



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA

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

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA ACERCA DE
TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS Y MEDIDAS DE
PREVENCIÓN PARA LA CALIGIDOSIS**

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

Profesor guía: Dra. Margarita González Gómez

Estudiante: **Valentina Pilar Mora Rain**

Puerto Montt, Chile

2025

DERECHOS DE AUTOR

® Valentina Pilar Mora Rain. 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.

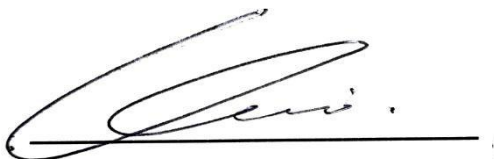
**Puerto Montt,
Chile 2025**

HOJA DE CALIFICACIÓN

En Puerto Montt, el 10 de julio, de 2025 los abajo firmantes, dejan constancia que el (la) estudiante Valentina Pilar Mora Rain 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



Margarita González



Juan Pablo Pontigo



Lucía Azocar Aedo

DEDICATORIA

A mi familia, y a mi perrita Joy.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi profesora guía Dra. Margarita González por su apoyo incondicional, dedicación y paciencia durante la realización de esta memoria. Gracias por brindarme no solo sus conocimientos en el área, sino que también por motivarme. Además, también agradezco profundamente su cercanía en este proceso, donde siempre esta dispuesta ayudar sea la hora que sea. Muchas gracias profe Margarita.

Por otro lado, agradezco a mi familia, papá y mamá, que siempre estaban preocupados de como me sentía, o como iba el avance, además de todo el apoyo emocional que significaban unas palabras, aunque sea a través de una videollamada.

Además, agradezco a mi pareja, Bastián, el cual siempre estuvo para mí tratando de ayudarme y dándome ánimos de seguir, o simplemente acompañándome en presencia mientras yo realizaba este trabajo.

Y por último a mi perrita Joy, mi chanchita, la cual me impulso a decir estudiar esta hermosa carrera.

TABLA DE CONTENIDO

DERECHOS DE AUTOR	I
HOJA DE CALIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	7
2.1. OBJETIVO GENERAL	7
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.1. DISEÑO DEL ESTUDIO	8
3.2. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	8
3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN	8
3.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN	12
3.6. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	12
3.7. DATOS POR EXTRAER DE CADA ESTUDIO.....	12
3.8. ANÁLISIS CRÍTICO DE LA LITERATURA A UTILIZAR.....	14
3.9 ANÁLISIS CRÍTICO Y COMPARATIVO DE LA INFORMACIÓN ANALIZADA	14
4.0 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DESDE LA INDUSTRIA.....	14
4. RESULTADOS.....	16
4.1 RESULTADOS DEL PROCESO DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	16
4.2 IDENTIFICAR Y ACTUALIZAR LA INFORMACIÓN SOBRE LOS TRATAMIENTOS NO FARMACOLÓGICOS VIGENTES.....	16
1. <i>Peces limpiadores</i>	17
2. <i>Tratamiento térmico</i>	19
3. <i>Tratamiento láser</i>	23
4. <i>Agua hiposalina</i>	24
5. <i>Agua a alta presión y Succión</i>	26
6. <i>Aceites naturales</i>	27
7. <i>Peróxido de hidrogeno (H₂O₂)</i>	28
8. <i>Péptidos antimicrobianos</i>	29
9. <i>Electricidad directa</i>	30
10. <i>Pulsos electromagnéticos</i>	31
11. <i>Acústico o ultrasonido</i>	32
4.3 REALIZAR UN CATASTRO SOBRE ESTRATEGIAS PREVENTIVAS QUE AYUDEN A LA REDUCCIÓN DE INFESTACIONES.....	34
4.3.1 <i>Nanoburbujas</i>	34
4.3.2 <i>Cavitación ultrasónica</i>	35
4.3.3 <i>Bivalvos filtradores</i>	36

4.3.4	<i>Vacunas</i>	37
4.3.5	<i>Dietas funcionales</i>	38
4.3.6	<i>Selección genética</i>	39
4.3.7	<i>Faldas protectoras o Skirts</i>	41
4.3.8	<i>Jaula “snorkel”</i>	42
4.3.9	<i>Manipulación de nado</i>	43
4.4	COMPARAR LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS NO FARMACOLÓGICOS Y ESTRATEGIAS PREVENTIVAS, EN TÉRMINOS DE EFICACIA, BIENESTAR ANIMAL E IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES	43
4.5	RECOPILAR INFORMACIÓN DESDE LA INDUSTRIA CON RESPECTO A LOS TRATAMIENTOS NO FARMACOLÓGICOS Y DE PREVENCIÓN	48
4.5.1	<i>“Herramientas de control no farmacológicas”</i>	48
4.5.2	<i>“Herramientas de prevención contra la Caligidosis”</i>	57
4.5.3	<i>“Información General”</i>	63
5.	DISCUSIÓN	69
6.	CONCLUSIÓN	73
7.	BIBLIOGRAFÍA	74
8.	ANEXOS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Caligus rogercresseyi</i> , González y Carvajal (2003).....	3
Figura 2 Flujograma para realizar la selección de estudios incluidos en la revisión	16
Figura 3. Respuestas (%) respecto del uso de fármacos antiparasitarios de la industria	49
Figura 4. Respuestas (%) respecto de la frecuencia de uso de fármacos antiparasitarios en la industria.....	50
Figura 5. Respuestas (%) respecto del tipo de método no farmacológico.....	51
Figura 6. Respuestas (%) respecto a la aplicación de herramientas no farmacológicas en la industria.....	52
Figura 7. Respuestas (%) respecto a las limitaciones en el uso de tratamientos no farmacológicos en la industria.	53
Figura 8. Resultados (%) respecto al costo de implementación de métodos no farmacológicos en comparación con tratamientos farmacológicos en la industria	54
Figura 9. Respuestas (%) con respecto con a la disminución de tratamientos farmacológicos tras la aplicación de herramientas no farmacológicas en la industria.....	55
Figura 10. Respuestas (%) respecto a e impacto positivo en la producción al utilizar tratamientos no farmacológicos en la industria.	56
Figura 11. Respuestas (%) respecto a los factores críticos en la implantación de métodos no farmacológicos en la industria	57
Figura 12. Respuestas (%) respecto a la utilización de estrategias preventivas contra el <i>Caligus rogercresseyi</i> en la industria	58
Figura 13. Respuestas (%) respecto a la frecuencia con la que se aplican estrategias preventivas contra la Caligidosis en la industria.....	59
Figura 14. Respuestas (%) respecto a el impacto positivo en la producción al utilizar estrategias preventivas contra la Caligidosis en la industria.....	60
Figura 15. Respuestas (%) respecto a los costos de implementación de métodos preventivos en comparación con los tratamientos farmacológicos en la industria	61
Figura 16. Respuestas (%) respecto a los factores más críticos en la implementación de métodos no farmacológicos preventivos en la industria.....	62
Figura 17. Respuestas (%) respecto a la reducción en el número de tratamientos farmacológicos tras la aplicación métodos preventivos no farmacológicos en la industria.....	63
Figura 18. Respuestas (%) respecto a si la consideración publica y social es motivante para el uso de herramientas no farmacológica y/o preventivas en la industria.	64
Figura 19. Respuestas (%) respecto a la disposición de los encuestados a probar nuevas tecnologías preventivas o de control no farmacologías en la industria en el futuro.....	65
Figura 20. Respuestas (%) respecto a la realización de estudios o mediciones en el impactico ambiental de los métodos o tratamientos no farmacológicos en la industria.....	66
Figura 21. Respuestas (%) respecto al presupuestos sanitarios que se destina actualmente a métodos no farmacológicos o preventivos en la industria.	67
Figura 22. Respuestas (%) respecto al mejoramiento del bienestar de los peces con la utilización de métodos no farmacológicos o preventivos en la industria	68
Figura 23. Pauta para título.....	86
Figura 24. Pauta para introducción	86
Figura 25. Pauta para objetivos	86
Figura 26. Pauta para resultados.....	87

Figura 27. Pauta para conclusión y discusión	87
Figura 28. Pauta para bibliografía.....	87
Figura 29. Encuesta.....	88
Figura 30. Autores.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Palabras claves en idioma español e inglés utilizadas en la búsqueda bibliográfica	9
Tabla 2. Resumen comparativo de herramientas de control no farmacológico identificados en la literatura	44
Tabla 3. Resumen comparativo de herramientas de prevención no farmacológicas identificadas en la literatura	46

RESUMEN

La Caligidosis es una enfermedad producida por el ectoparásito *Caligus rogercresseyi*, es una de las principales amenazas sanitarias para la salmonicultura en Chile y otros países. Tradicionalmente, su control se ha basado en tratamientos farmacológicos, que han demostrado una eficacia reducida y una mayor resistencia parasitaria. Esta revisión biográfica tuvo como objetivo identificar y analizar alternativas no farmacológicas y estrategias preventivas para el control de la Caligidosis, evaluando su eficacia, impacto en la salud animal y repercusiones ambientales. Los métodos identificados incluyen el uso de peces limpiadores, tratamientos térmicos, agua hiposalina, aceites naturales, pulsos electromagnéticos, ultrasonido, cavitación ultrasónica y dietas funcionales, entre otros. Además, se realizó un estudio de la industria salmonera chilena mediante encuestas a empresas productoras representativas, que revele el alto uso de productos naturales, como el Lyptus® y Rosseus®, y una creciente disposición a adoptar medidas preventivas. Los resultados muestran que, si bien existen alternativas prometedoras con eficacia superiores al 90% en algunos casos, persisten importantes desafíos en términos de estandarización, costo, infraestructura y validación ambiental. La implementación exitosa de estos enfoques requiere fortalecer la investigación aplicada, la capacitación del personal y el desarrollo de sistemas integrales de monitoreo. Esta labor contribuye a promover un enfoque de gestión integrado, sustentable y ético, reduciendo la dependencia de los productos farmacológicos y mitigando los riesgos para la salud animal y el medio ambiente.

Palabras claves: caligidosis, *Caligus rogercresseyi*, piojo de mar, tratamiento no farmacológico, prevención.

ABSTRACT

Caligidosis, a disease caused by the ectoparasite *Caligus rogercresseyi*, is one of the main health threats to salmon farming in Chile and other countries. Traditionally, its control has been based on pharmacological treatments, which have demonstrated limited efficacy and increased parasitic resistance. This biographical review aimed to identify and analyze non-pharmacological alternatives and preventive strategies for the control of Caligidosis, evaluating their efficacy, impact on animal health, and environmental repercussions. The methods identified include the use of cleaner fish, heat treatments, hyposaline water, natural oils, electromagnetic pulses, ultrasound, ultrasonic cavitation, and functional diets, among others. In addition, a study of the Chilean salmon industry was conducted through surveys of representative production companies, revealing the high use of natural products, such as Lyptus® and Rosseus®, and a growing willingness to adopt preventive measures. The results show that, while promising alternatives exist, with efficacy levels exceeding 90% in some cases, significant challenges remain in terms of standardization, cost, infrastructure, and environmental validation. Successful implementation of these approaches requires strengthening applied research, personnel training, and the development of comprehensive monitoring systems. This work contributes to promoting an integrated, sustainable, and ethical management approach, reducing dependence on pharmaceutical products and mitigating risks to animal health and the environment.

Keywords: Caligidosis, *Caligus rogercresseyi*, sea lice, non-pharmacological treatment, prevention.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO,1997), la acuicultura se define como:

“El cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, que implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción, en operaciones como la siembra, la alimentación, la protección de los depredadores, etc.”

Esta es una de las industrias de producción de alimentos que ha tenido un rápido crecimiento en todo el mundo, y según Bouelet Ntsama et al. (2018) sus productos constituyen una de las tantas fuentes más importante de proteínas, minerales, vitaminas y ácidos grasos esenciales insaturados para el consumo de los humanos. Para Chile, la acuicultura constituye una fuerte industria, la cual posee una producción de miles de toneladas de productos acuícolas anuales. Un componente importante de la acuicultura chilena es la salmonicultura, industria que se enfoca en la producción de peces de la familia Salmonidae, como los salmones y truchas. Este proceso incluye diferentes etapas que van desde la fertilización de las ovas, hasta que el pez es cosechado, procesado y por último, comercializado (Intesal, 2021). Esta industria es una de las más grandes de Chile, la cual ha crecido significativamente en los últimos 60 años. Nuestro país logra ocupar el segundo puesto en mayor producción de salmón del Atlántico, y es de gran importancia para la economía. Según estudios, se indica que el valor agregado directo supera los USD 2.412 millones a diciembre de 2022, lo cual representa el 0,95% del Producto Interno Bruto (PIB) de nuestro país. Al incluir proveedores de la industria salmonera el valor agregado total alcanza USD 5.282 millones, lo que equivale al 2,1% del PIB nacional (Bergoeing, 2023, diapositiva 17). Sin embargo, no está exenta de patologías, como por ejemplo la Caligidosis (SERNAPESCA, 2023).

Chile no es el único productor de salmón; por lo que, en este contexto, es importante mencionar a otros países productores. Noruega, por ejemplo, es el mayor productor de salmón del Atlántico a nivel global, responsable de aproximadamente el 50% de la producciónmundial. En 2020 exportó alrededor de 1,1 millones de toneladas de salmón,

las que fueron valoradas en USD 8,3 billones. Noruega es principalmente afectada por el copépodo *Lepeophtheirus salmonis* (Compassion in world farming, 2021).

Además, el Reino Unido, particularmente Escocia, también es un productor significativo. En 2018, la producción de salmón fue de 166.000 toneladas, lo que representa alrededor del 6,8% de la producción global (Compassion in world farming, 2021).

Canadá es otro país con una producción notable, alcanzando alrededor de 123.184 toneladas en 2018, lo que representa aproximadamente el 51% de la producción global (Compassion in world farming, 2021).

La Caligidosis es una enfermedad producida por el ectoparásito *Caligus rogercresseyi*, este también llamado comúnmente piojo de mar, el cual pertenece a la orden copépoda. Una de sus características principales es tener un cuerpo conformado por un cefalotórax y abdomen. En el caso de los adultos la forma de su cuerpo es aplanada dorsoventralmente, la cual está adaptada para poder adherirse a la superficie de sus hospederos, para lo cual se ayuda con unas estructuras llamadas lúnulas. Para poder alimentarse, estos utilizan sus artejos bucales, como la mandíbula, maxila, maxilípedos, los cuales presentan espinas, que son capaces de poder cortar y manipular los tejidos, que posteriormente serán succionados por el cono oral (Boxshall & Bravo, 2000). Al ciclo de vida de *C. rogercresseyi*, consta de ocho estadios de desarrollo, los cuales tres son de vida libre o también denominados planctónicos y cinco estadios parasitarios, los cuales estarán adheridos al huésped. En los estadios de vida libre encontramos dos nauplius y un copepodito, el cual es la fase infectante de este ectoparásito. El copepodito se asienta en el hospedador aferrándose mediante el segundo par de antenas y maxilípedos, y en caso de ser un hospedero adecuado para él, extruye su filamento rostral que lo fija definitivamente al pez (González, 2006). Luego de la fijación, muda, transformándose en chalimus, el cual consta de cuatro estadios, siempre estando adherido al huésped (estrictamente parasitario). Posteriormente, tanto el macho como

la hembra llega al estado adulto.

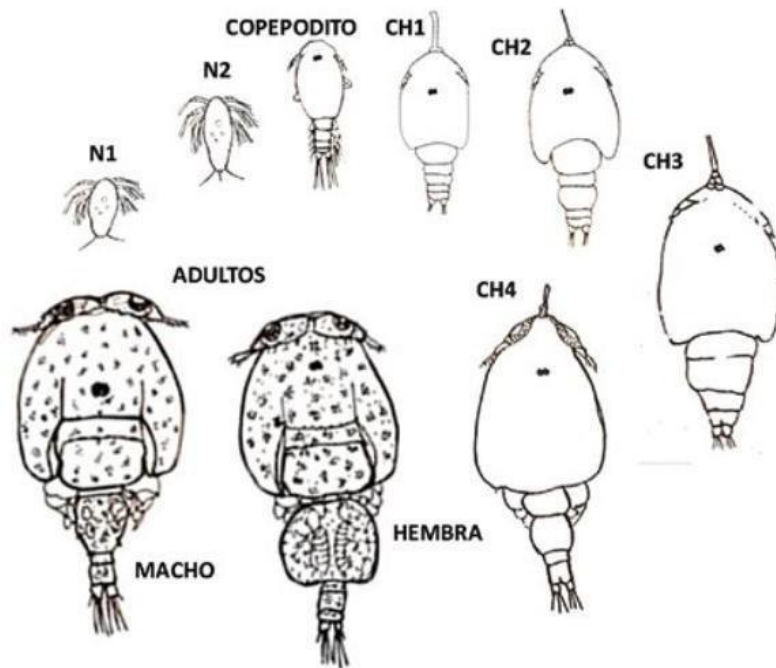


Figura 1. Ciclo de vida de *Caligus rogercresseyi*, González y Carvajal (2003)

Estos se reproducen nuevamente para reiniciar el ciclo de vida, donde la hembra produce sacos ovígeros, los cuales pueden contener hasta 71 ± 19 huevos por saco ovígero, número que varía de acuerdo con la región y temperatura (Bravo et al., 2013).

C. rogercresseyi parasita peces nativos, como lo es el pejerrey de mar (*Odonthestes regia*), lenguado (*Paralichthys microps*) y el róbalo (*Eleginops maclovinus*) (Marín et al., 2015; Muñoz & Olmos, 2007; Sepúlveda et al., 2004), además de parasitar a otros peces no nativos como lo son la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), salmón del Atlántico (*Salmo salar*), el salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*). Para González et al., (2000) la trucha arcoíris es la que tiene más susceptibilidad en comparación a el salmón Coho el cual no tiene mayor susceptibilidad, a menos que esté afectado por otra enfermedad como lo sería el síndrome rickettsial, causado por *Piscirickettias salmonis*. En este contexto, el salmón Atlántico tiene una susceptibilidad media. Estas especies son de suma importancia para la acuicultura.

La Caligidosis se encuentra clasificada en la lista N°2 de enfermedades de alto riesgo y sujeta a un programa de vigilancia y control específico mediante la resolución exenta n°60 (SERNAPESCA, 2022), enfermedad que produce grandes pérdidas económicas, las cuales se estiman que oscilan entre US\$0,2 a 0,4 por kilogramo de salmón producido, donde se consideran los costos de tratamiento y la disminución de la salud de los peces (Villarreal, 2010) además se han reportado pérdidas de US\$0,3 por kilogramo debido a la desparasitación que se realiza (Bravo et al., 2015). Otras pérdidas económicas se pueden ver reflejadas en el alargamiento del ciclo de cultivo productivo, evidencia disminución de conversión alimenticia, predisposición de infecciones secundarias, además de la necesidad de la limpieza de carcasas durante el proceso (Carvajal et al., 1998; Johnson et al., 2004). Por otra parte, los efectos en el bienestar de los peces se pueden describir en un punto de vista tanto fisiológico con alteraciones en la respuesta primaria (serotonina y cortisol) (Vargas – Chacoff et al., 2019) así como de metabolitos secundarios (González et al., 2015; González et al., 2015a; González et al., 2015b) e inmunología (Valenzuela-Muñoz et al., 2016).

Además, podemos ver distintos signos clínicos en los peces afectados por este parásito, por lo general suele haber irritación en la piel especialmente en las áreas donde este parásito se adhiere, como lo son el abdomen, región perianal y las aletas. Además, la presencia de *Chalimus* puede provocar erosión epidérmica y lesiones visibles, también en estos peces tienden a mostrar una disminución en el apetito, lo que tiene como consecuencia un crecimiento reducido, lo que impacta negativamente en la producción así mismo podemos observar comportamientos anormales, como agitación o letargo. (IFOP, 2021; Pellón et al., 2022).

Para el control de la Caligidosis, los productos químicos son de gran importancia para poder asegurar la salud y la producción de los peces, aunque la gran mayoría de estos químicos utilizados corresponden a pesticidas que han sido desarrollados principalmente para el control de enfermedades parasitaria en la ganadería y agricultura, lo que se puede traducir en efectos adversos sobre el ambiente acuático (Burridge et al., 2010; Nash, 2003). Actualmente, los tratamientos para el control de la Caligidosis se

realizan principalmente a través de baños por inmersión, utilizando productos como azametifos, deltametrina, cipermetrina, hexaflumuron y peróxido de hidrógeno. Adicionalmente, también existen tratamientos que se entregan a través del alimento, incluyendo lufenuron, diflubenzuron y benzoato de emamectina.

Por consiguiente, en la actualidad una de las problemáticas más grandes de las industrias de acuicultura, así como también en la industria farmacológica humana, se ha generado una disminución en el efecto que realizan los fármacos en el tratamiento de las enfermedades, es decir, pérdida de sensibilidad frente a fármacos por parte de los patógenos de alta relevancia en la cual los antiparasitarios no se quedan atrás de esto. Podemos encontrar distintas maneras de pérdida de sensibilidad como:

- Exposición prolongada y el uso repetido de los mismos antiparasitarios como por ejemplo el benzoato de emamectina y la deltametrina, nos puede llevar a que el parásito desarrolle resistencia, lo que nos conlleva a que estos individuos tengan mayor probabilidad de sobrevivir y reproducirse, transmitiendo sus características resistentes a la siguiente generación (Orrego, 2018; Villarroel, 2010).
- El aumento de dosis en las aplicaciones puede generar una selección aún mayor de los parásitos resistentes a los tratamientos, lo que nos resulta en una población cada vez menos susceptibles a los antiparasitarios (González, 2021; Orrego, 2018).
- Además, también los parásitos pueden desarrollar varios mecanismos de resistencia incluyendo cambios en proteínas, alteraciones en las vías metabólicas que permiten la detoxificación del fármaco y modificaciones en la permeabilidad celular que impiden la entrada del tratamiento (IFOP, 2021; Orrego, 2018).

Considerando esta problemática, se ha tratado de implementar la utilización de métodos no farmacológicos y además de prevención contra esta enfermedad parasitaria, la cuales se caracterizan por no tener grandes impactos en el medio ambiente, ni en la salud del animal, para así no dañar el bienestar de este (IFOP, 2021).

En este contexto, los sistemas acuícolas de recirculación (RAS) representan una tecnología clave para mejorar la sostenibilidad y el manejo sanitario en la acuicultura.

Estos cultivos RAS ofrecen múltiples ventajas, como la instalación casi exclusiva en tierra, lo que reduce significativamente el contacto con fuentes externas de patógenos. Además, permiten el cultivo de peces en altas densidades en un ambiente controlado por el operador, optimizando el uso del agua mediante filtros que la limpian y reciclan para ser reutilizada en los estanques de cultivo. Este proceso no solo asegura una calidad óptima del agua, sino que también favorece la producción de peces más sanos, con una reducción en el uso de antimicrobianos y desinfectantes, y la prevención de infestaciones parasitarias, como la causada por *Caligus rogercresseyi* (Arancibia, 2023; infoSalmon, 2023).

En la actualidad se han descrito varias estrategias y métodos para poder combatir y prevenir la parasitosis del piojo de mar. Algunos ejemplos de estos métodos que en Chile se han propuesto son peces limpiadores, agua a alta presión, tratamiento térmico, pulsos electromagnéticos, ultrasonido, peróxido de hidrógeno, control por baño con agua dulce/salobre y control por baño con aceites naturales. Con respecto a su eficacia promedio se dice que el tratamiento térmico es el que tiene mayor eficacia seguido por el baño con agua dulce, el baño con peróxido de hidrógeno, el baño con aceites naturales y el agua a presión y además el uso de lonas que rodean las jaulas, este método tiene como objetivo evitar que los parásitos tengan contacto con los peces (Instituto de Fomento Pesquero. [IFOP] ,2021).

En vista de lo ya mencionado anteriormente, se realiza esta revisión bibliográfica para buscar información sobre el estado de las estrategias alternativas o no farmacológicas para el tratamiento de la Caligidosis, tanto en Chile como en el mundo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Evaluar tratamientos alternativos y medidas de prevención para la Caligidosis, a través de una revisión bibliográfica sistemática con el fin de identificar los avances más recientes en la materia y generar nuevas propuestas de tratamiento y prevención que apoyen el desarrollo sostenible de la salmonicultura.

2.2. Objetivos específicos:

1. Identificar y actualizar la información sobre los tratamientos no farmacológicos vigentes.
2. Realizar un catastro sobre estrategias preventivas que ayuden a la reducción de infestaciones.
3. Comparar los diferentes tratamientos no farmacológicos y estrategias preventivas, en términos de eficacia, bienestar animal e impactos medioambientales.
4. Recopilar información desde la industria con respecto a los tratamientos no farmacológicos y de prevención.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño del estudio

El diseño del estudio correspondió a un enfoque híbrido, transversal y observacional (Hernández et al., 2010). Este enfoque facilitó identificar cambios y tendencias, ya sea en los nuevos métodos o en las actualizaciones de estos, que se utilizan en la salmonicultura chilena, el enfoque fue de tipo cuantitativo ya que se basó en realizar una búsqueda de información de proyectos, informes, investigaciones y publicaciones ya existentes (Hernández et al., 2010).

3.2. Búsqueda bibliográfica

Se utilizaron artículos científicos, reportajes, notas de prensa, tesis de pregrado y postgrado entre otros, que describían métodos no farmacológicos o preventivos contra la Caligidosis y se obtuvieron a partir de diversas palabras claves utilizadas tanto de forma individual como combinada. Con respecto a las combinaciones, estas se organizaron mediante los operadores booleanos "AND" y "OR", ampliando de esta manera el rango de búsqueda sin omitir documentos relevantes.

3.3. Fuentes de información

Se llevo a cabo una búsqueda bibliográfica a través de la utilización de fuentes disponibles en la base de datos de documentos electrónicos de la universidad San Sebastián, la cual incluyó diversas plataformas académicas como, Science Direct, WILEY Online library, MPDI, además del motor de búsqueda Google académico. Estas bases de datos nos proporcionaron acceso a una amplia cantidad de artículos, libros, y otros documentos académicos que nos permitieron obtener la información necesaria para la

investigación.

