



Informe final Proyecto FIP N°2014-62:

**Diseño y evaluación de efectividad de diferentes
estrategias integradas para el control del ectoparásito
Caligus rogercresseyi en salmónidos**

AVS Chile S.A.

Abril 2017



AVS Chile is an applied research company made up of Chilean and Norwegian scientists who have been working jointly with companies, universities and research centers since 2007 to meet the challenges posed by R&D in Chilean aquaculture.

Together with researchers at mother institutions in Norway – SINTEF Fisheries and Aquaculture and VESO – AVS Chile covers the whole aquaculture value chain

Main office in Puerto Varas:

Imperial 0655, Office 4 A
555 07 10 Puerto Varas
CHILE

Founders in Norway:

SINTEF Fisheries and Aquaculture
PO Box 4762 Sluppen
NO-7465 Trondheim

VESO - Oslo
Veterinærmedisinsk Oppdragscenter
AS PO Box 300 Sentrum
0103 Oslo
VESO – Viken

Company contact information:

Tel: +56 65 2234 650

Fax: +56 65 2234 650

E-mail: info@avs-chile.cl

Internet: www.avs-chile.cl

Business ID: 76.948.870-7



AVS Chile SA

Dirección:

Imperial 0655 Of. 4-A

Tel.: +56 65 234650

info@avs-chile.cl

www.avs-chile.cl

RUT: 76.948.870-7

Informe final

	<i>Tipo de reporte:</i> Confidencial
<i>Título:</i> Proyecto FIP N°2014-62. Diseño y evaluación de efectividad de diferentes estrategias integradas para el control del ectoparásito <i>Caligus rogercresseyi</i> en salmónidos	<i>Fecha:</i> Abril, 2017
	<i>No de páginas y anexos:</i> 98 páginas 30 anexos en CD/ Bases de Datos
<i>Autores:</i> Mary Ann Hausdorf, Claudia Venegas, Javier Unibazo, Vicente Castro, Doris Meixner, Joaquin Aurtenechea, Pablo Ibieta, Valentina Tapia.	<i>Project no. (AVS):</i> 18001
<i>Cliente:</i> Fondo de Investigación Pesquera – Subsecretaría de Pesca y Acuicultura	<i>Contacto:</i> Alejandro Barrientos Malú Zavando
<i>Palabras claves:</i> <i>Caligus rogercresseyi</i> , cargas parasitarias, estrategias de control integradas, tratamientos coordinados.	

1 Resumen ejecutivo

El propósito de este estudio fue evaluar la efectividad de diferentes estrategias farmacológicas para el control del ectoparásito *Caligus rogercresseyi* en salmónidos incluyendo antecedentes oceanográficos y epidemiológicos en la macrozona seleccionada, macrozona 3.

En este contexto, el presente informe reúne las actividades realizadas en el marco de la ejecución del proyecto FIP 62-2014 “Diseño y evaluación de la efectividad de diferentes estrategias integradas para el control del ectoparásito *Caligus rogercresseyi* en salmónidos”. Inicialmente, para cumplir con los objetivos del estudio, se realizó un exhaustivo levantamiento de información tanto epidemiológica como de la efectividad de los antiparasitarios utilizados. La información recabada, representó antecedentes que fundamentaron el posterior diseño de las estrategias integradas de control.

Dentro de los objetivos de la iniciativa, se desarrolló el levantamiento de información oceanográfica, actividad que se llevó a cabo en dos áreas de trabajo de la macrozona 3: Este Isla Apiao y Este Butachauques. En este contexto se realizó un estudio de correntometría lagrangiana mediante derivadores con GPS incorporado, paralelamente se efectuaron perfilamientos de columna mediante CTDO hasta los 180 m de profundidad, además de muestreos de columna para análisis cuantitativo y cualitativo de zooplancton, con el objetivo de definir el nivel de copepoditos de *Caligus* en las zonas aledañas a los centros de cultivo. Una vez recopilada dicha información, se procedió a validar el modelo de simulación oceanográfica previamente diseñado y ejecutado en la macrozona 3.

Adicionalmente, se recopiló información sanitaria y productiva del periodo 2012 a 2015 de los centros de cultivos de la macrozona, a partir de la cual se realizaron diversos análisis estadísticos obteniendo como resultados la caracterización epidemiológica de la carga parasitaria y de los centros de la macrozona, factores que afectan en la eficacia de los tratamientos, y el efecto de las corrientes oceanográficas en relación a la infestación con *Caligus*.

A partir de la información bibliográfica disponible y la información tanto epidemiológica como oceanográfica (modelo SINMOD) recopilada dentro del marco del proyecto, se generaron 4 estrategias integradas de control de *Caligus*. Específicamente se propusieron 2 estrategias epidemiológicas las cuales consideran realizar los tratamientos en forma secuencial en la macrozona 3, dependiendo del peso promedio de los peces (y biomasa), cargas de *Caligus* y centros que históricamente han tenidos mayores cargas de *Caligus* (según los

análisis desarrollados). Por otra parte, las 2 estrategias oceanográficas proponen secuenciar los tratamientos según la dirección de la corriente predominante (norte a sur) y según la velocidad de las corrientes.

Para la evaluación de las estrategias se definieron una serie de indicadores sanitarios y operativos con el objetivo de recopilar información robusta para la identificación de puntos críticos y ranking de efectividad de estrategias. Como resultado, se evaluaron 2 estrategias oceanográficas en base a los indicadores sanitarios de corto plazo. Adicionalmente, se levantaron los puntos críticos de cada una de las estrategias y se generó un ranking de implementación de las estrategias oceanográficas y epidemiológicas.

En base la información recopilada y la experiencia de la puesta en marcha de las estrategias y su evaluación, se desarrolló un protocolo de tratamiento coordinado para la macrozona 3. El documento en mención considera una serie de etapas a seguir para la aplicación de estrategias integradas de control. El protocolo toma como referencia el estudio del comportamiento epidemiológico y análisis oceanográfico basal en un periodo determinado, eventos y puntos críticos identificados, desviaciones y posibles optimizaciones para la generación de un protocolo ajustado según el comportamiento dinámico de esta enfermedad parasitaria y las variaciones medioambientales del área.

La metodología para la evaluación de los tratamientos coordinados tanto para la X y XI región - que fue diseñada en base a la experiencia generada dentro del marco del presente proyecto- consideró el diseño, implementación y evaluación de diferentes estrategias integradas de control y es presentada en formato Excel con el objetivo de facilitar su uso/aplicación posterior. La metodología considera la recopilación de información asociada a las estrategias testeadas en conjunto con la información necesaria para el cálculo de los indicadores sanitarios y operativos.

A modo de conclusión general, se indica que en la actualidad existe información disponible tanto oceanográfica como sanitaria /productiva de los centros de cultivos ubicados en la macrozona 3, la cual puede ser analizada para generar información fundamental para el diseño de estrategias integradas de control de Caligus. Adicionalmente, estas estrategias oceanográficas y epidemiológicas pueden ser implementadas y evaluadas en el área para lo cual es fundamental la participación de todas las empresas con centros de cultivos activos en el área.

Actualmente, la macrozona 3 cuenta con un protocolo de tratamiento coordinado el cual puede ser aplicado según la información disponible y llevado a cabo por un comité técnico conformado para un representante de cada una de las empresas productoras presentes en el área.

Finalmente, la experiencia derivada tras la ejecución del presente proyecto ha generado como resultado una metodología para la evaluación de los tratamientos coordinados, la cual puede ser aplicada en base a indicadores sanitarios y operacionales independiente de la zona geográfica donde estén ubicados los centros de cultivo.

1.1 Executive summary

The aim of this study is to assess the effectiveness of different integrated strategies to control *Caligus rogercresseyi* in salmonids including oceanographic and epidemiological information of macrozone 3.

In this context, the report includes the activities performed in the frame of the project FIP 62-2014 "Design and assessment of the effectiveness of different integrated strategies to control the ectoparasite *Caligus rogercresseyi* in salmonids. Initially, in order to comply with the objectives of the study, an exhaustive survey of both epidemiological information and the effectiveness of the antiparasitics used was carried out. The information collected, were data that supported the subsequent design of the integrated strategies of control

The objectives of the initiative include the survey of oceanographic information, activity performed in 2 work areas in macrozone 3: Este Isla Apiao y Este Butachauques. In this context, a Lagrangian currentometry study using GPS driflines was performed, in parallel, column profiling was performed by CTDO up to 180 m depth, as well as column sampling for quantitative and qualitative analysis of zooplankton, with the objective of define the level of *Caligus* copepodits, in the areas surrounding the salmon farming sites. Once this information was collected, we proceeded to validate the oceanographic simulation model previously designed and executed in macrozone 3.

In addition, we collected sanitary and production data for the period 2012 to 2015 from salmon farming sites in the macrozone 3, from which various statistical analyzes were carried out, obtaining as a result the epidemiological characterization of the parasite load and of the salmon farming sites, factors that affect the effectiveness of treatments, and the effect of oceanographic currents in relation to infestation with *Caligus*.

Based on available bibliographic information and epidemiological and oceanographic information (SINMOD model) collected within the framework of the project, 4 integrated *Caligus* control strategies were generated. Specifically, 2 epidemiological strategies were proposed which consider sequential treatments in macrozone 3, depending on the average weight of fish (and biomass), *Caligus* loads and sites that historically have had higher loads of *Caligus* (according to analyzes developed). On the other hand, the 2 oceanographic strategies propose to sequence the treatments according to the direction of the predominant current (north to south) and according to the currents velocity.

For the strategies assessment, a series of sanitary and operational indicators were defined with the objective of gathering robust information for the identification of critical points and ranking of strategies effectiveness. As a

result, two oceanographic strategies were evaluated based on short-term health indicators. Additionally, the critical points of each of the strategies were collect and a ranking of implementation of the oceanographic and epidemiological strategies was generated.

Based on the gathered information and the experience of the implementation of the strategies and their evaluation, a coordinated treatment protocol was developed for macrozone 3. The document in question considers a series of stages to be followed for the application of integrated control strategies. The protocol takes as reference the study of epidemiological behavior and baseline oceanographic analysis in a given period, identified events and critical points, deviations and possible optimizations for the generation of a protocol adjusted according to the dynamic behavior of the disease and the environmental variations of the area.

The methodology for treatments coordinated assessment for both the X and XI region that was designed based on the experience generated within this project framework; considering the design, implementation and evaluation of different integrated control strategies and is presented in Excel format with the aim of facilitating its subsequent use / application. The methodology considers the collection of information associated with the strategies tested in conjunction with the information necessary for health and operational indicators calculation.

As a general conclusion, it is indicated that currently there is available oceanographic and health / production information from the salmon farming sites in macrozone 3, which can be analyzed and obtain fundamental information for the design of integrated strategies to Caligus control. In addition, these oceanographic and epidemiological strategies can be implemented and evaluated in the area for which the participation of all the companies with active sites in the area is fundamental.

Actually, macrozone 3 has a coordinated treatment protocol which can be applied according to available information and carried out by a technical committee formed by a representative member of each of the producing companies present in the area.

Finally, the experience derived from the implementation of this project results in a methodology for the coordinated treatments assesment, which can be applied based on health and operational indicators independent of the geographical area where the salmon farming sites are located.

2 Índice general

1	Resumen ejecutivo	4
1.1	Executive summary	7
2	Índice general	9
3	Índice de figuras y tablas	12
4	Índice de anexos	14
5	Objetivo general	15
6	Objetivos específicos	15
7	Antecedentes	16
8	Metodología de trabajo	17
8.1	Objetivo 1: Efectuar un levantamiento de información epidemiológica de <i>Caligus rogercresseyi</i> en salmónidos en Chile	17
8.2	Objetivo 2: Efectuar un levantamiento de información de la efectividad de los antiparasitarios utilizados en el control del piojo de mar en la salmonicultura en Chile y el mundo	18
8.3	Objetivo 3: Levantar y procesar información oceanográfica para ser utilizada en las propuestas de estrategias de control y evaluaciones de su efectividad en una Macrozona determinada	19
8.3.1	Definición de Macrozona y periodo de estudio para levantamiento de información oceanográfica	19
8.3.2	Realización de monitoreos en terreno	20
8.3.3	Análisis de la información oceanográfica obtenida	20
8.3.4	Recopilación de información productiva y de operación de tratamientos	21
8.3.5	Análisis epidemiológicos	22
8.4	Objetivo 4: Diseñar distintas estrategias integradas de control del ectoparásito <i>Caligus rogercresseyi</i> en una macrozona determinada	24
8.4.1	Reuniones Comité técnico	24
8.4.2	Levantamiento de la información de estrategias de tratamientos en la macrozona 3	25
8.4.3	Levantamiento de la información sanitaria de centros de cultivo macrozona 3	25
8.4.4	Integración de la información y generación de estrategias	25
8.4.5	Georreferenciación de centros de cultivo de la macrozona 3	26
8.5	Objetivo 5: Evaluar la efectividad de las distintas estrategias integradas de control	26
8.5.1	Presentación de estrategias de control y compromiso de participación de empresas	26
8.5.2	Reuniones de coordinación con empresas productoras y levantamiento de información actualizada de centros activos	27
8.5.3	Implementación de las estrategias integradas de control	27
8.5.4	Definición y aplicación de indicadores	28
8.5.5	Identificación de puntos críticos y ranking de efectividades de estrategias	28
8.6	Objetivo 6: Elaborar y validar un protocolo de tratamiento coordinado considerando los puntos críticos a partir de las distintas estrategias de control propuestas	29

8.7. Objetivo 7: Diseñar un modelo o metodología para evaluar la efectividad de los tratamientos coordinados en las macrozonas de la X y XI regiones	29
9 Resultados	30
9.1 Objetivo 1: Efectuar un levantamiento de información epidemiológica de <i>Caligus rogercresseyi</i> en salmónidos en Chile.....	30
9.2 Objetivo 2: Efectuar un levantamiento de información de la efectividad de los antiparasitarios utilizados en el control del piojo de mar en la salmonicultura en Chile y el mundo	30
9.3 Objetivo 3: Levantar y procesar información oceanográfica para ser utilizada en las propuestas de estrategias de control y evaluaciones de su efectividad en una Macrozona determinada	30
9.3.1 Realización de monitoreos en terreno	30
9.3.2 Análisis de la información oceanográfica obtenida	31
9.3.3 Recopilación de información productiva y de operación de tratamientos.....	32
9.3.4 Análisis epidemiológicos	33
9.4. Objetivo 4: Diseñar distintas estrategias integradas de control del ectoparásito <i>Caligus rogercresseyi</i> en una macrozona determinada	35
9.4.1 Reuniones Comité técnico	35
9.4.2 Diagnóstico de la situación actual respecto a la estrategia de tratamientos.....	35
9.4.3 Información de situación sanitaria de los centros de cultivo de la macrozona 3	38
9.4.4 Integración de la información	38
9.4.4.1 Bibliografía.....	38
9.4.4.2 Oceanografía	39
9.4.4.3 Análisis epidemiológico	40
9.4.5 Geo-referenciación de centros de cultivo de la macrozona 3.....	41
9.4.6 Estrategias integradas de control del ectoparásito <i>Caligus rogercresseyi</i>	41
9.4.6.1 Estrategias epidemiológicas	42
9.4.6.2 Estrategias oceanográficas	45
9.4.7 Fármaco a utilizar y periodo de aplicación de las estrategias.....	47
9.4.8 Comparación de la estrategia utilizada para el control de <i>C. rogercresseyi</i> por la industria durante el periodo en estudio con las estrategias presentadas	48
9.5. Objetivo 5: Evaluar la efectividad de las distintas estrategias integradas de control propuestas	49
9.5.1 Presentación de estrategias de control y compromiso de participación de empresas.	49
9.5.2 Definición y aplicación de indicadores	49
9.5.3 Reuniones de coordinación con empresas productoras y levantamiento de información actualizada de centros activos.....	52
9.5.3.1 Estrategias pre programadas	54
9.5.3.2. Estrategias según realización de tratamientos	58
9.5.4 Implementación de las estrategias integradas de control y evaluaciones en terreno.....	60
9.5.5 Identificación de puntos críticos y <i>ranking</i> de efectividad de estrategias	61
9.6 Objetivo 6: Elaborar y validar un protocolo de tratamiento coordinado considerando los puntos críticos a partir de las distintas estrategias de control propuestas	63

9.7. Objetivo 7: Diseñar un modelo o metodología para evaluar la efectividad de los tratamientos coordinados en las macrozonas de la X y XI regiones	69
9.8 Reuniones Subsecretaría de Pesca y Acuicultura	77
9.9 Talleres de entrega de resultados del proyecto	78
10 Análisis y discusión de resultados	79
11 Conclusiones.....	92
12 Referencias bibliográficas.....	95
13 Anexos*	96

3 Índice de figuras y tablas

Figura 1. Información de entrada utilizada para la generación de las estrategias integradas de control de Caligus	26
Figura 2. Plan de control de <i>C. rogercresseyi</i> durante el periodo de estudio en base a la normativa vigente, coordinación a nivel de industria y Agrupación de Concesión de Salmónidos (ACS).....	36
Figura 3. Dirección y velocidad de corrientes de la macrozona 3 en promedio anual (Fuente: SINMOD).....	40
Figura 4. Mapa de Macrozona 3 y respectivas ACS, con centros de cultivo según especie (verde: salmón del Atlántico; amarillo: trucha arcoiris; azul: salmón coho).....	41
Figura 5. Mapa de macrozona 3 y respectivas ACS, con centros de cultivo según especie (verde: salmón del Atlántico; amarillo: trucha arcoiris; azul: salmón coho).....	44
Figura 6. Zona norte y sur definidas en base al promedio anual de dirección y velocidad de corrientes Macrozona 3 a 4 metros de profundidad (Fuente: SINMOD Chile).....	45
Figura 7. Zona 1 y 2 definidas en base al promedio anual de dirección y velocidad de corrientes Macrozona 3 a 4 metros de profundidad (Fuente: SINMOD Chile).....	46
Figura 8. Ventanas oficiales de coordinación de tratamiento inmersión Caligus periodo julio-noviembre 2016.	53
Figura 9. Propuesta de periodo de implementación de estrategia oceanográfica según ventanas oficiales de coordinación de tratamiento inmersión meses julio y agosto 2016.	54
Figura 10. Número de centros según especie de cultivo, total de centros, peso y número de peces promedio y cargas de Caligus de la semana 24 en macrozona 3.....	55
Figura 11. Número de centros según especie de cultivo, total de centros, peso y número de peces promedio y cargas de Caligus de la semana 27 en macrozona 3.....	56
Figura 12. Número de centros según especie de cultivo, total de centros, peso y número de peces promedio y cargas de Caligus de la semana 32 en macrozona 3.....	57
Figura 13. Centros de cultivo Huyar y Lin Lin que realizaron estrategia oceanográfica A.....	60
Figura 14. Centros de cultivo Huyar y Lin Lin que realizaron estrategia oceanográfica B.....	61
Figura 15. Dirección y velocidad de corrientes a 0-8 mt de profundidad en X región durante periodo enero abril 2015. 70	
Figura 16. Dirección y velocidad a 0-8 mt de profundidad en XI región durante periodo enero abril 2015.....	71
Figura 17. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2010.	73
Figura 18. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2011.	73
Figura 19. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2012.	74
Figura 20. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2013.	74
Figura 21. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2014.	75
Figura 22. Evolución de las cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo durante el periodo 2010-2014 en X región.....	75

Figura 23. Evolución de las cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo durante el periodo 2010-2014 en XI región..... 76

Tabla 1. Actividades realizadas durante estudio oceanográfico, macrozona 3..... 31

Tabla 2. Resultados de los monitores de zooplancton (copepoditos de Caligus) en la macrozona 3. 31

Tabla 3. Niveles gatillantes para realizar tratamientos según especie de cultivo y peso promedio (Kg)..... 37

Tabla 4. Información de fármacos disponibles para el control de Caligus en Chile y reportes de baja sensibilidad 39

Tabla 5. Promedio de cargas de Caligus de los centros clasificados como potencialmente diseminadores (clúster 3). 45

Tabla 6. Clasificación y propuesta de las estrategias de control de *C. rogercresseyi* y su comparación con las estrategias actuales..... 48

Tabla 7. Indicadores sanitarios de estrategia oceanográfica A 60

Tabla 8. Indicadores sanitarios de estrategia oceanográfica B 61

Tabla 9. Descripción, características y ranking de estrategias epidemiológicas y oceanográficas 62

4 Índice de anexos

Anexo 1 Información oceanográfica Este Isla Apiao.....	96
Anexo 2 Información oceanográfica Este Butachauques	96
Anexo 3. Metodología muestreo zooplancton	96
Anexo 4. Listado de asistentes y presentación proyecto FIP 2014-62	96
Anexo 5. Carta de solicitud de información sanitaria, productiva y de operación a las empresas productoras..	96
Anexo 6. Minutas de reuniones con empresas productoras para solicitud de información sanitaria y productiva. 96	
Anexo 7. Formato de Base de Datos solicitadas a empresas productoras a través de Intesal.....	96
Anexo 8. Base de datos de información sanitaria y productiva de empresas productoras (Información Intesal)	96
Anexo 9. Caracterización epidemiológica de la carga parasitaria y éxito de tratamientos antiparasitarios de la macrozona 3, 2012-2015.....	96
Anexo 10. Clasificación de centros de cultivo ubicados en macrozona 3 en relación a su infestación por Caligus 2012-2015	96
Anexo 11. Efecto de las corrientes marinas sobre la infección por C. Roger cresseyi.	96
Anexo 12. Base de datos de información sanitaria y productiva de empresas productoras (información Sernapesca)	96
Anexo 13. Carta de información de estrategias de control de Caligus y compromiso de participación de empresas 96	
Anexo 14. Información solicitada a empresas durante coordinación de estrategias.....	96
Anexo 15. Información solicitada para cálculo de indicadores posterior a aplicación de estrategia.....	96
Anexo 16. Check list operacional para baños terapéuticos contra Caligus en centros de cultivo.	96
Anexo 17. Revisión - Antecedentes epidemiológicos de Caligus rogercresseyi y Efectividad de tratamientos utilizados para el control, del piojo de mar.....	97
Anexo 18. Información oceanográfica Lin Lin y Tenaun.....	97
Anexo 19. Reporte de validación modelo SINMOD.....	97
Anexo 20 Mapas de dirección y velocidad de corrientes mensual y promedio anual.	97
Anexo 21. Minutas reuniones comité técnico para el diseño de estrategias integradas de control para Caligus	97
Anexo 22. Minuta y participantes reunión presentación estrategias a empresas productoras	97
Anexo 23. Actividades realizadas para la implementación de las estrategias de control.	97
Anexo 24. Protocolo de tratamiento coordinado para el control de Caligus rogercresseyi en Macrozona 3.....	97
Anexo 25. Metodología para la evaluación de tratamientos coordinados en X y XI región.....	97
Anexo 26. Minuta reuniones Subsecretaria de Pesca y Acuicultura	97
Anexo 27. Taller de discusión de resultados con Subpesca.	97
Anexo 28. Taller de entrega de resultados a partes interesadas	97
Anexo 29 Personal participante por actividad desarrollada según objetivos específicos.....	97
Anexo 30 Carta Gantt final según objetivos y actividades del proyecto.	97

5 Objetivo general

Evaluar la efectividad de diferentes estrategias farmacológicas integradas para el control del ectoparásito *Caligus rogercresseyi* en salmónidos incluyendo antecedentes oceanográficos en la macrozona determinada.

6 Objetivos específicos

1. Efectuar un levantamiento de información epidemiológica de *Caligus rogercresseyi* en salmónidos en Chile.
2. Efectuar un levantamiento de información de la efectividad de los antiparasitarios utilizados en el control del piojo de mar en la salmonicultura en Chile y el mundo.
3. Levantar y procesar información oceanográfica para ser utilizada en las propuestas de estrategias de control y evaluaciones de su efectividad en una Macrozona determinada.
4. Diseñar distintas estrategias integradas de control del ectoparásito *Caligus rogercresseyi* en una macrozona determinada.
5. Evaluar la efectividad de las distintas estrategias integradas de control propuestas.
6. Elaborar y validar un protocolo de tratamiento coordinado considerando los puntos críticos a partir de las distintas estrategias de control propuestas.
7. Diseñar un modelo o metodología para evaluar la efectividad de los tratamientos coordinados en las macrozonas de la X y XI regiones.

7 Antecedentes

La caligidosis en Chile es una enfermedad producida por el ectoparásito *Caligus rogercresseyi*, comúnmente llamado piojo de mar, copépodo que parasita salmónidos de cultivo generando importantes pérdidas económicas debido principalmente al daño directo y alteración del crecimiento del pez y también a la inmunosupresión por el stress que genera facilitando la co-infección con otros agentes bacterianos y virales.

Al inicio de la ejecución del presente proyecto, de acuerdo a los datos entregados por Sernapesca, en el informe sanitario semestral del año 2014, se puede evidenciar que durante el año 2013 existe un aumento de centros en las categorías de cargas superiores a 9 parásitos adultos por pez, en comparación al año anterior, diferencia que es mayor en la Región de Los Lagos, ya que esta durante el año 2012 registró menores cargas parasitarias que la Región de Aysén.

Las medidas de control del piojo de mar en el mundo han estado basadas en el uso de fármacos, cuyos compuestos químicos, en la mayoría de los casos han generado resistencia por parte del parásito, en consecuencia una reducción de la eficacia del tratamiento..

Desde el año 2000 hasta la fecha, se han autorizado en Chile los siguientes antiparasitarios para el tratamiento de la caligidosis, en orden de autorización: benzoato de emamectina, deltametrina, diflubenzuron, cipermetrina y azametifos. En la actualidad, existe información científica disponible que indica la disminución de eficacia de algunos de estos productos, y en algunos casos generación de resistencia por parte del parásito. Adicionalmente, en el año 2016 se incorporó a la lista de fármacos disponibles el principio activo lufenuron para el control de *C. rogercresseyi* en Chile.

