



**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
ESCUELA DE MEDICINA VETERINARIA
CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA
SEDE DE LA PATAGONIA**

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE LAS PROPIEDADES
ANTIMICROBIANAS DEL AJO (*Allium sativum*) Y LAS PERSPECTIVAS
DE SU APLICACIÓN EN LA SALMONICULTURA**

**MEMORIA DE TÍTULO COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO
DE MÉDICO VETERINARIO**

**Profesor guía: Dr. Juan Pablo Pontigo Vásquez
Estudiante: Cristopher Bastian Alexander Urra Bahamonde**

Puerto Montt, Chile

2025

® **Cristopher Bastian Alexander Urra Bahamonde**. Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento, siempre y cuando se incluya la cita bibliográfica del documento.

Puerto Montt, Chile

2025

HOJA DE CALIFICACIÓN



HOJA DE CALIFICACIÓN

En Puerto Montt, el 9 de julio, de 2025 los abajo firmantes, dejan constancia que el (la) estudiante Cristopher Bastián Alexander Urra de la carrera o programa de Medicina Veterinaria, ha aprobado la tesis o memoria de título para optar al título o grado académico de Médico Veterinario con una nota de 6.5

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Juan Pablo Pontigo", is written over a horizontal line.

Juan Pablo Pontigo

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Marcos Godoy", is written over a horizontal line.

Marcos Godoy

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Margarita González", is written over a horizontal line.

Margarita González

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, profesores y amigos, cuyo apoyo estuvieron presentes en todo momento durante el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, abuela y hermana, quienes me brindaron su apoyo incondicional y confort en mis peores momentos, así como también agradezco a mi profesor guía Juan Pablo Pontigo y a mi anterior profesora guía Danixa Martínez, quienes me ofrecieron esta oportunidad, su ayuda, conocimientos y orientación durante todo el proceso. Agradezco al profesor Ricardo Oyarzún, por la preocupación que demostró hacia sus alumnos para poder entregar un buen escrito y estar siempre disponible para resolver nuestras dudas. Agradecer a mis queridos perros, Max y Luna Bahamonde, por acompañarme y alegrar mis instancias cuando volvía a mi hogar en Chiloé. Por último, se agradece a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) ya que a través del proyecto Fondecyt de Iniciación N° 11230401 fue posible el financiamiento de esta memoria de título.

TABLA DE CONTENIDO

DERECHOS DE AUTOR	i
HOJA DE CALIFICACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Acuicultura	1
1.2. Enfermedades	2
1.3. Tratamientos profilácticos	4
1.4. Herramientas terapéuticas	5
1.5. Plantas medicinales	6
OBJETIVOS	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. Tipo de estudio	10
3.2. Obtención y selección del material bibliográfico	10
3.3. Métodos	10
3.4. Criterios de inclusión	11
3.5. Criterios de exclusión	11
3.6. Análisis	12
RESULTADOS	13
DISCUSIÓN	24
CONCLUSIÓN	26
BIBLIOGRAFÍA	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recopilación de algunos artículos científicos que expliquen los compuestos bioactivos del ajo (*Allium sativum*) y su mecanismo de acción correspondiente..... 13

Tabla 2. Recopilación de artículos científicos que describen los resultados de la aplicación de ajo en sus experimentos, señalando patógenos afectados o efectos principales. 16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica sobre los agentes patógenos causantes de mortalidad en la salmonicultura chilena año 2023	3
--	---

RESUMEN

La producción acuícola ha tenido un crecimiento significativo, especialmente en Chile, donde el cultivo de salmón juega un papel clave en la economía. Sin embargo, esta industria es afectada negativamente por diversas enfermedades. Las vacunas y los antibióticos han presentado una eficacia reducida contra este tipo de patologías, lo que ha impulsado la investigación de nuevas alternativas profilácticas, como el uso de extractos vegetales como una opción para mejorar la salud de los peces, prevenir infecciones y contribuir a la reducción del uso excesivo e inadecuado de los antimicrobianos comunes. Este estudio analizó a partir de la literatura científica disponible, las propiedades antimicrobianas del ajo (*Allium sativum*) y evaluó su potencial aplicación como agente terapéutico o preventivo en el control de enfermedades infecciosas en la salmonicultura. Se empleó una fórmula de búsqueda con operadores booleanos aplicada en bases de datos científicos para la selección de artículos, se diseñaron tablas de análisis para evaluar metodológicamente cada estudio, aplicando criterios de inclusión y exclusión, como resultado de este proceso se seleccionaron 30 estudios. Los resultados revelaron que la alicina es el compuesto bioactivo principal que le confiere al ajo gran parte de sus propiedades antimicrobianas y demás funciones, siendo capaz de inhibir la formación de biopelículas o enzimas de replicación del ADN, alterar la síntesis de peptidoglicanos, aumentar la permeabilidad de las membranas bacterianas, entre otras funciones. Además, se observó que la alicina era capaz de alterar la estructura del citoesqueleto y la síntesis de ATP en algunos parásitos, reduciendo su movilidad y viabilidad. Los resultados mostraron que el ajo posee una marcada actividad antimicrobiana contra bacterias como *Staphylococcus spp.*, *Vibrio spp.*, *E. coli*, *Aeromonas spp.*, *Pseudomonas*, entre otras. Además de actividad antiparasitaria contra parásitos monogéneos y crustáceos, también se evidenciaron sus efectos como promotor del crecimiento y mejoras productivas en varias especies acuícolas, observándose mayor ganancia de peso, conversión alimenticia y composición corporal. Adicionalmente, se reportaron efectos inmunoestimulantes en peces, pollos de engorde y cangrejos de río, junto con efectos antioxidantes y protectores frente a intoxicaciones con zinc o cipermetrina. Estos hallazgos validan el potencial del ajo en la salmonicultura como posible alternativa o herramienta complementaria, gracias a sus propiedades antimicrobianas, antiparasitarias, inmunoestimulantes, entre otras funciones ya mencionadas. Es fundamental realizar más investigaciones que permitan establecer dosis seguras y protocolos de aplicación adecuados para el uso del ajo, con el fin de prevenir efectos adversos o impactos negativos a largo plazo.

Palabras clave: acuicultura, antimicrobianos, extractos vegetales.

ABSTRACT

Aquaculture production has grown significantly, especially in Chile, where salmon farming plays a key role in the economy. However, this industry is negatively affected by various diseases. Vaccines and antibiotics have shown reduced efficacy against these types of pathologies, which has driven research into new prophylactic alternatives, such as the use of plant extracts as an option to improve fish health, prevent infections, and contribute to reducing the excessive and inappropriate use of common antimicrobials. This study analyzed the antimicrobial properties of garlic (*Allium sativum*) based on the available scientific literature and evaluated its potential application as a therapeutic or preventive agent in the control of infectious diseases in salmon farming. A search formula with Boolean operators was used in scientific databases to select articles, and analysis tables were designed to methodologically evaluate each study, applying inclusion and exclusion criteria. As a result of this process, 30 studies were selected. The results revealed that allicin is the main bioactive compound that gives garlic many of its antimicrobial properties and other functions, being capable of inhibiting the formation of biofilms or DNA replication enzymes, altering peptidoglycan synthesis, and increasing the permeability of bacterial membranes, among other functions. In addition, it was observed that allicin was capable of altering the structure of the cytoskeleton and ATP synthesis in some parasites, reducing their mobility and viability. The results showed that garlic has marked antimicrobial activity against bacteria such as *Staphylococcus spp.*, *Vibrio spp.*, *E. coli*, *Aeromonas spp.*, *Pseudomonas*, among others. In addition to antiparasitic activity against monogenean parasites and crustaceans, its effects as a growth promoter and productivity enhancer in several aquaculture species were also evident, with increased weight gain, feed conversion, and body composition observed. In addition, immunostimulatory effects were reported in fish, broiler chickens, and crayfish, along with antioxidant and protective effects against zinc or cypermethrin poisoning. These findings validate the potential of garlic in salmon farming as a possible alternative or complementary tool, thanks to its antimicrobial, antiparasitic, and immunostimulatory properties, among other functions already mentioned. Further research is essential to establish safe doses and appropriate application protocols for the use of garlic, in order to prevent adverse effects or long-term negative impacts.

Keywords: aquaculture, antimicrobials, plant extracts.

INTRODUCCIÓN

1.1. Acuicultura

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) se plantea que para 2030 el mundo no estará preparado para cubrir las demandas alimenticias o la malnutrición de la población. La crisis climática, la degradación de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad afectan gravemente, tanto a la sociedad como al medio ambiente, por ello se deben tomar medidas eficaces para mantener los sistemas agroalimentarios y garantizar la seguridad alimentaria con dietas saludables, nutritivas y accesibles para la población que está en constante crecimiento (FAO, 2022).