Las palabras claves se combinaron con operadores booleanos, y de esta forma, funcionaron como comandos que enlazan dos o más palabras. El uso de "AND" entre dos términos clave restringió la búsqueda a artículos que contengan ambos términos, mientras que "OR" abarca más resultados al incluir artículos que contengan cualquiera de los dos términos. (Avelar y Toro, 2018). Los idiomas utilizados en el estudio fueron español, inglés. A continuación, se presentan las palabras claves que se emplearon.

Tabla 1. Palabras claves en idioma español e inglés utilizadas en la búsqueda bibliográfica.

Idioma español	Idioma inglés
<i>“Caligus rogercresseyi”</i>	<i>“Caligus rogercresseyi”</i>
<i>“Lepeophtheirus salmonis”</i>	<i>“Lepeophtheirus salmonis”</i>
“Prevención”	“Prevention”
“Control”	“Control”
“Manejo”	“Management”
“Biológico”	“Biological”
“Físico”	“Physical”
“Químico”	“Chemical”
“Ecológico”	“Ecological”

“Tratamiento”	“Treatment”
“Control biológico”	“Biological control”
“Control físico”	“Physical control”
“Control preventivo”	“Preventive control”
“Tratamiento no farmacológico”	“Nonpharmacological treatment”
“Tratamiento alternativo”	“Alternative treatment”
“Parásitos en peces”	“Parasites in fish”
“Ectoparásitos en salmones”	“Ectoparasites in salmon”
“Estrategias ecológicas “	“Ecological strategies”
“Estrategias preventivas”	“Preventive strategies”
“Salmon”	“Salmon”
“Peces”	“Fish”
“Acuicultura”	“Aquaculture”

Fuente: Elaboración propia (2024).

Las combinaciones empleadas fueron tanto en español como en inglés. A continuación, se describen las combinaciones en español:

- ("Caligus rogercresseyi" OR "Lepeophtheirus salmonis") AND ("tratamiento no farmacológico" OR "control biológico" OR "estrategias preventivas" OR "estrategias ecológicas" OR "control físico") AND ("salmón" OR "peces")
- ("Caligus rogercresseyi" OR "Lepeophtheirus salmonis") AND ("prevención" OR "control preventivo" OR "medidas profilácticas") AND ("no farmacológico" OR "biológico" OR "ecológico" OR "físico")
- ("Caligus rogercresseyi" OR "Lepeophtheirus salmonis") AND ("tratamiento alternativo" OR "estrategias ecológicas") AND ("salmón" OR "acuicultura")
- ("ectoparásitos" OR "piojos de mar" OR "parásitos en peces") AND ("control" OR "manejo" OR "prevención") AND ("no farmacológico" OR "biológico" OR "físico" OR "mecánico") AND ("salmón" OR "salmones")
- ("Caligus rogercresseyi" OR "Lepeophtheirus salmonis") AND ("control" OR "prevención" OR "tratamiento") AND ("no farmacológico" OR "biológico" OR "físico" OR "ecológico") NOT ("químico" OR "farmacéutico")

A continuación, se presentan las combinaciones en inglés:

- ("Caligus rogercresseyi" OR "Lepeophtheirus salmonis") AND ("non-pharmacological treatment" OR "biological control" OR "preventive strategies" OR "ecological strategies" OR "physical control") AND ("salmon" OR "fish")
- ("Caligus rogercresseyi" OR "Lepeophtheirus salmonis") AND ("prevention" OR "preventive control" OR "prophylactic measures") AND ("non-pharmacological" OR "biological" OR "ecological" OR "physical")
- ("Caligus rogercresseyi" OR "Lepeophtheirus salmonis") AND ("alternative treatment" OR "ecological strategies") AND ("salmon" OR "aquaculture")
- ("ectoparasites" OR "sea lice" OR "parasites in fish") AND ("control" OR

"management" OR "prevention") AND ("non-pharmacological" OR "biological" OR "physical" OR "mechanical") AND ("salmon" OR "salmonids")

- ("Caligus rogercresseyi" OR "Lepeophtheirus salmonis") AND ("control" OR "prevention" OR "treatment") AND ("non-pharmacological" OR "biological" OR "physical" OR "ecological") NOT ("chemical" OR "pharmaceutical")

3.5. Criterios de inclusión

El estudio del tema a investigar utilizó artículos científicos publicados de forma digital o física en dos idiomas, como inglés y español. Los estudios seleccionados en la investigación fueron aquellos que incluían tanto en conjunto o como por separado, métodos no farmacológicos o métodos de prevención contra la Caligidosis.

3.6. Criterios de exclusión

Se excluyeron aquellos artículos pagados o no publicados, provenientes de fuentes no oficiales, además también de excluir artículos incompletos o artículos sobre métodos químicos o farmacológicos en la salmonicultura. Este procedimiento se llevó a cabo en un gestor bibliográfico, de referencia, Zotero, en el cual las referencias bibliográficas fueron importadas a este gestor, y con la función integrada de este, el cual nos sirvió para poder identificar los duplicados, el cual realizó la comparación entre título, autor y año de publicación, agrupando las referencias potencialmente repetidas. Posteriormente se exportaron todas las referencias desde Zotero a un archivo en formato CVS (comma separated values) para su análisis en Excel.

3.7. Datos por extraer de cada estudio

Los datos extraídos de cada estudio correspondieron a:

- 1) Año de publicación.
- 2) Autor/Autores.

- 3) Conclusiones principales.
- 4) Descripción del tratamiento no farmacológico y/o de prevención.
 - Método o estrategia utilizada.
 - Especies objetivo (*Caligus rogercresseyi* y/o *Lepeophtheirus salmonis*).
- 5) Eficacia de tratamiento o método de prevención.
 - Criterios de eficacia: indicadores que nos ayuden a evaluar el éxito de tratamiento en cuanto a la reducción de la infestación parasitaria en los peces.
 - Duración del tratamiento: periodo de aplicación y evaluación.
 - Costos estimados o accesibilidad del tratamiento.
- 6) Aspectos críticos de las estrategias analizadas.
 - Limitaciones identificadas.
 - Posibles impactos ambientales o económicos.

3.8. Análisis crítico de la literatura utilizada

Para realizar el análisis crítico y la evaluación de la información científica de los estudios revisados, se emplearon pautas diseñadas como normas o modelos que facilitaron una lectura estructurada (Bobenrieth Astete, 2002). Estas pautas fueron adaptadas para poder hacer más específico el análisis y garantizar la relevancia de los hallazgos. Ver parte de anexos en las páginas número 16 y 17. Además, se elaboró un flujograma en formato PRISMA para cuantificar de manera eficiente los archivos utilizados.

3.9 Análisis crítico y comparativo de la información analizada

Se utilizó estadística descriptiva para organizar y presentar los datos de forma clara y comprensible. En cuanto al análisis comparativo, la información se realizó mediante una tabla de contingencia. En esta tabla, las columnas representaron los tratamientos y/o estrategias de prevención, mientras que las filas incluyeron los aspectos críticos de comparación, como la eficacia registrada, el nivel de implementos requeridos, el estadio al que afecta, entre otros. Este enfoque nos permitió identificar las estrategias actuales en el control y la prevención de la Caligidosis, así como analizar sus atributos y características clave.

4.0 Obtención de información desde la industria

Con el objetivo de conocer la percepción, el uso y el nivel de implementación de tratamientos no farmacológicos y estrategias preventivas para el control de *Caligus rogercresseyi*, se diseñó y aplicó una encuesta dirigida a profesionales de la industria acuícola nacional, entre los cuales se incluyeron gerentes y jefes de salud. La encuesta se detalla en el anexo, pagina 90. Esta fue elaborada en formato digital y distribuida a través de redes de contacto, permitiendo recopilar datos provenientes de distintos centros de cultivo. El cuestionario incluyo preguntas cerradas y abiertas sobre el tipo de tratamientos no farmacológicos utilizados (como baños mecánicos, dietas funciones, redes antiparasitarias, entre otros), su frecuencia de aplicación, percepción de eficacia, limitantes prácticas y niveles de aceptación por parte del personal operativo. Asimismo, se indago en la aplicación de tratamientos farmacológicos y la adopción de medidas preventivas.

Esta instancia nos permitió obtener una mirada actualizada desde la propia industria respecto a que tan instauradas estaban estas prácticas, que dificultades se enfrentaron en su implementación y cuáles eran las oportunidades de mejora para fortalecer el enfoque no farmacológico frente a la Caligidosis.

Asimismo, se informó a los participantes mediante un párrafo explicativo, que la información proporcionada será tratada de forma confidencial.

En caso de que este procedimiento no hubiera obtenido resultados satisfactorios, se procedería a realizar una solicitud de información mediante transparencia.

4. RESULTADOS

4.1 Resultados del proceso de búsqueda bibliográfica.

En este apartado se presentan los resultados del proceso de búsqueda de información bibliográfica que se realizó para sustentar esta tesis. Se explica cuántos estudios se identificaron al comienzo, cómo se filtraron según criterios definidos, y cuántos finalmente fueron considerados relevantes. Este paso fue clave para asegurar que la investigación se basó en evidencia sólida y actualizada (Figura 2).



Figura 2. Flujograma para realizar la selección de estudios incluidos en la revisión bibliográfica. Fuente: Elaboración propia, 2025

4.2 Identificar y actualizar la información sobre los tratamientos no farmacológicos vigentes.

De la revisión bibliográfica realizada se pudieron identificar distintas herramientas para el control de la Caligidosis, las cuales por definición buscan reducir las cargas parasitarias de la infestación ya instaurada en los peces. A continuación, se entrega una descripción de cada herramienta.

1. Peces limpiadores.

Son especies que, de forma natural, se alimentan de parásitos externos presentes en la superficie o piel de otros peces. En este sentido, el uso de estos peces limpiadores es una tecnología ecosistémica que se basa en el mutualismo, es decir, ambas especies se benefician mutuamente (Kaland et al., 2023a). Los peces más utilizados en piscifactorías noruegas, para poder contrarrestar la infestación de *Lepeophtheirus salmonis* y *Caligus elongatus*, son el lumpo, el lábrido de alas de corcho (*Symphodus melops*), el lábrido dorado (*Ctenolabrus rupestris*), el lábrido de cola blanca (*Labrus bergylta*) y el lábrido de roca (*Centrolabrus exoletus*) (Kaland et al., 2023). Treasurer, (1994) menciona que en un análisis del contenido estomacal de lábridos usados como peces limpiadores mostró que estos peces son capaces de consumir piojos del salmón, pero que la cantidad de individuos ingeridos por cada lábrido varió considerablemente, con un promedio entre 7 y 46 piojos por individuos. En cuanto a los lumpos, Imsland et al. (2015) menciona que entre el 15% y el 38 % de estos peces habían consumido piojos de salmón, aunque no se especificó el número exacto de piojos encontrados en sus estómagos (Imsland et al., 2015). Los lumpos resultan especialmente efectivos para eliminar piojos hembra maduros del salmón, con reportes que indican una reducción de hasta el 97 % en estas infestaciones (Imsland et al., 2014).

Una de las principales desventajas asociadas al uso de peces limpiadores es la alta mortalidad de estos, lo que exige la implementación de buenas prácticas de manejo para resguardar su bienestar animal (Småge et al., 2016). Además, se ha reportado un porcentaje significativo de escapes, lo que agrava esta problemática (Herrmann et al., 2021).

Otra limitación importante, especialmente en el caso del pez lumpo (*Cyclopterus lumpus*), es su fuerte preferencia por otros tipos de alimento, como bioincrustaciones, algas, medusas, crustáceos e incluso pellets destinados al salmón. Esta conducta puede generar una competencia no deseada por el alimento, reduciendo así su eficacia como controladores biológicos (Engebretsen et al., 2023; Imsland et al., 2015). Asimismo, se ha observado que el consumo de parásitos varía significativamente según el peso corporal del pez limpiador, lo que introduce una variabilidad adicional en su efectividad.

Además, otra desventaja relevante es la susceptibilidad de estos peces a ciertos patógenos. Småge et al. (2016) advierte sobre la presencia de *Tenacibaculum maritimum* en peces limpiadores, una bacteria que puede provocar importantes pérdidas económicas. En sistemas de cultivo de alta densidad, este riesgo se ve amplificado, ya que el ambiente compartido facilita la propagación de patógenos entre especies.

Y, por último, la reutilización de estos peces para otro ciclo de producción no es viable, ya que deja de ingerir piojos al alcanzar la madurez, aproximadamente entre los 14 y 16 meses (Brooker et al., 2018; Imsland et al., 2014b), lo que implica que, en cada ciclo productivo, deben ingresarse nuevos peces para que ejerzan su función limpiadora, lo que puede incrementar los costos de producción. Si bien autores destacan algunas ventajas como su alta efectividad en disminuir la parasitosis a corto plazo, además de ser un método con una implementación fácil y económica, presenta desventajas importantes que deben ser consideradas antes de su utilización.

En Chile, se ha realizado un estudio experimental por Carlos Sánchez et al. (2018.), el cual tenía como objetivo evaluar la eficacia del róbalo patagónico (*Eleginops maclovinus*), una especie nativa de Chile, como pez limpiador en sistemas de cultivo de salmón del Atlántico (*Salmo salar*), tanto en condiciones de laboratorio (estanques) como en centros experimentales. Se emplearon distintos tratamientos que variaron la proporción róbalo/salmón (5%, 10%, 20%) y la densidad de cultivo, con evaluaciones de infestación realizadas cada siete días durante un período de 35 días. En el caso de los ensayos en centros de cultivo, los salmones fueron infectados naturalmente en el ambiente, y se probaron distintos pesos de peces, proporciones de róbalo y densidades de cultivo durante un período de 60 días. Los autores indican una eficacia significativa del róbalo en la reducción de *C. rogercresseyi* en condiciones controladas, alcanzando hasta un 93,6% de limpieza en los ensayos realizados en estanques, en condiciones de alta densidad de cultivo y proporción róbalo/salmón de 10%, en las condiciones de menor densidad, la eficacia osciló entre 48,8% y 64,2%. Por otro lado, en los ensayos realizados en jaula, la eficacia fue más moderada, alcanzando un 47,2% en salmones de menor tamaño (500 g) y descendiendo a 27,3% en peces de mayor tamaño (3200 g).

Dentro de las ventajas que tiene este método de peces limpiadores, destaca su capacidad de reducir significativamente la carga parasitaria sin recurrir al uso de antiparasitarios químicos, contribuyendo así a una estrategia de producción más sustentable.

No obstante, también presenta desventajas, las cuales varían en que la eficacia del róbalo, como pez limpiador, es altamente variable dependiendo de factores como la densidad de cultivo, tamaño del salmón y condiciones ambientales. Además, en ambientes abiertos, su efectividad disminuye, a esto se le suma la necesidad de tener que establecer cultivos controlados en cautiverio de esta especie de pez, ya que su captura en estado silvestre no es sostenible a largo plazo.

Una característica de doble efecto de este pez limpiador (*Eleginops maclovinus*) es su capacidad para poder alimentarse de pellets comerciales de 4 y 6 mm. Por un lado, esto representa una ventaja desde el punto de vista operativo, ya que facilita su mantención en cultivo al no depender exclusivamente de la presencia de parásitos para su nutrición. Sin embargo, también constituye una desventaja, ya que esta preferencia por alimentos alternativos puede reducir su motivación por consumir piojos, disminuyendo su eficacia como controlador biológico.

2. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico para la eliminación de los piojos del salmón se basa principalmente en la aplicación de agua caliente durante un breve periodo de tiempo, lo que provoca que los parásitos se desprendan e inactiven. Esta técnica es viable, ya que los salmones pueden resistir exposiciones breves a temperaturas entre 30 y 34 °C (Elliott & Elliott, 1995). Aunque los piojos tienen un umbral térmico similar, su menor tamaño hace que no resistan tanto tiempo como los peces cuando se enfrentan a estas temperaturas elevadas (Grøntvedt et al., 2015). En la actualidad, la industria cuenta con dos equipos para el despiojado térmico: Thermolicer® y Optilicer®, ambos equipos trasladan a los salmones desde sus jaulas hacia agua de mar calentada entre 28 y 34 °C, por un tiempo aproximadamente entre 20 a 30 segundos, la temperatura dependerá de las condiciones del entorno y el objetivo que tenga el tratamiento. La diferencia principal entre ambos equipos está en su mecanismo de funcionamiento, ya que el Thermolicer® emplea un

sistema de flujo continuo el cual bombea a los peces directamente por tuberías con agua caliente, mientras que Optilicer® utiliza ruedas de paletas que arrastran a los peces a través de un estanque con agua templada a una velocidad constante.

Según estudios de Bjørn Roth, (2016); Grøntvedt et al., (2015), Thermolicer® logra eliminar entre un 75 % y 100 % de las etapas móviles de los piojos, mientras que Optilicer® alcanza una eficacia del 98 %. No obstante, ninguno de estos métodos es efectivo para eliminar parásitos que están firmemente adheridos al pez, es decir, los estadios juveniles.

Se han realizado estudios sobre el bienestar de los peces expuestos a esta tecnología previamente. En una investigación reciente de Bui et al. (2022), se profundizó en los hallazgos de Moltumyr et al. (2021, 2022) mediante el uso de salmones de mayor tamaño (aproximadamente 2 kg), en condiciones ambientales con una temperatura ambiente de 14 °C y con un promedio de temperaturas más amplio para el tratamiento (incluyendo un grupo control a 14 °C, y tratamientos a 27 °C, 30 °C y 33 °C). Estas variaciones permitieron evaluar los efectos de distintas temperaturas (Δt) durante la aplicación del tratamiento. En términos de bienestar general, no se registraron infecciones virales ni bacterianas en los peces, sin embargo, se presentó una elevada mortalidad en los grupos sometidos a temperaturas más altas, principalmente los del grupo a una temperatura de 33 °C (18,9 % de mortalidad acumulada tras la primera exposición) y, en menor medida, el grupo de 30 °C (12,4 %), a diferencia de los grupos de 27 °C y 14 °C que presentaron mortalidades menores (5,3 % y 6,5 % respectivamente). Cabe destacar que tras la segunda exposición al tratamiento térmico no se registraron nuevas muertes, lo que puede sugerir un cierto grado de adaptación o una mejor tolerancia tras el período de recuperación.

Según Nilsson et al. (2019) los salmones del Atlántico sometidos a temperaturas mayores de 28 °C durante cinco minutos manifestaron conductas inmediatas que evidenciaban dolor. Por su parte, Gismervik et al. (2019) observaron que exposiciones de 72 a 140 segundos a temperaturas entre 34 y 38 °C provocaron lesiones en branquias, ojos y cerebro, aunque estas temperaturas utilizadas exceden a las que normalmente se aplican en los tratamientos térmicos.

Además, distintos estudios han documentado casos de mortalidad y daños físicos, como hemorragias y engrosamiento del tejido branquial, pérdida de escamas y piel, sangrados en el cerebro, y alteraciones en el tejido epitelial del timo y la cavidad nasal (Østevik et al., 2022; Poppe et al., 2018; Sviland Walde et al., 2021), aunque aún no se determinó si estas lesiones fueron causadas directamente por el calor o por factores relacionados con el procedimiento, como el transporte en las bombas o el estrés por hacinamiento.

En el estudio realizado por Moltumyr et al. (2022) se evaluaron los efectos a largo plazo sobre el bienestar de salmones de tamaño medio (1,4 kg) expuestos a agua tibia (34 °C durante 30 segundos, con un Δt de 25 °C), repitiendo el tratamiento con un intervalo de tres semanas. Los resultados observados fueron un gran aumento en la frecuencia y severidad de la pérdida de escamas, lesiones en el hocico, problemas oculares y daños en las aletas, además de una disminución notable en el crecimiento comparado con los del grupo control. Aunque no se evidenció un incremento importante en la mortalidad, se registraron intensas reacciones conductuales frente a la exposición, las cuales se consideraron como la causa más probable de las lesiones detectadas.

Así mismo, según lo observado por el estudio de Bui et al. (2022), los resultados son preocupantes en relación con el bienestar animal, ya que se presentaron comportamientos intensos de agitación al momento de la exposición, especialmente en los grupos de mayor temperatura, con movimientos explosivos, saltos y choques contra las paredes del contenedor. En cuanto a las lesiones físicas, todos los grupos tratados presentaron un aumento significativo en la prevalencia de daños moderados a severos en aletas y cavidad oral, en comparación con el grupo control. Particularmente, el grupo de 33 °C mostró una incidencia más alta de lesiones oculares severas. Al realizar los análisis de tejidos se demostró la presencia de daño ocular severo (sangrado, edema inflamación) en los grupos tratados, con diferencias estadísticamente significativas respecto del grupo control.

Finalmente, en cuanto al crecimiento, todos los grupos que fueron tratados presentaron una disminución significativa de peso corporal y del factor de condición (K) posteriormente a la aplicación de tratamiento, en comparación con el grupo control

negativo. Si bien en la etapa final del experimento todos los peces lograron retomar el crecimiento, los efectos negativos del tratamiento térmico sobre el rendimiento productivo son evidentes (Bui et al., 2022).

Aunque el uso de agua caliente como método de desparasitación térmica para el control de piojos en los salmones está ampliamente implementado, existen escasas investigaciones con respecto al enfoque contrario, es decir, el uso de agua fría. Los cambios bruscos a temperaturas más bajas en el agua de mar pueden inducir una reacción fisiológica conocida como "choque por frío" en los peces. Esto se define como una disminución repentina de la temperatura ambiental que provoca un descenso igualmente abrupto en la temperatura corporal del animal (Donaldson et al., 2008). Este fenómeno puede desencadenar respuestas tanto conductuales como fisiológicas.

Según Overton et al. (2019) en los tratamientos con temperaturas más bajas (-1°C y 1°C), provocan reacciones de choque térmico, con inmovilidad inmediata al ser introducidos en el agua fría y con tiempos de recuperación que variaron entre los 30 minutos y 1 hora, dependiendo de cuando duraba el tratamiento. Por otro lado, no se registró mortalidad en ninguno de los grupos tratados y más del 75 % de los peces retomaron su alimentación normal dentro de los 2 a 3 días posteriores al tratamiento. En relación con los efectos físicos, la mayoría de los peces en todos los grupos presentaron daño severo en las aletas, aunque aquellos tratados durante 10 minutos o menos mostraron ocasionalmente condiciones normales, lo que indica que la duración del tratamiento afectó este parámetro. Además, la condición de la piel fue peor en peces tratados (45 % con piel normal) que en los controles (69 %), lo cual se atribuye al tiempo del tratamiento principalmente. También se observaron peores puntuaciones oculares en peces tratados (29 % normales) en comparación con los controles (49 %), sin relación significativa con la temperatura ni duración, en cuanto a las branquias no se detectó ninguna diferencia relevante entre los grupos.

Para finalizar, si bien los tratamientos con agua tibia o fría pueden ser una herramienta útil en el manejo del *Caligus rogercresseyi*, debido a las altas eficacias que se evidencian en los estudios, estos deben aplicarse con precaución, debido a los efectos en el

bienestar animal que indica la literatura, equilibrando su eficacia con sus efectos sobre el bienestar animal.

3. Tratamiento láser.

El despiojado mediante láser es una tecnología innovadora, que integra la detección automatizada de parásitos mediante inteligencia artificial en conjunto con la aplicación precisa de pulsos láser, esta técnica busca reducir la carga de piojos en los salmones al dirigir los haces de luz concentrada, es decir, fotones hacia los parásitos reconocidos, generando daño sobre estos sin afectar al pez. El sistema opera a través de “nodos” sumergidos que se instalan bajo boyas dentro de las jaulas de cultivo, los cuales cuentan con cámaras automatizadas que monitorean a los peces, localizan posibles parásitos y activan disparos de luz sobre ellos. Las imágenes recolectadas se envían a una base central, lo que permite mejorar continuamente el algoritmo de detección de parásitos mediante el aprendizaje automático. Según estudios se indica que los pulsos no provocan lesiones visibles en la piel del salmón y que el sistema es capaz de evitar zonas sensibles como los ojos (Brown, 2016; Frenzl, 2017, citado en Bui et al., 2020). Habitualmente, se colocan varios nodos en cada jaula y su funcionamiento es supervisado de manera remota por un equipo técnico especializado

El uso de láser como método no farmacológico para el control de *Caligus* en salmones ha sido evaluado en condiciones reales de cultivo, sin embargo, los resultados obtenidos han demostrado una eficacia limitada. Durante el ensayo de los investigadores Bui et al. (2020) en un período de 54 días, no se observaron diferencias significativas en la abundancia de piojos *Lepeophtheirus salmonis* entre jaulas que fueron tratadas con láser y aquellas sin tratamiento, manteniéndose niveles similares de infestación en todos los estadios del parásito. A lo largo del experimento, las poblaciones de piojos aumentaron hasta veinte veces en ambos grupos, lo que indica que el sistema óptico no logró controlar eficazmente la propagación del ectoparásito. Además, el número de pulsos emitidos por el sistema fue insuficiente en relación con la cantidad total de piojos presentes, alcanzando en promedio entre 0,04 y 0,38 pulsos por parásito al día, lo cual presenta una cobertura inadecuada del tratamiento. Con relación al bienestar animal, no se detectaron efectos adversos significativos, ya que tanto las tasas de mortalidad como las

evaluaciones de la condición física y ocular de los peces no mostraron diferencias relevantes entre los grupos experimentales. No obstante, el método presenta algunas limitaciones operativas y económicas, como lo son la dependencia de proveedores externos para su buen funcionamiento, una eficacia dependiente de múltiples factores técnicos, y una inversión considerable en equipos de alta tecnología. Todos los elementos mencionados, en conjunto pone en duda la rentabilidad y viabilidad del láser como estrategia única de control, por lo que su uso podría ser más adecuado como complemento dentro de un enfoque integrado de manejo sanitario en la salmonicultura (Bui et al., 2020)

4. Agua hiposalina

El tratamiento con agua dulce o hiposalina se ha implementado como una alternativa no farmacológica para el control del piojo de mar en la salmonicultura. Esta técnica consiste en la inmersión de los peces, como el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), en agua con baja salinidad - inferior a 5 partes por mil - durante periodos que varían entre 4 y 8 horas. El cambio osmótico generado afecta la supervivencia de los parásitos, provocando su muerte o desprendimiento, especialmente en estadios adultos (Borchel et al., 2023a; Guttu et al., 2024; Mc Dermott et al., 2021a).

