



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ciencia Animal

Mejora integral en la cría de crustáceos/moluscos
empleando fitobióticos

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Acuicultura

AUTOR/A: Huapaya Tapia, Stefanie Liset

Tutor/a: Jover Cerdá, Miguel

Cotutor/a externo: Salvador Clavell, Rubén

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



Mejora integral en la cría de crustáceos/moluscos empleando fitobióticos

Trabajo Fin de Máster
Septiembre 2024

Autor: **STEFANIE LISET
HUAPAYA TAPIA**

Director/tutor académico:

**JOVER CERDÁ, Miguel
SALVADOR CLAVELL, Rubén**

Índice

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
2.1. Estrategia de búsqueda.....	7
2.2. Criterios de inclusión, exclusión y extracción de datos.....	8
2.3. Análisis bibliométrico	8
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	9
3.1. Análisis bibliométrico	9
3.2. Análisis de palabras claves.....	12
3.3. Aplicaciones de los fitobióticos en la cría de crustáceos/moluscos	13
4. CONCLUSIÓN.....	22
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	22

RESUMEN

Este estudio se enfoca en la aplicación de fitobióticos en la cría de crustáceos y moluscos, evaluando su impacto en el crecimiento, desarrollo y salud de estos organismos. Los fitobióticos, compuestos naturales derivados de plantas, mejoran la calidad del ambiente acuático y ofrecen beneficios en la prevención y control de enfermedades. La investigación se llevó a cabo utilizando la estrategia PRISMA para recopilar información de la base de datos Scopus desde 1967 hasta abril de 2024, y se realizó un análisis bibliométrico con el lenguaje R y el paquete Bibliometrix (versión 4.3.3). Los fitobióticos han demostrado ser efectivos en diversas aplicaciones debido a sus propiedades. Por ejemplo, se encuentran: propiedades inmunomoduladoras y antioxidantes, como en *Typha angustifolia* contra el virus del síndrome de las mancha blanca y *Cynodon dactylon* contra la enfermedad de la cola blanca en *Macrobrachium rosenbergii*, mejorando la salud intestinal y enzimática. También *Eleutherine bulbosa*, que ha mostrado aumentar la diversidad microbiana intestinal y mejorar las actividades digestivas en camarones. Propiedades antimicrobianas, como *Gracilaria fisheri* y *furanona*, que son eficaces contra biopelículas de *Vibrio spp.* y *Ulva intestinalis*, mejorando la salud en camarones blancos del Pacífico. Existen otras propiedades en aceites esenciales de *Lippia alba* y *Melaleuca alternifolia* que son anestésicas, mientras que *Polygonum equisetiforme* previene el estrés oxidativo en almejas. Se identifican necesidades para futuras investigaciones, como la caracterización de fitobióticos específicos y sus mecanismos de acción, así como la evaluación de los efectos a largo plazo y posibles impactos ambientales en sistemas de cultivo intensivo. Los fitobióticos representan una herramienta prometedora para la acuicultura, ofreciendo beneficios inmunomoduladores, antioxidantes y antimicrobianos, y se espera que jueguen un papel crucial en la mejora de la salud, el rendimiento y la sostenibilidad en la cría de crustáceos y moluscos a medida que avance la investigación en este campo.

Palabras claves: Fitobióticos, acuicultura, crustáceos, moluscos, mejora integral, sostenibilidad.

ABSTRACT

This study focuses on the application of phytobiotics in the farming of crustaceans and mollusks, evaluating their impact on the growth, development, and health of these organisms. Phytobiotics, natural compounds derived from plants, improve the quality of the aquatic environment and offer benefits in disease prevention and control. The research was conducted using the PRISMA strategy to collect information from the Scopus database from 1967 to April 2024, and a bibliometric analysis was performed using the R language and the Bibliometrix package (version 4.3.3). Phytobiotics have proven effective in various applications due to their properties. For example, the following properties were found immunomodulatory and antioxidant properties, such as in *Typha angustifolia* against the white spot syndrome virus and *Cynodon dactylon* against white tail disease in *Macrobrachium rosenbergii*, improving intestinal and enzymatic health. Also, *Eleutherine bulbosa*, which has shown to increase intestinal microbial diversity and improve digestive activities in shrimp. Antimicrobial properties, such as *Gracilaria fisheri* and furanone, which are effective against biofilms of *Vibrio spp.*, and *Ulva intestinalis*, improving health in Pacific white shrimp. There are other properties in essential oils from *Lippia alba* and *Melaleuca alternifolia* that are anesthetic, while *Polygonum equisetiforme* prevents oxidative stress in clams. Future research needs are identified, such as the characterization of specific phytobiotics and their mechanisms of action, as well as the evaluation of long-term effects and potential environmental impacts in intensive farming systems. Phytobiotics represent a promising tool for aquaculture, offering immunomodulatory, antioxidant, and antimicrobial benefits, and are expected to play a crucial role in improving health, performance, and sustainability in the farming of crustaceans and mollusks as research in this field progresses.

Keywords: Phytobiotics, aquaculture, crustaceans, mollusks, comprehensive improvement, sustainability.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que han contribuido al desarrollo y culminación de esta tesis.

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores de tesis, Miguel Jover Cerda y Rubén Salvador Clavell, por sus orientaciones, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proyecto. Sus conocimientos y experiencia han sido fundamentales para el éxito de esta investigación.

A Dios, y mi familia por su amor, paciencia y constante ánimo, especialmente en los momentos más desafiantes. Sin su apoyo incondicional, este logro no hubiera sido posible.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas y organizaciones que, directa o indirectamente, han contribuido a la realización de este trabajo. Su apoyo y colaboración han sido esenciales para alcanzar este objetivo.

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha convertido en una fuente crucial de suministro de alimentos a nivel mundial, enfrentando constantemente desafíos relacionados con la salud y el rendimiento de los organismos acuáticos cultivados (FAO, 2022). Entre las diversas fuentes de proteínas, los productos del mar, como el pescado y el marisco, son percibidos como accesibles y asequibles para las comunidades de bajos y medios ingresos. Por lo tanto, la acuicultura es un componente crítico para apoyar la seguridad alimentaria (Béné et al., 2016). Aunque la atención suele centrarse en la acuicultura de peces, la cría de crustáceos y moluscos, como camarones, langostinos, ostras y mejillones, representa un sector importante de la acuicultura.

El aumento constante de la producción mundial de mariscos a lo largo de las décadas enfatiza aún más la importancia de este nicho para sostener los medios de vida de las comunidades locales e impulsar el crecimiento económico de un país (Azra et al., 2021). Además de su impacto positivo en el medio ambiente y su elevado valor nutritivo y proteico (Khan & Liu, 2019). El cultivo de mariscos, especialmente los bivalvos (por ejemplo, ostras), se considera sostenible y una economía verde emergente (Willer & Aldridge, 2020). Además, debido a sus sistemas de insumos más bajos y métodos de cultivo más simples en comparación con el cultivo de peces, el cultivo comercial de mariscos es menos complejo para que las comunidades lo pongan en marcha (Bradford et al., 2020). Por lo tanto, se está investigando la acuicultura de mariscos como una opción acuicultura comunitaria que podría fortalecer y mejorar los medios de vida en áreas costeras (Azra et al., 2021). En 2015, la producción acuícola mundial total alcanzó los 112 millones de toneladas, de las cuales los principales contribuyentes de mariscos incluyen ostras ahuecadas (4%), camarones de pata blanca (4%), almejas japonesas (4%) y vieiras (2%) (Wijsman et al., 2018).

Sin embargo, la presión ambiental, las enfermedades y los desafíos nutricionales plantean obstáculos significativos para el crecimiento sostenible de esta industria. La intensificación de la acuicultura puede ser perjudicial para las especies, haciéndolos más susceptibles a enfermedades infecciosas, generando un lento crecimiento y problemas de salud, provocando grandes pérdidas económicas (Kalaiselvan et al., 2024). En este contexto, los extractos de plantas, también

conocidos como fitobióticos, se han explotado recientemente en la acuicultura.

particularmente por sus actividades antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes y antiparasitarias (Abdul Kari et al., 2022). Estudios anteriores han demostrado que los aceites esenciales y sus componentes principales, como el timol y el carvacrol, son activos contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* y *Salmonella* spp. La administración dietética de extractos de orégano (*Lippia berlandieri Schauer*) o nimbo de la India o neem (*Azadirachta indica*) también mostró mayores tasas de supervivencia en postlarvas de camarón blanco expuestas a la infección por *Vibrio parahaemolyticus*. Cabe señalar que la azadiractina es el principal compuesto bioactivo del neem, mientras que el timol y el carvacrol son los dos compuestos principales del aceite esencial obtenido del orégano, que son de especial interés debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

Algunos fitobióticos son de bajo costo y de fácil acceso, como el ajo (Yousefi et al., 2020), la harina de orujo de uva (GPF) (Harikrishnan, Devi, Van Doan, Balasundaram, Esteban, et al., 2021), el ulvan (Harikrishnan, Devi, Van Doan, Balasundaram, Arockiaraj, et al., 2021) y la cúrcuma en polvo (Hoseini et al., 2022), que pueden usarse para estimular la respuesta inmunitaria y aumentar producción acuícola. Sin embargo, ciertos productos de origen vegetal deben procesarse antes de poder usarse como aditivo alimentario para acuicultura, como la cáscara seca de limón (*Citrus limon*) (Harikrishnan et al., 2020). Estos desechos agrícolas se someten a secado y se convierten en polvo antes de usarse como fitobióticos para mejorar el sistema inmunitario.