Frente a este escenario, existe preocupación en Chile, respecto a la escasa disponibilidad de fármacos para el control de piojo de mar, sobre la resistencia generada por el uso de estos y el aumento de tratamientos. Es por esta razón que el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura a través del Programa Sanitario Específico de Vigilancia y Control de Caligidosis (PSEVC- Caligidosis) y resoluciones anexas ha obligado a los centros de cultivo que forman parte de las Agrupaciones de Concesiones sanitarias (ACS) con altas cargas parasitarias y altas mortalidades - por SRS principalmente- a tratar en forma coordinada en base a la rotación de productos farmacológicos.

Considerando los antecedentes anteriormente expuestos y que en la actualidad no existe información oficial de la cantidad de tratamientos realizados por centro, ACS y macrozonas y su efectividad, surge la necesidad de

generar estrategias para combatir el Caligus, las cuales deben considerar ampliar las opciones farmacológicas y de manejo integrado entre centros de cultivo que comparten condiciones oceanográficas y epidemiológicas comunes.

8 Metodología de trabajo

La metodología utilizada durante el proyecto se describe a continuación de acuerdo a los objetivos específicos establecidos.

8.1 Objetivo 1: Efectuar un levantamiento de información epidemiológica de *Caligus rogercresseyi* en salmónidos en Chile

Se definió un índice temático, con la finalidad de seguir un orden lógico tanto para el trabajo propiamente tal como para el informe.

La búsqueda y sistematización de la información relacionada con la epidemiología de *C. rogercresseyi* en Chile, consideró la obtención de material a partir de literatura científica e información entregada en libros y tesis doctorales desarrollados a nivel nacional e internacional. Asimismo, se solicitó al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca) el historial de cargas parasitarias según ACS durante los últimos 5 años (periodo 2010-2014).

En forma paralela, la revisión se enfocó en la búsqueda de información epidemiológica de la especie de piojo de mar encontrada en el hemisferio norte (*Lepeophtheirus salmonis*), utilizando diversas fuentes de información disponibles, tales como publicaciones científicas de los principales países productores de salmónes afectados por el parásito y el apoyo de expertos extranjeros (Norwegian Veterinary Institute, Noruega). Asimismo, se realizó una extensiva búsqueda de información pública en sitios oficiales de organizaciones internacionales relacionadas con temas sanitarios de la industria acuícola, con el objetivo de obtener información actualizada relacionada con la epidemiología del parásito.

La presente revisión permitió recopilar antecedentes necesarios para describir la epidemiología de *C. rogercresseyi* en Chile y su comparación con los principales países afectados por *L. salmonis*, permitiendo contar con una línea base de información que fue utilizada en etapas posteriores del proyecto, específicamente para la definición de las estrategias de control integradas.

8.2 Objetivo 2: Efectuar un levantamiento de información de la efectividad de los antiparasitarios utilizados en el control del piojo de mar en la salmonicultura en Chile y el mundo

Se definió un índice temático, con la finalidad de seguir un orden lógico tanto para el trabajo propiamente tal como para el informe. El trabajo fue realizado en base a cada principio activo utilizado para el control del parásito, considerando tratamientos vía oral e inmersión

La búsqueda y sistematización de la información relacionada con la efectividad de tratamientos antiparasitarios en Chile, consideró la obtención de material a partir de literatura científica e información entregada libros científicos relacionados con farmacología. Asimismo, se solicitó a Sernapesca información relacionada con la eficacia de los tratamientos aplicados en centros de cultivo; sin embargo, esta información no se encontraba disponible al momento de la solicitud. Se recopiló información científica referente a la pérdida de eficacia de fármacos y resistencia del parásito a los diferentes principios activos utilizados. La revisión además se enfocó en la búsqueda de información relacionada a la eficacia y resistencia de los fármacos utilizados para el control de *L. salmonis*, utilizando diversas fuentes de información disponibles, principalmente se consideraron publicaciones científicas de los principales países productores de salmones (Noruega, Canadá y Escocia) afectados por el parásito. Asimismo, se realizó una extensiva búsqueda de informes públicos e información obtenida a través de proyectos de investigación desarrollados por los diferentes países en sitios oficiales de organizaciones internacionales relacionadas con temas sanitarios y ambientales de la industria acuícola, con el objetivo de obtener información actualizada sobre la de eficacia y resistencia de los fármacos utilizados. Además, se incorporó información obtenida en proyectos ejecutados por AVS Chile relacionados con tratamientos antiparasitarios para el control de *C. rogercresseyi*.

8.3 Objetivo 3: Levantar y procesar información oceanográfica para ser utilizada en las propuestas de estrategias de control y evaluaciones de su efectividad en una Macrozona determinada

8.3.1 Definición de Macrozona y periodo de estudio para levantamiento de información oceanográfica

La definición de la Macrozona se realizó considerando los siguientes criterios:

- Que fuese una Macrozona representativa de la industria, tanto en número de centros activos como por su historial sanitario.
- Representatividad de especies salmónidas cultivadas
- Contacto con las empresas presentes en la Macrozona
- Existencia de información oceanográfica de la Macrozona

La definición de la macrozona se realizó considerando en primer lugar zonas donde AVS contaba con modelos oceanográficos desarrollados en la X y XI regiones. Además, se consideró la información sanitaria disponible por parte de Sernapesca, específicamente, el historial de cargas parasitarias en las diferentes zonas e igualmente se consideró brotes de enfermedades infecciosas. Estas variables se consideraron en conjunto con la posibilidad de utilizar en este estudio el modelo de simulación oceanográfica SINMOD, desarrollado y aplicado por AVS Chile y SINTEF F&A. En este escenario, la Macrozona 3 está conformada por 159 concesiones divididas en aproximadamente 10 empresas distintas. Durante el inicio del proyecto existían 49 centros activos, de los cuales la mayor parte involucraban a la especie *Salmo salar*. Se consideró que esta Macrozona era representativa de la industria tanto por el número de centros activos como por su historia sanitaria. AVS Chile ha trabajado en esta Macrozona utilizando información oceanográfica para modelar el comportamiento oceanográfico de los barrios 9 y 10; asimismo, las empresas pertenecientes a estos barrios han trabajado con AVS Chile y manifiestan interés en conocer la interacción de sus centros. En este contexto, AVS tiene la convicción que este acercamiento e información existente/o que se generará representa una ventajas al llevar a cabo el trabajo en conjunto.

En tanto, el periodo de estudio se define en base a la estación del año (entregada en el informe sanitario de Sernapesca 2014), en que se evidencia un aumento de las cargas parasitarias, de esta manera se definió que la información oceanográfica fuera monitoreada en terreno durante el mes de marzo del 2015 (información que igualmente estuvo sujeta a la aprobación de la contraparte técnica).

8.3.2 Realización de monitoreos en terreno

Para este punto se propuso llevar a cabo diversos estudios, entre ellos estudio de correntometría lagrangiana mediante derivadores con GPS incorporado, perfilamiento de columna hasta 180 m y muestreo zooplanctónico según modificación acordada con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Adicionalmente, se propuso un levantamiento batimétrico según metodología propuesta. Estas actividades se desarrollaron en dos áreas de trabajo de la Macrozona 3: Este Isla Apiao y Este Butachauques.

Durante el desarrollo de este trabajo el co-desarrollador subcontratado encargado de realizar este estudio, Cetecsal, informó que el correntómetro ADCP RD, junto con el mareógrafo instalado en el sector Este Isla Apiao, no pudieron ser recuperados cuando finalizó el periodo de estudio debido al desprendimiento del cabo de recuperación del equipamiento. A partir de esta situación, se desplegaron distintas alternativas para su recuperación, como el uso de tecnología ROV, las cuales no arrojaron resultados positivos. A partir de esta situación, y previa aprobación de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura se utilizó información previamente levantada por Cetecsal de las áreas de Lin Lin y Tenaún. Todos los detalles están incluidos en los Anexos 1 y 2.

La metodología utilizada para la toma de muestras y análisis de zooplancton se encuentra disponible en Anexo 3.

8.3.3 Análisis de la información oceanográfica obtenida

Con la información recopilada durante la campaña oceanográfica, se ejecutó el modelo SINMOD en alta resolución para el periodo de observación, incluyendo el spin-up del modelo y los anidamientos necesarios. Igualmente, se almacenaron series de tiempo de las corrientes, la elevación de las mareas, la temperatura y la salinidad de manera de obtener simulaciones lo más realistas posibles. Posteriormente, se procesaron y analizaron los datos de validación y resultantes de la modelación lo que permitió determinar el transporte de partículas y componentes en el área respecto a las trayectorias seguidas por derivadores tanto superficiales como subsuperficiales. La información fue graficada y se analizaron las trayectorias observadas para complementar el análisis de la circulación, incluyendo las alturas de marea del periodo de medición, información que se utilizó como información de entrada para el diseño de estrategias de control integradas. El análisis fue realizado por el Dr. Øyvind Knusten, investigador de SINTEF, con vasta experiencia en proyectos de investigación en modelo oceánicos de alta resolución para zonas costeras.

8.3.4 Recopilación de información productiva y de operación de tratamientos

El desarrollo de este objetivo contempló la definición de las empresas productoras con centros presentes en la Macrozona 3, a partir de información entregada por Sernapesca. Las empresas con concesiones para la acuicultura en la Macrozona 3 durante el periodo del estudio se detallan a continuación:

1. Marine Harvest Chile
2. Salmones Antártica S.A.
3. Cermaq
4. Salmones Camanchaca S.A.
5. Empresas AquaChile S.A.
6. Salmones Multiexport
7. Productos del Mar Ventisqueros S.A.
8. Cultivos Yadrán S.A.
9. Salmones Humboldt Ltda.
10. Salmones Austral
11. Invermar S.A.
12. Holding and Trading S.A.

Inicialmente, con el objetivo de difundir y cumplir con los objetivos del proyecto, se coordinó una reunión de presentación del proyecto con las empresas que poseen centros de cultivo en la Macrozona 3, los cuales están incluidos en el modelo de simulación oceanográfico SINMOD. Esta reunión fue realizada durante el mes de enero del 2015, donde se presentaron los objetivos del proyecto y el plan de actividades a las empresas productoras (Anexo 4).

Posteriormente, considerando la necesidad de contar con información retrospectiva de variables sanitarias y productivas de los centros de cultivo de la Macrozona 3 previo a la definición de las estrategias, se definieron las variables sanitarias, productivas y de operación de los centros de cultivos, en conjunto con variables específicas recomendadas por el equipo de epidemiólogos del Norwegian Veterinary Institute (Noruega). El objetivo de recopilar esta información - considerando los dos últimos ciclos de producción de los centros de cultivo - fue desarrollar un análisis y obtener conclusiones acerca de la dinámica del parásito entre centros de cultivo, y preliminarmente, los factores de riesgo asociados a su diseminación. Si bien esta actividad no estaba considerada inicialmente en las bases técnicas del proyecto, se determina incluirla debido a que el resultado de este análisis representa una herramienta de utilidad para la definición de las estrategias integradas.

Por otra parte, inicialmente la metodología propuesta indicaba la obtención de variables sanitarias, productivas y de operación de los centros de cultivo que realizaran el tratamiento coordinado (en etapas posteriores del proyecto) a través de una encuesta que incorporaría la información requerida. Sin embargo, considerando el número de variables a solicitar en conjunto con el tipo de información requerida, se definió solicitar la información a través de planillas Excel de acuerdo el manejo específico de la información de cada empresa.

Para recopilar la información mencionada, se coordinó una reunión con los encargados de Salud y/o gerentes técnicos de cada una de las empresas productoras interesadas en participar en el proyecto, donde se expuso el detalle de la información requerida a través de una carta formal (Anexo 5). Se realizaron reuniones con las siguientes empresas: Marine Harvest Chile, Salmones Antártica S.A., Cermaq, Salmones Multiexport, Productos del Mar Ventisqueros S.A. y Salmones Camanchaca S.A (Anexo 6). En el caso de las empresas AquaChile, Invermar y Salmones de Chile la información fue solicitada a través de correo electrónico y vía telefónica.

Con el objetivo de facilitar el traspaso de la información, las empresas participantes solicitaron al Instituto Tecnológico del Salmón (Intesal) la transferencia de la información sanitaria y productiva de los centros de cultivo a AVS Chile. La transferencia de la información sanitaria y productiva fue realizada a través de planillas Excel según el formato indicado en el Anexo 7.

8.3.5 Análisis epidemiológicos

La información recopilada mencionada en el punto anterior (8.3.4) fue compilada, ordenada sistemáticamente y validada generando una base de datos (Anexo 8) con cada una de las variables sanitarias y productivas entregadas por las empresas productoras. Las variables que se incluyen dentro de esta base consideran la información semanal de centros activos durante el periodo 2012-2015, especificando la especie de cultivo, número y peso de peces, densidad, cargas de *Caligus* (juveniles, hembras ovígeras y adultos móviles), porcentaje de éxito (indicador utilizado por Intesal) de tratamiento contra *Caligus*. Adicionalmente, en algunos casos se contó con información relacionada con variables medioambientales como temperatura y salinidad.

El objetivo de los análisis desarrollados fue obtener/identificar variables productivas, sanitarias y ambientales asociadas a la infestación por *Caligus rogercresseyi* y que pudiesen ser relevantes para incluir dentro de las estrategias de control integradas, por lo cual los análisis se focalizaron en la definición de la siguiente información:

a. Caracterización epidemiológica de la carga parasitaria y éxito de tratamientos antiparasitarios de la macrozona 3, 2012-2015

Parte I: Caracterización carga parasitaria en la Macrozona 3, periodo 2012-2014

La metodología consistió en caracterizar la carga parasitaria de *C. rogercresseyi* y sus diferentes etapas de desarrollo (juveniles, hembra ovigeras y adultos totales) mediante un análisis de correlación y la evaluación temporal de las cargas parasitarias. Posteriormente, mediante la construcción de un modelo matemático de tipo lineal generalizado mixto, se determinó que variables de tipo sanitario, productivo y ambiental presentan algún grado de asociación estadística con los niveles de carga parasitaria durante el periodo de estudio (más detalles en Anexo 9).

Parte II: Evaluación del éxito de tratamientos antiparasitarios en la Macrozona 3, periodo 2012 a 2014

La metodología consistió en primer lugar en determinar el nivel de eficacia de los tratamientos antiparasitarios realizados durante el periodo en estudio, para lo cual se utilizó el Índice de Éxito establecido por Intesal, que corresponde a la relación existente entre la carga de caligus pre-tratamiento y la carga post-tratamiento expresado como porcentaje (más detalles en Anexo 9).

Posteriormente, mediante la construcción de un modelo matemático de tipo logístico con efectos mixtos (fijos y aleatorios), se determinó qué variables se asocian estadísticamente al éxito del tratamiento, medido a través de la dicotomización de la variable “Índice de éxito”.

b. Clasificación de centros de cultivo ubicados en macrozona 3 en relación a su infestación por Caligus 2012-2015

Para la clasificación de los centros de cultivo en base a sus niveles de infestación se utilizó la metodología de Clasificación Jerárquica Ascendente, que corresponde a un análisis multivariante, cuyo principal propósito es segmentar un conjunto de datos o individuos en grupos o clústeres.

La conformación de los clústeres se realiza en base a la similitud de los individuos analizados en relación a ciertas variables de interés. Para este análisis, se realizó una clasificación en base a los datos históricos de las cargas parasitarias de juveniles, hembras ovigeras y adultos móviles de *C. rogercresseyi* en los diferentes centros de cultivo de la Macrozona 3. El método de clasificación utilizado fue el “Método de Ward” y la distancia “Euclidea”.

Para determinar los tiempos de reinfestación post tratamiento se utilizó el Análisis de Supervivencia de Kaplan-Meier, el cual corresponde a la medición del tiempo que transcurre hasta que se registra un evento de interés. En este estudio se consideró como variable de interés o respuesta, el tiempo que transcurre desde la aplicación de un tratamiento por inmersión hasta su re-infestación. El seguimiento de los centros de cultivo se realizó durante 8 semanas.

Para efectos prácticos se consideró como re-infestación aquellas cargas parasitarias superiores a 1,5 hembras ovigeras o la presencia de un nuevo tratamiento.

Los diferentes análisis realizados se efectuaron en el programa estadístico R versión 3.2.1 y sus librerías FactoMineR, Rattle y Survival. (más detalles en Anexo 10).

c. Efecto de las corrientes marinas sobre la infección por *C. rogercresseyi*

Para el desarrollo de este análisis se utilizó un modelo determinístico en el que se calcula la producción semanal de larvas (presión de infección) a partir del número de peces y la media semanal de hembras ovigeras. El tiempo estimado de desarrollo al estadio de móviles se estimó en función de la temperatura del agua. En este caso, la presión de infección consideró dos componentes, uno interno y el otro externo. El componente interno resulta del efecto de la presión de infección sobre el mismo centro (autoinfección), mientras que el externo resulta de la contribución desde centros vecinos. La presión externa se ajusta en función de las distancias y corrientes marinas entre centros (más detalles en Anexo 11).

8.4. Objetivo 4: Diseñar distintas estrategias integradas de control del ectoparásito *Caligus rogercresseyi* en una macrozona determinada

8.4.1 Reuniones Comité técnico

El desarrollo de este objetivo fue trabajado en forma conjunta con el comité técnico conformado por diversas empresas productoras de salmón con centros de cultivo ubicados en la macrozona 3, el cual fue generado en una primera reunión de presentación del proyecto (enero 2015), donde se dieron a conocer los objetivos y principales actividades del proyecto.

Posteriormente, una vez definida la información que se utilizaría como base, se coordinó con las empresas productoras una reunión de presentación de las potenciales estrategias según la información disponible (agosto 2015).

8.4.2 Levantamiento de la información de estrategias de tratamientos en la macrozona 3

Con el fin de conocer los detalles dentro de las prácticas que ya se encontraban implementadas para el control del parásito de acuerdo a la regulación vigente tanto a nivel de industria como a nivel de ACS que conforman el área de estudio, se consulta en la documentación oficial de Sernapesca, al Instituto Tecnológico del Salmón y a las empresas productoras en las reuniones del comité. Asimismo, se realizaron contactos específicos con las personas responsables de la coordinación de las ACS de la macrozona 3 en cada compañía productora.

8.4.3 Levantamiento de la información sanitaria de centros de cultivo macrozona 3

Con el objetivo de contar con información actualizada de los centros de cultivo activos en el área de estudio y la situación sanitaria relacionada con las cargas parasitarias, se levantó el requerimiento a Sernapesca quienes realizaron el envío de la información semanal a AVS Chile. La información recibida fue utilizada para generar una base de datos representando una importante referencia tanto para la generación de las estrategias como para su implementación. El periodo de recopilación de información consideró desde la semana 30 (julio) del año 2015 hasta la semana 45 (noviembre) del año 2016.

8.4.4 Integración de la información y generación de estrategias

En base a la integración de la información epidemiológica y efectividad de antiparasitarios, referencias en estudios de sensibilidad/eficacia de los distintos fármacos disponibles en el mercado y factores de riesgo de la parasitosis, sumado a la información oceanográfica recopilada sistematizada en el modelo de simulación oceanográfica SINMOD, se generaron 4 estrategias de tratamiento integrado: 2 estrategias oceanográficas y 2 estrategias epidemiológicas. La información utilizada para la generación de las estrategias integradas de control se resume en la Figura 1.

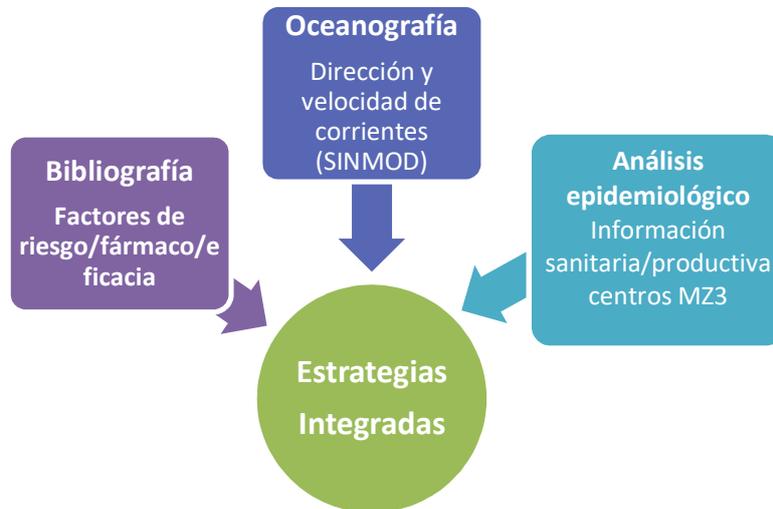


Figura 1. Información de entrada utilizada para la generación de las estrategias integradas de control de Caligus

8.4.5 Georreferenciación de centros de cultivo de la macrozona 3

Con el objetivo de contar con una herramienta de georreferenciación de los centros de cultivo e integrar la información sanitaria productiva y oceanográfica, se utilizó el programa ArcGIS a través del cual se incorporó la información mencionada anteriormente, la que fue utilizada como material de apoyo para la generación e implementación de las estrategias.

8.5. Objetivo 5: Evaluar la efectividad de las distintas estrategias integradas de control

8.5.1 Presentación de estrategias de control y compromiso de participación de empresas

La información de las empresas productoras con centros de cultivos activos en la macrozona 3, fue levantada a partir de la información semanal enviada por Sernapesca (Anexo 12). Una vez revisada y definidas las empresas y los centros de cultivo en específico, se coordinó una reunión de presentación de las estrategias configuradas, En esta reunión participó el 100% de las empresas productoras convocadas donde se informó de las estrategias aprobadas por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y la fecha estimada de implementación.

Posteriormente, esta información fue transferida a una carta formal dirigida a las empresas productoras, y en la cual adicionalmente se anexó una carta de compromiso de participación e implementación que fue firmada por las empresas y entregada a AVS Chile (Anexo 13).

8.5.2 Reuniones de coordinación con empresas productoras y levantamiento de información actualizada de centros activos

Inicialmente, para la puesta en marcha de las estrategias, previo a cada ventana oficial de Sernapesca para los tratamientos por inmersión, se solicitó la información actualizada (semanal) sanitaria – productiva de los centros de cultivo activos a través de un formato predefinido en archivo Excel (Anexo 14). Dicha información fue enviada por medio de correo electrónico, para su posterior análisis por el equipo técnico de AVS Chile. Posteriormente, se realizaron una serie de reuniones técnicas de coordinación en conjunto con las empresas productoras con el objetivo de revisar esta información, y en forma paralela levantar la información de los centros que realizarían tratamientos durante el periodo de estudio. Una vez recopilada la información en su totalidad, esta fue revisada para evaluar qué estrategia podría ser implementada en el periodo específico (ventana de tratamiento oficial), según las condiciones de cada uno los centros. A esta modalidad de implementación se denominó “Estrategias pre-programadas”.

Posteriormente, con el objetivo de facilitar la operativa de la implementación de las estrategias solo se solicitó la información vía mail relacionada con el desarrollo de tratamientos, para su posterior análisis y evaluación dirigido a una futura implementación de las estrategias. A esta modalidad se denominó “Estrategia según realización de tratamientos”.

8.5.3 Implementación de las estrategias integradas de control

El periodo de aplicación de las estrategias se estableció a partir de julio del 2016 hasta noviembre del año mismo año.

De acuerdo a lo mencionado en el punto precedente, para su desarrollo se utilizó 2 metodologías/modalidades de trabajo:

- Estrategia pre-programada: se coordinó la implementación de estrategias epidemiológicas y oceanográficas en un periodo determinado, según las ventanas oficiales de tratamientos por inmersión de Sernapesca proyectadas a 2 meses. Para su coordinación se generaron reuniones periódicas.
- Estrategia según realización de tratamientos: las estrategias fueron propuestas específicamente según la situación sanitaria – productiva actual de los centros y del área de estudio, y la realización de tratamientos.

27

8.5.4 Definición y aplicación de indicadores

Para la definición de los indicadores se consideró que estos debían presentar una serie de características, entre las que se incluyen (a) ser de fácil medición, (b) proveer la mayor cantidad de información posible y (c) ser comparable entre las diferentes estrategias propuestas.

Con el objetivo de lograr una amplia cobertura en la evaluación de las estrategias se consideraron variables sanitarias y operacionales en la definición de los indicadores. Una vez definidos, se categorizaron los indicadores seleccionados en reuniones internas del equipo de AVS y con la participación de los expertos externos incluidos en el proyecto.

Posteriormente, se procedió a consultar dichos indicadores e informar a las otras partes interesadas en el proyecto. El enfoque fue utilizar aquellos indicadores de manera consensuada considerando tanto el conocimiento de los investigadores involucrados así como de integrantes de Subpesca, Sernapesca y de la industria.

Con las estrategias integradas de control diseñadas ya en ejecución, se procedió a solicitar sistemáticamente a las empresas productoras la información necesaria para el cálculo de los indicadores en un archivo Excel (Anexo 15). Asimismo, se solicitó a los productores realizar evaluaciones relacionadas con la operativa de los tratamientos en terreno a través del uso del *check list* operacional para baños terapéuticos contra Caligus (Anexo 16) desarrollado por AVS Chile. Durante la recopilación de la información se enfatizó especialmente en detectar y mitigar aquellos puntos críticos que puedan ocasionar errores y/o retrasos en el proceso.

8.5.5 Identificación de puntos críticos y ranking de efectividades de estrategias

Se identificaron los puntos críticos propios de la situación sanitaria productiva del área de estudio, de la participación de la totalidad de empresas productoras en la implementación de las estrategias, la coordinación, operación, logística, de la efectividad del tratamiento y cumplimiento de tiempos de ejecución de tratamiento. Adicionalmente, se elaboró un *ranking* de implementación de las estrategias propuestas.

8.6 Objetivo 6: Elaborar y validar un protocolo de tratamiento coordinado considerando los puntos críticos a partir de las distintas estrategias de control propuestas

Inicialmente, se definió el tipo de documento que se desarrollaría y el *outline* a seguir según las especificaciones técnicas y objetivos del protocolo.