Según la FAO (2022), la acuicultura y la pesca toman un rol importante al integrar el pescado y los productos pesqueros como parte esencial del sistema alimentario. Se estimó que en el año 2020 la producción de ambas actividades logró un récord de 214 millones de toneladas, siendo 178 millones de toneladas provenientes de animales acuáticos y 36 millones de toneladas provenientes de algas, demostrando el crecimiento que ha tenido este rubro. Esto refleja que la acuicultura ha sufrido una evolución progresiva a lo largo de los años, con el fin de volverse una industria beneficiosa y sostenible.

Debido a la gran variedad de condiciones en donde se puede ejercer la acuicultura en todo el mundo, se logra el cultivo de una amplia diversidad de especies acuáticas en distintos tipos de sistemas de cultivo. En cuanto a la pesca, esta se ve afectada negativamente por la pesca excesiva, la contaminación, una ordenación deficiente, entre otros factores, pero se comprobó que una prevención eficaz y una captura dentro de los límites del ecosistema marino puede ayudar a recuperar las poblaciones (FAO, 2022).

Según la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Subpesca, 2021), en Chile la acuicultura es una de las áreas a la que se le han dedicado importantes esfuerzos para su desarrollo, con una producción acuícola nacional que se ha logrado mantener vigente, principalmente con el cultivo de salmónidos y mitílidos. La producción acuícola se concentra mayormente en las regiones de Los Lagos y la región de Magallanes y la Antártica Chilena. Para lograr un desarrollo sustentable es crucial conservar los cuerpos

de agua que se utilizan en el proceso, por lo que la Subpesca implementó el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA), el cual establece metodologías, límites de aceptabilidad ambiental y mecanismos de seguimiento para monitorear y asegurar que la actividad acuícola se adapte a la capacidad de los cuerpos de agua y así mantener su calidad ambiental a lo largo del tiempo.

De acuerdo con FAO (2024), el sector pesquero/acuícola se volvió uno de los pilares de la economía en Chile, con una estructura que parece haber alcanzado un alto grado de organización empresarial y nivel tecnológico, lo que ayudó a posicionar a Chile como el segundo país productor mundial de salmón, además de contribuir a la creación de diversas oportunidades laborales.

En Chile, la producción acuícola se concentra principalmente en salmónidos, seguidos por mitílidos y otras especies en menor proporción. Dentro de la salmonicultura la especie mayormente producida corresponde al salmón del Atlántico (*Salmo salar*), seguido del salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Flores-Kossack et al., 2020; Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura [SERNAPESCA], 2023c).

1.2. Enfermedades

La salmonicultura al igual que otras industrias alimentarias se ve afectada por varios tipos de enfermedades, las que pueden caracterizarse por provocar una gran cantidad de pérdidas en la producción de peces, aumento de los costos de producción en los ámbitos de prevención y control, y la disminución en la conversión alimentaria. Estas enfermedades pueden ser de orígenes viral, parasitario, micóticas y bacterianas (SERNAPESCA, 2024).

En Chile, se han ejecutado controles de vigilancia y control de las principales enfermedades que afectan a la industria, algunas de estas serían; la Anemia Infecciosa del Salmón, Caligidosis y la Piscirickettsiosis (SERNAPESCA, 2023a).

La piscirickettsiosis, también conocida como septicemia rickettsial del salmón (SRS), es una enfermedad causada por la bacteria *Piscirickettsia salmonis* (*P. salmonis*). Esta bacteria se describe como pleomórfica, Gram negativa, inmóvil, replicándose por fisión binaria en las vacuolas citoplasmáticas de los peces susceptibles y produciendo una

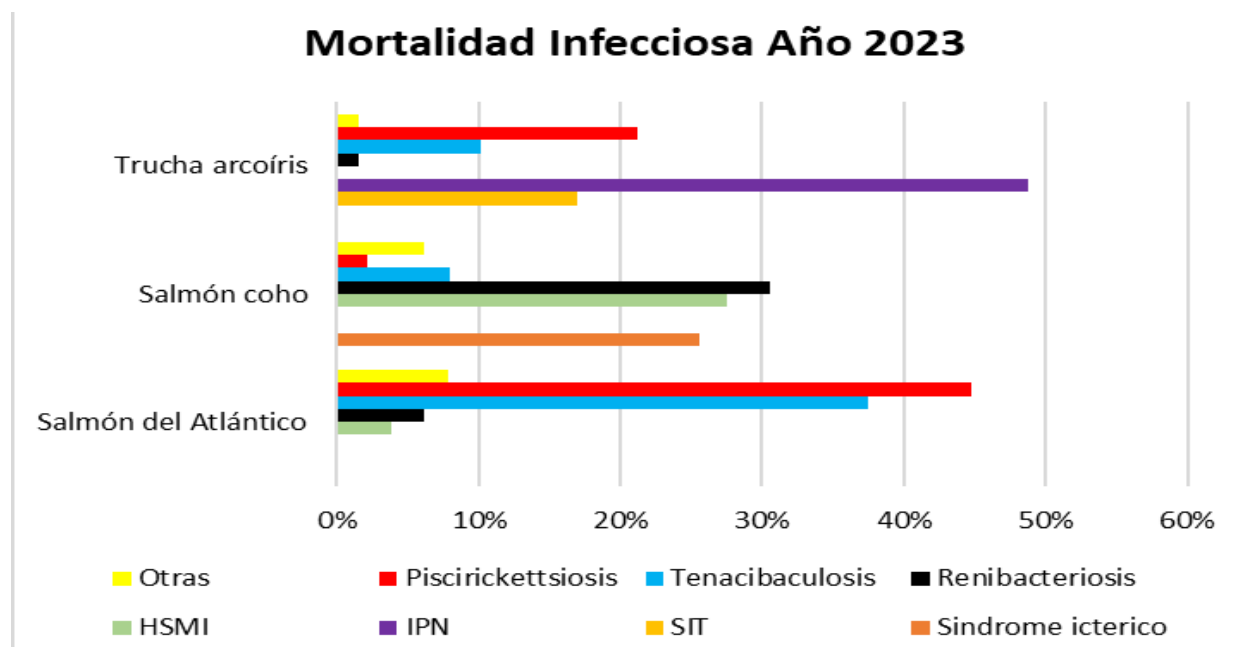
mortalidad extensa en distintas especies de salmónidos, produce signos clínicos como la descamación, palidez branquial, hemorragias equimóticas y petequiales en la base de las aletas, nódulos y úlceras en la piel. *P. salmonis* es la principal patología bacteriana que afecta a los salmónidos de Chile, generando pérdidas económicas significativas debido a las altas tasas de mortalidad y costos de tratamiento (Fryer et al. 1992; San Martín y Cornejo, 2021).

Según los datos de SERNAPESCA (2016), las pérdidas económicas, tanto directas como indirectas causadas por *P. salmonis* se estiman en alrededor de 750 millones de dólares anuales. Rozas y Enríquez (2014) confirman que *P. salmonis* es el agente causante del SRS en el salmón coho, el salmón del Atlántico y la trucha arcoíris en Noruega, Canadá, Escocia, Irlanda y Chile.

SERNAPESCA (2024) señala que, en Chile, las principales causas de pérdidas del salmón del Atlántico son enfermedades infecciosas, destacando en primer lugar la piscirickettsiosis y en segundo lugar la tenacibaculosis.

Figura 1. Representación gráfica sobre los agentes patógenos causantes de mortalidad en la salmonicultura chilena año 2023. Fuente: SERNAPESCA (2024). Informe con antecedentes sanitarios de agua dulce y mar.

<https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2024/09/Informe-Sanitario-ANO-2023.pdf>



Nota: Necrosis pancreática infecciosa (IPN), Inflamación del musculo esquelético y cardiaco (HSMI), Síndrome idiopático de la trucha (SIT).

La tenacibaculosis es una enfermedad bacteriana causada por especies del género *Tenacibaculum*. En Chile la salmonicultura chilena se ve mayormente afectada por *Tenacibaculum dicentrarchi*, se caracterizan por ser bacterias de tipo Gram negativas y aeróbicas, los peces afectados presentan principalmente úlceras cutáneas, podredumbre de la cola, necrosis y erosión bucal, lo que actúa como vía de ingreso para otras infecciones, en casos más avanzados puede comprometer órganos internos y causar graves brotes de mortalidad en los peces, reduciendo su valor comercial y supervivencia (Fernández-Álvarez y Santos, 2018; Flores-Kossack et al., 2020).

Otra patología importante que considerar, debido a su alta mortalidad, es la enfermedad renal bacteriana, causada por la bacteria *Renibacterium salmoninarum*, una bacteria Gram positiva, inmóvil y aeróbica. Esta enfermedad es capaz de producir una pérdida del equilibrio, lesiones oculares, exoftalmia, hemorragia alrededor de la cloaca y la presencia de lesiones granulomatosas grisáceas o blancas en el riñón, bazo e hígado como característica principal (Delghandi et al., 2020; Flores-Kossack et al., 2020).