Son muy pocos los estudios realizados a cerca del uso de fitobioticos en crustáceos/ moluscos ya que es un tema de reciente interés científico con limitadas publicaciones, por lo que el presente estudio busca realizar una búsqueda bibliográfica sobre los diferentes mecanismos fitobióticos empleados en la acuicultura y evaluar su impacto en el crecimiento, desarrollo y salud en la cría de crustáceos/moluscos. Se analizará cómo estos compuestos naturales derivados de plantas influyen en la calidad del ambiente acuático y se identificarán los compuestos en desarrollo, Finalmente, se propondrán recomendaciones para la implementación efectiva de fitobióticos en la industria acuícola, considerando aspectos de producción, seguridad alimentaria y sostenibilidad.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Estrategia de búsqueda

Se siguió la estrategia de búsqueda de acuerdo con las pautas PRISMA (Fig. 1) para recopilar la información necesaria para el presente estudio (Atabati et al. 2020; Higgins et al. 2019; Moher et al. 2010). Se examinó la base de datos de Scopus, de 1967 hasta abril de 2024, para obtener artículos sobre la cría de crustáceos y moluscos empleando fitobióticos. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: “phytobiotics” OR “oil essential” OR “extract plant” AND “crustacean” OR “molluscs”. La lista de referencias de artículos se evaluó en busca de posibles artículos omitidos en el paso de identificación.

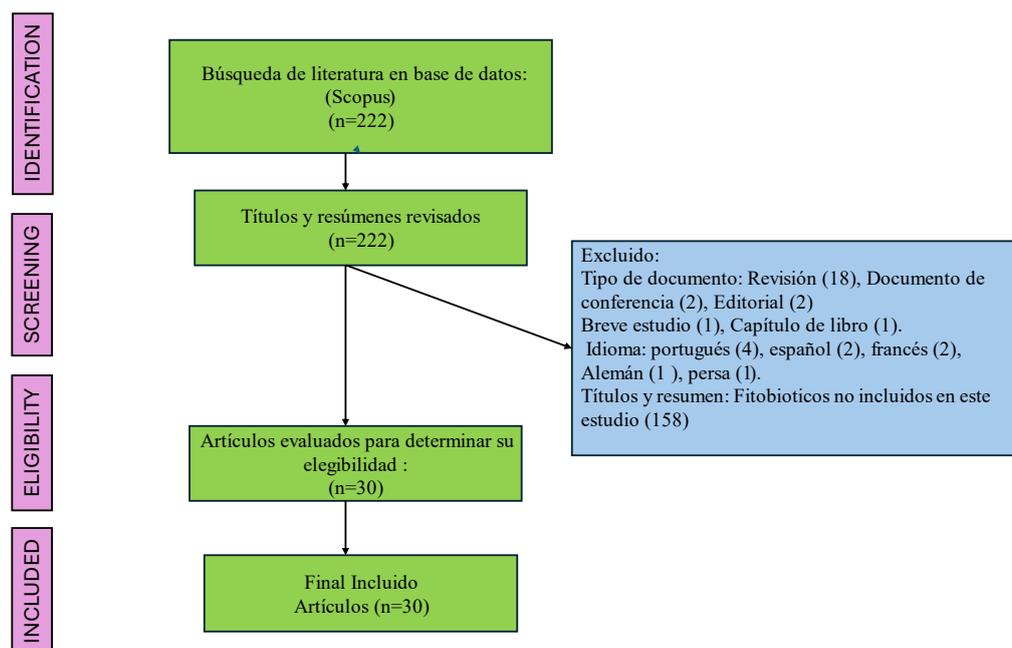


Figura. 1. Proceso de selección de artículos basado en la metodología PRISMA

2.2. Criterios de inclusión, exclusión y extracción de datos

Se incluyeron los documentos que cumplieran lo siguiente: texto completo disponible, investigación de cría de crustáceos y moluscos empleando fitobióticos, sin limitación de idioma, sin restricción para la ubicación del estudio.

2.3. Análisis bibliométrico

El procesamiento y análisis de la información se desarrolló empleando el lenguaje R combinado con el paquete Bibliometrix (versión 4.3.3), The Comprehensive R Archive Network, <https://cran.rproject.org/>).

El procedimiento del análisis bibliométrico para determinar la cantidad y calidad de conocimiento científico se realizó en tres pasos. Primero, se realizó la búsqueda, filtrado y exportación de documentos en formato “.csv”. Segundo, se utilizó el paquete Bibliometrix del lenguaje R para desarrollar los análisis y el mapeo científico. Tercero, se realizó un análisis bibliométrico para obtener información de producción científica anual, por países, coocurrencias de palabras clave, fuentes de información más relevantes, autores más relevantes, afiliaciones más importantes y el agrupamiento bibliográfico. Finalmente, los resultados obtenidos se discutieron con su respectiva trascendencia y correspondencias entre ellos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Análisis bibliométrico

3.1.1. Producción científica por año

La producción científica del estudio de fitobióticos en la crianza de crustáceos/moluscos inició en el año 2000, con una limitada producción hasta el 2018, fluctuando entre 0 y 2 publicaciones por año. El 2019 tuvo un incremento considerable, pero que fue disminuyendo durante los años siguientes, hasta ninguna publicación al año 2022, periodo en el cual a nivel mundial se vio afectado debido al virus del Covid, 19, según el informe de la CRUE “La universidad frente a la pandemia”, el 80% de las universidades indicaron que la actividad de investigación se vio afectada por la pandemia de la Covid-19. Debido al cierre de sus instalaciones, el 52% de las universidades informaron del riesgo de no poder completar los proyectos mientras el 21% comunicaron que la investigación se había detenido por completo (CRUE, 2020). Por lo que la mayor producción en el tema se dio en el 2023, con 6 publicaciones, evidencia la actualidad y relevancia del tema para la ciencia.

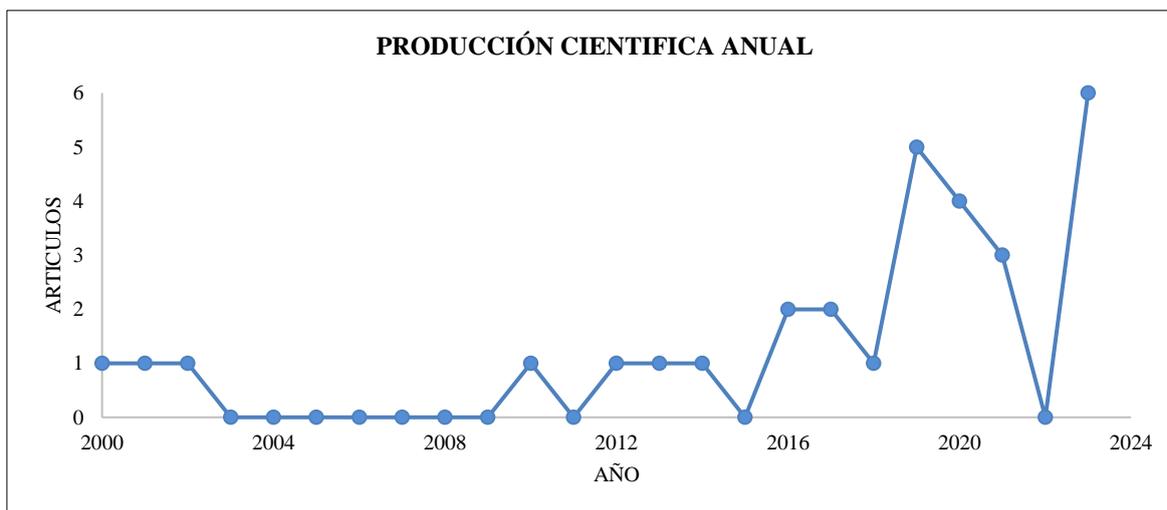


Figura. 2. Producción científica anual

3.1.2. Producción científica por país

Las investigaciones en el tema se han desarrollado en 22 países. A la cabeza en cuanto al número de artículos producidos se encuentra China (con 6 publicaciones), seguida de India y Tailandia (con 3 publicaciones cada una). Además, el análisis pone de relieve la importancia de la cooperación internacional en el avance de los conocimientos científicos sobre este tema. El país con mayor producción (China) colabora con socios internacionales, Figura 2. Esta tendencia pone de relieve el carácter mundial de la investigación sobre el tema y resalta la importancia de las asociaciones internacionales para impulsar el progreso científico, como lo realizan en el tema China, Brasil y Ecuador, Líbano, Madagascar y Malasia.