Según los resultados obtenidos a partir de los objetivos 4 y 5 del presente proyecto relacionados con el diseño y la implementación de cada una de las estrategias, y adicionalmente, tomando como base los resultados de los análisis epidemiológicos y oceanográficos (objetivo 3), se definió el protocolo de tratamientos coordinado para la Macrozona 3. Esta definición de protocolo consideró diferentes actividades, participantes y responsabilidades de los encargados de la ejecución del protocolo.

8.7. Objetivo 7: Diseñar un modelo o metodología para evaluar la efectividad de los tratamientos coordinados en las macrozonas de la X y XI regiones

La metodología consistió en recopilar información oceanográfica y epidemiológica de cada macrozona a partir de la información disponible en Subpesca y Sernapesca, respectivamente. Posteriormente, se desarrolló un análisis del comportamiento histórico de *Caligus* en la X y XI región.

Considerando dicha información en conjunto con la información tanto oceanográfica como epidemiológica levantada en el objetivo 3, y los resultados obtenidos tanto en la recopilación de información para los indicadores de las estrategias y la misma aplicación de los indicadores se definió un modelo (Excel) para evaluar la efectividad de tratamientos coordinados en la X y XI región. Adicionalmente, se generó un sistema para recopilar y sistematizar información relevante en la implementación de estrategias coordinadas de control de *Caligus*.

9 Resultados

9.1 Objetivo 1: Efectuar un levantamiento de información epidemiológica de *Caligus rogercresseyi* en salmónidos en Chile

9.2 Objetivo 2: Efectuar un levantamiento de información de la efectividad de los antiparasitarios utilizados en el control del piojo de mar en la salmonicultura en Chile y el mundo

El documento que incluye la revisión desarrollada para completar los objetivos 1 y 2, y se encuentra adjunta en el Anexo 17 del presente informe.

9.3 Objetivo 3: Levantar y procesar información oceanográfica para ser utilizada en las propuestas de estrategias de control y evaluaciones de su efectividad en una Macrozona determinada

9.3.1 Realización de monitoreos en terreno

Durante el mes de marzo de 2015 se realizó el levantamiento de información oceanográfica que fue utilizada como parte de la información de entrada para proponer las estrategias de control, actividad que se llevó cabo en dos áreas de trabajo de la Macrozona 3: Este Isla Apiao y Este Butachauques. El levantamiento consistió en el estudio de correntometría lagrangiana mediante derivadores con GPS incorporado y, de forma simultánea, se efectuaron perfilamientos de columna mediante CTDO desde la superficie hasta los 180 m de profundidad, además de muestreos de columna para análisis cuantitativo y cualitativo de zooplancton. Adicionalmente, en cada área de trabajo seleccionada se instaló un correntómetro ADCP junto con un mareógrafo y una estación meteorológica durante 30 días, midiendo en forma simultánea las correntometrías lagrangianas que se efectuaron, lo que permitió realizar, consecuentemente, un estudio de las componentes atmosféricas y mareales de las correntometrías lagrangianas. El resumen de actividades realizadas se observa en Tabla 1.

Tabla 1. Actividades realizadas durante estudio oceanográfico, macrozona 3.

Estudio	Ubicación	Fecha de Ejecución	Fecha de Término
Derivador Lagrangiano	Canal Quinchao, Este de Punta Traiguen	07-03-2015	08-03-2015
Derivador Lagrangiano	Este de Punta Tenaún	05-03-2015	06-03-2015
Correntometría ADCP Nortek	Este Isla Butachauques	04-03-2015	05-04-2015
Monitoreo Zooplancton	Este Isla Butachauques	10-04-2015	10-04-2015
Monitoreo Zooplancton Apiao	Este Isla Apiao	24-05-2015	25-05-2015
Batimetría	Este Isla Apiao	15-05-2015	25-05-2015
Correntometría ADCP RDI	Este Isla Apiao	03-03-2015	-
Mareógrafo	Este Isla Butachauques	04-03-2015	05-04-2015
Mareógrafo	Este Isla Apiao	03-03-2015	-
Estación de Vientos	Este Isla Butachauques	04-03-2015	10-04-2015
Estación de Vientos	Este Isla Apiao	03-03-2015	06-04-2015
Monitoreo de Columna CTDO Butachauques - LLENANTE Y VACIANTE	Este Isla Butachauques	06-03-2015	06-03-2015
Monitoreo de Columna CTDO TRAIGUEN - LLENANTE Y VACIANTE	Canal Quinchao, Este de Punta Traiguen	07 y 08-03-2015	07 y 08-03-2015
Monitoreo de Columna CTDO ISLA TAC	Isla Tac	07-03-2015	07-03-2015

Los resultados arrojados del análisis de 4 áreas de la macrozona 3 se detallan en la Tabla 2:

Tabla 2. Resultados de los monitores de zooplancton (copepoditos de Caligus) en la macrozona 3.

Núm	Fecha	Sector (ACS)	Nº ind	Nº ind2	Nº ind3	Promedio	Ind/100 m ³
1	10-abr-15	Butachauques (8)	5	0	1	2	7
2	10-abr-15	Este Punta Tenaún (8)	8	5	1	5	28
3	24-may-15	Este Achao (9a)	6	0	9	5	15
4	24-may-15	Apiao (9c)	7	2	11	7	9

La información recogida del estudio oceanográfico realizado en ambas áreas de trabajo, se presenta en el Anexo 1 y 2. Adicionalmente, la información de las áreas de Lin Lin y Tenaun se encuentra disponible en el Anexo 18.

9.3.2 Análisis de la información oceanográfica obtenida

A partir de la revisión y análisis de la información obtenida de los monitoreos realizados en terreno mencionados en el punto anterior, se ejecutó y validó el modelo SINMOD.

Se realizó una validación del modelo existente y se realizaron cambios en su configuración y actualización. Dentro de estas modificaciones destacan por ejemplo que el modelo de 4 km está ahora conectado a un modelo global para condiciones de límites en lugar de tener límites cerrados. Adicionalmente, se utilizan

datos mensuales de media para hidrografía y corrientes de Myocean. Por otra parte, el modelo de 800 m es ahora más grande para tener los límites más alejados de los dominios de 160 m y la capa superior tiene actualmente 6 m de espesor en lugar de 8 m. Se han incorporado dos capas más verticales a un nuevo total de 44 capas. En informe final de validación del modelo con toda la información asociada a esta actividad se encuentra en el (Anexo 19) del presente documento.

El modelo SINMOD entrega información relacionada con velocidad y dirección de corrientes, salinidad y temperatura del área en estudio. Esta información puede ser descargada en promedio anual y por mes (Anexo 20). Además, se puede evidenciar el nivel de contacto entre los centros de cultivo (tanto para partículas virales como copepoditos de Caligus), por medio de la visualización de las matrices de contacto y georreferenciación de cada uno de los centros.

9.3.3 Recopilación de información productiva y de operación de tratamientos

La información recopilada en su totalidad consistió en 4615 registros semanales correspondiente a 6 empresas salmoneras y un total de 50 centros de cultivo de las especies salmón del Atlántico y trucha arcoíris localizados en la Macrozona 3, cuyos registros abarcan los años 2012-2015 (agosto).

Específicamente, es información semanal de los centros de cultivo activos durante el periodo 2012-2015, con el detalle de especie cultivada, número y peso de peces, densidad, cargas de Caligus (juveniles, hembras ovígeras y adultos móviles) y porcentaje de éxito de tratamiento contra Caligus. Adicionalmente, en algunos casos se contó con información relacionada con variables medioambientales como temperatura y salinidad.

La base de datos desarrollada a partir de la información recopilada se encuentra disponible en Anexo 8.

9.3.4 Análisis epidemiológicos

Los resultados de los análisis epidemiológicos se encuentran disponibles en los informes finales de cada uno, los cuales son presentados en los anexos respectivos. A continuación se resumen los principales resultados que fueron utilizados y/o que tuvieron mayor implicancia en la generación de estrategias de control.

a) Caracterización epidemiológica de la carga parasitaria y éxito de tratamientos antiparasitarios de la macrozona 3, 2012-2015 (resultados en detalle se presentan en el Anexo 9)

A partir del desarrollo de este análisis estadístico se destaca la siguiente información como parte de sus resultados:

Parte I: Caracterización carga parasitaria en la Macrozona 3, periodo 2012-2014

- Existe un marcado componente temporal en cargas parasitarias durante el periodo de estudio.
- La variable adultos móviles aparece como la mejor opción para cuantificar cargas parasitarias en general.
- El peso promedio (en kg) aparece positivamente asociado con un mayor número de adultos móviles. Asimismo, el peso promedio y densidad están positivamente correlacionadas. Sin embargo, el peso aparece como un mejor predictor que la densidad.
- El mes de abril aparece como el mes más complicado en relación a las cargas parasitarias en comparación con los otros meses del año.

Parte II: Evaluación del éxito de tratamientos antiparasitarios en la Macrozona 3, periodo 2012 a 2014

- El índice de éxito (IE) estimado a partir de estadios juveniles, es significativamente menor que a partir de las mediciones de IE de estadios de adultos. No obstante, no existen diferencias significativas entre el IE medido a partir de estadios de adultos móviles y hembras ovígeras.
- La correlación entre el IE del tratamiento medido a partir de estadios de adultos móviles y hembras ovígeras es significativamente positiva y cercana a 0,7, indicando que ambos estimadores pueden ser utilizados indistintamente para la evaluación del IE en los modelos multivariados mixtos.
- Existen diferencias significativas en relación al producto de tratamiento antiparasitario utilizado y el éxito de este. Específicamente, baños con azametifos muestran significativamente un mayor éxito que el uso de cipermetrina y deltametrina y benzoato de emamectina. Sin embargo, no existen diferencias significativas entre el azametifos y otras combinaciones de tratamiento antiparasitario.

- Peces más grandes al momento del tratamiento tienen menores probabilidades de tener un IE mayor al 75%. El efecto de la temperatura es inversamente proporcional. Consecuentemente, tratamientos realizados a mayores temperaturas, tienen una mayor probabilidad de IE sobre el 75%.
- El número de tratamientos no aseguraría un mayor IE. Por el contrario, en la medida que se llevan a cabo nuevos tratamientos, la probabilidad de un IE mayor al 75% disminuye.
- Cargas parasitarias previo al tratamiento tienen diferentes efectos. Mientras mayores cargas de juveniles al momento del tratamiento reducirían la probabilidad de un IE mayor al 75%; cuando se mide IE a partir de HO, una carga mayor de adultos móviles y HO previo al tratamiento, aumentaría las probabilidades de obtener un IE mayor al 75%, tanto para los modelos de adultos móviles como de HO.
- Finalmente, la ACS 7 aparece con un IE considerablemente mayor comparado con otras ACS. Sin embargo, no fue posible medir este efecto en el modelo multivariado.

b) Clasificación de centros de cultivo ubicados en macrozona 3 en relación a su infestación por Caligus 2012-2015 (Anexo 10)

- Al analizar la base de datos histórica 2012-2015 se pudieron clasificar los centros de cultivo en base a sus cargas parasitarias en 3 clústeres diferentes en la Macrozona 3.
- El clúster 3 es el que históricamente presenta mayores cargas parasitarias, el clúster 1 presenta cargas parasitarias medias y el clúster 2 es el que más bajas cargas ha tenido en el periodo 2012-2015.
- En cuanto al análisis de supervivencia realizado, como una visión general, la mayor parte de los eventos evaluados tuvieron un tiempo de re-infestación de 5 semanas (90% de los casos).
- El análisis de supervivencia por clúster arrojó que los tiempos de re-infestación del clúster 3 fueron los más rápidos, con un valor medio de 2 semanas. Siendo la diferencia estadísticamente significativa respecto de los otros 2 grupos.
- Los centros de cultivo del clúster 3 no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre sus curvas de re-infestación. Por lo tanto, el comportamiento general de este grupo fue uniforme.
- Los centros cuyos pesos promedio eran menores a 2 kg presentaron tiempos de re-infestación más extensos que los otros grupos.
- En resumen, se puede inferir que los centros más problemáticos en la Macrozona 3 respecto a sus cargas parasitarias serían los incluidos en el clúster 3 (5 centros) ya que sus cargas históricas son las más altas comparadas con el resto y además presentan los tiempos de re-infestación más cortos. A la luz de estos análisis, se recomienda prestar atención a su situación al momento de evaluar alguna estrategia de tratamiento.

c) Efecto de las corrientes marinas sobre la infección por *C. rogercresseyi* (los resultados en detalle se presentan en el Anexo 11)

Los principales resultados que arrojó el modelo univariado indican una asociación positiva y significativa entre la presión de infección externa y la carga parasitaria. El efecto de la presión externa es mucho menor que el obtenido con la presión interna y la carga parasitaria en la semana anterior. En el modelo multivariable (Tabla 1.2.) se observa que la asociación de la presión externa no es significativa.

9.4. Objetivo 4: Diseñar distintas estrategias integradas de control del ectoparásito *Caligus rogercresseyi* en una macrozona determinada

9.4.1 Reuniones Comité técnico

El comité técnico del proyecto estuvo conformado por las siguientes empresas productoras: Cermaq, Salmones Antártica, Multiexport, Camanchaca, AquaChile, Ventisqueros, Marine Harvest Chile, Salmones de Chile, y también contó con la participación de Intesal.

Durante el desarrollo de este objetivo, se realizaron 3 reuniones con el comité técnico, dos de estas para la configuración de las estrategias las cuales consideraron la presentación de los resultados preliminares del levantamiento de información oceanográfica y epidemiológica; y una tercera reunión con el objetivo de presentación de las estrategias finales y su aprobación por parte del comité.

Las presentaciones realizadas en estas reuniones en conjunto con el listado de participantes se encuentran disponibles en el Anexo 21.

9.4.2 Diagnóstico de la situación actual respecto a la estrategia de tratamientos

A continuación se detalla gráficamente el plan de control de *C. rogercresseyi* vigente durante el periodo de estudio en base a la normativa específica (Sernapesca, Resolución Exenta N°013, Enero 2015), coordinación a nivel de industria y Agrupación de Concesión de Salmónidos (ACS):

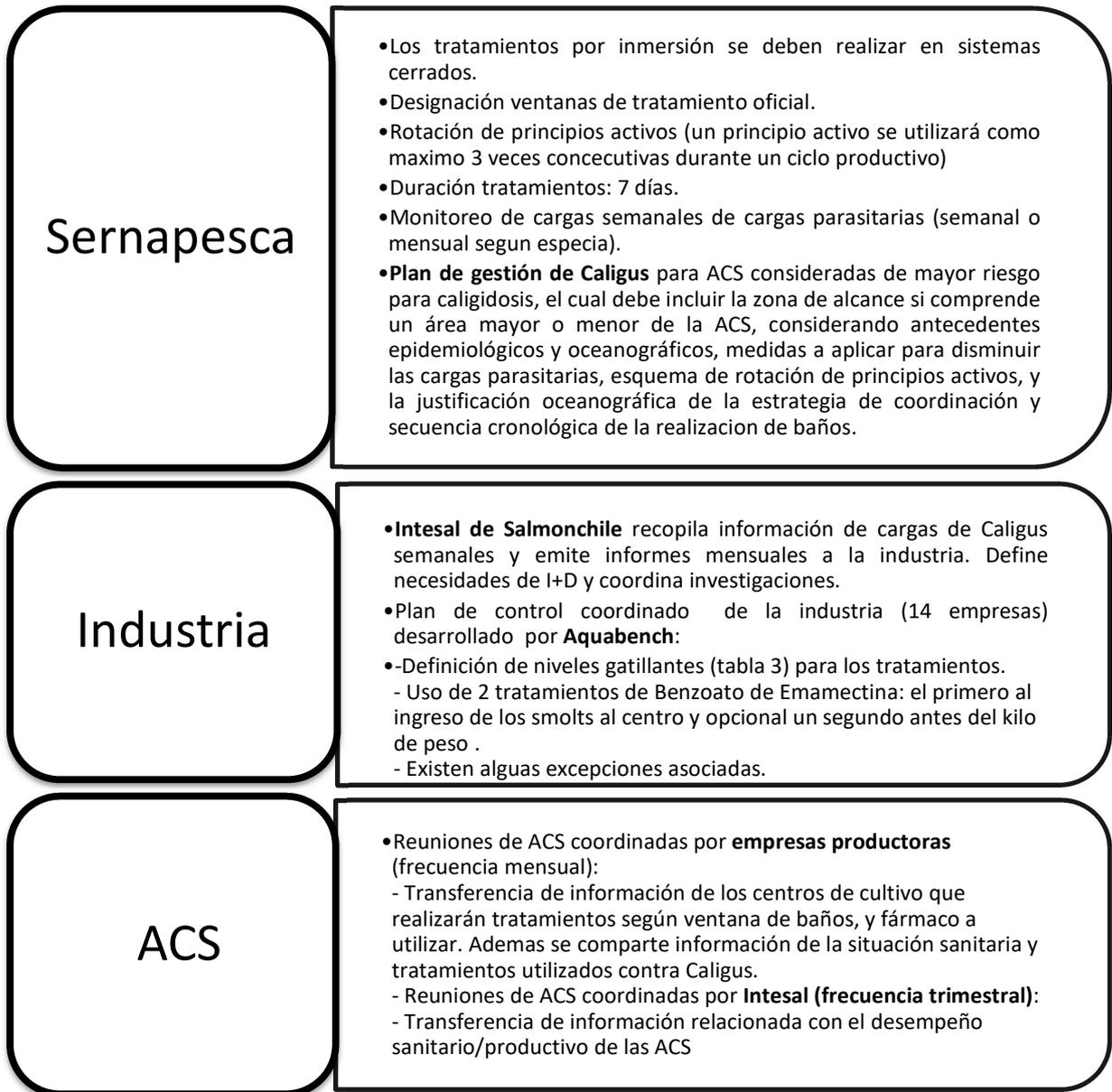


Figura 2. Plan de control de *C. rogercresseyi* durante el periodo de estudio en base a la normativa vigente, coordinación a nivel de industria y Agrupación de Concesión de Salmónidos (ACS).

Tabla 3. Niveles gatillantes para realizar tratamientos según especie de cultivo y peso promedio (Kg)

Especie	Peso (Kg)	Nivel gatillante (HO)
S. del Atlántico	0-2,5	1,5
S. del Atlántico	2,5 a cosecha (centros con más de 500.000 peces)	3,0
S. del Atlántico	Cosecha (centros con menos de 500.000 peces)	5,0
Trucha arcoíris	0-1,5	1,5
Trucha arcoíris	1,5 a cosecha (centros con más de 500.000 peces)	3,0
Trucha arcoíris	Cosecha (centros con menos de 500.000 peces)	5,0

Empresas productoras participantes en estrategias de control realizado por la industria coordinado por Aquabench

Empresas participantes en plan coordinado a nivel total industria:

- Aquachile
- Australis
- Blumar
- Camanchaca
- Cermaq
- Friosur
- Humboldt
- Los Fiordos
- Marine Farm
- Marine Harvest
- Multiexport
- Salmones Austral
- Ventisqueros
- Yadran

Empresas participantes en plan coordinado a nivel Macrozona 3

En la macrozona 3, durante el periodo de estudio existió un total de 12 empresas productoras con centros de cultivo activos, de las cuales 4 empresas no forman parte del plan coordinado por Aquabench, y representaban un 33,3% de la Macrozona 3.

Las empresas que no participaban en este plan coordinado son: Invermar, Salmones Antártica, Salmones Aysén y Salmones de Chile, las cuales en total tienen 15 centros activos, que representan un 37,5% del total de los 40 centros activos durante el periodo de estudio. Específicamente, consideran 5 centros de salmón del Atlántico, 4 de trucha arcoíris y 6 de salmón del Pacífico.

9.4.3 Información de situación sanitaria de los centros de cultivo de la macrozona 3

La información recopilada semanalmente de los centros de cultivo suministrada por Sernapesca, consideró el siguiente detalle: ACS, empresa operadora, código de centro, nombre de centro, especie de peces, número total de peces, peso promedio (g), y la carga de Caligus promedio según los diferentes estadios del parásito (juveniles, hembra ovígera, y adultos totales). La base de datos generada a partir de esta información se encuentra disponible en el Anexo 12.

9.4.4 Integración de la información

A continuación se describe la principal información recopilada y utilizada para la generación de las estrategias según su fuente.

9.4.4.1 Bibliografía

Factores de riesgo

Los principales factores de riesgo descritos en la literatura que se consideraron en la integración de la información fueron la zona geográfica, especie, peso de peces, salinidad y la importancia de la temperatura sobre el ciclo de vida del parásito.

Eficacia de fármacos

Al momento del desarrollo del presente estudio, se consideraron los 6 principios activos autorizados para ser utilizados para el tratamiento de Caligus en los centros de cultivo. Cada uno de ellos presenta diferentes mecanismos de acción afectando a los diferentes estadios del parásito. Sin embargo, en algunos de ellos, se ha evidenciado reducción de eficacia y reportes de baja sensibilidad según se detalle en la Tabla 4.

Tabla 4. Información de fármacos disponibles para el control de Caligus en Chile y reportes de baja sensibilidad.

Principio activo	Familia	Mecanismo de acción	Estadíos afectados	Reporte baja sensibilidad (año)
Benzoato de emamectina	Avermectinas	Incrementa la permeabilidad de la neurona a los iones cloruro inhibiendo la sinapsis	Juveniles y adultos	2005
Diflubenzurón	Benzoilureas	Inhiben síntesis de quitina/ impeden muda	Juveniles	-
Deltametrina	Piretroides	Interfieren con la función de la membrana nerviosa, causando despolarización de la terminación	Juveniles y adultos	2008
Cipermetrina	Piretroides	Interfieren con la función de la membrana nerviosa, causando despolarización de la terminación nerviosa	Juveniles y adultos	2014
Azametifos	Organofosforado	Inhiben la enzima acetilcolinesterasa	Adultos	-
Peróxido de hidrógeno	Peróxidos	Formación de burbujas en intestino y hemolinfa	Adultos	-

9.4.4.2 Oceanografía

La principal información utilizada como base para la definición de estrategias se resume en la Figura 3, donde se observa la dirección y velocidad de corrientes de la macrozona 3 en promedio anual. Específicamente, la dirección de la corriente es de norte a sur donde se evidencia una variación de velocidad de corrientes, aumentando en áreas específicas. Para la generación de las estrategias se utilizó esta información específica por mes.

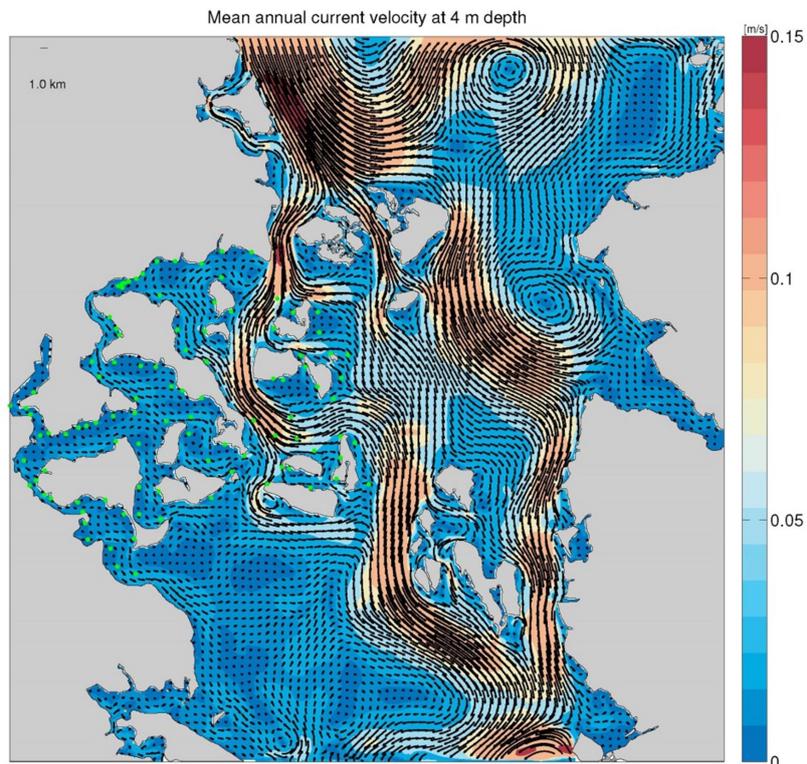


Figura 3. Dirección y velocidad de corrientes de la macrozona 3 en promedio anual (Fuente: SINMOD)

9.4.4.3 Análisis epidemiológico

Ver punto 9.3.4 Análisis epidemiológicos

9.4.5 Geo-referenciación de centros de cultivo de la macrozona 3

A continuación se presenta el mapa de la macrozona 3 (Figura 4) con fecha referencial (semana 11, 2016) generado con el programa ArcGis junto con las respectivas ACS y centros de cultivos activos según especie diferenciados por color.

