intestinal y mantenerse vivas, con el objetivo de mejorar la salud del huésped y de medio ambiente (Jamal et al., 2019). Su modo de acción de exclusión competitiva consiste en el reemplazo o exclusión de los patógenos por el desarrollo de una población microbiana beneficiosa en la superficie intestinal, lo que reduce la incidencia de la enfermedad, mejora la salud crecimiento del huésped (Knipe et al., 2021). Las bacterias, levaduras o sus componentes son capaces de generar sustancias inhibidoras que podrían interactuar de manera directa con los patógenos bacterianos y virales (El-Saadony et al., 2022). Mediante la producción de metabolitos antagonistas o por interferencia de adhesión se evita el crecimiento de los patógenos. (Trujillo et al., 2017).

Se consideran prebióticos a los compuestos de azúcares de cadena larga, fibras o nutriente, que actúan como alimento para los probióticos en el tracto digestivo, lo que estimula el crecimiento y desarrollo de dichas bacterias benéficas (Butt et al., 2021). Otorgan equilibrio al organismo intestinal, fortalecen la respuesta inmune y aumentan la resistencia en estrés abiótico (Noman et al., 2024). La suplementación con fructooligosacáridos (FOS) de cadena corta a concentraciones de 0.025 a 0.8% (m/m) aumenta la capacidad respiratoria de hemocitos en *Penaeus vannamei* en sistemas con recirculación de agua (Trujillo et al., 2017).

Los postbióticos son compuestos que contienen microorganismos inactivos o sus componentes, que son beneficiosos para el organismo hospedero (Ballantyne et al., 2023). Ofrecen algunas

ventajas como la reducción de riesgos asociados, incluyendo la translocación de probióticos y transferencia de genes de resistencia (Goh et al., 2022). Son resistentes a los jugos gástricos, enzimas digestivas y bilis (Tao et al., 2024).

Los parabióticos consisten en células microbianas inactivadas que otorgan beneficios a los consumidores, se destacan sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes e inmunomoduladores (del Valle et al., 2023).

Los antibióticos son frecuentemente usados en la acuicultura a lo largo del ciclo productivo, tanto en larvicultura como en las etapas de engorde (Thornber et al., 2020). Entre los antibióticos de mayor uso para combatir enfermedades bacterias están la oxitetraciclina, florfenicol, sarafloxaina y enrofloxacina; en menor medida se utilizan clorotetraciclina, quinolonas, ciprofloxacina, norfloxacina, ácido oxolínico, perfloxacina, sulfametazina, gentamicina y tiamulina (Bermúdez Almada & Espinosa Plascencia, 2012).

Los simbióticos son productos que mezclan prebióticos y probióticos para optimizar la interacción beneficiosa entre ambos, produciendo efectos sinérgicos sobre la microbiota del hospedador, lo que asegura la sobrevivencia y colonización de comunidades microbianas (Srirengaraj et al., 2023). Se han llevado a cabo estudios que demuestran una relación simbiótica entre algas y bacterias para tratar aguas residuales de producción de camarón (Bhatt et al., 2024).

Los inmunomoduladores a base de hierbas y fitoquímicos consisten en extractos derivados de plantas, enteras o de partes de estas, son ambientalmente amigables y tienen menor probabilidad de generar resistencia a patógenos, los que se destacan son polisacáridos, taninos, alcaloides y flavonoides, estos contribuyen a la mejora en la inmunidad del camarón (Elumalai et al., 2020).

Los porcentajes de proliferación de hemocitos pueden aumentar, aproximadamente tres veces,

después de la estimulación con lipopolisacáridos (LPS); además la captación de ^3H timidina en los hemocitos circulantes puede ser significativamente 26 veces mayor en camarones estimulados con LPS que en los no estimulados (Trujillo et al., 2017)

Los bacteriófagos son virus altamente especializados que infectan y destruyen a bacterias específicas; estos virus se replican dentro de las células bacterianas, lo que las conduce a la muerte (Quiroz Guzmán et al., 2018). Su capacidad para dirigirse de manera exclusiva a ciertos grupos de bacterias los convierte en una alternativa prometedora para el control de infecciones bacterianas en el camarón (Alagappan et al., 2016).

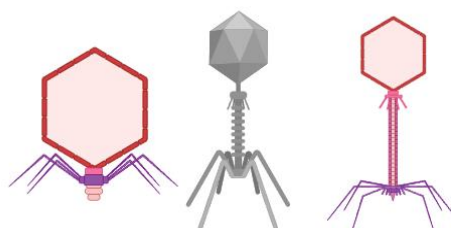
El estrés puede provocar vulnerabilidad en los organismos acuáticos e influir notablemente en su capacidad de respuesta ante cualquier patógeno o factor abiótico presente (Shields, 2019). Cada vez existe más evidencias que vinculan los brotes de enfermedad con condiciones ambientales desfavorables (Nguyen et al., 2020). El manejo inapropiado de la producción aumenta el estrés en los animales, lo cual se traduce en un bajo rendimiento en los mecanismos de defensa de los camarones, que tiene como consecuencia que las bacterias presentes sean eliminadas a un menor ritmo y se reproduzcan a una mayor tasa, produciendo el cuadro sintomático y la enfermedad (Abad Rosales et al., 2011).

2.3 Bacteriófagos: una solución prometedora

Una solución eficiente, eco amigable y basada en la ciencia para el control de infecciones bacteriana en la era de productos acuícolas libres de antibióticos es la terapia con fagos (A. Mishra et al., 2024). Los bacteriófagos son los microorganismos más abundantes en la naturaleza, se los encuentra, incluso, en ambientes extremos (Schulz et al., 2022). Los cocteles de fagos constituyen

una alternativa para los agentes quimioterapéuticos que emplean de forma rutinaria en el cultivo de camarón (Quiroz Guzmán et al., 2018). Con el avance en los estudios sobre bacteriófagos se establecen marcos referenciales en torno a la estandarización de métodos de aislamiento, caracterización, identificación, producción a escala industrial, métodos de administración para el control de enfermedades en cultivos acuícolas (Nachimuthu et al., 2021). Ver **Figura 6**.

Figura 6. *Ilustración de bacteriófagos*



Created in BioRender.com bio

Nota. Ilustración creada con Biorender.com, por el autor, (2025).

Los bacteriófagos ofrecen una variedad de propiedades deseables como su alta especificidad al microorganismo hospedero, replicación selectiva en el sitio de la infección, de naturaleza abundante y ubicua, ambientalmente amigables, lo que los convierte en candidatos competitivos para combatir la resistencia a antibióticos a bacterias (Letchumanan et al., 2016).

Estudios demuestran que los bacteriófagos incrementan la tasa de supervivencia en cultivos acuícolas hasta un 100% (Plaza et al., 2018). En cultivo de *P. vannamei*, los bacteriófagos líticos (A3S y Vpms1) resultaron efectivos para reducir la mortalidad causada por *V. parahaemolyticus*.

(Citarasu et al., 2022). También se puede destacar que, el bacteriófago vB_Vp_PvVp04 demostró un alto potencial en la fagoterapia contra *V. parahaemolyticus*, sin mostrar genes tóxicos, ni factores de virulencia o genes responsables de lisogenia (Peña-Rodríguez et al., 2025).

El potencial de la fagoterapia en la acuicultura está ganando el interés de la comunidad científica y, durante los últimos años, diferentes opiniones y múltiples artículos han sido publicados (Oliveira et al., 2012); sin embargo, pocos esfuerzos se han hecho para validar su eficacia o los posibles impactos asociados con la liberación al medio ambiente (L. Yang et al., 2024).

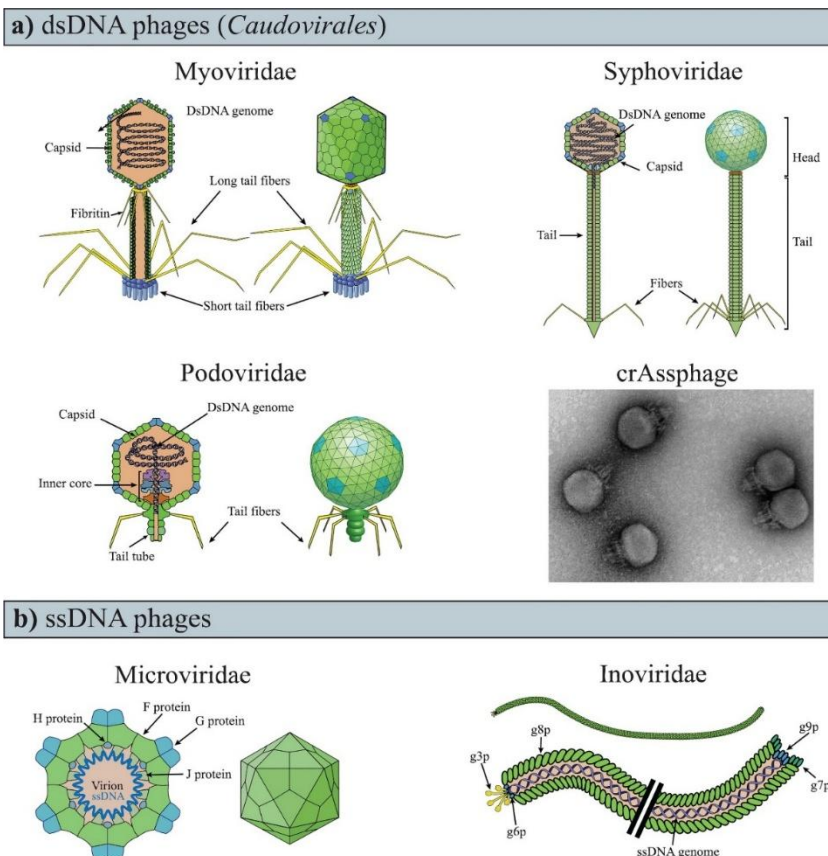
2.3.1 Definición y características generales de los bacteriófagos.

Los bacteriófagos son parásitos intracelulares, los cuales no tienen metabolismo intrínseco y requieren la maquinaria metabólica de la célula hospedera para poder reproducirse (Pal, 2015). Estos microorganismos fueron descubiertos en 1917 por Felix d'Hérelle, quien además acuñó el término, bacteriófago, cuando notó que había microbios que provocaban lisis en a las bacterias de un cultivo, eliminándolas en diferentes zonas de la superficie del agar sembrado (Summers, 2006). Pero, en 1915, F.W. Twort observó que algunas colonias de *Micrococcus* habían sufrido una transformación vítrea en donde, en lugar de su normal, opaca, blanca cremosa apariencia, ellos se habían vuelto claros como el vidrio (Douglas, 2013).

Se puede definir a los bacteriófagos como un tipo específico de nanomáquina que es capaz de reconocer su ambiente, encontrar una célula hospedera, comenzar la infección, auto ensamblarse y salvaguardar su genoma hasta que se dé inicio al siguiente ciclo de replicación (White & Orlova, 2012).

Respecto a su estructura, los bacteriófagos existen en tres formas básicas, cabeza icosaédrica (20 lados) con una cola, cabeza icosaédrica sin cola y en forma de filamento (Madhusudana Rao & Lalitha, 2015). Los bacteriófagos de cápside icosaédrica presenta una estrategia de interacción general de virus – hospedero y se unen a receptores específicos en la superficie bacteriana, mientras que los de forma filamentosa se asocian normalmente a procesos infecciosos que dependen de la interacción con los pilus, que son estructuras especializadas de las bacterias, o hacia arqueas termofilicas (Cuervo & Carrascosa, 2012). Ver **Figura 7**.

Figura 7. Clasificación de fagos: material genético y familias



Nota. Tomada de: (Zuppi et al., 2022).

Desde el octavo reporte del Comité Internacional sobre la Taxonomía de Virus (ICTV, por sus siglas en inglés), tanto métodos genómicos y proteómicos se han empleado para clasificar fagos en 204 géneros, 873 especies y 14 subfamilias en 2015 (Adrienssens & Rodney Brister, 2017).

Los fagos se replican dentro del hospedero por sus ciclos lítico o lisogénico después de infectar y usar su maquinaria celular de la bacteria (Sharma et al., 2017). Todos los bacteriófagos se componen de proteínas y ácidos nucleicos, y dependiendo estos se dividen en bacteriófagos que capturan ADN o ARN (Lutfullayevich, 2023).

2.3.2 Ciclo de vida de los bacteriófagos: ciclos lítico y lisogénico.

Uno de los problemas que todavía necesita ser investigado es la diferenciación entre los ciclos de vida de los fagos, ya sea lítico o lisogénico (Tynecki et al., 2020). Los bacteriófagos se clasifican con base en su morfología y material genético (Giri, 2021). La mayoría de los fagos que poseen cola con ADNdc pertenecen al orden *Caudovirales* (Gutiérrez Fernández et al., 2020). La adsorción de los bacteriófagos a su hospedero depende de interacciones muy específicas entre proteínas virales, llamadas Proteínas de Unión a Receptores (RBP, por sus siglas en inglés), y receptores bacterianos (Leprince & Mahillon, 2023).

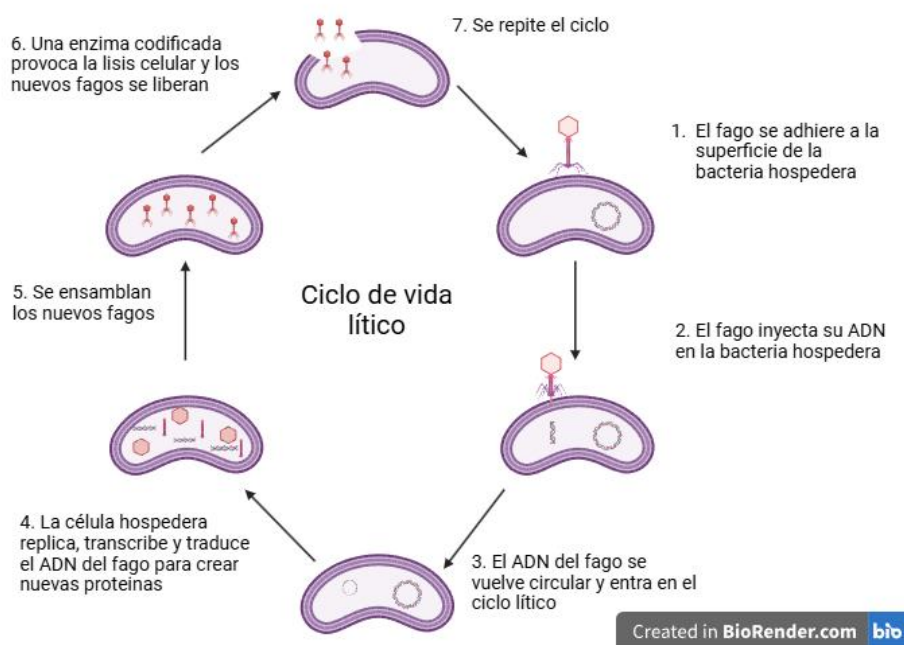
Los bacteriófagos se clasifican en virulentos y templados; los fagos virulentos siguen el ciclo de vida lítico, mientras que los fagos templados siguen el ciclo de vida lisogénico, que eventualmente puede convertirse en lítico bajo determinadas circunstancias (Chisavo & Husserl, 2020).

Durante la infección de la bacteria es cuando el genoma de los bacteriófagos se genera y se almacena en la cápside (Dennehy John J. and Abedon, 2021). Según la Universidad de Queen's de

Belfast, existen cuatro ciclos de vida de los bacteriófagos los cuales son: lítico, lisogénico, pseulisogénico e infección crónica (Olszak et al., 2017).

A lo largo del ciclo lítico, la infección de bacteriófagos se dirige hacia el metabolismo del hospedero mediante la replicación de los ácidos nucleicos del fago y ensamblaje de partículas del nuevo fago, las cuales se liberan en la lisis de la bacteria (Siringan et al., 2014), ver **Figura 8**. Los virus líticos son particularmente importantes para la dinámica de la red alimenticia y los ciclos biogeoquímicos, porque cuando ocurre la lisis, la cual consiste en la ruptura de la pared celular, permite que el contenido bacteriano se derrame en el medio como materia orgánica disuelta (Roughgarden, 2024).

Figura 8. *Ciclo de vida lítico*



Nota. Ilustración creada con Biorender.com, por el autor., (2025)

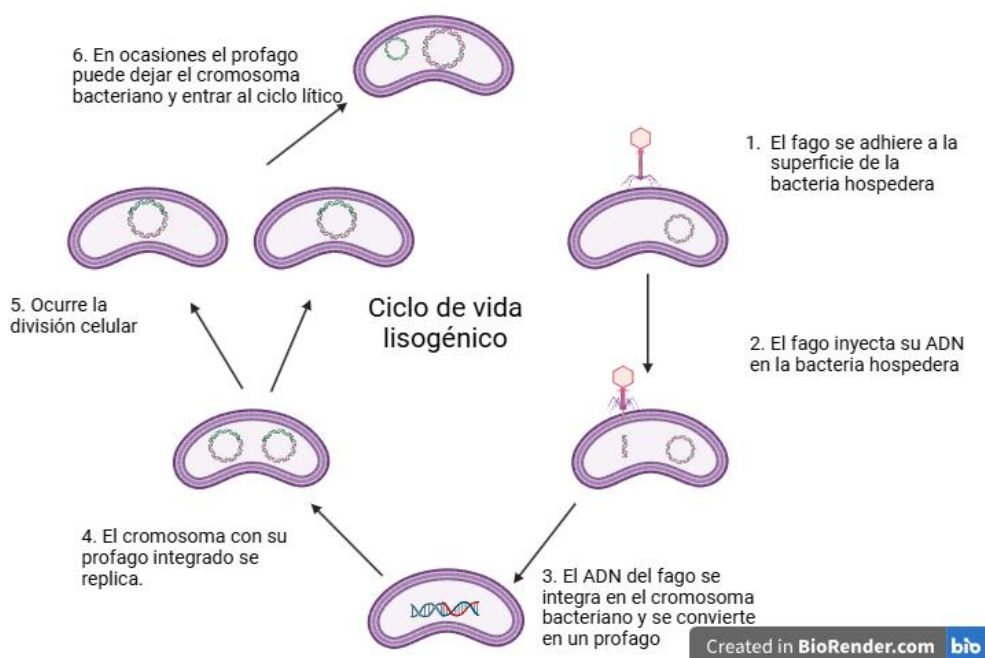
Adaptada de: (Fraguas et al., 2021).

Estudios demuestran que el Vibriófago-ΦLV6 mostró actividad lítica in vitro contra *V. harveyi* (LV6) luminiscente que fue aislada de un criadero de camarón infectado con vibriosis luminiscente (Benala et al., 2023). Otro estudio sugiere que los fagos VHM1, VHM2 y VHS1 han sido empleados como fagoterapia contra *V. harveyi* por su actividad lítica contra varias especies de la cepa bacteriana mencionada (Stalin & Srinivasan, 2017).

En el ciclo lisogénico, el genoma del fago, conocido como profago, se replica junto al ADN del hospedero, ya sea integrándose en el cromosoma o como plásmido coexistintiendo con el hospedero (M. Zhang et al., 2022), ver **Figura 9**. Este ciclo cuenta con tres pasos que son: a) establecimiento, en donde los fagos templados deciden si producen más viriones o establecen ciclos lisogénicos como profagos; b) mantenimiento, en donde el profago requiere genes por herencia del plásmido y persistencia; y c) inducción, la activación del cambio de lítico a lisogénico sucede, tanto de manera espontánea a baja frecuencia, o como resultado de estrés externo tales como los detonantes de respuesta celular hacia el daño del ADN (Howard-Varona et al., 2017).

Un ejemplo de bacteriófago lisogénico es el fago Pf, el cual es un fago filamentoso, que infecta a *Pseudomona aeruginosa* y se incorpora en su cromosoma bacteriano como profago (Burgener et al., 2024). El ciclo de vida lisogénico del fago λ asegura su replicación del profago integrado junto con el genoma bacteriano por generaciones (Park et al., 2020).

Figura 9. *Ciclo de vida lisogénico*



Nota. Ilustración creada con Biorender.com, por el autor, (2025).

Adaptada de: (Fraguas et al., 2021).

La pseudolisogenia se describe como una interacción fagos – hospedero, en la cual los ácidos nucleicos del fago residen en un estado inactivo en su bacteria hospedera (Mäntynen et al., 2021). Este ciclo de vida de los fagos ocurre debido a condiciones de vida desfavorables para los fagos, y cuando las condiciones mejoran, ellos reactivan su ciclo lítico (Wang et al., 2024). El bacteriófago vB_YpM_HQ103 demuestra patrones lisogénicos a una temperatura de 21°C (Wang et al., 2024).

2.3.3 Especificidad y ventajas del uso de bacteriófagos como agentes antimicrobianos

La ventaja principal de emplear fagos en terapia y control biológico reside en su especificidad hacia la bacteria objetivo (Victoria Blanco et al., 2024). Varios fagos albergan específicas polisacárido-depolimerasas, los cuales están principalmente presentes como proteínas estructurales de los fagos, ya sea como fibra de la cola, placas de base o proteínas tubulares de la cola, que son cruciales para el reconocimiento y direccionamiento hacia la célula hospedera (Huang et al., 2025).

Otra ventaja que se debe resaltar consiste en el uso de bacteriófagos como alternativa ante los antibióticos, pues se ha evidenciado que las aplicaciones de fagos por inyección al músculo o por agua hacia los animales ha reducido las infecciones y mortalidades (Reza et al., 2024).

En la ingeniería genética los bacteriófagos pueden ser utilizados como mecanismos para inducir a la expresión genética, tal como un sistema de alto rendimiento de promotor represor (Blanch-Asensio et al., 2025).

La sustentabilidad constituye otra ventaja, porque nuevos fagos son liberados después de la lisis bacteriana, por lo que pueden dirigirse hacia otras bacterias (Ji et al., 2020). Para la acuicultura, los bacteriófagos tienen varias ventajas como la abundancia, especificidad al hospedero, administración, autorreplicación en el hospedero, no efectos adversos y ambientalmente amigables.

2.4 Uso de bacteriófagos para controlar *Vibrio spp.* en acuicultura

En la acuicultura, la fagoterapia para combatir enfermedades ha sido estudiada por los investigadores por varios años como un alternativo y efectivo mecanismo de control (Ninawe

et al., 2020). En los últimos años, la comunidad científica se ha interesado en la aplicación de bacteriófagos para controlar infecciones por *Vibrio spp.* en la acuicultura debido a la creciente resistencia bacteriana a los antibióticos (Kanarek et al., 2025). Estudios han demostrado la eficacia de los fagos en la reducción de poblaciones de *Vibrio* en ambientes acuícolas, ofreciendo una alternativa prometedora y ecológica para la gestión de enfermedades bacterianas en especies cultivadas (P. G. Kalatzis et al., 2016).

Investigadores han aislado y caracterizado bacteriófagos específicos contra *Vibrio alginolyticus*, un patógeno común en la acuicultura (M. Yang et al., 2020). La aplicación de los fagos resultó en una disminución significativa de la carga bacteriana, lo que promovió mejora en la sobrevivencia y salud de los organismos acuáticos (Alagappan et al., 2016). Estos hallazgos subrayan el potencial de los fagos como agentes biocontroladores en sistemas de cultivo (Nachimuthu et al., 2021).

Además, se ha desarrollado un consorcio de fagos de amplio espectro capaz de erradicar selectivamente diversas especies de *Vibrio spp.* en cultivo de camarones (Lomelí Ortega et al., 2023). Este aporte no solo reduce la incidencia de enfermedades, sino que también restringe la aplicación de antibióticos, coadyuvando a prácticas acuícolas más sostenibles y responsables (Culot et al., 2019).

Asimismo, se ha evaluado la eficacia de los bacteriófagos en la descontaminación de microalgas utilizadas como alimento para larvas de ostras (Todorov et al., 2024). La incorporación de fagos específicos contra *Vibrio spp.* en cultivos de microalgas generó una disminución significativa de la contaminación bacteriana, lo que conlleva a una alimentación más segura y mejora la tasa de supervivencia de las larvas (Le et al., 2020).

El uso de la terapia con bacteriófagos en la acuicultura ha aportado resultados prometedores, empero presenta desafíos como la necesidad de caracterizar de manera precisa los fagos y su interacción con la bacteria en condiciones de cultivo (R. Liu et al., 2022). No obstante, mediante investigaciones continuas y un enfoque práctico, los bacteriófagos demuestran potencial como una herramienta valiosa para el control de *Vibrio spp.* en la acuicultura (Ramos-Vivas et al., 2021).

2.4.1 Mecanismos de acción de los bacteriófagos sobre *Vibrio spp.*

El proceso de infección de un fago comienza con la adsorción, donde el fago reconoce y se une a receptores específicos en la superficie bacteriana (Dennehy & Abedon, 2021). Tal como, ciertos fagos se adhieren a los pilis o flagelos de *Vibrio*, estructuras involucradas en la motilidad y adherencia bacteriana (Hsu et al., 2024).

Tras la adsorción, el fago inyecta su material genético en la célula bacteriana, lo que da inicio a la fase de eclipse, donde el genoma del fago se replica y se transcriben sus genes (Parcey et al., 2020). En esta fase, los fagos pueden interferir con los sistemas de defensa bacterianos, como el sistema de secreción tipo VI, que algunas bacterias utilizan para competir con otras (Coulthurst, 2019). La manipulación de estos sistemas por parte de los fagos puede mejorar su potencial replicativo y facilitar la infección (Safari et al., 2020).

La fase de ensamblaje consiste en la formación de nuevas partículas de fago dentro de la célula huésped, lo que implica la coordinación precisa de proteínas propias de los fagos y puede verse afectado por factores ambientales y la fisiología de la bacteria huésped (S. H. Yang et al., 2013).

Finalmente, en la fase de liberación, las nuevas partículas de fago son liberadas al medio ambiente, generalmente mediante la lisis de la célula bacteriana (Konopacki et al., 2020). Sin embargo,

algunos fagos, como el CTX ϕ que infecta a *Vibrio cholerae*, pueden liberarse sin causar lisis, a través de un proceso de secreción que permite la salida de los fagos sin destruir la célula huésped, pudiendo influir en la dinámica de la infección y en la propagación del fago en poblaciones bacterianas (Davis, 2003).