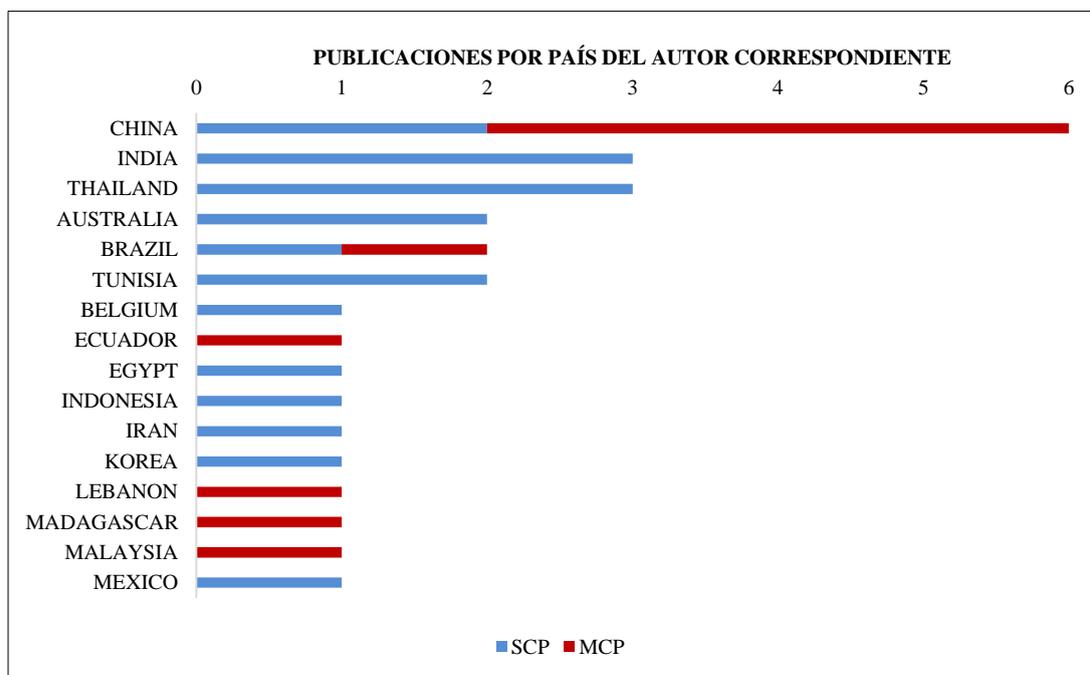


Figura. 3. Producción científica por país (SCP: publicaciones de un solo país y MCP: publicaciones de múltiples países).

3.1.3. Producción científica por afiliación

La Figura 3 presenta las afiliaciones más relevantes en el tema, esto se refiere a la organización/institución en relación con el autor de las publicaciones. La Universidad Northwest Aandf (China) se encuentra en primer lugar con un total de 14, seguida por la Universidad Ghent (Bélgica) con 9, Universidad Dalian (China) con 8 y Universidad C. Abdul Hakeem (India) con 7. En tanto que, Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (Ecuador), Universidad Shiraz (Irán), Universidad de Malaysia Terengganu (Malasia), mantienen la misma cantidad con 6 en total. Del mismo modo con 5, Las universidades Burapha (Tailandia) y Bogor agrícola (Indonesia). Esta tendencia resalta la naturaleza global de la investigación sobre este tema y destaca la importancia de las asociaciones internacionales para impulsar el progreso científico.

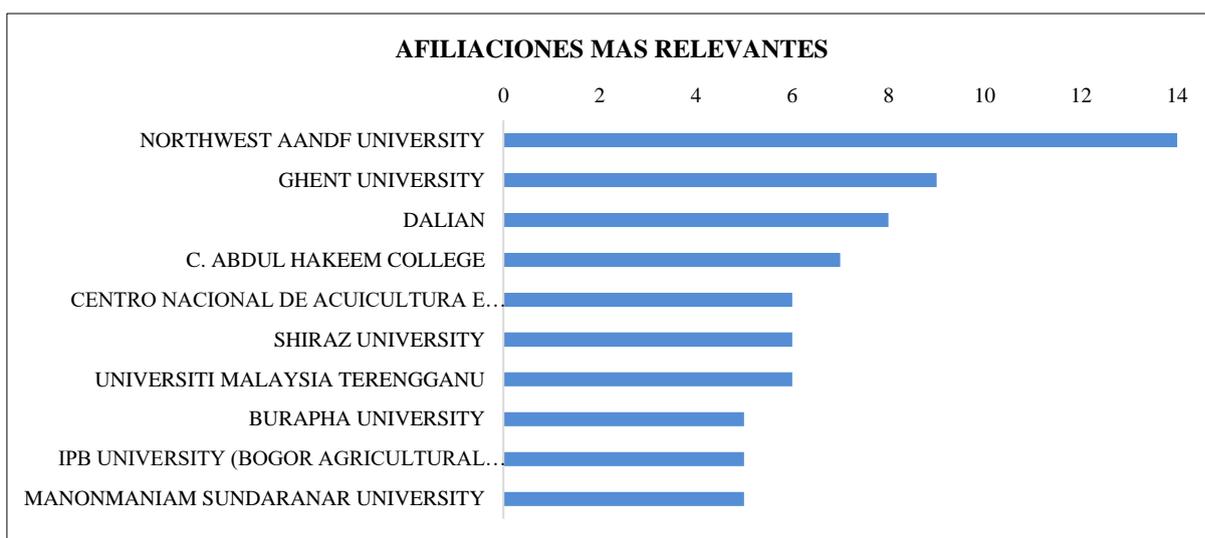


Figura. 4. Afiliaciones más relevantes en el tema

3.1.4. Producción por revista

Se pueden observar las diez revistas que más publicaciones tienen sobre el tema, donde la primera, Aquaculture, cuenta con 7 publicaciones, la siguiente revista que registra más publicaciones sobre el tema es Aquaculture Research con 3 artículos publicados, lo cual señala una notable diferencia con respecto al número de publicaciones con las que cuenta la primera revista.

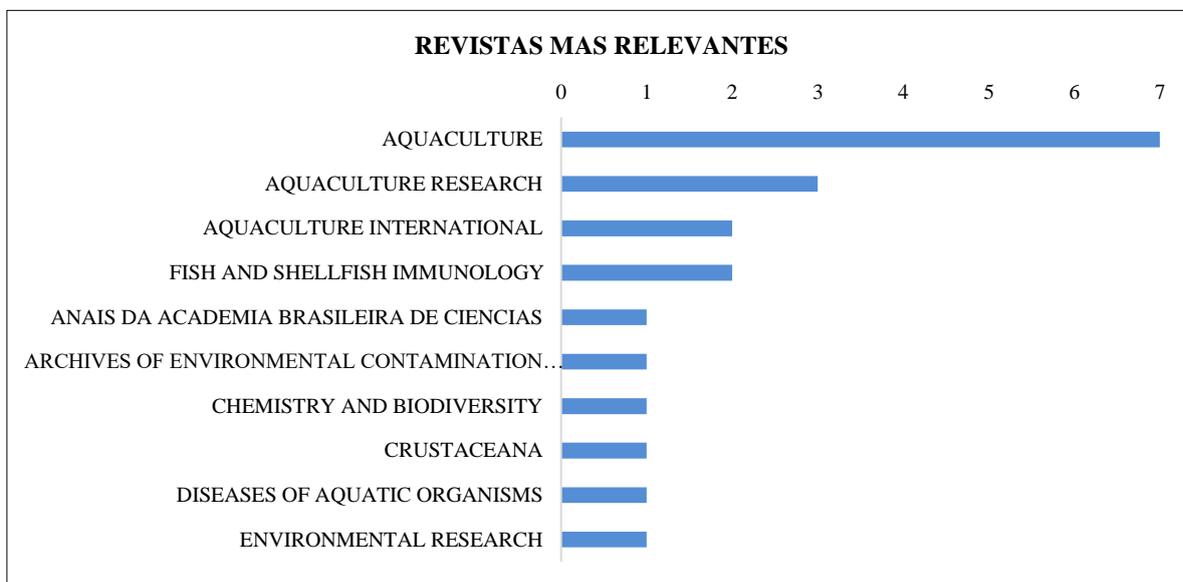


Figura. 5. Producción por revista

3.2. Análisis de palabras claves

El análisis de palabras obtenidas a partir de los títulos, resúmenes y palabras clave de las publicaciones, aplicando un umbral mínimo de cinco coocurrencias, dio como resultado la generación de tres grupos. La Figura 5 muestra el análisis factorial de la correspondencia entre palabras clave. Los resultados revelan que los términos extraídos pueden agruparse en tres grupos principales. El grupo 1 (color azul) incluye palabras clave como “decapoda crustácea”, “crustacean”, “diet”, “growth rate”, “bacterium”, “aquaculture”, “physiology”, “aquaculture”, “penaeidae”, que están relacionadas con actividad antimicrobianas. El grupo 2 (color rojo), por su parte, comprende palabras como “enzyme activity”, “mollusc”, “crustacea”, “gene expresion”, “plant extract”, “mortality”, “antioxidant”, “catalase” y la investigación se centra más en la actividad inmunológica. El grupo 3 (color verde) incluye palabras clave como “toxicity”, “plant extract”, “article”, “antioxidant”, “artemia”, “activity”, “animal experiment”, “antiinfective agent” que están relacionadas con propiedades bioactivas.

