

revista versión[®] diferente **Salmón-Acuícola**



SMOLTIFICACIÓN | VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CALIGIDOSIS | SRS
DDX41 INMUNIDAD DEL SALMÓN ATLÁNTICO | FAN EN LA PATAGONIA CHILENA
Tenacibaculum dicentrarchi CAUSAL DE LA TENACIBACULOSIS EN CHILE | QUIMIOQUINAS | IMPORTANCIA
DE LOS ÁCIDOS GRASOS OMEGA 3 | NORMATIVAS EN CONCESIONES DE ACUICULTURA | BIOFÁBRICAS
DE CAROTENOIDES ALGALES SALUDABLES | PESQUERÍAS HUIRO NEGRO – ALGAS PARDAS
JUREL CHILENO | PESQUERIA JUREL EN EL PACÍFICO SUR ORIENTAL



issuu

Distribución Gratuita Consérvela

BEKA VAX y BEKA PLUS 3

Comprobada eficacia en el control del BKD

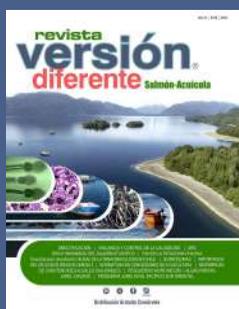


www.veterquimica.cl

Síguenos   



VETERQUIMICA®
CREANDO SALUD ANIMAL



Año 21 - N°38
Edición Especial
Segundo Semestre 2024

Distribución Gratuita a nivel nacional
Semestral - 3.000 unidades

Editores

Opción Comunicaciones
Cel: +56 9 9443 3504
richardaraya@opcionaraya.cl

Diseño y Diagramación

Lucía Zúñiga Fuentes
luciazunigaf@gmail.com

Fotografías Portada

Gentileza de:

- Marcela Benelli
- Sandra Bravo, UACH
- Marcelo Vera, VEHICE
- Juan Miguel Tala, Copec
- Wolfgang Stotz, UCN
- Marcelo Campos, Acuasesorías

Revista "Versión Diferente", es un medio de comunicación independiente creado y editado por Opción Comunicaciones. Queda prohibida la reproducción de todo el contenido sin previa autorización de sus editores, asimismo como la reproducción total o parcial de los anuncios publicitarios firmados por Opción Comunicaciones.

Los contenidos y opiniones que aparecen en esta publicación son de exclusiva responsabilidad de las empresas o personas que las emiten, y no necesariamente los editores comparten los conceptos aquí mencionados.

Una Producción de:

opción
comunicaciones

SU MEJOR OPCION EN PUBLICIDAD

Porque somos diferentes,
publique con nosotros

Cel: +56 9 9443 3504
richardaraya@opcionaraya.cl

Avisadores

VeHiCe	7
Salmofood	15
Plásticos Austral	21
Dimarine	31
AquaBC	46
Acuasesorías & Acuadesia	51
Salmonicultores de Magallanes	55
Copec	62
Rentokil Initial	70
UCSC	83
Terminoindustrial	100
Veterquímica	T2
Opción Comunicaciones	T3
Lota Protein	T4

Contenidos

Índice de Universidades	2
Editorial	3
Fases Lunares	4
Ferias Internacionales	5
Feridos Internacionales	6
Fundamentos de Smoltificación	8
Efectividad de la vacuna ALPHA Ject LiVac® SRS en salmón	27
Dimarine: Compromiso con la sostenibilidad	30
Los nuevos desarrollos de Veterquímica	36
La importancia de los ácidos grasos Omega 3 y las señales de la ciencia	47
Importancia en la gestión de las ampliaciones de plazo para reiniciar operaciones de centros de cultivo	52
Acuicultura e innovación. Factor de progreso	56
Copec introduce nuevas soluciones para la industria salmonera en el sur de Chile	63
Un aliado en los programas sanitarios en la industria salmonera	71
El jurel chileno, manejo pesquero eficiente con respaldo científico	88
La pesquería del jurel en el pacífico sur oriental	93
Ley Karin	99

INDICE DE UNIVERSIDADES

sus Estudios e Investigaciones

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Efecto de los tratamientos antiparasitarios sobre la estructura poblacional de los ejemplares adultos de <i>Caligus rogercresseyi</i>	16
DDX41: La nueva frontera en la inmunidad del Salmón Atlántico contra patógenos bacterianos	22

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Caracterización proteómica de <i>Tenacibaculum dicentrarchi</i> : Efecto de la limitación de hierro en la composición y expresión de proteínas de la bacteria	32
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO

Quimioquinas: Proteínas que dirigen la migración de células claves del sistema inmunológico.	38
----------------------------------------------------------------------------------------------	----

UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS

Floraciones de <i>Heterosigma akashiwo</i> en la patagonia: Un problema cada vez más recurrente para la salmonicultura	42
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

Efecto de la variación de salinidad en el crecimiento y supervivencia de juveniles de lisa <i>mugil cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	59
¿Estamos desforestando nuestras costas? La pesquería de algas pardas intermareales en la Región de Coquimbo	65
Si la autoridad no regula ¿las pesquerías se hacen no sostenibles? El caso de la pesquería del huiro negro en la Región de Coquimbo	72

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Producción sostenible de pigmentos algales de uso alimentario utilizando bio-fábricas bacterianas	77
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

Cadenas productivas de actividades conexas y potencialidad para su desarrollo económico y social en Chile.	84
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

La pesquería del jurel en el pacífico sur oriental (1973-2023): Cambios interdecadales del rendimiento máximo sostenido con el ambiente y proyecciones del hábitat con el cambio climático	93
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Para el segundo semestre 2024, contamos con una gran variedad de temas relevantes en investigaciones relacionadas con la Acuicultura, Salmonicultura, Pesquerías, Algas, tratamientos con Vacunas para peces, Normativas acuícolas, Pesca artesanal, Tecnologías, productos y servicios Acuícolas, Microalgas nocivas, entre otras. Siendo relevante destacar soluciones para la acuicultura nacional para la industria salmón-acuícola del país.