Además de la destrucción directa de las bacterias, los fagos pueden influir en la virulencia de *Vibrio spp.* mediante la transferencia horizontal de genes (Loh et al., 2019). Por ejemplo, el fago CTX ϕ es conocido por portar genes que codifican la toxina del cólera, contribuyendo a la patogenicidad de *V. cholerae* (Ma et al., 2022).

La comprensión minuciosa de estos mecanismos de acción es fundamental para optimizar el uso de fagos en el control patógenos en la acuicultura de (Srinivasan & Ramasamy, 2017). Elegir fagos con alta especificidad y eficacia, junto con estrategias que bajen el riesgo de la transferencia de genes de virulencia, constituyen aspectos clave para implementar terapias basadas en fagos de manera segura y efectiva (Schneider, 2021).

2.4.2 Casos de estudio relevantes en acuicultura, especialmente en *Penaeus vannamei*

En los últimos años, se puede destacar los siguientes casos de relevancia en el sector. En México se investigó el efecto de la terapia con fagos en la supervivencia, histopatología y microbiota del agua de *P. vannamei* desafiados con *Vibrio parahaemolyticus*, el agente causante de la enfermedad de la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND), en la cual, los resultados indicaron que la aplicación de fagos específicos mejoró significativamente la tasa de supervivencia de los camarones infectados y redujo las lesiones histopatológicas asociadas con la enfermedad (González-Gómez et al., 2023).

Este estudio también analizó el impacto de la terapia con fagos en la microbiota del agua de cultivo, en donde se observó que la aplicación de fagos no solo disminuyó la abundancia de *V. parahaemolyticus*, sino que también generó un equilibrio microbiano más saludable en el ambiente acuático, por consiguiente, los fagos pueden desempeñar un papel dual al controlar patógenos específicos y al mismo tiempo fomentar una microbiota beneficiosa en los sistemas de cultivo de camarones (González-Gómez et al., 2023).

La especificidad de los fagos respecto a sus hospederos bacterianos se convierte en un aspecto relevante, ya que mediante investigaciones se ha demostrado que los fagos pueden ser altamente específicos para cepas particulares de *Vibrio*, lo que minimiza el riesgo de afectar a bacterias no objetivo que podrían ser beneficiosas para el ecosistema acuático (Hossain et al., 2024). Esta especificidad es una ventaja significativa sobre los antibióticos de amplio espectro, que pueden alterar la microbiota y conducir a desequilibrios ecológicos (P. Kalatzis et al., 2018).

Estudios recientes han examinado la estabilidad y viabilidad de los fagos en diversas condiciones ambientales típicas de los sistemas de cultivo de *P. vannamei*, teniendo como resultado que ciertos fagos conservan su actividad lítica en un rango amplio de salinidades y temperaturas, lo que resulta crucial para su aplicación práctica en diferentes zonas geográficas y estaciones del año (Ibrahim et al., 2017).

Estudios han demostrado que los bacteriófagos pueden persistir durante semanas en sistemas cerrados como acuicultura recirculante, ofreciendo protección prolongada y efectiva contra patógenos como *Flavobacterium columnare* (Ninawe et al., 2020).

Se ha documentado la eficacia de la terapia con bacteriófagos en la prevención de infecciones bacterianas en diferentes especies acuáticas, un claro ejemplo, en experimentos controlados, ha

sido una única dosis de bacteriófagos fue suficiente para reducir significativamente la mortalidad en camarones infectados por *Vibrio parahaemolyticus*; sin embargo, la efectividad disminuye si el tratamiento se administra en etapas avanzadas de la infección, lo que subraya la importancia de aplicar los fagos de manera temprana como estrategia preventiva en lugar de terapéutica (Stalin & Srinivasan, 2017).

Los fagos, al autorreplicarse en el entorno, reducen la necesidad de administraciones repetidas y contribuyen a un control efectivo de patógenos en sistemas complejos como los biofiltros de los sistemas de recirculación de agua, lo cual permite que los fagos interactúen con biofilms, incrementando su retención y capacidad para atacar a los patógenos de manera continua (Almeida et al., 2019).

2.4.3 Ventajas frente a otras estrategias de control: seguridad ambiental, ausencia de resistencia cruzada

La especificidad de los fagos es probablemente su característica más importante, pues sólo atacan a las bacterias patógenas objetivo, dejando intactos a los miembros no patógenos de la fauna acuática; en oposición a los antibióticos de amplio espectro, que con frecuencia eliminan tanto a las bacterias dañinas como a las beneficiosas, alterando el equilibrio microbiano que puede provocar problemas de salud en los camarones (R. Liu et al., 2022).

Además, los bacteriófagos muestran un gran potencial en la disminución de infecciones causadas por *Vibrio spp.*, en donde los resultados de un estudio para aplicar cócteles de fagos muestran que fueron capaces de reducir la población de *Vibrio parahaemolyticus* en la acuicultura, lo que a su vez generó un aumento en la supervivencia y el rendimiento del camarón (Peña-Rodríguez et al.,

2025). La capacidad de los fagos para replicarse en presencia de su huésped bacteriano permite que se administren con menos frecuencia que los antibióticos, ya que el número de fagos aumenta mientras las bacterias objetivo estén presentes, esto reduce los costos debidos al tratamiento y, lo que es más importante, reduce la posibilidad de resistencia bacteriana. (Malik et al., 2017).

Los fagos pueden destruir biopelículas bacterianas, que son esencialmente estructuras que protegen a las bacterias contra los métodos convencionales de ataque con antibióticos (Ferriol González & Domingo Calap, 2020).

La terapia con fagos es una alternativa más limpia y sostenible, que, a diferencia de los productos quimioterapéuticos y los antibióticos, los bacteriófagos no son contraproducentes para el ecosistema acuático y permanecen sin residuos tóxicos en el medio ambiente o en productos de consumo humano como el camarón (Rai et al., 2024).

Aunque la creación de cócteles de fagos específicos demanda una inversión en investigación y pruebas, sus costos de producción y aplicación son relativamente más bajos, al mismo tiempo la reducción de las pérdidas debido a enfermedades y la mejora de la calidad del producto final tienen un importante beneficio económico (Culot et al., 2019).

En comparación con otras estrategias de control, tales como probióticos y vacunas, la terapia con fagos sería mucho más rápida y fácil de adaptar; los fagos pueden seleccionarse y aplicarse de una manera específica, solo contra las cepas patógenas involucradas en un brote determinado (Citarasu et al., 2022b).

La flexibilidad en las formas de administración de los fagos, ya que pueden integrarse en el alimento, aplicarse directamente al agua de cultivo o incluso administrarse por inmersión, lo que contribuye a una fácil integración en diversos sistemas de producción (Schulz et al., 2022).

2.5 Factores que afectan la eficacia de los bacteriófagos en el control de *Vibrio spp.*

La especificidad de los bacteriófagos respecto de bacterias en particular limitaría su eficacia, en caso de existir una alta diversidad genética entre las poblaciones de *Vibrio spp.*, debido a que la variabilidad en los receptores bacterianos puede impedir que un fago específico infecte todas las cepas presentes, minimizando su efectividad en el control de la población bacteriana; por lo que, se vuelve necesario la creación de cocteles de fagos (Katharios et al., 2017).

Un estudio expone que la matriz extracelular de las biopelículas, formadas por *Vibrio parahaemolyticus*, puede bloquear la entrada de los fagos; sin embargo, algunos de estos bacteriófagos pueden degradar los componentes de la matriz en la biopelícula, lo que favorece la infección bacteriana; esto depende de la capacidad de los fagos para producir enzimas capaces de disolver los componentes de la matriz del biofilm y, por lo tanto, permitir un mejor control de las poblaciones de *Vibrio* (Yin et al., 2019).

Los fagos se ven influenciados, en su estabilidad y actividad, por factores como temperatura del agua, salinidad, y pH, ya que las desviaciones significativas de estos parámetros reducen la viabilidad y la efectividad (Żaczek et al., 2020). Las altas temperaturas pueden desnaturalizar las proteínas (Ling et al., 2020); así como, la salinidad, pueden afectar la adsorción a la célula huésped (Choudhury et al., 2019).

Las bacterias pueden adquirir mecanismos de resistencia a la infección por fagos, tal como la alteración del receptor de superficie, los sistemas CRISPR-Cas y los sistemas de restricción-modificación lo que les ayuda a protegerse de los bacteriófagos, por lo que una estrategia alternativa es utilizar cócteles de fagos que tengan múltiples receptores bacterianos (Chengcheng et al., 2022).

En aplicaciones in vivo, la eficacia de la terapia con fagos puede verse afectada por la respuesta inmunitaria del organismo huésped (D. Liu et al., 2021), pero en los camarones, que poseen sistemas inmunitarios más simples, este factor puede tener un impacto menor (Kulkarni et al., 2021).

El modo de aplicación de los fagos, es decir, inmersión, alimentación o inyección; así como la frecuencia pueden relacionarse con su aplicación efectiva; sin embargo, los fagos deben estar presentes en una concentración suficiente para mantener las poblaciones de *Vibrio* bajo control, ya que mediante estudios se han indicado que puede ser necesaria una aplicación continua para alcanzar niveles suficientes de fagos en el entorno acuático (Kowalska et al., 2020).

2.5.1 Interacciones entre bacteriófagos y el medio ambiente: pH, temperatura, salinidad

Las interacciones entre los bacteriófagos y las condiciones ambientales son fundamentales para determinar la eficacia de la terapia con fagos en diferentes condiciones que pueden prevalecer en un entorno particular (Chevallereau et al., 2022). Un factor crítico es la temperatura ambiental, ya que influye directamente en la tasa de infección y replicación de los fagos (Zhang et al., 2022). Algunos estudios han revelado que las variaciones de temperatura pueden mejorar o inhibir el ciclo lítico de los fagos, de modo que a veces pierden su capacidad de controlar las poblaciones bacterianas (Padfield et al., 2020).

La salinidad del medio también tiene un rol fundamental en la estabilidad y actividad de los bacteriófagos (Li et al., 2022). En entornos acuáticos, los cambios en la concentración de sales pueden tener un efecto en la estructura de las proteínas que componen el fago y alterar su capacidad de adsorción a las células bacterianas (Duarte et al., 2018). Investigaciones han revelado que los

fagos que se aislaron de fuentes marinas desarrollaron adaptaciones especiales para su capacidad de mantener la funcionalidad en ambientes de alta salinidad (Lehman & Donlan, 2015).

Se han descrito rangos óptimos de pH para la estabilidad y la actividad infecciosa de los fagos (Srinivasan & Ramasamy, 2017). Desviaciones significativas de estos rangos pueden desnaturalizar componentes críticos del fago, lo que reduce su capacidad para infectar bacterias huésped (Pradeep et al., 2022).

Proteínas, ácidos nucleicos y otros detritos pueden interferir en la interacción entre el fago y su huésped bacteriano, ya sea bloqueando los sitios de unión o inactivando al fago; pues se ha demostrado que, en ambientes con alta carga orgánica, la eficacia de los fagos puede verse comprometida, sugiriendo la necesidad de considerar la composición del medio en aplicaciones de fagoterapia (Stone et al., 2019).

La radiación ultravioleta (UV) puede inactivar bacteriófagos al dañar su material genético, ya que la luz solar directa hace que los entornos inactiven a los fagos, esto se comprobó mediante investigaciones que señalaron la sensibilidad de los fagos a la radiación UV varía entre diferentes tipos de fagos, y que la protección contra esta radiación es esencial para mantener su eficacia (Karczewska et al., 2023).

En entornos donde las poblaciones bacterianas son bajas, los fagos pueden tener dificultades para encontrar e infectar a bacterias; mediante estudios se demostró que la eficacia de los fagos tiende a reducirse en sistemas con bajas densidades bacterianas, lo que resalta la importancia de la densidad del hospedador para el éxito de las aplicaciones de la terapia con fagos (Anushila et al., 2020).

La competencia o cooperación entre fagos puede influir en la dinámica de infección y en el control de las poblaciones bacterianas (Maestri et al., 2023). En un estudio se determinó cómo las interacciones entre fagos pueden llevar a resultados sinérgicos o antagónicos, dependiendo de las condiciones ambientales y las características de los fagos involucrados (Trinh & Zeng, 2017).

2.5.2 Coevolución entre bacterias y bacteriófagos: desarrollo de resistencia.

La dinámica de la coevolución entre bacterias y bacteriófagos se ha visto reflejada en el proceso de infección, el cual necesita que los fagos reconozcan receptores específicos de la superficie de la bacteria, y evadir los sistemas de defensa del hospedero (Piel et al., 2022). En un estudio se exploró cómo las bacterias desarrollan mecanismos de resistencia y luego los fagos evolucionan para eludir estas defensas, lo que ilustra la complejidad de las interacciones en entornos naturales y, su interferencia con las terapias basadas en fagos en términos de su eficacia (De Sordi et al., 2019).

Los ciclos de vida y las interacciones antagonistas de bacterias y fagos líticos hacen que las comunidades microbianas sean un modelo adecuado para analizar el rol de la coevolución en los patrones ecológicos, ya que cambios en las frecuencias genéticas ocurren al mismo tiempo que los cambios poblacionales (Fortuna et al., 2019). El surgimiento de la resistencia a los fagos es la mayor preocupación para el uso de la terapia con bacteriófagos respecto de la coevolución entre fagos y bacterias (Safari et al., 2020). En 2004 se llevó a cabo una investigación que mencionaba si los fagos funcionan bien en el corto plazo, es rápido desarrollo de la resistencia bacteriana reducirá su efectividad con el tiempo (Levin & Bull, 2004).

Se investigó la evolución de la resistencia a fagos en *Pseudomonas syringae*, en la cual se concluyó que las condiciones *in vitro* no siempre reflejan los resultados *in vivo*; por lo tanto, los contextos ambientales en los que ocurre la coevolución necesitan considerar los efectos de la presencia de otras especies microbianas y las condiciones físicas, entre otros factores que pueden influir en la vía evolutiva de la resistencia bacteria (Hernández & Koskella, 2019).

En 2019, se llevó a cabo un estudio en donde se demostró que la coevolución entre bacteria y fago dio como resultado la primera generación de bacterias fago resistentes, con mutaciones en proteínas de síntesis de flagelo y de la pared celular; y bacteriófagos que recuperan infectividad, con mutaciones en proteínas de la cola (Yuan et al., 2019). Otro estudio demostró que la coevolución de bacterias y fagos da como resultado diversificaciones que conducen a la aparición de nuevas cepas bacterianas y variantes de fagos (Meyer et al., 2012).

Las bacterias pueden volverse inmunes implementando cambios en los receptores de superficie y sistemas adaptativos como CRISPR-Cas; destacando la capacidad de las bacterias para utilizar diferentes tácticas de resistencia, lo que supone un problema para un buen tratamiento con fagos (Burmeister et al., 2020).

En un estudio en 2021 se propuso que el "entrenamiento" coevolutivo de fagos puede mejorar la supresión bacteriana y retrasar la evolución de la resistencia, es decir, sugiere que la exposición previa de los fagos a bacterias específicas puede seleccionar variantes de fagos más eficaces, ofreciendo una estrategia potencial para mitigar el desarrollo de resistencia durante la terapia (Borin et al., 2021).

2.5.3 Métodos para mejorar la eficacia de los bacteriófagos: cócteles, ingeniería genética, encapsulación.

La eficacia de la terapia con bacteriófagos puede optimizarse mediante estrategias, tales como el uso de cócteles de fagos, la ingeniería genética y la encapsulación, ya que cada una de estas técnicas ofrecen ventajas específicas para optimizar el control de infecciones bacterianas (Colavecchio & Goodridge, 2018).

La mezcla de muchos fagos en un tratamiento denominado cóctel o consorcio de fagos, amplía el rango de acción contra diferentes cepas bacterianas y reduce la posibilidad de que las bacterias desarrollen resistencia (Makarov et al., 2019). Investigadores señalan que los consorcios de fagos se pueden elaborar para apuntar a diferentes receptores bacterianos, lo que aumenta su eficacia como tratamiento y reduce la aparición de mutantes resistentes (Konopacki et al., 2020).

La modificación de los genes de los bacteriófagos les permite ser mejores agentes terapéuticos, porque al ampliar su rango objetivo o agregar genes, los hacen más fuertes para lisar células (Konopacki et al., 2020). Un estudio explica que se aplicaron fagos modificados para curar una infección corporal causada por un tipo de germen llamado *Mycobacterium abscessus*, que resiste a muchos fármacos, lo que llegó a demostrar su eficacia y aplicación (Dedrick et al., 2019). Otra investigación resalta la importancia de la ingeniería genética para la obtención de enzimas especializadas derivadas de fagos, en la acuicultura para reducir brotes de infecciones bacteriana causada por *Vibrio parahaemolyticus* (Srinivasan et al., 2020).

La encapsulación de bacteriófagos dentro de algún tipo de matriz protectora brinda protección a los fagos contra condiciones ambientales adversas y el sistema inmunológico del huésped, mejorando su estabilidad y el control sobre su entrega al sitio de infección (Aziz et al., 2025). La encapsulación constituye una de las técnicas más relevantes para formular, estabilizar y mantener

la viabilidad de los fagos durante el almacenamiento, así como durante la administración para optimizar la eficacia terapéutica (Malik et al., 2017).

2.6 Regulación y aceptación del uso de bacteriófagos en la industria acuícola

A propósito de la regulación del uso de bacteriófagos en la industria acuícola se destaca que su implementación enfrenta desafíos regulatorios significativos, debido a que la ausencia de marcos legales claros y la variabilidad en las normativas entre diferentes países dificultan su adopción generalizada; por eso se recomienda establecer directrices estandarizadas que aborden la seguridad, eficacia y calidad de los productos basados en fagos para facilitar su integración en prácticas acuícolas (Gon Choudhury et al., 2017).

Por otro lado, los investigadores exponen la necesidad de hacer conciencia acerca de las ventajas de implementar productos a base de fagos para incrementar su aceptación y demanda de los consumidores (Rai et al., 2024). La falta de información y comprensión sobre el funcionamiento y beneficios de los fagos puede generar escepticismo y resistencia a su uso (Hesse & Adhya, 2019). Se recomienda promover programas educativos y de sensibilización que informen sobre la seguridad y eficacia de los fagos, respaldados por evidencia científica sólida (Siyanbola et al., 2024).

Es importante realizar estudios a todas las preparaciones de fagos para detectar posible presencia de genes de virulencia, y solo aquellos que no aportaran dichos genes deberían permitirse aplicar en sistemas de producción acuícola; en consecuencia, se destaca la necesidad de generar regulaciones para el uso de bacteriófagos para el procesamiento de alimentos para excluir la

posibilidad de diseminar genes de virulencia no deseados en ambientes acuáticos (Madhusudana Rao & Lalitha, 2015).

2.6.1 Situación legal del uso de bacteriófagos en diferentes regiones del mundo

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reconocido la amenaza creciente de la resistencia antimicrobiana y la necesidad de investigar alternativas a los antibióticos habituales; aunque no ha establecido directrices específicas para la terapia con fagos, su informe de 2017 sobre patógenos prioritarios destaca la urgencia de desarrollar nuevos tratamientos para infecciones bacterianas resistentes (Furfaro et al., 2018).

En los Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) categoriza los productos terapéuticos con base en bacteriófagos como productos biológicos medicinales (Verbeken et al., 2014). Los fagos deben cumplir con rigurosos estándares de seguridad y eficacia antes de su aprobación para uso clínico (Romero-Calle et al., 2019). Además, la FDA considera a los fagos como organismos generalmente reconocidos como seguros (GRAS, por sus siglas en inglés) para ser empleados como aditivos alimenticios (Pinto et al., 2020).

En la Unión Europea, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés) ha evaluado el uso de bacteriófagos en alimentos (Fernández et al., 2018). La EFSA determinó que, bajo condiciones específicas, los fagos pueden ser efectivos para eliminar patógenos en alimentos (European Food Safety Authority (EFSA), 2009). De acuerdo con la directriz 2001/83/EC los bacteriófagos pertenecen a la clase de productos biológicos, pero según la regulación (EC) No 1394/2007 no califican para productos medicinales de terapia avanzada

(ATMP, por sus siglas en ingles); en el mismo orden de ideas, la normativa (EC) No 1234/2008 regula los cocteles de bacteriófagos. (Jeschke, 2024)

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) en coordinación con la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la provisión de asesoramiento científico sobre seguridad alimentaria; a pesar de no existir directrices específicas sobre bacteriófagos en el Codex Alimentarius, la FAO participa en la evaluación de nuevas tecnologías para el control de patógenos en la cadena alimentaria (Schlundt et al., 2020).

A pesar del interés creciente, la falta de un marco regulatorio específico para la terapia con fagos en muchas regiones del mundo representa un desafío para su adopción general; por lo tanto, la necesidad de directrices claras y armonizadas es fundamental para garantizar la seguridad, eficacia y calidad de los productos derivados de fagos (Verbeken et al., 2014).

Capítulo III

3 Metodología

3.1 Diseño del estudio

Tipo de estudio: "Se realizó una revisión sistemática basada en los lineamientos establecidos por el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso de búsqueda, selección y análisis de información."

3.2 Definición del problema

El problema central de la presente investigación consiste en identificar a los bacteriófagos como mecanismo alternativo y eficiente para el control de *Vibrio spp.* en fincas camaroneras, tomando en cuenta las condiciones ambientales y los tipos de fagos identificados. Esta revisión sistemática trata de ofrecer un análisis crítico de los bacteriófagos aislados, caracterizados e identificarlos, con la finalidad de dilucidar sus ventajas y promoverlos como candidatos potenciales para reemplazar los antibióticos en el cultivo de camarón blanco en Ecuador.

3.3 Fuentes de información

Se ejecuto una búsqueda exhaustiva de literatura científica en base de datos de amplio conocimiento como PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, ScienceDirect, NCBI. La búsqueda en las bases de datos se las realizó desde el 15 de noviembre de 2024 hasta el 20 de diciembre de 2024. Se empleó términos de búsqueda como "bacteriófagos", "*Vibrio spp.*", cultivo

de camarón”, “acuacultura”, “control biológico”; posteriormente, se amplió con combinaciones de palabras utilizando operadores booleanos (AND y OR) tal como, "bacteriófagos AND *Vibrio spp.* AND cultivo de camarón", "phage therapy AND *Vibrio* AND shrimp aquaculture", "bacteriophage AND *Vibrio* control AND aquaculture". De igual manera, se utilizaron palabras en inglés para la búsqueda de los artículos.

3.4 Criterios de inclusión y exclusión

3.4.1 Criterios de inclusión:

- Estudios científicos que analicen el uso de bacteriófagos contra *Vibrio spp.* en el contexto del cultivo de camarón.
- Investigaciones que evalúen las condiciones ambientales que afecten a los bacteriófagos en ecosistemas acuáticos similares a piscinas de camarón.
- Artículos que se enfoquen en el uso de bacteriófagos como aditivo alimenticio para camarón.
- Estudios experimentales, revisiones previas y reportes relevantes.
- Publicaciones comprendidas entre 2014 y 2025 inclusive.
- Artículos en idiomas inglés y español.

3.4.2 Criterios de exclusión:

- Artículos de opinión, tesis de pregrado, revisiones no sistemáticas, comunicaciones breves sin datos relevantes.
- Fuentes bibliográficas que no estén disponibles en texto completo o que no proporcionen suficiente información para el análisis.

- Artículos científicos que traten sobre bacteriófagos aplicados a cultivos agrícolas, casos clínicos humanos, especies no acuáticas.
- Información sin relevancia directa al control de *Vibrio spp.* en camarones.

3.5 Estrategia de búsqueda

Se realizaron búsquedas sistemáticas en las bases de datos mencionadas durante el periodo de enero 2014 a enero 2025. Se aplicaron filtros relacionados con fechas de publicación y palabras clave específicas. Los artículos seleccionados se exportaron al gestor bibliográfico Mendeley para organizar las referencias y eliminar duplicados.

3.5.1 Proceso de selección

Para la selección de los artículos, primero, se realizará la lectura de títulos para determinar que tengan pertinencia con el objeto de la investigación. Segundo, después de haber seleccionado por pertinencia del tema, se leerá el resumen para identificar la relevancia y datos importantes del estudio. Tercero, se realizará una evaluación del estudio completo para determinar si cumple los criterios de inclusión.

Se analizará de cada artículo su aplicación, tanto en condiciones de laboratorio, como en granjas camaroneras en el país de origen de la publicación.

3.5.2 Extracción de datos

Se elaborará un fichaje crítico de los artículos que cumplan con los criterios de inclusión, que tengan pertinencia con el uso de bacteriófagos como control biológico de *Vibrio spp.* en cultivo de camarón.

En el fichaje crítico, se considerará como variables:

- Tipo de bacteriófago utilizado, morfología, rango de hospedero, efectividad para controlar el patógeno, características genómicas.
- Especies de *Vibrio spp.*
- Condiciones experimentales (pH, temperatura, salinidad).
- Eficiencia de los bacteriófagos en reducir la carga bacteriana.
- Impacto en la supervivencia del camarón.

3.5.3 Evaluación de calidad

Se utilizará la herramienta QUADAS-2 para evaluar la calidad metodológica y el riesgo de sesgo de los estudios seleccionados, mediante el software Review Manager 5.4.1, el cual establece los parámetros para calificar el sesgo de los artículos empleados en la revisión bibliográfica.

3.6 Análisis bibliométrico

Se ejecutará el análisis bibliométrico de la literatura científica sobre el uso de bacteriófagos para el control de *Vibrio spp.* en cultivos de camarón mediante el uso de la herramienta VOSviewer.

Se evaluará el impacto de los estudios seleccionados por medio de la frecuencia con la que han sido citados por otras investigaciones, lo que nos permitirá dilucidar las fuentes más influyentes en el campo de la investigación científica sobre el uso de bacteriófagos para control de *Vibrio spp.* en el cultivo de camarón.