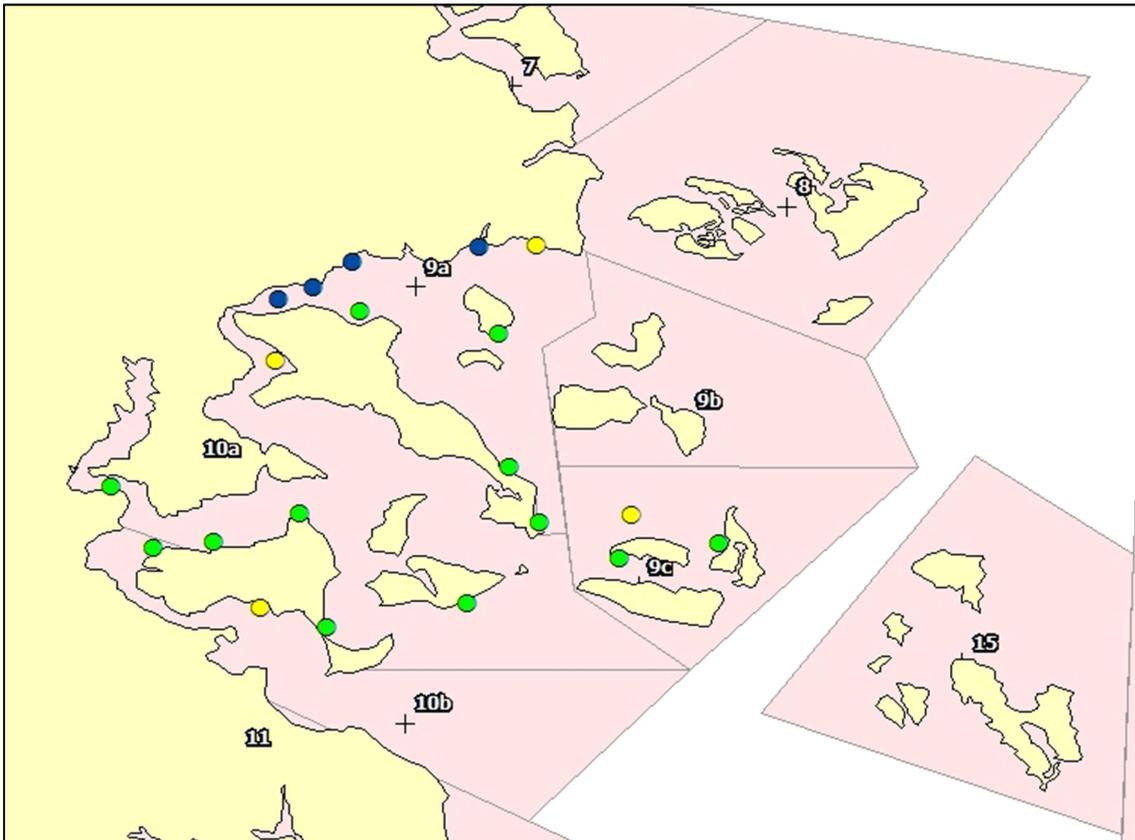


Figura 4. Mapa de Macrozona 3 y respectivas ACS, con centros de cultivo según especie (verde: salmón del Atlántico; amarillo: trucha arcoíris; azul: salmón coho).

9.4.6 Estrategias integradas de control del ectoparásito *Caligus rogercresseyi*

A modo referencial, y con el objetivo de tener información más específica y ajustada de las estrategias, se utilizó información sanitaria/productiva de la **semana 11, año 2016**, la cual fue actualizada al momento de comenzar con la puesta de marcha de las estrategias.

En resumen, la macrozona 3 presenta 4 ACS activas (9a, 9c, 10a y 10b) con 21 centros activos en total, incluyendo 12 centros de salmón del Atlántico, 5 centros de salmón coho y 4 centros de trucha arcoíris.

En tanto los descansos sanitarios en la Macrozona 3 para el año en curso según ACS se detallan a continuación:

- ✓ ACS 8: Febrero – Abril 2016
- ✓ ACS 9b: Mayo – Julio 2016
- ✓ ACS 10a: Agosto – Octubre 2016
- ✓ ACS 10b: Abril – Junio 2016

9.4.6.1 Estrategias epidemiológicas

A continuación se describen las 4 estrategias propuestas, las cuales fueron clasificadas según las bases que la fundamentan: epidemiológicas (2) y oceanográficas (2), respectivamente.

Estrategia epidemiológica 1: Iniciar tratamientos en centros con peces con mayor peso promedio de la Macrozona 3.

El objetivo es iniciar los tratamientos (durante las ventanas de baños indicadas por Sernapesca) en centros con peces sobre 2 kg de peso presentes en la Macrozona 3. Se considera también la biomasa de cada uno de los centros de cultivo involucrados en la estrategia (ver Figura 6). Posteriormente, se propone revisar la situación relacionada con las cargas parasitarias de los centros no tratados, y evaluar si podría ser de impacto el tratamiento en centros con peces menores a 2 Kg.

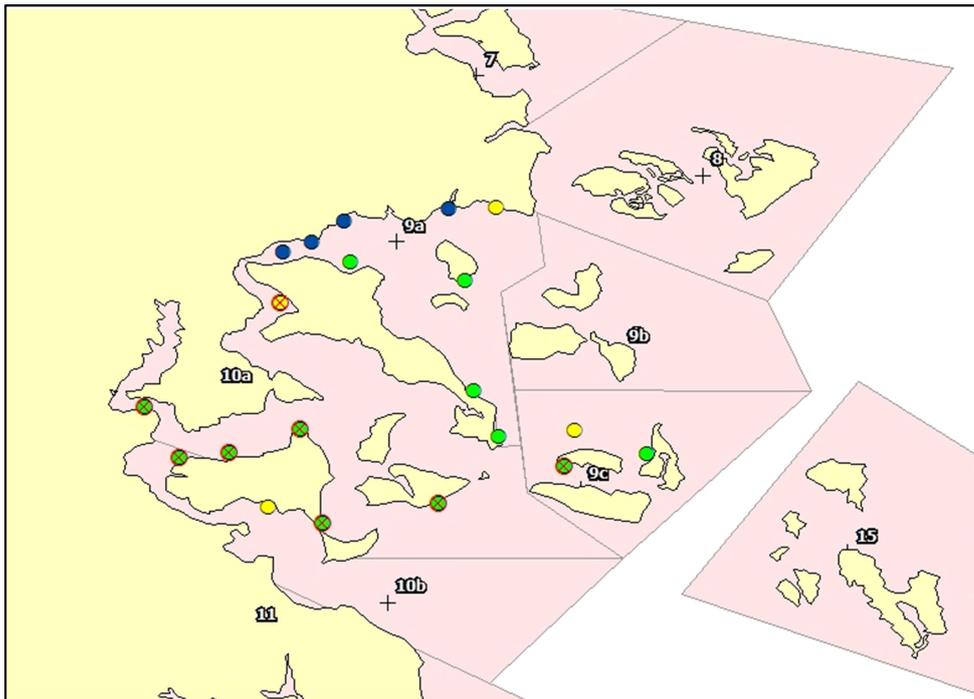


Figura 5. Mapa de Macrozona 3 y respectivas ACS, con centros de cultivo según especie (verde: salmón del Atlántico; amarillo: Trucha arcoíris; azul: salmón coho).

A modo referencial, los centros indicados con circunferencia roja, son centros que presentaban peces de 2 kg, durante la **semana 11, año 2016**, lo cuales se tratarían al inicio de la ventana de baños propuesta por Sernapesca.

Fundamento:

- Análisis de información sanitaria productiva, indica que grupos con pesos menores a 2 Kg, muestran tiempos de reinfestación más extensos en comparación con otros grupos.
- El tratamiento realizado con peces de mayor peso, disminuyen las probabilidades de un mejor éxito.
- El peso promedio (kg) aparece positivamente asociado con un mayor número de adultos móviles.

Estrategia epidemiológica 2: la estrategia indica tratamientos en centros con cargas de Caligus $\geq 1,5$ HO, centros de alta diseminación (CAD) y clasificados como centros potencialmente diseminadores o en Clúster 3.

En base a lo anterior, el objetivo es iniciar tratamientos en centros con mayores cargas parasitarias presentes en la Macrozona 3 (Ver figura 2).

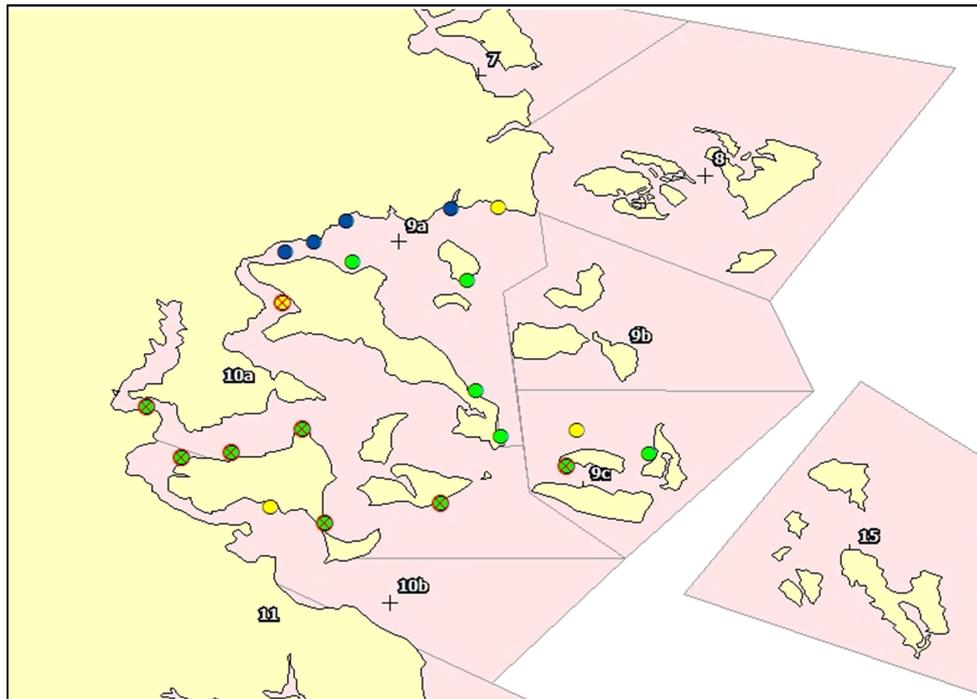


Figura 5. Mapa de macrozona 3 y respectivas ACS, con centros de cultivo según especie (verde: salmón del Atlántico; amarillo: trucha arcoíris; azul: salmón coho).

Los centros indicados con circunferencia roja, son centros que presentan peces con características epidemiológicas de *Caligus* indicados, los cuales se tratarían al inicio de la ventana de baños propuesta por Sernapesca.

Fundamento

- Eliminar los focos de diseminación al inicio de la ventana de tratamiento y evitar la reinfestación.
- Centros potencialmente diseminadores (Clúster 3): centros de cultivo con mayores cargas históricas en los 3 estadios analizados (juveniles, adultos móviles y hembras ovígeras, durante el periodo 2012-2015). Adicionalmente, según el análisis realizado, este clúster de centros presenta un tiempo de reinfestación más corto que los otros grupos (60% de los centros reinfestados (HO) a las 2 semanas post tratamiento). En base a lo anterior, son 7 centros de cultivo que pertenecen al Clúster 3, y consideran en promedio las siguientes cargas parasitarias:

Tabla 5. Promedio de cargas de Caligus de los centros clasificados como potencialmente diseminadores (clúster 3).

<i>Adulto Móvil</i>	<i>Hembra Ovígera</i>	<i>Juveniles</i>
2,82	2,21	5,76

9.4.6.2 Estrategias oceanográficas

Estrategia oceanográfica 1: Realizar tratamientos en dirección de la corriente predominante indicado por el modelo de simulación SINMOD.

La estrategia sugiere comenzar el tratamiento en orden cronológico y programado según la corriente predominante. Se propone realizar tratamientos de norte a sur (según lo indicado en Figura 7). Se recomienda tratar los centros ubicados al norte de la macrozona los primeros 3 días de la ventana de baño definida por Sernapesca y posteriormente durante 3 días tratar los centros ubicados en la zona sur de la macrozona (barrios por definir).

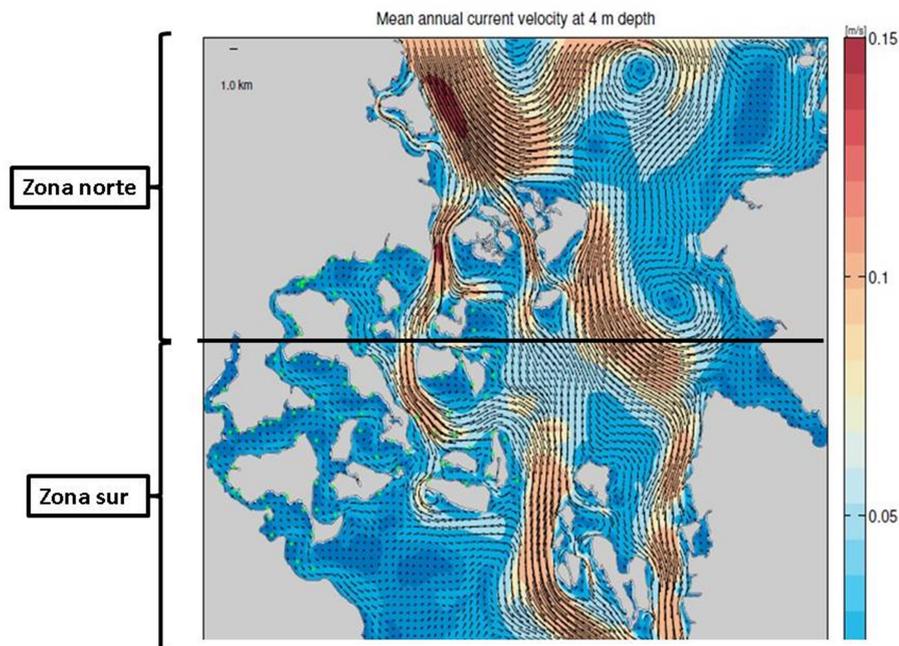


Figura 6. Zona norte y sur definidas en base al promedio anual de dirección y velocidad de corrientes Macrozona 3 a 4 metros de profundidad (Fuente: SINMOD Chile).

Estrategia oceanográfica 2: Secuenciar tratamientos según compartimentos 1 y 2 definidos según corrientes predominantes indicado por el modelo de simulación SINMOD.

Para el desarrollo de la estrategia se establecieron 2 compartimentos definidos según características oceanográficas compartidas, asociadas a la velocidad y dirección de la corriente (Figura 8). Se propone comenzar los tratamientos coordinados en la Zona 1 durante los tres primeros días de la ventana de baños definida por Sernapesca, y posteriormente durante los 3 días siguientes tratar los centros ubicados en la Zona 2.

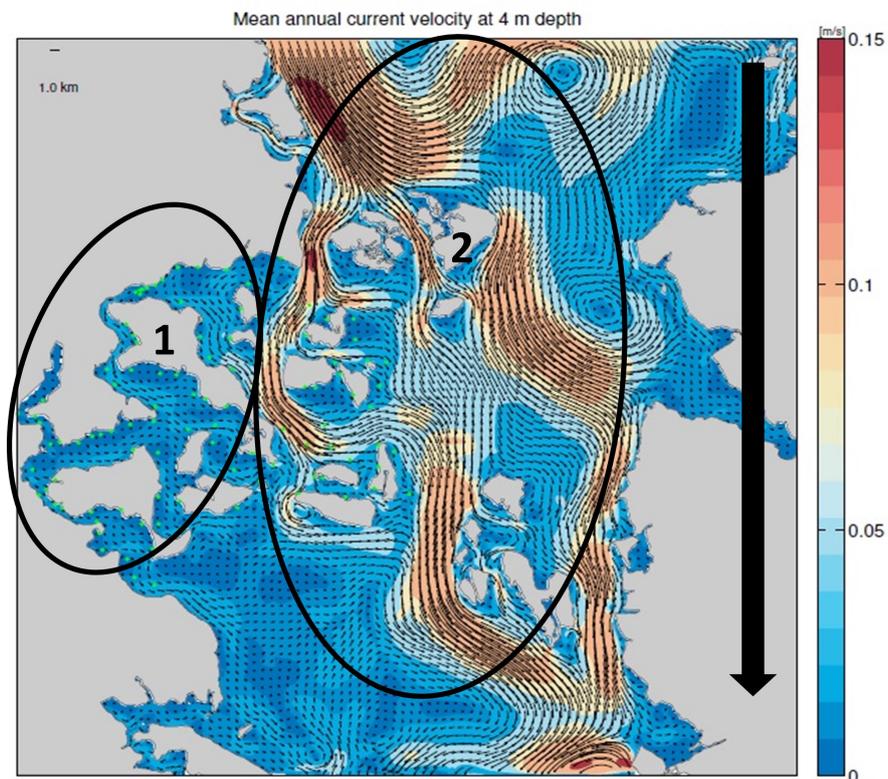


Figura 7. Zona 1 y 2 definidas en base al promedio anual de dirección y velocidad de corrientes Macrozona 3 a 4 metros de profundidad (Fuente: SINMOD Chile).

9.4.7 Fármaco a utilizar y periodo de aplicación de las estrategias

Para la implementación de las estrategias se propuso continuar con el plan de rotación de fármacos con el cual está trabajando la industria. Sin embargo, se recomienda probar las estrategias con azametifos y/o peróxido de hidrógeno, dado que al momento de realizar el estudio no se reportó evidencia de baja sensibilidad a estos productos y tampoco resistencia. En caso de utilizar piretroides se sugirió realizar, previo al tratamiento, un bioensayo para evaluar la sensibilidad de los parásitos presentes en el centro de cultivo al fármaco que se va a utilizar, y de esta manera contar *a priori* con información relacionada con la eficacia del producto.

Para la puesta en marcha de las estrategias inicialmente se propuso trabajar desde noviembre del año 2015 a abril del año 2016, considerando que en esta época el aumento de las temperaturas del agua genera mayores problemas sanitarios asociados a Caligus. Sin embargo, debido a problemas ambientales relacionados con evento de *bloom* de algas ocurrido durante esta época, al conflicto social por paro de pescadores artesanales y al aplazamiento de aprobación de las estrategias por parte de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, la actividad se debió posponer para julio del 2016.

Específicamente, se propuso desarrollar una estrategia por mes, de acuerdo a las ventanas de baños designadas por Sernapesca. Esta situación fue corroborada con las empresas productoras según su disponibilidad de participar activamente en el proyecto y la capacidad de ejecutar las estrategias en el momento recomendado.

Se sugirió que el tratamiento por centro de cultivo no se debía prolongar por más de tres días (idealmente consecutivos) dentro de la ventana de baños y en coordinación con todos los centros de cultivo. Igualmente, esto debió ser corroborado por las empresas productoras según las capacidades y logística involucradas en la realización de los tratamientos.

9.4.8 Comparación de la estrategia utilizada para el control de *C. rogercresseyi* por la industria durante el periodo en estudio con las estrategias presentadas

Tabla 6. Clasificación y propuesta de las estrategias de control de *C. rogercresseyi* y su comparación con las estrategias actuales.

Clasificación estrategia	Propuestas de Estrategias de control integrado de Caligus	Control de Caligus a nivel industria	Diferencias entre el control actual de Caligus y las estrategias propuestas
Epidemiológicas	1.-Iniciar tratamiento en centros con peces sobre 2 kg de peso promedio presentes en la Macrozona 3. a.- Nivel gatillante 1,5 (HO) b.- Duración de la estrategia: primeros tres días de la ventana de baños.	1.- La industria (plan coordinado Aquabench) utiliza la variable peso promedio para definir el nivel gatillante de caligus para realizar el tratamiento (ver tabla 1). a.- La industria realiza los tratamientos dentro de la ventana de baños designada por Sernapesca, la cual generalmente es de 7 días en la X región. (https://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=fiileinfo&id=16916)	a.-En la estrategia propuesta, la variable peso promedio se considera como un factor de riesgo, en cambio hoy se utiliza solo para la definición de los niveles gatillantes siendo menos exigentes las medidas a mayor tamaño de peces. b.- Hoy el peso promedio no influye en la secuencia de los baños, la propuesta sugiere que estos centros sean tratados de forma temprana en la ventana de baños. c.- Actualmente, los tratamientos son realizados dentro de los 7 días de la ventana de baños (sin coordinación extra). La estrategia propuesta involucra realizar los baños los primeros 3 días de la ventana de los centros de mayor peso, y los 3 días posteriores los centros restantes.
	2.- Iniciar tratamiento en centros con altas cargas de Caligus (21,5 HO), centros de alta diseminación (CAD) y clasificados según historial de cargas en Clúster 3 (centros con altas cargas) a.- Duración de la estrategia: primeros tres días de la ventana de baños.	2.- Hoy se bañan los centros CAD 23HO dentro de la ventana de baños para disminuir las cargas y evitar una nueva notificación CAD. a.- La industria realiza los tratamientos dentro de la ventana de baños designada por Sernapesca, la cual generalmente es de 7 días en la X región.	a.-En esta estrategia se propone además de lo que realiza la industria, utilizar el mismo nivel gatillante para todos los centros. b.-Además incluye los centros del clúster 3, los cuales son centros que históricamente han presentado altas cargas de caligus en relación a los otros centros de la Macrozona 3. c.- Actualmente, los tratamientos son realizados dentro de los 7 días de la ventana de baños (sin coordinación extra). La estrategia propuesta involucra realizar los baños los primeros 3 días de la ventana de los centros con mayores cargas de caligus, y los 3 días posteriores los centros restantes
Ocenográficas	3.- Realizar tratamientos en dirección de la corriente predominante	3.- Actualmente, la industria no realiza tratamientos según variables oceanográficas.	a.-Actualmente, por normativa, las áreas de mayor riesgo sanitario (determinada por Sernapesca) deberán presentar un plan de gestión de Caligus, el cual se basa en variables oceanográficas y epidemiológicas. Sin embargo, hasta la fecha este plan no ha sido aplicado por la Macrozona 3. Por lo tanto, la innovación aquí propuesta, es utilizar las variables oceanográficas para generar estas estrategias. b. Con los estudios desarrollados en el marco de proyecto, se caracterizó la macrozona 3 considerando la direccionalidad y velocidad de corrientes, entendiendo las matrices de contacto entre los centros, lo cual se propone utilizar para tratar en forma diferenciada según la dirección de corrientes.
	4.-Secuenciar tratamientos según compartimentos 1 y 2 definidos según corrientes predominantes.	4.- Actualmente, la industria no realiza tratamientos según variables oceanográficas.	a.- Hoy en día no existe una caracterización oceanográfica de áreas de cultivo, en este estudio se pudieron identificar dos compartimentos oceanográficos con características distintas, lo cual proponemos utilizar para tratar en forma diferenciada.

9.5. Objetivo 5: Evaluar la efectividad de las distintas estrategias integradas de control propuestas

9.5.1 Presentación de estrategias de control y compromiso de participación de empresas.

Una vez consensuadas con la contraparte técnica de Subpesca, las estrategias fueron presentadas a las empresas productoras en una reunión de avance del proyecto la cual fue realizada el mes de mayo del año 2016. La información entregada durante esta reunión en conjunto con la participación de las empresas productoras se detalla en el Anexo 22.

La implementación de las estrategias integradas de control fue desarrollada contando con el 100% de participación de empresas productoras, enlistadas a continuación:

- ✓ Aquachile
- ✓ Cermaq Chile
- ✓ Marine Harvest Chile
- ✓ Multiexport
- ✓ Ventisqueros
- ✓ Salmones Antártica
- ✓ Invermar*
- ✓ Salmones de Chile
- ✓ Salmones Austral
- ✓ Camanchaca

*La empresa Invermar se adhirió al proyecto posterior al inicio de la implementación de las estrategias.

9.5.2 Definición y aplicación de indicadores

Para asegurar la correcta evaluación de la eficiencia de cada una de las metodologías de control que se aplicaron durante el proyecto, fue fundamental contar con una serie de indicadores los que fueron definidos y consensuados con el equipo técnico del proyecto, los cuales han sido clasificados según se describe continuación:

- **Indicadores sanitarios:** eficacia de tratamientos 3 y 7 días (éxito) posterior al tratamiento (utilizados regularmente por las empresas productoras) y notificaciones CAD. El objetivo de estos indicadores es evaluar el nivel de reducción de carga parasitaria de los centros de cultivo.
- **Indicadores operacionales:** tasa de tratamientos por mes, periodo inter-tratamientos y porcentaje de centros de cultivo que aplican la estrategia de control.

A continuación, se detalla cada uno de los indicadores seleccionados:

a. Eficacia 3 días post tratamiento (%)

Según lo estipulado en el Programa Sanitario Específico de Vigilancia y Control de Caligidosis (PSEVC-CALIGIDOSIS de Sernapesca 2015; numeral 3.6). La eficacia se determinará comparando la reducción de las cargas parasitarias en cuatro jaulas monitoreadas un día antes (carga inicial) de la realización del tratamiento, y luego al tercer día (carga final) de su término (en las mismas cuatro jaulas).

$$\% \text{ eficacia 3 días post trat} = 100 - (\text{carga 3 días post} * 100 / \text{carga 1 días pre})$$

b. Eficacia 7 días post tratamiento (%)

Este indicador fue desarrollado por el Instituto Tecnológico del Salmón (INTESAL). Al igual que en el indicador Eficacia, la eficacia 7 días post tratamiento se mide comparando la reducción de las cargas parasitarias en cuatro jaulas monitoreadas un día antes (carga inicial) de la realización del tratamiento, pero luego se mide a los 7 días de su término (en las mismas cuatro jaulas)

$$\% \text{ eficacia 7 días post trat} = 100 - (\text{carga 7 día post} * 100 / \text{carga 1 días pre})$$

c. Notificaciones CAD (N-CAD)

Se refiere a la cantidad de veces que un centro cae en la categoría CAD (Centro de Alta Diseminación) de Sernapesca. Se comparará este índice tanto pre como post aplicación de las estrategias diseñadas.

$$\text{N-CAD} = \text{N notificaciones CAD} / \text{mes}^*$$

d. Tasa de tratamientos (TT)

Este indicador es de más largo plazo, y evalúa el número de tratamientos realizados en un centro posterior a la aplicación de las estrategias. El objetivo es analizar la tasa de tratamientos tanto antes como después de ejecutada la estrategia.

$$TT = N \text{ tratamientos} / \text{mes}^*$$

*El periodo que involucra estos indicadores, será reevaluado una vez aplicadas las estrategias, pudiendo abarcar un periodo mayor de tiempo.

e. Periodo inter-tratamientos (PIT)

Este indicador se refiere a la cantidad de días que ocurren entre un tratamiento y otro en un mismo centro. La idea será comparar el periodo inter-tratamientos antes y después de la aplicación de las estrategias.

$$PIT = (\text{fecha tratamiento Y}) - (\text{fecha tratamiento X})$$

Donde X es un tratamiento cualquiera e Y es el tratamiento justo anterior a X

f. Porcentaje de centros de cultivo que aplican la estrategia de control (%PA)

Este indicador se refiere a la cantidad de centros de cultivo presenten en la Macrozona 3 que efectivamente utilizaron la estrategia de control en relación con el número total de centros en el área. La idea será tener una referencia en cuanto al porcentaje de centros que probaron la estrategia en relación a la efectividad de las mismas.

$$\%PA: N \text{ centros que aplican la estrategia} / N \text{ centros total} \times 100$$

Como es de esperarse, estos indicadores serán útiles siempre y cuando se cumpla un mínimo de factores obligatorios, principalmente relacionados con la correcta aplicación del baño, el tiempo de tratamiento y el conteo de los parásitos en los peces por parte de personal calificado, así como en el oportuno flujo de información desde los centros hacia las autoridades y AVS Chile. Sin el aseguramiento de la correcta ejecución de estos, es difícil efectuar comparaciones de los indicadores entre las diferentes estrategias a ejecutar, así como entre estas y periodos anteriores.