Nos hemos esforzado en buscar temas de investigación relacionados con la salmonicultura, acuicultura y pesquería a nivel nacional que sean de interés de nuestros lectores.

Esperamos para la edición digital e impresa segundo semestre 2024, sea un aporte en materia de consulta de nuestros lectores habituales y nuevos en materia de investigación salmón acuícola, tecnológica y pesquera de Chile.

Editorial

Queremos dar un especial agradecimiento a todos nuestros colaboradores e investigadores académicos, privados y públicos que hacen un aporte en cada edición semestral con artículos de divulgación científica en materia de tecnología, biotecnología, nutrición animal en peces, patologías, normativas, entre otros temas de interés, que consolidan la revista Versión Diferente como un medio de consulta diaria.

Seguimos buscando temas de interés, siendo los temas a tratar en edición segundo semestre 2024, los siguientes: "Smoltificación, fallas de adaptación al agua de mar, rezagos y madurez"; "Tratamientos antiparasitarios sobre la estructura poblacional de los ejemplares adultos de *Caligus rogercresseyi*"; "Efectividad de la vacuna ALPHA JECT LiVac SRS en salmón"; "Caracterización proteómica de *Tenacibaculum dicentrarchi*"; "DDX41: La nueva frontera en la Inmunidad del Salmón Atlántico contra patógenos bacterianos"; "Nuevos desarrollos de Veterquímica en vacunas de peces y en tecnologías de producción"; "Quimioquinas: proteínas que dirigen la migración de células claves del sistema inmunológico"; "Importancia de ácidos grasos Omega 3"; "Normativa en Concesiones de acuicultura"; "Biofábricas de carotenoides algales saludables"; "Pesquerías en Huiro negro, Algas pardas"; "Economía de Pesca artesanal"; "Cronología del Jurel Chileno"; "La pesquería del Jurel en el Pacífico Sur Oriental".

Continuamos manteniendo el cambio de fecha de cada edición semestral debido a circunstancias externas ajena a nuestra agenda de tiempo editorial para impresión.

Los invitamos a participar en próxima edición digital e impresa, primer semestre 2025.



Richard Araya Véliz
Gerente Comercial
Revista Versión Diferente

FASES LUNARES

	CRECIENTE	LLENA	MENGUANTE	NUEVA
2024				
JULIO	14	21	28	6
AGOSTO	12	19	26	4
SEPTIEMBRE	11	18	24	3
OCTUBRE	10	17	24	2
NOVIEMBRE	9	15	23	1
DICIEMBRE	8	15	22	1 / 30

	CRECIENTE	LLENA	MENGUANTE	NUEVA
2025				
ENERO	6	13	21	29
FEBRERO	5	12	20	28
MARZO	6	14	22	29
ABRIL	5	13	21	27
MAYO	4	12	20	27
JUNIO	3	11	18	25

* Si necesita información de Mareas y Lunas solicitarlas directamente a www.shoa.cl o serviciosaterceros@shoa.cl

Ferias Internacionales

2° Semestre 2024

JULIO

02 al 05	ASIAN PACIFIC AQUACULTURE 2024 (APA)	Surabaya - Indonesia
17 al 19	INDO FISHERIES	Jakarta - Indonesia

AGOSTO

19 al 21	AQUA NOR The industry´s most important meeting place	Trondheim - Noruega
20 al 22	NOR FISHING International Fishing Fair	Trondheim - Noruega
26 al 30	AQUACULTURE SOCIETY EAS	Copenhagen - Dinamarca
28 al 30	WORLD SEAFOOD SHANGAI SIFSE International Fisheries and Seafood Exhibition	Shangai - China

SEPTIEMBRE

04 al 06	SEAFOOD EXPO ASIA	Singapur
09 al 10	INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FISH NUTRITION AND FOODING	Puerto Vallarta - México
10 al 12	INTERNATIONAL SEA LICE CONFERENCE	Glasgow - UK
11 al 13	POLFISH International Fair of Seafood Processing and Products	Gdank - Polonia
12 al 15	TIFSS - TAIWAN INTERNATIONAL FISHERIES & SEAFOOD SHOW	Taipei - Taiwán
18 al 20	TAW ICELANDIC FISHERIES EXHIBITION	Kopavogur - Islandia
24 al 27	LAQUA	Medallin - Colombia