También se desarrollará redes de coautoría que nos permitirá identificar patrones de coautoría en la producción científica sobre la presente temática.

Se analizarán las palabras clave de mayor uso en los títulos, resúmenes y contenido de los artículos para determinar tendencias en la investigación científica, lo que nos ayudará a tener una mayor apreciación de los conceptos más relevantes y las áreas de interés que predominan respecto al tema de la presente tesis.

3.7 Consideraciones éticas

Este estudio no requirió aprobación ética, ya que no se trabajó con organismos vivos ni datos personales. Se respetaron los derechos de autor y las licencias de acceso a los artículos revisados.

Capítulo IV

4 Resultados y Discusiones

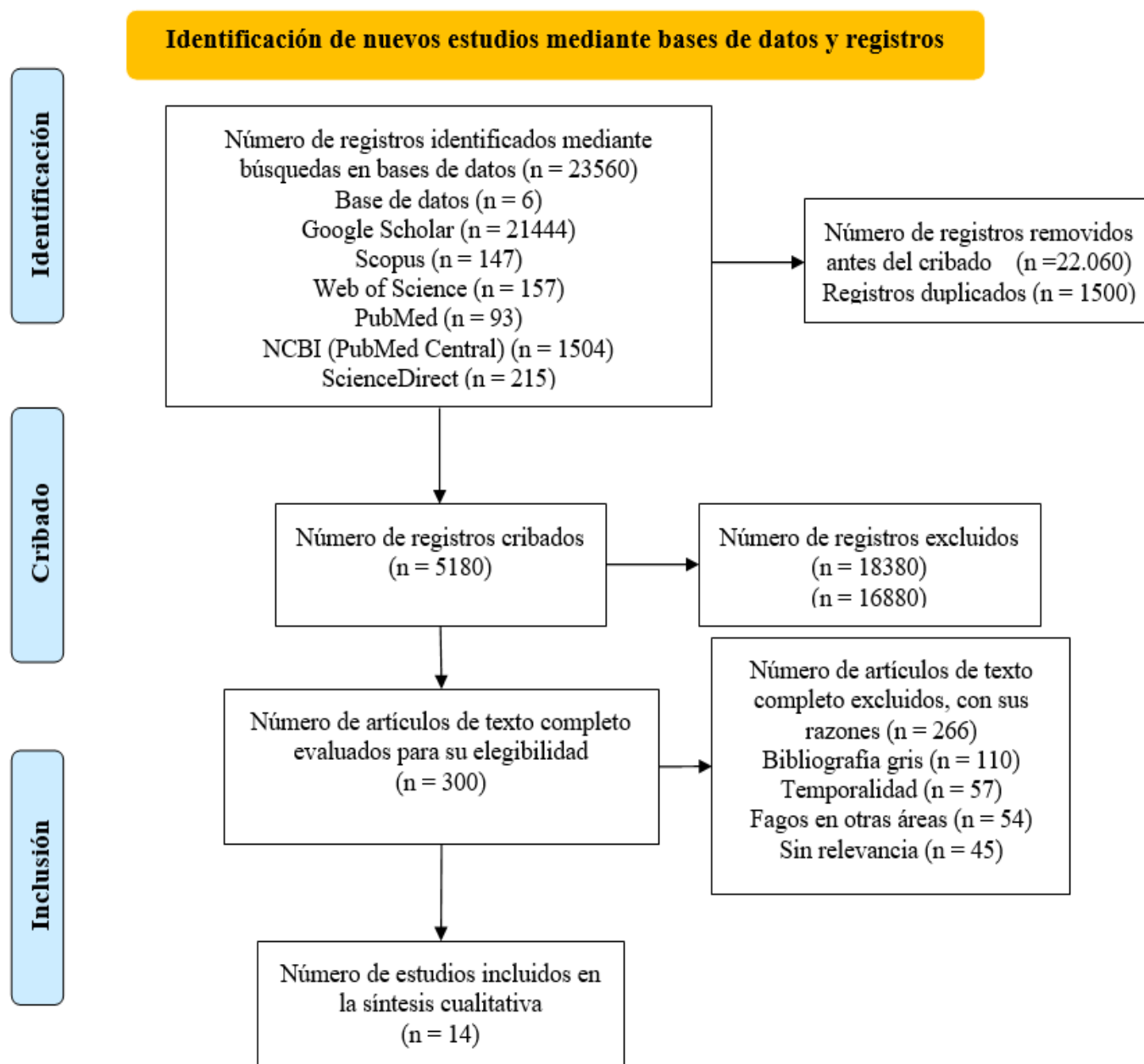
4.1 Resultados

4.1.1 Selección de estudios

Para desarrollar una revisión sistemática de literatura científica, se realizaron varias búsquedas exhaustivas en diferentes bases de datos, con la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión como filtros para obtener información relevante para la presente investigación. Mediante el uso de la herramienta de gestión bibliográfica Mendeley se pudo ejecutar una deduplicación de los artículos, con el fin de desechar aquellos que se repetían.

El resultado total de la búsqueda de artículos en las diferentes 6 bases de datos fue de 23.560 registros; mediante un proceso manual de eliminación por duplicado se eliminaron 1500, obteniendo un total de 22.060 registros. Aplicando filtros de búsqueda, se logró depurar la búsqueda teniendo un total de 5180 registros. A través de la lectura del tema y resúmenes se seleccionaron 300 registros; a los que se aplicó razones para excluir, tales como, bibliografía gris, temporalidad, aplicaciones en otras áreas, artículos sin relevancia, dando un total de 266 registros excluidos. Para finalmente obtener 14 artículos y realizar el fichaje crítico de estos, ver **Figura 10**.

Figura 10. Diagrama de Flujo PRISMA.



Nota. Elaborado por el autor, (2025). Adaptado de: (Haddaway et al., 2022).

4.1.2 Características de los estudios

En la **Tabla 4** se reflejan los resultados de la búsqueda de información en seis bases de datos, aplicando palabras claves y operadores booleanos en las combinaciones de palabras: “bacteriófagos AND *Vibrio* spp. AND cultivo de camarón”, “phage therapy AND *Vibrio* AND shrimp aquaculture”; “bacteriophage AND *Vibrio* control AND aquaculture”; “bacteriófagos para control de *Vibrio* spp. en el cultivo de camarón blanco del Pacífico”.

Tabla 4. Resultado de la búsqueda de información en seis bases de datos usando palabras clave y operadores booleanos, con filtros de criterios de inclusión y exclusión, y sin filtros.

Bases de datos	Google Academico	Scopus		Web of Science		PubMed		NCBI (PubMed Central)		ScienceDirect		Total
		Con filtro	Sin filtro	Con filtro	Sin filtro	Con filtro	Sin filtro	Con filtro	Sin filtro	Con filtro	Sin filtro	
Términos de búsqueda	criterio											
bacteriófagos para control de <i>Vibrio</i> spp. en el cultivo de camarón blanco del Pacífico		5	106	0	0	0	0	0	0	0	0	111
bacteriófagos AND <i>Vibrio</i> spp. AND cultivo de camarón		8	328	0	0	0	0	0	0	0	0	336
phage therapy AND <i>Vibrio</i> AND shrimp aquaculture		1430	8010	36	39	6	59	23	24	251	274	10227
bacteriophage AND <i>Vibrio</i> control AND aquaculture		2040	13000	2	108	16	98	64	69	1104	1230	18066
Total		3483	21444	38	147	22	157	87	93	1355	1504	215

Nota. Elaborado por el autor, (2025).

En la **Tabla 5** se observan los resultados de la búsqueda con aplicación de los criterios de inclusión, de temporalidad de 2014 a 2025, que sean artículos revisados, excluyendo bibliografía gris; en las seis bases de datos aplicadas en la presente investigación.

Tabla 5. Resultado de la búsqueda de información en seis bases de datos aplicando filtros de criterios de exclusión.

Resultados con criterios de exclusión												
Google Academico		Scopus		Web of Science		PubMed		NCBI (PubMed Central)		ScienceDirect		Total
3483	67.24%	38	0.73%	22	0.42%	87	1.68%	1355	26.16%	195	3.76%	5180

Nota. Elaborado por el autor, (2025).

En la **Tabla 6** se observan los resultados de la búsqueda sin aplicación de los criterios de inclusión y exclusión mencionados.

Tabla 6. Resultado de la búsqueda de información en seis bases de datos sin aplicar criterios de inclusión y exclusión.

Resultados sin criterios de exclusión												
Google Academico		Scopus		Web of Science		PubMed		NCBI (PubMed Central)		ScienceDirect		Total
17961	97.72%	109	0.59%	135	0.73%	6	0.03%	149	0.81%	20	0.11%	18380

Nota. Elaborado por el autor, (2025).

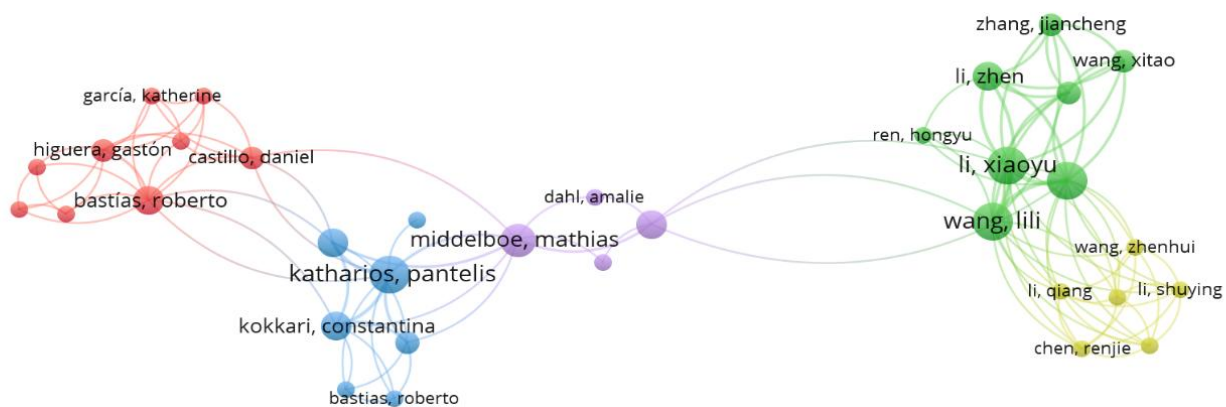
En el desarrollo de este proceso, se puede notar la importancia de la búsqueda de literatura en inglés, porque las bases de datos arrojan mejores y mayores resultados elevando la calidad de la información.

Para llevar a cabo un análisis bibliométrico correcto, se empleó la herramienta VOSviewer que permite visualizar los patrones de colaboración entre autores, citas y palabras clave más relevantes.

En las **Figuras 11 y 12**, se ilustran mapas de redes de coautoría entre los investigadores, que más han aportado en el estudio de uso de bacteriófagos en el cultivo de *Penaeus vannamei*, en las bases de datos Scopus y Web of Science, respectivamente. Cada autor se ve representado en un nodo y las conexiones indican la colaboración en las publicaciones. Cada color representa un clúster de investigadores que tienen una alta frecuencia de cooperación entre ellos; el tamaño de los nodos da cuenta de la cantidad de publicaciones de cada investigador; mientras más gruesos son los enlaces, mayor es la relación entre los autores.

En la **Figura 11**, se observan cinco clústeres bien delimitados, que son: rojo, azul, morado, verde y amarillo. Del clúster rojo se destaca que los investigadores se enfocan en un área de estudio específica y tienen una colaboración frecuente. Del clúster azul se destaca que hay investigadores que pueden haber realizado estudios interdisciplinarios, dado a sus conexiones con otros grupos. El clúster morado actúa como puente entre los clústeres verde y azul. El clúster verde sugiere una alta cooperación de los investigadores dentro de su grupo. El clúster amarillo se presenta como un subgrupo parte del clúster verde.

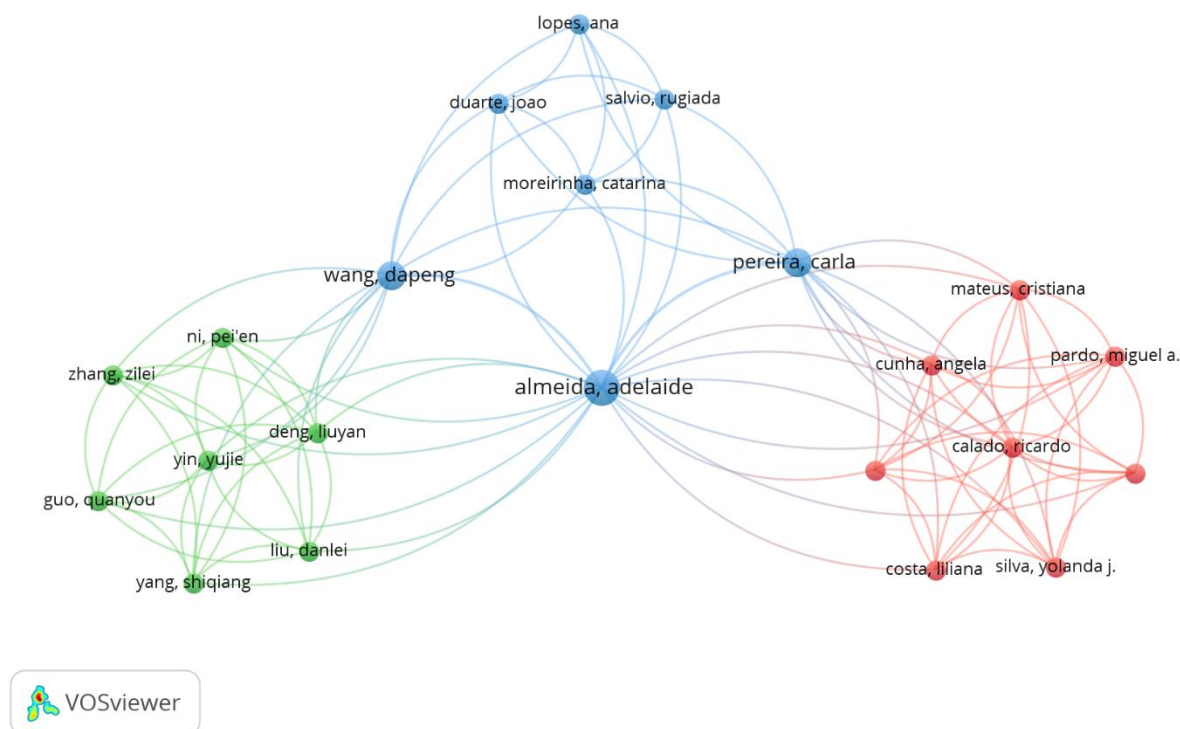
Figura 11. Mapa de redes de coautoría de bibliografía extraída de la base de datos Scopus en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de *Penaeus vannamei*.



Nota. Ilustración creada con VOSviewer, por el autor, (2025).

En la **Figura 12**, se observan tres clústeres bien delimitados, estos son: azul, verde y rojo. El color azul indica una alta relación con los otros dos grupos, es decir, existen colaboraciones. Del color verde resalta su fuerte interconexión además este clúster agrupa investigadores asiáticos. El color

Figura 12. Mapa de redes de coautoría de bibliografía extraída de la base de datos Web of Science en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de *Penaeus vannamei*.



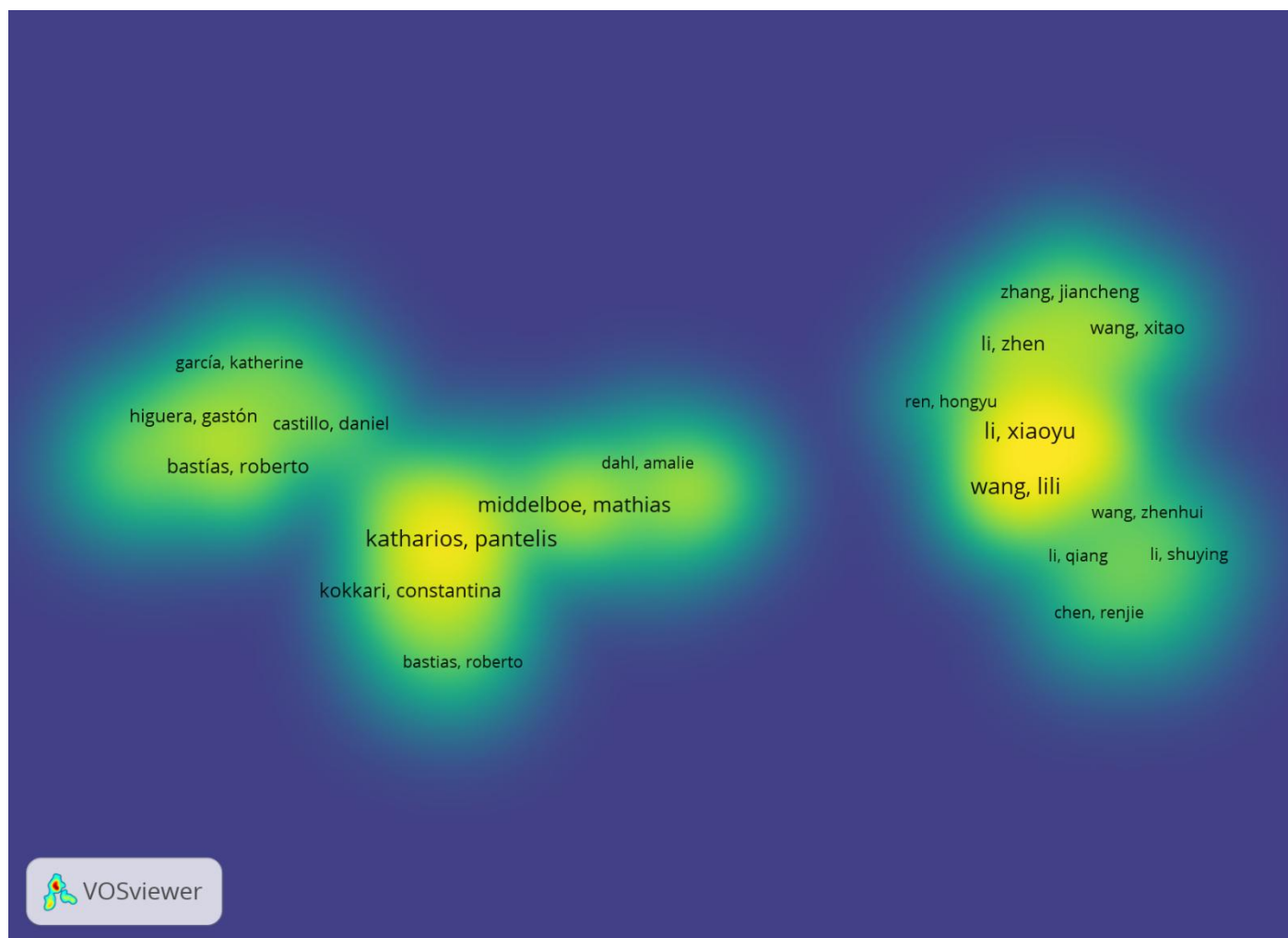
Nota. Ilustración creada con VOSviewer, por el autor, (2025).

rojo indica una fuerte relación entre los investigadores que lo conforman. En general, cabe destacar que Almeida se delimita como nodo central, teniendo conexiones con los otros clústeres, por lo que se infiere que ha colaborado en estudios.

En las **Figuras 13 y 14**, se observa gráficos de densidad de coautoría, en los cuales la intensidad de los colores da razón de la frecuencia de la colaboración. En estas gráficas, los colores brillantes, amarillo y naranja, demuestran zonas de alta densidad de colaboración; los colores intermedios, verde, denotan una frecuencia moderada; los colores oscuros, azul y morado, aluden a zonas de baja densidad de colaboración.

En la **Figura 13**, el grupo de la izquierda muestra una fuerte interconexión con una alta densidad de colaboración. El grupo del centro es el puente entre los otros dos grupos, lo que destaca es su mayor relación con los del grupo de la izquierda. El grupo de la derecha se encuentra alejado de los otros dos grupos, pero cuenta con un núcleo con una alta conexión entre sus miembros, es decir, es muy colaborativo. Como criterio de artículos publicados se eligió mayor igual a tres.

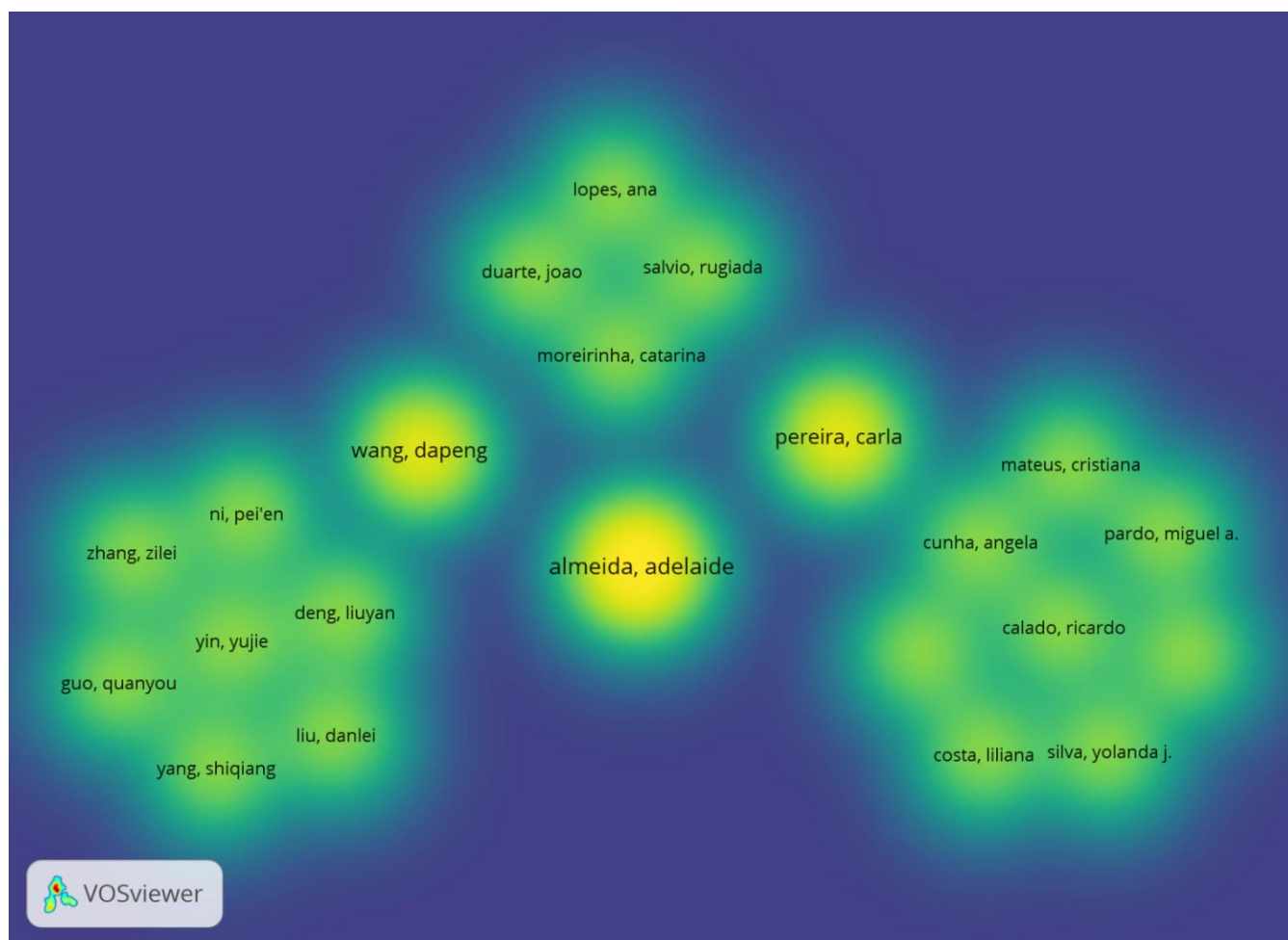
Figura 13. Densidad de coautoría de bibliografía extraída de la base de datos Scopus en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de *Penaeus vannamei*.



Nota. Ilustración creada con VOSviewer, por el autor, (2025).

En la **Figura 14**, el grupo del centro destaca Almeida, que es la investigadora con mayor colaboración en esta gráfica, sirve de puente para los otros grupos. El grupo de la izquierda denota una alta densidad interna, es decir, fuerte relación entre sus miembros. El grupo de la parte superior tiene una conexión cercana con el grupo del centro. El grupo de la derecha denota una relación intensa entre ellos, pero mediante Pereira existe relación con el núcleo del centro.

Figura 14. *Densidad de coautoría de bibliografía extraída de la base de datos Web Of Science en relación con uso de bacteriófagos en cultivo de *Penaeus vannamei*.*



Nota. Ilustración creada con VOSviewer, por el autor, (2025).