En la actualidad, se emplean principalmente dos formas de aplicar el tratamiento, el primero consiste en el uso de jaulas tipo "snorkel", donde los salmones, al ascender para llenar su vejiga natatoria con aire, deben pasar por una capa de agua dulce y el segundo método implica la realización de baños en agua dulce a bordo de barcos con sistemas cerrados (*wellboats*), el cual ha ganado relevancia como una alternativa eficaz de desparasitación en el ámbito industrial (Groner et al., 2019; Powell et al., 2015).

En la investigación realizada por Sievers et al. (2019), se exploró la aplicación de agua hiposalina como una estrategia no farmacológica para el control de *Lepeophtheirus salmonis* en salmones. El procedimiento implicó someter a los parásitos a diferentes niveles de salinidad (4, 10, 20 y 26 ppt) durante un período máximo de 24 horas. Los resultados indicaron que la eficacia del tratamiento fue significativamente mayor a concentraciones bajas de sal; específicamente, en agua con 4 ppt, la mortalidad de los copepoditos llegó al 100% tras 24 horas, mientras que en preadultos fue cercana al 85%. Por el contrario, a salinidades iguales o superiores a 20 ppt, la supervivencia de los

parásitos superó el 90%, evidenciando una marcada reducción en la efectividad fuera de rangos bajos de salinidad.

El procedimiento estudiado por Mc Dermott et al. (2021b) consistió en sumergir salmones en agua hiposalina filtrada mediante nanofiltración, ajustada a una salinidad de 5 ppt durante un período de 4.5 horas, aplicándose como un tratamiento no farmacológico en salmones del Atlántico. Según los bioensayos realizados con piojos desprendidos (*L. salmonis*) demostraron que tras un baño de entre 4 y 6 horas seguido por transferencia mediante bombeo vivo, la carga parasitaria se redujo a menos del 5 % respecto al nivel inicial, lo que corresponde a una eficacia del 95% en la disminución de la carga parasitaria.

El trabajo de Borchel et al. (2023b) examinó la respuesta de hembras adultas libres y copepoditos de *Caligus elongatus* a diferentes niveles de salinidad. Los resultados indicaron que los copepoditos mantuvieron una supervivencia completa después de 24 horas a 20 ppt, mostraron tasas de supervivencia variables entre 75 % y 100 % a 15 ppt, y experimentaron mortalidad total tras una exposición de 24 horas a 10 ppt. En relación con las hembras adultas, presentaron una alta sensibilidad a bajas salinidades, mostrando mortalidad de 100% en salinidades bajo 12ppt durante 24 horas de exposición.

Se pudo observar que al reducir la salinidad a aproximadamente 12 ppt, la mitad de los parásitos se desprendió, y cuando esta disminuyó a 3–4 ppt, prácticamente la totalidad fue removida en un lapso de 90 a 144 minutos. Este método demuestra una alta efectividad para eliminar hembras adultas adheridas cuando la salinidad desciende por debajo de 12 ppt, incluso sin necesidad de manipular a los peces. No obstante, los copepoditos requieren condiciones de salinidad mucho más bajas (<15 ppt) para asegurar una mortalidad completa.

El estudio de Thompson et al. (2023) investigó la eficacia de los baños de agua dulce e hiposalina para el control de *Lepeophtheirus salmonis* en salmón Atlántico. Los resultados mostraron que la aplicación de baños en agua dulce (0,7 ppt) no tuvo efecto significativo en la reducción de la carga parasitaria, manteniendo cerca del 76% de los parásitos tras el tratamiento y bombeo, lo que corresponde a una eficacia de 24% en la disminución de la infestación parasitaria. En cambio, los baños de agua hiposalina (~5

ppt) demostrando una mayor eficacia, reduciendo la carga parasitaria a menos del 5% tras 4 horas de exposición y posterior extracción, lo que corresponde a una reducción más del 95%. La mayor reducción de parásitos se logró con el tratamiento hiposalina, se observó entre las 2 y 4 horas baño, indicando un umbral crítico de tolerancia para los piojos. Estos resultados resaltan el potencial del agua hiposalina como estrategia eficaz de control no farmacológico en condiciones de cultivo.

Las principales limitaciones de este método ya sean efectivos para la eliminación, consiste en la necesidad de mantener niveles de salinidad muy bajo, es decir, entre 3 y 5 ppt, durante varias horas, lo que no siempre es fácil de lograr en centros de cultivo. Además, implica tener que contar con una infraestructura especializadas, como sistemas de nanofiltración y circuitos cerrados de bombeo, lo que eleva los costos de operación considerablemente, por otro lado, se encuentra el gasto energético que se produce, lo cual pueden incrementar aún más el ámbito económico. A esto se le suma que si el tratamiento no se realiza como corresponde, existe gran riesgo de que los piojos o sus huevos vuelvan a incorporarse al sistema. Y, por último, hay que considerar que mantener a los salmones en estas condiciones de bajas salinidades, puede afectar su bienestar animal, sobre todo si el proceso no se realiza con los cuidados necesarios (Mc Dermott et al., 2021b; Sievers et al., 2019)

5. Agua a alta presión y Succión.

Una de las alternativas que se está usando para controlar el *Caligus rogercresseyi* en la industria del salmón es el tratamiento con agua a presión y succión. Lo que se realiza en este método, es aplicar agua de mar a baja presión directamente sobre los peces para soltar los parásitos, y luego, con un sistema de succión, se eliminan del agua antes de que puedan volver a pegarse. Por ejemplo, el sistema FLS Caligus ha mostrado ser muy efectivo, logrando sacar más del 95 % de los caligus en un solo paso, y con una mortalidad de peces muy baja, de menos del 0,1 % (Flatsetsund Engineering, 2023; Ravagnan et al., 2021). Entre sus ventajas, se encuentra que no usa químicos, lo que es bueno para el medio ambiente y también para evitar que los parásitos se hagan resistentes. Además, el proceso es rápido y se puede hacer directamente en el barco. Sin embargo, se necesita una inversión alta en el arriendo de una embarcación que posea el equipo, el personal tiene que estar bien capacitado, y si no se hace bien, puede causar

estrés en los peces (Subpesca & IFOP, 2021; Aaen et al., 2015).

6. Aceites naturales

Dentro de las estrategias no farmacológicas para el control de *Caligus*, específicamente *C. rogercresseyi*, se presentan dos alternativas utilizadas en Chile, las cuales se destacan por su composición natural y eficacia validada, esto son Lyptus Plus ® y Rosseus ®. Lyptus Plus ®, desarrollado por Sudvet Chile, es una solución a base de aceites esenciales que actúa interfiriendo con los mecanismos sensoriales del parásito, dificultando su adherencia al hospedador, su aplicación se realiza mediante baños en sistemas cerrados como wellboats, estanques o lonas, en concentraciones bajas (0,1– 0,125 ppm), esto sin generar efectos adversos en los peces tratados. Este producto ha sido validado bajo estándares internacionales de bienestar animal y se utiliza como coadyuvante dentro de estrategias integradas de manejo sanitario, destacando por su carácter natural, bajo impacto ambiental y facilidad de implementación. No obstante, al no ser un tratamiento curativo inmediato, su efectividad puede verse reducida frente a infestaciones severas si no se complementa con otras medidas (STIM Chile, 2022).

Por otra parte, Rosseus ®, desarrollado igualmente por Sudvet, se basa en extractos vegetales con propiedades antiparasitarias, pero se orienta principalmente a tratamientos directos por baño, mostrando resultados altamente eficaces en condiciones de campo. Estudios *in vivo* reportan reducciones superiores al 92 % en parásitos móviles inmediatamente después del tratamiento, y disminuciones cercanas al 90 % en hembras ovígeras y juveniles dentro de las 24 horas siguientes. Adicionalmente, se ha observado una mejora significativa en el bienestar de los peces, con niveles más bajos de cortisol y menos daño en piel y branquias, lo que facilita una recuperación postratamiento más rápida. Entre sus principales ventajas se encuentran su alta efectividad, origen natural y compatibilidad con un enfoque sostenible de control parasitario; sin embargo, requiere condiciones operativas precisas para su correcta aplicación, lo que puede representar una limitante en centros con menor infraestructura (Sudvet, 2024).

Además, se encontraron diversas patentes que han abordado el uso de aceites esenciales como alternativa no farmacológica para el tratamiento de la caligidosis en peces. La patente WO2011101367A1 propone una composición líquida basada en

aceites vegetales naturales, tales como eugenol, timol y carvacrol (derivados del clavo de olor, tomillo, canela y otras especies), que actúa sobre *Caligus* mediante exposición por inmersión o aplicación directa, provocando su parálisis y posterior desprendimiento en tiempos cortos. Por su parte, la patente WO2012001668A1 sugiere el uso de monoterpenos naturales (timol, carvacrol) administrados tanto por baño como por vía oral o inyección, destacando su capacidad antiparasitaria frente a géneros como *Lepeophtheirus* y *Caligus*. Todas estas tecnologías presentan ventajas relevantes, como su origen natural y su potencial integración en estrategias de manejo sostenible. No obstante, también presentan limitaciones, como la necesidad de estandarizar dosis seguras para peces, su posible toxicidad en altas concentraciones y la variabilidad de eficacia según la formulación específica y condiciones ambientales del cultivo (Dawood et al., 2021).

7. Peróxido de hidrogeno (H₂O₂)

Este método se utiliza con frecuencia en la salmonicultura como una de las maneras para poder combatir el parásito *Caligus rogercresseyi* sin tener que recurrir a fármacos. Este tratamiento funciona liberando burbujas de oxígeno dentro del parásito, lo que provoca que se suelte del pez, lo que hace que sea una opción menos invasiva, ya que no deja residuos duraderos ni afecta al medio ambiente (Bravo et al., 2010). Normalmente, se aplica en baños cortos, de unos 20 minutos, usando una concentración cercana a 1,5 gramos por litro. Para poder realizar estos baños, se usan estructuras cerradas como faldones que permiten mantener el producto alrededor de los peces y controlar mejor el tratamiento (Marín et al., 2018).

En condiciones de laboratorio se ha visto que este método puede ser muy efectivo: con concentraciones de 825 ppm, se ha logrado inmovilizar al 100 % de los parásitos. Sin embargo, en centros de cultivo los resultados no siempre son tan buenos. Por ejemplo, en el caso de los parásitos adultos, se han visto reducciones que van entre un 59 % y un 87 %, pero en estados más jóvenes, como los chalimus, la eficacia puede bajar incluso a un 57 % (Bravo et al., 2010; Marín et al., 2018). Otro punto importante es que muchos de

los parásitos logran recuperarse poco después del tratamiento y en menos de 10 minutos ya están otra vez en el pez (Marín et al., 2018).

Aun así, el uso de H₂O₂ tiene varias ventajas: no se necesita receta veterinaria, actúa rápido y no contamina ni al pez ni al agua de forma permanente (Farlora et al., 2018).

Pero también tiene sus desventajas, por ejemplo, si el agua está muy cálida, es decir, más de 14 °C, puede afectar la salud de los peces. Además, hay casos donde los parásitos han desarrollado resistencia al tratamiento, como ocurrió con *L. salmonis*, donde la eficacia bajó a solo un 7,5 % después de varias aplicaciones (Treasurer et al., 2000). Por eso, si bien el peróxido de hidrógeno puede ser una buena herramienta, lo ideal es usarlo como parte de un plan de manejo más amplio, donde se combinen distintas alternativas o métodos para controlar mejor esta parasitosis.

Péptidos antimicrobianos

Los péptidos antimicrobianos (AMPs) son pequeñas moléculas peptídicas, generalmente catiónicas y anfifílicas, que cumplen un rol clave en la defensa celular y molecular frente a diversos patógenos (Avci et al., 2018; Lee & Lee, 2015). Estos compuestos están asociados a múltiples funciones, destacando su actividad antimicrobiana de amplio espectro, lo cual implica propiedades antibacterianas, antivirales, antifúngicas y antiparasitarias. Asimismo, pueden presentar efectos inmunomoduladores y actividad citotóxica frente a células tumorales. En este contexto, el uso de AMPs ha emergido como una alternativa innovadora y prometedora para el control no farmacológico de *Caligus rogercresseyi*. Particularmente, el péptido hepcidina, derivado de salmónidos, ha mostrado afinidad por la quitina, el cual es un componente estructural clave del exoesqueleto del piojo de mar, lo que sugiere un potencial mecanismo de desactivación temprana del parásito mediante interacciones físicas y bioquímicas (Santana et al., 2024).

Según el estudio de Santana et al., (2024) explica que el tratamiento realizado *in vitro* se aplicó directamente sobre las larvas del parásito (estadios nauplio II y copépodo) con

distintas concentraciones del péptido, las cuales oscilaron entre 5 y 150 μM , evaluando la mortalidad larval a distintas horas post-exposición (24–144 h). Además, se emplearon técnicas de marcaje fluorescente y microscopía electrónica para observar la fijación de hepcidina sobre la cutícula y los daños ocasionados. Los resultados obtenidos demostraron que el tratamiento es altamente efectivo en los estadios más tempranos del parásito. A una concentración de 50 μM , la hepcidina redujo la viabilidad de los nauplios II en un 50 % tras 24 horas, mientras que concentraciones de 75 μM o más eliminaron casi completamente las larvas. En contraste, los copépodos requirieron concentraciones mayores (150 μM) para lograr una eficacia similar, lo que indica que la sensibilidad al tratamiento disminuye con el desarrollo larval.

Sin embargo, el uso de este péptido presenta ciertas desventajas. Primero, su eficacia disminuye ante larvas más desarrolladas, lo que sugiere una ventana de aplicación muy específica, segundo, la formulación y administración masiva de AMPs en ambientes acuáticos plantea desafíos técnicos y económicos considerables. Además, aunque la hepcidina fue seleccionada por su baja toxicidad, no se ha evaluado el impacto ambiental de su uso a gran escala ni el riesgo de generar mecanismos de resistencia en el parásito (Santana et al., 2024).

Electricidad directa

Se ha registrado solo una patente la cual describe un sistema diseñado para eliminar parásitos adheridos a los peces mediante la aplicación directa de electricidad, el cual provoca la remoción de los parásitos sin causar daño a los peces. El sistema está montado sobre una estructura de acero inoxidable que puede desplazarse fácilmente o fijarse en embarcaciones o estructuras flotantes. Su funcionamiento es a través de una zona de ingreso y desagüe donde se separan los peces del agua que los transporta, y una zona de aplicación donde los peces entran en contacto con electrodos que suministran descargas eléctricas de baja intensidad y tensión. Estas descargas, controladas y programadas por una unidad central, hacen que los parásitos se suelten de los peces. Además, el sistema incluye boquillas inyectoras que rocían agua para

ayudar a desprender y desplazar los parásitos hacia una tolva de retorno, donde un filtro captura los parásitos mientras deja pasar el agua. Esta agua es recirculada para continuar el proceso mediante una bomba que la impulsa hacia las boquillas. Finalmente, los peces desparasitados regresan a su medio a través de un ducto de salida (Alvarez Raúl, 2017). Este sistema presenta ventajas como la eliminación efectiva de parásitos sin dañar a los peces y el uso de una estructura móvil o fija adaptable a diferentes contextos productivos. No se menciona explícitamente la eficacia cuantitativa, pero se destaca su diseño para remover los parásitos de manera controlada. Entre las desventajas que pueden surgir antes este método, aunque no se detallan, puede ser la necesidad de manejo adecuado del equipo, el mantenimiento de los filtros para evitar acumulación excesiva de parásitos. (Alvarez Raúl, 2017) y potenciales efectos sobre el bienestar animal, los cuales no se encuentran descritos.

Pulsos electromagnéticos

En el contexto del control no farmacológico de *Caligus rogercresseyi*, se han desarrollado tecnologías que utilizan principios físicos, como el tratamiento mecánico y electromagnético, para reducir la carga parasitaria en peces cultivados. Dos propuestas que corresponden a patentes, las cuales abordan el problema desde enfoques distintos pero complementarios.

La patente desarrollada por Pulcea Ltd., describe un sistema que utiliza cavitación ultrasónica para desprender parásitos de la superficie de los peces. Este sistema se basa en generar ondas acústicas de alta intensidad en una cámara de tratamiento acuática, lo que provoca la formación y colapso de microburbujas, un proceso que genera fuerzas físicas capaces de desalojar ectoparásitos adheridos sin dañar al pez. Además, puede combinarse con otros tratamientos como chorros de agua y presión negativa para aumentar su eficacia. El diseño busca ser modular, adaptable a sistemas de flujo continuo, y evitar el uso de agentes químicos, lo que representa una ventaja en términos de sustentabilidad y bienestar animal. Sin embargo, la eficacia en peces infestados con *Caligus* no se detalla cuantitativamente, y la implementación técnica requiere calibración

cuidadosa para evitar daño tisular (Pulcea Ltd., 2017).

En Chile se desarrolló un sistema bastante innovador para tratar el *Caligus rogercresseyi*, basado en el uso de pulsos electromagnéticos de baja frecuencia. Esta tecnología, conocida como “Marmag”, fue diseñada por la empresa MARCO junto al ingeniero Robert Ziller y está protegida por una patente registrada por Ziller Vergara (2014). El sistema está pensado para funcionar tanto en centros de cultivo como en wellboats y plantas de proceso, y consiste en un equipo compacto que puede ser operado desde plataformas o embarcaciones menores. Su funcionamiento es relativamente simple: los peces son succionados a través de un flujo continuo de agua de mar y conducidos a cámaras especiales donde se aplican pulsos magnéticos a frecuencias e intensidades específicas. Estos pulsos actúan directamente sobre los parásitos adheridos al pez, provocando su desprendimiento sin causar daño visible al animal. Según pruebas preliminares, el sistema logró reducir en promedio un 59 % la carga de piojos. Además, incorpora un sistema de filtración y recirculación del agua, lo que ayuda a mejorar la eficiencia del tratamiento y a proteger el entorno marino (Grupo Marco S.p.A., 2015). Las pruebas realizadas en conjunto con centros como Fundación Chile y el Centro de Investigación Metri de la Universidad de Los Lagos muestran una eficacia de eliminación del cáligus que oscila entre un 80% y 90%. Además, los ensayos no reportaron mortalidad ni alteraciones conductuales en los peces postratamiento. Tampoco se observaron lesiones internas o externas ni efectos negativos en la musculatura o apetito, el cual se recuperó dentro de las 36 horas posteriores. Dentro de las ventajas destaca el hecho de no requerir el uso de químicos ni estructuras como lonas o baños cerrados, reduce el estrés en los peces y permite el uso de equipos de trabajo más reducidos, con menores costos operativos. Estos atributos lo posicionan como una terapia complementaria efectiva y ambientalmente inocua.

Acústico o ultrasonido

En una de las investigaciones identificadas en la literatura, Imsland et al. (2025) discute sobre el tratamiento acústico AcuLice, el cual se presenta como una alternativa favorable

frente a métodos tradicionales de control de piojos en la salmonicultura. Su funcionamiento se basa principalmente en la emisión continua de sonidos de baja frecuencia desde un sistema sumergido, lo que altera el comportamiento de los parásitos como *Lepeophtheirus salmonis* y *Caligus elongatus*, impidiendo su fijación efectiva en los peces. Según el estudio de Solé, Constenla, et al. (2021), expusieron al salmón del Atlántico a repetitivos tonos de acústica de 350hz y 500hz en periodos de tres o cuatros horas, alcanzando finalmente niveles de presión sonora de 140 a 150 db recibida por los peces. La patología microscópica y las pruebas histopatológicas que se realizaron a los órganos de estos salmones no revelaron ninguna lesión que se pueda asociar al sonido aplicado, además según otra investigación realizada por Solé, Lenoir, et al. (2021) se identificó que *L. salmonis* es sensible a bajas frecuencias de sonido, destacando que el sistema nervioso central y las células A/B en las etapas de copepodito y chalimus de *L. salmonis* se vieron afectados por el sonido aplicado, lo que se tradujo en una reducción de la capacidad que tienen los piojos de mar para poder infestar a su huésped.

Esta tecnología, Acualice, ha demostrado una reducción significativa de la infestación, alcanzando disminuciones cercanas al 38 %, es decir un 62% de eficacia en los estadios de chalimus y pre- adultos, 45 % en hembras maduras y 75 % en *Caligus elongatus*, además de reducir en un 65 % el uso de tratamientos tradicionales y retrasar el inicio de la primera intervención. Desde la perspectiva ambiental, este método implica una menor exposición del medio marino a productos químicos y una disminución en los episodios de estrés y mortalidad que están asociados a los tratamientos físicos. Según los estudios previos de Hjelle et al. (2022) evidenciaron que, si bien existe un leve aumento de los niveles de glucosa en los salmones expuestos a tratamiento acústico, esto no representa un riesgo clínico ni una alteración significativamente peligrosa para su bienestar fisiológico. No obstante, el artículo de (Imsland et al., 2025) no se aborda los posibles efectos del paisaje acústico sobre especies no objetivo, lo que representa una limitación considerando la sensibilidad de algunas especies marinas al sonido. Adicionalmente, tratamiento requiere equipamiento especializado, sensores, conectividad a internet y consumo eléctrico continuo, lo cual puede no ser muy económicamente viable, además podría incrementar la huella de carbono, dependiendo de la fuente energética empleada.

Por tanto, aunque AcuLice se posiciona como una innovación prometedora y menos invasiva, pero se requiere mayor investigación para poder evaluar sus posibles efectos sobre el ecosistema marino circundante y su viabilidad ambiental a largo plazo.

Por otro lado, la patente US11700839B2 (Iversen, 2023) propone una solución distinta basada en la emisión de pulsos electromagnéticos de alta intensidad, que actúan sobre los ectoparásitos adheridos al salmón, debilitando su adherencia a través de pulsos dirigidos mediante antenas o reflectores. Sin embargo, esta tecnología aún no proporciona datos cuantitativos de eficacia comparables a los métodos ultrasónicos, y requiere pruebas operativas a gran escala.

4.3 Realizar un catastro sobre estrategias preventivas que ayuden a la reducción de infestaciones

4.3.1 Nanoburbujas

Las nanoburbujas son diminutas burbujas de gas presentes en líquidos, con un tamaño inferior a 1 micrómetro (Atkinson et al., 2019; Favvas et al., 2021). Son mucho más pequeñas que las macro burbujas, que varían entre 100 y 2000 μm , y que las microburbujas, cuyo rango de tamaño va de 1 a 100 μm (Azevedo et al., 2019). Lo que hace que estas permanezcan en el agua se debe al movimiento browniano, lo que les permite flotar en suspensión durante largos periodos, que pueden extenderse desde varios días hasta incluso meses (Agarwal et al., 2011; Tsuge, 2014). Esta propiedad contribuye a una liberación más efectiva del gas contenido.

En Chile, se emplea un sistema desarrollado por la empresa Moleaer Chile, el cual produce nanoburbujas de oxígeno con un diámetro inferior a 0,4 micrones. Estas se inyectan al agua en forma gaseosa bajo alta presión, permitiendo su dispersión uniforme dentro de las jaulas de cultivo. Una vez en el medio acuático, las nanoburbujas disminuyen aún más su tamaño, lo que eleva la presión parcial de oxígeno hasta que colapsan. Este colapso genera liberación de energía en forma de calor localizado y ondas de presión

que afectan directamente a organismos cercanos, como *Caligus rogercresseyi*. Además, según el gerente de desarrollo de la compañía, estudios realizados por Svendsen y colaboradores en 2017 evidencian que este tratamiento es letal para las fases planctónicas del parásito. También se ha sugerido que, al integrarse con técnicas convencionales de desinfección, podría contribuir a reducir la liberación de patógenos desde los *wellboats* (Salmonexpert, s.f., citado en Svendsen et al., 2017).

4.3.2 Cavitación ultrasónica

En otro estudio, se utiliza la cavitación ultrasónica, propuesta como una alternativa tecnológica emergente para el control de piojos de mar, especialmente de las etapas planctónicas del parásito *L. salmonis* (Svendsen et al., 2018). Esta técnica consiste en la aplicación de ondas ultrasónicas de alta frecuencia al agua, lo que genera microburbujas que colapsan violentamente, lo cual libera suficiente energía para destruir organismos microscópicos. Los resultados experimentales de este estudio han demostrado una gran eficacia: tras solo 5 segundos de exposición, la supervivencia de nauplio II se reduce en un 62 % y la de copepoditos en un 33 %; mientras que exposiciones de 20 segundos en nauplio II y 60 segundos en copepoditos logran una eliminación total (100 %). Sin embargo, este método solo actúa sobre formas libres del parásito, por lo que no tendrá efectos sobre los ejemplares ya adheridos al hospedador, lo que limita su uso como tratamiento único. Además, la cavitación ultrasónica, en los ecosistemas acuáticos, afecta también a otros microorganismos presentes, incluyendo bacterias y microalgas, reduciéndolos entre un 70 % y un 95 %, lo cual podría alterar la microbiota natural, por otro lado, al ser una tecnología requiere equipamiento especializado y consumo energético elevado, se debe considerar su viabilidad operativa en contextos extensivos o de mar abierto (Svendsen et al., 2018).