OCTUBRE

01 al 03	CONXEMAR	Vigo - España
08 al 10	COSEXHA FRIA	Terranova - Canadá
08 al 10	THE 14 th EDITION OF THE CONFERENCE COLD HARVEST	St´John´s Newfoundland - Canadá
10 al 13	FUTURE FISH EURASIA	Esmirna - Turquía
21 al 24	AQUA EXPO GUAYAQUIL	Guayaquil - Ecuador
25 al 27	AQUACULTURE CHINA	Qingdao - China
30 al 01	BISFE	Busan - Korea del Sur
30 al 01	CHINA FISHERIES OF SEAFOOD EXPO	Qingdao - China

NOVIEMBRE

06 al 09	BISFE - BUSAN INTERNATIONAL SEAFOOD & FISHERIES EXPO	Busan - Korea
20 al 23	WORLD AQUACULTURE SOCIETY AFRAQ	Hammamet - Túnez

DICIEMBRE

10 al 12	ALGA EUROPE	Atenas - Grecia
----------	-------------	-----------------

Feriados Internacionales 2024



CHILE



CANADA



EEUU



NORUEGA



JAPON

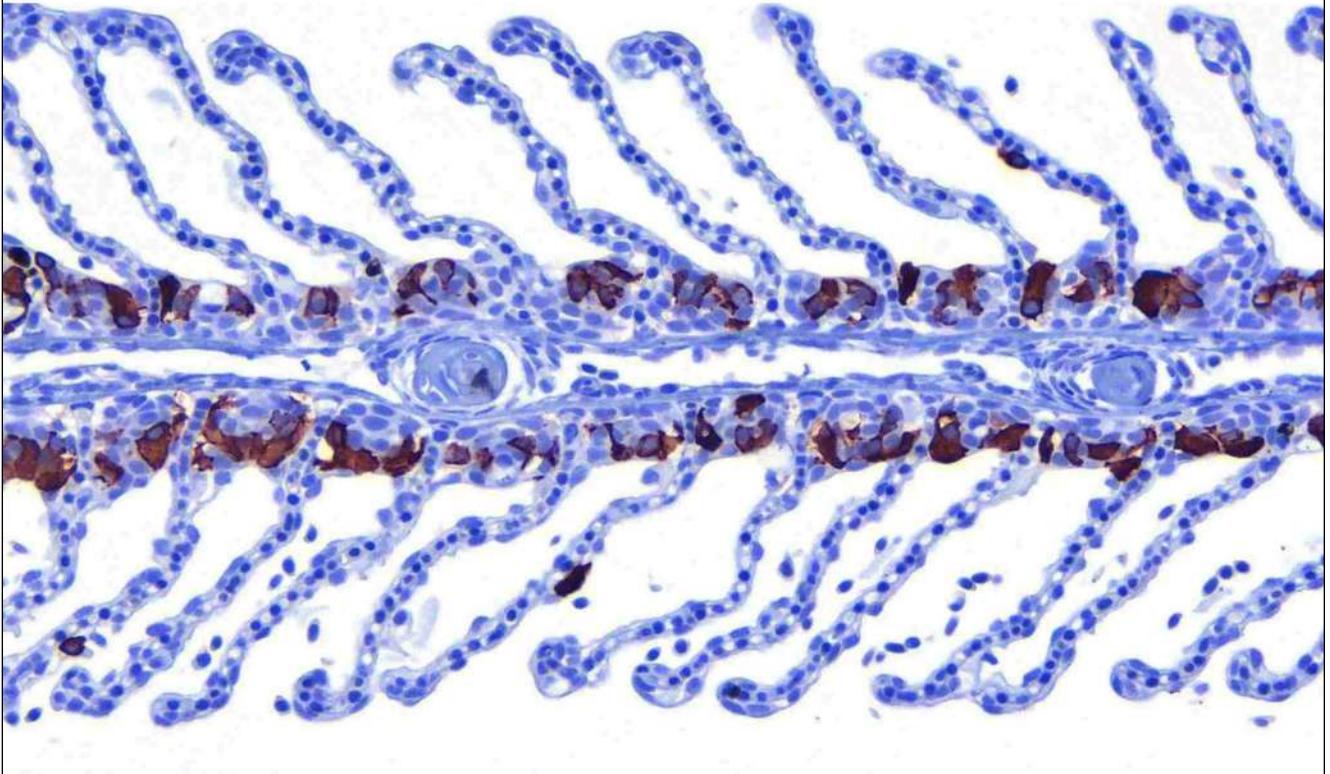


ESCOCIA

Fecha	Evento	CHILE	CANADA	EEUU	NORUEGA	JAPON	ESCOCIA
Lunes 1 Enero	Día de Año Nuevo	●	●	●	●	●	●
Lunes 8 Enero	Día de la Entrada a la Edad adulta					●	
Lunes 15 Enero	Día de Martin Luther King			●			
Domingo 11 Febrero	Día de la Fundación					●	
Lunes 19 Febrero	Día de Los Presidentes			●			
Miércoles 20 Marzo	Inicio Equinoccio Primavera					●	
Viernes 29 Marzo	Viernes Santo	●	●	●			●
Lunes 29 Abril	Día de Emperador Showa					●	
Miércoles 1 Mayo	Día Internacional del Trabajo	●			●		
Viernes 3 Mayo	Día de la Constitución					●	
Lunes 6 Mayo	Día Festivo de principio de mayo						●
Jueves 9 Mayo	Día de la Ascensión				●		
Domingo 19 Mayo	Domingo de Pentecostés				●		
Martes 21 Mayo	Día de las Glorias Navales	●					
Lunes 27 Mayo	Día de los caídos en la Guerra			●			
Lunes 27 Mayo	Día Festivo de Primavera						●
Jueves 20 Junio	Día de los Pueblos Indígenas	●					
Sábado 29 Junio	Día de San Pedro y San Pablo	●					
Lunes 1 Julio	Día de Canadá		●				
Jueves 4 Julio	Día de la Independencia			●			
Lunes 15 Julio	Día del Mar					●	
Martes 16 Julio	Día de la Virgen del Carmen	●					
Lunes 5 Agosto	Fiesta del Verano						●
Domingo 11 Agosto	Día de la Montaña					●	
Jueves 15 Agosto	Día de la Ascensión de la Virgen	●					
Lunes 2 Septiembre	Día del Trabajo		●	●			
Lunes 16 Septiembre	Homenaje a las personas mayores					●	
Miércoles 18 Septiembre	Día de la Independencia	●					
Jueves 19 Septiembre	Día de las Glorias del Ejército	●					
Lunes 23 Septiembre	Equinoccio de Otoño					●	
Sábado 12 Octubre	Día del Encuentro de Dos Mundos	●		●			
Lunes 14 Octubre	Día de Acción de Gracias		●				
Lunes 14 Octubre	Día de la Salud y los Deportes					●	
Domingo 27 Octubre	Día de las Iglesias Protestantes y Evan.	●					
Viernes 1 Noviembre	Día de Todos los Santos	●					
Domingo 3 Noviembre	Día de la Cultura					●	
Lunes 11 Noviembre	Día del Recuerdo		●				
Lunes 11 Noviembre	Día de Los Veteranos de Guerra			●			
Sábado 23 Noviembre	Día de Acción de Gracias al trabajo					●	
Jueves 28 Noviembre	Día de Acción de Gracias			●			
Sábado 30 Noviembre	Fiesta de San Andrés						●
Domingo 8 Diciembre	Inmaculada Concepción	●					