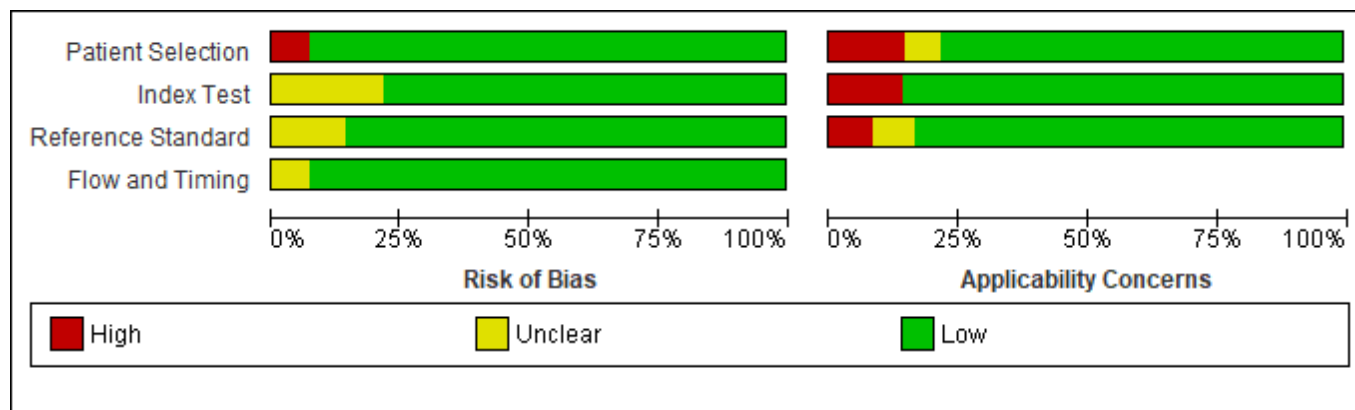
En la **Figura 15**, se aprecia un gráfico de red de coocurrencia de palabras, en donde se ve una gran interacción de palabras frecuentes en los artículos científicos de las bases de datos Scopus y Web of Science. Los nodos representan las palabras y los enlaces señalan la relación con base en la frecuencia con la que se ven plasmados en los artículos. Los grupos de colores dan cuenta de los diferentes clústeres temáticos, permitiendo la identificación de grupos de palabras relacionados. Las palabras que adquirieron más relevancia fueron “phage therapy”, “bacteriophage”, “aquaculture”, “biocontrol”. El color azul se relaciona con genética y microbiología, destacando las palabras “genes”, “protein”, “sequence”, lo que permite distinguir la idea de caracterización genética de patógenos y bacteriófagos. El color rojo resalta las palabras “biocontrol”, “biofilm”, “virulence”, lo que permite tener una idea del enfoque en el uso de fagos para control de virulencia de patógenos. El color verde se enfoca a la acuicultura y patógenos, en donde sobresalen los términos “biological control”, “fish pathogen”. El color amarillo cuenta con palabras relevantes como “disease”, “mortality”, “necrosis”, lo que sugiere un enfoque sobre reducción de mortalidad en acuicultura mediante la fago-terapia. Por último, en el color morado resaltan las palabras “antibiotics”, “antibiotics-resistance”, “efficacy”, lo que sugiere un enfoque de los fagos como alternativa a los antibióticos tradicionales. También se puede mencionar que existe una fuerte relación entre las palabras “phage therapy”, “bacteriophage” y “biocontrol”, que podrían estar asociadas en los estudios analizados. Existe otra fuerte relación entre las palabras “aquaculture”, “disease” y “mortality”, lo que da una idea del uso de fagos para control de mortalidad de camarones. Cabe destacar, la relación fuerte entre las palabras “antibiotic-resistance” y “phage therapy”, que sugiere el uso de fagos como alternativa para combatir enfermedades bacterianas.

La **Figura 16** refleja un mapa de densidad de palabras, en el que se representa la frecuencia y relevancia de las palabras en la literatura extraída de las bases de datos utilizadas en esta investigación. las palabras que destacan en esta figura, por su alta densidad son: “phage therapy”, “aquaculture”, “bacteriophage”, “biocontrol”, “resistance”. Los colores brillantes, como amarillo y naranja, indican una alta frecuencia y coocurrencia de las palabras en los artículos analizados; los colores intermedios, como el verde, indica una frecuencia moderada; y, los colores oscuros, como el azul y el morado, indican las palabras de baja frecuencia, que tienen menos relevancia en los artículos.

Para determinar la calidad de la metodología empleada en los artículos seleccionados para el desarrollo del fichaje crítico, se utilizó la herramienta QUADAS-2, que permite garantizar que la evaluación de la calidad sea consistente y confiable. Esta herramienta cuenta con cuatro dominios: 1) selección de pacientes; 2) prueba de índice; 3) estándar de referencia; 4) flujo y tiempo. Este análisis se lo realizó mediante el software Review Manager 5.4.

En la **Figura 17** se representa una evaluación del riesgo de sesgo y preocupaciones sobre la aplicabilidad de un estudio, en el contexto de una revisión sistemática. La primera parte de la gráfica indica el riesgo de sesgo, en donde respecto a la selección de pacientes, se aprecia un pequeño porcentaje de riesgo alto, es decir, que en algunos estudios hubo problemas con la selección de pacientes. En la prueba índice, se observa un porcentaje de incertidumbre, esto indica que en algunos casos no se reportó con claridad cómo se interpretó la prueba diagnóstica. El estándar de referencia también muestra incertidumbre, es decir, en algunos estudios la prueba de referencia que se utilizó no se definió de manera clara. En el tiempo y flujo, también se observa incertidumbre, que indica la variabilidad en los tiempos de aplicación de las pruebas o los pacientes en los análisis. La segunda parte, se refiere a las preocupaciones sobre la aplicabilidad, en donde la mayoría de las categorías arrojaron baja preocupación, lo que sugiere que los estudios incluidos fueron adecuados en términos de aplicabilidad a la población de interés; pero existen preocupaciones en la selección de pacientes y prueba de índice, que indica limitaciones en la selección de pacientes o aplicación de pruebas en condiciones reales.

Figura 17. Gráfica de resultados de porcentajes de la evaluación de riesgo y preocupaciones sobre la aplicabilidad de los artículos seleccionados para la revisión bibliográfica.



Nota. Ilustración creada con Review Manager 5.4, por el autor, (2025).

La **Figura 18** presenta una evaluación del riesgo de sesgo y las preocupaciones sobre la aplicabilidad en varios estudios individuales. Respecto al riesgo de sesgo, la mayoría de los artículos tienen un bajo riesgo de sesgo en todas las categorías; sin embargo (Van et al., 2024) presenta un alto riesgo de sesgo en la selección de pacientes e incertidumbres en la prueba índice y estándar de referencia; (Benala et al., 2023; Hossain et al., 2024; y Yin et al., 2019) presentan incertidumbre en la prueba índice y estándar de referencia. Sobre las preocupaciones de aplicabilidad, la mayoría de los artículos no muestran preocupaciones relevantes en lo que respecta a la aplicabilidad; pero en (Van et al, 2024) se determinó altas preocupaciones sobre la aplicabilidad en todas las áreas evaluadas; (Yin et al., 2019) presenta problemas en la selección de pacientes; y, en (Kalatzis et al., 2016) se tiene dudas en la prueba índice.

Figura 18. Gráfica de puntuación de la evaluación del riesgo y preocupaciones de la aplicabilidad de los artículos seleccionados para la revisión bibliográfica.

	Risk of Bias				Applicability Concerns		
	Patient Selection	Index Test	Reference Standard	Flow and Timing	Patient Selection	Index Test	Reference Standard
(Benala et al., 2023)	+	?	+	+	-	+	+
(D. Chen et al., 2024)	+	+	+	+	+	+	+
(Dias et al., 2024)	+	+	+	+	+	+	
(Dubey et al., 2021)	+	+	+	+	+	+	+
(fu & He, 2024)	+	+	+	+	+	+	+
(Hossain et al., 2024)	+	?	+	+	+	+	+
(Kalatzis et al., 2016)	+	+	+	+	?	+	+
(Kar et al., 2022)	+	+	+	+	+	+	
(L. Chen et al., 2019)	+	+	+	+	+	+	+
(Lelin et al., 2022)	+	+	+	+	+	+	+
(Makarov et al., 2019)	+	+	+	+	+	+	+
(Peña-Rodríguez et al., 2025)	+	+	+	+	+	+	+
(Van et al., 2024)	-	?	?	?	-	-	-
(Yin et al., 2019)	+	+	?	+	+	-	?

 High	 Unclear	 Low
--	---	---

Nota. Ilustración creada con Review Manager 5.4, por el autor, (2025).

Para realizar un mejor análisis de la literatura extraída de las bases de datos, se realizó una matriz de operacionalización de variables mediante la metodología CDIU (Categorías, Dimensiones, Indicadores/Instrumentos, Unidades), ver **Tabla 7**.

Tabla 7. Matriz CDIU sobre el uso de bacteriófagos en cultivos de *Penaeus vannamei*.

Categoría	Dimensión	Indicador	Unidad de medida
Resistencia bacteriana	Aparición de cepas resistentes	Zonas de crecimiento bacteriano en placas con aplicación de fagos	Viriones por célula
	Genes de resistencia	Comparación con genes extraídos de bases de datos	Genes codificantes
	Especificidad de fagos	Porcentaje de cepas bacterianas infectadas con el fago	Índice de (multiplicidad de la infección)
	Eficacia de fagos	Porcentaje de inhibición bacteriana	PFU/célula hospedera
Impacto en camarones	Genes lisogénicos	Comparación con genes extraídos de bases de datos	Transposones
	Mortalidad de camarones	Camarones muertos a diario	% de camarones muertos
	Eficacia del control biológico	Técnicas moleculares como PCR	Ausencia o presencia de <i>Vibrio spp.</i>
	Dosis de fagos	Cantidad de fagos administrados a diario	PFU/mL
	Frecuencia de dosificación	N/A	PFU/célula/día mL/día
	Método de aplicación	Con base en la presentación del producto que contenga los fagos	Alimento Inmersión
Metodología de investigaciones	Métodos de detección	Métodos moleculares como PCR, ERIC-PCR, RFLP.	
	Métodos para evaluar resistencia	Técnicas bacteriológicas como ensayos de punteo, método de agar de doble capa	PFU PFU/mL

Inocuidad y seguridad	Toxicidad	DL ₅₀	% inhibición
	Impacto ambiental	Estudio de impacto ambiental	DBO DQO Técnicas moleculares

Nota. Elaborado por el autor, (2025)

4.1.3 Especificidad y efectividad de los bacteriófagos

Del análisis bibliográfico se puede deducir que los bacteriófagos demostraron alta efectividad reduciendo las colonias de *Vibrio spp.* infectadas, encontrando reportes del 91% de infección a cepas bacterianas (Hossain et al., 2024), 93% de reducción de la población de *Vibrio* (Kalatzis et al., 2016).

En lo que concierne a su especificidad, se ha reportado que los bacteriófagos tiene actividad lítica en 33 de 138 cepas probadas, es decir, el 23.91% de especificidad, lo que prueba que los fagos son sumamente específicos (D. Chen et al., 2024).

En la **Tabla 8** se exponen hallazgos sobre la efectividad y especificidad de los bacteriófagos en bacterias del género *Vibrio*.

Tabla 8. Especificidad y efectividad de bacteriófagos en <i>Vibrio spp.</i>			
Bacteriófago	Bacteria	Efectividad	Referencia
ST22 φMix 1 φS8 φS9 φMix 2 ST231	<i>Desulfovibrio spp.</i>	ST22 mostró la inhibición más fuerte (p<0.05), reduciendo significativamente la densidad bacteriana.	(Van et al., 2024)
ShB-15	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Infectó el 91% de las cepas de <i>Vibrio</i> probadas y mostró protección notable contra AHPND en camarones.	(Hossain et al., 2024)

φV07 φV09 φV05	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Los fagos fueron efectivos en prevenir la formación de biofilms, pero no en destruir biofilms ya establecidos.	(Yin et al., 2019)
vB-VpaS-SD15 (P15)	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	P15 pudo lisar 33 de 138 cepas probadas de <i>V. parahaemolyticus</i> y mostró estabilidad térmica y de pH.	(D. Chen et al., 2024)
VPMCC5	<i>Vibrio harveyi</i>	VPMCC5 eliminó completamente la bacteria <i>V. harveyi</i> en cultivos líquidos en 3 horas.	(Kar et al., 2022)
VallY-3 VspDsh-1 VspSw-1 VpaJT-1 ValSw4-1	<i>Vibrio sp. Va-F3</i>	El cóctel de cinco fagos inhibió eficazmente el crecimiento de <i>Vibrio sp. Va-F3</i> y aumentó la supervivencia del camarón al 91.4%.	(L. Chen et al., 2019)
φSt2 φGrn1	<i>Vibrio alginolyticus</i>	Los fagos φSt2 y φGrn1 redujeron en un 93% la población de <i>Vibrio</i> en <i>Artemia salina</i> en 4 horas.	(P. G. Kalatzis et al., 2016)
T2A2 VH5e	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	90% de sobrevivencia en artemia infectada con Vp _{AHPND}	(Makarov et al., 2019)
No especifica	<i>Vibrio harveyi</i>	Redujo significativamente la densidad de <i>V. harveyi</i> y mostró actividad lítica contra <i>V. parahaemolyticus</i> y <i>V. vulnificus</i> .	(Lelin et al., 2022)
vB_Vp_PvVp04	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Inhibió el crecimiento de <i>V. parahaemolyticus</i> CIBGEN003 en un 87.6% después de 12 h	(Peña-Rodríguez et al., 2025)

vB_VpaS_PP24	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Activo contra cepas virulentas de <i>V. parahaemolyticus</i> en ensayos de cultivo de camarón. No mostró toxicidad.	(fu & He, 2024)
φLV6	<i>Vibrio harveyi</i> (luminescente)	Redujo las colonias de <i>Vibrio harveyi</i> luminiscente y la mortalidad en larvas de camarón en experimentos in vivo.	(Benala et al., 2023)
ValSw3-3	<i>Vibrio alginolyticus</i>	ValSw3-3 mostró fuerte actividad lítica contra múltiples cepas de <i>Vibrio</i> , incluyendo <i>V. alginolyticus</i> , <i>V. parahaemolyticus</i> y <i>V. metschnikovii</i> . Tiene una estabilidad térmica de hasta 50°C y un rango de pH de 4 a 10.	(Ling et al., 2020)
<i>Nota.</i> Elaborado por el autor, (2025).			

4.1.4 Encuesta para evaluar las percepciones de los productores y consumidores sobre el uso de bacteriófagos.

Se realizó una encuesta de nueve preguntas para evaluar la percepción sobre el uso de bacteriófagos en los cultivos de camarón. Las preguntas se estructuraron de tal forma que la persona que la llene se identifique como participante del sector acuícola, indique si ha enfrentado enfermedades bacterianas en su cultivo de camarones, y, por último, si conoce y tendría la predisposición de aplicar esta herramienta biotecnológica como método alternativo a los

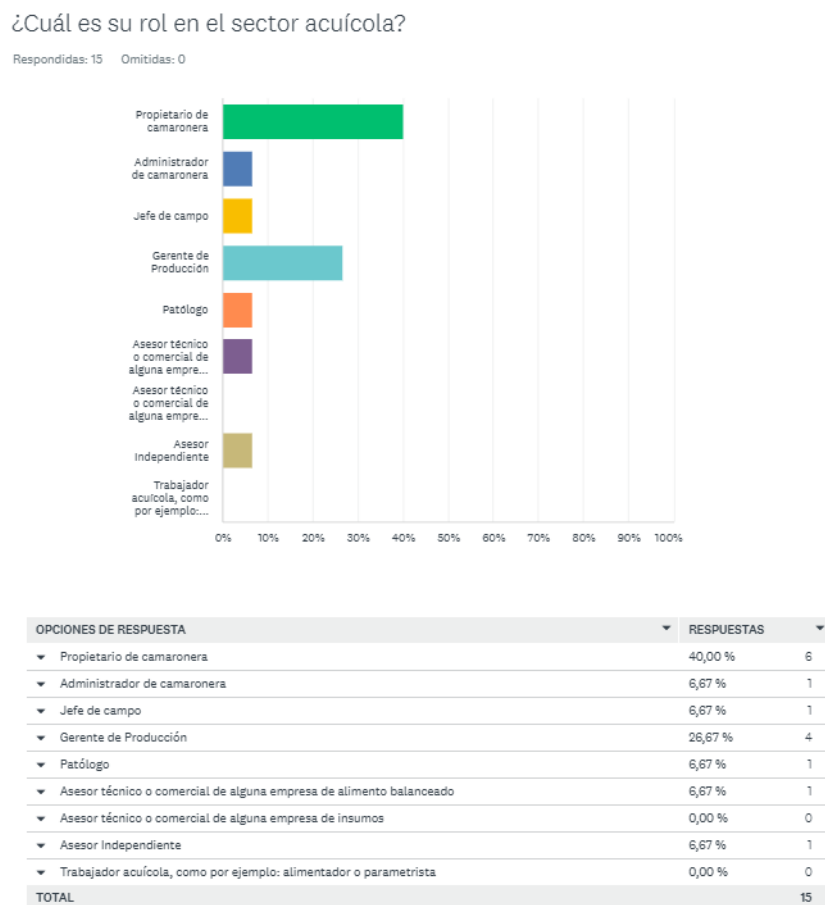
antibióticos para el control de enfermedades bacterianas. Se encuestaron a quince personas, de las que se obtuvo los siguientes resultados.

Pregunta uno: ¿Cuál es su rol en el sector acuícola?

Los roles se encontraron distribuidos en 40% propietarios de camaroneras, 26.67% gerentes de producción y 6.67% las demás opciones. Es decir, las personas que constaron en las encuestas fueron: seis propietarios de camaroneras, cuatro gerentes de producción, un administrador de camaronera, un jefe de campo, un patólogo, un asesor técnico o comercial de alguna empresa de balanceado y un asesor independiente, ver **Figura 19**.

El 40% de las personas encuestadas son dueños de camaroneras, es decir, predominio de los propietarios, lo que señala que la percepción quienes tienen la potestad de decidir en la adopción de tecnologías innovadoras como los bacteriófagos. El 26.67% de los encuestados corresponde a los gerentes de producción, quienes poseen un rol fundamental en la implementación de estrategias de producción. El 6.67% de los encuestados corresponde a asesores independientes, asesores de una empresa de alimento balanceado, jefe de campo, administrador de campo y patólogo, lo que denota que su perspectiva cuenta con poca representación en la encuesta.

Figura 19. Distribución de roles en el sector acuícola.



Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

Pregunta dos: ¿Ha enfrentado enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* en su producción de camarón?

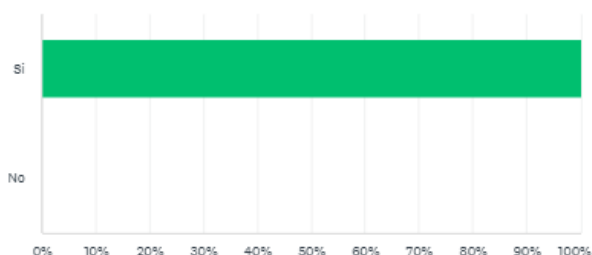
La totalidad de los encuestados han enfrentado problemas de enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* en su producción de camarón, ver **Figura 20**. Esto quiere decir que las enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* constituyen un desafío crítico en la producción

de camarón, por lo que aplicar estrategias de control, como el uso de bacteriófagos, tendría una potencial acogida en el sector.

Figura 20. Enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* en la producción de camarón.

¿Ha enfrentado enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* en su producción de camarón?

Respondidas: 15 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
Si	100,00 %	15
No	0,00 %	0
TOTAL		15

Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

Pregunta tres: ¿Con qué frecuencia enfrenta enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* por ciclo de cultivo, desde siembra hasta cosecha, en su producción?

El 53.33% de los encuestados encuestadas u ocho personas han enfrentado enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* una vez por ciclo de cultivo. El 26.68% de los encuestados o cuatro personas han enfrentado enfermedades por *Vibrio spp.* dos veces por ciclo de cultivo. El 20% de los encuestados o 3 personas reportaron enfermedades por *Vibrio spp.* tres veces o mas por ciclo de cultivo., ver **Figura 21**.

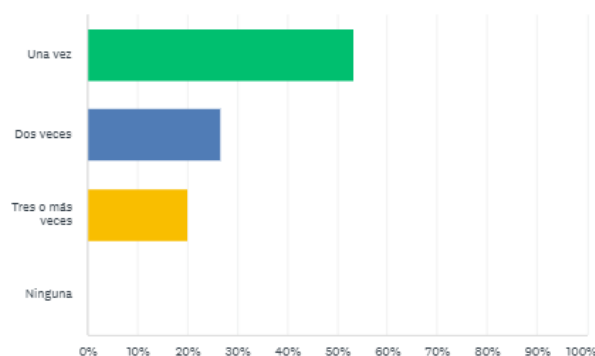
Esto nos lleva a pensar que, todos los encuestados han enfrentado enfermedades causadas por *Vibrio spp.* al menos una vez por ciclo de cultivo, por consiguiente esto es un problema constante en la producción de camarón. Sin embargo, más de la mitad de los encuestados reportaron que enfrentaron la enfermedad una sola vez por ciclo, lo que indica que aplican estrategias de control para limitar el impacto de enfermedades por *Vibrio spp.* en su producción.

Un punto preocupante es que el 46.67% enfrentan enfermedades por *Vibrio spp.* dos o mas veces por ciclo de cultivo, esto denota que existen problemas para controlar al agente patogénico causal de manera efectiva, lo que permite pensar que los métodos de control no estan teniendo efectividad o las condiciones de persistencia son favorables al patógeno.

Figura 21. Frecuencia de enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* por ciclo de cultivo en la producción de camarón

¿Con qué frecuencia enfrenta enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* por ciclo de cultivo, desde siembra hasta cosecha, en su producción?

Respondidas: 15 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
Una vez	53,33 %	8
Dos veces	26,67 %	4
Tres o más veces	20,00 %	3
Ninguna	0,00 %	0
TOTAL		15

Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

Pregunta cuatro: ¿Qué métodos utiliza para controlar las enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.*?

Esta pregunta fue de opción múltiple, por lo tanto se aprecia una diversidad de estrategias usadas por los encuestados para controlar *Vibrio spp.* en cultivos de camarón.

En primer lugar se destacan los ácidos orgánicos obteniendo diez respuestas, lo que representa un 66.67% de los encuestados, siendo esta la estrategia de mayor uso. En segundo lugar, se encuentra el método cultural de recambio de agua con seis respuestas, lo que representa un 40% de los encuestados, esto demuestra una gestión ambiental en la producción. En tercer lugar, los probióticos y aceites esenciales obteniendo cinco respuestas cada uno, lo que representa un 33.33% de los encuestados cada uno respectivamente, esto señala una orientación al uso de alternativas naturales. En cuarto lugar, los antibióticos y el manejo de densidades, obteniendo cuatro respuestas cada uno respectivamente, lo que representa el 26.67% cada uno respectivamente, esto denota que los antibióticos son usados con poca frecuencia en los cultivos de camarón, respecto al manejo de densidades como método de control de enfermedades por *Vibrio spp.* es poco considerado por parte de los encuestados. En quinto lugar, la mezcla de probióticos y prebióticos, y los fitocompuestos obteniendo dos respuestas cada uno, con el 13.33% de los encuestados cada uno respectivamente. En sexto y último lugar, los prebióticos con una respuesta, lo que representa el 6.67%, siendo el método menos utilizado. Ver **Figura 22**.

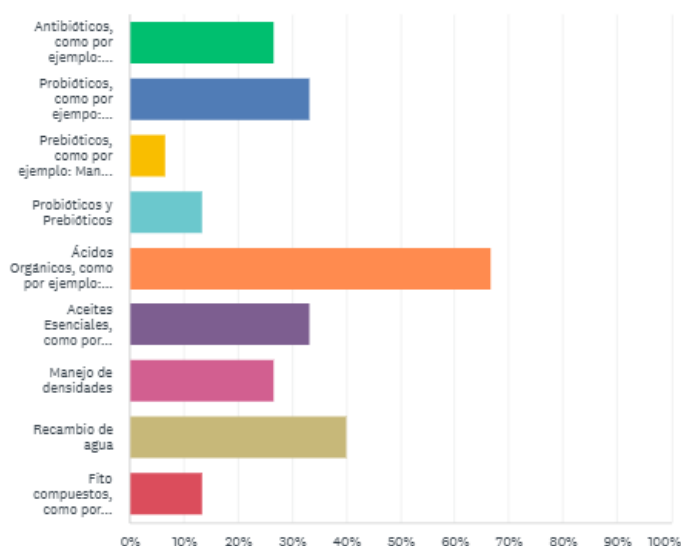
De estos resultados se puede decir que existe una tendencia marcada hacia alternativas naturales como los ácidos orgánicos, probióticos y aceites esenciales, lo que demuestra que el sector productivo camaronero se encuentra en una transición hacia métodos más ecoamigables y naturales. Cabe recalcar la importancia del manejo ambiental, como el recambio de agua, como

método para mitigar o controlar las enfermedades causadas por *Vibrio spp.* Respecto al uso de antibióticos, se puede notar que persiste su uso, aunque no como método principal.

Figura 22. *Métodos de control para enfermedades causadas por Vibrio spp en la producción de camarón.*

¿Qué métodos utiliza para controlar las enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.*?

Respondidas: 15 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
Antibióticos, como por ejemplo: Oxitetraciclina	26,67 % 4
Probióticos, como por ejemplo: Lactobacillus spp.	33,33 % 5
Prebióticos, como por ejemplo: Manano oligosacáridos (MOS)	6,67 % 1
Probióticos y Prebióticos	13,33 % 2
Ácidos Orgánicos, como por ejemplo: Ácido Propanoico (propiónico)	66,67 % 10
Aceites Esenciales, como por ejemplo: Aceite esencial de tomillo, canela, ajo	33,33 % 5
Manejo de densidades	26,67 % 4
Recambio de agua	40,00 % 6
Fito compuestos, como por ejemplo: Saponina	13,33 % 2
Total de encuestados: 15	

Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

Pregunta cinco: ¿Conoce usted qué son los bacteriófagos?

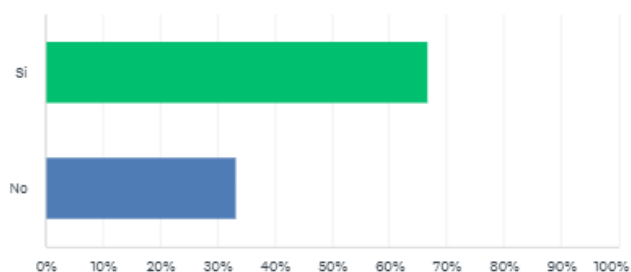
El 66.67% de los encuestados, es decir diez personas, aseguraron conocer los bacteriófagos; por otro lado, solo el 33.33% de los encuestados, es decir cinco personas, contestaron que no conocen sobre bacteriófagos. Ver **Figura 23**.