Además, se encontraron varias patentes que hacen referencia de la cavitación ultrasónica, la patente US20170094950A1 (Tveitnes, 2017) describe un sistema de cavitación ultrasónica aplicado al agua mediante transductores de alta frecuencia (> 20 kHz), capaz de eliminar con alta eficacia las etapas planctónicas del parásito,

reportando mortalidades superiores al 99.999 % en menos de 10 segundos, sin generar daños en los peces, esta se implementa en sistemas de recirculación o conductos cerrados, donde los peces pueden ser guiados a través de zonas de exposición controlada, maximizando la eficacia del tratamiento sin efectos fisiológicos adversos (US20170094950A1). En una línea similar, la patente US9072281B2 (Tveitnes & Bjelland, 2015) perfecciona este método con la incorporación de cámaras y zonas de cavitación múltiples para asegurar una eliminación sistemática de copepoditos y nauplios, también sin el uso de productos químicos y validado en entornos semicontrolados.

4.3.3 Bivalvos filtradores

El cultivo suspendido de mejillones podría funcionar como una barrera biológica natural frente a *Caligus rogercresseyi*, contribuyendo a reducir su concentración en el entorno acuático. Esto debido a la capacidad filtradora de los mejillones, quienes pueden capturar e ingerir las larvas del parásito presentes en las proximidades de los centros de cultivo de salmón, disminuyendo así su efecto sobre los peces en cultivo (Bartsch et al., 2013; Molloy et al., 2011). La efectividad de esta estrategia dependería en parte de la capacidad de desplazamiento de las diferentes etapas larvales del piojo de mar como los nauplios y copépodos, así como del tamaño de los mejillones, dado que este factor influye directamente en su eficiencia de filtración.

El estudio de (Montory et al., 2020) evaluó la capacidad del mejillón *Mytilus chilensis* como un agente filtrador natural para remover larvas del parásito *Caligus rogercresseyi* en diferentes estadios desde el agua de mar. Para el estudio se utilizaron individuos silvestres de mejillón los cuales se clasificaron en tres tamaños (3,1; 5,2; y 7,2 cm) para determinar su eficacia en la remoción de larvas en dos estadios: nauplio II y copépodo.

Para ello, se llevaron a cabo bioensayos en acuarios individuales, se introdujeron 50 larvas por unidad experimental y estimulando la actividad de filtrado con *Isochrysis galbana* (30.000 células/ml). Pasada 3 horas de exposición, se cuantificaron las larvas retenidas en pseudoheces y las que permanecieron en el agua, permitiendo calcular la

proporción filtrada e ingerida.

Los resultados mostraron que no hubo diferencias en la filtración ni en la presencia de nauplius II entre los diferentes tamaños de mejillones (3,5 y 7 cm), ya que la ingestión fue alta e igual entre todos los tamaños (~82%); sin embargo, se observaron diferencias significativas en el estado de los copepoditos, siendo los mejillones de mayor tamaño (7cm) los más eficaces para reducir su presencia en la columna de agua y exhibiendo una mayor ingestión (81,2%) en comparación con los más pequeños (54,2%). Además, en cuanto al contenido de larvas en pseudoheces, no se observaron variaciones, Con respecto a las larvas, los copepoditos mostraron una mayor velocidad de nado (6,95 mm/s) y menor tiempo de reposo entre nados, comparado con los nauplios II (2,08 mm/s), lo que presenta una mayor capacidad de evasión por parte de las larvas más desarrolladas.

4.3.4 Vacunas

Se registraron varios estudios, de los cuales, la investigación de Casuso et al. (2022) evalúa una vacuna experimental contra el piojo de mar, específicamente, *Caligus rogercresseyi*. Esta vacuna se orienta en prevenir infestaciones en etapas tempranas en salmones del Atlántico (*Salmo salar*). La vacuna, está compuesta por proteínas recombinantes como la peritrofina, catepsina y transportadores de nutrientes, esta fue administrada mediante una única inyección intraperitoneal en condiciones controladas, la cual registró una reducción del 52% en la carga parasitaria total respecto al grupo control. Esta eficacia también reflejó una menor adherencia de copepoditos y una mayor expresión de genes inmunológicos como IL-8, TNF- α y MHC-II. Si bien no se reportaron efectos adversos que sean significativos, el procedimiento de vacunación puede implicar estrés o inflamación en los peces, y su aplicación aún no ha sido probada en condiciones reales de cultivo. A diferencia de tratamientos químicos, esta alternativa no representa un riesgo directo para el medio ambiente, aunque su uso a largo plazo podría generar efectos indirectos, como presión selectiva sobre el parásito (Casuso et al., 2022).

Según el trabajo de Azócar Muñoz (2025), se presenta una evaluación de vacunas antimicrobiota administradas por vía oral (1 % y 2 % de bacterias aisladas del microbioma de *Caligus rogercresseyi* con adyuvante Montanide GR01) e inmersión (con adyuvante Montanide 1312 VG) en salmones del Atlántico para controlar la infestación por este piojo de mar. La formulación oral al 1 % (GR1) produjo la reducción parasitaria en hembras en un 59,3 % y en machos en un 34,2 %, mientras que la fórmula al 2 % (GR2) mostró ser menos eficaz, probablemente por desequilibrios en el microbiota del hospedador. Si bien, ambos métodos inducen una activación significativa de genes del sistema inmune (innato, adaptativo, estrés oxidativo e implicados en la homeostasis del hierro) en piel y riñón, en particular GR1 fue el único que también provocó inmunosupresión en genes del parásito, sugiriendo un mecanismo dual de acción. En cuanto a las desventajas, la inmersión y el uso de adyuvantes pueden generar estrés o alteraciones microbiológicas, y si bien la vacunación oral es menos invasiva, la mayor concentración puede refrendar efectos adversos en el equilibrio intestinal. Además, los ensayos se realizaron en condiciones controladas y aún se requieren estudios en condiciones reales de cultivo para validar su aplicabilidad, eficacia a largo plazo y seguridad ambiental.

Otro desarrollo chileno en la vacuna IPath®, la cual fue diseñada por el Centro INCAR de la Universidad de Concepción, esta es una formulación basada en una proteína quimérica recombinante con actividad quelante de hierro, diseñada para controlar el piojo de mar *Caligus rogercresseyi* en salmón del Atlántico (*Salmo salar*). En los ensayos experimentales, se registró que los peces vacunados mostraron una reducción del 96 % en la carga parasitaria, con una media de 17 piojos frente a 407 en el grupo control, y además se observó un retraso en las curvas de mortalidad tras infecciones secundarias con *Aeromonas salmonicida* y *Piscirickettsia salmonis*. Adicionalmente, los piojos recuperados de salmones vacunados exhibieron alteraciones en los sacos ovígeros y en la expresión de genes reproductivos como vitelogenina, lo que sugiere un impacto en la reproducción del parásito y un posible efecto de reducción de larvas futuras. Si bien aún se encuentra en fase experimental, su potencial es prometedor; el siguiente paso es validar estos resultados en condiciones de cultivo reales y lograr el interés de la industria para su producción a escala comercial (Vera, 2023).

4.3.5 Dietas funcionales

Según Bui & Secombes, (2023) analiza el uso de dietas funcionales como una herramienta preventiva y complementaria frente a la infestación de *Caligus rogercresseyi* en salmones. Este método consiste en formular alimentos que incluyen compuestos bioactivos como glucosinolatos (derivados de *Brassica* spp.), betaglucanos, aceites esenciales y otros ingredientes inmunoestimulantes, con el fin de mejorar la salud de la piel, la respuesta inmune y la resistencia general del pez. En estudios de campo, se ha observado que ciertas dietas funcionales logran una reducción promedio de un 25–30 % en la carga de piojos, además de efectos positivos en indicadores de bienestar como menor estrés oxidativo y mejores tasas de recuperación postratamiento. Las principales ventajas incluyen su compatibilidad con estrategias de producción sostenible, la reducción del uso de antiparasitarios químicos y el refuerzo del sistema inmune. Como desventajas, el texto señala que los resultados pueden variar según la formulación exacta, duración de uso, y condiciones del centro de cultivo, además de que estos productos suelen tener un costo más elevado comparado con las dietas convencionales (CABI, 2023).

El artículo de Kaur et al. (2024) investiga el efecto del uso de harina de kril como ingrediente funcional en dietas de salmón del Atlántico para fortalecer la salud mucosal y reducir la infestación por *L. salmonis* (piojo del Salmon). El método consistió en alimentar a los peces con dietas enriquecidas con diferentes concentraciones de harina de kril durante 67 días, evaluando la expresión génica, la composición del moco cutáneo y la carga parasitaria tras una infestación experimental. Los resultados mostraron que la dieta con 12 % de inclusión de kril logró una reducción significativa de hasta un 30 % en la infestación de piojos, lo que corresponde a una eficacia del 70% en la disminución de la carga parasitaria, además de incrementar la expresión de genes involucrados en la inmunidad mucosal, como lectinas y péptidos antimicrobianos, y mejorar la calidad del moco epidérmico. Entre las ventajas de este enfoque destacan su capacidad de actuar como barrera física y química frente al parásito, su rol inmunoestimulante, y su aporte nutritivo de ácidos grasos omega-3 y astaxantina. Como desventajas, el estudio menciona la variabilidad individual en la respuesta (debido a la variación en la alimentación entre individuos) el costo más elevado del kril comparado con otros

ingredientes, y la necesidad de mantener esquemas nutricionales balanceados para evitar efectos adversos a largo plazo (Kaur et al., 2024).

Selección genética

Dentro de las estrategias de mejoramiento genético para el control del *Caligus rogercresseyi* y otros ectoparásitos en la salmonicultura, diversos estudios han demostrado la utilidad de la información genómica para aumentar la eficacia de los programas de selección. Cáceres et al. (2021) realizaron un análisis genómico comparativo a gran escala entre salmón Atlántico (*Salmo salar*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), identificando regiones del genoma asociadas a la resistencia frente a *C. rogercresseyi*. A través de infestaciones experimentales y análisis con paneles de alta densidad de SNPs (50–57K), se detectaron múltiples loci con efecto significativo, explicando hasta un 3 % de la variación genética en salmón y un 2,7 % en trucha. Aunque cada QTL tiene un efecto moderado, el carácter es claramente poligénico, con genes relacionados a la respuesta inmune, remodelación celular y señalización, y una heredabilidad estimada de 0,19 para salmón y 0,08 para trucha. Estas evidencias permiten avanzar hacia una selección genómica más precisa, elevando en más de un 20 % la exactitud de los valores genéticos respecto a métodos tradicionales, y posibilitando la selección de individuos resistentes sin pruebas fenotípicas invasivas, lo que reduce la dependencia de tratamientos farmacológicos. No obstante, su implementación requiere grandes volúmenes de datos, costos elevados y presenta dificultades de extrapolación a contextos comerciales variables (Cáceres et al., 2021).

En la misma línea, Onabanjo et al. (2024) utilizaron datos de secuenciación completa del genoma imputados desde paneles SNP de 50 k para estudiar la resistencia del salmón Atlántico a *Lepeophtheirus salmonis*. En un experimento con 3.185 smolts de 191 familias, se estimó una heredabilidad moderada ($h^2 \approx 0,21-0,22$), y se alcanzaron precisiones de predicción genómica de hasta 0,65 con datos de panel y 0,64 con secuenciación. Aunque no se detectaron loci con efectos fuertes, los resultados confirman una arquitectura genética poligénica del rasgo. Además, se demostró que

paneles de densidad moderada resultan tan efectivos como la secuenciación completa para predicciones dentro de familias, sugiriendo su uso como una opción costo-efectiva para programas de cría con estructura familiar amplia (Onabanjo et al., 2024).

De forma complementaria, Correa et al. (2017) evidenciaron que el uso de información genómica mejora significativamente la precisión en la predicción de valores de cría (EBV) para la resistencia a *C. rogercresseyi*. En su estudio con 2 404 individuos de 118 familias, genotipados con un array de 37 000 SNPs, se compararon distintos métodos de predicción genómica (G-BLUP, Bayes C y Bayesian Lasso) frente al modelo tradicional P-BLUP, observándose mejoras de hasta un 22 % en la precisión, alcanzando valores entre 0,45 y 0,50. Además, se concluyó que paneles con alrededor de 10 000 SNPs son suficientes para lograr resultados óptimos, lo que representa una alternativa eficiente en términos de costo y factibilidad para los programas de mejoramiento genético. En particular, el método G-BLUP destacó por su equilibrio entre exactitud, eficiencia computacional y facilidad de implementación (Correa et al., 2017).

Faldas protectoras o Skirts

Durante la última década, las llamadas “faldas protectoras” o *lice-shielding skirts* se han convertido en una de las principales estrategias preventivas no farmacológicas para enfrentar el problema de estas parasitosis en la salmonicultura. Estas estructuras funcionan como barreras físicas que se instalan alrededor de las jaulas de cultivo, sumergidas bajo la superficie del agua, con el fin de bloquear el ingreso de larvas infectivas. Corresponden a mallas de un tamaño de poro inferior al tamaño de los parásitos en estado planctónico, lo que evita que los parásitos ingresen dentro de la jaula. La evidencia científica ha mostrado que su uso puede reducir significativamente los niveles de infestación, con eficacias que varían entre un 33 % y un 90 %, dependiendo de factores como la profundidad de la falda, las corrientes marinas y las características del sitio de cultivo. Sin embargo, no están exentas de desafíos: al limitar el intercambio de agua con el entorno, pueden generar una menor oxigenación y acumulación de residuos dentro de las jaulas, lo que podría afectar la salud de los peces si no se controla

adecuadamente. A pesar de estas dificultades, su contribución al control del piojo de mar sin necesidad de fármacos las posiciona como una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Jónsdóttir et al., 2023).

En Chile se ha implementado el uso de Skirt de la empresa Garware, la cual es utilizada por ocho centros de producción hasta la actualidad, como una parte de una estrategia sanitaria integral para controlar las infestaciones de *C. rogercresseyi*. Este método consiste en instalaciones de faldones tridimensionales microtexturizados, con aberturas de 60 a 100 micras en Chile (y de 80 a 150 micras en Noruega), especialmente diseñados para adaptarse a las condiciones locales y limitar la entrada de copepoditos infestantes. Su uso reduce la necesidad de baños químicos, lo que aporta beneficios económicos y sanitarios, a la vez que ayuda a frenar la aparición de resistencia a los tratamientos farmacológicos. Entre los resultados esperados se encuentra una reducción del número de piojos, una menor mortalidad, menores costos operativos y mejoras en la salud animal y ambiental. En cuanto a su eficacia, se espera que se demuestre en un plazo de seis meses a un año de funcionamiento. Entre las posibles desventajas encontramos el costo inicial de implementación, aunque su vida útil es de hasta dos ciclos de producción. Además, aunque el Skirt X12 se utiliza sin necesidad de inyección adicional de oxígeno, siempre existe el riesgo de flujo de agua, y con ellos, afectar la calidad del ambiente dentro de las jaulas, si no se maneja adecuadamente (Infosalmon, 2024).

Jaula "snorkel"

Una alternativa innovadora para el control no farmacológico del piojo de mar en la salmonicultura es la tecnología de jaulas snorkel. Este método consiste en modificar las jaulas tradicionales mediante la instalación de una estructura de techo impermeable a las larvas de parásitos y un tubo vertical (el "snorkel") que permite a los salmones acceder a la superficie únicamente para llenar su vejiga natatoria. Esta configuración obliga a los peces a habitar en aguas más profundas, donde la presencia de larvas infectivas es mucho menor. En condiciones comerciales, el uso del snorkel ha demostrado ser eficaz, logrando reducir las nuevas infestaciones de *Lepeophtheirus salmonis* en un promedio

del 84 %, y hasta un 100 % en ciertos períodos, en comparación con las jaulas estándar. Además, la incorporación de agua dulce en la parte superior del snorkel mostró ser una medida efectiva para reducir o controlar brotes de amebiasis branquial (AGD), evitando tratamientos químicos adicionales. Sin embargo, esta tecnología también presenta desafíos importantes: puede generar zonas de bajo oxígeno dentro del snorkel, requiere manejo técnico riguroso, y puede aumentar la intensidad laboral en tratamientos de baño, ya que demanda desinstalar y reinstalar las estructuras. Aun así, los parámetros de bienestar animal no mostraron afectación negativa y, en algunos casos, incluso mejoraron respecto a las jaulas convencionales. En conjunto, esta evidencia sugiere que el snorkel representa una opción prometedora para el control integrado de parásitos en la salmonicultura, especialmente cuando se combina con otras medidas como peces limpiadores o capas superficiales de baja salinidad (Geitung et al., 2019).

Manipulación de nado

Una forma efectiva de prevenir la infestación por piojos de mar, sin recurrir a barreras físicas, es modificar el comportamiento de los salmones para que naden a mayor profundidad, evitando así las zonas donde estos parásitos son más abundantes. Este objetivo se logra incentivando el nado profundo mediante técnicas como alimentar a los peces en capas inferiores del agua o utilizar iluminación artificial sumergida, lo que los anima a mantenerse alejados de la superficie. También se ha observado que, al disminuir la frecuencia o cambiar los horarios de la alimentación superficial, los peces tienden a pasar menos tiempo en las zonas altas de la jaula. Otra estrategia consiste en sumergir completamente las jaulas a profundidades específicas, lo que ha demostrado ser eficaz para reducir los niveles de infestación. Sin embargo, mantener a los peces sumergidos por largos periodos puede afectar su bienestar, especialmente por la pérdida de flotabilidad que sufren al no poder rellenar su vejiga natatoria. Para contrarrestar este efecto, se recomienda permitirle acceso ocasional a la superficie o instalar cúpulas con aire dentro de las jaulas, lo que ayuda a mantener su equilibrio natural. En conjunto, esta técnica representa una alternativa útil y con bajo impacto ambiental para reducir el contacto entre los salmones y los piojos de mar, siendo especialmente valiosa cuando se

combina con otras medidas preventivas (Barrett et al., 2020).

Comparar los diferentes tratamientos no farmacológicos y estrategias preventivas, en términos de eficacia, bienestar animal e impactos medioambientales.

De acuerdo con la literatura revisada (Tabla 2), se destacan los tratamientos térmicos (Thermolizer, Optilicer, agua fría/hiposalina), los sistemas mecánicos (aspiración y chorro de agua) y la cavitación ultrasónica, todos con eficiencias superiores al 90% en algunos contextos, aunque con diferencias significativas en cuanto a los riesgos asociados. Por otro lado, herramientas como el láser y el uso de peces limpiadores ofrecen resultados más limitados o muy variables: en el primer caso, debido a su baja eficacia aislada, y en el segundo, debido a los riesgos significativos para la salud animal y la sostenibilidad a lo largo del tiempo. Esta comparación muestra que, aunque se están desarrollando varias alternativas, estas ofrecen claras ventajas en términos de eficiencia y seguridad operativa.

Tabla 2. Resumen comparativo de herramientas de control no farmacológico identificados en la literatura.

Herramienta no farmacológica	Tipo de intervención	Eficacia	Impacto en bienestar animal	Impacto ambiental	Observaciones / Referencias
Peces limpiadores	Biológica (mutualismo)	15–97 % (según especie, condiciones y proporción)	Riesgo alto: mortalidad, lesiones, escapes, competencia alimentaria	Potencial riesgo ecológico por escapes	Kaland et al., 2023; Imsland et al., 2015; Sánchez et al., 2018; Småge et al., 2016; Engebretsen et al., 2023; Brooker et al., 2018.

Tratamiento térmico	Física (agua caliente o fría)	75–100 % (caliente); ≥75 % (fría)	Negativo: lesiones oculares, pérdida de escamas, mortalidad alta	Bajo (no químicos)	Bjørn Roth, 2016; Grøntvedt et al., 2015; Bui et al., 2022; Nilsson et al., 2019; Moltumyr et al., 2022; Overton et al., 2019.
Láser	Física (pulsos ópticos)	Baja (sin diferencia significativa en campo)	Sin efectos adversos significativos reportados	Bajo (sin químicos)	Bui et al., 2020.
Agua hiposalina	Osmótica	90–100 % en adultos; variable en larvas	Positivo si se aplica con cuidado, pero estrés posible	Bajo (requiere agua dulce o hiposalina)	Sievers et al., 2019; Mc Dermott et al., 2021; Borchel et al., 2023; Thompson et al., 2023.
Agua a presión + succión	Física (mecánica)	>95 %	Bajo si bien aplicado; posible estrés	Bajo	Flatsetsund Engineering, 2023; Ravagnan et al., 2021; Subpesca & IFOP, 2021.
Aceites naturales	Bioquímica (baños con aceites)	90–92 % (Rosseus®); variable (Lyptus Plus®)	Positivo: validado en bienestar, menor estrés	Bajo	STIM Chile, 2022; Sudvet, 2024; Dawood et al., 2021.

Peróxido de hidrógeno	Química (baños oxidativos)	59–87 % (adultos); <60 % (jóvenes)	Bajo-moderado ; cuidado con temperatura y oxígeno	Bajo, no deja residuos	Bravo et al., 2010; Marín et al., 2018; Farlora et al., 2018; Treasurer et al., 2000.
Péptidos antimicrobianos	Bioquímica (inmunológica)	Alta (larvas tempranas); baja en copepoditos	En evaluación; sin efectos tóxicos descritos	Aún no evaluado en gran escala	Santana et al., 2024; Lee & Lee, 2015; Avci et al., 2018.
Electricidad directa	Física (descargas controladas)	No cuantificada ; diseñada para remoción eficiente	Posible impacto no estudiado	Bajo (no químicos)	Alvarez Raúl, 2017.
Pulsos electromagnéticos	Física (pulsos EM y ultrasónica)	59–90 % (Marmag); variable en cavitación ultrasónica	Bajo; sin lesiones ni cambios observados	Bajo	Pulcea Ltd., 2016; Ziller Vergara, 2014.
Acústico / Ultrasonido	Física (sonido de baja frecuencia)	38–75 % (según estadio y especie)	Positivo: menor estrés y sin daño tisular	Bajo, posible efecto en fauna no objetivo	Imsland et al., 2025; Solé et al., 2021; Hjelle et al., 2022.

La tabla 3 resumen y compara las diversas herramientas no farmacológicas enfocadas en el ámbito preventivo que se han utilizado para controlar la infestación de *Caligus rogercresseyi* que se encontraron en la literatura. Estos métodos incluyen métodos físicos, biológicos, nutricionales, inmunológicos y genéticos, destacando su potencial para reducir la dependencia de tratamientos farmacológicos y contribuir a una gestión más sustentable. Entre ellos se encuentran innovaciones como las nanoburbujas y la cavitación ultrasónica, que actúan principalmente sobre las fases planctónicas del parásito y han demostrado una gran eficacia, con tasas de eliminación cercanas al 100% en condiciones controladas. También cabe destacar las vacunas (en particular, IPath®), que han logrado una reducción de parásitos de hasta el 96 %, y las jaulas snorkel capaces de reducir las infestaciones entre un 84 % y un 100 %, y que constituyen herramientas de gran eficacia. Por otro lado, se presentan métodos de prevención y cuidado animal, como el uso de dietas funcionales (reducción del 25-70 %), la manipulación de los hábitos natatorios y las faldas protectoras (33-90 %), que ayudan a reducir la exposición a larvas invasoras. Finalmente, los métodos biológicos (bivalvos filtrantes) y los métodos genéticos (selección genómica) se complementan, contribuyendo a un control más completo y sostenible

Tabla 3. Resumen comparativo de herramientas de prevención no farmacológicas identificadas en la literatura.

Herramienta no farmacológica	Tipo de intervención	Eficacia	Impacto en bienestar animal	Impacto ambiental	Observación/Referencias
Nanoburbujas	Física (oxidación localizada)	Alta en fases planctónicas	Bajo; no se reportan efectos adversos directos	Bajo	Atkinson et al., 2019; Favvas et al., 2021; Agarwal et al., 2011; Tsuge, 2014; Salmonexpert (Svendsen et al., 2017).
Cavitación	Física (ondas	100% en	Bajo; no	Moderad	Svendsen

ultrasónica	ultrasónicas)	planctónicos (exposición prolongada)	afecta peces directamente	o; afecta microbiovta acuática	et al., 2018; Tveitnes, 2017; Tveitnes & Bjelland, 2015.
Bivalvos filtradores	Biológica (filtración natural)	~82% nauplios; 54–81% copepoditos	Positivo; no afecta peces	Bajo	Bartsch et al., 2013; Molloy et al., 2011; Montory et al., 2020.
Vacunas	Inmunológica (proteínas recombinantes/oral/inmersión)	52–96% (según tipo y protocolo)	Positivo; posible estrés por inyección	Bajo; sin químicos	Casuso et al., 2022; Azócar Muñoz, 2025; Correa et al., 2017.
Dietas funcionales	Nutricional (inmunoestimulantes)	25–70% (según formulación)	Positivo: mejora salud general	Bajo	Secombes & Bui, 2023; CABI, 2023; Kaur et al., 2024.
Selección genética	Genética (resistencia mejorada)	Hasta 20% mejora en precisión; carácter poligénico	Positivo; reduce intervenciones	Bajo	Cáceres et al., 2021; Onabanjo et al., 2024; Correa et al., 2017.
Faldas protectoras (Skirts)	Física (barrera física)	33–90%	Positivo si bien manejado	Bajo-moderado; puede afectar oxigenación	Jónsdóttir et al., 2023; Infosalmon, 2024.
Jaula snorkel	Física (modificación hábitat)	84–100%	Positivo; bienestar generalmente mejorado	Bajo	Geitung et al., 2019.
Manipulación de nado	Comportamental	Alta eficacia (reducción)	Positivo; requiere manejo	Bajo	Barrett et al., 2020.

		n significati va)	cuidadoso		
--	--	-------------------------	-----------	--	--

4.4 Recopilar información desde la industria con respecto a los tratamientos no farmacológicos y de prevención.

De la encuesta realizada, se puede mencionar que 14 representantes de 10 empresas respondieron la encuesta enviada, lo que equivale al 70% de los 20 representantes invitados a participar de la encuesta. A continuación, se presenta un resumen de las respuestas obtenidas.