1.3. Tratamientos profilácticos

Hoy en día, las vacunas comerciales no otorgan una alta eficacia o proporcionan una cobertura temporal adecuada para el control de la *P. salmonis* u otras enfermedades (Flores-Kossack et al., 2020; Rozas y Enríquez, 2014), debido a eso la terapia con antibióticos y/o antiparasitarios se ha extendido en los centros marinos para disminuir las pérdidas causadas por estas patologías.

En las últimas décadas se han invertido varios recursos en tecnologías y métodos dirigidos al control de este tipo de enfermedades lo que ha impulsado la creación de distintos tipos de vacunas y explorando temas como la selección genética y las terapias alternativas a los antimicrobianos tradicionales. A pesar de los avances de esas investigaciones, se puede decir que los progresos no se ven reflejados en una mejoría significativa para el sector acuícola (Steven et al., 2018).

1.4. Herramientas terapéuticas

Los agentes antibacterianos siguen siendo una herramienta terapéutica fundamental para combatir las enfermedades en el sector acuícola, garantizando tanto la salud como el bienestar de los animales y de los seres humanos. No obstante, en los últimos años se ha cuestionado su uso excesivo e inadecuado en la salmonicultura (San Martín y Cornejo, 2021). Esto ha logrado disminuir su eficacia y provocado un aumento en la morbilidad y mortalidad asociado a infecciones, debido a ello se creó el Programa de Vigilancia de la Resistencia Bacteriana en la Salmonicultura a cargo de Departamento de Salud Hidrobiológica del Instituto Fomento Pesquero (IFOP) para evaluar la susceptibilidad de *P. salmonis* ante florfenicol y oxitetraciclina, los antimicrobianos más utilizados en la industria (San Martín y Cornejo, 2021).

En Chile la entidad encargada tanto de regular como de fiscalizar este tipo de malas prácticas es SERNAPESCA, el cual se encarga de velar por su uso responsable y adecuado, aplicando vigilancias, restricciones, crear conciencia entre las personas para optimizar y reducir el uso de antimicrobianos, entre otros aspectos (SERNAPESCA, 2023b).

SERNAPESCA (2023b) describe que, en la salmonicultura chilena, los principales antimicrobianos utilizados para tratar enfermedades como la piscirickettsiosis son el florfenicol y la oxitetraciclina, tanto en agua de mar como agua dulce, administrándolos en mayor medida mediante vía oral y en menor medida a través de inyecciones, o incluso inmersiones en el caso del agua dulce. San Martín y Cornejo (2021) describen dosis comúnmente utilizadas de los fármacos como el florfenicol a 10 mg/kg durante 10 días y oxitetraciclina a 75 mg/kg durante 10-15 días, aunque esto puede variar según la vía de administración, la concentración de los fármacos, entre otros aspectos.

Para evaluar la susceptibilidad de las bacterias ante este tipo de antimicrobianos u otros compuestos, es muy común el uso de los medios de cultivo. De acuerdo con su consistencia, los medios bacteriológicos pueden ser líquidos (caldo), semisólidos o sólidos, además deben elegirse según las demandas de la bacteria a cultivar (Santa Cruz López et al., 2023).

1.5. Plantas medicinales

Debido a esta disminución en la eficiencia de las vacunas, se buscan medicinas alternativas para poder combatir a estas enfermedades, siendo las plantas medicinales una de las opciones a considerar gracias a sus propiedades antimicrobianas.

Dadras et al. (2023) menciona como las plantas medicinales son opciones prometedoras para prevenir y controlar las enfermedades en la acuicultura, contribuyendo de esta manera a la producción de productos acuáticos libres de agentes infecciosos. Cada planta actúa de manera específica según la infección y la dosis adecuada. Aun así, describe la necesidad de la investigación sobre seguridad toxicológica para comprender mejor los mecanismos de acción y evaluar el impacto fisiológico en los organismos para poder desarrollar estrategias y tratamientos adecuados.

Cortés et al. (2023) investigó la eficacia *in vivo* del uso de extractos de *Quillaja saponaria* para proteger al salmón del Atlántico (*Salmo salar*) de las infecciones por *P. salmonis*, describiendo que sus resultados son consistentes a otros estudios realizados en especies distintas pero con este mismo extracto, demostrando su efecto en la modulación de marcadores clave en la respuesta inmune innata y adaptativa, los cuales son muy importantes para la eliminación de células infectadas con esta bacteria, reduciendo significativamente la mortalidad de los peces y el uso de antibióticos.

Elfaky et al. (2024) describe en su estudio el uso de un compuesto que se encuentra dentro de la familia del jengibre, el 6-gingerol, el cuál fue capaz de ejercer su potencial antimicrobiano siendo aplicado contra bacterias Gram negativas como *P. aeruginosa*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae* y en Gram positivas como la *S. aureus*. Este compuesto fue capaz de ejercer un daño significativo sobre la membrana celular mediante la interferencia de receptores del QS, logrando así afectar la motilidad de las bacterias y la formación de las biopelículas, así mismo con la producción de enzimas, factores de virulencia y otros elementos necesarios dentro del ciclo biológico de las bacterias. Básicamente el 6-gingerol es capaz de ejercer su efecto antimicrobiano principalmente a través de una unión competitiva de los receptores del sistema QS.

Nya y Austin (2009) mencionan que la inclusión de jengibre en la alimentación mejoró considerablemente la tasa de crecimiento de la trucha arcoíris y aumentó su resistencia

frente a *A. hydrophila*, al ayudar a reducir la mortalidad y aumentar los mecanismos inmunológicos. De igual manera, Talpur et al. (2013) investiga sobre la adición de jengibre en el cultivo de la lubina asiática (*Lates calcarifer*) y su prometedor efecto como inmunomodulador, además del control sobre la bacteria *V. harveyi* a la que fueron expuestos algunos peces.

Valenzuela et al. (2021) menciona que ya se han evidenciado múltiples propiedades sobre el ajo (*Allium sativum*), las cuales se deben a sus compuestos bioactivos como el ajoeno, aliina y principalmente la alicina, la cual provee la mayoría de las propiedades biológicas del ajo y se ha estudiado como un complemento para la dieta de los peces que ayuda a eliminar microorganismos patógenos de los peces debido a su efecto antimicrobiano. Otros efectos que también se destacan son su poder antioxidante, antiviral, antiparasitario, inmunoestimulador, antiestrés, estimulador del apetito, promotor del crecimiento y su modulación sobre la microbiota intestinal (Kanani et al., 2014; Valenzuela et al., 2021; Zaki et al., 2012).

La alicina es el principal compuesto que le otorga una actividad antimicrobiana de amplio espectro al ajo, siendo efectiva contra bacterias tanto Gram negativas como Gram positivas, esto se debe ya que la alicina al ser una especie reactiva de azufre es capaz de producir reacciones de oxido-reducción con los grupos tiol de las proteínas y cambiar su estructura, produciendo una disminución de los niveles de glutatión, alterando la funcionalidad de las proteínas y la inactivación de enzimas esenciales (Ankri y Mirelman, 1999; Nakamoto et al., 2019; Valenzuela et al., 2021).

Además, gracias a una molécula de enfriamiento del mecanismo quórum sensing (QS), la alicina junto con el ajoeno es capaz de evitar la comunicación y coordinación entre las bacterias, produciendo una disminución de los factores de virulencia e inhibiendo la formación de biopelículas al prevenir la adherencia temprana de las bacterias y la secreción de polisacáridos extracelulares que permitan su construcción (Nakamoto et al., 2019; Valenzuela et al., 2021).

La mayoría de los estudios realizados para evaluar el efecto del extracto informaron una mejora en las tasas de supervivencia, rendimiento del crecimiento, eficiencia alimentaria y una mayor resistencia a las enfermedades patógenas, lo que demuestra la gran

capacidad que puede ejercer el ajo a la hora de utilizarlo para lograr un progreso en el rendimiento de producción. Además del bajo costo y fácil administración que podrían resultar en una alternativa más económica, también es una opción mucho más amigable para el medio ambiente (Valenzuela et al., 2021).

En resumen, enfermedades infecciosas como la piscirickettsiosis son una de las principales causas de mortalidad en la salmonicultura chilena y sus tratamientos generan impactos económicos productivos, mencionando la reducida eficacia que han demostrado los antimicrobianos convencionales para combatir estas enfermedades, debido a características propias de estas bacterias como la naturaleza intracelular de *P. salmonis* que dificulta su control y prevención. Por ello es de gran importancia evaluar alternativas para combatir estas patologías, siendo la relevancia de este estudio emplear la búsqueda de evidencia científica sobre el ajo (*Allium sativum*) y sus distintas aplicaciones en el sector animal, para considerarlos como una potencial alternativa que sea beneficiosa para la industria, tal como se ha descrito en algunos estudios ya mencionados en donde se indica el potencial y efectividad del uso de extractos vegetales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar, a partir de la literatura científica disponible, las propiedades antimicrobianas del ajo (*Allium sativum*) y evaluar su potencial aplicación como agente terapéutico o preventivo en el control de enfermedades infecciosas en la salmonicultura.