Esto quiere decir que la mayoría de los encuestados afirman conocer sobre los bacteriófagos, sin embargo, existe una necesidad de mayor difusión sobre su implementación y beneficios para aquellos que desconocen de los fagos. Puede ser que la falta de conocimiento sea considerado como un obstáculo para la aplicación de los bacteriófagos como mecanismo de control de *Vibrios spp.* en la producción de camarón, asimismo esto se puede ver como una oportunidad para capacitación y divulgación sobre esa tecnología innovadora.

Figura 23. Conocimiento de los bacteriófagos.

¿Conoce usted qué son los bacteriófagos?

Respondidas: 15 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
▼ Si	66,67 %	10
▼ No	33,33 %	5
TOTAL		15

Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

Pregunta seis: ¿Tendría la predisposición de probar la terapia con bacteriófagos como una alternativa a los métodos tradicionales de control de enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* en su producción?

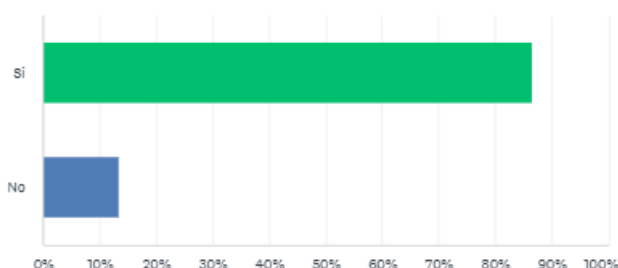
El 86.67% de los encuestados, es decir, trece personas, están dispuestos a probar la terapia con fagos como método alternativo de control de enfermedades por *Vibrio spp.*; por otro lado, solo el 13.33% de los encuestados, es decir dos personas, no probarían los bacteriófagos en sus cultivos de camarón. Ver **Figura 24**.

Se percibe una alta aceptación potencia por la mayoría de lo encuestados en probar los bacteriófagos en sus cultivos de camaron, lo que representa una buena oportunidad de implementación, siempre y cuando se difunda información suficiente respecto a su eficacia, seguridad y costos. Aquellos que no tengan predisposicion para implementar los bacteriófagos en sus cultivos, podría ser por temas de efectividad, costos o simplemente falta de conocimiento.

Figura 24. Predisposición para probar la terapia con fagos en la producción de camarón.

¿Tendría la predisposición de probar la terapia con bacteriófagos como una alternativa a los métodos tradicionales de control de enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio* spp. en su producción?

Respondidas: 15 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
Si	86,67 %	13
No	13,33 %	2
TOTAL		15

Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

Pregunta siete: ¿Qué factores considera importantes para decidir implementar una tecnología nueva, como los bacteriófagos, en su producción?

Esta pregunta es de opción multiple, por lo tanto permite distinguir las causas que los encuestados consideran mas importantes para implementar los bacteriófagos como método de control de enfermedades por *Vibrio* spp..

Los factores que los encuestados consideraron mas importantes son el costo y la efectividad con un 73.33%, lo que representa once respuestas de cada una respectivamente. Otros factores considerados importantes, pero en menor nivel, son el impacto ambiental con un 40%, lo que

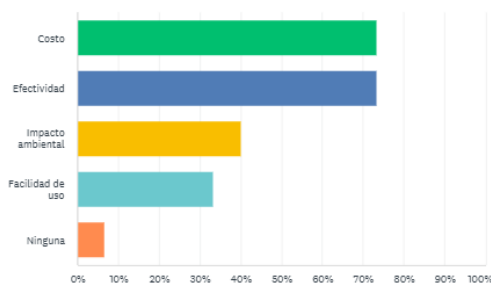
representa seis respuestas; y, la facilidad de uso con un 33.33%, lo que representa cinco respuestas. Sólo un encuestado señaló que ningún factor es relevante, es decir, un 6.67%. Ver **Figura 25**.

El costo y la efectividad constituyen los factores primordiales en la toma de decisión para implementar los bacteriófagos como método de control de enfermedades por *Vibrio spp.*, esto quiere decir que los participantes del sector acuicola requieren soluciones rentables con resultados confiables para ser implementados. Cabe destacar que la conciencia sobre las practicas sostenibles en la producción de camaron también se considera un factor importante.

Figura 25. *Predisposición para probar la terapia con fagos en la producción de camarón.*

¿Qué factores considera importantes para decidir implementar una tecnología nueva, como los bacteriófagos, en su producción?

Respondidas: 15 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
Costo	73,33 %	11
Efectividad	73,33 %	11
Impacto ambiental	40,00 %	6
Facilidad de uso	33,33 %	5
Ninguna	6,67 %	1
Total de encuestados: 15		

Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

Pregunta ocho : ¿Qué preocupaciones tendría sobre el uso de bacteriófagos en su producción, como posibles efectos secundarios?

Esta pregunta es de opción múltiple, razón por la cual los encuestados señalan cuales son sus preocupaciones principales sobre los efectos secundarios del uso de bacteriofagos en cultivos de camarón.

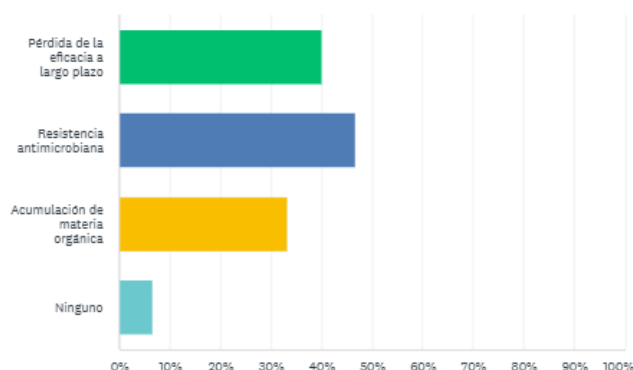
La preocupación que mas acapara respuestas es la resistencia antimicrobiana con siete selecciones, lo que representa un 46.67% del total de opciones; seguida de la pérdida de la eficacia a largo plazo con seis selecciones, lo que representa un 40%; y, no muy por detrás, la acumulación de materia orgánica con cinco selecciones, lo que representa un 33.33% del total de opciones. Solamente un encuestado respondió que no tiene preocupaciones, representando un 6.67%. Ver **Figura 26**.

Cerca de la mitad de los encuestados se preocupa por la resistencia antimicrobiana que puede generar las diferentes cepas de *Vibrio* ante los bacteriófagos, que se concatena con la opción de pérdida de eficacia a largo plazo, debido a la resistencia que podría generar. La acumulacion de materia organica genera menor preocupacion, es decir, que el uso de bacteriófagos puede tener incidencia negativa en la calidad de suelo o agua, por la biomasa de bacterias muertas que quedarían en el ambiente.

Figura 26. Preocupaciones sobre los efectos secundarios del uso de bacteriófagos en la producción de camarón.

¿Qué preocupaciones tendría sobre el uso de bacteriófagos en su producción, como posibles efectos secundarios?

Respondidas: 15 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
▼ Pérdida de la eficacia a largo plazo	40,00 %	6
▼ Resistencia antimicrobiana	46,67 %	7
▼ Acumulación de materia orgánica	33,33 %	5
▼ Ninguno	6,67 %	1
Total de encuestados: 15		

Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

Pregunta nueve: ¿Considera importante que las herramientas de biocontrol, como los bacteriófagos, sean compatibles con certificaciones de producción sostenible, como por ejemplo ASC o Global GAP?

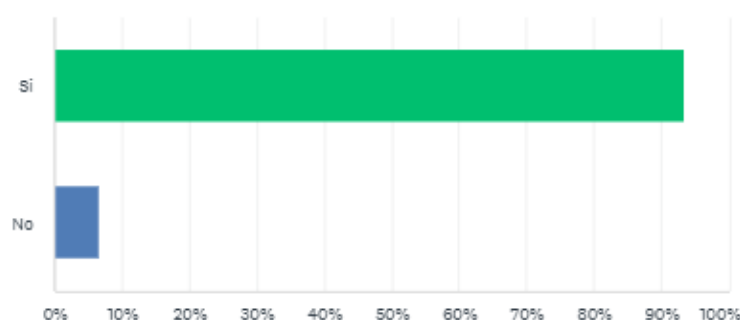
Casi la totalidad de los encuestados, es decir, el 93.33% considera importante que las herramientas de biocontrol, como los bacteriofagos, cuenten con certificaciones de producción sostenible. Solamente un encuestado, el 6.67% no considera relevante este tema. Ver **Figura 27**.

Es sumamente importante que estas herramientas biotecnológicas cuenten con certificaciones de sostenibilidad, como ASC o Global Gap, debido a que garantiza el cumplimiento de estándares internacionales de calidad.

Figura 27. *Importancia de las Certificaciones de sostenibilidad respecto de los bacteriófagos.*

¿Considera importante que las herramientas de biocontrol, como los bacteriófagos, sean compatibles con certificaciones de producción sostenible, como por ejemplo ASC o Global GAP?

Respondidas: 15 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
Si	93,33 %	14
No	6,67 %	1
TOTAL	15	

Nota. Parte superior, Histograma. Parte inferior, análisis porcentual de cada opción. Gráfica creada con SurveyMonkey, por el autor, (2025).

4.2 Discusiones

En la presente investigación se ha desarrollado un análisis sistemático del uso de bacteriófagos en el cultivo de camarón blanco *Penaeus vannamei*, como método alternativo al uso tradicional de antibiótico para combatir enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.* en los camarones.

Las especies de *Vibrio* sometidas a análisis fueron *Vibrio parahaemolyticus*, por ser agente causal de la necrosis aguda del hepatopáncreas, enfermedad que ha causado mortalidades masivas en camaronerías (Galaviz-Silva et al., 2021); *Vibrio harveyi* genera biopelículas las cuales constituyen un nicho para la formación de otras bacterias y pueden causar la muerte del camarón (Nurhafizah et al., 2021); y *Vibrio alginolyticus*, especie que provoca la popular vibriosis, que si no se aplica tratamiento, termina en mortalidades considerables de camarón (P. G. Kalatzis et al., 2016).

Como fruto de la lectura minuciosa y análisis exhaustivo de los artículos científicos recopilados que sirvieron de base para la presente investigación, se puede indicar que los bacteriófagos poseen un mecanismo de acción lítico, que comienza con la infección de los fagos mediante adherencia sobre las proteínas o azúcares receptores, como los peptidoglicanos, ácido teicoico, oligosacáridos, lipopolisacáridos, capsula, flagelo, fimbrias tipo IV y pilis sexuales de la pared celular del patógeno (Ninawe et al., 2020).

La introducción del material genético en el citoplasma del patógeno constituye un pilar fundamental en este proceso; ya que los genes del fago se expresan y las proteínas relacionadas, como holinas, endolisinas y spanins, son sintetizadas, actuando como la parte principal del mecanismo de control o eliminación de los patógenos bacterianos (Joy, 2021).

Luego, la lisis de la pared celular del patógeno ocurre mediante la acción de las enzimas depolimerasas, como peptidoglicano hidrolasas, endosialidasas, endoramnosidasas, alginato liasas e hialuronato liasas (Chamakura & Young, 2019).

Al final, la nueva progenie de fagos se libera de la bacteria hospedera mediante la acción de las endolisinas, como consecuencia de esto comienzan a infectar a las células bacterianas patógenas cercanas, repitiendo del ciclo (Nachimuthu et al., 2021).

Como se puede notar a lo largo de esta investigación, los bacteriófagos con ciclo de vida lítico son los adecuados para el control de patógenos en la acuicultura de camarón, debido a que destruyen a la bacteria patógeno, lo que permite una mejora en la salud de los camarones, así como en el ambiente donde se desarrollan.

Con los resultados obtenidos en este estudios acerca de consorcios de bacteriófagos se considerarían idóneos para la aplicación en los cultivos de camarón, ya que permiten un rango más amplio de objetivo de bacteria hospedera; también previene la resistencia a los fagos, porque cada fago tiene sus particularidades genéticas estructurales, por lo que estas interacciones no permiten un desarrollo correcto de los genes de resistencia.

También se podría decir que los bacteriófagos son microorganismos altamente eficaces en su labor de control de poblaciones bacterianas, ya que, al usar la maquinaria genética de su hospedero, pueden generar muchos viriones que, cuando ocurra la lisis bacteriana, infectaran a otras células.

4.2.1 Fichaje crítico

En el siguiente fichaje crítico se analizan de manera crítica catorce artículos que tratan el tema de bacteriófagos en la acuicultura.

Tabla 9. Fichaje crítico	
Autor	(Hossain et al., 2024)
Título	Bacteriophage and non-pathogenic <i>Vibrio</i> to control diseases in shrimp aquaculture
Resumen	Este estudio se enfoca en el uso de bacteriófagos y <i>Vibrio</i> no patógeno para control de enfermedades en camaroneras de Bangladesh. En ensayos de laboratorio los bacteriófagos infectaron el 91% de las cepas de <i>Vibrio</i> probadas. En pruebas de campo, se aplicó una concentración de 1.5×10^6 PFU/ml; lo que demostró un incremento en la protección contra infecciones y sin mortalidad severa durante la fase adaptativa de la fase adaptativa de la investigación. Estos estudios se realizaron en <i>P. monodon</i> .
Análisis crítico	El presente estudio ofrece una perspectiva amplia sobre los bacteriófagos aplicados al cultivo de camarón, porque no sólo se lo realizó en laboratorio, sino además en campo. Los métodos de toma de muestra, aislamiento, eficacia del fago cuentan con bases científicas sólidas. Cabe destacar, el uso de los medios de cultivos y técnicas adecuadas para los microorganismos involucrados. Aunque no se realizó caracterización morfológica del fago, los demás análisis contribuyen con valiosa información para aplicar en otras especies similares de camarón como <i>P. vannamei</i> .
Conclusión	La demostración de la alta efectividad del fago ShB-15, por el método EOP para medir productividad, propone a este bacteriófago con potencial para control de <i>Vibrio spp.</i> en cultivo de camarón.
Autor	(Yin et al., 2019)
Título	Bacteriophage potential against <i>Vibrio parahaemolyticus</i> biofilms
Resumen	La presente investigación se enfoca en la aplicación de fagos en las biopelículas generadas por <i>V. parahaemolyticus</i> . Se aislaron 34 especies de <i>V. parahaemolyticus</i> de la superficie de agua; lo que fueron morfológicamente identificados por medio de microscopía electrónica de transferencia y sus rangos fueron evaluados por el método de agar de doble capa. Mediante una curva de un paso de crecimiento se evaluaron tres fagos seleccionados, los cuales presentaron amplios tamaños de ruptura de 458 a 593. Los rangos de tolerancia de temperatura fueron de 25 – 50 °C, de pH 2.0 – 12.0 y salinidad de 1.5% - 5%.
Análisis crítico	Esta investigación expone un enfoque completo de los métodos de aislamiento, caracterización, identificación, efectividad, rango de hospedero de los bacteriófagos sobre cepas de <i>V. parahaemolyticus</i> . Considero que los argumentos que exponen, sobre la actividad bacteriolítica de los fagos sobre el hospedero, son

	sólidos y podrían servir como base para futuras investigaciones sobre aplicaciones en cultivos de <i>P. vannamei</i> , ya que este estudio fue realizado solo a nivel de laboratorio.
Conclusión	Los fagos aislados e identificados fueron ϕ V07, ϕ V09 y ϕ V05; los dos primeros demostraron mayor efectividad ya que infectaron a 13 de 25 cepas, mientras que el último solo a 4.
Autor	(Dias et al., 2024)
Título	Bacteriophages to control <i>Vibrio alginolyticus</i> in live feeds prior to their administration in larviculture
Resumen	Esta investigación evalúa la eficacia de los fagos TDD y SRI, individual y en cóctel para controlar <i>V. alginolyticus</i> CECT 521 en artemia previo a suministrar a larvas de <i>P. vannamei</i> . Los fagos se aislaron de muestras de agua de mar, mediante el método de doble capa de agar. Se los caracterizó por medio de microscopía electrónica de transmisión. Se empleó la Reacción en Cadena de la Polimerasa para analizar el ensamblaje del genoma de los fagos, para luego compararlos mediante análisis bioinformáticos. Se empleó el método de punto. El estudio demostró que los fagos logaron inactivar <i>V. alginolyticus</i> en agua y en <i>A. franciscana</i> . Los fagos, individual y en coctel, no afectaron la microbiota natural u otra especie de <i>Vibrio</i> en la artemia.
Análisis crítico	Los bacteriófagos se extrajeron de una muestra de agua de mar, a lo que se los caracterizó por su morfología, rango de hospedero, tasa de adsorción, parámetros de crecimiento y sobrevivencia. Se evaluó su eficiencia en ensayos <i>in vitro</i> en <i>A. franciscana</i> . Entre las especies bacterianas que se evaluaron la entre en el rango de infección fue <i>V. parahaemolyticus</i> CECT 521. Lo métodos empleados en el estudio demostraron ser científicamente sólidos para demostrar los resultados esperados. Considero que el presente estudio sirve como base para aplicar en <i>P. vannamei</i> , debido a que ataca a <i>V. parahaemolyticus</i> ; sin embargo, dado a su alta especificidad con la cepa <i>V. parahaemolyticus</i> CECT 521, se limita mucho su rango de aplicación, por lo que se debería llevar a cabo mayores investigaciones en la genética de los bacteriófagos mencionados para examinar si existe la posibilidad de ampliar su rango. Además, al mostrar acción lisogénica, sería ideales en el ámbito de la reproducción de <i>P. vannamei</i> .
Conclusión	Los fagos TDD y SRI demostraron alta especificidad contra <i>V. parahaemolyticus</i> CECT 521, además de su capacidad de inactivar dicha bacteria. Respecto a su genética, no se detectaron genes de resistencia o incompatibilidad, siendo buenos candidatos para ser empleados en el cultivo de camarón, sobre todo en reproductores; sin embargo, mayor investigación se necesita para explorar la posibilidad de ampliar su rango de hospederos y mayor análisis de su lisogenia.
Autor	(Kar et al., 2022)
Título	Characterization of a <i>Vibrio</i> -infecting bacteriophage, VPMCC5, and proposal of its incorporation as a new genus in the <i>Zobellviridae</i> family
Resumen	En este estudio se caracterizó el bacteriófago VPMGC5, aislado de una muestra de ambiente de suelo y agua de estanques camaroneros en India. Se identificó mediante cebadores de <i>V. harveyi</i> . Se evaluó su rango en hospedero. Mediante microscopía de transmisión electrónica se caracterizó morfológicamente. Se

	realizó el método de un paso de crecimiento para analizar cómo era su desarrollo y finalmente se llevaron a cabo pruebas de <i>inhibición en V. harveyi</i> y sobrevivencia al bacteriófago.
Análisis crítico	Los métodos empleados en este estudio son de alta solidez científica, ya que se comprobó mediante biología molecular su especificidad a la bacteria objetivo. Este bacteriófago lítico demostró que puede sobrevivir a un amplio rango de pH, temperatura y salinidad, convirtiéndolo en un buen candidato a emplearse en el cultivo de camarón. No se encontraron genes de virulencia o resistencia en su genoma por lo que podría ser aplicado como agente de biocontrol de <i>V. harveyi</i> en el cultivo de <i>P. vannamei</i>. En mi opinión, este bacteriófago resultaría útil en los cultivos de camarón, ya que por su acción lítica constituiría un método efectivo para controlar el patógeno <i>V. harveyi</i> y prevenir las enfermedades que de este emanan; por lo tanto, es necesario su estudio y sobre todo aplicación en campo para determinar su eficacia en un entorno de camaronera.
Conclusión	Este estudio demostró la efectividad en corto tiempo para controlar <i>V. harveyi</i> , soportando amplios rangos de pH, temperatura y salinidad.
Autor	(D. Chen et al., 2024)
Título	Biological properties of <i>Vibrio parahaemolyticus</i> lytic phages and transcriptome analysis of their interaction with the host
Resumen	Este estudio se enfoca en el aislamiento, identificación, caracterización y aplicación del bacteriófago <i>vB-VapS-SD15</i> (P15) contra cepas de <i>V. parahaemolyticus</i> aisladas de muestras de piscinas camaroneras de las costas del sur de China. Los fagos fueron obtenidos de muestras de agua de camaroneras, de donde fueron aislados y cultivados en las cepas previamente obtenidas, para obtener los fagos se empleó el método de agar de doble capa. Para su análisis morfológico se lo realizó mediante microscopía de transmisión electrónica. Se evaluó la estabilidad a diferentes rangos de temperatura y pH; así como también se analizó mediante el método de curva de un paso de crecimiento su capacidad para replicarse y el número de organismos liberados al ocurrir la lisis. Asimismo, se analizó el proceso de transcripción para determinar productos de resistencia antimicrobiana.
Análisis crítico	Para esta investigación se aisló y cultivó cepas de <i>V. parahaemolyticus</i> de hepatopáncreas de camarón infectado con AHPND. Este estudio obtuvo resultados buenos respecto su estabilidad de temperatura y pH; mostró un 23.9% de habilidad para lisis bacteriana en cepas de <i>V. parahaemolyticus</i> , lo que demuestra su alta especificidad. Respecto su genoma, la interacción fago-bacteria revela que el transcriptoma de la bacteria sufre cambios temporales en varios procesos como biogénesis ribosomal, biogénesis de ARNt, secreción, ciclo ATC, metabolismo de la histidina, fosforilación oxidativa, entre otros, en diferentes fases de la infección., lo que hace a este fago un buen candidato para aplicar en cultivos de camarón en Ecuador.
Conclusión	El presente estudio del bacteriófago P15 revela que tiene buena estabilidad a cambios de pH, temperatura; demuestra una alta especificidad respecto de la bacteria en estudio. Además, genéticamente muestra que es un buen candidato

	para aplicar en cultivos de camarón, ya que afecta a la bacteria en varias fases de la infección y no presenta genes que pueden ser contraproducentes.
Autor	(Dubey et al., 2021)
Título	Isolation and Characterization of Bacteriophages from Inland Saline Aquaculture Environments to Control <i>Vibrio parahaemolyticus</i> Contamination in Shrimp
Resumen	En el presente estudio, se aislaron 12 fagos de <i>Vibrio parahaemolyticus</i> de 264 muestras de agua de camaroneras de tierras interiores salinas. Se lo identificó mediante pruebas bioquímicas y Reacción en Cadena de la Polimerasa. Se evaluó el rango de hospedero por medio de ensayo de placa, del cual se observó la actividad lítica contra 2.3 – 45.5% de <i>V. parahaemolyticus</i> . Se caracterizó su genoma mediante el método de purificación de ácidos nucleicos por columna de sílice, se obtuvo concentraciones de 7.66 a 220 ng/μl, de 9 fagos; y se cuantificó mediante fluorometría. También, se los caracterizó morfológicamente por microscopía de transmisión electrónica, en donde se encontró que tenían forma filamentosa, perteneciendo a la familia <i>Inoviridae</i> . Finalmente, se evaluó la eficacia contra <i>V. parahaemolyticus</i> mediante método de dispersión en placa, del cual se obtuvo una reducción del 78.1% después de 1 hora de aplicación del fago.
Análisis crítico	Para realizar el presente estudio se siguió una metodología completa, desde la extracción de la muestra de camarones, los cuales se obtuvieron de camaroneras de tierras interiores salinas, es decir, alejadas de zonas costeras. Asimismo, las cepas de <i>Vibrio parahaemolyticus</i> se obtuvo del Colegio de Pesquerías de Mangalore y otras fueron aisladas e identificadas de las muestras de camarón, pero no se especifica bien los métodos bioquímicos y moleculares usados. Respecto a la evaluación del rango de hospedero, caracterización morfológica y evaluación de la eficacia de los fagos, los métodos empleados son consistentes. Aunque este estudio se realizó a nivel de laboratorio, por lo tanto, serviría de base para aplicaciones en camaroneras en Ecuador.
Conclusión	Por primera vez se logró aislar y caracterizar fagos específicos de <i>V. parahaemolyticus</i> de ambientes de camaroneras de tierras interiores salinas. La mayoría de los fagos aislados eran de ADNcs, lo que difiere de los que prevalecen en la naturaleza que son ADNdc, lo cual demuestra su importancia biotecnológica. El análisis de rango de hospedero indica la necesidad de aislar y caracterizar más fagos de tierras internas salinas para aplicaciones con potencial terapéutico.
Autor	(Makarov et al., 2019)
Título	Evaluation of a cocktail of phages for the control of presumptive <i>Vibrio parahemolyticus</i> strains associated to acute hepatopancreatic necrosis disease
Resumen	En el presente estudio, se utilizaron los bacteriófagos T2A2 y VH5e para evaluar el control de diferentes cepas de AHPND, presuntivamente identificado como <i>V. parahaemolyticus</i> (VP _{AHPND}) bajo condiciones de laboratorio. El efecto lítico de T2A2 y VH5e contra brotes de AHPND fue corroborado. Adicionalmente, la efectividad de la mezcla de ambos fagos fue evaluada en infecciones experimentales de artemia empleando tres cepas altamente virulentas de VP _{AHPND} . Se demostró que la artemia tratada con fagos tuvo una tasa de sobrevivencia superior comparada a la que no se trató con fagos. También se demostró que el coctel de fagos resulto inocuo para el organismo de los animales. Lo que sugiere

	que la mezcla de fagos puede ser utilizada como posible mecanismo de control para cepas de AHPND. Las muestras se obtuvieron de sedimentos, agua y camarones moribundos de diferentes camaronerías del noroeste de México, en total se aislaron 68 cepas. Se emplearon técnicas microbiológicas estandarizadas para aislar la bacteria objetivo. Se confirmó AHPND mediante pruebas moleculares como la Reacción en Cadena de la Polimerasa. Para determinar la virulencia de VP_{AHPND} se utilizaron cultivos de artemia como organismo modelo. Respecto a los fagos se empleó el protocolo estandarizado de enriquecimiento; se realizó el ensayo de punto para corroborar su rango de hospedero. Se los caracterizó por microscopía de transmisión electrónica. Se evaluó su periodo de latencia y tamaño de la ruptura. Se realizó el ensayo de reducción bacteriana para determinar la eficacia de los fagos.
Análisis crítico	La metodología de esta investigación se considera adecuada para evaluar los fagos objeto de estudio. Aunque cabe señalar que las cepas de <i>V. parahaemolyticus</i> fueron aisladas de las muestras y no se obtuvo cepas de institutos o laboratorios certificados que garanticen su especificidad. Las demás técnicas empleadas demuestran ser sólidas para obtener resultados deseados. Cabe recalcar que los ensayos de virulencia fueron realizados en artemia, sin embargo, se subraya la necesidad que en futuras investigaciones se realice en camarones. El consorcio de fagos compuesto por VH5e y T2A2 demostró efectividad como método de control biológico para cepas de <i>V. parahaemolyticus</i> AHPND, pudiendo aplicarlo a cultivos de <i>P. vannamei</i>. El estudio sugiere que se lleven a cabo investigaciones para descartar genes lisogénicos y que puedan ser totalmente seguros para el cultivo. También se debe señalar que se necesita mayor investigación para determinar si su uso debería ser terapéutico o profiláctico.
Conclusión	Mediante esta investigación se logró evaluar el consorcio de fagos T2A2 y VH5e como método de control biológico contra VP _{AHPND} , el cual resultó ser eficaz para controlar la mortalidad durante la ocurrencia de la enfermedad.
Autor	(P. G. Kalatzis et al., 2016)
Título	Isolation and Characterization of Two Lytic Bacteriophages ϕ St2 y ϕ Grn1; Phage Therapy Application for Biological Control of <i>Vibrio alginolyticus</i> in Aquaculture Live Feeds
Resumen	En el presente estudio se aisló la cepa patogénica <i>Vibrio alginolyticus</i> V1, de muestras de <i>Sparus aurata</i> durante un evento de vibriosis, además se utilizaron 25 cepas modelo de 7 especies diferente de <i>Vibrio</i>, obtenidas de colecciones internacionales y del Hellenic Centre for Marine Research. De la misma muestra se aislaron y caracterizaron los fagos ϕSt2 y ϕGrn1 para su aplicación terapéutica. Cabe recalcar que las muestras fueron obtenidas en Grecia. Se realizaron experimentos de lisis celular in vitro en <i>V. alginolyticus</i> V1, además en 13 cepas presuntivas de <i>Vibrio</i> obtenidas de cultivos vivos de <i>Artemia salina</i>, obteniendo como resultado una fuerte eficacia lítica de los dos fagos. Se realizó la administración in vivo del consorcio de fagos ϕSt2 y ϕGrn1 en alimento vivo de <i>A. salina</i>, del que se obtuvo un 93% de disminución de <i>Vibrio</i> presuntivo después de 4 horas de tratamiento.