4.4.1 “Herramientas de control no farmacológicas”

1. *¿Cuáles son los principales tratamientos farmacológicos que utilizan actualmente para el control de Caligidosis?*

En la figura 3, se observa el promedio de uso de distintos tratamientos farmacológicos utilizados para el control de *Caligus rogercresseyi*. Destacan el azametifós y el benzoato de emamectina como los más utilizados en la industria (12 de 14 respuestas). En contraste, el uso de deltametrina es considerablemente bajo, alcanzando solo un 7%. Por otro lado, el lufenuron, el hexaflumuron y el peróxido de hidrógeno presentan una utilización moderada, con promedios de 21%, 21% y 36%, respectivamente. Esta distribución sugiere que, a pesar de la disponibilidad de diversos tratamientos, el uso se concentra en unos pocos principios activos, lo que podría tener implicancias relevantes en términos de eficacia a largo plazo y riesgo de desarrollo de resistencia por parte del parásito.

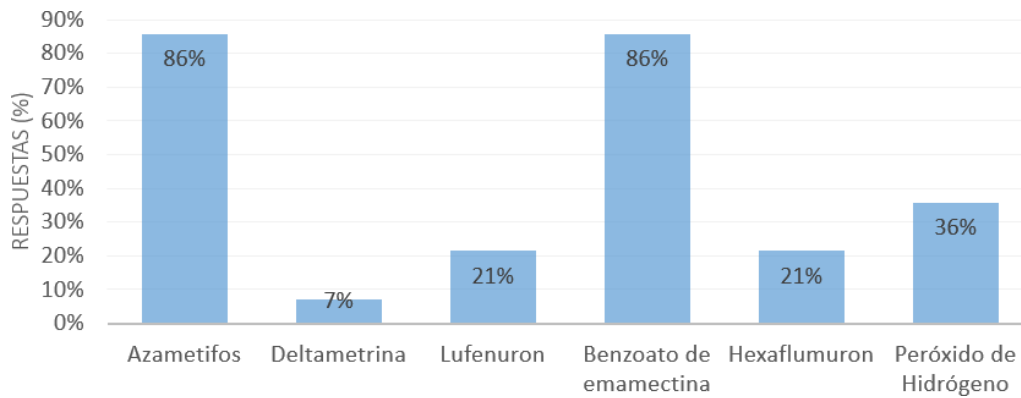


Figura 3. Respuestas (%) respecto del uso de fármacos antiparasitarios de la industria.

2. En general ¿Cuántas veces se aplican herramientas farmacológicas en un ciclo productivo?

En la figura 4, se puede ver cómo se distribuye el número de tratamientos aplicados contra *Caligus rogercresseyi* a lo largo de un ciclo productivo en centros de cultivo de salmón. Los datos muestran que la mayoría de los centros aplica entre 3 a 4 y 7 a 8 tratamientos por ciclo, ambas categorías con un promedio cercano al 35%. Luego vienen los centros que realizan entre 5 a 6 tratamientos, con un 22%. En cambio, solo un pequeño grupo, alrededor del 6%, reporta hacer más de 8 intervenciones, y no se registraron casos en los que se hicieran solo 1 o 2 tratamientos.

Esta distribución deja en evidencia que controlar al piojo de mar sigue siendo un desafío importante, que requiere muchas intervenciones a lo largo del ciclo. Por lo mismo, resulta fundamental avanzar hacia estrategias más integradas y sostenibles, que ayuden a reducir la cantidad de tratamientos necesarios y, con ello, minimizar sus impactos.

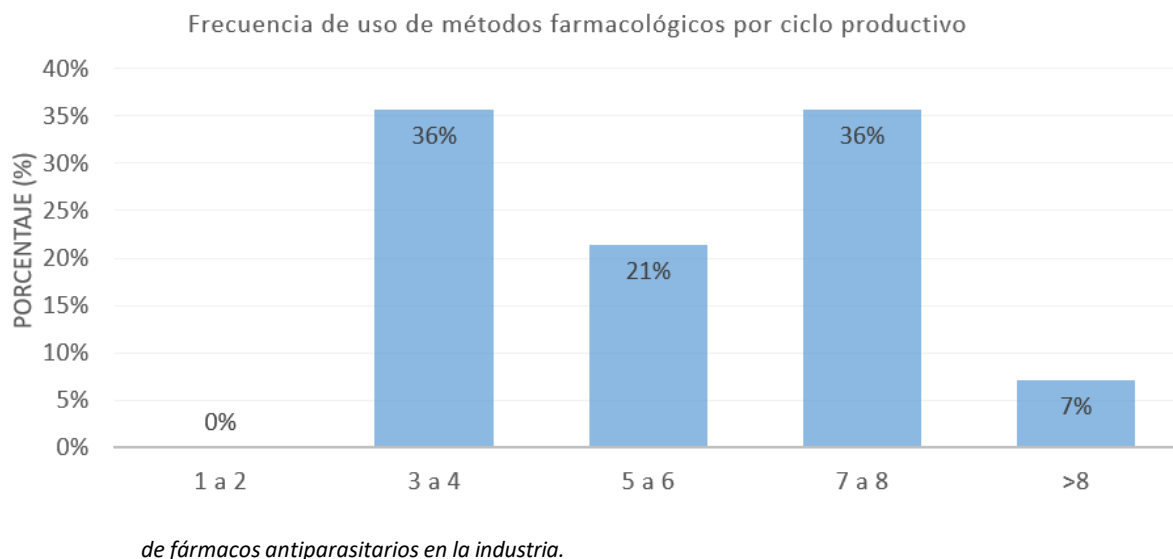


Figura 4.
Respuestas (%)
respecto de la
frecuencia de uso

3. **¿Cuáles son los principales tratamientos no farmacológicos que utilizan actualmente para el control de Caligidosis?**

En la Figura 5, se observa cómo se están usando distintos métodos no farmacológicos para controlar *Caligus rogercresseyi* en centros de cultivo. Llama la atención el uso de Lyptus plus®, que supera el 90%, posicionándose como la opción más utilizada. Le siguen Rosseus® y el uso de agua dulce, ambos con una frecuencia cercana al 35%. Más abajo aparece Aquaprime®, con cerca del 20%, mientras que L-End® y el peróxido de hidrógeno son utilizados en menor medida, con un 15% cada uno. Por último, un pequeño grupo señaló que no utiliza ningún tipo de tratamiento.

Estos resultados nos muestran que, aunque hay varias alternativas disponibles, existe una clara preferencia por algunas herramientas específicas. Esto podría estar relacionado con la percepción de que son más efectivas, fáciles de aplicar o que se

adaptan mejor a las condiciones productivas de cada centro.

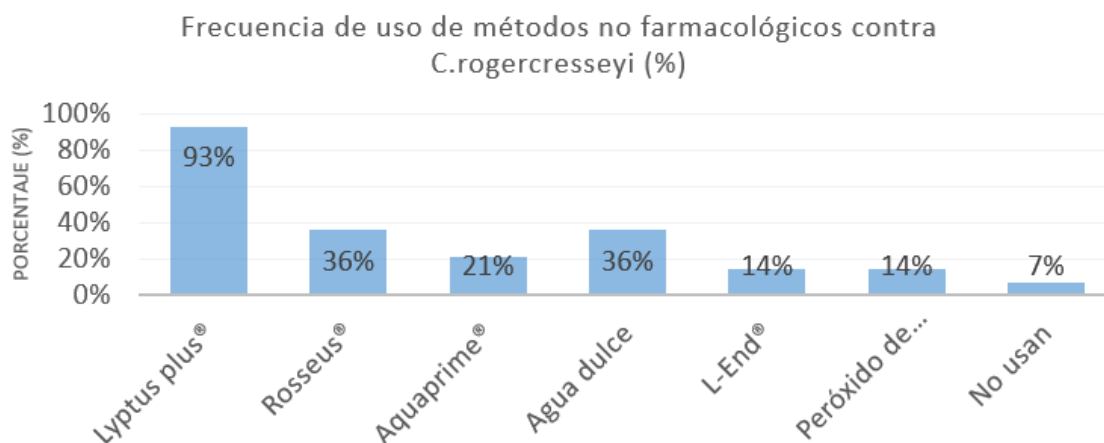


Figura 5. Respuestas (%) respecto del tipo de método no farmacológico.

4. En general ¿Cuántas veces en un ciclo productivo se aplican herramientas no farmacológicas?

En la figura 6, se reflejan las respuestas de las personas encuestadas, la mayoría aplica herramientas no farmacológicas entre 3 y 4 veces durante un ciclo productivo, concentrando el 50% del total. En cambio, en menor medida, se observa que un 21,4% las utiliza entre 1 y 2 veces, y otro 21,4% entre 5 y 6 veces. Sin embargo, solo un 7,1% indicó que no utiliza estas herramientas. Esto nos demuestra que, si bien no existe una única frecuencia establecida, la aplicación de métodos no farmacológicos con frecuencia media (3 a 4 veces) es la práctica más común, es decir, su uso está relativamente extendido, aunque todavía no se observa una estandarización clara dentro de la industria.

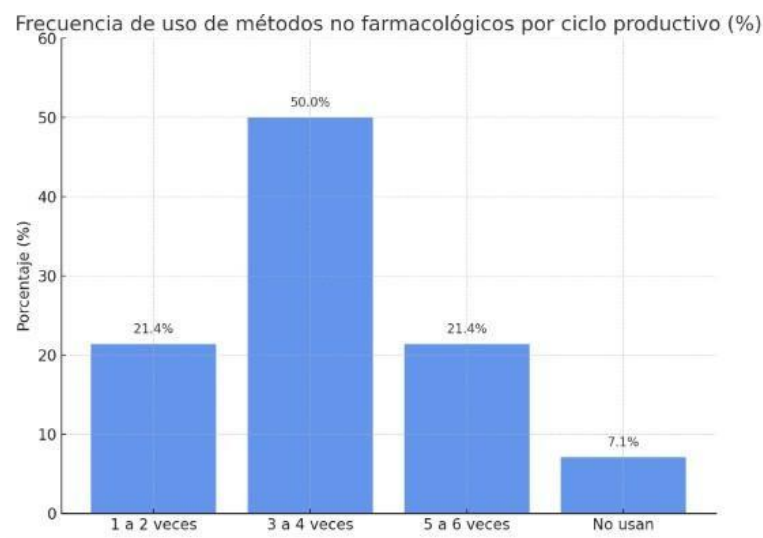


Figura 6. Respuestas (%) respecto a la aplicación de herramientas no farmacológicas en la industria.

**5. ¿Ha observado alguna limitación o desafío en el uso de estos tratamientos?
¿Sí o no? (Especificar).**

Según la figura 7, se observa que todos los encuestados han notado algún tipo de limitación o dificultad al usar tratamientos no farmacológicos para controlar el *Caligus rogercresseyi*. Entre los principales problemas mencionados están la rápida reinfestación después del tratamiento, la resistencia del parásito, la variación en la eficacia y la aparición de efectos secundarios o incluso mortalidades.

También se habló de la dificultad que presentan algunos peces para tolerar estos tratamientos, los cambios en su comportamiento durante el proceso y lo complicado que es asegurar una dosis precisa.

A esto se suman restricciones normativas, como las impuestas por SERNAPESCA, que limitan el uso de ciertos productos, además de factores económicos como el alto costo de tratamientos como el uso de agua dulce o peróxido de hidrógeno, y la poca disponibilidad de wellboats para realizarlos.

Por último, muchos mencionaron desafíos operativos, como el peso de los peces, el tiempo que deben estar expuestos al tratamiento y, sobre todo, la falta de evidencia científica clara sobre cómo funcionan productos como Lyptus®, Rosseus®. Esta falta de información hace que tomar decisiones técnicas seguras y efectivas sea aún más complejo para los centros de producción.

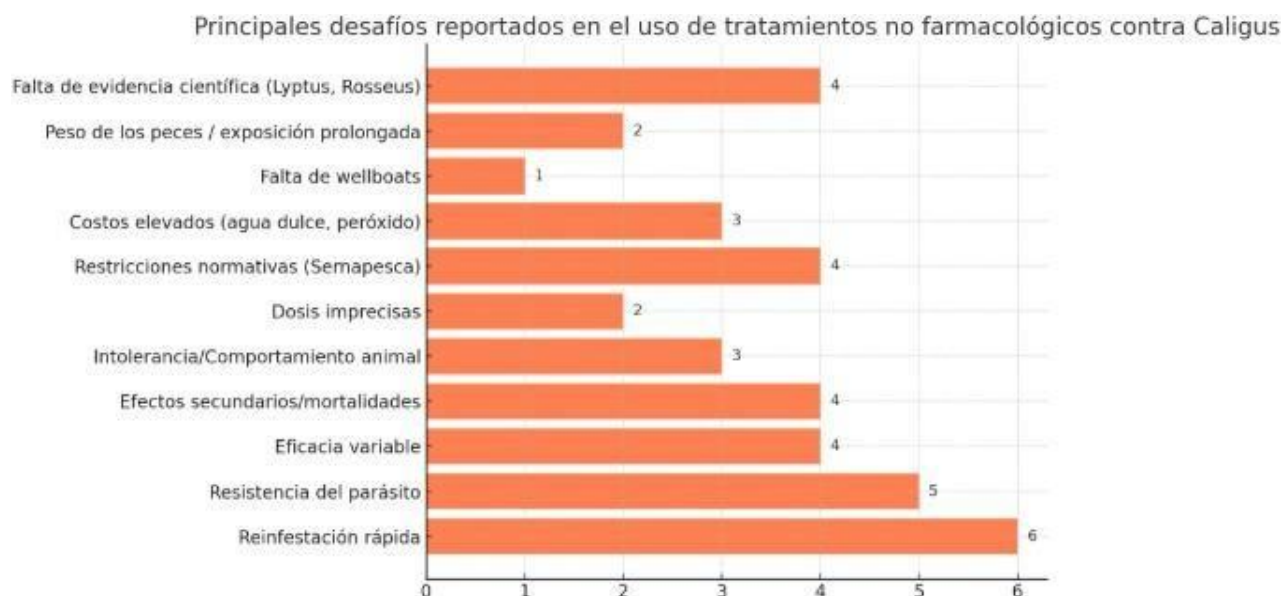


Figura 7. Respuestas (%) respecto a las limitaciones en el uso de tratamientos no farmacológicos en la industria.

"Nota: Resultados basados en respuestas abiertas de 14 encuestados. Las frecuencias reflejan menciones individuales o agrupadas por similitud temática."

6. ¿Cómo considera el costo de implementación de métodos no farmacológicos comparado con los tratamientos farmacológicos convencionales?

En la Figura 8, se demuestra cómo los encuestados perciben el costo de usar métodos no farmacológicos frente a los tratamientos tradicionales. La mitad de ellos cree que estos métodos son *algo más costosos*, y un 14,3% los considera *mucho más caros*. Por otro lado, hay quienes opinan que el costo es *similar* (14,3%), *más bajo* (14,3%) o directamente *no tienen información al respecto* (14,3%).

Aunque la mayoría los percibe como más costosos (64,3%) las opiniones están divididas, lo que sugiere que esta percepción depende mucho del contexto: el tipo de herramienta que se usa, la experiencia que ha tenido cada centro de cultivo o incluso las condiciones operativas. En el fondo, no hay una sola forma de ver el costo de estos tratamientos, y eso refleja la diversidad de realidades dentro de la industria.

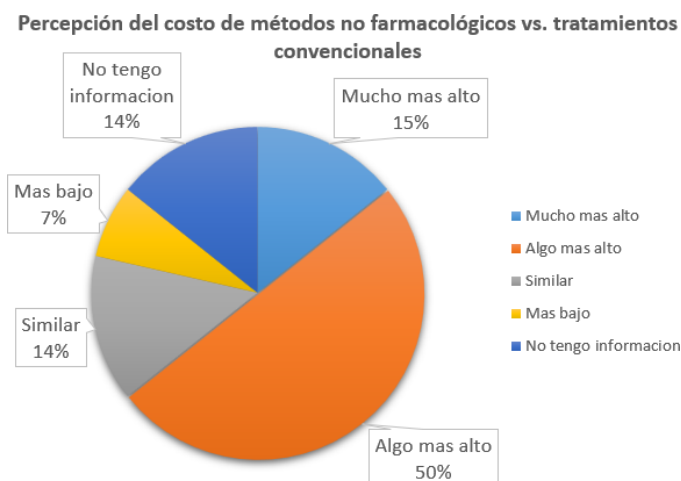


Figura 8. Resultados (%) respecto al costo de implementación de métodos no farmacológicos en comparación con tratamientos farmacológicos en la industria.

7. ¿Se ha reducido el número de tratamientos farmacológicos tras aplicar herramientas no farmacológicas?

En la figura 9, se demuestra cómo las personas encuestadas perciben el impacto de usar herramientas no farmacológicas en la reducción de tratamientos con fármacos. Un 35,7% comentó que han visto una disminución significativa, y otro 35,7% notó una baja más leve. Es decir, más del 70% ha percibido algún grado de reducción en el uso de medicamentos después de aplicar estas medidas.

En contraste, un 14,3% dijo que no ha notado cambios, un 7,1% incluso observó un aumento en el uso de fármacos, y otro 7,1% mencionó que no se ha evaluado esta relación en sus centros.

En general, estos resultados reflejan que las herramientas no farmacológicas sí tienen potencial para reducir la dependencia de tratamientos químicos, de acuerdo con la percepción de los encuestados. Sin embargo, también queda claro que los efectos pueden variar bastante dependiendo del tipo de herramienta, la forma en que se aplica y cómo cada empresa evalúa sus resultados.

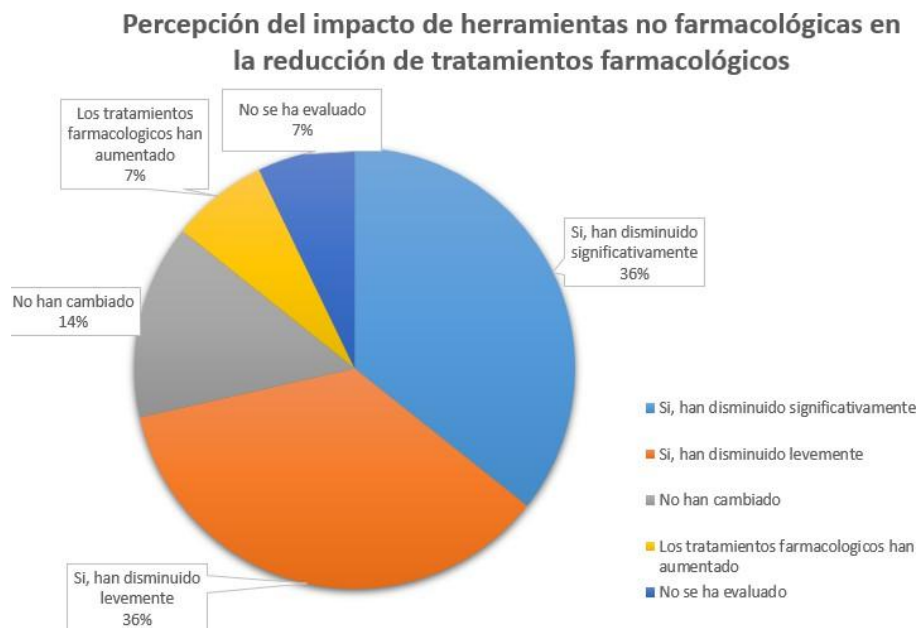


Figura 9. Respuestas (%) con respecto con a la disminución de tratamientos farmacológicos tras la aplicación de herramientas no farmacológicas en la industria.

8. ¿Ha notado un impacto positivo en la producción al utilizar tratamientos no farmacológicos? ¿Si o No?, especificar, por ejemplo, relacionado al crecimiento, reducción de mortalidad, reducción en tratamientos, disminución de enfermedades, etc.

En la figura 10, se presentan las respuestas de los encuestados, donde se preguntó si los tratamientos no farmacológicos han tenido un impacto positivo en la producción, considerando aspectos como el crecimiento de los peces, la reducción de enfermedades, la mortalidad o el uso de medicamentos. Cinco personas respondieron directamente que no han notado mejoras. Sin embargo, otras sí mencionaron ciertos beneficios, aunque en contextos muy específicos.

Por ejemplo, algunos comentaron que el uso de agua dulce ayuda a espaciar los baños, ya que cambia la dinámica del parásito. También hubo quienes destacaron que algunos tratamientos no farmacológicos funcionan mejor que los baños con fármacos, aunque eso puede venir acompañado de una mayor vulnerabilidad frente a otras enfermedades como *P. salmonis* o *Tenacibaculum*. Además, se mencionó que estas herramientas han permitido reducir el uso de medicamentos cuando se usan en alternancia, y que incluso han aportado al cumplimiento de certificaciones o metas de sustentabilidad.

Pese a todo, varios encuestados también señalaron que los efectos positivos no siempre son claros o que duran poco, ya que la reinfestación ocurre a las pocas semanas. En resumen, hay experiencias variadas: algunos ven beneficios reales, pero todo depende de cada situación, y los resultados no son iguales para todos los casos.

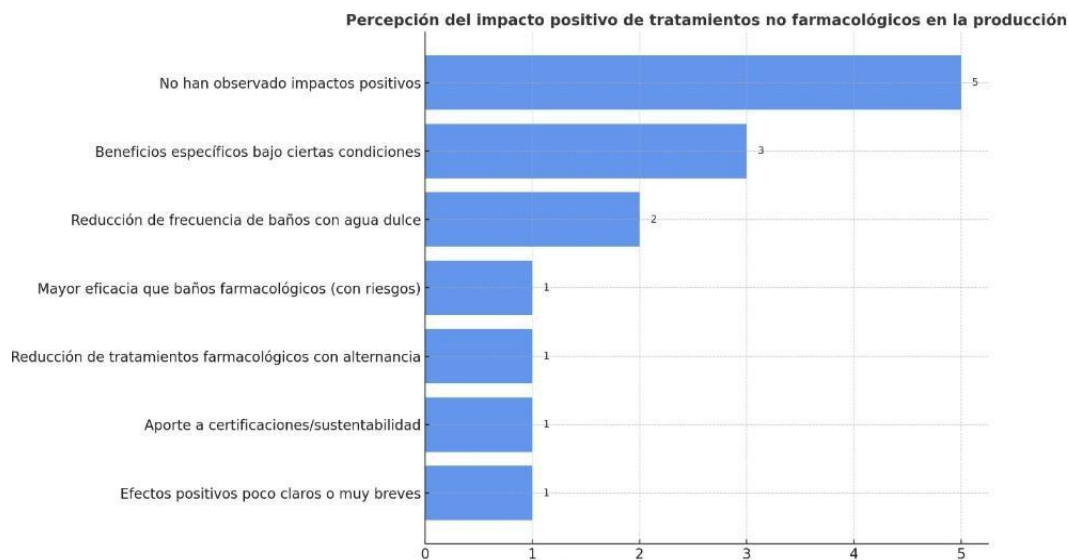


Figura 10. Respuestas (%) respecto a e impacto positivo en la producción al utilizar tratamientos no farmacológicos en la industria.

9. ¿Qué tipo de factor considera más crítico en la implementación exitosa de estos métodos?

En la figura 11, se refleja lo que piensan los encuestados sobre cuál es el factor más importante para que los métodos no farmacológicos sean implementados exitosamente en el control del *Caligus rogercresseyi*. La mayoría coincidió en que la capacitación del personal es clave (28,6%), destacando que sin una buena formación técnica es difícil aplicar estas herramientas de forma efectiva.

En segundo lugar, aparece la investigación aplicada (21,4%), lo que demuestra que el respaldo científico sigue siendo fundamental. También se mencionaron como importantes el valor económico y la eficacia y regularidad de los resultados (14,3% cada uno), lo que refleja la necesidad de contar con tratamientos viables financieramente y que entreguen resultados confiables.

Otros factores como el equipamiento tecnológico, la disponibilidad de barcos y los servicios de monitoreo externo fueron mencionados con menor frecuencia (7,1%), pero igualmente considerados dentro del panorama general.

En resumen, estos resultados muestran que para que estas estrategias funcionen bien no basta con que sean técnicamente correctas o económicas: también se necesita gente capacitada, buena infraestructura y evidencia que respalde su efectividad.



Figura 11. Respuestas (%) respecto a los factores críticos en la implantación de métodos no farmacológicos en la industria.

4.4.2 “Herramientas de prevención contra la Caligidosis”

1. *¿Qué estrategias de prevención implementa su empresa para minimizar las infestaciones por Caligus?*

En la figura 12, se demuestra cómo se están utilizando diferentes estrategias preventivas en la salmonicultura para controlar al *Caligus rogercresseyi*. Llama la atención que las dietas funcionales son, por lejos, la herramienta más utilizada, con un promedio del 57%. Muy por detrás, con un 14%, aparecen tanto el uso de barreras físicas (skirts) como la opción “ninguna”, lo que deja en evidencia que algunos centros aún no aplican medidas preventivas. Estrategias como el ultrasonido y la siembra estratégica tienen una presencia mucho menor, con apenas un 7% cada una. Por su parte, las nanoburbujas no es utilizado por ninguno de los encuestados (0%).

Estos resultados muestran que la mayoría de los centros depende principalmente de una sola estrategia preventiva, mientras que el uso de otras herramientas es bastante limitado. Esta falta de diversidad en las acciones preventivas podría jugar en contra si se busca una mayor efectividad a largo plazo. Ampliar las opciones preventivas podría ser clave para enfrentar mejor este desafío sanitario.