Por lo mismo, se solicitó a los centros información precisa con respecto a variables biológicas y ambientales para asegurarnos de tener toda la información necesaria y los posibles factores de confusión.

- Densidad estimada de peces previa y durante operación del baño (kg/m^3)
- Temperatura de agua ($^{\circ}\text{C}$)
- Nivel de oxígeno disuelto en el agua (mg/l)
- Salinidad del agua (ppt)

- Dirección y velocidad de corrientes fuera de las jaulas (m/s)
- Estado de las redes

Además, se solicitó a los centros completar, previo a cada baño durante la ejecución de las estrategias, el *check-list* previamente diseñado por AVS Chile enfocado en buenas prácticas durante los baños en lona cerrada.

El éxito a nivel de macrozona se midió a través de los indicadores individuales por centro cultivo tales como eficacia 3 y 7 días post tratamiento, los cuales pueden ser extrapolados a nivel de ACS y macrozona a través de obtención de promedios y distribución de frecuencias. Asimismo, los indicadores como notificaciones CAD, tasa de tratamientos y porcentaje de centros de cultivo que aplican la estrategia de control (%PA) pueden ser calculados a nivel de centro de cultivo y ACS y/o Macrozona, según corresponda.

Para futuros estudios, los resultados de las diferentes estrategias, evaluadas a través de indicadores pueden ser analizados con diferentes análisis estadísticos utilizando prueba t test y ANOVA (una vía) y la significancia estadística puede ser considerada cuando $p < 0.05$. Las pruebas pueden ser realizadas utilizando el software StatsDirect statistical software Version 2.8.0 (Statsdirect Ltd, Cheshire, UK). Además, según los resultados obtenidos se puede evaluar la necesidad de incorporar otros análisis estadísticos para la evaluación integral de los indicadores. En el caso de este proyecto, estos análisis no fueron necesarios debido al reducido número de indicadores obtenidos.

9.5.3 Reuniones de coordinación con empresas productoras y levantamiento de información actualizada de centros activos

El periodo de desarrollo de la coordinación/implementación de las estrategias se extendió desde junio a noviembre del año 2016. A continuación se presentan las ventanas oficiales de coordinación de tratamiento inmersión Caligus del periodo mencionado (Figura 9). Todas las actividades realizadas para el cumplimiento de este objetivo se presentan en Anexo 23.

Se propone realizar el tratamiento en estos centros los primeros 4 días de la ventana y posteriormente continuar con los restantes.

Estrategia oceanográfica: se aplicaría en la ventana que comienza el 23 de agosto, comenzando los tratamientos de los centros según la dirección de la corriente predominante. Se propone comenzar con los tratamientos en los centros de la zona norte los primeros 4 días de la ventana y posteriormente continuar con los de la zona sur.

Situación sanitaria/productiva semana 24: en la Figura 11 se detalla la situación sanitaria relacionada con las cargas de Caligus y la situación productiva de la Macrozona 3.



Total centros	Información productiva		Cargas Caligus		
	Peso (Kg)	N° peces	JU	HO	AD
28	3.652	504.320	2,41	1,37	3,16

Figura 10. Número de centros según especie de cultivo, total de centros, peso y número de peces promedio y cargas de Caligus de la semana 24 en macrozona 3.

Reunión coordinación 2

Fecha: 19 de julio 2016.

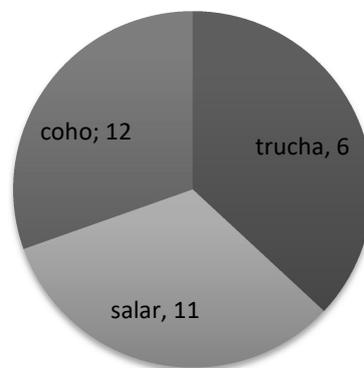
Objetivo: el objetivo de la reunión fue revisar la actual situación sanitario/productiva a la semana 28 de las empresas participantes del proyecto. Habiendo analizado la información dispuesta por Sernapesca (semana 27) se revisaron los niveles gatillantes de participación en la definida

estrategia epidemiológica 1, vale decir, peces de 2 Kg o más, y una carga de 2 o más hembras ovígeras (HO).

Porcentaje de participación de empresas: 80%

Estrategia propuesta: la estrategia considera iniciar los tratamientos en centros con cargas de Caligus sobre 2 HO, con peces sobre 2 kg y potencialmente diseminadores. Además se consideraría el número de peces de cada uno de los centros de cultivo. Se propone realizar el tratamiento en estos centros los primeros 4 días de la ventana y posteriormente continuar con los restantes.

Situación sanitaria/productiva semana 27: en la Figura 12 se detalla la situación sanitaria relacionada con las cargas de Caligus y la situación productiva de la Macrozona 3.



Total centros	Información productiva			Cargas Caligus	
	Peso (Kg)	N° peces	JU	HO	AD
29	2.751	617.464	1,59	1,04	2,34

Figura 11. Número de centros según especie de cultivo, total de centros, peso y número de peces promedio y cargas de Caligus de la semana 27 en macrozona 3.

Estrategia aplicada: Solo 2 centros del área presentan las características indicadas para realizar las estrategias. Centro Yaotal (MHCh) y Centro Quinchao (Invermar). En el caso del primer centro no realizaran tratamientos debido a que el centro está en cosecha. La empresa Invermar no participó en el proyecto durante este periodo.

Reunión coordinación 3

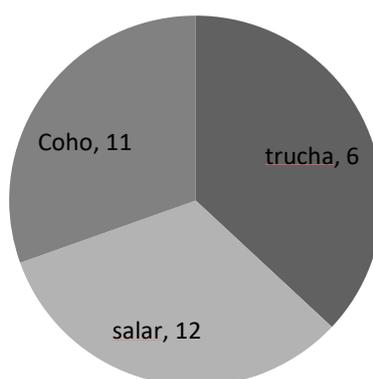
Fecha: 18 de agosto 2016.

Objetivo: El objetivo de la reunión fue revisar la actual situación sanitario/productiva a la semana 32 de los centros de cultivo para evaluar la implementación de la estrategia oceanográfica 1 (tratamientos según la dirección de las corrientes predominantes: norte a sur).

Porcentaje de participación de empresas: 60%

Estrategia propuesta: se indica comenzar los tratamientos de los centros según la dirección de la corriente predominante. Se propone comenzar con los tratamientos en los centros de la zona norte los primeros 4 días de la ventana y posteriormente continuar con los de la zona sur.

Situación sanitaria semana 32: en la Figura 13 se detalla la situación sanitaria relacionada con las cargas de Caligus y la situación productiva de la Macrozona 3.



Total centros	Información productiva			Cargas Caligus	
	Peso (Kg)	N° peces	JU	HO	AD
29	2,384	681.041	1,39	1,1	2,35

Figura 12. Número de centros según especie de cultivo, total de centros, peso y número de peces promedio y cargas de Caligus de la semana 32 en macrozona 3

Estrategia aplicada: Solo 2 centros del área presentan las características indicadas para realizar las estrategias. Centro Lin Lin (Cermaq) y Centro Huyar (Multiexport) ambos ubicados en la ACS 9A. Considerando que estos dos centros realizaron tratamiento, se propone coordinar una estrategia oceanográfica específica para la ACS 9A.

Reunión coordinación 4

Fecha: 23 de agosto 2016.

Objetivo: El objetivo de la reunión fue revisar la actual situación sanitario/productiva de los 2 centros de la ACS 9a (Huyar – Multiexport/ Lin lin - Cermaq) que realizarán tratamientos en la actual ventana de baños, junto con la información oceanográfica y propuesta de estrategia.

Porcentaje de participación de empresas: 100%

Estrategia propuesta: Realizar los tratamientos según corrientes predominantes específicas de la ASC 9A. Iniciar tratamiento en centro Huyar (principios de ventana) y luego Lin lin (fin de la ventana). Estrategia oceanográfica A.

Situación sanitaria: ver situación sanitario semana 32 (figura 13).

Estrategia aplicada: Se realizaron los tratamientos según corriente predominante, se inició tratamiento en centro Huyar y se finalizó en centro Lin Lin (estrategia oceanográfica A).

9.5.3.2. Estrategias según realización de tratamientos

- **Actividades de coordinación (vía email)**

El objetivo de cada una de estas actividades fue coordinar la potencial implementación de estrategias integradas de control, en base a la revisión de las empresas que realizarían tratamientos en la ventana siguiente. El cambio en la modalidad de coordinación/contacto y del tipo de información levantada se debió básicamente para optimizar los tiempos de las empresas productoras y facilitar el proceso de coordinación, ya que esta fue realizada en base a los centros de cultivos activos, específicamente los centros que realizarían tratamientos.

Actividad coordinación 1

Ventana de tratamiento/fecha: 1° ventana septiembre/Inicio: 06 sept.

Situación de tratamientos: Centros de cultivo no realizan tratamientos debido a bajas cargas parasitarias

Estrategia propuesta: No aplica dado que no se realizaron tratamientos en el área

Estrategia aplicada: No aplica

Actividad coordinación 2

Ventana de tratamiento/fecha: 2° ventana septiembre/Inicio: 21 sept.

Situación de tratamientos: los centros de cultivo que trataron fueron Puerto Haro (Salmones de Chile) y Quinchao (Salmones Antártica).

Estrategia propuesta: Solo 2 centros de cultivo realizaron tratamientos debido a la baja carga parasitaria y según la información oceanográfica recopilada no habría conectividad oceanográfica de relevancia para coordinar estrategia en base a esta información.

Estrategia aplicada: No aplica, sin embargo se recomendó el uso de *check list* operativo para la realización de baños en ambos centros.

Actividad coordinación 3

Ventana de tratamiento/fecha: 1° ventana octubre/Inicio: 05 oct.

Situación de tratamientos: Centros de cultivo que trataran: Huyar (Multiexport) y Lin Lin (Cermaq).

Estrategia propuesta: Se propone estrategia oceanográfica ACS 9A: Iniciar tratamiento en centro Lin Lin (principios de ventana) y luego Huyar (fin de la ventana), con el objetivo de realizar los baños en contra corriente predominante, es decir, en forma inversa a la 2° ventana de agosto.

Estrategia aplicada: Se inicia tratamiento en centro Lin Lin (principios de ventana) y luego Huyar (fin de la ventana), estrategia oceanográfica B.

Actividad coordinación 4

Ventana de tratamiento/fecha: 2° ventana octubre/ Inicio: 19 oct

Situación de tratamientos: Solo un centro de cultivo (Lin Lin - Cermaq) finaliza tratamiento pendiente de ventana anterior dado que no fue finalizado por malas condiciones climáticas.

Estrategia propuesta: no aplica, dado que un solo centro realizará tratamiento en el área.

Estrategia aplicada: no aplica.

Actividad coordinación 5

Ventana de tratamiento/fecha: 1° ventana nov/ inicio: 02 nov

Situación de tratamientos: Solo un centro de cultivo (Puerto Haro – Salmones de Chile) realiza tratamientos.

Estrategia propuesta: no aplica, dado que un solo centro realizará tratamiento en el área.

Estrategia aplicada: no aplica, sin embargo se recomendó el uso de *check list* operativo para realización de baños.

Actividad coordinación 6

Ventana de tratamiento/fecha: 2° ventana nov/ inicio: 17 nov

Situación de tratamientos: las empresas no reportaron la realización de tratamientos.

Estrategia propuesta: no aplica, dado que no se efectuó reporte de realización de tratamientos.

Estrategia aplicada: no aplica.

9.5.4 Implementación de las estrategias integradas de control y evaluaciones en terreno

Estrategia oceanográfica A:

a) Descripción: la estrategia fue diseñada exclusivamente para la ACS 9A, en la cual se realizaron los tratamientos según corriente predominante, es decir de norte a sur, iniciando el tratamiento en centro Huyar y finalizando centro Lin Lin (Figura 14).

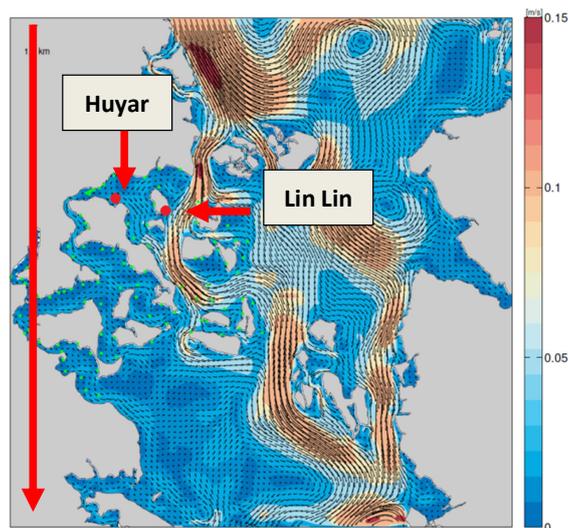


Figura 13. Centros de cultivo Huyar y Lin Lin que realizaron estrategia oceanográfica A.

b) Evaluación: la evaluación de la estrategia fue realizada a través de indicadores sanitarios (Tabla 7)

Tabla 7. Indicadores sanitarios de estrategia oceanográfica A

Centro/indicadores	Éxito 3 días post trat	Éxito 7 días post trat	Notificaciones CAD
Lin Lin	100%	99,3%	Sin notificaciones
Huyar	-	-	Sin notificaciones

c) Indicadores operacionales: No aplica dado que el tiempo de evaluación para obtener valores confiables debe ser de un ciclo productivo completo.

d) Uso *check list* operacional para la realización de baños: realizado en centro Lin Lin.

Estrategia oceanográfica B:

a) Descripción: la estrategia fue diseñada exclusivamente para la ACS 9A, en la cual se realizaron los tratamientos en contra corriente predominante, es decir de sur a norte, iniciando el tratamiento en centro Lin Lin y finalizando centro Huyar (Figura 15).

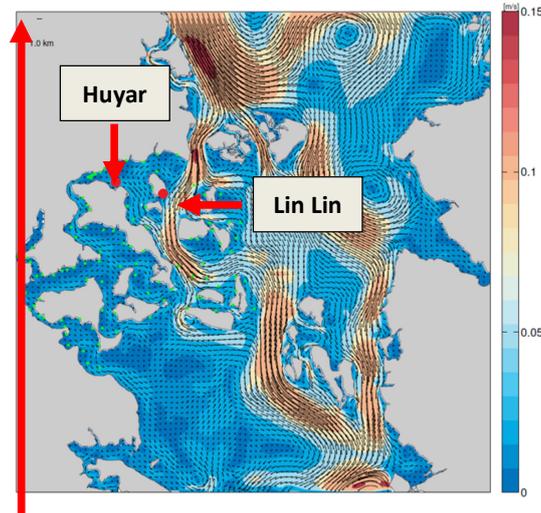


Figura 14. Centros de cultivo Huyar y Lin Lin que realizaron estrategia oceanográfica B.

b) Evaluación: la evaluación de la estrategia fue realizada a través indicadores sanitarios (Tabla 8)

Tabla 8. Indicadores sanitarios de estrategia oceanográfica B

Centro/indicadores	Éxito 3 días post trat	Éxito 7 días post trat	Notificaciones CAD
Lin Lin	96,7%	96,7%	Sin notificaciones
Huyar	97,2%	99,4%	Sin notificaciones

c) Indicadores operacionales: No aplica dado que el tiempo de evaluación para obtener valores confiables debe ser de un ciclo productivo completo.

d) Uso *check list* operacional para la realización de baños: aplicado en centro Lin Lin.

9.5.5 Identificación de puntos críticos y ranking de efectividad de estrategias

Durante la coordinación e implementación de las estrategias se detectaron los siguientes puntos críticos:

- Condiciones climáticas inadecuadas para llevar a cabo los tratamientos o bien, que podrían influir para la correcta realización de los tratamientos durante las ventanas de tratamientos por inmersión.
- Potencial dificultad de coordinación de empresas productoras en días específicos de las ventanas de tratamientos.
- Bajo nivel de uso de *check list* operacional para la realización de tratamientos de baño.
- Lenta recopilación de información para la evaluación de las estrategias (aplicación de indicadores).

A continuación se detallan cada una de las estrategias en conjunto con la descripción, característica y su *ranking* de implementación (Tabla 9):

Tabla 9. Descripción, características y *ranking* de estrategias epidemiológicas y oceanográficas

Descripción	Característica	Estrategias oceanográficas	Estrategias epidemiológica
Información base en el tiempo	Estable	X	X
	Variable		
Necesidad de actualización de información	Temporal	X	X
	Continua		
Centros que realizan tratamientos	Todos	X	X
	Centros seleccionados		
Coordinación previa factores operacionales	Dependiente de información de Caligus	X	X
	Independiente de información de Caligus		
Coordinación entre empresas	Factibilidad	X	X
Implementación en diferentes zonas	Factibilidad		X
Indicadores sanitarios/operativos	Aplicación		X
<i>Ranking</i>	Implementación	Si	Si

9.6 Objetivo 6: Elaborar y validar un protocolo de tratamiento coordinado considerando los puntos críticos a partir de las distintas estrategias de control propuestas

A continuación se detalla el Protocolo de tratamiento coordinado para el control de *C. rogercresseyi* en la Macrozona 3. Además se presenta como un documento independiente en Anexo 24.

1. Objetivo

El documento detalla la definición y aplicación de un protocolo de tratamiento coordinado para el control de *C. rogercresseyi* en la Macrozona 3.

2. Alcance

El documento propende a plantear un protocolo de tratamiento coordinado para una macrozona definida: Macrozona 3. El protocolo se basa en el estudio del comportamiento epidemiológico y análisis oceanográfico basal en un periodo determinado, identificación de eventos y puntos críticos, desviaciones y posibles optimizaciones para la generación de un protocolo ajustado según el comportamiento dinámico de esta enfermedad y las variaciones medioambientales del área.

3. Referencias

Informe final proyecto FIP 2014-62. Diseño y evaluación de efectividad de diferentes estrategias integradas para el control del ectoparásito *C. rogercresseyi* en salmónidos

4. Participantes y responsabilidades

Empresas productoras: cada una de las empresas con centros activos en el área de la macrozona 3, deberán participar activamente a través de la entrega de información epidemiológica y oceanográfica en caso que corresponda. Asimismo, deberán participar en las reuniones de coordinación e implementar los tratamientos coordinados acordados. Adicionalmente, deberán entregar la información mencionada en el presente documento para la evaluación de los tratamientos a través de indicadores.

El grupo de empresas productoras deberá designar a un coordinador general, el cual puede ser una persona dentro del mismo grupo o bien una entidad independiente. Su rol será coordinar cada una de las actividades asociadas al desarrollo de tratamientos coordinados.

Entidad gubernamental: la entidad gubernamental participante dentro la coordinación de los tratamientos debe tener estrecha relación con el Programa Sanitario Específico de Vigilancia y Control de Caligidosis (Res. Ex. N° 13-2015). Dentro del comité técnico, su misión será apoyar las decisiones técnicas y generar la comunicación hacia la entidad gubernamental en caso que sea requerido.

Entidad independiente: en caso que aplique, será el coordinador general, y deberá estar cargo de la coordinación general cada una de las actividades desarrolladas. Asimismo, estará encargada de revisar y validar cada uno de los procedimientos realizados y el análisis de la información obtenida.

5. Protocolo de tratamiento coordinado para la Macrozona 3

5.1. Formación de comité técnico

Al iniciar el trabajo de coordinación se debe conformar un comité técnico compuesto por al menos un participante de cada una de las empresas productoras y designar un coordinador general. En caso de ser posible, se recomienda incorporar la participación de una institución independiente que apoye el desarrollo de análisis de información y coordinación de las empresas. Asimismo, se recomienda la participación de un representante gubernamental como miembro activo del comité técnico.

En este punto es fundamental contar con la participación y compromiso de todas las empresas productoras con centros de cultivos y/o concesiones en el área.

5.2. Levantar información sanitaria / productiva actual del área y análisis de zooplancton

A partir de esta información, se debe desarrollar un análisis retrospectivo que idealmente considere la caracterización epidemiológica de la carga parasitaria, éxito de los tratamientos de los centros de cultivo activos y la clasificación de los centros de cultivo en relación a su estado de infestación (categorización de los centros).

Adicionalmente, se recomienda realizar monitoreo de zooplancton (o levantar información previamente obtenida), el cual considere el análisis cuantitativo de copepoditos de Caligus. El objetivo de contar con esta información es definir las cargas ambientales/presión de infestación externa de los centros de cultivo, información que podría ser integrada para la elaboración e implementación del protocolo de tratamiento coordinado. En forma paralela, se recomienda que la información levantada sea almacenada en una base de datos general de toda la macrozona la cual podría ser revisada y analizada posteriormente, y de esta manera contar con información respecto a las variaciones temporales históricas de la carga de copepoditos en la columna de agua en las diferentes áreas de la Macrozona 3.

5.3. Levantar información oceanográfica

Si bien existe información oceanográfica para su uso y aplicación en las estrategias de la macrozona 3 disponible en el Modelo de Simulación Oceanográfica SINMOD, el cual ha sido aplicado y validado para su uso en la coordinación de tratamientos de Caligus, se recomienda levantar información oceanográfica actualizada básica para su revisión y/o complementación.

5.4. Integración de la información

Tanto la información epidemiológica como oceanográfica debe ser integrada, y en base a esto se deben generar las estrategias de control a implementar. Si bien en el siguiente punto se presentan estrategias pre diseñadas, dada la variación en la dinámica del ciclo del parásito, la situación productiva de los centros presentes en el área y las variaciones de las condiciones medioambientales, estas pueden ser complementadas con la nueva información levantada o bien generar nuevas estrategias de acuerdo a la situación puntual y el periodo determinado.

5.5. Estrategias de control epidemiológicas y oceanográficas

A continuación se describen estrategias prediseñados para el control de Caligus.

Estrategias epidemiológicas:

- **Estrategia según peso de peces:** se deben iniciar los tratamientos (durante las ventanas de baños indicadas por Sernapesca) en los centros de cultivo con peces sobre 2 kg de peso presentes en la Macrozona 3. Se debe considerar también la biomasa de cada uno de los centros de cultivo involucrados en la estrategia. Adicionalmente, se propone revisar la situación relacionada con las cargas parasitarias de los centros no tratados, y evaluar si podría ser de impacto el tratamiento en centros con peces menores a 2 Kg.
- **Estrategia según niveles de Caligus:** la estrategia indica tratamientos en centros con cargas de Caligus $\geq 1,5$ hembras ovigeras (HO), centros de alta diseminación (CAD) y clasificados como centros potencialmente diseminadores (obtenidos según análisis epidemiológicos previos). Es decir, el objetivo de este tratamiento coordinado es iniciar tratamientos en centros con mayores cargas parasitarias presentes en la Macrozona 3 (Ver figura 2).

Tratamientos coordinados oceanográficos:

- **Estrategia según dirección de corrientes oceanográfica:** los tratamientos debe ser realizados en orden cronológico y programados según la corriente predominante. Se propone realizar

tratamientos de norte a sur (según lo indicado en Figura 1 del Protocolo). Se recomienda tratar los primeros 3 días de la ventana de baño definida por Sernapesca los centros ubicados al norte de la macrozona y posteriormente durante 3 días tratar los centros ubicados en la zona sur de la macrozona.

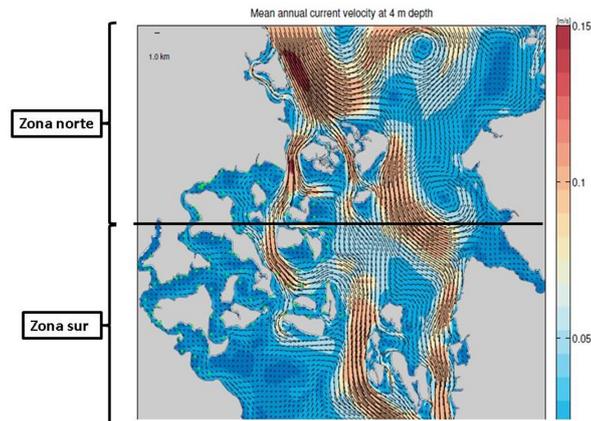


Figura 1(Protocolo). Zonas norte y sur definidas para realizar el tratamiento en base la dirección de corrientes predominantes (Fuente: SINMOD Chile).

- **Estrategia según velocidad de corrientes oceanográfica:** para el desarrollo de los tratamientos se propone secuenciar los tratamientos según compartimentos 1 y 2 definidos según corrientes predominantes indicado por el modelo de simulación SINMOD. Para esto, se establecieron 2 compartimentos definidos según características oceanográficas compartidas, asociadas a la velocidad y dirección de la corriente (Figura 2). Se propone comenzar los tratamientos coordinados en la Zona 1, durante los tres primeros días de la ventana de baños definida por Sernapesca y posteriormente durante 3 días siguientes tratar los centros ubicados en la Zona 2.