Análisis crítico	El presente estudio se desarrolló en peces, de la especie <i>Sparus aurata</i> , los cuales se infectaron con <i>Vibrio alginolyticus</i> , una especie de microorganismos que también afecta <i>P. vannamei</i> . Lo que destaca de esta investigación es que, dentro del ámbito molecular, se aplicó la técnica de polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción (RFLP, por sus siglas en inglés) para determinar el genoma de los fagos objeto de estudio. Este estudio podría servir de base para llevarlo al ámbito de la producción de camarón.
Conclusión	Los bacteriófagos aislados ϕ St2 y ϕ Grn1 se caracterizan por tener un amplio rango de infección a <i>Vibrio</i> , convirtiéndolos en potenciales candidatos para aplicaciones en fagoterapia, además de ser considerados una alternativa viable al uso de antibióticos.
Autor	(Lelin et al., 2022)
Título	Isolation and partial characterization of bacteriophages infecting <i>Vibrio harveyi</i> from shrimp farm effluent water
Resumen	En el presente estudio se reveló que los fagos aislados demostraron una fuerte actividad lítica en <i>V. harveyi</i> , <i>V. parahaemolyticus</i> y <i>V. vulnificus</i> . La actividad de inhibición de biopelículas se realizó en diferentes <i>vibrios</i> patogénicos sobre plantillas de polietileno de alta densidad, arrojando como resultados que los fagos efectivamente inhibieron la formación de biopelículas en <i>V. harveyi</i> . Se llevó a cabo un ensayo espectrofotométrico para determinar la actividad lítica del fago aislado en cultivo líquido de <i>V. harveyi</i> , demostrando que el bacteriófago disminuye significativamente la densidad celular de <i>V. harveyi</i> en diferentes intervalos de tiempo. Respecto a la estabilidad del fago a diferente temperatura y pH, se demostró que el rango de temperatura tolerable es de 40 a 70°C y de pH tolerable es de 4 a 9. En lo referente a la curva de crecimiento de un paso, que describe el rango de ruptura que provoca el bacteriófago, alcanzó un nivel del 90% en 180 minutos.
Análisis crítico	El presente estudio se realizó en India, de donde se tomaron muestras de efluentes de agua de camaroneras de cultivo semi-intensivo de <i>P. vannamei</i> . Lo que demuestra compatibilidad con la presente investigación. Los demás métodos empleados para aislar, evaluar la actividad lítica, y condiciones que podrían afectar a los fagos fueron completos y ejecutado de manera correcta, destacando que en este estudio no se realizó caracterización morfológica de los fagos. Este estudio sirve como base para futuras investigaciones aplicadas a camaroneras en Ecuador.
Conclusión	Se encontró que los fagos aislados fueron altamente específicos contra <i>V. harveyi</i> , también siendo capaces de infectar otras especies como <i>V. parahaemolyticus</i> y <i>V. vulnificus</i> , lo que demuestra su amplio espectro lítico. También destaca su amplia tolerancia a pH y temperatura. Además, en pruebas de laboratorio los resultados exhibieron que los fagos controlaron la población de <i>V. harveyi</i> , convirtiéndolos en potenciales candidatos para terapia contra los patógenos mencionados.
Autor	(Van et al., 2024)
Título	Application of Bacteriophages to Treat Toxic Gas-producing Bacteria <i>Desulfovibrio</i> spp. In Shrimp Ponds
Resumen	En esta investigación se explora el potencial de bacteriófagos como una solución biológica para inhibir <i>Desulfovibrio</i> spp. en camaroneras. Seis cepas de

	bacteriófagos se evaluaron, (ST231, ST22, ϕMix 1, ϕS8, ϕS9, y ϕMix 2), mediante ensayos de siembra en tres diferentes horarios (3, 6 y 18 horas). Los resultados demostraron que los bacteriófagos redujeron significativamente la densidad bacteriana con el transcurso del tiempo, siendo ST22 el que más inhibición demostró. El análisis genómico de ST22 reveló que tiene genes relacionados a <i>Desulfovibrio</i> spp., específicamente Deltaproteobacteria y Desulfobacteraceae. También se encontró que el tratamiento con bacteriófagos disminuyó los niveles de H_2S y NH_3 e incremento el oxígeno disuelto en ambientes simulados a camarónicas. Se registraron cambios morfológicos en las colonias bacterianas post-tratamiento, más allá de los efectos inhibitorios de los fagos; lo que sugiere que el fago ST22 es un candidato prometedor como alternativa a los antibióticos para prevenir y controlar enfermedades causadas por <i>Desulfovibrio vulgaris</i> en cultivos de camarón.
Análisis crítico	En el presente estudio se evaluó el potencial de los fagos contra una bacteria que no es objeto de esta investigación, sin embargo, constituye un importante aporte para el sector de la producción de camarón, ya que contribuye al control biológico de patógenos y enfermedades. <i>Desulfovibrio</i> spp. resulta ser una bacteria que produce gas sulfhídrico, el cual, es tóxico para los camarones. La aplicación de los bacteriófagos objetos de estudio es considerada una alternativa confiable y sostenible para reemplazar a los antibióticos y erradicar <i>Desulfovibrio</i> spp. de las piscinas de cultivo de camarón
Conclusión	Este estudio demuestra el potencial como control biológico efectivo contra <i>D. vulgaris</i> en la acuicultura de camarón. Mediante la secuenciación del gen 16S ARNr se logró identificar, con éxito, <i>D. vulgaris</i>. El tratamiento con bacteriófagos resultó significativamente bueno para reducir H_2S y NH_3 e incrementar el oxígeno disuelto en las piscinas de camarón. Sin embargo, se necesita mayor investigación para evaluar los impactos ecológicos a largo plazo y la eficiencia del tratamiento en ecosistemas acuáticos complejos de producción de camarón a gran escala.
Autor	(L. Chen et al., 2019)
Título	Isolation and Characterization of Specific Phages to Prepare a Cocktail Preventing <i>Vibrio</i> sp. Va-F3 Infections in Shrim (<i>Litopenaeus vannamei</i>)
Resumen	En este estudio se describe un flujo de trabajo para preparar un consorcio de fagos contra infecciones de <i>Vibrio</i> para aplicaciones prácticas. Se aislaron 20 cepas de <i>Vibrio</i> del intestino de camarones enfermos y aguas residuales de camarónicas, de las cuales 5 se identificaron como patógenos causante de vibriosis. Se aislaron 22 fagos utilizando las 5 cepas patógenas como hospederos, y 5 de ellos mostraron amplio rango de infección y alta capacidad lítica contra las cepas de <i>Vibrio</i>. La secuenciación genómica y análisis filogenético de los 5 fagos mencionados dio como resultado que pertenecen a la familia <i>Siphoviridae</i>. El consorcio de los 5 fagos demostró una eficiencia superior en inhibir el crecimiento de <i>Vibrio</i> sp. Patogénico Va-F3 que otro fago solitario <i>in vitro</i>. Luego, se evaluó la actividad del consorcio de fagos para proteger a <i>P. vannamei</i> contra <i>Vibrio</i> sp. Va-F3 <i>in situ</i>; el resultado demostró que el porcentaje de sobrevivencia de camarones podría llegar al 91.4 y 91.6% en 7 días para el grupo tratado con el consorcio y el grupo tratado con antibióticos, respectivamente.

Análisis crítico	Considero que el presente estudio es muy completo, debido a que los métodos ejecutados desde la adquisición de los camarones, toma de muestra, aislamiento de bacteria, identificación molecular de la bacteria, aislamiento, caracterización e identificación de los fagos, pruebas de eficiencia y virulencia, desarrollo del consorcio de fagos cuentan con una metodología clara y orden en la realización de cada etapa. Al aplicarse el consorcio de fagos en camarones vivos, se pueden extraer conclusiones muy buenas, porque es posible realizar un análisis morfológico del camarón, es decir, los cambios que tienen los organismos sujetos a los diferentes tratamientos. Este estudio serviría de base para ser aplicado en camaronerías en Ecuador.
Conclusión	Este estudio describe un ejemplo muy claro del desarrollo de consorcios de fagos y su aplicación en tratamientos contra infecciones causadas por <i>Vibrio sp.</i> Va-F3.
Autor	(Benala et al., 2023)
Título	Genome Characterization and Infectivity Potential of Vibriophage-ΦLV6 with Lytic Activity against Luminescent <i>Vibrios</i> of <i>Penaeus vannamei</i> Shrimp Aquaculture
Resumen	El presente estudio analiza el genoma completo del Vibriofago-ΦLV6, el cual mostró actividad lítica contra seis <i>Vibrios</i> luminiscentes aislados de tanques de larva de <i>P. vannamei</i> de laboratorios de larva. El genoma del Vibriofago-ΦLV6 tuvo una longitud de 79,862 pares de bases con 48% de contenido de G+C y 107 ORFs que codificaron para 31 proteínas funcionales predictivas, 75 proteínas hipotéticas, y un ARNt. Dentro del genoma del Vibriofago-ΦLV6 no se encontraron ni genes de resistencia antimicrobiana determinantes ni genes de virulencia, lo que indica su idoneidad para aplicarlos en terapia. La microscopía de transmisión electrónica reveló que tiene cabeza icosaédrica (~73 nm) y una cola larga y flexible (~191 nm), lo que indica que pertenece a la familia <i>Siphoviridae</i> . El Vibriofago-ΦLV6 mostró un índice de multiplicidad de infección de 80, en donde inhibió el crecimiento de <i>V. harveyi</i> luminiscente a una gradiente de salinidad de 0.25% (5 ppt), 0.5% (10 ppt), 1% (20 ppt), 1.5% (30 ppt), 2%, 2.5% (40 ppt) y 3% (50 ppt). Experimentos in vivo se ejecutaron en post-larva de camarón, donde se obtuvo que el Vibriofago-ΦLV6 redujo las colonias de <i>Vibrio</i> luminiscente, así como su mortalidad. El Vibriofago-ΦLV6 sobrevivió por 30 días en concentraciones de sal de 5ppt hasta 50 ppt y resultó estable a 4°C por 12 meses.
Análisis crítico	Este estudio siguió una metodología completa para la evaluación del bacteriófago sujeto de investigación. Lo interesante de este estudio resulta es la evaluación a diferentes salinidades, dando un resultado interesante, ya que podría ser aplicado en camaronerías que toman agua de fuentes como ríos, en donde la concentración de sal es muy baja, hasta camaronerías en zonas de esteros, en donde la salinidad es muy superior. Además, cabe recalcar, que también se evaluó su estabilidad de almacenamiento, un parámetro novedoso que permite saber que es un fago muy resistente. De igual manera, resultó interesante el análisis molecular debido a que se encontraron proteínas que codifican funciones hipotéticas, de las debe investigarse a profundidad.

Conclusión	Es estudio demostró el aislamiento y la caracterización del Vibriofago-ΦLV6, y su actividad lítica, in vivo e in vitro contra <i>Vibrio harveyi</i> luminiscente. El Vibriofago-ΦLV6 codifica proteínas hipotéticas, que deben dilucidarse mediante futuras investigaciones. Tanto in vivo como in vitro se demostró su capacidad de disminuir la cepa bacteriana mencionada, incrementando la sobrevivencia de las post-larvas. Este fago podría ser una alternativa viable para sustituir el uso de antibióticos.
Autor	(Peña-Rodríguez et al., 2025)
Título	A novel vibriophage vB_Vp_PvVp04 against pathogenic <i>Vibrio parahaemolyticus</i> and its formulation for inclusion in shrimp feed
Resumen	En el presente trabajo, se describió el genoma del fago vB_Vp_PvVp04 y su rango de hospedero. Se exploró 4 estrategias para la incorporación de este fago en el alimento de camarón <i>Penaeus vannamei</i> : incluido directamente como líquido (IL); encapsulación (EN); liofilización (FD); y encapsulación + liofilización (EN + FD). Como resultados se obtuvo que vB_Vp_PvVp04 infecta <i>Vibrio parahaemolyticus</i> CIBGEN003 e inhibe el crecimiento hasta 87.6% después de 12 horas. Su rango de hospedero incluye otras especies de <i>Vibrio</i> . Su genoma de 39,824 pares de bases de longitud carece de ARNt o genes de resistencia a antibióticos, contiene 67 ORFs. Del análisis filogenético se extrae que vB_Vp_PvVp04 se lo agrupe con otros fagos de la familia <i>Myoviridae</i> . Durante la prueba de estabilidad de almacenamiento, las dietas que contenían el fago en estudio conservaron su estabilidad por 90 días, excepto en formulaciones líquidas, la cual mostró una significativa reducción. La liofilización y la encapsulación + liofilización de los fagos mostró mucho mayor presencia en el estómago de los camarones, alcanzando 10^{11} PFU/g, lo cual demostraría que estos métodos de incorporación en el alimento pueden ser estrategias viables para controlar patógenos oportunistas en cultivo de camarón blanco.
Análisis crítico	Este estudio resulta muy interesante, debido a que se evalúan métodos para incorporar en el alimento de camarón el bacteriófago vB_Vp_PvVp04, que demostró gran capacidad de hospedero, es decir, infecta varias cepas de <i>Vibrio</i> , y, además, una buena capacidad de inhibición. El aporte de este artículo a la industria resulta de mucha valía, ya que se ha demostrado que mediante el alimento se aprovecha mejor cualquier aditivo que se incorpore al protocolo alimenticio, más allá de lograr mejor sobrevivencia del camarón en piscinas.
Conclusión	El fago vB_Vp_PvVp04 demostró gran potencial como alternativa para fagoterapia contra <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , destacando que no tiene genes tóxicos, ni factores de virulencia, o genes responsables de lisogenia. Sin embargo, mayores investigaciones se necesitan para determinar el impacto del fago en el ecosistema. Las estrategias de encapsulación, liofilización y la combinación de ambas demostraron que son viables para incorporar fagos en alimento de camarón, por su estabilidad y preservación durante el almacenamiento.
Autor	(Fu & He, 2024)
Título	Genomic Characterization of a New Bacteriophage vB_VpS_PP24 infecting <i>Vibrio parahaemolyticus</i> and Its Applications in Shrimp Farming Practice
Resumen	En este estudio se realizó la secuenciación genómica del fago vB_VpS_PP24 (PP24), la cual mostró que su genoma contiene un ADN lineal de doble cadena

	con una longitud de 83,482 pares de bases y un contenido de G+C% de 45.81%. se determinó un total de 118 marcos abiertos de lectura (ORF, por sus siglas en ingles), de los cuales 13 (11%) se asignaron a genes funcionales. No se detectó ARN de transferencia, ni virulencia, ni resistencia a antibióticos o genes lisogénicos. Se evaluó la efectividad del fago mediante pruebas de cultivo en camarones. Se confirmó que el fago resultó ser muy virulento contra <i>V. parahaemolyticus</i> en las pruebas profilácticas y terapéuticas, tanto de laboratorio como en camaroneras. adicionalmente, se realizaron análisis de toxicidad agua y subcrónica para confirmar que PP24 era de aplicación segura.
Análisis crítico	Este estudio empleó 28 cepas de <i>V. parahaemolyticus</i> , de las cuales 27 fueron aisladas de hepatopáncreas de camarones enfermos recolectados de diferentes partes de China y 1 cepa se compró al Centro de Colección de Cultivos Microbianos de Guangdong. Las pruebas moleculares y bioquímicas realizadas ofrecieron un panorama sobre la genética de este fago, resaltando que no se encontraron genes de virulencia, ni resistencia a antibióticos, ni de lisogenia que pueden resultar contraproducentes para los entornos acuáticos. Cabe recalcar que se ejecutaron análisis muy completos que permitieron comprender con claridad los objetivos de este estudio. Los análisis de toxicidad ofrecieron seguridad respecto la aplicación de los fagos a las piscinas de camarón.
Conclusión	El presente estudio ofrece una visión amplia, entorno a la genética del fago objeto de la investigación; que lo convierte como un potencial candidato para controlar <i>Vibrio parahaemolyticus</i> en piscinas camaroneras, ya que mediante la serie de estudios realizados se confirmó que es un microorganismo seguro de usar.
<i>Nota.</i> Elaborado por el autor, (2025).	

Sobre la encuesta realizada se puede decir que las personas que participan en el sector acuícola, sea como propietarios de camaroneras, gerentes o asesores, han enfrentado enfermedades bacterianas causadas por *Vibrio spp.*, muchos de ellos más de una vez; que para controlarlas recurren a mecanismos naturales de control de patógenos como ácidos orgánicos, aceites esenciales, compuestos fitobióticos, prebióticos y probióticos, sin embargo, una parte de ellos aun emplean antibióticos.

También consideran que pueden probar nuevas herramientas biotecnológicas, como los bacteriófagos, como método de control de enfermedades bacterianas por *Vibrio spp.*, siempre y

cuando sea una alternativa que tenga una viable relación costo – beneficio, sin que genere efectos secundarios que perjudiquen la producción de camarón.

Capítulo V

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Las investigaciones analizadas evidencian que los bacteriófagos pueden aplacar la presencia de diversas especies patógenas de *Vibrio spp.* tales como, *V. parahaemolyticus*, *V. alginolyticus* y *V. harveyi* en los sistemas de producción de camarón, lo cual contribuye a la mejora en la sobrevivencia de los camarones en piscinas de cultivo.

La aplicación biotecnológica de los bacteriófagos en las diferentes etapas de producción de camarón es considerada una estrategia efectiva para prevenir y controlar brotes de enfermedades causadas por *Vibrio spp.* como la necrosis hepatopancreática aguda (AHPND).

Ante la creciente resistencia bacteriana a los antibióticos, se promueve a la investigación para buscar alternativas más sostenibles en el tiempo, por lo que el suministro de bacteriófagos ha demostrado ser un mecanismo viable para combatir, de forma específica, a las bacterias patógenas, en este caso *Vibrio spp.*, si causar efectos perjudiciales a los microorganismos beneficios, ni generar residuos nocivos en el ecosistema.

Una estrategia muy bien pensada para mejorar el espectro de acción y evitar la resistencia bacteriana es el desarrollo de consorcios de bacteriófagos mediante la combinación de diferentes cepas, lo cual ha demostrado mayor efectividad que el uso de una sola especie de fago.

Es importante señalar que el uso de bacteriófagos contribuye a la mejora del ambiente de los estanques, mediante la reducción de la producción de los compuestos tóxicos como el sulfuro de

hidrógeno y el amoníaco, porque elimina las colonias bacterianas que producen estos compuestos, lo que mejora las condiciones para el desarrollo del camarón.

Aunque existan resultados con alto potencial beneficioso para la industria acuícola, es necesaria mayor investigación sobre la estabilidad y persistencia de los bacteriófagos en los ambientes de cultivo que tienen características complejas; también estudios a escala industrial, es decir, en camaroneras para evaluar su aplicación comercial. Se debe promover las evaluaciones de los bacteriófagos en condiciones de temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, materia orgánica alta para determinar su estabilidad. Es indispensable mayor investigación a nivel genético, tanto de bacterias como de fagos, para determinar posibles genes que expresen resistencia a los bacteriófagos; así como mayor estudio de los bacteriófagos lisogénicos.

Ecuador es un país que lidera la producción y comercialización global del camarón, por lo que la adecuación de los bacteriófagos, como mecanismo de control de enfermedades causadas por *Vibrio spp.*, en sus sistemas de producción, podría aumentar la competitividad de la industria, erradicar el uso de antibióticos y responder a las demandas de sostenibilidad de los mercados mundiales.

5.2 Recomendaciones

Se sugiere realizar mayor investigación en Ecuador sobre el uso de bacteriófagos como mecanismo de control de enfermedades causadas por *Vibrio spp.*, porque las condiciones de cultivo que presenta la costa ecuatoriana difieren de otras regiones del mundo, y darían mejores directrices para su aplicación.

Son necesarios más estudios sobre los métodos de encapsulación de los bacteriófagos y su forma de administración, los consorcios de fagos en lugar de aplicaciones individuales, para evaluar su estabilidad, eficacia y viabilidad en los cultivos de camarón.

Se destaca la importancia de aislar y caracterizar bacteriófagos de zonas de producción de camarón de la costa ecuatoriana para conocer sus características genéticas, modo de acción, eficacia y efectividad, especificidad, con el objetivo de poder aplicarlos en los cultivos de camarón.

El uso de bacteriófagos debe acompañarse de un monitoreo continuo de la presencia de *Vibrio spp.*, tanto en agua como en camarones, para tener una idea la dosis de aplicación y combinaciones de fagos en función de los factores medioambientales y microbianos.

Se recomienda la capacitación hacia los participantes del sector acuícola, como productores, técnicos, asesores en la implementación adecuada de los fagos, su manejo y buenas prácticas para incorporarlos en los cultivos.

Por último, se considera indispensable un marco regulatorio de normativas que faciliten el uso seguro de bacteriófagos, con estándares de calidad, que aseguren la inocuidad de los cultivos y del ecosistema.