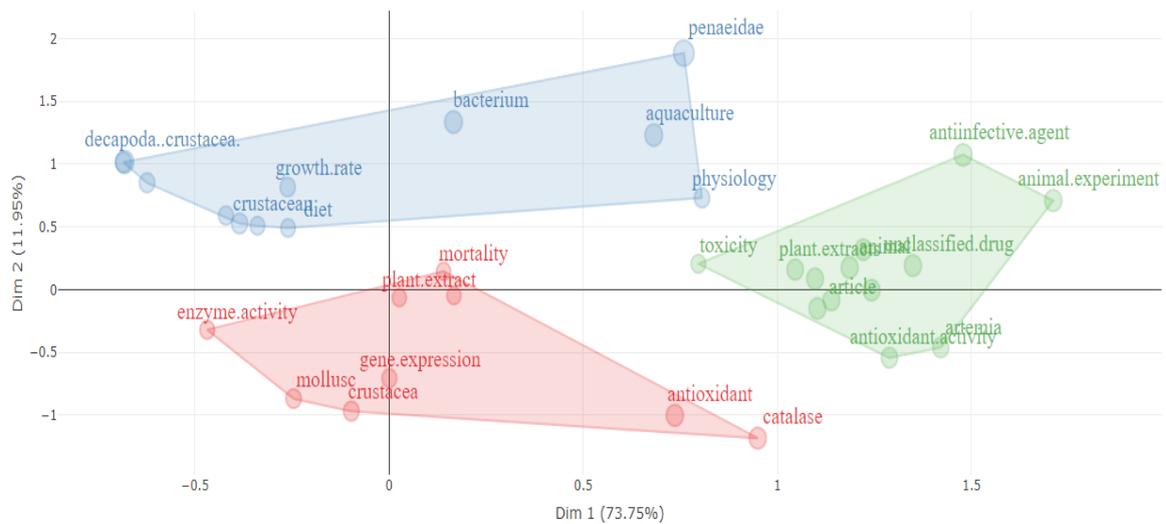


Figura. 6. Análisis factorial de correspondencia de la palabra clave

3.3. Aplicaciones de los fitobióticos en la cría de crustáceos/moluscos

De los 222 artículos científicos buscados en la Base de datos de Scopus, 30 de ellos estudiaron el uso de fitobióticos en la cría de crustáceos y moluscos. Todos los artículos fueron escritos en coautoría, y en la mayoría de ellos participaron 6 investigadores. La colaboración internacional se produjo en el 30% de los artículos. La Tabla 1, presenta información sobre los crustáceos y moluscos estudiados, los fitobióticos empleados, dosis y uso en los trabajos de investigación. A la vista de los resultados, la especie más estudiada fue *Penaeus vannamei* (8 publicaciones), seguido de *Artemia salina* (4 publicaciones), y *Macrobrachium rosenbergii* (3 publicaciones). El fitobiótico más empleado fue la *Moringa oleífera* con 3 publicaciones, seguido de *Zingiber officinale* con 2 publicaciones.

Tabla 1. Publicaciones sobre el uso de fitobióticos en cría de Crustáceos/moluscos.

Especie	Fitobiótico	Aplicación o Efecto	Referencia
Artemia salina (<i>Artemia salina</i>)	<i>Euphorbia bivonae</i> (50, 150, 300, 500, 700 y 800 mg/mL)	Citotóxico	Enneb et al. (2023)
Camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	<i>Olea europaea</i> (50, 100, 200 mg/kg)	Bioquímicos, hematológicos e inmunológicos	Gholamhosseini et al. (2020)
Cangrejo y Camarón (NO ESPECIFICA GENERO)	<i>Moringa oleifera</i> (MOE 2% y 5 % p/v), extracto de hojas de té verde (GTE 0,1 % p/v).	Aceptabilidad sensorial, vida útil y calidad de los crustáceos (suplementación dietética)	Ali et al. (2021)
Vieira (<i>Argopecten irradians</i>)	Polifenoles del té y hojas de bambú (soluciones al 0,2%)	Efecto Antioxidante en el musculo Abductor	Xie et al. (2019)
Camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	<i>Pithecellobium dulce</i> , <i>Melaleuca leucadendron</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Mimosa pirla</i>	Inmunologico	Nguyen et al. (2023)
Camarón (<i>Fenneropenaeus merguensis</i>)	<i>Moringa oleifera</i> (0,1mg mL-1) <i>Zingiber officinale</i> (0,1mg mL-1)	Eficacia en supervivencia de espermatozoides y abundancia bacteriana en espermatóforos crioadmacenados	Nimrat et al. (2020)
Camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	Eleutherine bulbosa (6,25g kg-1, 12,5g kg-1 y 25g kg-1)	Impacto de la suplementación dietética	Munaeni et al. (2020)
Almeja (<i>Ruditapes decussatus</i>)	<i>Polygonum equisetiforme</i> (0,05 a 1 mg/l)	Desintoxicante	El Ayari et al. (2020)
Artemia salina (<i>Artemia salina</i>)	<i>Cassia auriculata</i> (400mg/mL)	Antibacteriano, antioxidante	Kamaraj et al. (2023)
Camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	<i>Moringa oleifera</i> (0, 0,25, 0,50 y 1,00 mg/mL)	Probiótico (crecimiento)	Abidin et al. (2023)
Abulón labio verde (<i>Haliotis laevigata</i>)	Extracto de semilla de uva (comercial +5%GSE)	Dietético	Shiel et al. (2017)
Cangrejo (<i>Carcinus maenas</i>)	<i>Neohelice granulata</i> (20, 40, 60 µl o 10, 20, 30 o 40 µl)	Anestésico	Souza et al. (2018)
Vieira (<i>Nodipecten subnodosus</i>)	Aceite de orégano (44,8 ± 5,16 y 40,9 ± 12,06 D-larvas mL-1)	Antibiótico	Revilla et al. (2019)
Artemia salina (<i>Artemia salina</i>)	<i>Aerva lanata</i> (10, 25, 50, 75, 100 µg/mL)	Inhibidor de biopelículas gram positivas y gram negativas	Brindhadevi et al. (2023)
Cangrejo (<i>Procambarus clarkii</i>)	<i>Typha angustifolia</i> (50 y 100 mg/kg)	Antiviral en contra de la enfermedad de la mancha blanca	Sun et al. (2021)
Camarón gigante (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>)	<i>Musa acuminata</i> (DBP 8,0 g/kg, HBP 8,0 g/kg y BPE 2,0 g/kg)	Inmunológico	Rattanavichal et al. (2017)
Camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	<i>Gracilaria fisheri</i> (5, 10 y 100 µg mL-1)	Inmunológico	Karnjana et al. (2019)
Camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	<i>Ulva intestinalis</i> (0,1, 5 y 10 g/kg)	Crecimiento, respuestas inmunes y resistencia a virus	Klongklaew et al. (2021)
Cangrejo (<i>Procambarus clarkii</i>)	<i>Gardenia jasminoides</i> (0, 12,5, 25,0, 50,0 y 100,0 mg/kg)	Antiviral en contra de la enfermedad de la mancha blanca	Huang et al. (2019)
Camarón gigante (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>)	<i>Melaleuca cajuputi</i> (0,28, 0,57 y 0,85 g/L)	Inmunológico	Hamdan et al. (2023)
Camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	<i>Astragalus membranaceus</i> , <i>Codonopsis pilosula</i> y <i>Glycyrrhiza</i> (0,1,0, 2,0 y 3,0 g/kg)	Crecimiento, los parámetros hematológicos y el rendimiento hepatopancreático	Prathomya et al. (2019)
Artemia salina (<i>Artemia salina</i>)	<i>Maesa lanceolata</i> (0,5 1,0 2,5 5,0 10,0 25,0 y 50 µg mL-1)	Antifouling	He et al. (2002)
Camarón	<i>Acalypha indica</i> , <i>Hygrophila spinosa</i> , <i>Picrorhiza</i>	Inmunológico	Raja et al.