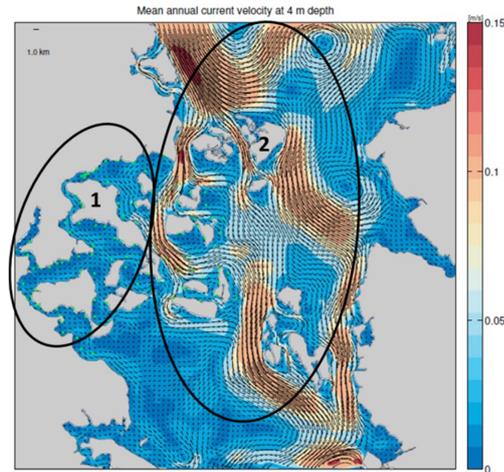


Figura 2 (Protocolo). Zonas 1 y 2 definidas para realizar el tratamiento en base a la velocidad de corrientes predominantes. (Fuente: SINMOD Chile)

5.6. Definición y aplicación de tratamientos coordinados

- Reuniones de coordinación

Con el objetivo de coordinar y definir los tratamientos y fechas/periodos de aplicación, se desarrollaron reuniones de coordinación que involucren a todas las partes interesadas. Las reuniones serán lideradas por el coordinador general designado previamente.

- Georreferenciación de los centros de cultivo activos

A través del uso de un programa computacional (se recomienda ArcGis) se deberá incluir en un mapa actualizado de la Macrozona 3 cada uno de los centros activos con la información respectiva de la especie de peces en cultivo y, en caso de ser posible, incluir el peso promedio y niveles de Caligus.

- Revisión de la información sanitaria productiva actual de todos los centros de cultivo.

Cada una de las empresas productoras deberá entregar la información sanitaria y productiva de los centros de cultivo que serán incluidos en los tratamientos coordinados. Los datos semanales deben considerar la siguiente información:

Información productiva: fecha, número de peces, peso promedio, biomasa de peces, densidad.

Información ambiental: temperatura, salinidad, oxígeno.

Información sanitaria: porcentaje de mortalidad, cargas de Caligus (promedio por centro), HO, AM y JV.

Tratamientos contra Caligus: fecha de inicio y término de tratamiento, fármaco, tratamiento parcial o centro de cultivo completo, eficacia de tratamiento en juveniles y adultos.

- Potencial aplicación de estrategias oceanográficas/epidemiológicas

En base a la información sanitaria y productiva disponible, se debe evaluar/revisar la factibilidad de aplicación de cada una de las estrategias prediseñadas disponibles, o en caso que corresponda, evaluar la opción de complementarlas, o bien generar una nueva estrategia de control.

- Puntos críticos de la aplicación de las estrategias

Se levantarán/identificarán los puntos críticos asociados a la implementación en terreno de los tratamientos coordinados, relacionados con las condiciones climáticas, número de centros que realizarán tratamientos, ubicación de los centros, posibilidad de realizar tratamientos en forma 100% coordinada, etc. El objetivo de tener esta información, es evaluar alguna modificación de la estrategia a utilizar para disminuir el riesgo de una aplicación inadecuada.

- Aplicación de los tratamientos coordinados

La puesta en marcha de los tratamientos debe ser previamente coordinada por el comité técnico, considerando el tipo de estrategia que se utilizará, fármaco, periodo y tiempos de aplicación.

- Evaluación de los tratamientos coordinados con indicadores previamente definidos

Posterior a la aplicación de las estrategias se debe evaluar su eficiencia a partir de la información levantada por parte de las empresas productoras. Asimismo, se deben informar cada una las desviaciones ocurridas durante la aplicación de los tratamientos coordinados. En general, se recomienda el uso de los siguientes indicadores:

Indicadores sanitarios: eficacia 3 y 7 días post tratamiento (utilizados regularmente por las empresas productoras) y notificaciones CAD.

Indicadores operacionales: tasa de tratamientos por mes, periodo inter-tratamientos y porcentaje de centros de cultivo que aplican la estrategia de control.

Adicionalmente, se recomienda el uso del *check list* operacional para baños terapéuticos contra Caligus.

5.7. Fármaco

Los tratamientos coordinados deben seguir con el plan de rotación de fármacos con el cual está trabajando la Macrozona 3. Sin embargo, se recomienda iniciar la aplicación de los tratamientos con azametifos, dado que a la fecha (año 2016) no se ha reportado evidencia de baja sensibilidad a este producto y tampoco resistencia. En caso de utilizar piretroides se sugiere realizar, previamente al tratamiento, un bioensayo para evaluar la sensibilidad al fármaco de los parásitos presentes en el centro de cultivo que se va a utilizar, y de esta manera contar con información previa relacionada con la eficacia del producto.

Adicionalmente, se recomienda el uso de peróxido de hidrógeno como alternativa no farmacológica durante la aplicación de tratamientos coordinados.

5.8. Periodo de ejecución

Los tratamientos coordinados deben realizarse durante las ventanas de tratamientos establecidas previamente por Sernapesca. En general se recomienda que el tratamiento por centro de cultivo no se prolongue por más de tres días (idealmente consecutivos) dentro de la ventana de baños y en coordinación con todos los centros de cultivo definidos según la estrategia a aplicar. De todas formas, esto debe ser corroborado por las empresas productoras según las capacidades y logística involucradas en la realización de los tratamientos.

6. Implementación de metodologías no farmacológicas de control y prevención de Caligus

Considerando la limitada cantidad de fármacos disponibles para control de Caligus, y por consiguiente limitadas opciones de rotación de fármacos, se recomienda la incorporación de opciones no farmacológicas como medidas preventivas y de control de Caligus, las cuales deben ser previamente revisadas, evaluadas y aprobadas por el comité técnico.

7. Anexos

Check list operacional para la realización de baños terapéuticos contra Caligus

9.7. Objetivo 7: Diseñar un modelo o metodología para evaluar la efectividad de los tratamientos coordinados en las macrozonas de la X y XI regiones

9.7.1 Información oceanográfica

A continuación (Figuras 16 y 17) se presenta la información oceanográfica recopilada (Fuente: SINMOD) de dirección y velocidad de corrientes, del periodo enero a abril del año 2015 de la X y XI región, a profundidad de 0-8 m (Resolución: 800 mt).

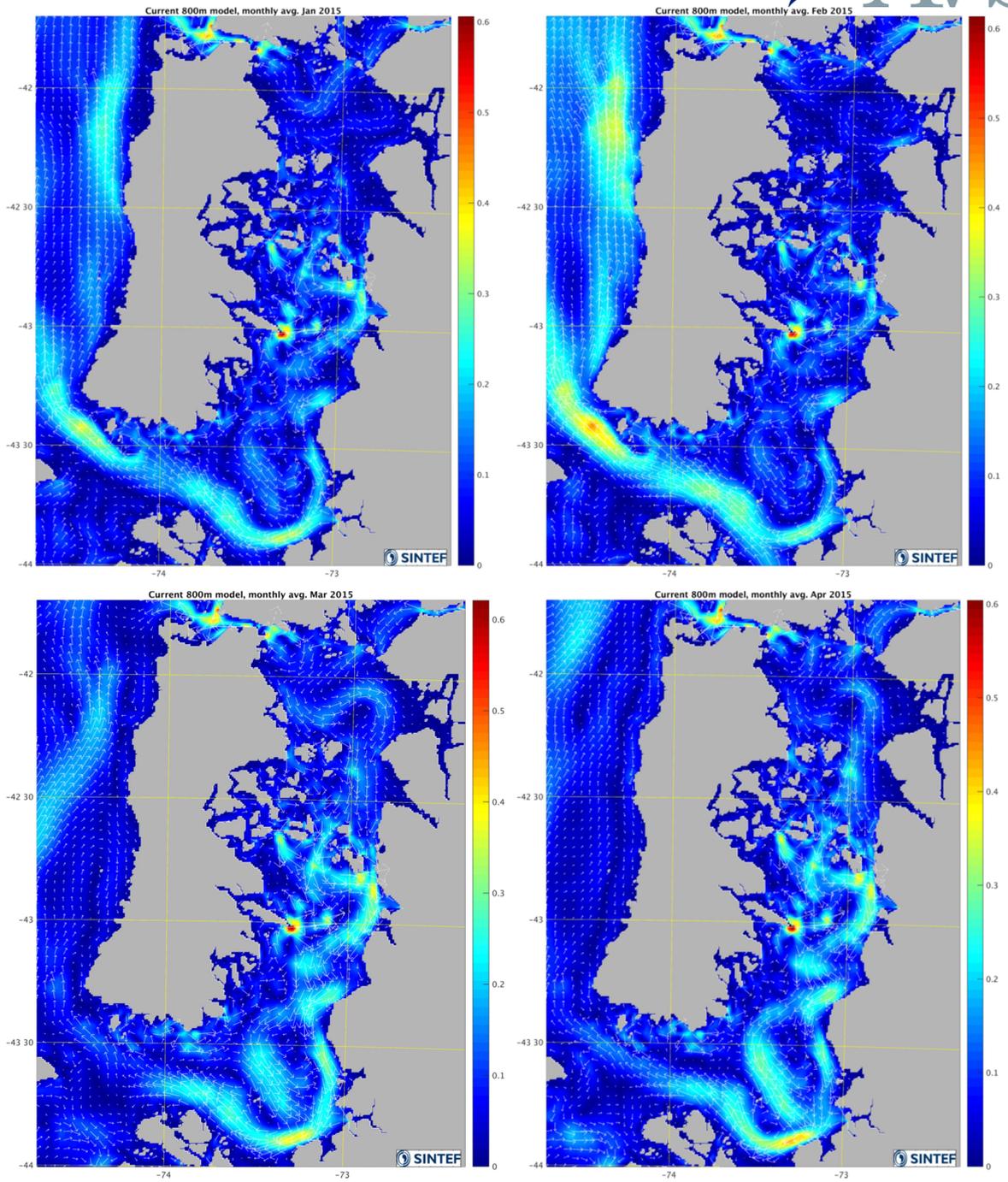


Figura 15. Dirección y velocidad de corrientes a 0-8 mt de profundidad en X región durante periodo enero abril 2015.

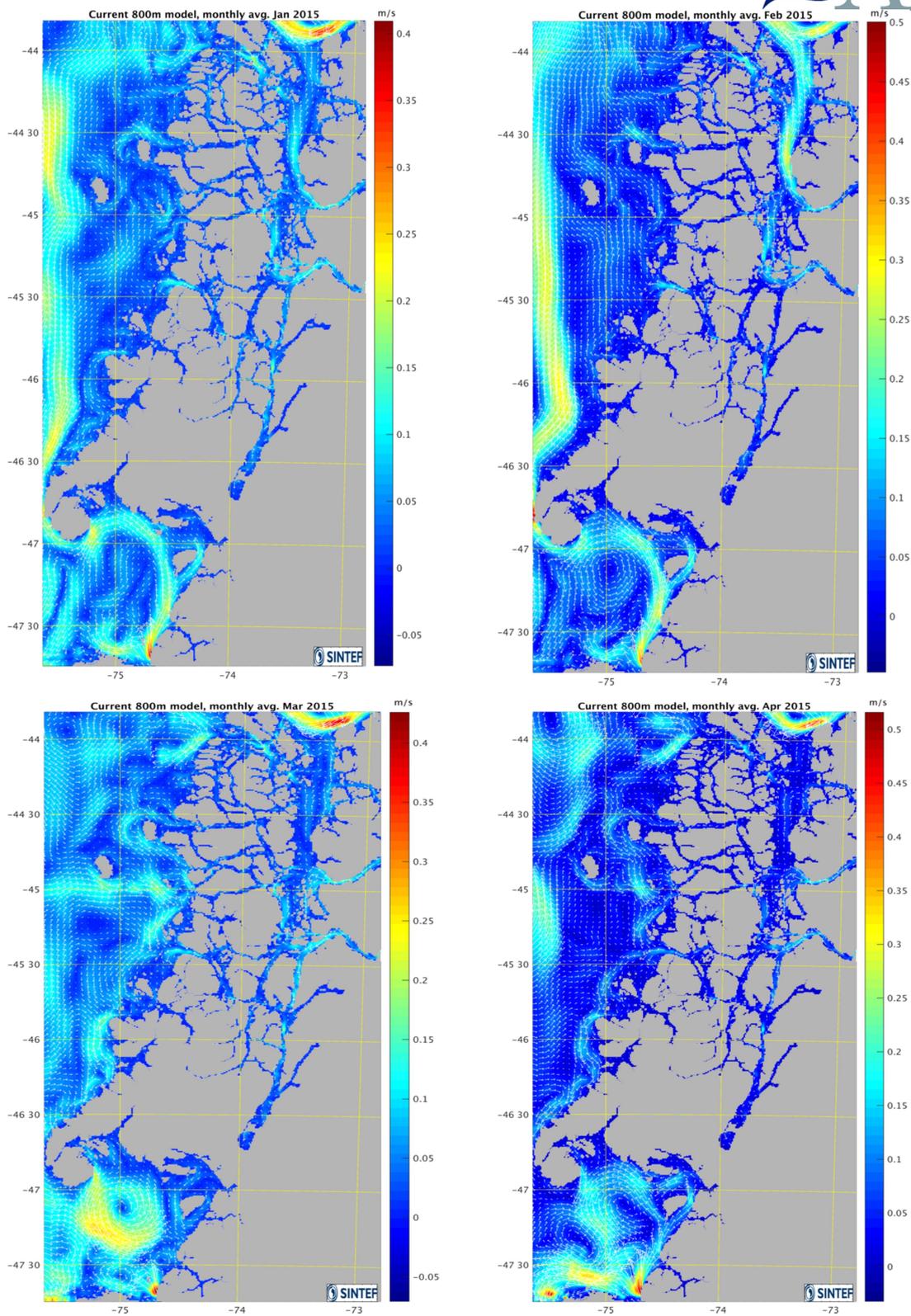


Figura 16. Dirección y velocidad a 0-8 mt de profundidad en XI región durante periodo enero abril 2015.

En relación a la información oceanográfica recopilada (Fuente: SINMOD), del periodo enero a abril del año 2015 de la X y XI región, a profundidad de 0-8 mt se evidencia diferencias principalmente de la velocidad de la corriente predominante a través del tiempo y en algunos casos, diferencias en relación a la dirección de la corriente predominante. Esta información se relaciona con la obtenida en el objetivo 3 del proyecto, donde se evidencian diferencias en ambas variables oceanográficas durante las diferentes estaciones del año.

Adicionalmente, esta información puede ser complementada con la información indicada por la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura disponible a partir de diferentes fuentes mencionadas a continuación:

- Temperatura, salinidad y oxígeno: Cendhoc en Proyectos Cimar-fiordo y en los proyectos ASIPA
- Análisis de zooplancton (copepoditos Caligus): Cendhoc en Proyectos Cimar-fiordo
- Aportes de agua dulce, incluyendo ríos: Dirección General de Aguas
- Precipitaciones: en la armada o dirección meteorológica de Chile
- Mediciones de vientos: en la armada o dirección meteorológica de Chile

9.7.2 Información epidemiológica – Análisis histórico del comportamiento de Caligus

La información recopilada considera las cargas totales de Caligus semanal y/o quincenal, del periodo 2010-2014, de todas las macrozona de la X y XI región.

En relación al análisis anual del periodo 2010 a 2014 (Figuras 18 a 24), se evidencia una marcada estacionalidad con tendencia a un aumento de las cargas parasitarias durante los meses de marzo - abril tanto para salmón del Atlántico como trucha arcoíris.

Asimismo para el periodo 2010-2012 hay una tendencia al aumento de cargas parasitarias durante el mes de noviembre en ambas especies susceptibles. La información obtenida a partir de este análisis se correlaciona con los resultados obtenidos en los análisis epidemiológicos específicos de la Macrozona 3 (objetivo 3), acerca de la estacionalidad de Caligus la cual se evidenció principalmente en el mes de abril.

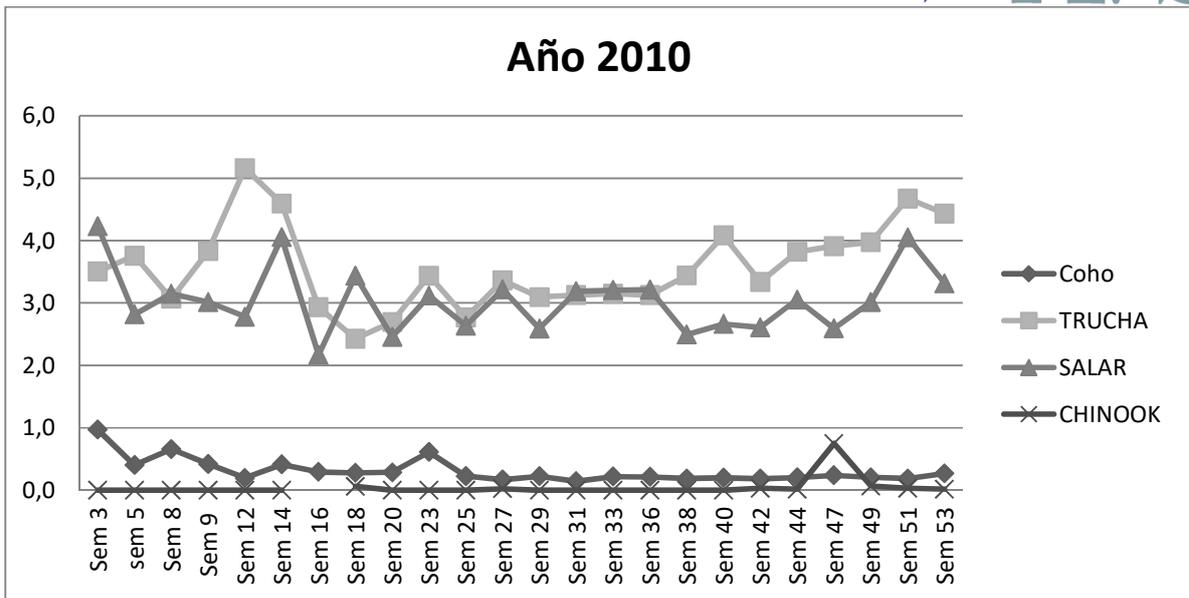


Figura 17. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2010.

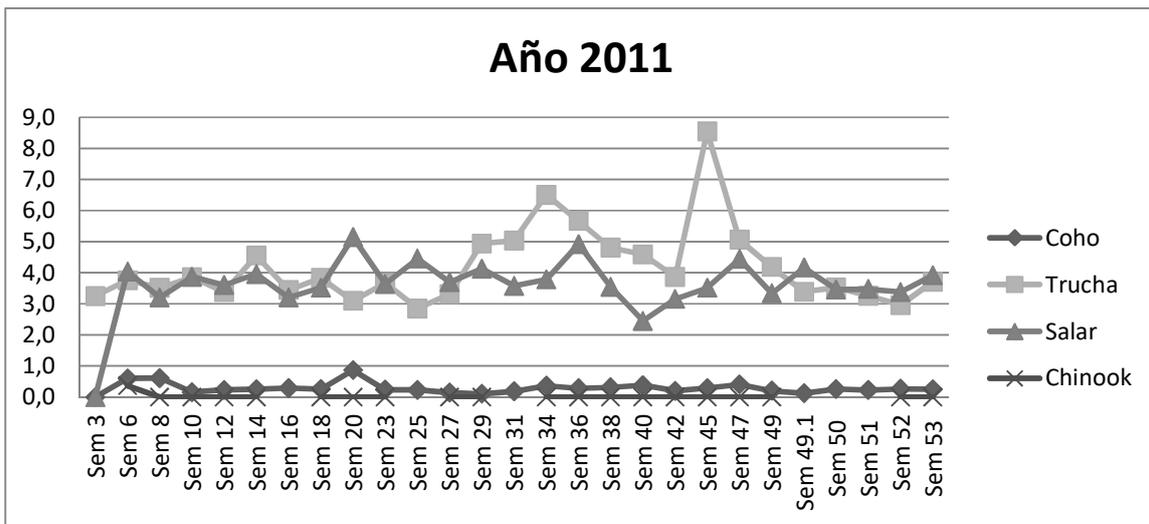


Figura 18. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2011.

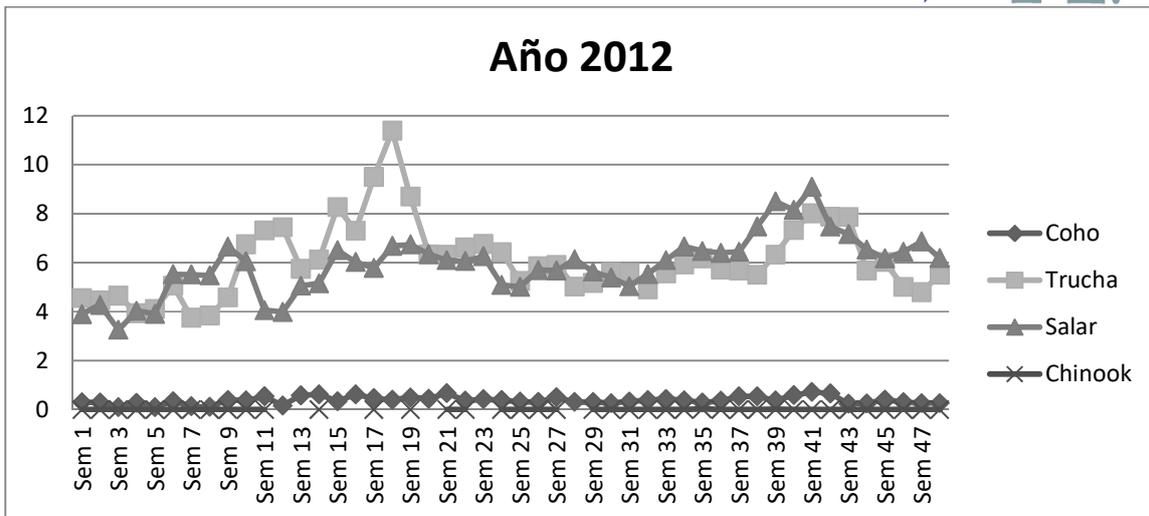


Figura 19. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2012.

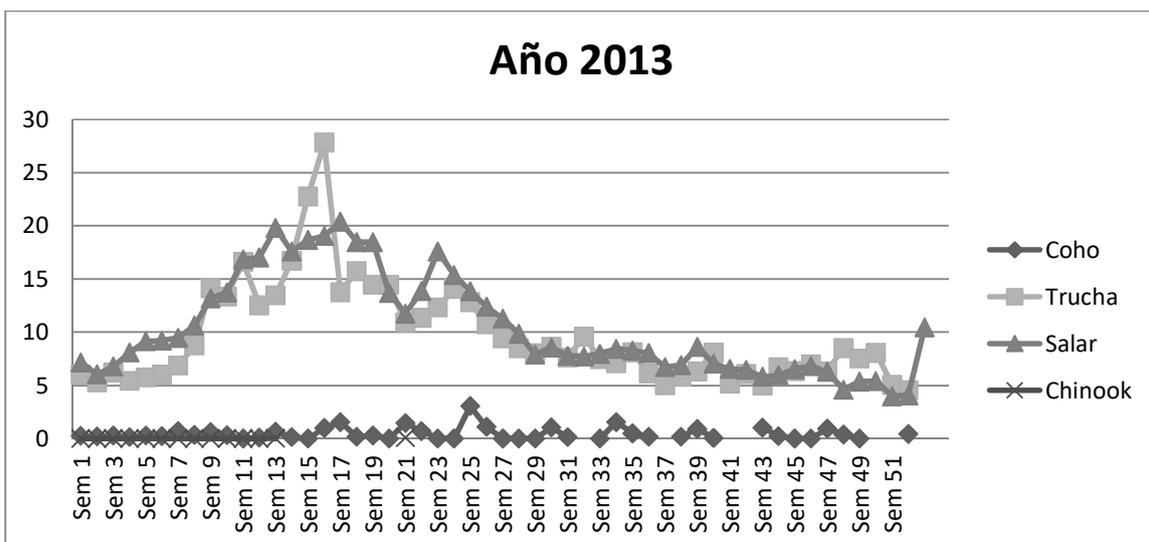


Figura 20. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2013.

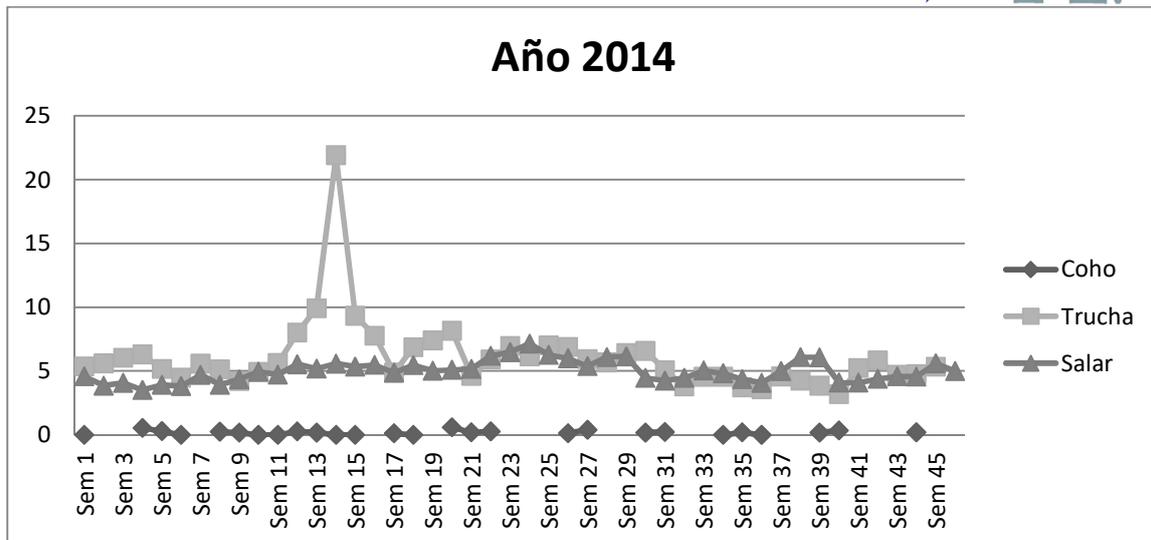


Figura 21. Evolución de cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo en Chile de la X y XI región durante el año 2014.