Objetivos específicos

- 1.- Identificar y describir los compuestos bioactivos presentes en *Allium sativum* responsables de su actividad antimicrobiana, así como los mecanismos de acción asociados.
- 2.- Examinar estudios experimentales y aplicaciones documentadas del uso de extractos de ajo en sistemas acuícolas, con énfasis en su eficacia frente a patógenos relevantes en la salmonicultura, y en otros animales de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de estudio

Esta investigación es de tipo no experimental ya que se realizó bajo condiciones no controladas y no se espera una asignación al azar, además de considerarse como una revisión bibliográfica descriptiva (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

3.2. Obtención y selección del material bibliográfico

La búsqueda de material literario para el presente estudio se realizó mediante la recopilación de información que se hallaron en documentos disponibles en línea en plataformas académicas como PubMed, Google académico, Science direct, Springer, ProQuest ONE y Mendeley. Por otra parte, también se empleó la información contenida en los informes sanitarios que son publicados oficialmente en la página web del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA).

3.3. Métodos

Para la búsqueda y recopilación de los artículos científicos que componen esta revisión, se empleó una fórmula de búsqueda con términos que se buscaron en idioma español e inglés, cada una de estas palabras claves se pudieron combinar usando el operador booleano “AND”, pudiéndose formar pares y tríos de términos, el operador “OR” para lograr ampliar la búsqueda al agrupar sinónimos y finalmente “NOT” para excluir artículos que no sean de utilidad como resultados en nuestra búsqueda (Campos-Asencio, 2018).

Para esta investigación utilizamos las bases de datos ya mencionadas, mediante el uso de la siguiente fórmula y palabras clave.

“*Allium sativum*” OR garlic AND (antimicrobial activity OR antimicrobial properties) AND (pathogens OR bacteria) AND (fish OR aquaculture) NOT human

Esta combinación permitió identificar estudios que evaluaran el efecto antimicrobiano del ajo (*Allium sativum*) frente a patógenos bacterianos en modelos animales acuáticos, excluyendo investigaciones realizadas en humanos, además de otros artículos que mencionen o incluyan el ajo en sus estudios.

En el caso específico de Google académico, se utilizó una búsqueda más simplificada con los términos *Allium sativum*, animals, antimicrobial y aquaculture, con el propósito de recopilar artículos relevantes que pudieran no estar registrados en las bases de datos tradicionales o que no fueran identificados con la fórmula de búsqueda, siendo este método el que logró recopilar una gran proporción de los estudios o permitió la derivación a las demás bases de datos ya mencionadas.

3.4. Criterios de inclusión

Se incluyeron en esta revisión aquellos estudios publicados entre los años 2014 y 2024, con el fin de asegurar la pertinencia y actualidad científica de la información recopilada sobre el uso del ajo (*Allium sativum*) como agente antimicrobiano o inmunomodulador en animales, entre otros efectos. Se aceptaron investigaciones tanto *in vivo* como *in vitro*, siempre y cuando se tratasen de estudios experimentales realizados en organismos animales, preferiblemente en especies acuáticas relacionadas a la acuicultura. También se consideraron estudios en otras especies animales cuando aportan información útil sobre los mecanismos de acción, efectos del ajo o para incluir mayor variedad a la hora de evaluar sus funciones. Se consideraron solamente los artículos que estuvieran completos y que utilizaran exclusivamente el ajo para el desarrollo de los experimentos, en caso de incluir mezcla con otras plantas o componentes ajenos al ajo, únicamente se considerarán si incluían un grupo experimental tratado exclusivamente con la especie vegetal y si los resultados a dicho grupo eran reportados de forma independiente. Se admitieron estudios que lo utilizaran tanto en forma de extracto, polvo, jugo, aceite o componentes bioactivos derivados de la especie. El enfoque del estudio estuvo centrado en evaluar de manera específica el efecto del ajo, por lo que fue esencial analizar su aplicación dentro de los estudios de manera aislada.

3.5. Criterios de exclusión

Se excluyeron todos aquellos estudios en los que el ajo fue administrado en combinación con otras plantas, extractos vegetales o suplementos naturales, cuando no se representaban resultados diferenciados para el tratamiento con ajo de manera individual. Igualmente, fueron descartados los estudios que utilizaron especies del género *Allium*

distintas de *Allium sativum*, como *Allium cepa* (cebolla) o *Allium tuberosum* (ajo chino), dado que el objetivo principal de esta revisión fue analizar los efectos específicos del ajo común, tampoco se consideraron estudios realizados en humanos. Finalmente, también se descartaron tipos de publicaciones que no correspondieran a estudios experimentales originales, tales como revisiones, editoriales, noticias, entre otras, ya que no aportan evidencia directa sobre los efectos del ajo evaluados mediante un diseño científico controlado.

3.6. Análisis

La información recopilada a partir de la revisión de artículos científicos fue analizada e interpretada de manera descriptiva, utilizando tablas para facilitar su comprensión. Además, se realizó un análisis comparativo, con el objetivo de conocer y predecir que las propiedades del ajo serán beneficiosas en el futuro. Dichos análisis se llevaron a cabo mediante el uso del programa Microsoft Word.

RESULTADOS

En base a lo anterior, se realizó una búsqueda de varios artículos científicos, llegando a un total de 30 estudios experimentales, teniendo en cuenta el primer objetivo se empleó la revisión y sistematización de algunos de estos estudios que evaluaron el uso experimental de *Allium sativum* con énfasis en la identificación de sus principales componentes bioactivos y su mecanismo de acción descritos en los artículos seleccionados. Para ello se construyó una tabla que resume dichos conceptos y que permitió organizar y comparar los efectos atribuidos a compuestos como la alicina (dialiltiosulfonato), la cuál ha sido vinculada a una variedad de efectos biológicos.

Los mecanismos de acción atribuidos a la alicina incluyeron: interacción con grupos sulfhidrido de enzimas bacterianas, alteración de la síntesis de pared celular, aumento de la permeabilidad de membranas, inhibición de la transcripción genética y bloqueo de la replicación del ADN. En estudios parasitarios, se reportó interferencia con la síntesis de ATP y una alteración del citoesqueleto.

Tabla 1. Recopilación de algunos artículos científicos que expliquen los compuestos bioactivos del ajo (*Allium sativum*) y su mecanismo de acción correspondiente. Elaboración propia.

Artículo	Compuestos bioactivos identificados	Mecanismo de acción	AÑO - DOI
Antibacterial properties of <i>Allium sativum</i> L. against the most emerging multidrug-resistant bacteria and its synergy with antibiotics	Alicina	Interactúan con grupos sulfhidrido de enzimas y proteínas bacterianas, bloqueando la transcripción y la traducción, inhibiendo así la	(2021) https://doi.org/10.1007/s00203-021-02248-z

		ARN y la síntesis proteica	
The Effects of <i>Allium sativum</i> Extracts on Biofilm Formation and Activities of Six Pathogenic Bacteria	Alicina	Inhibe la expresión de genes reguladores de la formación de biopelículas e impide la adhesión celular inicial a superficies	(2015) https://doi.org/10.5812/jjm.18971v2
Antimicrobial Activity of Two Garlic Species (<i>Allium Sativum</i> and <i>A. Tuberosum</i>) Against Staphylococci Infection. In Vivo Study in Rats	Alicina, disulfuro de dialilo	Alteran la síntesis de peptidoglicanos, debilitando la pared celular, y provocan lisis osmótica al aumentar la permeabilidad de la membrana	(2017) https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5426724/
Green Biosynthesis of Silver Nanoparticle Using Garlic, <i>Allium sativum</i> with Reference to Its Antimicrobial Activity Against the Pathogenic Strain of <i>Bacillus sp.</i> and <i>Pseudomonas sp.</i>	Alicina, nanopartículas asociadas a extracto de ajo	Las nanopartículas inducen la formación de radicales libres y daño oxidativo en lípidos, proteínas y ADN; la alicina potencia su efecto al romper las membranas	(2019) https://doi.org/10.1007/s12595-017-0258-3

Infecting Goldfish, <i>Carassius auratus</i>			
Activity of Garlic (<i>Allium Sativum</i> L.) Extract Against <i>Vibrio</i> <i>Parahaemolyticus</i> Bacteria	Alicina	Actúa sobre la membrana citoplasmática alterando su potencial eléctrico e inhibe enzimas de replicación del ADN	(2023) https://doi.org/10.1088/1755-1315/1174/1/012004
Evaluating the use of garlic (<i>Allium sativum</i>) for the remedy of <i>Cryptocaryon</i> <i>irritans</i> in guppies (<i>Poecilia reticulata</i>)	Alicina	Alteran la estructura del citoesqueleto del parásito e interfieren en la síntesis de ATP, reduciendo su movilidad y viabilidad	(2019) https://doi.org/10.1111/ARE.13904

En relación con el segundo objetivo, se organizó una tabla que clasifica los 30 artículos revisados en función de los patógenos afectados o los principales efectos observados tras la aplicación de ajo. Esta sistematización permitió identificar de manera clara en que contexto actuó como agente antimicrobiano, antiparasitario, promotor de crecimiento o inmunoestimulante, según los resultados reportados por cada estudio. La tabla también considera aquellos estudios en donde el ajo no fue utilizado directamente contra un agente patógeno, pero si generó efectos positivos sobre parámetros productivos, hematológicos o inmunológicos. Esta clasificación contribuyó a visualizar el amplio espectro de aplicaciones potenciales del ajo en la salud y el rendimiento de los animales, especialmente en sistemas acuícolas.