(<i>Fenneropenaeus indicus</i>)	<i>kurooa</i> , <i>Tinospora cordifolia</i> y <i>Zingiber officinalis</i> (500 (ISD-1), 1.000 (ISD-2), 1.500 (ISD-3) y 2.000 (ISD-4) mg kg ⁻¹)		(2012)
Abulón labio verde (<i>Haliotis laevigata</i>)	Extracto de semilla de uva, <i>Ulva lactuca</i> Linnaeus (EPA + 5% GSE; EPA + 30% de <i>U. lactuca</i> seca; EPA + 5% GSE + 30% <i>U. lactuca</i> seca y <i>U. lactuca</i> viva enriquecida)	Supervivencia	Lange et al. (2014)
Mejillón (<i>Mytilus edulis</i>)	<i>Enteromorpha prolifera</i> (30 µg mL ⁻¹ con l. sinicola y 120 µg mL ⁻¹)	Anticrustante	Cho et al. (2001)
Camarón gigante (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>)	<i>Cynodon dactylon</i> (2 y 4 mg/kg)	Inmunológico	Farook et al. (2016)
Langostino tigre (<i>pennaeus monodon</i>)	<i>Asparagopsis taxiformis</i> (850 mg kg ⁻¹)	Inmunológico	Manilal et al. (2013)
Caracol (<i>Achatina fulica</i>)	<i>Azadirachta indica</i> , <i>Cedrus deodara</i> <i>Allium sativum</i> y <i>Nerium indicum</i> (20% y 60% de CL50/24 h)	Reproducción	Rao et al. (2000)
Langostino tigre (<i>pennaeus monodon</i>)	<i>Cinnamosma fragrans</i> (734 µg mL ⁻¹)	Supervivencia	Randrianarivelo et al. (2010)
Camarón (<i>Penaeus vannamei</i>)	<i>Azadirachta indica</i> y <i>Lippia berlandieri</i> (1,95, 3,90, 7,81, 15,62, 31,25, 62,50 y 125 mg mL ⁻¹)	Eficacia en contra de <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Morales et al. (2016)

Los fitobióticos han demostrado ser eficaces en diversas aplicaciones dentro de la acuicultura de crustáceos y moluscos. En primer lugar, su capacidad para modular el sistema inmunitario de estos organismos los hace valiosos en la prevención y el control de enfermedades. El virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) es un patógeno grave que amenaza la acuicultura mundial de crustáceos, y actualmente no se dispone de fármacos comerciales para su tratamiento. Las plantas medicinales, ampliamente utilizadas en la investigación antiviral, ofrecen una rica reserva para el descubrimiento de fármacos. Por ejemplo, la narigenina, derivada de *Typha angustifolia*, tiene un potencial significativo para ser desarrollada como agente preventivo o terapéutico contra el WSSV (Sun et al., 2021). De manera similar, *Gardenia jasminoides* inhibe la replicación del virus del síndrome de la mancha blanca en *Procambarus clarkii*, reduciendo la expresión de *hsp70* y la transcripción del gen inmediato-temprano del virus mediante el bloqueo de dicha transcripción (Huang et al., 2019). Los camarones del género *Penaeus*, específicamente *P. vannamei* y *P. monodon*, son altamente afectados por el virus de la mancha blanca. Estudios han demostrado que *Olea europaea* y *Asparagopsis taxiformis* aumentan significativamente la supervivencia hasta en un 65% contra el WSSV, además de mostrar eficacia inmunomoduladora.

Asimismo, varias especies vegetales vietnamitas, incluyendo *Pithecellobium dulce*, *Melaleuca leucadendron*, *Eucalyptus globulus*, *Mimosa pudica* e *Hibiscus sabdariffa*, han mostrado una potente actividad antibacteriana contra *Vibrio*

parahaemolyticus,

el agente causal de la enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda (Gholamhosseini et al., 2020; Manilal et al., 2013; Nguyen et al., 2023).

Por otro lado, *Cynodon dactylon* ha demostrado un efecto inmunomodulador contra la enfermedad de la cola blanca en *Macrobrachium rosenbergii*, a dosis de 2 y 4 mg/kg (Farook et al., 2016). El uso de *Musa acuminata* también como inmunoestimulante en la dieta de *Macrobrachium rosenbergii* puede fomentar la tolerancia al estrés por bajas temperaturas y mejorar la inmunidad y resistencia frente a infecciones por *Lactococcus garvieae* (Rattanaichai et al., 2017).

Asimismo, se han investigado los efectos fisiológicos del extracto de *Melaleuca cajuputi* sobre *Macrobrachium rosenbergii*, así como su sensibilidad al parásito *Probopyrus buitendijki*. En estos estudios, se utilizaron concentraciones de *Melaleuca cajuputi* de 0,28, 0,57 y 0,85 g/L (Hamdan et al., 2023)

Sumado a las propiedades anteriormente descritas, los fitobióticos han demostrado poseer propiedades bioactivas como antioxidantes, lo que contribuye a mitigar el estrés oxidativo asociado con condiciones de cultivo intensivo y cambios ambientales adversos. Diversos componentes herbarios, incluyendo *Acalypha indica*, *Hygrophila spinosa*, *Picrorhiza kurooa*, *Tinospora cordifolia* y *Zingiber officinale*, han sido identificados en la India por su capacidad para fortalecer el sistema inmunológico de *Fenneropenaeus indicus* frente a infecciones. Estos fitobióticos han mostrado reducir el tiempo de coagulación, mejorar el recuento total de hemocitos (CTH), la fagocitosis, la actividad fenoloxidasa (PO), la actividad hemaglutinina y el aclaramiento bacteriano (Raja Rajeswari et al., 2012). Asimismo, la adición dietética de polvo y extracto crudo de *Eleutherine bulbosa* ha demostrado aumentar la diversidad del microbiota intestinal y mejorar las actividades de las enzimas digestivas (proteasa, lipasa y amilasa), así como la relación perimetral y la densidad de las microvellosidades intestinales a diferentes concentraciones: 6,25 g/kg (P6.25), 12,5 g/kg (P12.5) y 25 g/kg (P25) (Munaeni et al., 2020).

Por otro lado, un estudio examinó los efectos de la suplementación dietética con una mezcla de extractos de *Astragalus membranaceus*, *Codonopsis pilosula* y *Glycyrrhiza uralensis* en el crecimiento, parámetros hematológicos y rendimiento hepatopancreático de juveniles de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus*

vannamei) a concentraciones de 1, 2 y 3 g/kg durante 8 semanas, teniendo como control camarones sin tratamiento. Se observó que las dietas suplementadas mejoraron significativamente el rendimiento del crecimiento. Además, el extracto acuoso de hojas de *Moringa oleifera* fue evaluado como prebiótico en el crecimiento del camarón patiblanco (*Penaeus vannamei*), y se encontró que este extracto potenció el crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* más que el de las bacterias del género *Vibrio*. Las concentraciones de las dietas utilizadas fueron de 0,25, 0,50 y 1,00 mg/mL y sin tratamiento a modo de control (Prathomya et al., 2019; Abidin et al., 2023).

En una investigación adicional sobre alternativas a los antibióticos en la cría de camarones, se evaluó el efecto del aceite esencial de *Cinnamosma fragrans* sobre la supervivencia y la concentración bacteriana de las larvas de *Penaeus monodon*. Los resultados indicaron que ambos aceites esenciales de *C. fragrans*, al igual que los antibióticos, mejoraron significativamente las tasas de supervivencia y redujeron la concentración bacteriana en las larvas en comparación con el control sin aceite ni antibiótico. Esto sugiere que el aceite esencial de *C. fragrans* tiene un gran potencial para controlar la carga bacteriana in vivo, mejorando así la tasa de supervivencia de las larvas de *P. monodon*, y se presenta como una opción relevante para desarrollar alternativas novedosas a los antibióticos en el cultivo de camarones en criadero (Randrianarivelo et al., 2010).

Un estudio adicional evaluó la eficacia de *Azadirachta indica*, *Lippia berlandieri* y plata coloidal contra la infección por *Vibrio parahaemolyticus* en *Litopenaeus vannamei* cultivado a baja salinidad. Se demostró un aumento significativo en la supervivencia con los extractos acuosos (orégano 64%, neem 76% y plata coloidal 90%) en comparación con el control (0%). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, sugiriendo que todos ellos actúan como agentes bactericidas alternativos efectivos contra las infecciones por *V. parahaemolyticus* en postlarvas de *L. vannamei* cultivadas a 5 psu (Morales-Covarrubias et al., 2016).