Miércoles 25 Diciembre	Navidad	●	●	●	●		●
Jueves 26 Diciembre	Día de San Esteban				●		●



OPTIMIZA LA TRANSFERENCIA DE SMOLTS CON IHQ-ATPasa



DETERMINA EL STATUS DE SMOLTIFICACIÓN

IHQ-ATPasa es un marcador de inmunohistoquímica diseñado mediante un método de score para monitorear y detectar con precisión el avance del estado de smoltificación y la adaptación al agua de mar de los peces.

Asegure que sus salmones estén completamente preparados para la transferencia al mar.



Contacto: +56 65 271 0232 - info@vehice.com

www.vehice.com

FUNDAMENTOS DE SMOLTIFICACIÓN, FALLAS DE ADAPTACIÓN AL AGUA DE MAR, REZAGOS Y MADUREZ



Carlos Sandoval¹, Marcelo Vera¹, Denis Cárdenas¹, Gabriela Squella¹, Héctor López²

¹ Laboratorio VeHiCe

² Econexus

La smoltificación es un proceso esencial en el ciclo de vida de los salmones anádromos, marcado por cambios morfológicos, fisiológicos y conductuales que los preparan para migrar del agua dulce (FW) al agua de mar (SW). Factores ambientales como el fotoperiodo y la temperatura juegan un rol crucial en la smoltificación. Este proceso está controlado por el sistema endocrino, especialmente el eje pituitario-tiroideo, que induce aumentos en hormonas como las tiroideas, el cortisol y el factor de crecimiento insulínico (IGF1), fundamentales para promover la transición parr-smolt (Barron *et al.*, 1986; Björnsson *et al.*, 2011; Pino Martínez *et al.*, 2023). La melatonina, influenciada por señales ambientales, también interviene en la smoltificación al interactuar con hormonas relacionadas con la osmorregulación (Nissembaum *et al.*, 2021).

Durante la smoltificación, los salmones experimentan cambios notables como el plateado corporal, alteraciones en la composición corporal, aumento de la tasa de crecimiento, inquietud migratoria, incremento en la preferencia por la salinidad, e incremento de la capacidad hipo-osmorregulatoria. Este proceso biológico implica un costo energético elevado para los peces y se interpreta como una adaptación para moverse hacia ambientes marinos más favorables para el crecimiento y la maduración (Morera *et al.*, 2021).

En la industria acuícola, la smoltificación es crucial para la producción sostenible y rentable de salmónidos, adaptando su ciclo de vida natural a la crianza en gran escala (Morera *et al.*, 2021). El proceso de smoltificación enfrenta desafíos significativos, tales como, mal adaptación al agua marina, lo que representó un 7.4% de la mortalidad acumulada en agua de mar para Salmón del Atlántico el 1er semestre de 2023 (SERNAPESCA, 2023). Investigaciones recientes han explorado la relación entre smoltificación y la respuesta inmune del salmón, donde se ha mostrado una disminución en la inmunidad post-smolt, lo que aumentaría la vulnerabilidad a enfermedades infecciosas después de la transferencia a SW (Morera *et al.*, 2021).