6 Referencias bibliográficas

- Abad Rosales, M. S., Betancourt Lozano, M., Vargas Albores, F., & Roque, A. (2011). *Interacción de factores físicos, químicos y biológicos en el cultivo de camarón*.
- Abdelsalam, M., Attia, M. M., Marzouk, M. S., Korany, R. M. S., Elgendy, M. Y., Soliman, A. W., Prince, A., & Hamada, A. H. (2024). Investigating dynamics, etiology, pathology, and therapeutic interventions of *Caligus clemensi* and *Vibrio alginolyticus* co-infection in farmed marine fish. *Scientific Reports*, 14(1), 20704. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70528-x>
- Aguirre Chanta, L. E., Sánchez-Suárez, H. A., Ordinola-Zapata, A., Aguirre Chanta, L. E., Sánchez-Suárez, H. A., & Ordinola-Zapata, A. (2021). Resistencia antibiótica en *Vibrio* spp aislados de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Alternativas de tratamiento con extractos de *Azadirachta indica* y *Origanum vulgare*. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(4), e19386. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i4.19386>
- Alagappan, K., Karuppiah, V., & Deivasigamani, B. (2016). Protective effect of phages on experimental *V. parahaemolyticus* infection and immune response in shrimp (Fabricius, 1798). *Aquaculture*, 453, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.037>
- Almeida, G. M. F., Mäkelä, K., Laanto, E., Pulkkinen, J., Vielma, J., & Sundberg, L.-R. (2019). The Fate of Bacteriophages in Recirculating Aquaculture Systems (RAS)—Towards Developing Phage Therapy for RAS. *Antibiotics*, 8(4), 192. <https://doi.org/10.3390/antibiotics8040192>
- Alvarado Barrera, L., Félix Zambrano, M., Zambrano Sánchez, R., & Chávez Naranjo, M. (2024). Exportación del camarón y su impacto a la economía ecuatoriana en el periodo 2019-2023. *593 Digital Publisher CEIT*, 9(5), 190–199. <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.5.2581>

- Alvarado, J. L., Ruiz, W., & Moncayo, E. (2016). Offshore aquaculture development in Ecuador. *International Journal of Research and Education*, 1(1.6).
- Anger, K. (2006). Contributions of larval biology to crustacean research: a review. *Invertebrate Reproduction & Development*, 49(3), 175–205.
<https://doi.org/10.1080/07924259.2006.9652207>
- Anushila, C., E, W. J. L., Thy, N. U., Brendan, M., L, P. K., M, D. G., & A, D. B. (2020). Parallel Genomics Uncover Novel Enterococcal-Bacteriophage Interactions. *mBio*, 11(2), 10.1128/mbio.03120-19. <https://doi.org/10.1128/mbio.03120-19>
- Armijos Suárez, M., Macuy Calle, J., Mayorga Quinteros, E., Rodríguez Valencia, L., & Clavijo Basantes, M. (2015). Análisis del impacto económico de la aplicación del Decreto N° 1391 en la regularización de la Industria Acuícola Camaronera del Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 8(16), 11–20.
- Aziz, N. S., Ibrahim, S., Zaharinie, T., & Tang, S. S. (2025). Bacteriophage encapsulation – Trends and potential applications in aquaculture. *Aquaculture*, 594, 741398.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741398>
- Bachère, E. (2000). Shrimp immunity and disease control. *Aquaculture*, 191(1–3), 3–11.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00413-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00413-0)
- Baker-Austin, C., Oliver, J. D., Alam, M., Ali, A., Waldor, M. K., Qadri, F., & Martinez-Urtaza, J. (2018). *Vibrio* spp. infections. *Nature Reviews Disease Primers*, 4(1).
<https://doi.org/10.1038/s41572-018-0005-8>

- Ballantyne, R., Lee, J.-W., Wang, S.-T., Lin, J.-S., Tseng, D.-Y., Liao, Y.-C., Chang, H.-T., Lee, T.-Y., & Liu, C.-H. (2023). Dietary administration of a postbiotic, heat-killed *Pediococcus pentosaceus* PP4012 enhances growth performance, immune response and modulates intestinal microbiota of white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 139, 108882. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108882>
- Beitl, C. (2016). The Changing Legal and Institutional Context for Recognizing Nature's Rights in Ecuador: Mangroves, Fisheries, Farmed Shrimp, and Coastal Management since 1980. *Journal of International Wildlife Law & Policy*, 19(4), 317–332. <https://doi.org/10.1080/13880292.2016.1248688>
- Benala, M., Vaiyapuri, M., Sivam, V., Raveendran, K., Mothadaka, M. P., & Badireddy, M. R. (2023). Genome Characterization and Infectivity Potential of Vibriophage- ϕ LV6 with Lytic Activity against Luminescent Vibrios of *Penaeus vannamei* Shrimp Aquaculture. *Viruses*, 15(4), 868. <https://doi.org/10.3390/v15040868>
- Bhatt, P., Brown, P. B., Huang, J. Y., Hussain, A. S., Liu, H. T., & Simsek, H. (2024). Algae and indigenous bacteria consortium in treatment of shrimp wastewater: A study for resource recovery in sustainable aquaculture system. *Environmental Research*, 250, 118447. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2024.118447>
- Blanch-Asensio, M., Tadimarri, V. S., Martinez, R., Dahiya, G. S., Lale, R., & Sankaran, S. (2025). Genetic and materials engineering to enhance inducible gene expression in lactobacilli. *bioRxiv*, 2025.01.10.632477. <https://doi.org/10.1101/2025.01.10.632477>
- Borin, J. M., Avrani, S., Barrick, J. E., Petrie, K. L., & Meyer, J. R. (2021). Coevolutionary phage training leads to greater bacterial suppression and delays the evolution of phage resistance.

- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(23), e2104592118.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2104592118>
- Boyd, C., Boyd, C., & Chainark, S. (2010). Shrimp pond soil and water quality management. En V. Alday-Sanz (Ed.), *The Shrimp Book* (illustrated, pp. 281–303). Nottingham University Press, 2010.
- Bunpa, S., Sermwittayawong, N., & Vuddhakul, V. (2016). Extracellular Enzymes Produced by *Vibrio alginolyticus* Isolated from Environments and Diseased Aquatic Animals. *Procedia Chemistry*, 18, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.01.002>
- Burgener, E. B., Cai, P. C., Kratochvil, M. J., Rojas-Hernandez, L. S., Joo, N. S., Gupta, A., Secor, P. R., Heilshorn, S. C., Spakowitz, A. J., Wine, J. J., Bollyky, P. L., & Milla, C. E. (2024). The lysogenic filamentous *Pseudomonas* bacteriophage phage Pf slows mucociliary transport. *PNAS Nexus*, 3(9). <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae390>
- Burmeister, A. R., Fortier, A., Roush, C., Lessing, A. J., Bender, R. G., Barahman, R., Grant, R., Chan, B. K., & Turner, P. E. (2020). Pleiotropy complicates a trade-off between phage resistance and antibiotic resistance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(21), 11207–11216. <https://doi.org/10.1073/pnas.1919888117>
- Butt, U. D., Lin, N., Akhter, N., Siddiqui, T., Li, S., & Wu, B. (2021). Overview of the latest developments in the role of probiotics, prebiotics and synbiotics in shrimp aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*, 114, 263–281.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.05.003>
- Ceballos-Vázquez, B. P., Palacios, E., Aguilar-Villavicencio, J., & Racotta, I. S. (2010). Gonadal development in male and female domesticated whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in

- relation to age and weight. *Aquaculture*, 308(3–4), 116–123.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.08.020>
- Chang, Y.-T., Ko, H.-T., Wu, P.-L., Kumar, R., Wang, H.-C., & Lu, H.-P. (2023). Gut microbiota of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) exhibits distinct responses to pathogenic and non-pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* . *Microbiology Spectrum*, 11(5).
<https://doi.org/10.1128/spectrum.01180-23>
- Chen, D., Wang, Z., Li, X., Du, H., Zhang, K., Cao, S., Lu, J., Zhao, S., Wang, H., & Li, Y. (2024). Biological properties of *Vibrio parahaemolyticus* lytic phages and transcriptome analysis of their interactions with the host. *Aquaculture Reports*, 39, 102450.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102450>
- Chen, L., Fan, J., Yan, T., Liu, Q., Yuan, S., Zhang, H., Yang, J., Deng, D., Huang, S., & Ma, Y. (2019). Isolation and Characterization of Specific Phages to Prepare a Cocktail Preventing *Vibrio* sp. Va-F3 Infections in Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02337>
- Chengcheng, L., Tongmei, S., Yuechao, S., & Yongyu, Z. (2022). A Novel Method to Create Efficient Phage Cocktails via Use of Phage-Resistant Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(6), e02323-21. <https://doi.org/10.1128/aem.02323-21>
- Chevallereau, A., Pons, B. J., van Houte, S., & Westra, E. R. (2022). Interactions between bacterial and phage communities in natural environments. *Nature Reviews Microbiology*, 20(1), 49–62. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00602-y>

- Choudhury, T. G., Maiti, B., Venugopal, M. N., & Karunasagar, I. (2019). Influence of some environmental variables and addition of r-lysozyme on efficacy of *Vibrio harveyi* phage for therapy. *Journal of Biosciences*, 44(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s12038-018-9830-x>
- Cisek, A. A., Dąbrowska, I., Gregorczyk, K. P., & Wyżewski, Z. (2017). Phage Therapy in Bacterial Infections Treatment: One Hundred Years After the Discovery of Bacteriophages. *Current Microbiology*, 74(2), 277–283. <https://doi.org/10.1007/s00284-016-1166-x>
- Citarasu, T., Babu, M. M., & Yilmaz, E. (2022a). Alternative medications in shrimp health management for improved production. *Aquaculture*, 561, 738695. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2022.738695>
- Citarasu, T., Babu, M. M., & Yilmaz, E. (2022b). Alternative medications in shrimp health management for improved production. *Aquaculture*, 561, 738695. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738695>
- Coulthurst, S. (2019). The Type VI secretion system: a versatile bacterial weapon. *Microbiology*, 165(5), 503–515. <https://doi.org/10.1099/mic.0.000789>
- Culot, A., Grosset, N., & Gautier, M. (2019). Overcoming the challenges of phage therapy for industrial aquaculture: A review. *Aquaculture*, 513, 734423. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734423>
- Davis, B. (2003). Filamentous phages linked to virulence of *Vibrio cholerae*. *Current Opinion in Microbiology*, 6(1), 35–42. [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(02\)00005-X](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(02)00005-X)

- De Grave, S., Cai, Y., & Anker, A. (2008). Global diversity of shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1), 287–293. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9024-2>
- De Sordi, L., Lourenço, M., & Debarbieux, L. (2019). The Battle Within: Interactions of Bacteriophages and Bacteria in the Gastrointestinal Tract. *Cell Host & Microbe*, 25(2), 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2019.01.018>
- Dedrick, R. M., Guerrero-Bustamante, C. A., Garlena, R. A., Russell, D. A., Ford, K., Harris, K., Gilmour, K. C., Soothill, J., Jacobs-Sera, D., Schooley, R. T., Hatfull, G. F., & Spencer, H. (2019). Engineered bacteriophages for treatment of a patient with a disseminated drug-resistant *Mycobacterium abscessus*. *Nature Medicine*, 25(5), 730–733. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0437-z>
- del Valle, J. C., Bonadero, M. C., & Fernández-Gimenez, A. V. (2023). *Saccharomyces cerevisiae* as probiotic, prebiotic, synbiotic, postbiotics and parabiotics in aquaculture: An overview. *Aquaculture*, 569, 739342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739342>
- Dennehy, J., & Abedon, S. T. (2021). Phage Infection and Lysis. En S. T. and B. B. H. and M. M. L. Harper David R. and Abedon (Ed.), *Bacteriophages: Biology, Technology, Therapy* (pp. 341–383). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41986-2_53
- Dias, A., João Duarte, T., Trindade, D., Costa, P., Venâncio, C., Lopes, I., Oliveira, V., Gomes, N. C. M., Almeida, A., & Pereira, C. (2024). Bacteriophages to control *Vibrio alginolyticus* in live feeds prior to their administration in larviculture. *Journal of Applied Microbiology*, 135(5). <https://doi.org/10.1093/jambio/lxae115>
- Douglas, J. (2013). *Bacteriophages*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3418-5>

- Duarte, J., Pereira, C., Moreirinha, C., Salvio, R., Lopes, A., Wang, D., & Almeida, A. (2018). New insights on phage efficacy to control *Aeromonas salmonicida* in aquaculture systems: An in vitro preliminary study. *Aquaculture*, 495, 970–982. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.002>
- Dubey, S., Singh, A., Kumar, B. T. N., Singh, N. K., & Tyagi, A. (2021). Isolation and Characterization of Bacteriophages from Inland Saline Aquaculture Environments to Control *Vibrio parahaemolyticus* Contamination in Shrimp. *Indian Journal of Microbiology*, 61(2), 212–217. <https://doi.org/10.1007/s12088-021-00934-6>
- El-Saadony, M. T., Swelum, A. A., Abo Ghanima, M. M., Shukry, M., Omar, A. A., Taha, A. E., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., El-Tarabily, K. A., & Abd El-Hack, M. E. (2022). Shrimp production, the most important diseases that threaten it, and the role of probiotics in confronting these diseases: A review. *Research in Veterinary Science*, 144, 126–140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.01.009>
- Elumalai, P., Kurian, A., Lakshmi, S., Faggio, C., Esteban, M. A., & Ringø, E. (2020). Herbal Immunomodulators in Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 29(1), 33–57. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1779651>
- Emerenciano, M. G. C., Rombenso, A. N., Vieira, F. d. N., Martins, M. A., Coman, G. J., Truong, H. H., Noble, T. H., & Simon, C. J. (2022). Intensification of Penaeid Shrimp Culture: An Applied Review of Advances in Production Systems, Nutrition and Breeding. *Animals*, 12(3), 236. <https://doi.org/10.3390/ani12030236>

- European Food Safety Authority (EFSA). (2009). The use and mode of action of bacteriophages in food production Scientific Opinion of the Panel on Biological Hazards. *EFSA Journal*, 7(5). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1076>
- Fernández, L., Gutiérrez, D., Rodríguez, A., & García, P. (2018). Application of Bacteriophages in the Agro-Food Sector: A Long Way Toward Approval. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00296>
- Flegel, T. W. (2019). A future vision for disease control in shrimp aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 50(2), 249–266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jwas.12589>
- Fortuna, M. A., Barbour, M. A., Zaman, L., Hall, A. R., Buckling, A., & Bascompte, J. (2019). Coevolutionary dynamics shape the structure of bacteria-phage infection networks. *Evolution*, 73(5), 1001–1011. <https://doi.org/10.1111/evo.13731>
- Furfaro, L. L., Payne, M. S., & Chang, B. J. (2018). Bacteriophage Therapy: Clinical Trials and Regulatory Hurdles. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00376>
- Galaviz-Silva, L., Robles-Valdez, A., Sanchez-Diaz, R., Ibarra-Gamez, J. C., Gomez-Gil, B., & Molina-Garza, Z. J. (2021). *Vibrio parahaemolyticus* strains causing acute hepatopancreatic necrosis disease in farming shrimp of Sonora, Mexico and their antibiotic resistance. *Hidrobiologica*, 31(2), 111–123. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2021v31n2/Galaviz>
- Galitzine, V., Morgan, S., & Fishwise, J. H. (2009). *Seafood Watch Seafood Report Farmed Pacific white shrimp*. www.seafoodwatch.org.

- Gan, L., Zheng, J., Xu, W.-H., Lin, J., Liu, J., Zhang, Y., Wu, Z., Lv, Z., Jia, Y., Guo, Q., Chen, S., Liu, C., Defoirdt, T., Qin, Q., & Liu, Y. (2022). Deciphering the virulent *Vibrio harveyi* causing spoilage in muscle of aquatic crustacean *Litopenaeus vannamei*. *Scientific Reports*, 12(1), 16296. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20565-1>
- Ghosh, S., Kar, P., Chakrabarti, S., Pradhan, S., Mondal, K. C., & Ghosh, K. (2023). Pathogenicity of *Vibrio harveyi* and its biocontrol using bacteriophages. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 3(4), 552–570. <https://doi.org/10.1007/s43393-023-00178-z>
- Giri, N. (2021). Bacteriophage Structure, Classification, Assembly and Phage Therapy. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 18(2), 239–250. <https://doi.org/10.13005/bbra/2911>
- Goh, J. X. H., Tan, L. T.-H., Law, J. W.-F., Ser, H.-L., Khaw, K.-Y., Letchumanan, V., Lee, L.-H., & Goh, B.-H. (2022). Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprobiotics, and postbiotics for shrimp farming. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), 1478–1557. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12659>
- Gon Choudhury, T., Tharabenahalli Nagaraju, V., Gita, S., Paria, A., & Parhi, J. (2017). Advances in Bacteriophage Research for Bacterial Disease Control in Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25(2), 113–125. <https://doi.org/10.1080/23308249.2016.1241977>
- González, R. A., Díaz, F., Licea, A., Denisse Re, A., Noemí Sánchez, L., & García-Esquivel, Z. (2010). Thermal preference, tolerance and oxygen consumption of adult white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) exposed to different acclimation temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 35(5), 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.05.004>

- González-Gómez, J. P., Soto-Rodriguez, S. A., Gomez-Gil, B., Serrano-Hernández, J. M., Lozano-Olvera, R., López-Cuevas, O., Castro-del Campo, N., & Chaidez, C. (2023). Effect of phage therapy on survival, histopathology, and water microbiota of *Penaeus vannamei* challenged with *Vibrio parahaemolyticus* causing acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND). *Aquaculture*, 576, 739851. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739851>
- Gracia Valenzuela, M. H., Márquez Castillo, A., Leyva, J. M., Ortega Ramirez, L. A., Cardoso Antonio, J. O., Sital Gastelum, M. I., Galindo Felix, J. I., & Gutiérrez Pacheco, M. M. (2024). Resistencia a antibióticos de vibrios aislados durante el cultivo de. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 20(2), 34–39.
- Griffith, D. R. W. (2007). *Shrimp production in Ecuador: Overcoming environmental constraints*. <https://cabidigitallibrary.org>
- Gutiérrez Fernández, D., Fernández Llamas, L., Rodríguez González, A., & García Suárez, P. (2020). Bacteriófagos y endolisinas en la industria alimentaria. *Arbor*, 196(795), 544. <https://doi.org/10.3989/arbor.2020.795n1008>
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 18(2), e1230. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cl2.1230>
- Hamlin, C. (2009). *Cholera: The Biography*. Oxford University Press Inc. <https://books.google.com.ec/books?id=odoVDAAQBAJ>

- Hembrom, P. S., Barik, S., Deepthi, M., Kanno, S., & Grace, T. (2023). Influence of gut microbiome on health and development of penaeid shrimps. *Aquatic Sciences*, 86(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-01018-x>
- Hernández Barrios, E. F., Albis Arrieta, A., Cervera Cahuana, S., Hernandez Barrios, E., Arrieta, A. A., Cervera, S., Extrusión, C. ", Calidad, Y., En, F., & De, F. (s. f.). *Extrusión y calidad física en formulaciones de alimento para engorde de camarones: una revisión*. <https://doi.org/10.15665/rp.v22i2.3267>
- Hossain, Md. M. M., Tanni, L. N., Rahman, Md. A., Farjana, N., Moon, R. S., Tonni, N. Z., Mekat, M. R., Mojumdar, S., Rahman, N., Sen, B. K., Rojoni, S. A., Rubayea, U., & Saha, P. K. (2024). Bacteriophage and non-pathogenic *Vibrio* to control diseases in shrimp aquaculture. *Comparative Immunology Reports*, 6, 200126. <https://doi.org/10.1016/j.cirep.2023.200126>
- Howard-Varona, C., Hargreaves, K. R., Abedon, S. T., & Sullivan, M. B. (2017). Lysogeny in nature: mechanisms, impact and ecology of temperate phages. *The ISME Journal*, 11(7), 1511–1520. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.16>
- Hsu, T.-K., Shih, H.-Y., Huang, H.-J., Hsu, J. C.-K., Wang, H.-C., Chen, Y.-Y., & Chen, L.-L. (2024). Isolation and characterization of the novel phage BP14 for lysing *Vibrio parahaemolyticus* and reducing virulence proteins. *Aquaculture*, 581, 740484. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740484>
- Huang, Y., Huang, Y., Wu, Z., Fan, Z., Zheng, F., Liu, Y., & Xu, X. (2025). Characterization and genomic insights into bacteriophages Kpph1 and Kpph9 against hypervirulent carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae*. *Virulence*, 16(1). <https://doi.org/10.1080/21505594.2025.2450462>

- Ibrahim, W. N. W., Aznan, A. S., Saari, N. A., Leong, L. K., Musa, N., Razzak, L. A., Danish-Daniel, M., Zainathan, S. C., Din, M. S. M., Ghaffar, M. A., & Musa, N. (2017). In-vitro characterization of lytic bacteriophage PhVh6 as potential biocontrol agent against pathogenic *Vibrio harveyi*. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 10(1), 64–76. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/vitro-characterization-lytic-bacteriophage-phvh6/docview/2056428622/se-2?accountid=171402>
- Imhoff, J. F. (2005). “Vibrionales”. En D. J. Brenner, N. R. Krieg, J. T. Staley, G. M. Garrity, D. R. Boone, P. De Vos, M. Goodfellow, F. A. Rainey, & K.-H. Schleifer (Eds.), *Bergey’s Manual® of Systematic Bacteriology: Volume Two The Proteobacteria Part B The Gammaproteobacteria* (pp. 491–555). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-28022-7_11
- Ina-Salwany, M. Y., Al-saari, N., Mohamad, A., Mursidi, F.-A., Mohd-Aris, A., Amal, M. N. A., Kasai, H., Mino, S., Sawabe, T., & Zamri-Saad, M. (2019). Vibriosis in Fish: A Review on Disease Development and Prevention. *Journal of Aquatic Animal Health*, 31(1), 3–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aah.10045>
- Jacobs Slifka, K. M., Newton, A. E., & Mahon, B. E. (2017). *Vibrio alginolyticus* infections in the USA, 1988–2012. *Epidemiology and Infection*, 145(7), 1491–1499. <https://doi.org/DOI:10.1017/S0950268817000140>
- Jamal, M. T., Abdulrahman, I. A., Al Harbi, M., & Chithambaran, S. (2019). Probiotics as alternative control measures in shrimp aquaculture: A review. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 7(3), 69–77.

- Jeschke, J. (2024). *Regulatory and Scientific Strategies to Combat Antimicrobial Resistance in the EU* [Masterarbeit]. Universität Bonn.
- Ji, M., Liu, Z., Sun, K., Li, Z., Fan, X., & Li, Q. (2020). Bacteriophages in water pollution control: Advantages and limitations. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 15(5), 84. <https://doi.org/10.1007/s11783-020-1378-y>
- Joy, J. P. (2021). Exploring the Lytic and Lysogenic Life Cycles of Bacteriophages. *CourseSource*, 8. <https://doi.org/10.24918/cs.2021.6>
- Kalatzis, P., Castillo, D., Katharios, P., & Middelboe, M. (2018). Bacteriophage Interactions with Marine Pathogenic Vibrios: Implications for Phage Therapy. *Antibiotics*, 7(1), 15. <https://doi.org/10.3390/antibiotics7010015>
- Kalatzis, P. G., Bastías, R., Kokkari, C., & Katharios, P. (2016). Isolation and Characterization of Two Lytic Bacteriophages, ϕ St2 and ϕ Grn1; Phage Therapy Application for Biological Control of *Vibrio alginolyticus* in Aquaculture Live Feeds. *PLOS ONE*, 11(3), e0151101. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151101>
- Kanarek, K., Keppel, K., Cohen, H., Fridman, C. M., Gerlic, M., & Salomon, D. (2025). Assessing toxicity and competitive fitness of vibrios isolated from coastal waters in Israel. *bioRxiv*, 2025.01.15.632581. <https://doi.org/10.1101/2025.01.15.632581>
- Kar, P., Das, T. Kr., Ghosh, S., Pradhan, S., Chakrabarti, S., Mondal, K. Ch., & Ghosh, K. (2022). Characterization of a *Vibrio*-infecting bacteriophage, VPMCC5, and proposal of its incorporation as a new genus in the Zobellviridae family. *Virus Research*, 321, 198904. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.virusres.2022.198904>

- Karczewska, M., Strzelecki, P., Szalewska-Pałasz, A., & Nowicki, D. (2023). How to Tackle Bacteriophages: The Review of Approaches with Mechanistic Insight. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4447. <https://doi.org/10.3390/ijms24054447>
- Katharios, P., Kalatzis, P. G., Kokkari, C., Sarropoulou, E., & Middelboe, M. (2017). Isolation and characterization of a N4-like lytic bacteriophage infecting *Vibrio splendidus*, a pathogen of fish and bivalves. *PLOS ONE*, 12(12), e0190083-. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190083>
- Knipe, H., Temperton, B., Lange, A., Bass, D., & Tyler, C. R. (2021). Probiotics and competitive exclusion of pathogens in shrimp aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 324–352. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12477>
- Konopacki, M., Grygorcewicz, B., Dołęgowska, B., Kordas, M., & Rakoczy, R. (2020). PhageScore: A simple method for comparative evaluation of bacteriophages lytic activity. *Biochemical Engineering Journal*, 161, 107652. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107652>
- Kowalska, J. D., Kazimierczak, J., Sowińska, P. M., Wójcik, E. A., Siwicki, A. K., & Dastyh, J. (2020). Growing Trend of Fighting Infections in Aquaculture Environment—Opportunities and Challenges of Phage Therapy. *Antibiotics*, 9(6), 301. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9060301>
- Kulkarni, A., Krishnan, S., Anand, D., Kokkattunivarthil Uthaman, S., Otta, S. K., Karunasagar, I., & Kooloth Valappil, R. (2021). Immune responses and immunoprotection in crustaceans with special reference to shrimp. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 431–459. <https://doi.org/10.1111/raq.12482>

- Kumar, V., Roy, S., Behera, B. K., Bossier, P., & Das, B. K. (2021). Acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND): Virulence, pathogenesis and mitigation strategies in Shrimp aquaculture. En *Toxins* (Vol. 13, Número 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/toxins13080524>
- Le, T. S., Southgate, P. C., O'Connor, W., Abramov, T., Shelley, D., V. Vu, S., & Kurtböke, D. İ. (2020). Use of Bacteriophages to Control *Vibrio* Contamination of Microalgae Used as a Food Source for Oyster Larvae During Hatchery Culture. *Current Microbiology*, 77(8), 1811–1820. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-01981-w>
- Lelin, C., Thirumalaikumar, E., Uma, G., Babu, M. M., Ajan, C., Vimal, S., & Citarasu, T. (2022). Isolation and partial characterization of bacteriophages infecting *Vibrio harveyi* from shrimp farm effluent water. *Aquaculture International*, 30(4), 2081–2094. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00891-x>
- Letchumanan, V., Chan, K.-G., Pusparajah, P., Saokaew, S., Duangjai, A., Goh, B.-H., Ab Mutalib, N.-S., & Lee, L.-H. (2016). Insights into Bacteriophage Application in Controlling *Vibrio* Species. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01114>
- Li, L., Meng, H., Gu, D., Li, Y., & Jia, M. (2019). Molecular mechanisms of *Vibrio parahaemolyticus* pathogenesis. *Microbiological Research*, 222, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.03.003>
- Li, L., Yu, M., Yang, C., Deng, C., Ma, L., & Liu, Y. (2022). Effects of abiotic factors on the stability and infectivity of polyvalent coliphage. *Water Science and Technology*, 85(1), 141–151. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.505>