Por último, se investigaron protocolos óptimos de crioconservación de espermatóforos de *Fenneropenaeus merguensis*, así como la eficacia de extractos vegetales de *Moringa oleifera* y *Zingiber officinale* en la supervivencia espermática y la abundancia bacteriana en espermatóforos crioconservados. Las dietas con *M. oleifera* (0,1 mg/mL) y *Z. officinale* (0,1 mg/mL) mostraron un potencial prometedor

como método alternativo para controlar contaminantes bacterianos en espermatozoides crioconservados de *F. merguensis* (Nimrat et al., 2020).

Algunos fitobióticos presentan propiedades antimicrobianas directas, lo que puede contribuir a la prevención de infecciones bacterianas y fúngicas en entornos de cultivo. Por ejemplo, se ha demostrado que el alga roja *Gracilaria fisheri* y la furanona erradican las biopelículas de *Vibrio harveyi* y *Vibrio parahaemolyticus*, mejorando así la resistencia a la infección bacteriana en camarones. Este efecto se observó mediante la administración de dietas que contenían diferentes concentraciones del extracto (5, 10 y 100 µg/mL) (Karnjana et al., 2019).

Asimismo, se investigó el uso de un extracto crudo de agua caliente de *Ulva intestinalis* (UI-HWCE) como suplemento dietético para camarones, evaluando su impacto en el crecimiento, las respuestas inmunitarias y la resistencia a la infección viral en camarones blancos del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*). La suplementación con 5 g/kg de UI-HWCE en la dieta mejoró significativamente el crecimiento de los camarones y aumentó sus respuestas inmunitarias (Klongklaew et al., 2021).

Además, se investigó el uso potencial del extracto de *Cassia auriculata* para sintetizar nanopartículas de plata (AgNPs), evaluando su actividad antimicrobiana y antioxidante. Los resultados mostraron que las AgNPs biosintetizadas fueron efectivas contra bacterias como *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus*, con una respuesta dependiente de la concentración. Asimismo, se observó una buena actividad antioxidante de las AgNPs biosintetizadas en ensayos de DPPH y FRAP. Además, el ácido oleanólico de *Cassia auriculata* mostró una fuerte afinidad de unión a las bacterias *E. coli* y *B. cereus*.

Otro estudio investigó la eficacia *in vitro* del extracto floral de *Aerva lanata* en la inhibición de biopelículas de *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus*. Se encontró que el extracto de *A. lanata* mostró una inhibición significativa de las biopelículas y provocó una distorsión eficaz de la matriz de la biopelícula. Además, se demostró la eficacia del extracto de *A. lanata* para rescatar camarones de salmuera de la infección por *P. aeruginosa* y *S. aureus* en un modelo *in vivo* con *Artemia salina*.

Por otro lado, se ha demostrado la capacidad citotóxica de Euphorbia

bivonae, resultando en la letalidad total de *Artemia salina* (Kamaraj et al., 2023; Brindhadevi et al., 2023; Enneb et al., 2023).

En resumen, estos estudios destacan el potencial de diversos fitobióticos para mejorar la salud y la resistencia a enfermedades en organismos acuáticos, así como para controlar la formación de biopelículas y la proliferación de microorganismos patógenos en entornos de cultivo acuícola. Los fitobióticos ejercen sus efectos beneficiosos a través de una variedad de mecanismos de acción. Uno de los principales mecanismos es su capacidad para modular la respuesta inmunitaria de los organismos acuáticos, estimulando la producción de citocinas y la actividad fagocítica de los leucocitos. Esto fortalece la capacidad del hospedador para combatir patógenos y reduce la susceptibilidad a enfermedades bacterianas, como las causadas por *Vibrio spp.* (Morales-Covarrubias et al., 2016).

Numerosos fitobióticos han demostrado tener diversos efectos beneficiosos, tales como en la reproducción, nutrición, anestesia, desintoxicación, antifouling y anticrustante, según detallan diversos estudios. Por ejemplo, los tratamientos subletales (20% y 60% de LC50/24h) con molusquicidas derivados de plantas, como el aceite de *Azadirachta indica*, el aceite de *Cedrus deodara*, el polvo de bulbo de *Allium sativum* y el polvo de corteza de *Nerium indicum*, han mostrado reducir significativamente los niveles de proteínas, aminoácidos, ADN, ARN y fosfolípidos, mientras que aumentan la peroxidación lipídica en los ovotestis de *Achatina fulica*, lo que indica una disminución en la capacidad reproductiva de estos caracoles (Rao & Singh, 2000; He et al., 2002).

Otro estudio relevante sobre la actividad anticrustante mostró que el uso de *Ozoroa insignis* en larvas de *Artemia salina* permitió aislar el ácido 6-pentadecilsalicílico como principio activo. La mortalidad estival, asociada con picos de alta temperatura del agua que causan muertes masivas de abalones y otros moluscos, es una preocupación significativa para la acuicultura debido a sus implicaciones económicas. Se ha observado que dietas suplementadas con extracto de semilla de uva (GSE) son efectivas para reducir la mortalidad estival en abalones debido a sus compuestos antioxidantes que minimizan la acumulación de especies reactivas de oxígeno dañinas. Asimismo, *Ulva latuca* ha demostrado ser eficaz como aditivo dietético para mejorar la supervivencia y productividad de los abalones bajo condiciones de alta temperatura del agua (Lange et al., 2014; Shiel et al., 2017).

En cuanto a sus propiedades anestésicas, los aceites esenciales de *Lippia*

alba, *Aloysia triphylla* y *Melaleuca alternifolia* (TTO) han mostrado un efecto anestésico comparable a los anestésicos comerciales en otros crustáceos. La inyección de terpinene-4-ol y TTO nanoencapsulado en *Neohelice granulata* mostró

tiempos ideales de inducción y recuperación, posicionándolos como alternativas anestésicas prometedoras para crustáceos (Souza et al., 2018).

Otros estudios han destacado el uso de fitobióticos como desintoxicantes. Por ejemplo, el extracto de *Polygonum equisetiforme* a concentraciones de 0,009 g/L y 0,09 g/L previene el estrés oxidativo causado por el diclorvos en la almeja comercial *Ruditapes decussatus* (El Ayari et al., 2020). Además, extractos de 27 algas marinas han mostrado una actividad antiincrustante significativa en el asentamiento de larvas, con una inhibición casi completa del asentamiento a concentraciones de prueba de 0,8 mg/mL (Cho et al., 2001). Se ha demostrado que las hojas de bambú tienen un mecanismo antioxidante eficiente en el músculo aductor de *Argopecten irradians*, mejorando la calidad lipídica de dicho músculo (Xie et al., 2019).

El aceite de orégano también se ha utilizado como tratamiento terapéutico en la producción de larvas mixótrofas de la vieira *Nodipecten subnodosus*, mostrando un rendimiento larval elevado y superior al tratamiento con el antibiótico florfenicol, que resultó en larvas de menor longitud anteroposterior, sugiriendo la superioridad del aceite esencial de orégano sobre los antibióticos en esta aplicación (Revilla et al., 2019). Por último, se ha investigado el efecto de los extractos de hojas de *Moringa oleifera* y té verde, comparados con ácido acético, sobre la aceptabilidad sensorial, la vida útil y la calidad microbiológica de camarones. Se encontró que el extracto de *Moringa* mostró una buena actividad antioxidante, concluyendo que los tratamientos con extracto de té verde y ácido acético pueden ser métodos prometedores para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de los crustáceos (Ali et al., 2021).

En definitiva, la incorporación de fitobióticos en la acuicultura de crustáceos y moluscos no solo mejora la salud y la resistencia a enfermedades de estos organismos, sino que también contribuye a prácticas más sostenibles y menos dependientes de antibióticos y productos químicos sintéticos. La investigación continua y el desarrollo de nuevos fitobióticos prometen ofrecer soluciones aún más

efectivas y diversificadas para los desafíos en la acuicultura moderna.

3.1.8. Perspectivas futuras y desafíos

El estudio realizado muestra las tendencias de los temas estudiados a lo largo del tiempo, Figura 6. Sin embargo, a medida que avanza la investigación en este campo, se espera que los fitobióticos jueguen un papel cada vez más importante en la mejora integral de la cría de crustáceos y moluscos. La optimización de las formulaciones, dosificaciones y estrategias de aplicación de fitobióticos puede conducir a mejoras significativas en la salud, el rendimiento y la sostenibilidad de la acuicultura en el futuro.