PROCESO DE SMOLTIFICACIÓN

a. Cambios Parr-Smolt: Fisiología, comportamiento y morfología
La smoltificación se caracteriza por un aumento en el metabolismo de lípidos y la síntesis de proteínas, así como un crecimiento mayor en longitud en relación con el peso corporal (Nichols *et al.*, 2008). Estos procesos son mediados por cambios endocrinos integrados que involucran los ejes de la hormona del crecimiento, hormonas tiroideas y hormonas corticosteroides. Esta transformación conlleva cambios morfológicos como el alargamiento del pedúnculo caudal, mejorando la eficiencia en la natación pelágica, y alteraciones en las isoformas de hemoglobina, incrementando la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre (Björnsson *et al.*, 2010). El cambio de coloración de oscuro a plateado en los smolts funciona como camuflaje en aguas abiertas, mientras que el cambio de comportamiento de territorialidad a formación de cardúmenes reduce el riesgo de depredación durante la migración y la estancia en el océano (Langdon & Thorpe, 1985; Duston *et al.*, 1989).

La capacidad hipo-osmorregulatoria aumentada durante la smoltificación es esencial para la adaptación a SW, implicando cambios bioquímicos y morfológicos en branquias, riñón e intestinos (Fjedall *et al.*, 2018). Se observa un incremento en la actividad de la enzima branquial Na⁺, K⁺-ATPasa, crucial para regular el equilibrio de sal y agua en el nuevo ambiente marino (Fjedall *et al.*, 2018).

b. Control neuroendocrino

Durante la transformación parr-smolt, múltiples sistemas endocrinos desempeñan roles cruciales, coordinando adaptaciones fisiológicas y comportamentales para la transición del salmón hacia la vida marina (Wedemeyer *et al.*, 1980; Björnsson *et al.*, 2011).

Una vez que los salmones han alcanzado un umbral de tamaño o crecimiento, el fotoperiodo y la temperatura estacional estimulan el eje luz-cerebro-hipófisis, resultando en aumentos simultáneos de la hormona del crecimiento (GH), el cortisol y las hormonas tiroideas (Björnsson *et al.*, 2011; Morera *et al.*, 2021).

El cortisol y la GH interactúan para potenciar la adaptación osmorregulatoria en branquias, intestinos y riñones, esenciales para la tolerancia a la salinidad. Por otro lado, las hormonas tiroideas, como la tiroxina (T4), regulan cambios morfológicos como el plateamiento corporal (Evans *et al.*, 2005; Björnsson *et al.*, 2011).

De manera opuesta, la prolactina actúa como un inhibidor general durante la smoltificación, contrarrestando los efectos de la GH y otros factores de crecimiento en el desarrollo del smolt. Por lo tanto, su disminución durante la smoltificación es esencial para la adaptación a condiciones de agua salada (Thorpe *et al.*, 1994; Björnsson *et al.*, 2011; Nisembaum *et al.*, 2021).

c. Osmorregulación

Los salmónidos experimentan cambios significativos en su capacidad osmorregulatoria para adaptarse a SW, un ambiente hiper-osmótico en relación con sus fluidos corporales (Björnsson *et al.*, 2011; Fjedall *et al.*, 2018, Morera *et al.*, 2021). Estos cambios les permiten mantener una presión osmótica interna constante de aproximadamente 1/3 a la del agua de mar (McCormick *et al.*, 2013).

Inicialmente, los salmónidos viven en FW, donde enfrentan un desafío osmótico significativo debido a su hiperosmolaridad en comparación con el entorno. Esta condición provoca la entrada de agua al cuerpo y la pérdida de sales a través de las branquias por difusión. Al trasladarse a SW, se vuelven hiposmóticos en relación con el medio externo, lo que implica una pérdida de agua y una ganancia de sales por difusión pasiva. Para contrarrestar, beben agua de mar y ajustan la producción de orina mientras secretan activamente sales a través de células especializadas en las branquias, llamadas ionocitos (Morera *et al.*, 2021) (Figura 1).

Por lo tanto, la transición de FW a SW requiere que las branquias cambien su función de un órgano de captación de iones a un órgano secretor de sal.

Este cambio implica ajustes en proteínas clave como la ATPasa sodio-potasio (NKA) y el cotransportador de sodio-potasio-2 cloruro (NKCC1). Consecuentemente, durante la smoltificación, la actividad de NKA en las branquias se incrementa notablemente, mejorando la capacidad de los salmónidos para adaptarse a ambientes marinos hipersalinos (Morera *et al.*, 2021).

d. Marcadores de Smoltificación

Para la determinación de la transferencia al mar, se ha utilizado, desde su introducción al mercado en los 2000s, la actividad enzimática de la ATPasa (NKA) en las branquias como marcador principal, ya que indica la capacidad del pez para adaptarse a la salinidad marina (Morera *et al.*, 2021; Takvam *et al.*, 2023).