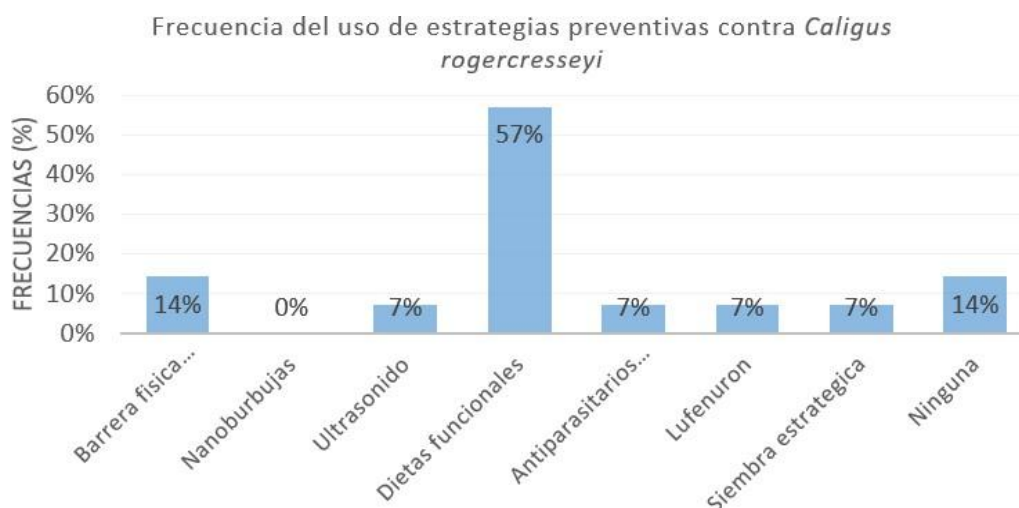


Figura 12. Respuestas (%) respecto a la utilización de estrategias preventivas contra el *Caligus rogercresseyi* en la industria.

2. ¿Con qué frecuencia se aplican estrategias de prevención contra la Caligidosis en su empresa en un ciclo productivo?

En la figura 13, se demuestran las frecuencias que se aplican estrategias preventivas contra la Caligidosis en la salmonicultura, las respuestas de los encuestados muestran una gran variedad de prácticas entre los centros de cultivo. Algunas empresas dicen cubrir el 100% de sus centros, como en los casos de siembras en las regiones de Los Lagos y Aysén. Otras, en cambio, aplican medidas muy puntuales, como un solo tratamiento oral al inicio del ciclo, o dos a tres veces durante todo el período productivo. También se menciona con frecuencia el uso de dietas funcionales, que en algunos casos se administran en 4 o 5 pulsos, o se concentran en los primeros 3 a 4 meses después del ingreso del smolt. Hay centros que aplican estas estrategias de forma mensual o durante un tercio del ciclo, mientras que otros reportan no usarlas o hacerlo solo ocasionalmente, dependiendo del centro.

En resumen, aunque sí hay esfuerzos por prevenir la Caligidosis, no existe una forma común o estandarizada de hacerlo, ni en la frecuencia ni en las estrategias utilizadas.

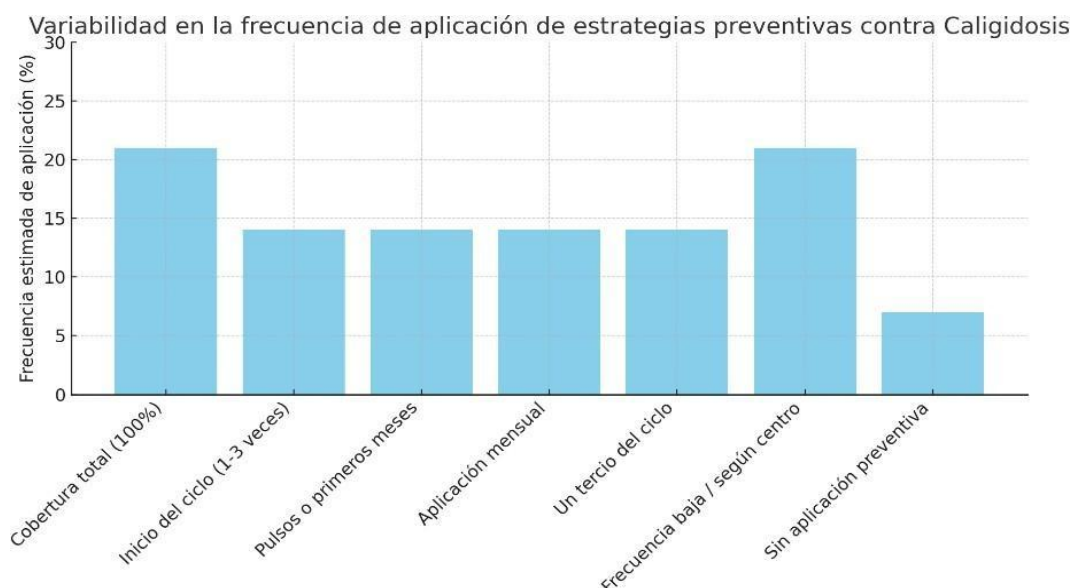


Figura 13. Respuestas (%) respecto a la frecuencia con la que se aplican estrategias preventivas contra la Caligidosis en la industria

3. ¿Ha notado un impacto positivo en la producción al utilizar estrategias preventivas? Si o No, especificar, por ejemplo, relacionado al crecimiento, reducción de mortalidad, reducción en tratamientos, disminución de enfermedades, etc.

En la figura 14, se presentan las respuestas de los encuestados a la pregunta sobre el impacto de las estrategias preventivas contra la Caligidosis muestran opiniones bastante variadas entre los encuestados. Muchos señalaron que no han visto beneficios claros o que el impacto ha sido limitado, explicando que los efectos dependen mucho del área en la que se trabaja o que, en general, los resultados no han sido tan significativos.

Aun así, también hubo quienes destacaron efectos positivos concretos. Entre ellos, mencionaron una menor necesidad de tratamientos, más tiempo entre baños, menos días de ayuno y mejoras en el crecimiento y bienestar de los peces. En especial, se valoró el uso del *skirt* como una herramienta efectiva para espaciar los baños, y también se comentaron buenos resultados al combinar distintas estrategias con productos como hexaflumuron y benzoato de emamectina, lo que ha permitido espaciar el uso de fármacos hasta el quinto o sexto mes del ciclo.

Por otro lado, también hay empresas que aún no aplican estrategias preventivas o que creen que su efecto es insuficiente o poco consistente. Todo esto muestra que, aunque

hay avances, todavía queda camino por recorrer para evaluar y mejorar las medidas de manejo sanitario durante el ciclo productivo.

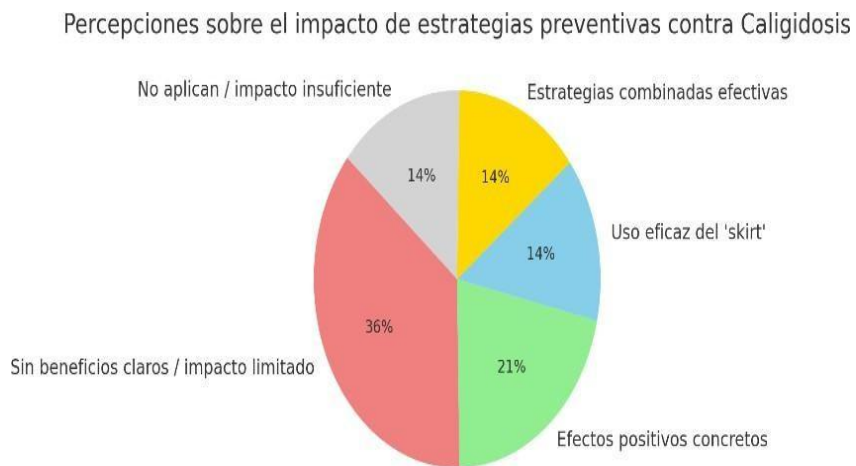


Figura 14. Respuestas (%) respecto a el impacto positivo en la producción al utilizar estrategias preventivas contra la Caligidosis en la industria.

4. ¿Cómo considera el costo de implementación de métodos preventivos, comparado con los tratamientos farmacológicos convencionales?

En la figura 15, se refleja la percepción de los encuestados en el costo de implementar estrategias preventivas frente a los tratamientos farmacológicos tradicionales en la salmonicultura. Para el 28,6%, estos métodos resultan mucho más costosos, y otro 28,6% cree que son algo más caros. Es decir, más de la mitad piensa que prevenir cuesta más que tratar farmacológicamente.

En contraste, un 21,4% considera que los costos son más bajos, mientras que un 14,3% cree que ambos enfoques tienen costos similares. Finalmente, otro 14,3% indicó que no cuenta con suficiente información para emitir una opinión.

En resumen, aunque hay distintas miradas, la mayoría tiende a asociar las estrategias preventivas con un mayor gasto inicial, lo que podría afectar su adopción en los centros de cultivo.

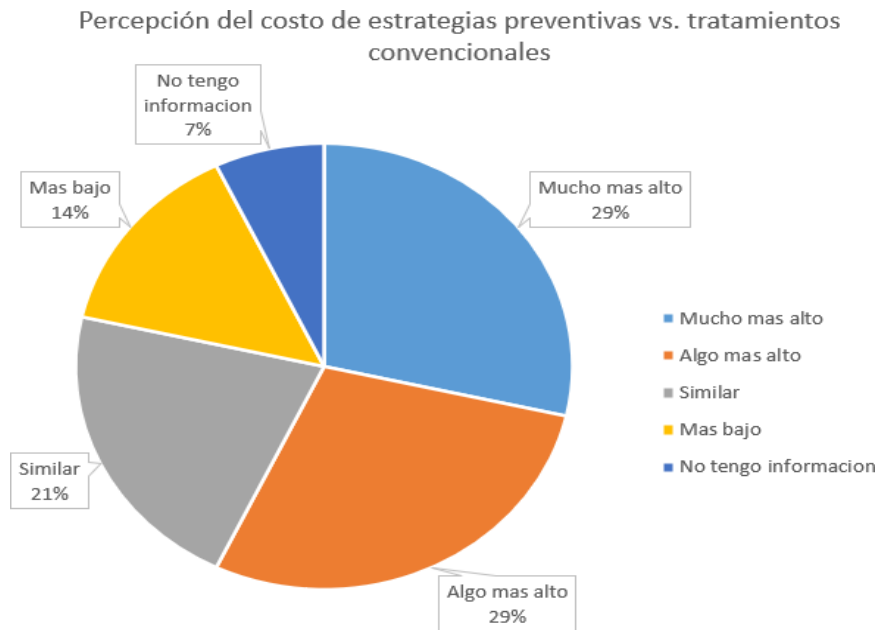


Figura 15. Respuestas (%) respecto a los costos de implementación de métodos preventivos en comparación con los tratamientos farmacológicos en la industria.

5. ¿Qué tipo de factor considera más crítico en la implementación exitosa de métodos preventivos?

En la figura 16, se demuestra qué factores consideran más críticos los encuestados para poder implementar con éxito estrategias preventivas contra el *Caligus rogercresseyi*. Para el 35,7%, el mayor obstáculo es el costo económico de la medida preventiva, lo que refleja una preocupación importante por los recursos financieros necesarios. Le sigue la capacitación del personal, mencionada por el 28,6%, lo que deja claro que contar con trabajadores bien formados es clave para aplicar correctamente estas medidas.

El 21,4% señaló el equipamiento tecnológico como una barrera relevante, mientras que otros aspectos como el monitoreo externo, la investigación aplicada y los efectos del ambiente sobre el uso del *skirt* fueron considerados menos prioritarios, con un 7,1% cada uno.

En resumen, los resultados muestran que el éxito de estas estrategias no depende solo de tener buenas ideas, sino también de contar con los recursos económicos, humanos y tecnológicos necesarios para llevarlas a la práctica de forma efectiva y sostenible.

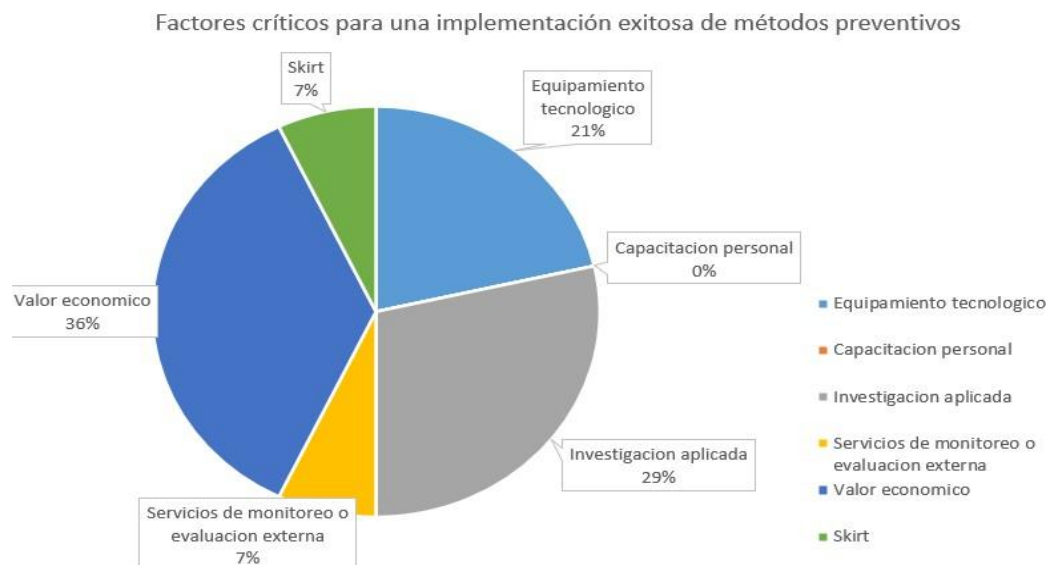


Figura 16. Respuestas (%) respecto a los factores más críticos en la implementación de métodos no farmacológicos preventivos en la industria.

6. ¿Se ha reducido el número de tratamientos farmacológicos tras aplicar métodos preventivos?

En la figura 17, se muestra lo que piensan los encuestados sobre si los métodos preventivos han ayudado a reducir el uso de tratamientos farmacológicos contra *Caligus rogercresseyi*. Un 35,7% dijo que los tratamientos han bajado levemente, y un 21,4% señaló una disminución más significativa. Esto indica que, en general, más de la mitad ha notado algún nivel de reducción tras aplicar estrategias preventivas.

Por otro lado, un 28,6% comentó que no ha visto cambios, y un 14,3% reconoció que no han evaluado esta relación en sus centros. Es importante destacar que nadie reportó un aumento en el uso de medicamentos.

En resumen, aunque las percepciones son diversas, la mayoría apunta a un impacto positivo de las medidas preventivas en la reducción de tratamientos farmacológicos. Sin embargo, también queda claro que en algunos casos los resultados aún no son tan visibles o no se han medido formalmente.



Figura 17. Respuestas (%) respecto a la reducción en el número de tratamientos farmacológicos tras la aplicación métodos preventivos no farmacológicos en la industria.

4.4.3 “Información General”

1. *¿Considera que la percepción pública y social de la industria es un factor motivante para el uso de herramientas no farmacológicas y/o preventivas?*

En la figura 18, se muestran las respuestas de los encuestados sobre si creen que la percepción pública y social de la industria influye en el uso de herramientas preventivas y no farmacológicas para el control de *Caligus rogercresseyi*. La mayoría, un 64,3%, respondió que sí, lo que refleja una alta conciencia sobre el impacto que tiene la opinión pública en las decisiones sanitarias dentro de la industria salmonera.

En contraste, un 28,6% no considera este factor como relevante, y un 7,1% cree que depende del tipo de método aplicado. Ninguno de los encuestados seleccionó la opción “No lo sé”.

Estos resultados indican que la presión social y las expectativas del entorno juegan un rol importante en la adopción de estrategias más sostenibles. Esto refuerza la necesidad de tomar decisiones orientadas hacia prácticas más responsables y transparentes, tanto para la comunidad como para los consumidores.

¿La percepción pública motiva el uso de métodos preventivos no farmacológicos?

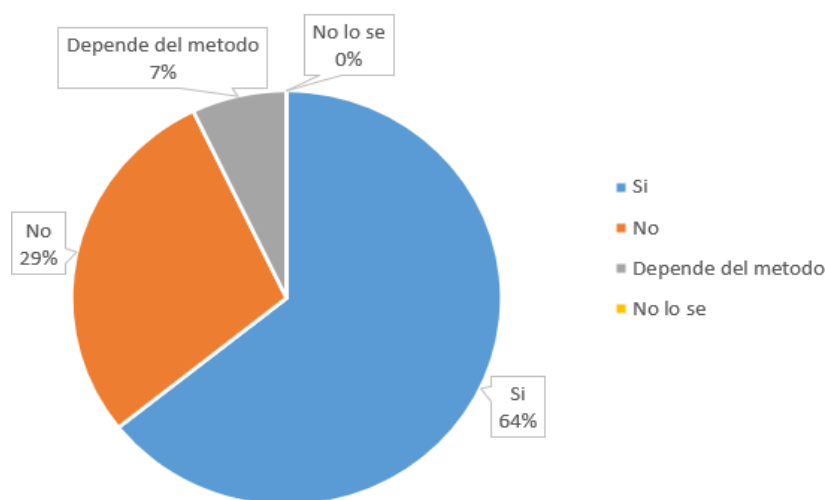


Figura 18. Respuestas (%) respecto a si la consideración publica y social es motivante para el uso de herramientas no farmacológica y/o preventivas en la industria.

2. ¿Qué tan dispuestos se encuentran a probar nuevas tecnologías preventivas o de control no farmacológicas en el futuro?

En la figura 19, se demuestra el nivel de disposición de los encuestados a probar nuevas tecnologías preventivas o de control no farmacológico en el futuro. La mayoría, un 71,4%, se declaró muy dispuesta, mientras que el 28,6% se identificó como dispuesta. No se registraron respuestas en las categorías de “neutral”, “poco dispuesto” o “nada dispuesto”. Estos resultados reflejan una actitud mayoritariamente positiva hacia el uso de este tipo de medidas no farmacológicas, lo que sugiere un interés real en adoptar nuevas herramientas que mejoren la sustentabilidad y la eficacia en el manejo de *Caligus rogercresseyi*. Esta disposición podría facilitar la incorporación de tecnologías emergentes, siempre que vengan acompañadas de respaldo técnico y científico, apoyo económico y capacitación adecuada.

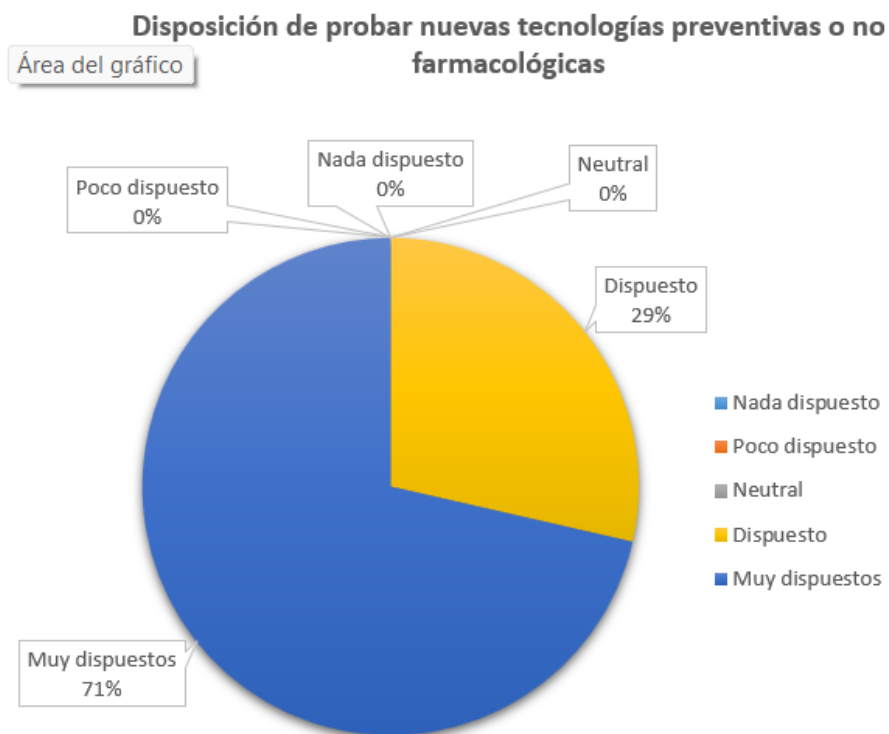


Figura 19.

Respuestas (%) respecto a la disposición de los encuestados a probar nuevas tecnologías preventivas o de control no farmacológicas en la industria en el futuro.

3. ¿Se han realizado estudios o mediciones del impacto ambiental de los métodos preventivos o tratamientos no farmacológicos en el centro o en área de cultivo?

En la figura 20, se representan las respuestas de los encuestados sobre la realización de estudios o mediciones del impacto ambiental de métodos preventivos o tratamientos no farmacológicos en centros o áreas de cultivo. Una amplia mayoría, el 71,4%, indicó que no se han realizado mediciones, lo que evidencia una brecha importante en la evaluación ambiental de estas prácticas.

Solo un 14,3% afirmó haber llevado a cabo estudios con resultados positivos, mientras que otro 14,3% señaló no saber si se han efectuado este tipo de evaluaciones. Ninguno de los participantes reportó resultados negativos.

Estos datos muestran una falta de información práctica sobre el impacto ambiental de estos métodos, lo que podría dificultar la toma de decisiones informadas y limitar la validación de estas estrategias desde una perspectiva de sustentabilidad ambiental.

Evaluación sobre impacto ambiental de métodos preventivos y no farmacológicos



Figura 20. Respuestas (%) respecto a la realización de estudios o mediciones en el impacto ambiental de los métodos o tratamientos no farmacológicos en la industria.

4. ¿Qué porcentaje aproximadamente del presupuesto sanitario se destina actualmente a métodos no farmacológicos o preventivos?

En la figura 21, se demuestran las respuestas de los encuestados en relación con el porcentaje del presupuesto sanitario destinado a métodos no farmacológicos o preventivos, las respuestas reflejaron una amplia variabilidad, lo que evidencia diferencias importantes en las prioridades y estrategias de inversión entre los distintos centros de cultivo.

Algunos encuestados reportaron una alta asignación de recursos, llegando incluso al 70%, mientras que otros mencionaron cifras intermedias, como 60%, 45%, 40% o 30%. También se registraron estimaciones más bajas, en rangos de entre un 10% y un 25%. Por otro lado, varios participantes señalaron no tener claridad sobre este dato o indicaron que no aplicaba, en algunos casos porque no utilizan este tipo de métodos.

Esto sugiere que, si bien hay centros con un fuerte compromiso hacia estrategias preventivas o no farmacológicas, en otros aún persisten dudas o falta de información, posiblemente influenciadas por el enfoque sanitario de cada empresa, la disponibilidad tecnológica y la percepción sobre la efectividad de estas herramientas.

Distribución estimada del presupuesto sanitario destinado a métodos no farmacológicos

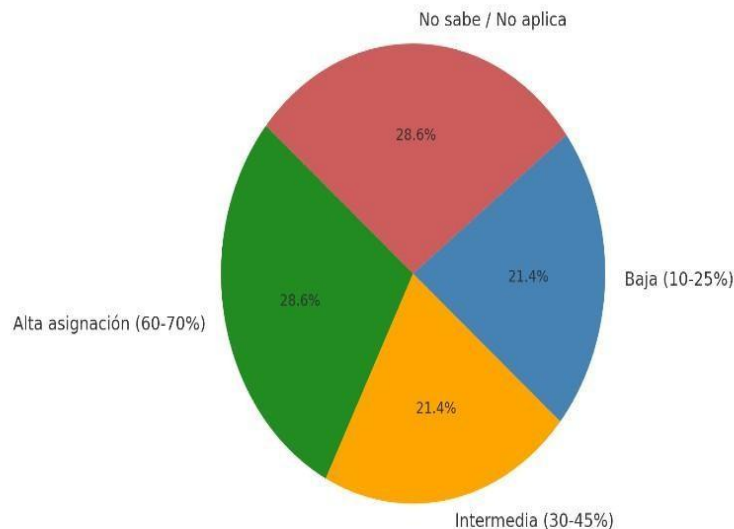


Figura 21. Respuestas (%) respecto al presupuestos sanitarios que se destina actualmente a métodos no farmacológicos o preventivos en la industria.

5. ¿Considera que los métodos no farmacológicos o preventivos mejoran el bienestar de los peces?

En la figura 22, se presentan las respuestas de 14 encuestados sobre si consideran que los métodos no farmacológicos o preventivos contribuyen al bienestar de los peces en los centros de cultivo. Una clara mayoría, el 71,4%, respondió afirmativamente, lo que refleja una percepción positiva respecto al impacto de estas estrategias en la salud y calidad de vida de los peces. El 28,6% restante indicó no estar seguro, mientras que ninguno señaló que estos métodos no mejoren el bienestar.

Estos resultados sugieren que, si bien aún hay cierto grado de incertidumbre, existe un consenso amplio en la industria sobre los beneficios potenciales de las estrategias no farmacológicas en términos de bienestar animal.

Percepción sobre el impacto de métodos no farmacológicos en el bienestar de los peces



Figura 22. *Respuestas (%) respecto al mejoramiento del bienestar de los peces con la utilización de métodos no farmacológicos o preventivos en la industria.*

5. DISCUSIÓN

Esta revisión bibliográfica ha demostrado la amplia variedad de tratamientos no farmacológicos que se utilizan actualmente para controlar *Caligus rogercresseyi* y *Lepeophtheirus salmonis*, así como estrategias de prevención con diversos grados de desarrollo y aplicación industrial. En general, los resultados muestran un panorama tecnológico en evolución, con enfoques que combinan principios ecológicos, físicos y bioquímicos, aunque no exentos de desafíos metodológicos, económicos y éticos.

En cuanto al objetivo específico 1, los tratamientos de control no farmacológicos identificados varían en términos de eficacia, impacto en el bienestar animal y ambiental. El uso de peces limpiadores, como el lumpo o el lábrido, se ha consolidado como una técnica con alta eficacia a corto plazo en condiciones controladas en países del hemisferio norte, logrando reducciones de hasta el 97% (Imslund et al., 2014), aunque con importantes limitaciones relacionadas con el comportamiento alimentario, la alta mortalidad, el riesgo de escape y el bajo mantenimiento (Småge et al., 2016; Engebretsen et al., 2023). En el contexto chileno, el robalo patagónico ha mostrado resultados prometedores con una eficacia de hasta el 93,6% en condiciones controladas (Sánchez et al., 2018), aunque su implementación enfrenta obstáculos operativos, como la necesidad de cría en cautiverio y la competencia por el alimento.