Se identificaron efectos antimicrobianos frente a bacterias como *Staphylococcus aureus*, *E. coli*, *Vibrio spp.*, *Aeromonas spp.*, *Pseudomonas spp.* y *Streptococcus iniae*. También

se documentaron efectos antiparasitarios contra especies como *Gyrodactylus turnbulli*, *Dactylogyrus sp.*, *Cryptocaryon irritans* y *Neobenedenia sp.* Otros estudios demostraron efectos beneficiosos sobre parámetros productivos (crecimiento, supervivencia, conversión alimenticia) e indicadores fisiológicos e inmunológicos (hematología, actividad antioxidante, digestibilidad y protección frente a intoxicaciones por zinc o cipermetrina).

Tabla 2. Recopilación de artículos científicos que describen los resultados de la aplicación de ajo en sus experimentos, señalando patógenos afectados o efectos principales. Elaboración propia.

Artículo	Patógeno afectado/efecto principal	AÑO - DOI
The effect of garlic (<i>Allium sativum</i>) supplementation in feed on the growth, survival and profits of Asian seabass (<i>Lates calcarifer</i>) cultivation reared in freshwater media	Mejora el crecimiento y supervivencia del pez	(2022) https://www.proquest.com/scholarly-journals/effect-garlic-allium-sativum-supplementation-feed/docview/270646819/9/se-2
Influence of Dietary Garlic (<i>Allium sativum</i>) and/or Ascorbic Acid on Performance, Feed Utilization, Body Composition and Hemato-Biochemical Parameters of Juvenile Asian Sea Bass (<i>Lates calcarifer</i>).	Mejora del crecimiento, composición corporal química, utilidad del alimento y reducción del colesterol e índice de conversión alimenticia	(2020) https://doi.org/10.3390/ani10122396
Antimicrobial Activity of Two Garlic Species		(2017)

(<i>Allium Sativum</i> and <i>A. Tuberosum</i>) Against Staphylococci Infection. In Vivo Study in Rats	<i>Staphylococcus aureus</i>	https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5426724/
The Effects of <i>Allium sativum</i> Extracts on Biofilm Formation and Activities of Six Pathogenic Bacteria	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Streptococcus pneumoniae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> y <i>Klebsiella pneumoniae</i>	(2015) https://doi.org/10.5812/jjm.18971v2
Antibacterial properties of <i>Allium sativum</i> L. against the most emerging multidrug-resistant bacteria and its synergy with antibiotics	<i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Enterococcus faecalis</i>	(2021) https://doi.org/10.1007/s00203-021-02248-z
Anti-parasitic activity of garlic (<i>Allium sativum</i>) and onion (<i>Allium cepa</i>) juice against crustacean parasite, <i>Lernantropus kroyeri</i> , found on European sea bass (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	<i>Lernantropus kroyeri</i> (parásito crustáceo)	(2019) https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1593058
Anti-parasitic activity of garlic (<i>Allium sativum</i>) and onion (<i>Allium cepa</i>) extracts against <i>Dactylogyrus</i> spp. (Monogenean) in Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>): Hematology,	<i>Dactylogyrus</i> spp. (Parásitos monogéneos)	(2024) https://doi.org/10.1186/s12917-024-04187-5

immune response, histopathological investigation, and inflammatory cytokine genes of gills		
Dietary effects of garlic powder (<i>Allium sativum</i>) on growth, blood indices, carcass composition, and lysozyme activity in brown trout (<i>Salmo caspius</i>) and resistance against <i>Yersinia ruckeri</i> infection	<i>Yersinia ruckeri</i>	(2017) https://doi.org/10.1007/s10499-017-0169-3
Efficacy of garlic (<i>Allium sativum</i>) extract applied as a therapeutic immersion treatment for <i>Neobenedenia</i> sp. management in aquaculture	<i>Neobenedenia</i> sp.	(2014) https://doi.org/10.1111/jfd.12129
Green Biosynthesis of Silver Nanoparticle Using Garlic, <i>Allium sativum</i> with Reference to Its Antimicrobial Activity Against the Pathogenic Strain of <i>Bacillus</i> sp. and <i>Pseudomonas</i> sp. Infecting Goldfish, <i>Carassius auratus</i>	<i>Bacillus</i> sp. y <i>Pseudomonas</i> sp.	(2019) https://doi.org/10.1007/s12595-017-0258-3

Dietary supplementation of garlic (<i>Allium sativum</i>) modulates gut microbiota and health status of tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) against <i>Streptococcus iniae</i> infection	<i>Streptococcus iniae</i>	(2019) https://doi.org/10.1111/A RE.14088
Dietary Inclusion of Garlic (<i>Allium Sativum</i>) Extract Enhances Growth and Resistance of Rohu (<i>Labeo Rohita</i>) Against Motile Aeromonas Septicaemia	<i>Aeromonas spp.</i>	(2022) https://doi.org/10.3329/aba.v25i1.58151
Response of <i>Clarias gariepinus</i> to <i>Allium sativum</i> -based diet on growth performance and <i>Staphylococcus aureus</i> challenge infection	<i>Staphylococcus aureus</i>	(2020) https://doi.org/10.4314/J ASEM.V24I5.4
The effects of garlic-supplemented diets on antibacterial activities against <i>Photobacterium damsela</i> subsp. piscicida and <i>Streptococcus iniae</i> and on growth in Cobia, <i>Rachycentron canadum</i>	<i>Photobacterium damsela</i> y <i>Streptococcus iniae</i>	(2015) https://doi.org/10.1016/J. AQUACULTURE.2014.09.029
Activity of Garlic (<i>Allium Sativum</i> L.) Extract		(2023)

Against <i>Vibrio Parahaemolyticus</i> Bacteria	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	https://doi.org/10.1088/1755-1315/1174/1/012004
The effects of microencapsulated garlic (<i>Allium sativum</i>) extract on growth performance, body composition, immune response and antioxidant status of rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) juveniles	Mejora del estado inmunológico y antioxidante del pez	(2020) https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1808473
Antibacterial activity of garlic extracts on fish pathogenic bacteria	<i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio alginolyticus</i> y <i>Vibrio harveyi</i>	(2018) https://doi.org/10.22438/jeb/39/5(SI)/25
Medicinal Plant Feed Additives Enhanced Survivability and Growth Performance of <i>Clarias gariepinus</i> (African Catfish) against Bacterial Infection	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	(2021) https://doi.org/10.3390/microbiolres12040054
Nutrigenomic evaluation of garlic (<i>Allium sativum</i>) and holy basil (<i>Ocimum sanctum</i>) leaf powder supplementation on growth performance and immune characteristics in broilers	Mejora inmunológica y del crecimiento en pollos de engorde	(2017) https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.121-129

Effect of garlic extract (<i>Allium sativum</i>) on the non-specific immune response of carp (<i>Cyprinus carpio</i>)	Estimulación inmunitaria general	(2020) https://doi.org/10.1088/1755-1315/493/1/012015
Protective effect of garlic (<i>Allium sativum</i>) against zinc poisoning in the testicular tissue of goldfish (<i>Carassius auratus</i>)	Protección antioxidante frente a toxicidad por zinc en los tejidos	(2018) https://doi.org/10.1007/s00580-017-2599-8
Dietary garlic (<i>Allium sativum</i>) powder improved zootechnical performance, digestive enzymes activity, and innate immunity in narrow-clawed crayfish (<i>Postantacus leptodactylus</i>)	Mejora inmunológica y de índices zootécnicos en cangrejo de río	(2022) https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2022.101129
Dietary effects of <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and <i>Allium sativum</i> on growth, antioxidant status, hepatic and intestinal histoarchitecture, expression of growth- and immune-related genes, and resistance of	<i>Aeromonas sobria</i>	(2024) https://doi.org/10.1016/J.FSI.2024.109493