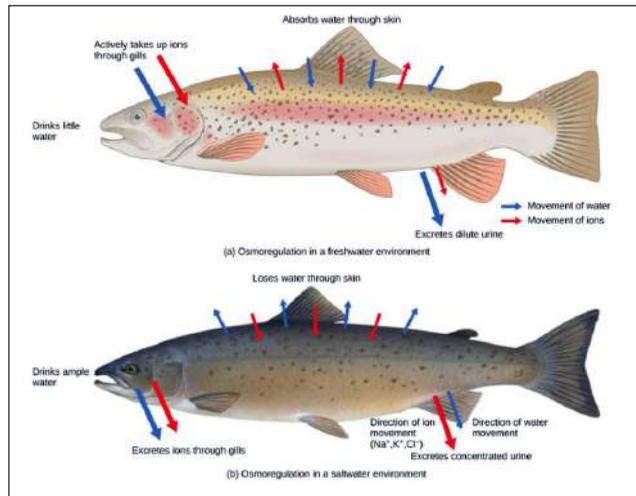


Figura 1: Diferencias en los procesos de osmorregulación de los salmones en FW vs SW (Fuente: NursingHero.com)

La NKA se compone de 2 subunidades: α y β . Durante el desarrollo del smolt, se observa una transición en la abundancia de las isoformas NKA α 1a y NKA α 1b en las branquias (Figura 2). En FW, predomina NKA α 1a, mientras que en SW, NKA α 1b se incrementa notablemente, coincidiendo con la adaptación del smolt a la salinidad elevada. Además, se presentan ionocitos que contienen ambas isoformas, NKA α 1a y NKA α 1b (McCormick *et al.*, 2013).

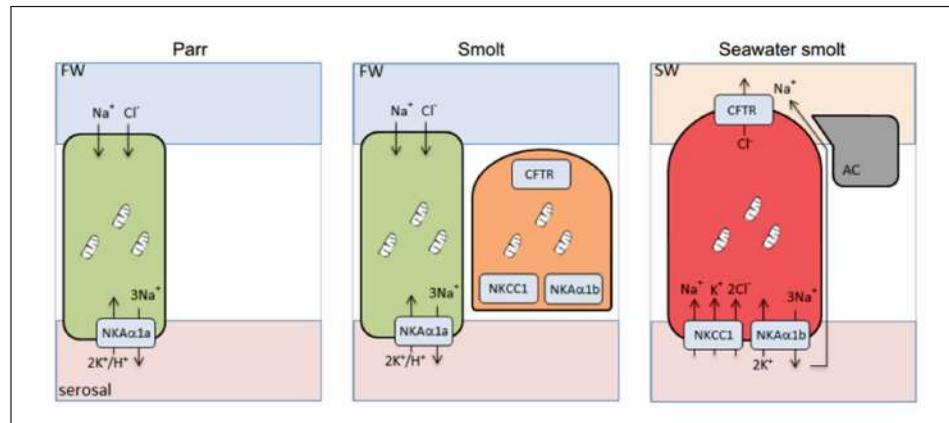


Figura 2: Esquema de isoformas NKA α 1a y NKA α 1b durante la smoltificación (McCormick *et al.* 2013).

Utilizando anticuerpos específicos, McCormick *et al.*, 2013 demostraron que en pre-smolts de FW el epitelio branquial presenta ionocitos que expresan mayormente isoformas de NKA α 1a, (color verde) y, a medida que avanza el desarrollo del smolt existe un aumento significativo en el número de ionocitos NKA α 1b (color rojo) y de ambas isoformas (color naranja), y una disminución de los ionocitos NKA α 1a (Figura 3) (McCormick *et al.*, 2013).

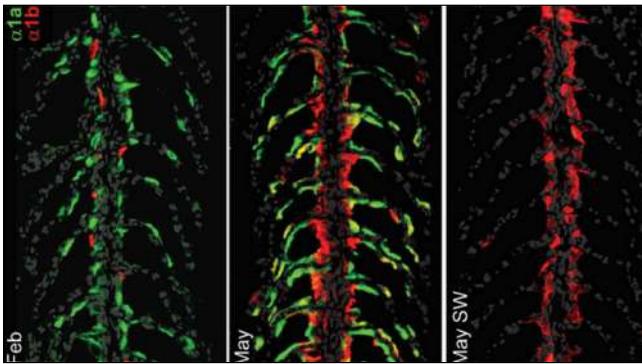


Figura 3: Localización de NKAa1a (verde), NKAa1b (rojo), y ionocitos que expresan ambas isoformas (NKAa1a y NKAa1b) (amarillo-naranja) en el tejido branquial de pre-smolts en *S. salar*; smolts de FW y smolts adaptados a SW durante 2 semanas (McCormick *et al.*, 2013).

Por otra parte, debido a la intensificación de las condiciones de crianza y la producción de smolts cada vez más grandes en la acuicultura moderna de salmones, se han observado cambios morfológicos y fisiológicos más frecuentes asociados con la smoltificación parcial en condiciones que no están destinadas a estimular dicho proceso. Estas fluctuaciones resaltan los desafíos de utilizar una única métrica, como un indicador confiable de la calidad del smolt. Se ha observado que los smolts grandes (>200 g), especialmente aquellos criados en sistemas de flujo continuo pueden mostrar un aumento más marcado en la actividad de la NKA en las branquias en comparación con los criados en RAS, lo que dificultaría predecir el desarrollo del smolt basándose únicamente en medidas de actividad de la NKA en las branquias (Takvam *et al.*, 2023).

Varios estudios indican que expresión diferencial de la subunidad a de la NKA, o la proporción de NKA-a1b/a1a, sirven como indicador sensible del desarrollo de smolts. Se ha observado que el aumento de

los niveles de NKA-a1b está ampliamente relacionado con una mayor actividad enzimática en las branquias de los smolts (Takvam *et al.*, 2023).