Por otro lado, los tratamientos térmicos, si bien son eficaces contra los estadios móviles del parásito, han sido objeto de numerosas dudas debido a sus efectos negativos sobre el bienestar animal. Se han reportado lesiones, mortalidad y reacciones conductuales que indican dolor, especialmente a temperaturas superiores a 30 °C (Nilsson et al., 2019; Bui et al., 2022; Moltumyr et al., 2022). Por otro lado, métodos emergentes, como el láser (Bui et al., 2020) o los pulsos electromagnéticos (Ziller Vergara, 2014), presentan ventajas en términos de seguridad química, aunque con una eficacia limitada y una alta dependencia tecnológica.

Tratamientos como el agua hiposalina (Sievers et al., 2019; McDermonntt et al., 2021b) y

el peróxido de hidrogeno (Bravo et al., 2010; Marín et al., 2018) han mostrado eficiencia variable, pero aceptable, especialmente en aquellos tratamientos asociados con la posible generación de resistencia química en el caso del peróxido y algunas dificultades logísticas. De todas formas, estos tratamientos presentan el menor impacto en el ambiente al ser prácticamente inocuos para este, por lo que su uso se proyecta al aumento en la industria.

Por otro lado, el agua a presión y succión (Flatsetsund Engineering, 2023) han demostrado una alta eficiencia (>95%) y ofrecen la importante ventaja de no utilizar compuestos químicos, como los fármacos, evitando así el riesgo de resistencia. Sin embargo, su aplicación puede implicar riesgos físicos para los peces si no se realiza un manejo adecuado, además de requerir una infraestructura y capacitación especializada

Finalmente, enfoques más recientes, como los aceites esenciales (STIM Chile, 2022; Sudvet, 2024), los péptidos antimicrobianos (Santana et al., 2024) y tecnologías como la cavitación ultrasónica (Svendsen et al., 2018), reflejan el creciente interés en alternativas sostenibles, aunque muchas de ellas aún se encuentran en fase experimental o sin validación a escala industrial, a excepción de los aceites naturales Lyptus y Rosseus que se encuentran en amplio uso por la industria.

En cuanto al objetivo específico 2, se han identificado diversas estrategias de prevención que complementan el control directo de parásitos. Se ha demostrado que las barreras físicas (Jónsdóttir et al., 2023) y las jaulas snorkel (Geitung et al., 2019) reducen significativamente la infestación. De manera similar, enfoques como los bivalvos filtradores (Montory et al., 2020), las dietas funcionales (CABI, 2023; Kaur et al., 2024) y las vacunas experimentales (Casuso et al., 2022; Azócar Muñoz, 2025; INCAR) apuntan a reforzar el sistema inmunológico o modificar el entorno para dificultar el ciclo de vida del ectoparásito.

Sin embargo, varias de estas estrategias presentan limitaciones: requieren validación en condiciones reales, las vacunas aún enfrentan desafíos en la producción a gran escala y

su aplicación generalizada depende de la infraestructura, la capacitación técnica y la evaluación económica (Correa et al., 2017; Cáceres et al., 2021).

Para el tercer objetivo específico, se compararon tratamientos y procedimientos en términos de eficacia, salud animal e impacto ambiental. Los tratamientos con mayor eficacia observada fueron agua presurizada y succión (>95%), ciertos baños de aceite vegetal (>90%) y el uso moderado de agua hiposalina (Borchel et al., 2023; Thompson et al., 2023). Por otro lado, instrumentos como el láser han mostrado baja eficacia (Bui et al., 2020), aunque con bajo impacto físico y ambiental.

Desde la perspectiva del bienestar animal, los tratamientos térmicos (Bui et al., 2022; Nilsson et al., 2019) y los tratamientos mecánicos presentan los mayores riesgos. Por otro lado, las dietas funcionales, los aditivos alimentarios y los baños naturales también muestran mejoras tras el tratamiento (Sudvet, 2024; Kaur et al., 2024). En cuanto al medio ambiente, la mayoría de los métodos revisados tienen un impacto bajo, siempre que el exceso o el consumo de energía se controlen adecuadamente.

En cuanto al cuarto objetivo específico, la encuesta realizada a expertos del sector acuícola permitió recopilar información reciente sobre el uso, la percepción y las limitaciones de estos tratamientos. Si bien el uso de productos naturales, como Lyptus y Rosseus®, supera el 90 % en algunas empresas, existen múltiples limitaciones: rápida reinfestación, falta de respaldo científico, coste y falta de infraestructura (investigación propia, 2025).

En cuanto a las estrategias de prevención, las dietas funcionales fueron la medida más utilizada (57%), mientras que otras, como, las barreras físicas (skirts), la siembra estratégica y el ultrasonido tuvieron una presencia menor (7% cada una). Si bien más del 70% de los encuestados reportaron cierta reducción en el uso de fármacos tras la incorporación de herramientas preventivas no farmacológicas, también se observó una gran variación en la frecuencia, la evaluación y el seguimiento de los resultados

(investigación propia, 2025).

La mayoría de los encuestados consideró que la capacitación del personal (28,6%) y la investigación aplicada (21,4%) fueron factores críticos para el éxito de estas estrategias. Asimismo, el 64,3% reconoció que la percepción pública es un estímulo motivacional para la industria a implementar estrategias más sostenibles. Sin embargo, el 71,4% afirmó no haber realizado estudios de impacto ambiental en sus centros, lo que muestra una brecha significativa en términos de sostenibilidad validada (investigación propia, 2025).

En resumen, los tratamientos no farmacológicos y las estrategias de prevención ofrecen una vía prometedora para abordar estas parasitosis frente a escenarios cambiantes, como lo es cambio climático, de forma más ética y sustentable. Ofrecen vías alternativas a los tratamientos farmacológicos, lo que disminuye la dependencia de uso de químicos impactado positivamente en la reducción de los impactos ambientales, así como también, la disminución de la generación de la resistencia en el parásito. Sin embargo, su éxito dependerá de una mayor integración tecnocientífica, la inversión en la monitorización ambiental y el fortalecimiento de las capacidades humanas y tecnológicas del sector.

6. CONCLUSIÓN

La revisión realizada muestra que existen diversas alternativas no farmacológicas y estrategias preventivas para el control de *Caligus rogercresseyi*, con resultados diversos de eficacia, viabilidad técnica y sostenibilidad. En el contexto de la producción y la evaluación estricta del bienestar animal, las estrategias preventivas, como las dietas funcionales, las barreras físicas y el diseño modificado de las jaulas, las cuales ofrecen un enfoque complementario que puede ayudar a reducir la necesidad de tratamientos químicos, especialmente si se integran en el diseño de producción.

Los datos recopilados de la industria respaldan la idea de que existe un gran interés y disposición para poder adoptar estrategias más sustentables, aunque continúan existiendo dificultades importantes como la percepción de altos costos, la falta de estandarización, la escasa evidencia científica para algunos productos y la limitada evaluación de los efectos ambientales que tienen estas estrategias, así como también modelos de gestión más completos, éticos y ambientalmente responsables.

En este escenario, es urgente promover la investigación aplicada sobre estos desarrollos tecnológicos, mejorar la formación de los trabajadores en las empresas y además diseñar sistemas de monitoreo que permitan validar eficazmente la eficacia y la sustentabilidad de los tratamientos no farmacológicos y medidas preventivas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aaen, S. M., Helgesen, K. O., Bakke, M. J., Kaur, K., & Horsberg, T. E. (2015). Drug resistance in sea lice: A threat to salmonid aquaculture. *Trends in Parasitology*, 31(2), 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2014.12.006>
- Agarwal, A., Ng, W. J., & Liu, Y. (2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere*, 84(9), 1175–1180. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2011.05.054>
- Álvarez Gatica, R. H. (2019). *System for the elimination of parasites adhered to fish, by directly applying electricity to the fish, removing the parasites without harming the fish* (US 2019/0269107 A1). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US20190269107A1/en>
- Arancibia Jeraldo, L. C. (2023). *La acuicultura mediante estanques con agua en recirculación (RAS)*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/asesoriasparlamentarias/detalle_documento.html?id=81716
- Atkinson, A. J., Apul, O. G., Schneider, O., Garcia-Segura, S., & Westerhoff, P. (2019). Nanobubble Technologies Offer Opportunities to Improve Water Treatment. *Accounts of Chemical Research*, 52(5), 1196–1205. https://doi.org/10.1021/ACS.ACCOUNTS.8B00606/ASSET/IMAGES/MEDIUM/A_R-2018-006065_0009.GIF
- Avci, F. G., Akbulut, B. S., & Ozkirimli, E. (2018). Membrane Active Peptides and Their Biophysical Characterization. *Biomolecules* 2018, Vol. 8, Page 77, 8(3), 77. <https://doi.org/10.3390/BIOM8030077>
- Avelar, D y Toro, E. (2018) PubMed: clinical queries, terminología MeSH y operadores booleanos. *Revista de Medicina Clínica*, 2(3). <https://doi.org/10.5281/zenodo.1442811>
- Azevedo, A., Oliveira, H., & Rubio, J. (2019). Bulk nanobubbles in the mineral and environmental areas: Updating research and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 271, 101992. <https://doi.org/10.1016/J.CIS.2019.101992>
- Azócar Muñoz, C. E. (2025). *Evaluación de vacunas antimicrobiota oral e inmersión contra Caligus rogercresseyi en salmón del Atlántico* (Tesis de magíster). Universidad de Concepción. <https://repositorio.udec.cl/items/3e34b78c-f8e9-4f50-8223-886003a9f41b>
- Barrett, L. T., Oppedal, F., Robinson, N., & Dempster, T. (2020). Prevention not cure: a review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2527–2543. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12456;CTYPE:STRING:JOURNAL>
- Bartsch, A., Robinson, S. M. C., Liutkus, M., Ang, K. P., Webb, J., & Pearce, C. M. (2013). Filtration of sea louse, *Lepeophtheirus salmonis*, copepodids by the blue mussel, *Mytilus edulis*, and the Atlantic sea scallop, *Placopecten magellanicus*, under different flow, light and copepodid-density regimes. *Journal of Fish Diseases*, 36(3), 361–370. <https://doi.org/10.1111/JFD.12069;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>

- Bergoeing, R. (2023). Salmonicultura en Chile su aporte económico y social (diapositiva de PowerPoint). SalmonChile. <https://acesse.dev/fqEG5>
- Bjørn Roth. (2016). Avlusing av laksefisk med Optilice: Efecto de avlusing y fiskevelferd. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Avlusing%20av%20laksefisk%20med%20Optilice%3A%20Effekt%20p%C3%A5%20avlusing%20og%20fiskevelferd&publication_year=2016&author=B.%20Roth
- Bobenrieth Astete, MA. (2002). Normas para la revisión de artículos originales en Ciencias de la Salud. Revista Internacional de Psicología Clínica y de la Salud, 2(3), 509-523. Asociación Española de Psicología Conductual. <http://www.redalyc.org/articulo.oa>
- Borchel, A., Heggland, E. I., & Nilsen, F. (2023b). Without a pinch of salt: effect of low salinity on eggs and nauplii of the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*). Parasitology Research, 122(8), 1893–1905. <https://doi.org/10.1007/S00436-023-07890-8/FIGURES/5>
- Bouelet Ntsama, I. S., Tambe, B. A., Tsafack Takadong, J. J., Medoua Nama, G., & Kansci,
- Boxshall, G. A., & Bravo, S. (2000). On the identity of the common Caligus (Copepoda: Siphonostomatoida: Caligidae) from salmonid netpen systems in southern Chile. Contributions to Zoology, 69(1–2), 137–146. <https://doi.org/10.1163/18759866-2000-0001>
- Bravo, S., Pozo, V., María, & Silva, T. (2015). Evaluación de la efectividad del tratamiento con agua dulce para el control del piojo de mar *Caligus rogercresseyi* Boxshall & Bravo, 2000. *Lat. Am. J. Aquat. Res*, 43(2), 322–328. <https://doi.org/10.3856/vol43-issue2-fulltext-8>
- Bravo, S., Pozo, V., Silva, M.T., Abarca, D., 2013. Comparison of the fecundity rate of *Caligus rogercresseyi* infesting Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) on farms in two regions of Chile. *Aquaculture* 404-405,55-58. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.04.002>
- Bravo, S., Treasurer, J., Sepulveda, M., & Lagos, C. (2010). Effectiveness of hydrogen peroxide in the control of *Caligus rogercresseyi* in Chile and implications for sea louse management. *Aquaculture*, 303(1–4), 22–27. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2010.03.007>
- Brooker, A. J., Papadopoulou, A., Gutiérrez, C., Rey, S., Davie, A., & Migaud, H. (2018). Sustainable production and use of cleaner fish for the biological control of sea lice: Recent advances and current challenges. *Veterinary Record*, 183(17), 383. <https://doi.org/10.1136/vr.104966>
- Bui, S., & Secombes, C. J. (2023). *Functional feeds in salmon aquaculture: Opportunities for sustainable sea lice management*. SSRN. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4704810
- Bui, S., Geitung, L., Oppedal, F., & Barrett, L. T. (2020). Salmon lice survive the straight shooter: A commercial scale sea cage trial of laser delousing. *Preventive Veterinary Medicine*, 181, 105063. <https://doi.org/10.1016/J.PREVETMED.2020.105063>
- Bui, S., Madaro, A., Nilsson, J., Fjellidal, P. G., Iversen, M. H., Brinchman, M. F., Venås, B., Schrøder, M. B., & Stien, L. H. (2022). Warm water treatment increased mortality risk in salmon. *Veterinary and Animal Science*, 17, 100265. <https://doi.org/10.1016/J.VAS.2022.100265>
- Burridge, L., Weis, J. S., Cabello, F., Pizarro, J., & Bostick, K. (2010). Chemical use in

- salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306(1–4), 7–23. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2010.05.020>
- CABI. (2023). Functional feeds and sea lice control. In *Sea lice management in salmonid aquaculture* (Chapter 21). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781800629301.0021>
- Cáceres, P., Barría, A., Christensen, K. A., Bassini, L. N., Correa, K., Garcia, B., Lhorente, J. P., & Yáñez, J. M. (2021). Genome-scale comparative analysis for host resistance against sea lice between Atlantic salmon and rainbow trout. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/S41598-021-92425->
- Carlos Sánchez, J., Mancilla, J., Hevia, M., & Saez, P. J. (2018). The Patagonian blenny in Chile The Patagonian blenny (*Eleginops maclovinus*): a Chilean native fish with potential to control sea lice (*Caligus rogercresseyi*) infestations in salmonids.
- Carvajal, J., González, L., & George-Nascimento, M. (1998). Native sea lice (Copepoda: Caligidae) infestation of salmonids reared in netpen systems in southern Chile. *Aquaculture*, 166(3–4), 241–246. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00301-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00301-9)
- Casuso, A., Valenzuela-Muñoz, V., Benavente, B. P., Valenzuela-Miranda, D., & Gallardo-Escárate, C. (2022). Exploring Sea Lice Vaccines against Early Stages of Infestation in Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Vaccines*, 10(7), 1063. <https://doi.org/10.3390/VACCINES10071063/S1>
- Compassion in world farming. (2021). Atlantic salmon in numbers. Consultado el 16 de octubre de 2024. <https://www.compassioninfoodbusiness.com/resources/fish/atlantic-salmon-in-numbers/>
- Correa, K., Bangera, R., Figueroa, R., Lhorente, J. P., & Yáñez, J. M. (2017). The use of genomic information increases the accuracy of breeding value predictions for sea louse (*Caligus rogercresseyi*) resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Genetics Selection Evolution*, 49(1), 1–5. <https://doi.org/10.1186/S12711-017-0291-8/FIGURES/1>
- Dawood, M. A. O., El Basuini, M. F., Zaineldin, A. I., Yilmaz, S., Hasan, M. T., Ahmadifar, E., El Asely, A. M., Abdel-Latif, H. M. R., Alagawany, M., Abu-Elala, N. M., Van Doan, H., & Sewilam, H. (2021). Antiparasitic and Antibacterial
- Donaldson, M. R., Cooke, S. J., Patterson, D. A., & Macdonald, J. S. (2008). Cold shock and fish. *Journal of Fish Biology*, 73(7), 1491–1530. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8649.2008.02061.X>
- Elliott, J. M., & Elliott, J. A. (1995). The effect of the rate of temperature increase on the critical thermal maximum for parr of Atlantic salmon and brown trout. *Journal of Fish Biology*, 47(5), 917–919. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8649.2008.02061.X>
- Engebretsen, S., Aldrin, M., Qviller, L., Stige, L. C., Rafoss, T., Danielsen, O. R., Lindhom, A., & Jansen, P. A. (2023). Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in the stomach contents of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) sampled from Norwegian fish farms: Relationship between lice grazing and operational conditions. *Aquaculture*, 563, 738967. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2022.738967>
- EnviroPatent HoldingAS. (2011). *Compositions and methods for controlling ectoparasites on fish*. WO2011/101367A1. World Intellectual Property Organization. <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011101367>

- Farlora, R., Valdebenito-Aguayo, F., Valenzuela-Muñoz, V., & Gallardo-Escárate, C. (2018). Hydrogen peroxide treatment modulates the transcription of sex-related genes in the sea lice *Caligus rogercresseyi*. *Journal of Fish Diseases*, 41(6), 921–926.
<https://doi.org/10.1111/JFD.12700>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:13652761;JOURNAL:JOURNAL:13652761;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Favvas, E. P., Kyzas, G. Z., Efthimiadou, E. K., & Mitropoulos, A. C. (2021). Bulk nanobubbles, generation methods and potential applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 54, 101455.
<https://doi.org/10.1016/J.COCIS.2021.101455>
- Flatsetsund Engineering AS. (2024). *Why FLS? FLS Caligus delousing system: capacity, efficiency, fish welfare*. Recuperado de <https://www.fls.no/why-fls>
- Functionality of Essential Oils: An Alternative Approach for Sustainable Aquaculture. *Pathogens* 2021, Vol. 10, Page 185, 10(2), 185.
<https://doi.org/10.3390/PATHOGENS10020185>
- G. (2018). Characteristics of fish farming practices and agrochemicals usage therein in four regions of Cameroon. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(2), 145–153.
<https://doi.org/10.1016/J.EJAR.2018.06.006>
- Geitung, L., Oppedal, F., Stien, L. H., Dempster, T., Karlsbakk, E., Nola, V., & Wright, D. W. (2019). Snorkel sea-cage technology decreases salmon louse infestation by 75% in a full-cycle commercial test. *International Journal for Parasitology*, 49(11), 843–846.
<https://doi.org/10.1016/J.IJPARA.2019.06.003>
- Gismervik, K., Gåsnes, S. K., Gu, J., Stien, L. H., Madaro, A., & Nilsson, J. (2019). Thermal injuries in Atlantic salmon in a pilot laboratory trial. *Veterinary and Animal Science*, 8, 100081. <https://doi.org/10.1016/J.VAS.2019.100081>
- González, L., Carvajal, J., & George-Nascimento, M. (2000). Differential infectivity of *Caligus flexispina* (Copepoda, Caligidae) in three farmed salmonids in Chile. *Aquaculture*, 183(1–2), 13–23. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00282-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00282-3)
- González, M. (2006). Selectividad del copepodito de *Caligus rogercresseyi* Boxshall & Bravo, 2000 (Copepoda: Caligidae) frente a diferentes hospederos. Repositorio institucional. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/fcg643s/doc/fcg643s.pdf>
- González, M., Marin, S., Vargas-Chacoff, L., 2015. Stress response of *Salmo salar* (Linnaeus 1758) facing low abundance infestation of *Caligus rogercresseyi* (Boxshall & Bravo 2000), an object in the tank, and handling. *Journal of Fish Diseases* 39(7), 853 - 865. <https://doi.org/10.1111/jfd.12419>
- González, M., Marín, S., Vargas-Chacoff, L., 2015a. Effects of *Caligus rogercresseyi* (Boxshall and Bravo, 2000) infestation on physiological response of host *Salmo salar* (Linnaeus 1758): Establishing physiological thresholds. *Aquaculture* 438(0), 47-54. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.039>
- González, M., Vargas-Chacoff, L., Marín, S., 2015b. Stress response of *Salmo salar* (Linnaeus 1758) when heavily infested by *Caligus rogercresseyi* (Boxshall & Bravo 2000) copepodids. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1-12.
<https://doi.org/10.1007/s10695-015-0134-x>
- González, Margarita. (2021). Advierten continua disminución de la susceptibilidad de *Caligus* a antiparasitarios. *Salmonexpert*. <https://l1nq.com/YUBso>
- Groner, M. L., Laurin, E., Stormoen, M., Sanchez, J., Fast, M. D., & Revie, C. W. (2019). Evaluating the potential for sea lice to evolve freshwater tolerance as a

- consequence of freshwater treatments in salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 507–519. <https://doi.org/10.3354/AEI00324>
- Grøntvedt, R., Nerbøvik, I., Series, H. V.-... I. R., & 2015, undefined. (2015). Desparasitación térmica de salmónidos: documentación del bienestar de los peces y sus efectos. *Vetinst.NoRN Grøntvedt, IKG Nerbøvik, H Viljugrein , A Lillehaug, H Nilsen, AG GjevreSerie de Informes de Los Institutos Veterinarios Noruegos*, 2015 • *Vetinst.No.* <https://goo.su/4Whmn>
- Grupo Marco S.p.A. (2015). *Method and device for detaching parasites that adhere to the skin of the fish* (EP 2837284 A1). European Patent Office. <https://patents.google.com/patent/EP2837284A1/en>
- Grupo Marco S.p.A. (2016). *Metode og anordning til fjernelse af parasitter, der hæfter på fisks hud* [Method and device for removing parasites adhering to the skin of fish] (DK 201400427 A1). Danish Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/DK201400427A1/en>
- Guttu, M., Gaasø, M., Båtnes, A. S., & Olsen, Y. (2024). The decline in sea lice numbers during freshwater treatments in salmon aquaculture. *Aquaculture*, 579, 740131. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2023.740131>
- Hernández, R, Fernández, C & Baptista M. (21). *Metodología de la Investigación*. (2010), Sexta ed. McGraw-Hill/Interamericana Editores, México.
- Herrmann, B., Sistiaga, M., & Jørgensen, T. (2021). Size-dependent escape risk of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) from salmonid farm nets. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111904. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2020.111904>
- Hjelle, B. M. K., Imsland, A. K. D., Balseiro, P. V., & Handeland, S. O. (2022). Acoustic Delicing of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): Fish Welfare and Salmon Lice (*Lepeophtheirus salmonis*) Dynamics. *Journal of Marine Science and Engineering* 2022, Vol. 10, Page 1004, 10(8), 1004. <https://doi.org/10.3390/JMSE10081004>
- Imsland, A. K. D., Balseiro, P., Handeland, S., & Godø, O. R. (2025). Follow-Up Study on Acoustic De-Licing of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* Dynamics over Four Consecutive Production Cycles. *Journal of Marine Science and Engineering* 2025, Vol. 13, Page 104, 13(1), 104. <https://doi.org/10.3390/JMSE13010104>
- Imsland, A. K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T. A., Foss, A., Vikingstad, E., & Elvegård, T. A. (2014). The use of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) to control sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer) infestations in intensively farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 424–425, 18–23. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2013.12.033>
- Imsland, A. K., Reynolds, P., Eliassen, G., Hangstad, T. A., Nytrø, A. V., Foss, A., Vikingstad, E., & Elvegård, T. A. (2015). Feeding preferences of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) maintained in open net-pens with Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 436, 47–51. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2014.10.048>
- InfoSalmon. (2023). *RAS en Chile y el Mundo* (Edición N°1). <https://infosalmon.cl/wp-content/uploads/2023/11/Ras-en-Chile-y-el-Mundo.pdf>
- Infosalmon. (2023, 7 de julio). Ocho centros de producción de salmones adoptan los skirt anti-Caligus de Garware. *Infosalmon*. <https://infosalmon.cl/ocho-centros-de-produccion-de-salmones-adoptan-los-skirt-anti-caligus-de-garware/>
- Instituto de Fomento Pesquero. (2021). Informe final: Estado del arte de los métodos de

- tratamiento no farmacológicos para Caligidosis, evaluación de sus ventajas y desventajas y sus posibles aplicaciones en Chile.
https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-114339_documento.pdf
- Intesal. (2021). Libro final salmonicultura chilena.
https://www.intesal.cl/assets/uploads/2021/11/EBOOK-FINAL_Salmonicultura-Chilena.pdf
- Johnson, S. C., Treasurer, J. W., Bravo, S., Nagasawa, K., & Kabata, Z. (2004). *A Review of the Impact of Parasitic Copepods on Marine Aquaculture*. Retrieved August 23, 2024, from <http://www.sinica.edu.tw/zool/zoolstud/43.2/229.pdf>
- Jónsdóttir, K. E., Misund, A. U., Sunde, L. M., Schrøder, M. B., & Volent, Z. (2023). Lice shielding skirts through the decade: Efficiency, environmental interactions, and rearing challenges. *Aquaculture*, 562, 738817.
<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2022.738817>
- Kaland, H., Aas, G. H., Amundsen, T., Gansel, L. C., & Tuene, S. A. (2023b). Cleaning behavior of ballan wrasse (*Labrus bergylta*) studied using sea lice dummies in large scale sea cages. *Aquaculture*, 567, 739240.
<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2023.739240>
- Kaur, K., Okubamichael, M. A., Eide, S. H., & Pittman, K. (2024). Impact of Krill Meal on Enhancing Skin Mucosal Health and Reducing Sea Lice in Atlantic Salmon. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(9), 1486.
<https://doi.org/10.3390/JMSE12091486/S1>
- Lee, J., & Lee, D. G. (2015). Antimicrobial Peptides (AMPs) with Dual Mechanisms: Membrane Disruption and Apoptosis. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 25(6), 759–764.
<https://doi.org/10.4014/JMB.1411.11058>
- Marín, S. L., González, M. P., Madariaga, S. T., Mancilla, M., & Mancilla, J. (2018). Response of *Caligus rogercresseyi* (Boxshall & Bravo, 2000) to treatment with Hydrogen Peroxide: Recovery of parasites, fish infestation and egg viability under experimental conditions. *Journal of Fish Diseases*, 41(6), 861–873.
<https://doi.org/10.1111/JFD.12691>; JOURNAL:JOURNAL:13652761;WGROU:P:STRING:PUBLICATION
- Marín, S. L., Martin, R., & Lewis, R. (2015). Effects of *Caligus rogercresseyi* (Boxshall & Bravo 2000) chalimus stage condition (dead, moribund, live) on the estimates of Cypermethrin BETAMAX® efficacy. *Aquaculture Research*, 46(S1), 30–36.
<https://doi.org/10.1111/ARE.12460>
- Mc Dermott, T., D'Arcy, J., Kelly, S., Downes, J. K., Griffin, B., Kerr, R. F., O'Keeffe, D., O'Ceallachain, M., Lenighan, L., Scholz, F., & Ruane, N. M. (2021b). Novel use of nanofiltered hyposaline water to control sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus*) and amoebic gill disease, on a commercial Atlantic salmon (*Salmo salar*) farm. *Aquaculture Reports*, 20, 100703.
<https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2021.100703>
- Molloy, S. D., Pietrak, M. R., Bouchard, D. A., & Bricknell, I. (2011). Ingestion of *Lepeophtheirus salmonis* by the blue mussel *Mytilus edulis*. *Aquaculture*, 311(1–4), 61–64. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2010.11.038>
- Moltumyr, L., Nilsson, J., Madaro, A., Seternes, T., Winger, F. A., Rønnestad, I., & Stien, L. H. (2022). Long-term welfare effects of repeated warm water treatments on Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 548, 737670.