<i>Oreochromis niloticus</i> to <i>Aeromonas sobria</i>		
Efficacy of garlic based treatments against monogenean parasites infecting the guppy (<i>Poecilia reticulata</i> (Peters))	<i>Gyrodactylus turnbulli</i> y <i>Dactylogyrus</i> sp. (Parásitos monogéneos)	(2014) https://doi.org/10.1016/J.VETPAR.2014.02.002
Evaluating the use of garlic (<i>Allium sativum</i>) for the remedy of <i>Cryptocaryon irritans</i> in guppies (<i>Poecilia reticulata</i>)	<i>Cryptocaryon irritans</i>	(2019) https://doi.org/10.1111/A.RE.13904
Effects of Dietary Garlic Powder on Growth, Feed Utilization and Whole Body Composition Changes in Fingerling Sterlet Sturgeon, <i>Acipenser ruthenus</i>	Mejora del crecimiento y la composición corporal	(2014) https://doi.org/10.5713/AJAS.2014.14087
Effects of Garlic <i>Allium sativum</i> Powder on Nutrient Digestibility, Haematology, and Immune and Stress Responses in Eurasian Perch <i>Perca fluviatilis</i> Juveniles	Mejora la digestibilidad de nutrientes, parámetros hematológicos e inmunidad, reducción del cortisol bajo estrés por hacinamiento	(2021) https://doi.org/10.3390/ani11092735
Effect of Growth Performance and Survival		

Rate of Goldfish (<i>Carassius auratus</i> L. 1758) Fed Garlic (<i>Allium sativum</i> L.) Supplemented Diets	Mejora del crecimiento y supervivencia	(2024) https://doi.org/10.12681/jhvms.34541
Interaction of dietary garlic (<i>Allium sativum</i>), onion (<i>Allium cepa</i>), and probiotic on the growth performance and health status of juvenile rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Mejora del crecimiento, salud general y estado hematológico	(2024) https://doi.org/10.1007/s10499-024-01388-5
Effects of dietary garlic (<i>Allium sativum</i>) oil on growth performance, haemato-biochemical and histopathology of cypermethrin-intoxicated Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Protección contra toxicidad por cipermetrina, mejora del crecimiento y parámetros sanguíneos, reducción de lesiones histopatológicas	(2024) https://doi.org/10.1002/vms3.1449

DISCUSIÓN

La revisión de los 30 estudios analizados demostró el amplio espectro de efectos beneficiosos que puede generar el ajo (*Allium sativum*) en modelos animales, particularmente en especies acuáticas.

Varios autores destacaron el gran potencial de los compuestos bioactivos del ajo en sus estudios, algunos incluso explicando brevemente el mecanismo de acción de estos mismos, siendo la alicina el compuesto mayormente mencionado en los artículos, ya sea aplicando el ajo en forma de extractos, polvos, u otros medios. Los estudios seleccionados explicaron que la alicina es capaz de inhibir el crecimiento de múltiples especies de bacterias tanto Gram positivas como Gram negativas, e indica que la acción bactericida de este compuesto se debe a las reacciones de oxidación e inhibición que produce al exponerse a enzimas bacterianas o incluso proteínas, además de alterar la estructura e integridad de las membranas gracias a sus características lipofílica, la mayoría de los mecanismos de acción descritos tienen en común el efecto de la alicina para lograr alterar las membranas o paredes celulares de las bacterias, en otros casos como en parásitos se describió una alteración del citoesqueleto del parásito o la síntesis de ATP, incluso se habló sobre una potenciación del sistema inmune en los peces fomentando la inhibición de agentes patógenos.

El ajo demostró efectos prometedores contra una variedad de patógenos en la acuicultura, siendo efectivo contra bacterias como *Staphylococcus spp.*, *Vibrio spp.*, *E. coli*, *Aeromonas spp.*, *Pseudomonas*, entre muchas otras. Siendo capaz incluso de manifestar efectos antimicrobianos contra bacterias multirresistentes o sinergia con la combinación de antibióticos como la gentamicina y el ciprofloxacino, lo que podría ser una alternativa beneficiosa para la industria en caso de realizar más investigaciones de este calibre (Magryś et al., 2021). Además de demostrar actividad antiparasitaria contra parásitos monogéneos (Fridman et al., 2014; Militz et al., 2014; Reda et al., 2024) y crustáceos (Yavuzcan et al., 2019).

Distintos artículos también describieron como la aplicación del ajo fue capaz de promover y/o mejorar factores como el sistema inmunológico, crecimiento, supervivencia, composición corporal, reducción del colesterol, utilidad del alimento, parámetros

hematológicos, incluso protección antioxidante o contra toxicidades como el zinc o insecticidas como la cipermetrina.

Algunos estudios realizados en otras especies destacaron efectos similares, Sheoran et al. (2017) explica como el polvo de ajo mejoró el estado inmunológico y el crecimiento aplicado en pollos de engorde, Rezaei et al. (2022) utilizó el ajo en polvo en cangrejos de río obteniendo un efecto semejante, en el caso de Venâncio et al. (2017) y sus experimentos *in vivo* e *in vitro* en ratas, el ajo logró reducir la infección contra una cepa de *Staphylococcus aureus*. Fomentando de esta manera el uso del ajo en varias especies, de las cuáles la acuicultura ha formado gran parte.

Los estudios ya expuestos evidenciaron favorables aplicaciones del ajo en especies acuáticas, *Oreochromis niloticus*, *Poecilia reticulata*, *Lates calcarifer* o incluso salmónidos como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) o la trucha del caspio (*Salmo caspius*), por lo que la aplicación de este producto en la salmonicultura podría considerarse como una alternativa viable. Aun así, se necesita mayor investigación para evaluar la tolerancia de los peces a esta especie vegetal.

Valenzuela-Gutiérrez et al. (2024) menciona que los xenobióticos del ajo podrían ser capaces de afectar la microbiota intestinal, en su estudio sobre el jurel de California (*Seriola dorsalis*) explica que la aplicación de ajo en altas concentraciones fue capaz de producir una alteración de la composición taxonómica de la microbiota debido a sus compuestos antimicrobianos, disminuyendo la cantidad o diversidad de algunos grupos bacterianos beneficiosos para el organismo, siendo útiles como probióticos, protectores gástricos, fuentes de energía, entre otros. Por lo que un uso erróneo o impreciso del ajo podría ser capaz de producir disbiosis en la microbiota intestinal de los peces u otros animales.

Estos hallazgos demostraron que el uso exclusivo de ajo en aquellos estudios experimentales tuvo un impacto multifacético en salud animal y acuícola, validando su papel como promotor de crecimiento, inmunoestimulante, antimicrobiano, antiparasitario y antioxidante. Aun así, el potencial del ajo como herramienta funcional en la acuicultura podría verse comprometida si no se logra avanzar en su estandarización química y en la

comprensión de cómo sus distintos componentes interactúan en organismos acuáticos bajo condiciones reales de cultivo.

CONCLUSIÓN

El ajo (*Allium sativum*) posee múltiples propiedades bioactivas útiles para la acuicultura, destacando su efecto antimicrobiano, antiparasitario, inmunoestimulante, antioxidante y promotor del crecimiento. Estos efectos se atribuyen principalmente a compuestos como la alicina. Siendo eficaz contra bacterias patógenas, incluyendo cepas multirresistentes y también parásitos comunes en peces. Además, su uso mejoró los parámetros fisiológicos, zootécnicos y la resistencia al estrés en diversas especies acuáticas, demostrando efectos similares en otras especies.

Por lo tanto, se establece que el ajo representa una alternativa natural bastante prometedora y eficaz para mejorar la salud animal, permitiendo reducir o complementar el uso de antibióticos en la acuicultura, promoviendo prácticas más sostenibles. Se recomienda continuar investigando su aplicación estandarizada y sus mecanismos de acción, esto con el fin de evaluar su seguridad y eficacia a largo plazo para establecer protocolos seguros y sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Latif, H. M. R., Soliman, A. A., Gewaily, M. S., Amer, A. A., Shukry, M., Khalil, R. H., Shehata, A. I. (2024). Dietary effects of *Saccharomyces cerevisiae* and *Allium sativum* on growth, antioxidant status, hepatic and intestinal histoarchitecture, expression of growth- and immune-related genes, and resistance of *Oreochromis niloticus* to *Aeromonas sobria*. *Fish & Shellfish Immunology*, 148, 109493. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2024.109493>
- Abdelwahab, A. M., El-Bahr, S. M., Al-Khamees, S. (2020). Influence of Dietary Garlic (*Allium sativum*) and/or Ascorbic Acid on Performance, Feed Utilization, Body Composition and Hemato-Biochemical Parameters of Juvenile Asian Sea Bass (*Lates calcarifer*). *Animals*, 10(12), 2396. <https://doi.org/10.3390/ani10122396>
- Adineh, H., Harsij, M., Jafaryan, H., Asadi, M. (2020). The effects of microencapsulated garlic (*Allium sativum*) extract on growth performance, body composition, immune response and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Journal of Applied Animal Research*, 48(1), 372-378. <https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1808473>
- Ankri, S., Mirelman, D. (1999). Antimicrobial properties of allicin from garlic. *Microbes and Infection*, 1(2), 125-129. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(99\)80003-3](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(99)80003-3)
- Balci, B., Aktop, Y., Arslan, M., Ünver, A., Özbas, M., Kilic, H. (2024). Effect of Growth Performance and Survival Rate of Goldfish (*Carassius auratus* L. 1758) Fed Garlic (*Allium sativum* L.) Supplemented Diets. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 75(2), 7379-7386. <https://doi.org/10.12681/jhvms.34541>
- Campos-Asencio, C. (2018). Cómo elaborar una estrategia de búsqueda bibliográfica. *Enfermería intensiva*, 29(4), 182-186. DOI: [10.1016/j.enfi.2018.09.001](https://doi.org/10.1016/j.enfi.2018.09.001)
- Contreras-Lynch, S., Smith, P., Olmos, P., Loy, M. E., Finnegan, W., Miranda, C. D. (2017). A novel and validated protocol for performing MIC tests to determine the susceptibility of *Piscirickettsia salmonis* isolates to florfenicol and oxytetracycline. *Frontiers in Microbiology*, 8:1255. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01255>