Takvam *et al.*, 2023 describen que en FW, aumenta la cantidad de ionocitos NKA-a1b, ubicados principalmente en los filamentos branquiales, mientras que los ionocitos NKA-a1a se encuentran tanto en los filamentos como en las laminillas. En contraste, en los smolts de SW, los ionocitos NKA-a1b se encuentran en los filamentos, mientras que los ionocitos NKA-a1a no se observan. La ubicación de los ionocitos debe tenerse en cuenta al analizar tejido branquial (Figura 4).

e. Ventana de Smoltificación

En la industria salmoneera, la smoltificación se evalúa principalmente por dos manifestaciones clave: la supervivencia y el rendimiento de crecimiento en agua de mar. Estas medidas son críticas para la producción exitosa de salmones (Pino Martínez *et al.*, 2023). Sin embargo, si los smolts no se transfieren a SW dentro de la "ventana de smolt", estos cambios preparatorios pueden revertirse naturalmente. Este proceso de reversión se conoce como "desmoltificación" o reversión a parr (Morera *et al.*, 2021; Takvam *et al.*, 2023)

Conceptualmente, la ventana de smolt se refiere al periodo óptimo durante el cual las condiciones fisiológicas permiten una rápida adaptación al mar (Björnsson *et al.*, 2011; Pino Martínez *et al.*, 2023). Operativamente, se asocia con el aumento de la actividad enzimática de NKA en las branquias, siendo la duración típica de esta ventana de smolt de aproximadamente 300-400 grados-días (d°C) (Figura 5) (Morera *et al.*, 2021). Es importante considerar que a pesar de que la actividad inicial de NKA en FW puede predecir el rendimiento inicial en los primeros días de aclimatación a SW, no predice diferencias significativas en el crecimiento a largo plazo entre los grupos (Zydlowski *et al.*, 2012).

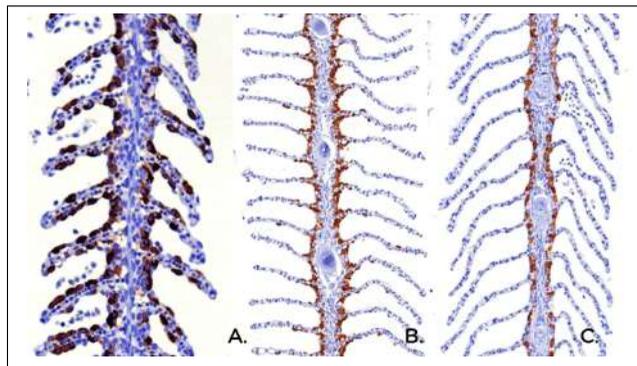


Figura 4: Sistema de Scoring mediante IHQ-ATPasa en branquia utilizado en VeHiCe que determina si el estado fisiológico del pez es compatible con SW, en base a la localización de ionocitos. A) Score 1: compatible con FW; B)

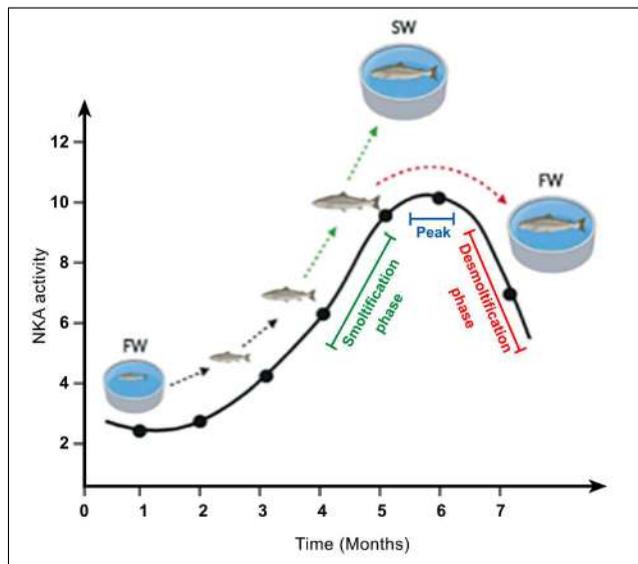


Figura 5: Variaciones en los niveles de actividad de NKA branquial durante el desarrollo de smolt en *S. salar* (McCormick *et al.*, 2013, Morera *et al.*, 2021).

Por otro lado, la “desmoltificación” se asocia con una disminución de NKA-a1b en las branquias y un aumento simultáneo de la expresión de NKA-a1a, antes de que ocurran cambios observables en la actividad enzimática de NKA. Esto proporciona una advertencia temprana del proceso de desmoltificación. (Takvam *et al.*, 2023).

Por ende, el desafío principal es "sincronizar" la transferencia óptima con la ventana de smoltificación debido a la aceleración del ritmo de smoltificación y el tamaño promedio mayor que alcanzan los smolts antes de ser transferidos a agua salada como resultado de las condiciones de cría intensiva (Pino Martínez *et al.*, 2023).