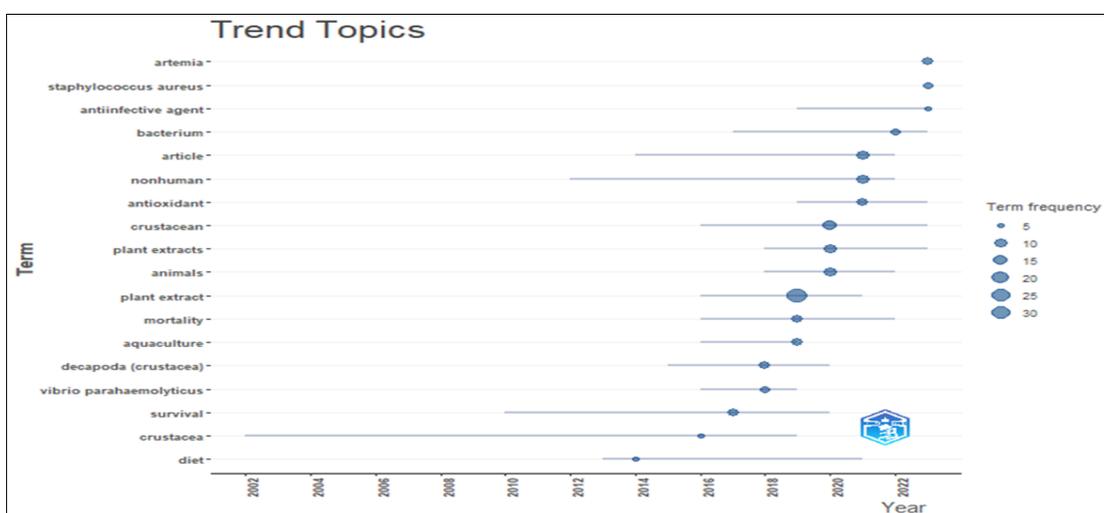


Figura. 7. Tendencia del uso de fitobióticos en la cría de crustáceos y moluscos

A pesar de los beneficios potenciales de los fitobióticos en la cría de crustáceos y moluscos, aún existen desafíos que deben abordarse. A partir de los resultados de esta revisión bibliográfica, se proponen orientaciones para futuras investigaciones:

- La identificación y caracterización de fitobióticos específicos y sus mecanismos de acción en diferentes especies acuáticas.
- Además, se requiere una comprensión más profunda de los efectos a largo plazo y los posibles impactos ambientales de la utilización de estos compuestos en sistemas de cultivo intensivo.

4. CONCLUSIÓN

El estudio bibliométrico realizado sobre los artículos científicos relacionados con el uso de fitobióticos en la cría de crustáceos y moluscos entre 2000 y 2023, permite observar que desde 2019 se ha producido un crecimiento en el número de investigaciones. China, India y Tailandia. fueron los países con mayor producción y colaboración en este campo. *Aquaculture* y *Aquaculture Research* fueron las revistas con más publicaciones del tema. Por último, el análisis de palabras diferenció tres grupos: uno relacionado con actividad antimicrobiana, inmunológica y propiedades bioactivas.

Los fitobióticos representan una herramienta prometedora para mejorar la cría de crustáceos y moluscos, ofreciendo una gama de beneficios que incluyen propiedades inmunomoduladoras, antioxidantes y antimicrobianas. A medida que la industria acuícola continúa enfrentando desafíos relacionados con la salud y el rendimiento de los organismos cultivados, los fitobióticos pueden desempeñar un papel crucial en el impulso hacia una producción más sostenible y eficiente. Sin embargo, se necesita más investigación para comprender completamente su potencial y optimizar su uso en diferentes sistemas de cultivo y especies acuáticas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdul Kari, Z., Wee, W., Mohamad Sukri, S. A., Che Harun, H., Hanif Reduan, M. F., Irwan Khoo, M., Van Doan, H., Wen Goh, K., & Seong Wei, L. (2022). Role of phytobiotics in relieving the impacts of *Aeromonas hydrophila* infection on aquatic animals: A mini-review. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1023784>
- Abidin, Z., Hu, Y.-F., Huang, H.-T., Huang, C.-Y., Wu, Y.-S., & Nan, F.-H. (2023). Effect of aqueous moringa (*Moringa oleifera*) leaf extract as a prebiotic on growth of the whiteleg shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, 1931 (Decapoda, Penaeidae). *Crustaceana*, 96(2), 139–156. <https://doi.org/10.1163/15685403-bja10269>
- Ali, F. H. M., Oaf, G. M., Elmasry, A. A., & Hassan, A. H. A. (2021). Sensory acceptability,

- shelf life, and quality of crustaceans treated with moringa oleifera and green tea leaf extracts versus acetic acid. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 11(2), 102–109.
- Azra, M. N., Okomoda, V. T., Tabatabaei, M., Hassan, M., & Ikhwanuddin, M. (2021). The Contributions of Shellfish Aquaculture to Global Food Security: Assessing Its Characteristics From a Future Food Perspective. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.654897>
- Béné, C., Arthur, R., Norbury, H., Allison, E. H., Beveridge, M., Bush, S., Campling, L., Leschen, W., Little, D., Squires, D., Troell, M., & Williams, M. (2016). Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Development*, 79, 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>
- Bradford, J., Filgueira, R., & Bailey, M. (2020). Exploring community-based marine aquaculture as a coastal resource management opportunity in Nova Scotia, Canada. *Facets*, 5(1), 26–48. <https://doi.org/10.1139/FACETS-2019-0010>
- Brindhadevi, K., Hoang Le, Q., Salmen, S. H., Karuppusamy, I., & Pugazhendhi, A. (2023). In vitro biofilm inhibition efficacy of Aerva lanata flower extract against Gram negative and Gram-positive biofilm forming bacteria and toxicity analysis using Artemia salina. *Environmental Research*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117118>
- Enneb, H., Athmouni, K., Thabet, R., & Ayadi, H. (2023). Phytochemical Compounds of Euphorbia bivonae Extract and Their Cytotoxicity Effects on the Lethality of Brine Shrimp Artemia salina and Embryonic Kidney (HEK293) Cells. *Chemistry and Biodiversity*, 20(5). <https://doi.org/10.1002/cbdv.202201135>
- Farook, M. A., Vimal, S., Madan, N., Taju, G., Abdul Majeed, S., Nambi, K. S. N., Balasubramanian, G., & Sahul Hameed, A. S. (2016). Immunomodulatory effect of Cynodon dactylon against white tail disease of giant freshwater prawn, Macrobrachium rosenbergii (de Man, 1879). *Aquaculture Research*, 47(11), 3421–3431. <https://doi.org/10.1111/are.12789>
- Gholamhosseini, A., Kheirandish, M. R., Shiry, N., Akhlaghi, M., Soltanian, S., Roshanpour, H., & Banaee, M. (2020). Use of a methanolic olive leaf extract (Olea europaea) against white spot virus syndrome in Penaeus vannamei: Comparing the biochemical, hematological and immunological changes. *Aquaculture*, 528. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735556>

- Hamdan, N. A., Zakariah, M. I., Yusoff, N. A. H., Norhan, N. A.-S., Nagi, A. M., Wahab, W., & Hassan, M. (2023). Physiological effects of Melaleuca cajuputi extract on *Macrobrachium rosenbergii*, and its sensitivity against *Probopyrus buitendijki*. *Aquaculture International*, 31(2), 703–718. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00996-3>
- Harikrishnan, R., Devi, G., Van Doan, H., Balasundaram, C., Arockiaraj, J., & Jagruthi, C. (2021). Efficacy of ulvan on immune response and immuno-antioxidant gene modulation in *Labeo rohita* against columnaris disease. *Fish and Shellfish Immunology*, 117, 262–273. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.08.004>
- Harikrishnan, R., Devi, G., Van Doan, H., Balasundaram, C., Esteban, M. Á., & Abdel-Tawwab, M. (2021). Impact of grape pomace flour (GPF) on immunity and immune-antioxidant-anti-inflammatory genes expression in *Labeo rohita* against *Flavobacterium columnaris*. *Fish and Shellfish Immunology*, 111, 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.01.011>
- Harikrishnan, R., Thamizharasan, S., Devi, G., Van Doan, H., Ajith Kumar, T. T., Hoseinifar, S. H., & Balasundaram, C. (2020). Dried lemon peel enriched diet improves antioxidant activity, immune response and modulates immuno-antioxidant genes in *Labeo rohita* against *Aeromonas sorbia*. *Fish and Shellfish Immunology*, 106, 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.07.040>
- He, W., Van Puyvelde, L., Bosselaers, J., De Kimpe, N., Van der Flaas, M., Roymans, A., Mathenge, S. G., Mudida, F. P., & Chalo Mutiso, P. B. (2002). Activity of 6-pentadecylsalicylic acid from *Ozoroa insignis*: Against marine crustaceans. *Pharmaceutical Biology*, 40(1), 74–76. <https://doi.org/10.1076/phbi.40.1.74.5862>
- Hoseini, S. M., Gupta, S. K., Yousefi, M., Kulikov, E. V., Drukovsky, S. G., Petrov, A. K., Taheri Mirghaed, A., Hoseinifar, S. H., & Van Doan, H. (2022). Mitigation of transportation stress in common carp, *Cyprinus carpio*, by dietary administration of turmeric. *Aquaculture*, 546. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737380>
- Huang, A.-G., Tu, X., Qi, X.-Z., Ling, F., Zhu, B., & Wang, G.-X. (2019). *Gardenia jasminoides* Ellis inhibit white spot syndrome virus replication in red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *Aquaculture*, 504, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.008>
- Kalaiselvan, P., Malarvizhi, K., & Ranjan, A. (2024). Exploring phytobiotics in aquaculture: sources, mode of action, effects, administration, and its bioavailability in fish. *Aquaculture International*. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01444-0>