- Ling, C., Quan, L., Jiqiang, F., Tingwei, Y., Haoran, Z., Jinfang, Y., Deng, D., Chaolan, L., Ting, W., & Yingfei, M. (2020). Characterization and Genomic Analysis of ValSw3-3, a New Siphoviridae Bacteriophage Infecting *Vibrio alginolyticus*. *Journal of Virology*, *94*(10), 10.1128/jvi.00066-20. <https://doi.org/10.1128/jvi.00066-20>
- Liu, D., Van Belleghem, J. D., de Vries, C. R., Burgener, E., Chen, Q., Manasherob, R., Aronson, J. R., Amanatullah, D. F., Tamma, P. D., & Suh, G. A. (2021). The Safety and Toxicity of Phage Therapy: A Review of Animal and Clinical Studies. *Viruses*, *13*(7), 1268. <https://doi.org/10.3390/v13071268>
- Liu, R., Han, G., Li, Z., Cun, S., Hao, B., Zhang, J., & Liu, X. (2022). Bacteriophage therapy in aquaculture: current status and future challenges. *Folia Microbiologica*, *67*(4), 573–590. <https://doi.org/10.1007/s12223-022-00965-6>
- Llop Hernández, A., Margarita, M., Vivanco, V.-D., Luis, J., & Silva, Z. (2001). *Microbiología y Parasitología Médicas Tomo I*.
- Loh, B., Kuhn, A., & Leptihn, S. (2019). The fascinating biology behind phage display: filamentous phage assembly. *Molecular Microbiology*, *111*(5), 1132–1138. <https://doi.org/10.1111/mmi.14187>
- Lomelí Ortega, C. O., Barajas Sandoval, D. R., Martínez Villalobos, J. M., Jaramillo, C. R., Chávez, E. M., Gómez Gil, B., Balcázar, J. L., & Quiroz Guzmán, E. (2023). A Broad-Host-Range Phage Cocktail Selectively and Effectively Eliminates *Vibrio* Species from Shrimp Aquaculture Environment. *Microbial Ecology*, *86*(2), 1443–1446. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02118-1>

- López López, J. P., Córdova Pacheco, A., Morales Carrasco, L., & Barona Oñate, R. (2023). El consumo mundial de camarón: Una perspectiva de la producción ecuatoriana y la demanda europea. *Revista Económica*, 11(1), 78–85. <https://doi.org/10.54753/rve.v11i1.1621>
- Loponte, R., Pagnini, U., Iovane, G., & Pisanelli, G. (2021). Phage Therapy in Veterinary Medicine. *Antibiotics*, 10(4), 421. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10040421>
- Lutfullayevich, H. F. (2023). Characteristics of Bacteriophages. Methods of Working With Bacteriophages. *Web of Synergy: International Interdisciplinary Research Journal*, 969–973. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Ma, L., Roux, S., Hua, X., Wang, Y., Loh, B., & Leptihn, S. (2022). *From motor protein to toxin: Mutations in the zonula occludens toxin (Zot) of Vibrio cholerae phage CTXφ suggest a loss of phage assembly function.* <https://doi.org/10.1101/2022.09.21.508815>
- Maestri, A., Pursey, E., Chong, C., Pons, B. J., Gandon, S., Custodio, R., Chisnall, M., Grasso, A., Paterson, S., Baker, K., Houte, S. van, Chevallereau, A., & Westra, E. R. (2023). Bacterial defences interact synergistically by disrupting phage cooperation. *bioRxiv*, 2023.03.30.534895. <https://doi.org/10.1101/2023.03.30.534895>
- Makarov, R., Lomelí-Ortega, C. O., Zermeño-Cervantes, L. A., García-Álvarez, E., Gutiérrez-Rivera, J. N., Cardona-Félix, C. S., & Martínez-Díaz, S. F. (2019). Evaluation of a cocktail of phages for the control of presumptive *Vibrio parahaemolyticus* strains associated to acute hepatopancreatic necrosis disease. *Aquaculture Research*, 50(11), 3107–3116. <https://doi.org/10.1111/are.14258>
- Malik, D. J., Sokolov, I. J., Vinner, G. K., Mancuso, F., Cinquerrui, S., Vladislavljevic, G. T., Clokie, M. R. J., Garton, N. J., Stapley, A. G. F., & Kirpichnikova, A. (2017). Formulation,

- stabilisation and encapsulation of bacteriophage for phage therapy. *Advances in Colloid and Interface Science*, 249, 100–133. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.05.014>
- Mäntynen, S., Laanto, E., Oksanen, H. M., Poranen, M. M., & Díaz-Muñoz, S. L. (2021). Black box of phage–bacterium interactions: exploring alternative phage infection strategies. *Open Biology*, 11(9). <https://doi.org/10.1098/rsob.210188>
- Marcillo, F. (2017). *Shrimp Farming and the Environment in Ecuador: Past and Present*. <https://www.researchgate.net/publication/360611797>
- Mariappan, K., Kumar Jangam, A., & Pr, A. (2015). *Training Needs of Extension Personnel in Pacific White Shrimp (Litopenaeus vannamei) Farming*. <https://www.researchgate.net/publication/311493695>
- Meyer, J. R., Dobias, D. T., Weitz, J. S., Barrick, J. E., Quick, R. T., & Lenski, R. E. (2012). Repeatability and Contingency in the Evolution of a Key Innovation in Phage Lambda. *Science*, 335(6067), 428–432. <https://doi.org/10.1126/science.1214449>
- Mishra, A., Kim, H. S., Kumar, R., & Srivastava, V. (2024). Advances in Vibrio-related infection management: an integrated technology approach for aquaculture and human health. En *Critical Reviews in Biotechnology*. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/07388551.2024.2336526>
- Mishra, J. K., Samocha, T. M., Patnaik, S., Speed, M., Gandy, R. L., & Ali, A. M. (2008). Performance of an intensive nursery system for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, under limited discharge condition. *Aquacultural Engineering*, 38(1), 2–15. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2007.10.003>

- Mustapha, S., Mustapha, E. M., & Nozha, C. (2013). *Vibrio alginolyticus*: an emerging pathogen of foodborne diseases. *International Journal of Science and Technology*, 2(4), 302–309.
- Muthukrishnan, S., Defoirdt, T., Ina-Salwany, M. Y., Yusoff, F. M., Shariff, M., Ismail, S. I., & Natrah, I. (2019). *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio harveyi* causing Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) in *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) isolated from Malaysian shrimp ponds. *Aquaculture*, 511, 734227. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734227>
- Nachimuthu, R., Madurantakam Royam, M., Manohar, P., & Leptihn, S. (2021). Application of bacteriophages and endolysins in aquaculture as a biocontrol measure. En *Biological Control* (Vol. 160). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104678>
- Nguyen, K. A. T., Nguyen, T. A. T., Jolly, C., & Nguelifack, B. M. (2020). Economic Efficiency of Extensive and Intensive Shrimp Production under Conditions of Disease and Natural Disaster Risks in Khánh Hòa and Trà Vinh Provinces, Vietnam. *Sustainability*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/su12052140>
- Ninawe, A. S., Sivasankari, S., Ramasamy, P., Kiran, G. S., & Selvin, J. (2020). Bacteriophages for aquaculture disease control. *Aquaculture International*, 28(5), 1925–1938. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00567-4>
- Noman, M., Kazmi, S. S. U. H., Saqib, H. S. A., Fiaz, U., Pastorino, P., Barcelò, D., Tayyab, M., Liu, W., Wang, Z., & Yaseen, Z. M. (2024). Harnessing probiotics and prebiotics as eco-friendly solution for cleaner shrimp aquaculture production: A state of the art scientific consensus. *Science of The Total Environment*, 915, 169921. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169921>

- Nurhafizah, W. W. I., Lee, K. L., Laith A., A. R., Nadirah, M., Danish-Daniel, M., Zainathan, S. C., & Najiah, M. (2021). Virulence properties and pathogenicity of multidrug-resistant *Vibrio harveyi* associated with luminescent vibriosis in Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 186, 107594. <https://doi.org/10.1016/J.JIP.2021.107594>
- Oliveira, J., Castilho, F., Cunha, A., & Pereira, M. J. (2012). Bacteriophage therapy as a bacterial control strategy in aquaculture. *Aquaculture International*, 20(5), 879–910. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9515-7>
- Olszak, T., Latka, A., Roszniowski, B., Valvano, M. A., & Drulis-Kawa, Z. (2017). Phage Life Cycles Behind Bacterial Biodiversity. *Current Medicinal Chemistry*, 24(36). <https://doi.org/10.2174/0929867324666170413100136>
- Padfield, D., Castledine, M., & Buckling, A. (2020). Temperature-dependent changes to host–parasite interactions alter the thermal performance of a bacterial host. *The ISME Journal*, 14(2), 389–398. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0526-5>
- Pal, S. (2015). Phage Therapy an alternate disease control in Aquaculture: A review on recent advancements. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)* , 8(9), 68–81. <https://doi.org/10.9790/2380-08916881>
- Parcey, M., Gayder, S., Castle, A. J., & Svircev, A. M. (2020). Molecular Profile of Phage Infection: A Novel Approach for the Characterization of *Erwinia* Phages through qPCR. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2), 553. <https://doi.org/10.3390/ijms21020553>
- Paria, P., Behera, B. K., Mohapatra, P. K. Das, & Parida, P. K. (2021). Virulence factor genes and comparative pathogenicity study of tdh, trh and tlh positive *Vibrio parahaemolyticus* strains

- isolated from Whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in India. *Infection, Genetics and Evolution*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2021.105083>
- Park, S. Y., Han, J. E., Kwon, H., Park, S. C., & Kim, J. H. (2020). Recent Insights into *Aeromonas salmonicida* and Its Bacteriophages in Aquaculture: A Comprehensive Review. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(10), 1443–1457. <https://doi.org/10.4014/jmb.2005.05040>
- Peña-Rodríguez, A., Ramírez-Sánchez, I., Leptihn, S., & Quiroz-Guzmán, E. (2025). A novel vibriophage vB_Vp_PvVp04 against pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* and its formulation for inclusion in shrimp feed. *Aquaculture International*, 33(1). <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01797-6>
- Pesantez, J. P., Ríos-Villacorta, A., & González-Redrován, J. (2021). Integration of photovoltaic solar systems in the intensive and extensive shrimp sector of Ecuador: El Oro province study case. *Revista Politecnica*, 47(2), 7–16. <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.01>
- Piel, D., Bruto, M., Labreuche, Y., Blanquart, F., Goudenège, D., Barcia-Cruz, R., Chenivesse, S., Le Panse, S., James, A., Dubert, J., Petton, B., Lieberman, E., Wegner, K. M., Hussain, F. A., Kauffman, K. M., Polz, M. F., Bikard, D., Gandon, S., Rocha, E. P. C., & Le Roux, F. (2022). Phage–host coevolution in natural populations. *Nature Microbiology*, 7(7), 1075–1086. <https://doi.org/10.1038/s41564-022-01157-1>
- Pinto, G., Almeida, C., & Azeredo, J. (2020). Bacteriophages to control Shiga toxin-producing *E. coli* – safety and regulatory challenges. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(8), 1081–1097. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1805719>

- Plaza, N., Castillo, D., Pérez-Reytor, D., Higuera, G., García, K., & Bastías, R. (2018). Bacteriophages in the control of pathogenic vibrios. *Electronic Journal of Biotechnology*, 31, 24–33. <https://doi.org/10.1016/J.EJBT.2017.10.012>
- Pradeep, A., Ramasamy, S., Veniemilda, J., & Vinod Kumar, C. (2022). Effect of pH & temperature variations on phage stability. A crucial prerequisite for successful phage therapy. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 13(12), 5178–5182.
- Quiroz Guzmán, E., Peña Rodriguez, A., Vázquez Juárez, R., Barajas Sandoval, D. R., Balcázar, J. L., & Martínez Díaz, S. F. (2018). Bacteriophage cocktails as an environmentally-friendly approach to prevent *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio harveyi* infections in brine shrimp (*Artemia franciscana*) production. *Aquaculture*, 492, 273–279. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.04.025>
- Rai, S., Kaur, B., Singh, P., Singh, A., Benjakul, S., Vijay Kumar Reddy, S., Nagar, V., & Tyagi, A. (2024). Perspectives on phage therapy for health management in aquaculture. *Aquaculture International*, 32(2), 1349–1393. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01220-6>
- Ramos-Vivas, J., Superio, J., Galindo-Villegas, J., & Acosta, F. (2021). Phage Therapy as a Focused Management Strategy in Aquaculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19), 10436. <https://doi.org/10.3390/ijms221910436>
- Ray, A. J., Dillon, K. S., & Lotz, J. M. (2011). Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacultural Engineering*, 45(3), 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.09.001>

- Reza, Md. S., Alam, Md. M., Khan, M. F. R., & Rahman, M. (2024). Phage therapy to combat antibiotic resistance in aquaculture. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, 13(3), 104–106. <https://doi.org/10.15406/jamb.2024.13.00403>
- Rives Catalá, D. (2022). *Estudio de fiabilidad de la cadena de frío en la maquila del camaron. Empresa Pesquera Industrial Sancti Spiritus*. Universidad de Sancti Spiritus.
- Romero-Calle, D., Guimarães Benevides, R., Góes-Neto, A., & Billington, C. (2019). Bacteriophages as Alternatives to Antibiotics in Clinical Care. *Antibiotics*, 8(3), 138. <https://doi.org/10.3390/antibiotics8030138>
- Roughgarden, J. (2024). Lytic/Lysogenic Transition as a Life-History Switch. *Virus Evolution*, 10(1). <https://doi.org/10.1093/ve/veae028>
- Rowley, A. F., Coates, C. J., & Whitten, M. M. A. (2022). Invertebrate Pathology. *Oxford University Press*, 400–425. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198853756.001.0001>
- Safari, F., Sharifi, M., Farajnia, S., Akbari, B., Karimi Baba Ahmadi, M., Negahdaripour, M., & Ghasemi, Y. (2020). The interaction of phages and bacteria: the co-evolutionary arms race. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(2), 119–137. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1674774>
- Sanches Fernandes, G. M. M., Sá Correia, I., & Costa, R. (2022). Vibriosis Outbreaks in Aquaculture: Addressing Environmental and Public Health Concerns and Preventive Therapies Using Gilthead Seabream Farming as a Model System. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.904815>

- Sanches-Fernandes, G. M. M., Sá-Correia, I., & Costa, R. (2022). Vibriosis Outbreaks in Aquaculture: Addressing Environmental and Public Health Concerns and Preventive Therapies Using Gilthead Seabream Farming as a Model System. En *Frontiers in Microbiology* (Vol. 13). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.904815>
- Sathish Kumar, T., Vidya, R., Kumar, S., Alavandi, S. V., & Vijayan, K. K. (2017). Zoea-2 syndrome of *Penaeus vannamei* in shrimp hatcheries. *Aquaculture*, 479, 759–767. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.022>
- Schlundt, J., Tay, M. Y. F., Chengcheng, H., & Liwei, C. (2020). Food Security: Microbiological and Chemical Risks. En A. J. Masys, R. Izurieta, & M. Reina Ortiz (Eds.), *Global Health Security: Recognizing Vulnerabilities, Creating Opportunities* (pp. 231–274). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23491-1_11
- Schneider, C. L. (2021). Bacteriophage-Mediated Horizontal Gene Transfer: Transduction. En S. T. and B. B. H. and M. M. L. Harper David R. and Abedon (Ed.), *Bacteriophages: Biology, Technology, Therapy* (pp. 151–192). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41986-2_4
- Schulz, P., Pajdak-Czaus, J., & Siwicki, A. K. (2022). In Vivo Bacteriophages' Application for the Prevention and Therapy of Aquaculture Animals—Chosen Aspects. *Animals*, 12(10), 1233. <https://doi.org/10.3390/ani12101233>
- Seethalakshmi, P. S., Rajeev, R., Kiran, G. S., & Selvin, J. (2021). Shrimp disease management for sustainable aquaculture: innovations from nanotechnology and biotechnology. *Aquaculture International*, 29(4), 1591–1620. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00698-2>

- Sharma, S., Chatterjee, S., Datta, S., Prasad, R., Dubey, D., Prasad, R. K., & Vairale, M. G. (2017). Bacteriophages and its applications: an overview. *Folia Microbiologica*, 62(1), 17–55. <https://doi.org/10.1007/s12223-016-0471-x>
- Shields, J. D. (2019). Climate change enhances disease processes in crustaceans: case studies in lobsters, crabs, and shrimps. *Journal of Crustacean Biology*, 39(6), 673–683. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruz072>
- Shin, H. S., Montachana Chimborazo, M. E., Escobar Rivas, J. M., Lorenzo-Felipe, Á., Martínez Soler, M., Zamorano Serrano, M. J., Fernández Martín, J., Ramírez Artiles, J. S., Peñate Sánchez, A., Lorenzo Navarro, J., Intriago Díaz, W., Torres, R., Reyes Abad, E., & Afonso López, J. M. (2023). Genetic parameters for growth and morphological traits of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* from a selective breeding programme in the industrial sector of Ecuador. *Aquaculture Reports*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101649>
- Siringan, P., Connerton, P. L., Cummings, N. J., & Connerton, I. F. (2014). Alternative bacteriophage life cycles: the carrier state of *Campylobacter jejuni*. *Open Biology*, 4(3), 130200. <https://doi.org/10.1098/rsob.130200>
- Siyanbola, K. F., Ejiohuo, O., Ade-adekunle, O. A., Adekunle, F. O., Onyeaka, H., Furr, C.-L. L., Hodges, F. E., Carvalho, P., & Oladipo, E. K. (2024). Bacteriophages: sustainable and effective solution for climate-resilient agriculture. *Sustainable Microbiology*, 1(1), qvae025. <https://doi.org/10.1093/sumbio/qvae025>
- Sreelakshmi, B. (2011). *Molecular Approaches For Characterization And Determination Of Pathogenicity Of Vibrios With Special Reference To Vibrio Harveyi From Penaeus Monodon*

Larval Production Systems [Cochin University of Science and Technology].
[//dyuthi.cusat.ac.in/purl/3697](https://dyuthi.cusat.ac.in/purl/3697)

- Srinivasan, R., Chaitanyakumar, A., Subramanian, P., Mageswari, A., Gomathi, A., Aswini, V., Sankar, A. M., Ramya, M., & Gothandam, K. M. (2020). Recombinant engineered phage-derived enzybiotic in *Pichia pastoris* X-33 as whole cell biocatalyst for effective biocontrol of *Vibrio parahaemolyticus* in aquaculture. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 1576–1585.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.042>
- Srirengaraj, V., Razafindralambo, H. L., Rabetafika, H. N., Nguyen, H.-T., & Sun, Y.-Z. (2023). Synbiotic Agents and Their Active Components for Sustainable Aquaculture: Concepts, Action Mechanisms, and Applications. *Biology*, 12(12).
<https://doi.org/10.3390/biology12121498>
- Stone, E., Campbell, K., Grant, I., & McAuliffe, O. (2019). Understanding and Exploiting Phage–Host Interactions. *Viruses*, 11(6), 567. <https://doi.org/10.3390/v11060567>
- Summers, W. (2006). Phage and the Early Development of Molecular Biology. En R. Calendar (Ed.), *The Bacteriophages* (Segunda Edición, pp. 3–7). Oxford University Press.
- Tao, L., Lu, H., Xiong, J., Zhang, L., Sun, W., & Shan, X. (2024). The application and potential of postbiotics as sustainable feed additives in aquaculture. *Aquaculture*, 592, 741237.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741237>
- Thakur, K., Patanasatienkul, T., Laurin, E., Vanderstichel, R., Corsin, F., & Hammell, L. (2018). Production characteristics of intensive whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in

- four Vietnam Provinces. *Aquaculture Research*, 49(8), 2625–2632.
<https://doi.org/10.1111/are.13720>
- Themptander, K. (2005). *Detection and characterisation of Vibrio harveyi isolates*. Department of Medical Biochemistry and Microbiology.
- Thompson, C. C., Vicente, A. C. P., Souza, R. C., Vasconcelos, A. T. R., Vesth, T., Alves, N., Ussery, D. W., Iida, T., & Thompson, F. L. (2009). Genomic taxonomy of vibrios. *BMC Evolutionary Biology*, 9(1), 258. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-9-258>
- Thornber, K., Verner-Jeffreys, D., Hinchliffe, S., Rahman, M. M., Bass, D., & Tyler, C. R. (2020). Evaluating antimicrobial resistance in the global shrimp industry. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 966–986. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12367>
- Todorov, S. D., Carneiro, K. O., Lipilkina, T. A., Do, H.-K., Miotto, M., De Dea Lindner, J., & Chikindas, M. L. (2024). Beneficial microorganisms for the health-promoting in oyster aquaculture: realistic alternatives. *Aquaculture International*, 32(7), 10085–10107. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01651-9>
- Trujillo, L., Rivera, L., Hardy, E., Llumiquinga, E., Garrido, F., Chávez, J., Abril, V., & País-Chanfrau, J. (2017). Estrategias Naturales para Mejorar el Crecimiento y la Salud en los Cultivos Masivas de Camarón en Ecuador. *Bionatura*, 2(2), 318–325. <https://doi.org/10.2.1931/RB/2017.02.02.8>
- Tynecki, P., Guziński, A., Kazimierzak, J., Jadczyk, M., Dastyk, J., & Onisko, A. (2020). PhageAI - Bacteriophage Life Cycle Recognition with Machine Learning and Natural Language Processing. *bioRxiv*, 2020.07.11.198606. <https://doi.org/10.1101/2020.07.11.198606>

- Van, T. T. B., Minh Thu, T. V., Vo, V.-T., & Loan Anh, N. T. (2024). Application of Bacteriophages to Treat Toxic Gas-producing Bacteria *Desulfovibrio* spp. in Shrimp Ponds. *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 76(4). <https://doi.org/10.46989/001c.125735>
- Vandeputte, M., Kashem, Md. A., Bossier, P., & Vanrompay, D. (2024). *Vibrio* pathogens and their toxins in aquaculture: A comprehensive review. *Reviews in Aquaculture*, 16(4), 1858–1878. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12926>
- Varela Mejías, A., Peña, N., & Aranguren Caro, L. F. (2017). Necrosis aguda del hepatopáncreas: una revisión de la enfermedad en *Penaeus vannamei*. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 735. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i3.27788>
- Verbeken, G., Pirnay, J.-P., Lavigne, R., Jennes, S., De Vos, D., Casteels, M., & Huys, I. (2014). Call for a Dedicated European Legal Framework for Bacteriophage Therapy. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 62(2), 117–129. <https://doi.org/10.1007/s00005-014-0269-y>
- Victoria Blanco, E. E., González Gómez, J. P., Medina Sánchez, J. R., Martínez, A. A., Castro del Campo, N., Chaidez Quiroz, C., Querol Audi, J., & Martínez Torres, A. O. (2024). Characterization of *Enterobacter* phage vB_EcRAM-01, a new Pseudotevenvirus against *Enterobacter cloacae*, isolated in an urban river in Panama. *PLOS ONE*, 19(12), e0310824. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310824>
- Viera-Romero, A. M., Diemont, S. A. W., Selfa, T. L., & Luzadis, V. A. (2024). The sustainability of shrimp aquaculture: An emergy-based case study in the Gulf of Guayaquil thirty years later. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 194, 114326. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114326>

- Wang, R., Zhong, Y., Gu, X., Yuan, J., Saeed, A. F., & Wang, S. (2015). The pathogenesis, detection, and prevention of *Vibrio parahaemolyticus*. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00144>
- Wang, Z., Yang, J., Yang, L., Zhong, Y., & Wang, P. (2024). Characteristics of a pseudolysogenic phage vB_YpM_HQ103 infecting *Yersinia pestis*. *Virus Research*, 346, 199395. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2024.199395>
- Wolin, M. J., Wolin, E. A., & Jacobs, N. J. (1961). Cytochrome-producing anaerobic vibrio, *Vibrio succinogenes*, sp. n. *Journal of bacteriology*, 81(6), 911–917.
- Wurmann, C. G., Madrid, R. M., & Brugger, A. M. (2004). Shrimp farming in Latin America: Current status, opportunities, challenges and strategies for sustainable development. *Aquaculture Economics and Management*, 8(3–4), 117–141. <https://doi.org/10.1080/13657300409380358>
- Xue, M., He, Y., Chen, D., Wang, L., Liang, H., Liu, J., & Wen, C.-Q. (2020). Temporal dynamics of aquatic microbiota and their correlation with environmental factors during larviculture of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 529, 735605. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735605>
- Yang, L., Yang, Q., Hu, R.-G., Cong, W., Li, S., & Kang, Y.-H. (2024). The evaluation of bacteriophage therapy in aquaculture: A systematic review and meta-analysis. *Aquaculture*, 588, 740925. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740925>
- Yang, M., Liang, Y., Huang, S., Zhang, J., Wang, J., Chen, H., Ye, Y., Gao, X., Wu, Q., & Tan, Z. (2020). Isolation and Characterization of the Novel Phages vB_VpS_BA3 and vB_VpS_CA8

- for Lysing *Vibrio parahaemolyticus*. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00259>
- Yang, S. H., Chung, W., McFarland, S., & Lee, S. (2013). Assembly of Bacteriophage into Functional Materials. *The Chemical Record*, 13(1), 43–59. <https://doi.org/10.1002/tcr.201200012>
- Yin, Y., Ni, P., Liu, D., Yang, S., Almeida, A., Guo, Q., Zhang, Z., Deng, L., & Wang, D. (2019). Bacteriophage potential against *Vibrio parahaemolyticus* biofilms. *Food Control*, 98, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.034>
- Yuan, Y., Peng, Q., Zhang, S., Liu, T., Yang, S., Yu, Q., Wu, Y., & Gao, M. (2019). Phage Reduce Stability for Regaining Infectivity during Antagonistic Coevolution with Host Bacterium. *Viruses*, 11(2), 118. <https://doi.org/10.3390/v11020118>
- Żaczek, M., Weber-Dąbrowska, B., & Górski, A. (2020). Phages as a Cohesive Prophylactic and Therapeutic Approach in Aquaculture Systems. *Antibiotics*, 9(9), 564. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9090564>
- Zhang, H., Li, L., Zhao, Z., Peng, D., & Zhou, X. (2016). Polar flagella rotation in *Vibrio parahaemolyticus* confers resistance to bacteriophage infection. *Scientific Reports*, 6(1), 26147. <https://doi.org/10.1038/srep26147>
- Zhang, M., Zhang, T., Yu, M., Chen, Y.-L., & Jin, M. (2022). The Life Cycle Transitions of Temperate Phages: Regulating Factors and Potential Ecological Implications. *Viruses*, 14(9), 1904. <https://doi.org/10.3390/v14091904>

Zhang, X.-H., He, X., & Austin, B. (2020). *Vibrio harveyi*: a serious pathogen of fish and invertebrates in mariculture. *Marine Life Science & Technology*, 2(3), 231–245.
<https://doi.org/10.1007/s42995-020-00037-z>