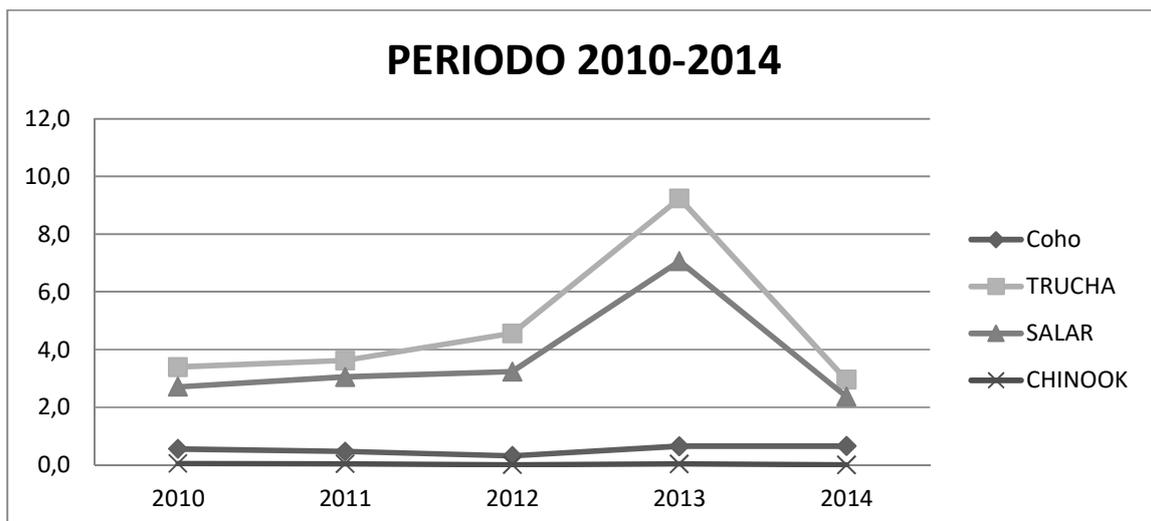


Figura 22. Evolución de las cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo durante el periodo 2010-2014 en X región.

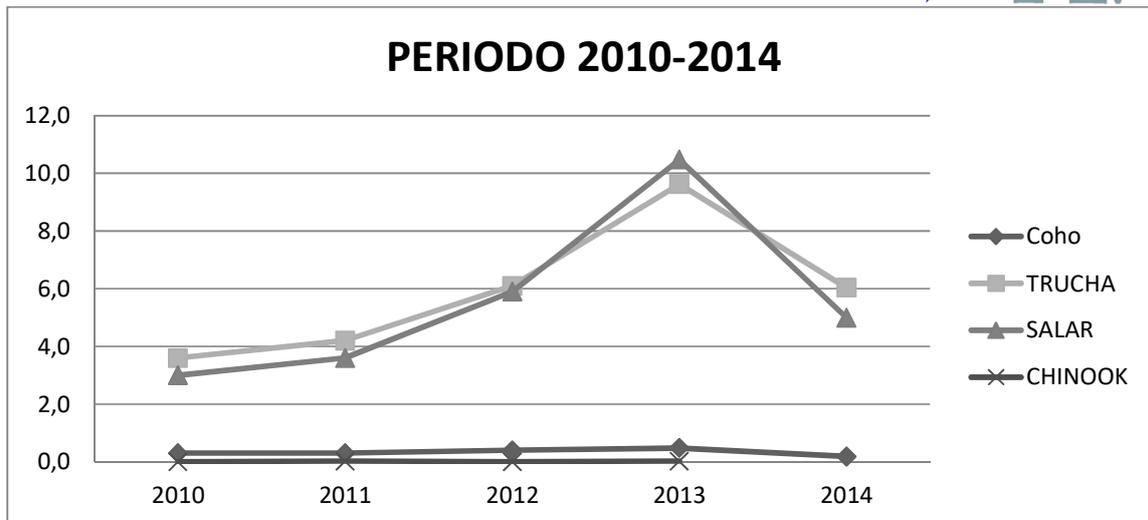


Figura 23. Evolución de las cargas de Caligus (adultos totales) en 4 especies de cultivo durante el periodo 2010-2014 en XI región.

De acuerdo a la información obtenida para la Región de los Lagos, las cargas parasitarias más altas afectan principalmente a trucha arcoíris y salmón del Atlántico entre los años analizados (2010-2014), observándose una tendencia (magnitud de infestación) sostenida al alza en la cargas. El 2013 se observa como el año de mayor carga para ambas especies (Figura 23). Cabe destacar que cada año presenta una dinámica cíclica en cuanto a cargas, lo cual ha sido reportado por Sernapesca en sus Informes sanitarios. Durante el año 2014 se observa una notoria baja en la carga, presumiblemente debido a efectos del programa de control impuesto por la autoridad y a la utilización de nuevos principios activos en la operación de tratamientos de baño al igual que nuevas modalidades de ejecución de estos.

Similarmente, en la región de Aysén, se observa que el año 2013 fue el que reportó mayores cargas parasitarias promedio total en los centros presentes en dicha región. A diferencia de la región de los Lagos los valores promedio reportan una evidente diferencia en esta región, para a final de periodo comportarse de forma similar (cargas 4-5 en promedio) (Figura 24).

En general, las regiones X y XI presentan una tendencia similar en relación a las cargas parasitarias durante el periodo analizado. Sin embargo en promedio la XI región presenta cargas más elevadas tanto en salmón del Atlántico como trucha arcoíris comparado con la X región (ver Figuras 23 y 24).

9.7.3 Metodología para evaluar la efectividad de los tratamientos coordinados en X y XI región

Según la información recopilada, tanto oceanográfica como la derivada del análisis de la dinámica semanal de Caligus durante 5 años, se sugiere y recomienda utilizar una metodología estándar para la evaluar la efectividad de los tratamientos coordinados para la X y XI región.

La metodología fue diseñada en base a la experiencia dentro del marco del presente proyecto, considerando el diseño, implementación y evaluación de diferentes estrategias integradas de control. Se presenta en formato Excel (Anexo 25) con el objetivo de facilitar su posterior uso/aplicación .

La metodología para la correcta evaluación básicamente considera el uso de indicadores sanitarios y operativos anteriormente propuestos y aplicados para las estrategias, incluyendo la siguiente información:

1. Recopilación de información relacionada con la implementación/coordinación de la estrategia de control integrada:

Actividades de coordinación: modalidad de estrategia, descripción situación sanitaria y tratamientos, estrategia propuesta, descripción, ventanas de tratamientos, fecha, empresas participantes.

Información de aplicación de tratamiento: factibilidad de aplicación, punto crítico pre aplicación, estrategia aplicada (desviación).

Información de implementación operacional: uso y resultados de *check list* y puntos críticos detectados.

2. Recopilación de información relacionada con la evaluación de la estrategia de control integrada:

Información general: centro de cultivo, estrategia, ventana de tratamiento, fecha de inicio y de término de tratamiento, *check list* operacional.

Cargas de Caligus: 7 días pre tratamiento, 24 hrs pre tratamiento, 72 hr post tratamiento, 7 días post tratamiento.

Variables ambientales: temperatura, oxígeno (mg/l), salinidad (ppt), dirección/velocidad de corrientes (m/s) y estado redes.

Indicadores sanitarios: Eficacia 3 y 7 días post tratamiento y Notificaciones CAD.

Indicadores operativos: Tasa de tratamientos, periodo intertratamiento (PIT) y porcentaje de aplicación de tratamientos (%PA).

9.8 Reuniones Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Según lo indicado en bases técnicas del proyecto, se efectuaron reuniones con frecuencia trimestral con la Subsecretaría de Pesca. La primera consideró la reunión inicial de coordinación del proyecto (Octubre

2014) y posteriores reuniones trimestrales de avance del proyecto. Las minutas de las 8 reuniones realizadas se detallan en Anexo 26.

9.9 Talleres de entrega de resultados del proyecto

Se realizaron 2 talleres de entrega de resultados del proyecto, el primero fue realizado en la ciudad de Valparaíso y contó con la participación de Sernapesca, Subpesca y FIPA, y tuvo como objetivo realizar una discusión tanto de la metodología y resultados, para generar conclusiones a partir de la reunión. La presentación realizada se detalla en el Anexo 27.

El segundo taller fue realizado en la ciudad de Puerto Varas y contó con la participación de entidades académicas y de investigación, representantes del Comité Sanitario de Acuicultura, representantes de empresas productoras de salmón, Sernapesca y Subpesca. Los asistentes al taller en conjunto con la presentación se detallan en el Anexo 28.

10 Análisis y discusión de resultados

C. rogercresseyi es un parásito que se ha expresado básicamente en conjunto con el comienzo y desarrollo de la salmonicultura, extendiéndose a las principales áreas geográficas donde se desarrolla esta actividad, afectando a las diferentes especies de salmónidos cultivados y otras especies de peces silvestres en Chile. En el caso del hemisferio norte, la especie que más impacta a la industria del salmón es *L. salmonis*, especie que ha convivido con estos peces históricamente.

En relación a la biología del parásito, se describe un ciclo de vida directo en los peces, presentando estadios parasitarios obligados y estadios nadadores de vida libre, careciendo de hospedador intermediario. Específicamente el ciclo de vida consta de 8 estadios, cada estadio está separado por una muda el cual incluye 2 nauplius, 1 copepodito, 4 chalimus y 1 adulto.

El crecimiento de *C. rogercresseyi* es dependiente de la temperatura del agua, cuando ésta se encuentra a 10°C el ciclo es de 45 días, mientras que a 15°C es de 26 días. En las principales regiones donde se desarrolla la salmonicultura, las temperaturas varían de 9°C, en época invernal a 15°C en verano. En el caso de la X región el ciclo completo se realiza en 32 días a 12°C desde la eclosión del huevo hasta adulto. Por otra parte, la salinidad (superior a 25 psu) es un factor asociado directamente a la sobrevivencia, tasa de infestación y el ciclo de vida del parásito.

El único estadio infectante que presenta *C. rogercresseyi* es el copepodito alcanzado a los 72^ºD y la tasa de supervivencia es de cerca del 40%, no sobrevive más de 7 días sin hospedero en condiciones de laboratorio. Las especies susceptibles a *C. rogercresseyi* son el róbalo (*Eleginops maclovinus*), pejerrey (*Odonthestes regia*) y el lenguado (*Paralichthys microps*). En condiciones de laboratorio se ha detectado que también puede afectar a puyes. Las especies de salmónidos susceptibles son salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). Por otra parte, salmón coho presenta algún grado de resistencia, sin embargo podría ser parasitado por copepoditos y desarrollarse hasta estadios juveniles, sin lograr el desarrollo hasta estadios adultos.

Entre los factores de riesgo para la presencia y carga de *C. rogercresseyi* se encuentran: zona geográfica, especie de salmónido cultivado, uso de tratamientos contra piojo de mar, densidades de cultivo, peso de los peces y la salinidad del agua. Adicionalmente, se tiene evidencia que el incremento en la biomasa o número de peces en cultivo lleva a un aumento significativo de infestaciones por *C. rogercresseyi*.

Asimismo, dentro de los factores ambientales que condicionan la diseminación del parásito se encuentran las corrientes, mareas y vientos, siendo velocidades menores a 20 cm/seg las que permiten la fijación de los copepoditos al hospedero.

En relación al análisis del historial de las cargas parasitarias del periodo 2010 a 2014, se observa que las cargas parasitarias más altas afectan principalmente a trucha arcoíris y salmón del Atlántico, observándose una tendencia al aumento de las cargas de *C. rogercresseyi*. Sin embargo, durante el año 2014 se observa una notoria baja en la carga, la cual podría estar relacionada a los efectos del programa de control impuesto por la autoridad, la utilización de nuevos principios activos para el control del parásito y a la nueva regulación implementada en junio del año 2013, la cual obliga a realizar los tratamientos con sistema cerrado (lona cerrada o wellboat). En cuanto a la XI región, se observa que el año 2013 se reportaron mayores cargas parasitarias promedio total en los centros presentes en dicha región.

En Chile, históricamente el control del piojo de mar se ha basado en tratamientos farmacológicos, considerando terapias orales y de inmersión. Específicamente, los productos administrados vía oral consideran el benzoato de emamectina y diflubenzuron; y cipermetrina, deltametrina, azametifos y peróxido de hidrógeno, como productos administrados por inmersión. Recientemente, se ha introducido el principio activo administrado vía oral en la etapa de agua duce, lufenuron.

En general, la utilización de químicos prolongada a través del tiempo, con bajo porcentaje de rotación entre los diferentes principios activos ha favorecido el desarrollo de resistencia de los parásitos a los fármacos utilizados para su control. Adicionalmente, el desarrollo de resistencia puede estar relacionado con la administración de bajas dosis de fármacos, lo cual puede estar asociado a la aplicación por cortos periodos de tiempo, errores en la administración o debido al comportamiento de los peces, dado que buscan zonas con menores concentraciones de fármacos.

En este contexto, la generación de resistencia y baja sensibilidad de los parásitos es una problemática que no ha estado ajena a la realidad nacional. Específicamente, en Chile existen reportes de baja sensibilidad de los parásitos y resistencia en algunos casos. Durante el año el 2005 se describen los primeros casos de pérdida de sensibilidad de *C. rogercresseyi* a benzoato de emamectina en la X región, y posteriormente durante los años 2006 y 2007 en la XI región.

En el caso de los piretroides, hay evidencia de resistencia a partir del año 2008 a deltametrina. En contraste, no existe información publicada de resistencia a cipermetrina. Sin embargo hay informes que evidencian eficacia reducida después de algunos tratamientos en base a piretroides. En base a lo anterior, se debe considerar que el desarrollo de la resistencia se incrementa en los tratamientos frecuentes con sustancias

que actúan sobre el mismo mecanismo del parásito, por lo tanto, es probable que se seleccione para el mismo mecanismo de resistencia, como es el caso de los piretroides: deltametrina y cipermetrina.

A diferencia de otros países productores de salmónidos (Noruega y Escocia), a la fecha no se ha reportado baja sensibilidad a tratamientos con azametifos, situación que puede estar relacionada a que la introducción del producto fue recién el año 2013. Asimismo, no se han registrado reportes de baja sensibilidad y/o resistencia tanto para peróxido de hidrógeno y diflubenzuron.

En resumen, la resistencia que presentan las diferentes especies de piojos del salmón frente a los fármacos utilizados en acuicultura es un problema global que afecta los principales países productores de salmónidos. El fracaso terapéutico en centros de cultivo podría ser causado por una reducción de la sensibilidad al fármaco utilizado, pero también por los regímenes de tratamiento subóptimos, tales como una dispersión insuficiente del producto, mal manejo de fármacos o debido a procedimientos de alimentación mal ajustados.

Bajo este escenario, la mejora de los métodos de aplicación de fármacos y la búsqueda de nuevas herramientas para la prevención y el control de piojos de salmón se ha transformado en una necesidad fundamental para la gestión sanitaria acuícola del país. Actualmente, en Chile los esfuerzos han estado concentrados en la introducción de nuevos productos farmacéuticos para el control de Caligus y la búsqueda de nuevas alternativas no farmacológicas, tales como vacunas, peces limpiadores, alimentos funcionales, baños térmicos y utilización de faldón permanente, entre otros.

En relación a la definición del área de estudio, y con el objetivo de trabajar en un área con altos niveles de Caligus y en general, un área compleja sanitariamente, se revisó la información disponible por el Servicio Nacional de Pesca y se definió trabajar en la Macrozona 3 dado que durante el periodo enero a junio del 2014, fue la zona de la X región con mayor cantidad centros de alta diseminación clasificados según la normativa vigente (14 centros de Salmón del Atlántico y 1 centro de Trucha Arcoíris). Asimismo, durante el año 2014 se presentó un brote de anemia infecciosa del salmón en un centro de cultivo del área. Adicionalmente, y como ventaja comparativa, se definió esta zona dado que se encontraba desarrollado el modelo de simulación oceanográfica SINMOD para ciertos sectores del área geográfica comprendida.

El levamiento de información oceanográfica desarrollada para la validación del modelo SINMOD, fue ejecutada durante el periodo de marzo del año 2015, considerando que históricamente durante este mes se han presentado las mayores cargas de Caligus. Por lo tanto, el objetivo fue obtener la información oceanográfica del periodo más crítico, y de esta forma considerar el potencial hallazgo de información

relevante relacionada con la conectividad de los centros de cultivo y factores que favorezcan la diseminación del parásito.

En cuanto a la definición de las áreas específicas de la Macrozona 3, para el levantamiento de la información estas fueron revisadas cuidadosamente y seleccionadas por criterios de importancia hidrodinámica. El correntómetro se instaló en un área estrecha para que la corriente pasara en dirección hacia el norte en la ACS 9 y 10. La topografía del fondo es un *sadel point*, restringiendo el flujo del agua. En este contexto, si hubiese sido posible determinar la corriente en ese punto y compararla con el modelo, habría sido una serie de tiempo significativa para el modelo. El mapeo batimétrico se enfocó en esta área particular dado que es especialmente importante por su corriente, no sólo localmente, sino también hacia el norte.

Cuando se ejecutó por primera vez el modelo, se evidenciaron algunos problemas en esta área en particular dado que la corriente correspondía a una corriente muy fuerte. Para ayudar al flujo de volumen a través de esta cresta subsuperficial, se hizo más profundo en el modelo. Esta decisión ayudó, y se logró el objetivo en relación a las velocidades actuales más sensibles. Debido a esto, ya se sospechaba que la batimetría era demasiado superficial en el área, lo cual se comprobó con los monitoreos en terreno. Desafortunadamente, el correntómetro de corriente en este sector se extravió sin posibilidad de recuperación a pesar de los esfuerzos realizados en su búsqueda.

El correntómetro en la zona norte fue colocado en el lado norte del dominio del modelo, con el objetivo de capturar la corriente dentro / fuera de la ACS 9 y 10. Se definió una posición en una pendiente, que era más estrecha que la zona más al sur y al norte. Las corrientes tienden a seguir la batimetría inclinada debido a la conservación de *curl potencial*, debido a la rotación de la tierra. También se había visto a partir de las simulaciones del modelo que a menudo había una corriente muy fuerte en el área. El correntómetro se desplegó más cerca de la zona costera que lo definido previamente debido a razones prácticas.

En cuanto a la información no recopilada debido a la pérdida del equipo para el desarrollo de estudios de correntometría y el mareógrafo en el área de Apiao, esta fue reemplazada por información levantada por la misma entidad subcontratada (Cetecsal) en el sector de Lin Lin y Tenuan. Dicha información fue previamente revisada y aprobada por el equipo técnico del proyecto considerando científicos tanto de SINTEF como AVS Chile, quienes validaron y autorizaron su uso dentro del marco del proyecto. Asimismo, y en forma paralela, Subpesca aprobó el uso de esta información para la validación del modelo SINMOD.

En relación a la validación del modelo, se generaron una serie de cambios y actualizaciones sobre el modelo y su configuración desde el primer modelo de resultados (diciembre 2013), los cuales mejoran el sistema de modelación e indican información relevante y fundamental para evaluar la conectividad entre los centros de

cultivo en relación a Caligus. Adicionalmente, y en forma paralela, entrega información relacionada con las variables ambientales del área de estudio a diferentes profundidades tales como salinidad, temperatura, dirección y velocidad de corrientes.

La colección de muestras de zooplancton para realizar conteo de copepoditos de Caligus fue ejecutada durante el mismo periodo de evaluación de las variables oceanográficas, considerando 2 tiempos de muestreos en 4 puntos diferentes involucrando el área norte y sur de la Macrozona 3. Los resultados indican que en todos los puntos se detectaron sobre 5 copepoditos/100 m³, lo cual se categoriza en un nivel alto de cargas ambientales (según información entregada por una empresa productora). Debido a la baja cantidad de tiempos de muestreos y al tiempo transcurrido desde la toma de muestras a ejecución de las estrategias de control esta información no pudo ser incluida dentro de la integración para la generación de estrategias. Sin embargo, se recomienda utilizar como un indicador adicional para evaluar la situación de Caligus en un área definida y en forma paralela definir la presión de infestación de los centros en relación a las cargas ambientales de Caligus. Adicionalmente, se recomienda evaluar su potencial uso como un indicador del estatus sanitario de un área y un sistema de alerta temprana para implementación de medidas de prevención y/o control de Caligus. En este punto, sería fundamental comenzar a levantar la información de diferentes áreas con el objetivo de ir generando una base de datos robusta para realizar un análisis de comportamiento histórico y definir niveles de cargas (i.e alto, medio, bajo), para ser aplicada según lo mencionado anteriormente.

Para la recopilación de información sanitaria/productiva y de operación de tratamientos se contactaron a las 15 empresas que históricamente presentaron centros activos en la macrozona 3 con el objetivo de abarcar la mayor cantidad de información posible y de esta manera reducir el potencial sesgo debido a falta de representatividad de la información recopilada. El contacto fue realizado inicialmente vía mail, y posteriormente en reuniones para la presentación del proyecto y la aplicación/alcance que se le daría/tendría que dar a la información entregada. Con el objetivo de facilitar el traspaso de la información, esta fue transferida a AVS por Intesal, previa autorización de las empresas productoras. Finalmente, se recopiló la información de solo 6 empresas dado que en general las empresas productoras consideran confidencial la información sanitaria específica y de aplicación de tratamientos antiparasitarios.

Una vez recopilada la información sanitaria productiva de 50 centros del periodo 2012 – 2015 y con el objetivo de generar información adicional para la generación de las estrategias integradas de control de Caligus se validó la información y se llevaron a cabo una serie de análisis epidemiológicos. Es importante destacar que esta actividad no estaba considerada dentro de los objetivos del proyecto; sin embargo, se decide incorporar para generar mayor información para integrar en la definición de las estrategias de control, y de esta manera aumentar la robustez de la información generada.

Los análisis epidemiológicos se enfocaron en definir y caracterizar las cargas de *Caligus* y evaluar el éxito de los tratamientos realizados en la Macrozona 3, con el objetivo de obtener información actual y específica del área de estudio. Los análisis epidemiológicos fueron realizados en línea con la información recopilada en la literatura, donde se indican como factor de riesgo la zona geográfica, especie de peces, densidad de cultivo, pesos de peces y salinidad del agua (Yatabe *et al.*, 2011). Adicionalmente, considerando la necesidad de definir centros con mayores problemas asociados a *Caligus*, se realizó una clasificación de los centros en relación a su infestación por *Caligus* la cual arrojó una serie de centros que históricamente han evidenciado mayores cargas, en conjunto con los valores promedios. La metodología para el desarrollo de estos análisis, puede ser aplicada en diferentes áreas y zonas en estudios futuros, y los resultados de los análisis pueden ser validados a través de encuestas con las empresas productoras. De esta manera, se generó información base acerca de la categorización de centros de cultivo para la generación de estrategias integradas de control.

Considerando que diversos estudios han demostrado que las fuerzas hidrodinámicas determinan la distribución de larvas de piojo de salmón en tiempo y espacio, pero pocos estudios han demostrado cuantitativamente la asociación entre las fuerzas hidrodinámicas con los niveles de *C. rogercresseyi* observados, se realizó una evaluación sobre el efecto de las corrientes marinas sobre la infestación por *C. rogercresseyi*. Los resultados de los análisis indican que tanto el número de *Caligus* en la semana previa y la presión interna son factores que están significativamente asociados con los niveles de adultos móviles observados. Sin embargo, la presión externa (a partir de distancias o corrientes) no se evidenció como una variable significativa. Estos resultados contrastan con los obtenidos en Noruega, donde la presión de infección externa (distancias) es un factor asociado significativo. Las discrepancias entre los resultados de este estudio y los realizados en Noruega para *L. salmonis*, podrían aducirse a las diferencias en la cantidad y calidad de datos.

En base a lo anterior, la colección de datos en Noruega se han enfocado en recuentos de piojos semanales en todos los centros activos desde el 2010 hasta la actualidad. Mientras que los datos incluidos en este estudio se limitan a la mitad de centros activos en la región X y por una escala espacial inferior a los tres años. En relación a esto, resulta fundamental la participación de todas las empresas en la entrega de información, lo cual es un pilar fundamental en este tipo de análisis, y a partir de la cual se pueden obtener importantes resultados para aplicar en futuras investigaciones.

Asimismo, a lo largo de todo el proyecto uno de los factores críticos para el éxito del diseño e implementación de las estrategias de control fue la participación y apoyo de todas las empresas con centros activos en la Macrozona 3. Para ello se generaron reuniones periódicas para mantener informados a los representantes de las empresas de cada una de las actividades y resultados preliminares del proyecto. En forma paralela, se conformó un comité técnico con sus representantes a modo de trabajar en forma alineada.

En base a estas gestiones, se logró un 100% de participación de las empresas, lo cual fue una ventaja durante la implementación de las estrategias debido a la capacidad de coordinar todos los centros de cultivo activos para el desarrollo de las estrategias. La participación de la totalidad de empresas con centros activos en un área juega un rol fundamental en el cumplimiento del objetivo que considera la implementación y evaluación de las estrategias, esto dado que estudios previos sugieren que el manejo del piojo de mar debe ser coordinado entre centros de cultivo y debe incluir todos los centros y plantas de proceso incluidos sus centros de acopio dentro de un área geográfica relativamente grande. Asimismo, los centros de cultivo ubicados dentro de 30 kilómetros deben ser manejados al mismo tiempo para reducir los niveles de infección de piojos del salmón. En relación a este último punto, es importante considerar que la Macrozona 3 considera una distancia mayor a 30 km en longitud (Kristoffersen *et al.*, 2013).