<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.737670>

Montory, J. A., Chaparro, O. R., Averbuj, A., Salas-Yanquin, L. P., Büchner-Miranda, J. A., Gebauer, P., Cumillaf, J. P., & Cruces, E. (2020). The filter-feeding bivalve *Mytilus chilensis* capture pelagic stages of *Caligus rogercresseyi*: A potential controller of the sea lice fish parasites. *Journal of Fish Diseases*, 43(4), 475–484.

<https://doi.org/10.1111/JFD.13141>;JOURNAL:JOURNAL:13652761;WGROU:P:STRING:PUBLICATION

Muñoz, G., & Olmos, V. (2007). Revisión bibliográfica de especies ectoparásitas y hospedadoras de sistemas acuáticos de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 42(2), 89–148. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572007000200001>

Nash, C. E. (2003). Interactions of Atlantic salmon in the Pacific Northwest: VI. A synopsis of the risk and uncertainty. *Fisheries Research*, 62(3), 339–347.

[https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(03\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(03)00068-7)

Nilsson, J., Moltumyr, L., Madaro, A., Kristiansen, T. S., Gåsnes, S. K., Mejdell, C. M., Gismervik, K., & Stien, L. H. (2019). Sudden exposure to warm water causes instant behavioural responses indicative of nociception or pain in Atlantic salmon. *Veterinary and Animal Science*, 8, 100076.

<https://doi.org/10.1016/J.VAS.2019.100076>

Onabanjo, O., Meuwissen, T., Aslam, M. L., Schmitt, A. O., & Dagnachew, B. (2024). Use of whole-genome sequence data for fine mapping and genomic prediction of sea louse resistance in Atlantic salmon. *Frontiers in Genetics*, 15, 1381333.

<https://doi.org/10.3389/FGENE.2024.1381333>;BIBTEX

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1997). La acuicultura y las pesquerías basada en el cultivo. <https://acortar.link/wmXH1X>

Orrego, Rodrigo. (2018). La Caligidosis, una parasitosis que complica a la salmonicultura chilena. *Salmonexpert*. <https://acesse.dev/R4b50>

Østevik, L., Stormoen, M., Evensen, Ø., Xu, C., Lie, K. I., Nødtvedt, A., Rodger, H., Skagøy, A., Manji, F., & Alarcón, M. (2022). Effects of thermal and mechanical delousing on gill health of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 552, 738019. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2022.738019>

Overton, K., Oppedal, F., Stien, L. H., Moltumyr, L., Wright, D. W., & Dempster, T. (2019). Thermal delousing with cold water: Effects on salmon lice removal and salmon welfare. *Aquaculture*, 505, 41–46.

<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.02.046>

Pellón, M., Smok, C., Vásquez, B., del Sol, M., Rojas, M., Pellón, M., Smok, C., Vásquez, B., del Sol, M., & Rojas, M. (2022). Bioestructura de la Piel de la Aleta Caudal del Salmón del Atlántico, en Estado Smolt y sus Interacciones con el Estado Chalmus del *Caligus Rogercreseyi*. *International Journal of Morphology*, 40(2), 489–494.

<https://doi.org/10.4067/S0717-95022022000200489>

Pharmaq AS. (2012). *Anti-sea lice compositions and their use*. WO2012/001668A1. World Intellectual Property Organization.

<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2012001668>

Poppe, T. T., Dalum, A. S., Røislien, E., Nordgreen, J., & Helgesen, K. O. (2018). Termisk behandling av laks. *Norsk Veterinærtidsskrift*, (3), 130–156. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/330842866_Termisk_behandling_av_laks

- Powell, M. D., Reynolds, P., & Kristensen, T. (2015). Freshwater treatment of amoebic gill disease and sea-lice in seawater salmon production: Considerations of water chemistry and fish welfare in Norway. *Aquaculture*, 448, 18–28. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2015.05.027>
- Pulcea Ltd. (2017). *Ultrasonic eradication of sea lice on farmed fish* (WO2017044985A2). World Intellectual Property Organization. <https://patents.google.com/patent/WO2017044985A2/en>
- Ravagnan, E., Antognarelli, F., & Bakke, M. J. (2021). Mechanical delousing and fish welfare: Challenges and perspectives. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 421–439. <https://doi.org/10.1111/raq.12475>
- Salmonexpert. (2023, 9 de octubre). En Chile, sistema de nanoburbujas promete combatir al Caligus. *Salmonexpert*. <https://www.salmonexpert.cl/caligus-chile-moleaer/en-chile-sistema-de-nanoburbujas-promete-combatir-al-caligus/1234192>
- Santana, P. A., Arancibia, C., Tamayo, L., Cumillaf, J. P., Roman, T., Cárdenas, C., Paillan Suarez, C., Álvarez, C. A., & Guzman, F. (2024). First Insights about Antiparasitic and Action Mechanisms of the Antimicrobial Peptide Hepcidin from Salmonids against *Caligus rogercresseyi*. *Pharmaceutics*, 16(3), 378. <https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS16030378/S1>
- Sepúlveda, F., Marín, S.L., Carvajal, J., 2004. Metazoan parasites in wild fish and farmed salmon from aquaculture sites in southern Chile. *Aquaculture*. 235, 89-100. <https://encr.pw/9Kydl>
- SERNAPESCA, 2022. Res. Exe. 60-2022. Establece programa sanitario específico de vigilancia y control de Caligidosis (PSEV-CALIGIDOSIS). Valparaíso.
- SERNAPESCA. 2023. Informe con antecedentes sanitarios de agua dulce y mar año 1° semestre 2023. <https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/12/Informe-Sanitario-1S-2023-Publicacion-002.pdf>
- Sievers, M., Oppedal, F., Ditria, E., & Wright, D. W. (2019). The effectiveness of hyposaline treatments against host-attached salmon lice. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/S41598-019-43533-8;SUBJMETA=1737,2722,601,631;KWRD=ANIMAL+PHYSIOLOGY,ICHTHYOL OGY>
- Småge, S. B., Frisch, K., Brevik, Ø. J., Watanabe, K., & Nylund, A. (2016). First isolation, identification and characterisation of *Tenacibaculum maritimum* in Norway, isolated from diseased farmed sea lice cleaner fish *Cyclopterus lumpus* L. *Aquaculture*, 464, 178–184. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2016.06.030>
- Solé, M., Constenla, M., Padrós, F., Lombarte, A., Fortuño, J. M., van der Schaar, M., & André, M. (2021). Farmed salmon show no pathological alterations when exposed to acoustic treatment for sea lice infestation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1114. <https://doi.org/10.3390/JMSE9101114/S1>
- Solé, M., Lenoir, M., Fortuño, J. M., De Vreese, S., van der Schaar, M., & André, M. (2021). Sea Lice Are Sensitive to Low Frequency Sounds. *Journal of Marine Science and Engineering* 2021, Vol. 9, Page 765, 9(7), 765. <https://doi.org/10.3390/JMSE9070765>
- Sudvet Corp. (s.f.). *Rosseus Plus®: Water conditioner for fish welfare*. Sudvet. <https://www.sudvet.com>
- Sudvet SpA. (s.f.). *Lyptus Plus: Producto natural basado en aceites esenciales para acuicultura orgánica*. Sudvet. <https://www.sudvet.cl>

8. Anexos

a. Pautas para análisis crítico de la literatura a utilizar.

Figura 23. PAUTA PARA TITULO

Criterio	Si	Dudoso	No
El titulo indica claramente el contenido del estudio (problema y variables principales)			
Es claro, conciso y fácil de entender (máximo 15 palabras)			
Incluye palabras clave relevantes			
Utiliza lenguaje gramaticalmente correcto y sencillo			

Fuente: elaboración propia (2025).

Figura 24. PUATA PARA INTRODUCCION

Criterio	Si	Dudoso	No
Plantea claramente el problema de investigación			
Justifica la relevancia del estudio con antecedentes			
Capta la atención del lector desde el inicio			
Identifica vacíos de información en la literatura revisada			
Presenta un marco teórico sólido y relacionado con el problema			

Fuente: elaboración propia (2025).

Figura 25. PAUTA PARA OBJETIVOS

Criterio	Si	Dudoso	No
Los objetivos son claros, concretos y medibles			
Diferencian claramente los objetivos descriptivos de los analíticos			
Están formulados en forma afirmativa y con verbos activos			
La hipótesis (si existen) están bien definida y son coherentes con el problema de investigación			

Fuente: elaboración propia (2024).

Figura 26. PAUTA PARA RESULTADOS

Criterio	Si	Dudoso	No
Se presentan datos relevantes y en orden lógico (según objetivos/hipótesis)			
Los procedimientos estadísticos utilizados son adecuados para el nivel de medición			
Las tablas y gráficos son claros, auto explicativos y complementan el texto			

Fuente: elaboración propia (2024).

Figura 27. PAUTA PARA CONCLUSION Y DISCUSION

Criterio	Si	Dudoso	No
Las conclusiones responden a las preguntas de investigación			
Se comparan los resultados con estudios previos			
Se discuten las limitaciones del estudio y su impacto en los resultados			
Se proponen investigaciones futuras basadas en los hallazgos.			

Fuente: elaboración propia (2024).

Figura 28. PAUTA PARA BIBLOGRAFIA.

Criterio	Si	Dudoso	No
Las referencias son actuales (al menos el 50% de los últimos 5 años)			
Hay un numero adecuado de referencias (alrededor de 25 0 30)			
Se documentan correctamente las referencias (autor, titulo, fuente, año)			
La mayoría de las referencias son de tipo primario			

Fuente: elaboración propia (2024).

Figura 29. Encuesta

Encuesta sobre Prácticas de Prevención y Tratamiento para la Caligidosis.

Estimado/a participante:

*Esta encuesta tiene el propósito de recopilar información sobre los tratamientos y métodos de prevención utilizados actualmente para el control de la Caligidosis (producida por *Caligus rogercresseyi*) en la industria. A través de sus respuestas, se busca identificar las estrategias de prevención y tratamientos no farmacológicos más empleados para el control de esta patología.*

Hay que enfatizar que toda la información proporcionada será tratada con estricta confidencialidad. Los datos recopilados serán utilizados únicamente con fines de análisis general y en ningún caso se divulgarán respuestas individuales ni se asociará información específica a ninguna empresa o persona.

Se agradece su tiempo y colaboración en este estudio.

I. Herramientas de control no farmacológicas

En la siguiente sección encontrará preguntas relacionadas a aplicación de tratamientos no farmacológicos, métodos referidos a disminuir la carga parasitaria en los peces.

1. ¿Cuáles son los principales tratamientos farmacológicos que utilizan actualmente para el control de Caligidosis? *

- ☐ Azametifós
- ☐ Deltametrina
- ☐ Lufenuron
- ☐ Benzoato de emamectina
- ☐ Hexaflumuron
- ☐ Otro: _____

Nombre completo *

Tu respuesta

Cargo que ocupa en la empresa *

Tu respuesta

Nombre de la empresa *

Tu respuesta

2. En general ¿Cuántas veces se aplican herramientas farmacológicas en un ciclo productivo? *

Tu respuesta

3. ¿Cuáles son los principales tratamientos no farmacológicos que utilizan actualmente para el control de Caligidosis? *

☐ Lyptus plus®

☐ Rosseus®

☐ Aquaprime®

☐ Agua dulce

☐ Otro:

4. En general ¿Cuántas veces en un ciclo productivo se aplican herramientas no farmacológicas? *

Tu respuesta

5. ¿Ha observado alguna limitación o desafío en el uso de estos tratamientos? ¿Si o no? (Especificar) *

Tu respuesta

6. ¿Cómo considera el costo de implementación de métodos no farmacológicos comparado con los tratamientos farmacológicos convencionales? *

☐ Mucho más alto

☐ Algo más alto

☐ Similar

☐ Más bajo

☐ No tengo información

7. ¿Se ha reducido el número de tratamientos farmacológicos tras aplicar herramientas no farmacológicas? *

☐ Sí, han disminuido significativamente

☐ Sí, han disminuido levemente

☐ No ha cambiado

☐ Los tratamientos farmacológicos han aumentado

☐ No se ha evaluado

8. ¿Ha notado un impacto positivo en la producción al utilizar tratamientos no farmacológicos? ¿Si o No?, especificar por ejemplo, relacionado al crecimiento, reducción de mortalidad, reducción en tratamientos, disminución de enfermedades, etc. *

Tu respuesta

9. ¿Qué tipo de factor considera más crítico en la implementación exitosa de estos métodos? *

☐ Equipamiento tecnológico

☐ Capacitación del personal

☐ Investigación aplicada

☐ Servicios de monitoreo o evaluación externa

☐ Valor económico

☐ Otro:

II. Herramientas de prevención contra la Caligidosis.

En esta sección encontrará preguntas relacionadas a métodos de prevención de la Caligidosis, métodos referidos a evitar el contacto entre el parásito y los peces.

1. ¿Qué estrategias de prevención implementa su empresa para minimizar la infestaciones por Caligus? *

☐ Barrera física (Skirts)

☐ Nanoburbujas

☐ Ultrasonido

☐ Dietas funcionales

2. ¿Con qué frecuencia se aplican estrategias de prevención contra la Caligidosis en su empresa en un ciclo productivo? *

Tu respuesta _____

3. ¿Ha notado un impacto positivo en la producción al utilizar estrategias preventivas? Si o No, especificar por ejemplo, relacionado al crecimiento, reducción de mortalidad, reducción en tratamientos, disminución de enfermedades, etc. *

Tu respuesta _____

4. ¿Cómo considera el costo de implementación de métodos preventivos, comparado con los tratamientos farmacológicos convencionales? *

- ☐ Mucho más alto
- ☐ Algo más alto
- ☐ Similar
- ☐ Más bajo
- ☐ No tengo información
- ☐ Otro: _____

5. ¿Qué tipo de factor considera más crítico en la implementación exitosa de métodos preventivos? *

- ☐ Equipamiento tecnológico
- ☐ Capacitación del personal
- ☐ Investigación aplicada
- ☐ Servicios de monitoreo o evaluación externa
- ☐ Valor económico
- ☐ Otro: _____

6. ¿Se ha reducido el número de tratamientos farmacológicos tras aplicar métodos preventivos? *

- ☐ Si, han disminuido significativamente
- ☐ Si, han disminuido levemente
- ☐ No ha cambiado
- ☐ Los tratamientos han aumentado
- ☐ No se ha evaluado

III. Información general

1. ¿Considera que la percepción pública y social de la industria es un factor motivante para el uso de herramientas no farmacológicas y/o preventivas? *

- ☐ Si
- ☐ No
- ☐ Depende del método
- ☐ No lo sé

2. ¿Qué tan dispuestos se encuentran a probar nuevas tecnologías preventivas o de control no farmacológicas en el futuro? *

- ☐ Nada dispuesto
- ☐ Poco dispuesto
- ☐ Neutral
- ☐ Dispuesto
- ☐ Muy dispuestos

3. ¿Se han realizado estudios o mediciones del impacto ambiental de los métodos preventivos o tratamientos no farmacológicos en el centro o en área de cultivo? *

- ☐ Si, con resultados positivos
- ☐ Si, con resultados negativos
- ☐ No se han hecho mediciones
- ☐ No lo se

4. ¿Qué porcentaje aproximadamente del presupuesto sanitario se destina actualmente a métodos no farmacológicos o preventivos? *

Tu respuesta

5. ¿Considera que los métodos no farmacológicos o preventivos mejoran el bienestar de los peces? *

- ☐ Si
- ☐ No
- ☐ No lo se

Figura 30. Autores

Autor(es)	Año	Título del artículo o documento
Aaen, S. M. et al.	2015	Drug resistance in sea lice: A threat to salmonid aquaculture
Agarwal, A. et al.	2011	Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment
Álvarez Gatica, R. H.	2019	System for the elimination of parasites adhered to fish by directly applying electricity to the fish
Arancibia Jeraldo, L. C.	2023	La acuicultura mediante estanques con agua en recirculación (RAS)
Atkinson, A. J. et al.	2019	Nanobubble Technologies Offer Opportunities to Improve Water Treatment
Avci, F. G. et al.	2018	Membrane Active Peptides and Their Biophysical Characterization
Avelar, D. & Toro, E.	2018	PubMed: clinical queries, terminología MeSH y operadores booleanos
Azevedo, A. et al.	2019	Bulk nanobubbles in the mineral and environmental areas: Updating research and applications
Azócar Muñoz, C. E.	2025	Evaluación de vacunas antimicrobiota oral e inmersión contra Caligus rogercresseyi en salmón del Atlántico

Barrett, L. T. et al.	2020	Prevention not cure: a review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture
Bartsch, A. et al.	2013	Filtration of sea louse copepodids by bivalves under different regimes
Bergoeing, R.	2023	Salmonicultura en Chile su aporte económico y social
Bjørn Roth	2016	Avlusing av laksefisk med Optilice
Bobenrieth Astete, M. A.	2002	Normas para la revisión de artículos originales en Ciencias de la Salud
Borchel, A. et al.	2023	Without a pinch of salt: effect of low salinity on eggs and nauplii of the salmon louse
Boxshall, G. A. & Bravo, S.	2000	On the identity of the common Caligus from salmonid netpen systems in southern Chile
Bravo, S. et al.	2010	Effectiveness of hydrogen peroxide in the control of Caligus rogercresseyi
Bravo, S. et al.	2013	Comparison of the fecundity rate of Caligus rogercresseyi infesting Atlantic salmon
Bravo, S. et al.	2015	Evaluación de la efectividad del tratamiento con agua dulce para el control del piojo de mar
Brooker, A. J. et al.	2018	Sustainable production and use of cleaner fish for the biological control of sea lice
Bui, S. & Secombes, C. J.	2023	Functional feeds in salmon aquaculture
Bui, S. et al.	2020	Salmon lice survive the straight shooter: laser delousing
Bui, S. et al.	2022	Warm water treatment increased mortality risk in salmon
Burridge, L. et al.	2010	Chemical use in salmon aquaculture
Cáceres, P. et al.	2021	Genome-scale comparative analysis for host resistance against sea lice
Carlos Sánchez, J. et al.	2018	The Patagonian blenny a Chilean native fish with potential to control sea lice
Carvajal, J. et al.	1998	Native sea lice infestation of salmonids reared in netpen systems
Casuso, A. et al.	2022	Exploring Sea Lice Vaccines against Early Stages of Infestation
Compassion in World Farming	2021	Atlantic salmon in numbers
Correa, K. et al.	2017	Genomic prediction for sea louse resistance in Atlantic salmon
Dawood, M. A. O. et al.	2021	Antiparasitic and antibacterial effects in aquaculture
Donaldson, M. R. et al.	2008	Cold shock and fish
Elliott, J. M. & Elliott, J. A.	1995	Effect of temperature increase on critical thermal maximum

Engebretsen, S. et al.	2023	Salmon lice in the stomach contents of lumpfish
EnviroPatent Holding AS	2011	Compositions and methods for controlling ectoparasites on fish
Farlora, R. et al.	2018	Hydrogen peroxide treatment modulates transcription of sex-related genes
Favvas, E. P. et al.	2021	Bulk nanobubbles generation methods and applications
Flatsetsund Engineering AS	2024	Why FLS Caligus delousing system
Geitung, L. et al.	2019	Snorkel sea-cage technology decreases salmon louse infestation
Gismervik, K. et al.	2019	Thermal injuries in Atlantic salmon
González, L. et al.	2000	Differential infectivity of <i>Caligus flexispina</i>
González, M.	2006	Selectividad del copepodito de <i>Caligus rogercresseyi</i>
Groner, M. L. et al.	2019	Evaluating freshwater tolerance evolution in sea lice
Grøntvedt, R. et al.	2015	Desparasitación térmica de salmónidos
Grupo Marco S.p.A.	2015	Method and device for detaching parasites that adhere to the skin of fish
Grupo Marco S.p.A.	2016	Method and device for removing parasites adhering to the skin of fish
Guttu, M. et al.	2024	Decline in sea lice numbers during freshwater treatments
Hernández, R. et al.	2010	Metodología de la Investigación
Herrmann, B. et al.	2021	Size-dependent escape risk of lumpfish from salmon farm nets
Hjelle, B. M. K. et al.	2022	Acoustic delicing of Atlantic salmon
Imsland, A. K. et al.	2014	Use of lumpfish to control sea lice infestations
Imsland, A. K. et al.	2015	Feeding preferences of lumpfish maintained with Atlantic salmon
InfoSalmon	2023	RAS en Chile y el Mundo
Infosalmon	2023	Ocho centros de producción de salmones adoptan los skirt anti- <i>Caligus</i>
Instituto de Fomento Pesquero	2021	Estado del arte de métodos no farmacológicos para Caligidosis
Intesal	2021	Libro final salmonicultura chilena
Johnson, S. C. et al.	2004	Impact of parasitic copepods on marine aquaculture
Jónsdóttir, K. E. et al.	2023	Lice shielding skirts through the decade
Kaland, H. et al.	2023	Cleaning behavior of ballan wrasse studied using sea lice dummies
Kaur, K. et al.	2024	Impact of krill meal on reducing sea lice
Lee, J. & Lee, D. G.	2015	Antimicrobial peptides with dual mechanisms

Marín, S. L. et al.	2018	Response of <i>Caligus rogercresseyi</i> to hydrogen peroxide
Mc Dermott, T. et al.	2021	Novel use of nanofiltered hyposaline water to control sea lice
Molloy, S. D. et al.	2011	Ingestion of <i>Lepeophtheirus salmonis</i> by blue mussel
Moltumyr, L. et al.	2022	Long-term welfare effects of repeated warm water treatments
Montory, J. A. et al.	2020	Bivalves capture pelagic stages of <i>Caligus rogercresseyi</i>
Muñoz, G. & Olmos, V.	2007	Revisión de especies ectoparásitas y hospedadoras de Chile
Nash, C. E.	2003	Interactions of Atlantic salmon in the Pacific Northwest
Nilsson, J. et al.	2019	Behavioural responses to warm water exposure
Østevik, L. et al.	2022	Effects of thermal and mechanical delousing on gill health
Overton, K. et al.	2019	Thermal delousing with cold water
Pellón, M. et al.	2022	Bioestructura de la piel de la aleta caudal del salmón
Powell, M. D. et al.	2015	Freshwater treatment of amoebic gill disease and sea lice
Ravagnan, E. et al.	2021	Mechanical delousing and fish welfare
Salmonexpert	2023	Sistema de nanoburbujas promete combatir al <i>Caligus</i>
Santana, P. A. et al.	2024	Antiparasitic mechanisms of hepcidin against <i>Caligus</i>
Sepúlveda, F. et al.	2004	Metazoan parasites in wild fish and farmed salmon
SERNAPESCA	2022	Programa sanitario de vigilancia y control de Caligidosis
SERNAPESCA	2023	Informe con antecedentes sanitarios de agua dulce y mar
Sievers, M. et al.	2019	Effectiveness of hyposaline treatments against salmon lice
Småge, S. B. et al.	2016	Identification of <i>Tenacibaculum maritimum</i> in cleaner fish
Solé, M. et al.	2021	Farmed salmon exposed to acoustic treatment
Solé, M. et al.	2021	Sea lice are sensitive to low frequency sounds
Svendsen, E. et al.	2018	Effect of ultrasonic cavitation on organisms
Sviland Walde, C. et al.	2021	Cage-level mortality following delousing treatments
Thompson, C. et al.	2023	Delousing efficacy of freshwater and hyposaline baths
Treasurer, J.	1994	Prey selection by a cleaner fish on Atlantic salmon

Treasurer, J. W. et al.	2000	Resistance of sea lice to hydrogen peroxide
Tsuge, H.	2014	Micro- and nanobubbles fundamentals and applications
Tveitnes, S.	2017	Ultrasonic eradication of sea lice on farmed fish
Valenzuela-Muñoz, V. et al.	2016	Comparative immunity during Caligus infestation
Vargas-Chacoff, L. et al.	2016	Differential metabolic changes during Caligus infestation
Vargas-Chacoff, L. et al.	2019	Neuroendocrine stress response during sea lice infestation
Vera, E.	2023	IPath prometedora vacuna contra el piojo de mar
Villarroel, C.	2010	Evaluación de tratamientos farmacológicos contra Caligus