- Cortés H, Castillo M, Jones H, Schlotterbeck T, San Martín R, Padilla L. (2023). In Vivo Efficacy of Purified Quillaja Saponin Extracts in Protecting against *Piscirickettsia salmonis* Infections in Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Animals* (Basel), 13(18), 1-17. DOI: [10.3390/ani13182845](https://doi.org/10.3390/ani13182845)
- Dadras F, Velisek J, Zuskova E. (2023). An update about beneficial effects of medicinal plants in aquaculture: A review. *Vet Med (Praha)*, 68(12), 449 - 463 DOI: [10.17221/96/2023-VETMED](https://doi.org/10.17221/96/2023-VETMED)
- Delghandi, M. R., El-Matbouli, M., Menanteau-Ledouble, S. (2020). Renibacterium salmoninarum—The Causative Agent of Bacterial Kidney Disease in Salmonid Fish. *Pathogens*, 9(10), 845. <https://doi.org/10.3390/PATHOGENS9100845>
- Elfaky, M. A., Okairy, H. M., Abdallah, H. M., Koshak, A. E., Mohamed, G. A., Ibrahim, S. R. M., Alzain, A. A., Hegazy, W. A. H., Khafagy, E. S., Seleem, N. M. (2024). Assessing the antibacterial potential of 6-gingerol: Combined experimental and computational approaches. *Saudi Pharmaceutical Journal : SPJ*, 32(5), 102041. <https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2024.102041>
- FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation (35a ed.). FAO. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FAO. (2024). Fishery and Aquaculture Country Profiles. Chile, (2020). Country Profile Fact Sheets. *In: Fisheries and Aquaculture*. Updated Mar 1, 2023 [Cited Thursday, August 15th, 2024]. <https://www.fao.org/fishery/en/facp/chl>
- Fernández-Álvarez, C., Santos, Y. (2018). Identification and typing of fish pathogenic species of the genus Tenacibaculum. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(23), 9973-9989. <https://doi-org.bdigitaluss.remotexs.co/10.1007/s00253-018-9370-1>
- Flores-Kossack, C., Montero, R., Köllner, B., Maisey, K. (2020). Chilean aquaculture and the new challenges: Pathogens, immune response, vaccination and fish diversification. *Fish & Shellfish Immunology*, 98, 52-67. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2019.12.093>

- Foysal, M. J., Alam, M., Momtaz, F., Chaklader, M. R., Siddik, M. A. B., Cole, A., Fotedar, R., Rahman, M. M. (2019). Dietary supplementation of garlic (*Allium sativum*) modulates gut microbiota and health status of tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus iniae* infection. *Aquaculture Research*, 50(8), 2107-2116. <https://doi.org/10.1111/ARE.14088>
- Fridman, S., Sinai, T., Zilberg, D. (2014). Efficacy of garlic based treatments against monogenean parasites infecting the guppy (*Poecilia reticulata* (Peters)). *Veterinary Parasitology*, 203(1-2), 51-58. <https://doi.org/10.1016/J.VETPAR.2014.02.002>
- Fryer J.L., Lannan C.N., Giovannoni S.J., Wood N.D. (1992). *Piscirickettsia salmonis* gen. nov., sp. nov., the causative agent of an epizootic disease in salmonid fishes. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 42(1), 120-126. DOI: [10.1099/00207713-42-1-120](https://doi.org/10.1099/00207713-42-1-120)
- Gholipour Kanani, H., Nobahar, Z., Kakoolaki, S., Jafarian, H. (2014). Effect of ginger- and garlic-supplemented diet on growth performance, some hematological parameters and immune responses in juvenile *Huso huso*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 40(2), 481-490. DOI: DOI: [10.1007/s10695-013-9859-6](https://doi.org/10.1007/s10695-013-9859-6)
- Guo, J. J., Kuo, C. M., Hong, J. W., Chou, R. L., Lee, Y. H., Chen, T. I. (2015). The effects of garlic-supplemented diets on antibacterial activities against *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida* and *Streptococcus iniae* and on growth in Cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 435, 111-115. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2014.09.029>
- Güroy, D., Emre, N., Yalım, F. B., Karadal, O., Kaya, D., Arifoğlu, N. (2024). Interaction of dietary garlic (*Allium sativum*), onion (*Allium cepa*), and probiotic on the growth performance and health status of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International*, 32(4), 4515-4528. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01388-5>
- Hernández-Sampieri, R y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. (1ª ed., pp. 147-192). McGraw-Hill Education.
- Hoseinifard, S. M., Omidzahir, S., Hoseini, S. M., Beikae, H. (2018). Protective effect of garlic (*Allium sativum*) against zinc poisoning in the testicular tissue of goldfish

- (*Carassius auratus*). Comparative Clinical Pathology, 27(2), 357-361.
<https://doi.org/10.1007/s00580-017-2599-8>
- Hyun Kim, J., Fridman, S., Borochoy-Neori, H., Sinai, T., Zilberg, D. (2019). Evaluating the use of garlic (*Allium sativum*) for the remedy of *Cryptocaryon irritans* in guppies (*Poecilia reticulata*). Aquaculture Research, 50(2), 431-438.
<https://doi.org/10.1111/ARE.13904>
- Isroni, W., Bahri, A. S., Siswarini. (2020). Effect of garlic extract (*Allium sativum*) on the non-specific immune response of carp (*Cyprinus carpio*). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 493(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/493/1/012015>
- Lee, D. H., Lim, S. R., Han, J. J., Lee, S. W., Ra, C. S., Kim, J. D. (2014). Effects of Dietary Garlic Powder on Growth, Feed Utilization and Whole Body Composition Changes in Fingerling Sterlet Sturgeon, *Acipenser ruthenus*. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 27(9), 1303-1310. <https://doi.org/10.5713/AJAS.2014.14087>
- Magryś, A., Olender, A. Tchórzewska, D. (2021). Antibacterial properties of *Allium sativum* L. against the most emerging multidrug-resistant bacteria and its synergy with antibiotics. Arch Microbiol 203, 2257-2268. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02248-z>
- Militz, T. A., Southgate, P. C., Carton, A. G., Hutson, K. S. (2014). Efficacy of garlic (*Allium sativum*) extract applied as a therapeutic immersion treatment for *Neobenedenia* sp. management in aquaculture. Journal of fish diseases, 37(5), 451-461.
<https://doi.org/10.1111/jfd.12129>
- Mohsenipour, Z., Hassanshahian, M. (2015). The Effects of *Allium sativum* Extracts on Biofilm Formation and Activities of Six Pathogenic Bacteria. Jundishapur journal of microbiology, 8(8), e18971. <https://doi.org/10.5812/jjm.18971v2>
- Nakamoto, M., Kunimura, K., Suzuki, J.-I., Kodera, Y. (2019). Antimicrobial properties of hydrophobic compounds in garlic: Allicin, vinylidithiin, ajoene and diallyl polysulfides. Experimental and Therapeutic Medicine, 19(2), 1550.
<https://doi.org/10.3892/ETM.2019.8388>