- Kamaraj, C., Ragavendran, C., Manimaran, K., Sarvesh, S., Islam, A. R. M. T., & Malafaia, G. (2023). Green synthesis of silver nanoparticles from *Cassia Auriculata*: Targeting antibacterial, antioxidant activity, and evaluation of their possible effects on saltwater microcrustacean, *Artemia Nauplii* (non-target organism). *Science of the Total Environment*, 861. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160575>
- Karnjana, K., Soowannayan, C., & Wongprasert, K. (2019). Ethanolic extract of red seaweed *Gracilaria fisheri* and furanone eradicate *Vibrio harveyi* and *Vibrio parahaemolyticus* biofilms and ameliorate the bacterial infection in shrimp. *Fish and Shellfish Immunology*, 88, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.01.058>
- Khan, B. M., & Liu, Y. (2019). Marine Mollusks: Food with Benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 548–564. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12429>
- Klongklaew, N., Praiboon, J., Tamtin, M., & Srisapoome, P. (2021). Chemical composition of a hot water crude extract (HWCE) from *Ulva intestinalis* and its potential effects on growth performance, immune responses, and resistance to white spot syndrome virus and yellowhead virus in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Fish and Shellfish Immunology*, 112, 8–22. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.02.004>
- Lange, B., Currie, K.-L., Howarth, G. S., & Stone, D. A. J. (2014). Grape seed extract and dried macroalgae, *Ulva lactuca* Linnaeus, improve survival of greenlip abalone, *Haliotis laevigata* Donovan, at high water temperature. *Aquaculture*, 433, 348–360. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.06.028>
- Manilal, A., Selvin, J., & Sugathan, S. (2013). Immuno-Modulatory Efficacy of Indian Red Algae, *Asparagopsis taxiformis*, in *Penaeus monodon*. *Journal of Applied Aquaculture*, 25(1), 81–93. <https://doi.org/10.1080/10454438.2013.763514>
- Morales-Covarrubias, M. S., García-Aguilar, N., Bolan-Mejía, M. D. C., & Puello-Cruz, A. C. (2016). Evaluation of medicinal plants and colloidal silver efficiency against *Vibrio parahaemolyticus* infection in *Litopenaeus vannamei* cultured at low salinity. *Diseases of Aquatic Organisms*, 122(1), 57–65. <https://doi.org/10.3354/dao03060>
- Munaeni, W., Widanarni, Yuhana, M., Setiawati, M., & Wahyudi, A. T. (2020). Impact of dietary supplementation with *Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb. on intestinal microbiota diversity and growth of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 528. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735466>
- Nguyen, T. T. L., Luu, T. T. H., Nguyen, T. T., Pham, V. D., Nguyen, T. N., Truong, Q. P., & Hong, M. H. (2023). A comprehensive study in efficacy of Vietnamese herbal

- extracts on whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) against *Vibrio parahaemolyticus* causing acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND). *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 75(2). <https://doi.org/10.46989/001c.81912>
- Nimrat, S., Noppakun, S., Sripuak, K., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2020). Cryopreservation of banana shrimp (*Fenneropenaeus merguensis*) spermatophores with supplementation of medicinal plant extracts: Development of a programmable controlled-rate method and a practical method. *Aquaculture*, 515. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734537>
- Prathomya, P., Hussein, H. A., Tran, N. T., Duan, Y.-H., Peng, S.-H., Xu, Y., Qian, X.-Q., & Wang, G.-T. (2019). Effects of dietary supplementation of *Astragalus membranaceus*, *Codonopsis pilosula*, and *Glycyrrhiza uralensis* extract mixture on growth performance, haematological parameters and hepatopancreatic performance in juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus v.* *Aquaculture Research*, 50(9), 2707–2717. <https://doi.org/10.1111/are.14251>
- Raja Rajeswari, P., Velmurugan, S., Michael Babu, M., Albin Dhas, S., Kesavan, K., & Citarasu, T. (2012). A study on the influence of selected Indian herbal active principles on enhancing the immune system in *Fenneropenaeus indicus* against *Vibrio harveyi* infection. *Aquaculture International*, 20(5), 1009–1020. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9525-5>
- Randrianarivelo, R., Danthu, P., Benoit, C., Ruez, P., Raherimandimby, M., & Sarter, S. (2010). Novel alternative to antibiotics in shrimp hatchery: Effects of the essential oil of *Cinnamosma fragrans* on survival and bacterial concentration of *Penaeus monodon* larvae. *Journal of Applied Microbiology*, 109(2), 642–650. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04694.x>
- Rao, I. G., & Singh, D. K. (2000). Effect of single and binary combinations of plant-derived molluscicides on reproduction and survival of the snail *Achatina fulica*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(4), 486–493. <https://doi.org/10.1007/s002440010131>
- Rattanavichai, W., Cheng, W., & Chang, C.-C. (2017). Simplified processing method of banana (*Musa acuminata*) peels possess the improvement in immunological responses of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Research*, 48(10), 5202–5213. <https://doi.org/10.1111/are.13332>
- Revilla, J., Márquez, A., Rodríguez-Pesantes, D., Domínguez-Borbor, C., Rodríguez, J., Lodeiros, C., & Sonnenholzner, S. (2019). Oregano oil as a therapeutic treatment in

- the production of mixotrophic larvae of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus*. *Aquaculture*, 498, 422–427.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.008>
- Shiel, B. P., Hall, N. E., Cooke, I. R., Robinson, N. A., Stone, D. A. J., & Strugnell, J. M. (2017). The effect of commercial, natural and grape seed extract supplemented diets on gene expression signatures and survival of greenlip abalone (*Haliotis laevis*) during heat stress. *Aquaculture*, 479, 798–807.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.025>
- Souza, C. F., Lima, T., Baldissera, M. D., Geihs, M. A., Maciel, F. E., Nery, L. E. M., Santos, R. C. V., Raffin, R. P., Heinzmann, B. M., Caron, B. O., Caron, B. O., & Baldisserotto, B. (2018). Nanoencapsulated *Melaleuca alternifolia* essential oil exerts anesthetic effects in the brachyuran crab using *Neohelice granulata*. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 90(3), 2855–2864. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170930>
- Sun, Z.-C., Chen, C., Xu, F.-F., Li, B.-K., Shen, J.-L., Wang, T., Jiang, H.-F., & Wang, G.-X. (2021). Evaluation of the antiviral activity of naringenin, a major constituent of *Typha angustifolia*, against white spot syndrome virus in crayfish *Procambarus clarkii*. *Journal of Fish Diseases*, 44(10), 1503–1513.
<https://doi.org/10.1111/jfd.13472>
- Wijsman, J. W. M., Troost, K., Fang, J., & Roncarati, A. (2018). Global production of marine bivalves. Trends and challenges. In *Goods and Services of Marine Bivalves*.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-96776-9_2
- Willer, D. F., & Aldridge, D. C. (2020). Sustainable bivalve farming can deliver food security in the tropics. *Nature Food*, 1, 384–388. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0116-8>
- Xie, H.-K., Zhou, D.-Y., Yin, F.-W., Rakariyatham, K., Zhao, M.-T., Liu, Z.-Y., Li, D.-Y., Zhao, Q., Liu, Y.-X., Shahidi, F., Shahidi, F., & Zhu, B.-W. (2019). Mechanism of antioxidant action of natural phenolics on scallop (*Argopecten irradians*) adductor muscle during drying process. *Food Chemistry*, 281, 251–260.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.108>
- Yousefi, M., Vatnikov, Y. A., Kulikov, E. V., Plushikov, V. G., Drukovsky, S. G., Hoseinifar, S. H., & Van Doan, H. (2020). The protective effects of dietary garlic on common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to ambient ammonia toxicity. *Aquaculture*, 526.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735400>