En cuanto a la integración de la información se consideró tanto la información oceanográfica como epidemiológica con el objetivo de lograr estrategias integradas con diferentes tipos de información base, y evaluar su efectividad y capacidad de las empresas para su implementación. En relación a la información epidemiológica se utilizó el peso promedio como variable dado su importancia como factor de riesgo. En este contexto, el análisis de información sanitaria-productiva, indica que grupos con pesos menores a 2 Kg, muestran tiempos más extensos para alcanzar cargas de *Caligus* por sobre 1,5 hembras ovígeras, esto en comparación con grupos de peces con diferentes pesos. Adicionalmente, los resultados de los análisis indican que el peso promedio (kg) aparece positivamente asociado con un mayor número de adultos móviles. La segunda estrategia epidemiológica, incluyó los centros con cargas sobre 1,5 hembras ovígeras, centros clasificados por la normativa como centros de alta diseminación, y en forma adicional y con el objetivo de reducir los centros potencialmente diseminadores, los centros que históricamente han presentado elevadas cargas de *Caligus*.

Las estrategias oceanográficas fueron realizadas tomando como base la información de dirección y velocidad de corrientes mensual obtenida por SINMOD a 4 mt de profundidad. Esto considerando básicamente que dentro de los factores ambientales que condicionan la diseminación del parásito se encuentran las corrientes, mareas y vientos, siendo velocidades menores a 20 cm/seg las que permiten la fijación de los copepoditos al hospedero (Asencio, 2011). Es importante mencionar que el área presenta en promedio durante todo el año de velocidad de corrientes inferiores a 15 cm/seg, la cual se considera favorable para la fijación del parásito. En base a lo anterior, se definieron 2 estrategias oceanográficas las cuales consideraron la zonificación según dirección (zona norte y zona sur) y según velocidad de corrientes (compartimentos 1 y 2).

Tanto las estrategias epidemiológicas como oceanográficas tuvieron como base eliminar los potenciales focos de diseminación al inicio de las ventanas, con el objetivo de reducir el nivel de contacto entre los centros de cultivo en relación a *Caligus*. Para esto, se recomendó concentrar los tratamientos de los centros definidos

previamente (según cada una de las estrategias) durante los 3 primeros días de la ventana, y los otros centros durante los tres días siguientes. Estos periodos se asignaron dado que las ventanas de tratamientos por inmersión definidas por Sernapesca, consideran 7 días aproximadamente. Bajo este escenario, algunas empresas productoras indicaron que podría resultar complejo adecuarse a los tiempos mencionados anteriormente, básicamente dado que son periodos muy ajustados y en algunos casos la coordinación y operativa de tratamientos podría verse afectada.

Dada la dificultad logística de las empresas para coordinarse en un área definida, hay estudios que proponen que se podrían generar *buffer zones* para separar áreas de manejos más grandes. Un enfoque para la creación de *buffer zones* sin impactar a la producción lo representa el cultivo de salmón coho, una especie de cultivo menos susceptible a las infestaciones por piojos del salmón (Fast *et al.*, 2002; Bravo, 2003).

Por otra parte, investigaciones recientes indican que la sincronización del tratamiento se asocia significativamente con menores niveles de piojos adultos en las semanas 5 a 7 después del tratamiento. Esta relación parece ser lineal, lo que revela que los niveles más altos de sincronización pueden dar lugar a niveles menores de Caligus durante este periodo. Estos resultados sugieren que la sincronización puede mejorar el rendimiento de los tratamientos por inmersión (Arriagada *et al.*, 2017).

En cuanto al fármaco a utilizar, considerando que la implementación de las estrategias propuestas se ejecutó en un periodo muy acotado en el tiempo (julio a noviembre 2016); el fármaco propuesto fue Azametifos, dado que hasta la fecha del estudio no se reportaron evidencias de baja sensibilidad de los parásitos frente a dicho principio activo y tampoco se reportó algún tipo de resistencia asociada a su uso. Adicionalmente, según los análisis realizados, es el fármaco de elección de las empresas productoras, considerando que de acuerdo a la normativa vigente se debe programar rotación luego del uso de tres veces consecutivas del mismo principio activo.

En relación al periodo de prueba de estrategias y considerando que dentro del marco del proyecto solo se contó con 5 meses para la implementación/evaluación de las estrategias, debido a diversos motivos de fuerza mayor, inicialmente se propuso probar una estrategia por mes, con el objetivo de lograr testear las 4 estrategias en su totalidad. Idealmente, se deben implementar las estrategias durante un ciclo de producción completo, con el objetivo de contar con el tiempo adecuado para realizar una correcta evaluación de cada una de las estrategias implementadas a través del tiempo, de esta manera poder levantar la información relacionada con todas las metodologías que han sido utilizadas para el control de Caligus durante el ciclo productivo con el fin de realizar un análisis integro de toda la información. En este contexto, considerando la dinámica que tiene cada centro de cultivo en el uso de terapias contra Caligus y las nuevas herramientas que van apareciendo a través del tiempo y adquiridas por las empresas productoras, como por ejemplo el

principio activo lufenuron, el cual es administrado en agua dulce y entrega un periodo de protección en agua de mar contra Caligus, se torna fundamental contar con un periodo prolongado para la correcta evaluación.

Por otra parte, según la información bibliográfica recopilada acerca de la efectividad de tratamientos y el efecto de la operación de los tratamientos por inmersión, se consideró fundamental levantar información operacional de los tratamientos durante la implementación de cada una de las estrategias. Para ello, se solicitó utilizar un *check list* operacional para la realización de baños, a partir del cual se pueden obtener información relevante acerca de las condiciones ambientales, corrientes, estados de red peceras, sistemas utilizados para la distribución del fármaco, dosis, tiempo total de tratamientos, entre otros; todos factores que podrían impactar de alguna manera en la efectividad de los tratamientos. En este contexto, el uso del *check list* se propone como metodología para levantar información en caso reportes de fallas en los tratamientos. En base a lo anterior, los errores más comunes incluyen un tiempo de exposición demasiado reducido, cálculo incorrecto del volumen de agua, mezcla insuficiente del fármaco en la jaula, insuficiente reducción del volumen de agua durante el tratamiento, el uso indebido de lona o faldón, resultando en una pérdida de solución terapéutica. Por otra parte, los errores operativos de los tratamientos pueden generar sub-dosificación del fármaco favoreciendo de esta manera el desarrollo de resistencia, al igual que tiempos reducidos de tratamientos (Sevatdal, 2012).

En cuanto a la implementación de las estrategias integradas de control, se definieron una serie de indicadores con el objetivo de evaluar porcentaje de reducción de carga de Caligus (indicadores sanitarios) posterior a la aplicación de las estrategias. Estos indicadores consideraron eficacia a 3 y 7 días posteriores al tratamiento, los cuales son ampliamente utilizadas por la industria hoy en día. El primero, es utilizado dado que está incorporado en la normativa vigente, y el caso del segundo es utilizado por Intesal. Al ser ambos indicadores utilizados previamente, estos podrían ser comparados entre las diferentes estrategias y/o tratamientos realizados previamente. Adicionalmente, se propuso el uso de indicadores operacionales con el objetivo de evaluar los niveles de tratamientos y tiempo entre tratamientos posterior a las estrategias. Asimismo, y considerando la importancia y el impacto que podría tener el nivel de empresas y/o centros de cultivo se incluyó el porcentaje de aplicación de los centros en las estrategias, esto se puede calcular a nivel de ACS o macrozona. Estos indicadores se consideran de largo plazo, a diferencia de los indicadores sanitarios que son de corto plazo.

Para la implementación de las estrategias, se trabajó en base a 2 modalidades: estrategias preprogramadas y estrategias según situación de tratamientos. Las estrategias preprogramadas se desarrollaron inicialmente con el objetivo de coordinar con anticipación la ejecución de los tratamientos, y de esta forma cada una de las empresas podría planificar cada uno de los tratamientos y programar con los centros y los equipos para realizar los tratamientos. Esta metodología se implementó dado que en algunos casos y como se mencionó

anteriormente, una de las limitantes para realizar los tratamientos en forma secuencial es la capacidad de coordinación de todos los centros en cuanto a los requerimientos de equipos de trabajo y recurso humano. De esta forma, se consideró un tiempo predefinido para la coordinación de las estrategias.

Posteriormente, y considerando la situación sanitaria con bajas cargas parasitarias, se coordinaron las estrategias según la situación de tratamientos específica previa a cada ventana, con el objetivo de levantar la información actualizada y verificar cuál de las estrategias se ajustaba de mejor forma a la situación puntual.

En relación a las estrategias implementadas, se lograron desarrollar 2 estrategias oceanográficas específicas en la ACS 9A. Si bien el objetivo era implementar las 4 estrategias inicialmente propuestas, se ejecutaron solo 2 dado que las condiciones sanitarias durante el periodo se mantuvieron estables reportándose bajos niveles de cargas de *Caligus* durante todo el periodo. Para la puesta en marcha de las estrategias inicialmente se propuso trabajar desde noviembre del año 2015 a abril del año 2016, debido a que en esta época el aumento de las temperaturas del agua genera mayores problemas sanitarios asociados a *Caligus*. Sin embargo, debido a problemas ambientales relacionados con el *bloom* de algas ocurrido durante este época, y posteriormente a la contingencia social ligada al paro de pescadores artesanales y al aplazamiento del periodo de aprobación de las estrategias por parte de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, la puesta en marcha en terreno se debió posponer para julio del 2016.

De acuerdo a lo observado en la ejecución de este proyecto, y como lección aprendida, para la implementación y evaluación de las estrategias oceanográficas se recomienda comenzar las pruebas en zonas geográficas más pequeñas que una macrozona. Lo anteriormente mencionado, con el objetivo de estar en condiciones de poder implementar la(s) estrategia (s) en un 100% de los centros de cultivos presentes en el área y en forma paralela, y asimismo facilitar la coordinación entre las empresas. Esto considerando que dentro del marco del proyecto, solo fue factible aplicar las estrategias por ACS.

Considerando que el periodo de aplicación y evaluación de estrategias fue de 5 meses, para la evaluación de las estrategias se aplicaron los indicadores sanitarios para verificar el porcentaje de reducción de carga parasitaria, ya que son indicadores que miden efectividad dentro del corto plazo (como se mencionó anteriormente). En base a lo anterior, no fue factible aplicar los indicadores operativos, ya que estos deben ser utilizados durante todo el ciclo productivo, dado que si se utilizan en mediciones temporales, los resultados obtenidos podrían ser sesgados y no evaluar de forma adecuada la estrategia. En relación a la evaluación de efectividad con los resultados de los indicadores sanitarios aplicados, se evidenciaron eficacias para 3 y 7 días posterior a la aplicación de las estrategias por sobre un 95%, lo cual representa un alto porcentaje de reducción de cargas de *Caligus*, lo cual podría deberse a la adecuada coordinación de las

empresas dentro de las ventanas de inmersión y también asociado a la eficacia del principio activo azametifos, que hasta la fecha no ha reportado baja de sensibilidad y/o resistencia.

Tal como se mencionó anteriormente, debido a los reportes de la importancia de la operativa de los tratamientos sobre los resultados de los tratamientos, el uso del *check list* operacional fue recomendado a todas las empresas que realizaron tratamientos durante el periodo de estudio independiente de la implementación de las estrategias. Esto con el objetivo de levantar información específica acerca de las condiciones de los peces, variables ambientales y de la operación del tratamiento. En general, los resultados indican que los tratamientos no presentaron inconvenientes operacionales.

Si bien ambas estrategias oceanográficas para la ACS 9A, fueron implementadas en 2 centros de cultivo, en la estrategia oceanográfica 2 no se pudieron finalizar los tratamientos dentro de la ventana debido a malas condiciones climáticas que impidieron la ejecución de los baños. Por lo tanto, el centro en mención terminó el tratamiento en la ventana siguiente. Según lo comentado por el equipo del comité técnico, esta es una situación bastante recurrente, por lo que en varias ocasiones los tratamientos no se realizan en días consecutivos y la eficacia podría verse comprometida. Bajo este escenario, se recomienda evaluar previamente al inicio de los tratamientos el pronóstico de las condiciones climáticas con el objetivo de revisar si estas revisten impedimento para la correcta administración de tratamientos durante los días consecutivos en una ventana de baños. En forma paralela, se recomienda considerar la flexibilización de las ventanas de tratamientos con el objetivo de lograr una mejor coordinación tanto en las estrategias epidemiológicas como oceanográficas.

Los puntos críticos detectados en la implementación de las estrategias de control dentro del marco del proyecto consideraron condiciones climáticas inadecuadas, potencial dificultad para coordinar a todos los centros de cultivo del área, bajo nivel del uso del *check list* operacional y lenta recopilación de la información posterior a la aplicación de cada una de las estrategias. Como recomendación para futuros estudios, si bien estos puntos generaron dificultad en algunos aspectos de la implementación y evaluación de las estrategias de control, son variables que podrían ser definidas previamente y mitigadas para que las actividades no se vean comprometidas.

En relación a la metodología para el desarrollo de *ranking* de efectividad de estrategias, esta fue modificada dado que el número de estrategias implementadas fue muy bajo para obtener resultados confiables y extrapolados. Por lo tanto, se definió realizar un *ranking* de implementación de las estrategias tanto oceanográficas como epidemiológicas. Este ranking fue generado a partir de diferentes variables que inciden sobre la definición y la implementación de las estrategias oceanográficas y epidemiológicas, a partir del cual se deduce que ambas estrategias son factibles de aplicar. Sin embargo, según los resultados obtenidos dentro

del proyecto, existen periodos en que es más factible realizar estrategias oceanográficas, dado que las estrategias epidemiológicas están directamente relacionadas con los factores sanitarios y productivos del área de estudio, los cuales en el caso del periodo de estudio de este proyecto no se presentaron dentro de los niveles definidos para la aplicación de las estrategias propuestas.

En cuanto al protocolo de tratamiento coordinado, este fue generado en base a los resultados y experiencia previa de coordinación e implementación de las estrategias integradas y está basado en el estudio del comportamiento epidemiológico y análisis oceanográfico basal en un periodo determinado, eventos y puntos críticos identificados. Si bien la información oceanográfica y epidemiológica utilizada en el protocolo considera un periodo específico, y dada la dinámica de la enfermedad se recomienda ir generando información complementaria a través del tiempo con el objetivo de contar con información actualizada e ir generando mejoras continuas tanto a las estrategias propuestas como al protocolo. Esto básicamente debido a las variaciones temporales y anuales de la dinámica de Caligus y también a las variaciones de las condiciones medioambientales.

Debido al punto mencionado anteriormente, dentro del protocolo se considera la generación de un comité técnico conformado principalmente por empresas productoras el cual tiene la responsabilidad de ejecutar el protocolo, considerando levantar la información necesaria para su correcta aplicación y tomar las decisiones correspondientes al periodo de aplicación, fármaco utilizado, entre otros. Asimismo, se recomienda trabajar en línea con el equipo de trabajo de Sernapesca relacionado con el programa de control y vigilancia de Caligus, esto principalmente debido a la importancia de los tiempos involucrados en las ventanas de tratamientos para la coordinación de las estrategias.

Dentro del protocolo se considera además la implementación de metodologías no farmacológicas de control y prevención de Caligus con el objetivo de reducir y/o prevenir altas cargas de Caligus en periodos específicos. En la actualidad en Chile se han utilizado diferentes métodos como tratamientos térmicos, peróxido de hidrógeno y como medida preventiva el uso de faldones permanentes, sistema *snorkel* y uso de dietas funcionales. En cuanto a los tratamientos no farmacológicos estos pueden ser administrados independientemente de las ventanas de tratamientos impuestas por la autoridad, lo cual se traduce en una ventaja comparativa en relación a la administración de productos farmacológicos. En forma paralela, al utilizar terapias no farmacológicas se disminuye el uso de fármacos y por ende la presión de tratamientos lo que podría favorecer la prolongación de aparición de resistencia de Caligus a los diferentes antiparasitarios. Asimismo, constituyen herramientas para favorecer la rotación de los fármacos antiparasitarios.

Según la información recopilada, tanto oceanográfica como el análisis de la dinámica semanal de Caligus durante 5 años, se sugiere y recomienda utilizar una metodología estándar para la evaluar la efectividad de

los tratamientos coordinados para la X y XI región independiente de la información recopilada. La recomendación surge a partir de la dinámica de las cargas de Caligus durante el periodo en estudio, junto a las diferencias de dirección y velocidad de corrientes indican variabilidad temporales importantes las cuales se presentan en forma independiente a una metodología para evaluar las estrategias de tratamientos coordinados.

En relación al apoyo técnico del equipo de la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura cabe destacar que se realizaron reuniones periódicas trimestrales con el objetivo de comentar los avances y resultados preliminares, y de esta manera se obtuvo la aprobación de cada una de las metodologías y actividades desarrolladas a lo largo del proyecto.

11 Conclusiones

- Las revisiones bibliográficas permitieron recopilar antecedentes necesarios para describir la epidemiología y efectividad de tratamientos contra *C. rogercresseyi* en Chile y *L. salmonis* en otros países afectados por *L. salmonis*, permitiendo contar con una línea base de información que fue utilizada en etapas posteriores del proyecto, específicamente para la definición de las estrategias de control integradas.
- En relación a la información epidemiológica recopilada, se concluye que existen variables fundamentales que deben ser incorporadas en la definición de estrategias integradas para el control de Caligus (objetivo 4), tales como variación de la biología del parásito respecto a lo previamente descrito, considerando los tiempos de desarrollo de cada estadio y la sobrevivencia según las diferentes factores ambientales. Asimismo, se recomienda considerar los diferentes factores de riesgo asociados a la diseminación y cargas parasitarias incluyendo factores propios de los centros de cultivo y de las variables ambientales.
- En relación a la información recopilada de tratamientos contra piojos del salmón a nivel nacional e internacional, se concluye que existen factores relacionados con la eficacia de tratamientos relevantes que deben ser incorporadas en la definición de estrategias integradas para el control de Caligus (objetivo 4), tales como la operatividad de los tratamientos aplicados vía inmersión (sistema de distribución del fármaco, tiempo de aplicación entre otros) y los fármacos en los cuales se ha reportado baja sensibilidad y/o resistencia por parte de los parásitos en la realidad nacional.
- Existen áreas de cultivo en la X región las cuales históricamente han presentado mayores cargas de Caligus y brotes de enfermedades infecciosas.
- En relación a la información oceanográfica, hoy en día se cuenta con un modelo de simulación validado para la Macrozona 3 que incluye datos sobre dirección y velocidad de corrientes, salinidad y temperatura del área.
- Los datos que se manejan por intermedio de la industria salmonicultora, Servicio Nacional de Pesca e Intesal constituyen una valiosa fuente de información para la generación de estudios epidemiológicos para levantar información relacionada con el comportamientos histórico de Caligus, factores de riegos asociados y el conocimiento/clasificación de centros que históricamente han tenido mayores cargas parasitarias.
- La información oceanográfica validada disponible asociada con la información epidemiológica de la Macrozona 3 conforman una base de datos integral para la generación de estrategias de control para Caligus en la macrozona.

- Según el punto anterior, dentro del marco del presente proyecto, se desarrolló la metodología para levantar información oceanográfica y epidemiológica para ser aplicada e integrada a estrategias de control de Caligus.
- Se recomienda evaluar el potencial uso de los niveles de copepoditos de Caligus en el agua en zonas aledañas a centros de cultivo con el objetivo de utilizarlo como de indicador del estatus sanitario de un área y un sistema de alerta temprana para implementación de medidas de prevención y/o control de Caligus.
- Para lograr cumplir los objetivos relacionados directamente con la industria salmonera es fundamental la participación de todas las compañías del área del estudio, tanto en la entrega de información como en la implementación de las estrategias de control. Tanto la falta de información como la no implementación de las estrategias en centros de cultivo pueden generar resultados sesgados.
- Existen variables sanitarias y productivas que pueden ser integradas en las estrategias de control con el objetivo de reducir los focos de diseminación de Caligus.
- Según la información disponible en la Macrozona 3, se desarrollaron estrategias oceanográficas (2) y epidemiológicas (2) en el área definida.
- Estas estrategias pueden ser implementadas y evaluadas en áreas más delimitadas como una ACS, lo cual podría facilitar/enfocar el cumplimiento de los objetivos.
- Durante el presente estudio, fue factible implementar solo estrategias oceanográficas debido a que el área en el periodo determinado no cumplió con los requerimientos necesarios para probar estrategias epidemiológicas.
- Existen indicadores tanto sanitarios como operacionales definidos dentro del marco del proyecto que podrían ser utilizados para evaluar las estrategias integradas de control, en el corto y largo plazo.
- Las estrategias oceanográficas aplicadas dentro del marco del proyecto fueron evaluadas a través de indicadores sanitarios definidos previamente.
- Se desarrolló un *check list* operacional el cual pudo ser aplicado en la evaluación de las estrategias para definir fallas operativas que podrían influir directamente sobre la eficacia de los tratamientos, además de levantar información específica acerca de las condiciones de los peces y de variables ambientales.
- Se generó un protocolo de tratamiento coordinado para la macrozona 3, que indica las directrices y etapas a seguir para la implementación de estrategias de control de Caligus, el cual puede ser extrapolado a diferentes áreas en que sea factible realizar el levantamiento de información (oceanográfica y epidemiológica) requerida y mencionada en el protocolo.

- Se desarrolló una metodología estándar para evaluar la efectividad de los tratamientos coordinados la cual puede ser utilizada en centros de cultivo de la X y XI región independiente de la información oceanográfica y epidemiológica recopilada.

12 Referencias bibliográficas

Principalmente las asociadas a la revisión en apartado adjunto (Anexo 17).

Arriagada G, Stryhn H, Sanchez J, Vanderstichel R, Campistó JL, Rees EE, Ibarra R, St-Hilaire S (2017). valuating the effect of synchronized sea lice treatments in Chile. Preventive Veterinary Medicine 136:1-10.

Bravo, S. (2003). Sea lice in Chilean salmon farms. Bulletin of the European Association of Fish pathologists 23: 197-200.

Fast, M. D., Ross, N. W., Mustafa, A., Sims, D. E., Johnson, S. C., Conboy, G. A., Speare, D. J., Johnson, G. &Burka, J. F. (2002). Susceptibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, Atlantic salmon *Salmo salar* and coho salmon *Oncorhynchus kisutch* to experimental infection with sea lice *Lepeophtheirus salmonis*. Diseases of Aquatic Organisms 52(1): 57-68.

Kristoffersen, A. B., Rees, E. E., Stryhn, H., Ibarra, R., Campisto, J. L., Revie, C. W. &St-Hilaire, S. (2013). Understanding sources of sea lice for salmon farms in Chile. Preventive Veterinary Medicine 111(1-2): 165-175.

Sevatdal, S. (2012). Resistance in sea lice. Science week, November 2012. VESO Project Manager.

Yatabe T, Arriagada G, Hamilton-West C, Urcelay S. (2011). Risk factor analysis for sea lice, *Caligus rogercresseyi*, levels in farmed salmonids in southern Chile. Journal of fish disease. 34: 345-354

Evaluating the effect of synchronized sea lice treatments in Chile

13 Anexos*

*Con el objetivo de facilitar la lectura y revisión del presente informe los anexos se presentan en forma digital en CD adjunto.

Anexo 1 Información oceanográfica Este Isla Apiao.

Anexo 2 Información oceanográfica Este Butachauques.

Anexo 3. Metodología muestreo zooplancton.

Anexo 4. Listado de asistentes y presentación proyecto FIP 2014-62.

Anexo 5. Carta de solicitud de información sanitaria, productiva y de operación a las empresas productoras.

Anexo 6. Minutas de reuniones con empresas productoras para solicitud de información sanitaria y productiva.

Anexo 7. Formato de Base de Datos solicitadas a empresas productoras a través de Intesal.

Anexo 8. Base de datos de información sanitaria y productiva de empresas productoras (Información Intesal).

Anexo 9. Caracterización epidemiológica de la carga parasitaria y éxito de tratamientos antiparasitarios de la macrozona 3, 2012-2015.

Anexo 10. Clasificación de centros de cultivo ubicados en macrozona 3 en relación a su infestación por *Caligus* 2012-2015.

Anexo 11. Efecto de las corrientes marinas sobre la infección por *C. Rogerresseyi*.

Anexo 12. Base de datos de información sanitaria y productiva de empresas productoras (información Sernapesca).

Anexo 13. Carta de información de estrategias de control de *Caligus* y compromiso de participación de empresas.

Anexo 14. Información solicitada a empresas durante coordinación de estrategias.

Anexo 15. Información solicitada para cálculo de indicadores posterior a aplicación de estrategia.

Anexo 16. *Check list* operacional para baños terapéuticos contra *Caligus* en centros de cultivo.

Anexo 17. Revisión - Antecedentes epidemiológicos de *Caligus rogercresseyi* y Efectividad de tratamientos utilizados para el control, del piojo de mar.

Anexo 18. Información oceanográfica Lin Lin y Tenaun.

Anexo 19. Reporte de validación modelo SINMOD.

Anexo 20 Mapas de dirección y velocidad de corrientes mensual y promedio anual.

Anexo 21. Minutas reuniones comité técnico para el diseño de estrategias integradas de control para Caligus.

Anexo 22. Minuta y participantes reunión presentación estrategias a empresas productoras.

Anexo 23. Actividades realizadas para la implementación de las estrategias de control.

Anexo 24. Protocolo de tratamiento coordinado para el control de *Caligus rogercresseyi* en Macrozona 3.

Anexo 25. Metodología para la evaluación de tratamientos coordinados en X y XI región.

Anexo 26. Minuta reuniones Subsecretaria de Pesca y Acuicultura.

Anexo 27. Taller de discusión de resultados con Subpesca.

Anexo 28. Taller de entrega de resultados a partes interesadas.

Anexo 29 Personal participante por actividad desarrollada según objetivos específicos.

Anexo 30 Carta Gantt final según objetivos y actividades del proyecto.