- Natasya-Ain, R., Eirna-Liza, N., Jasmin, M. Y., Karim, M. (2018). Antibacterial activity of garlic extracts on fish pathogenic bacteria. *Journal of Environmental Biology*, Suppl.Special Issue, 39(5), 808-812. [https://doi.org/10.22438/jeb/39/5\(SI\)/25](https://doi.org/10.22438/jeb/39/5(SI)/25)
- Nwabueze, A. A., Ekelemu, J. K., Owe, O. A. (2020). Response of *Clarias gariepinus* to *Allium sativum*-based diet on growth performance and *Staphylococcus aureus* challenge infection. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 24(5), 755-759. <https://doi.org/10.4314/JASEM.V24I5.4>
- Nya EJ, Austin B. (2009). Use of dietary ginger, (*Zingiber officinale* Roscoe), as an immunostimulant to control *Aeromonas hydrophila* infections in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Diseases* 32(11), 971- 977. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2009.01101.x>
- Öz, M., Inanan, B. E., Üstüner, E., Karagoz, B., Dikel, S. (2024). Effects of dietary garlic (*Allium sativum*) oil on growth performance, haemato-biochemical and histopathology of cypermethrin-intoxicated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Medicine and Science*, 10(3), e1449. <https://doi.org/10.1002/vms3.1449>
- Paul, S., Rahman, M., Salam, M., Surovy, M., Islam, T. (2022). Dietary Inclusion of Garlic (*Allium Sativum*) Extract Enhances Growth and Resistance of Rohu (*Labeo Rohita*) Against Motile *Aeromonas* Septicaemia. *Annals of Bangladesh Agriculture*, 25(1), 11-22. <https://doi.org/10.3329/aba.v25i1.58151>
- Ramadhaniah, V., Indrawati, A., Prasetyo, B. F. (2023). Activity of Garlic (*Allium Sativum* L.) Extract Against *Vibrio Parahaemolyticus* Bacteria. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1174(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1174/1/012004>
- Reda, R., Khalil, A. A., Elhady, M., Tayel, S. I., Ramadan, E. A. (2024). Anti-parasitic activity of garlic (*Allium sativum*) and onion (*Allium cepa*) extracts against *Dactylogyrus* spp. (Monogenean) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Hematology, immune response, histopathological investigation, and inflammatory cytokine genes of gills. *BMC veterinary research*, 20(1), 334. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04187-5>

- Rezaei, O., Mehrgan, M. S., Paknejad, H. (2022). Dietary garlic (*Allium sativum*) powder improved zootechnical performance, digestive enzymes activity, and innate immunity in narrow-clawed crayfish (*Postantacus leptodactylus*). Aquaculture Reports, 24, 101129. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2022.101129>
- Rozas M, Enríquez R. (2014). Piscirickettsiosis and *Piscirickettsia salmonis* in fish: a review. Journal of Fish Diseases 37(3), 163 – 188. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfd.12211>
- Saha, M., Bandyopadhyay, P.K. (2019). Green Biosynthesis of Silver Nanoparticle Using Garlic, *Allium sativum* with Reference to Its Antimicrobial Activity Against the Pathogenic Strain of *Bacillus sp.* and *Pseudomonas sp.* Infecting Goldfish, *Carassius auratus*. Proc Zool Soc 72, 180-186. <https://doi.org/10.1007/s12595-017-0258-3>
- San Martín B., Cornejo J. (2021). Manual de buenas prácticas en el uso de Antimicrobianos en Salmonicultura chilena. SERNAPESCA. https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/11/manual_de_buenas_practicas_20210217.pdf
- Santa Cruz López, C. Y., Carrasco Solano, F. A., Saldaña Miranda, M. Y. (2023). Manual de Prácticas Microbiología Médica. Universidad Nacional de Jaén||Repositorio Institucional - UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/556>
- SERNAPESCA. (2016). Identificación, validación y difusión sobre factores de riesgo para el desarrollo de brotes intensos de Septicemia Rickettsial Salmonídea (SRS) en salmón del Atlántico: una aproximación multi-sectorial. <https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/11/pgsa-14-informe-final-puc-2016-a.pdf>
- SERNAPESCA. (2023a). Informe Sanitario Con Información Sanitaria. https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/10/informe_sanitario_con_informacion_sanitaria_de_agua_dulce_y_mar_ano_2022.pdf
- SERNAPESCA. (2023b). Informe sobre el uso de antimicrobianos y antiparasitarios en la salmonicultura nacional. <https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2024/06/Informe->

[sobre-el-uso-de-antimicrobianos-y-antiparasitarios-en-la-salmonicultura-nacional-Ano-2023 v20240606.pdf](#)

SERNAPESCA, (2023c). Fiscalización en pesca y acuicultura. Informe de Actividades. https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2024/03/IFPA_2023_v20240402.pdf

SERNAPESCA, (2024). Informe con antecedentes sanitarios de agua dulce y mar. <https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2024/09/Informe-Sanitario-ANO-2023.pdf>

Sheoran, N., Kumar, R., Kumar, A., Batra, K., Sihag, S., Maan, S., Maan, N. S. (2017). Nutrigenomic evaluation of garlic (*Allium sativum*) and holy basil (*Ocimum sanctum*) leaf powder supplementation on growth performance and immune characteristics in broilers. Veterinary world, 10(1), 121-129. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.121-129>

Steven A., Sidhu J., Contreras S., Larenas J., Bernal P., Vaquero P., Ocampo D., Acuña M., Araya C., Godoy M., Moraleta C., Neira A. y Núñez E., (2018) Dinámica ambiental de *P. salmonis* FIE V014- Programa para la Gestión Sanitaria de la Acuicultura. Informe de avance. CSIRO Australia. https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/11/pgsa-03-final_srs_reporte_dic_2018.pdf

Subsecretaria de Pesca y Acuicultura. Subpesca (2021). INFORME AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA. <https://www.subpesca.cl/portal//618/w3-article-113144.html>

Talpur A., Mhd Ikhwanuddin, Ambok M. (2013). Nutritional effects of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) on immune response of Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch) and disease resistance against *Vibrio harveyi*. Aquaculture 400 – 401, 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.02.043>

Tiamiyu, A. M., Olatoye, I. O., Olayemi, O. A., Ekundayo, T. C., Adedeji, O. B., Okocha, R. C. (2021). Medicinal Plant Feed Additives Enhanced Survivability and Growth Performance of *Clarias gariepinus* (African Catfish) against Bacterial Infection. Microbiology Research, 12(4), 744-752. <https://doi.org/10.3390/microbiolres12040054>

- Valenzuela R., Lago, A., Vargas F. Cicala F. Martinez M. (2021). Exploring the garlic (*Allium sativum*) properties for fish aquaculture. *Fish Physiol Biochem* 47, 1179-1198. <https://doi-org.bdigitaluss.remotexs.co/10.1007/s10695-021-00952-7>
- Valenzuela-Gutiérrez, R., Lago-Lestón, A., Cicala, F., Hernández-Rodríguez, M., Barón-Sevilla, B., Armuelles-Bernal, C. E., Vargas-Albores, F., Garibay-Valdez, E., Gómez-Reyes, R., Martínez-Porchas, M. (2024). Garlic (*Allium sativum*) as a dietary ingredient can cause dysbiosis in the microbiota of the California yellowtail (*Seriola dorsalis*) at high concentrations. *Aquaculture International*, 32(3), 2883-2904. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01301-6>
- Venâncio, P. C., Raimundo Figueroba, S., Dias Nani, B., Eduardo Nunes Ferreira, L., Vilela Muniz, B., de Sá Del Fiol, F., Sartoratto, A., Antonio Ribeiro Rosa, E., Carlos Groppo, F. (2017). Antimicrobial Activity of Two Garlic Species (*Allium Sativum* and *A. Tuberosum*) Against Staphylococci Infection. In Vivo Study in Rats. *Advanced pharmaceutical bulletin*, 7(1), 115-121. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5426724/>
- Wijayanto, D., Nugroho, R. A., Kurohman, F., Nursanto, D. B. (2022). The effect of garlic (*Allium sativum*) supplementation in feed on the growth, survival and profits of Asian seabass (*Lates calcarifer*) cultivation reared in freshwater media. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 15(4), 1882-1890. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/effect-garlic-allium-sativum-supplementation-feed/docview/2706468199/se-2>
- Yañez, A. J., Valenzuela, K., Silva, H., Retamales, J., Romero, A., Enriquez, R., Figueroa, J., Claude, A., Gonzalez, J., Avendaño-Herrera, R., Carcamo, J. G. (2012). Broth medium for the successful culture of the fish pathogen *Piscirickettsia salmonis*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 97(3), 197-205. DOI: <https://doi.org/10.3354/DAO02403>
- Yavuzcan Yildiz, H., Phan Van, Q., Parisi, G., Dam Sao, M. (2019). Anti-parasitic activity of garlic (*Allium sativum*) and onion (*Allium cepa*) juice against crustacean parasite, *Lernantropus kroyeri*, found on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Italian*

- Zaefarian, A., Yeganeh, S. Adhami, B. (2017). Dietary effects of garlic powder (*Allium sativum*) on growth, blood indices, carcass composition, and lysozyme activity in brown trout (*Salmo caspius*) and resistance against *Yersinia ruckeri* infection. *Aquacult Int* 25, 1987-1996. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0169-3>
- Zaki MA, Labib EM, Nour AM, Tonsy HD, Mahmoud SH (2012). Effect of some medicinal plants diets on the mono-sex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), growth performance, feed utilization and some physiological parameters. *Egypt J Aquat Biol Fish* 4:220-227. DOI: [10.21608/ejabf.2011.2101](https://doi.org/10.21608/ejabf.2011.2101)
- Zare, M., Tran, H. Q., Prokešová, M., Stejskal, V. (2021). Effects of Garlic *Allium sativum* Powder on Nutrient Digestibility, Haematology, and Immune and Stress Responses in Eurasian Perch *Perca fluviatilis* Juveniles. *Animals*, 11(9), 2735. <https://doi.org/10.3390/ani11092735>