FACTORES ASOCIADOS A SMOLTIFICACIÓN

El desarrollo de la smoltificación en los salmones está altamente influenciado por factores ambientales, siendo el fotoperiodo y la temperatura los más críticos. La reproducción, la optimización de la composición y nivel energético de la dieta, el uso de fotoperiodos artificiales y la manipulación de la temperatura han aumentado enormemente el crecimiento somático de los peces (Fjedall *et al.*, 2018). Con las actuales actividades de la industria para producir grandes smolts o post-smolts en sistemas cerrados, dicho conocimiento se vuelve altamente relevante. En todas las estrategias, se eleva la temperatura del agua en comparación con la acuicultura tradicional. Sin embargo, tanto la temperatura como el tamaño son factores importantes que contribuyen al riesgo de maduración en machos post-smolt de salmón del Atlántico (Fjedall *et al.*, 2018).

a. Fotoperiodo y Temperatura

El fotoperiodo y las fluctuaciones estacionales de temperatura son dos señales ambientales que trabajan en conjunto para transformar los parrs en smolts. En el hemisferio norte, la smoltificación en salmones silvestres se completa en primavera, cuando una temperatura ascendente de 8-10 °C inicia la migración de los smolts (Morera *et al.*, 2021).

La duración de la luz del día es una señal que sincroniza los ritmos biológicos de los peces con las estaciones, preparando a los juveniles para su transición a la vida en el océano (Duston *et al.*, 1989; Morera *et al.*, 2021; Pino Martínez *et al.*, 2023). Este cambio en la duración de la luz afecta la liberación de hormonas como la melatonina, que a su vez influye en la liberación de otras hormonas críticas para la smoltificación (GH y hormonas tiroideas). Adicionalmente, la temperatura elevada incrementa la secreción de melatonina, sugiriendo que la glándula pineal podría funcionar como sensor de fotoperiodo y temperatura (Morera *et al.*, 2021). La acuicultura intensiva se ha convertido en una producción animal industrializada, independiente de la estación, con altos rendimientos, tiempo de generación reducido y densidades de peces elevadas (Pino Martínez *et al.*, 2023). Para acelerar el crecimiento y el desarrollo de smolts independientes de la estación,

se utilizan regímenes de luz constante en la etapa parr, luego una interrupción con un fotoperiodo corto y control de la temperatura del agua, y por último, completando la smoltificación con otra exposición a luz continua (Pino Martínez *et al.*, 2023). Esta estrategia permite un control sobre el momento y la duración del proceso de smoltificación, adaptándolo a las necesidades específicas de producción (Morera *et al.*, 2021). Sin embargo, el uso prolongado de estos regímenes extremos de luz priva a los salmones juveniles de señales estacionales, interfiriendo críticamente con la transformación de parr a smolt (Pino Martínez *et al.*, 2023).

Por ende, el fotoperiodo es determinante al momento del desarrollo del smolt, actuando como una señal ambiental que sincroniza el inicio de la smoltificación con las estaciones. La temperatura también tiene un impacto sustancial ya que influye en la velocidad de las reacciones metabólicas y, por lo tanto, en el crecimiento y desarrollo de los salmones (Björnsson *et al.*, 2011; Pino Martínez *et al.*, 2023).

b. Dieta

Como se menciona anteriormente, en el método tradicional de fotoperiodo, se logra la smoltificación imitando el régimen fotoperiódico natural. Sin embargo, una reducción de apetito y del crecimiento durante la exposición a un fotoperiodo corto, ha llevado a buscar otros métodos como el tratamiento dietético (Striberny *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2024).

Este método logra mantener a los pre-smolts bajo un régimen de luz continua en toda la fase de FW, entregándoles una alimentación suplementada con sales durante las últimas semanas antes de la transferencia a SW (Striberny *et al.*, 2021).

Estudios en esta materia han demostrado que la inclusión de sales (iones) en la dieta mejora a tolerancia a la salinidad del mar en salmones juveniles. La estimulación de la tolerancia puede incluir la señalización por receptores de calcio, receptores ionotrópicos y metabotrópicos de glutamato. Además, los receptores de calcio pueden activarse por una variedad de aminoácidos como el triptófano, que también es utilizado en las dietas estimulantes de smoltificación (Striberny *et al.*, 2021). Striberny *et al.*, 2021 demostraron que a combinación de tratamiento de luz y dieta resultó en un fenotipo de salmón en SW que logró un alto apetito y tasas de crecimiento superiores después de la transferencia a SW. Probablemente, debido a una combinación de los efectos beneficiosos del tratamiento dietético en el desarrollo de mecanismos de hipo-osmorregulación y la señal fotoperiódica en cascadas de señalización endocrina, que actúan sobre el pez de manera aditiva.

c. Madurez

La maduración en el salmón se ve influenciada por factores como el fotoperiodo, la temperatura del agua, el ejercicio, la cepa genética, la calidad del agua de cultivo y la alimentación, siendo la temperatura del agua y el fotoperiodo los factores más críticos para la decisión de iniciar o retrasar la maduración (Mota *et al.*, 2024).

En un contexto de acuicultura, la maduración temprana es problemática, especialmente en los machos, ya que compromete el crecimiento, cambia la apariencia externa del pez, reduce la calidad de la carne y aumenta la mortalidad en el mar, lo que lleva a pérdidas económicas significativas (Mota *et al.*, 2024). En Chile en 2024 se han observado porcentajes de hasta un 80% de maduración en poblaciones previo al traslado, en sistemas de cultivo intensivo (comunicación personal, Econexus, 2024). Esta condición en FW a menudo es el resultado de un crecimiento rápido provocado por una combinación de luz continua (24 horas), temperaturas de cría relativamente altas y dietas ricas en energía, interfiriendo con el proceso de smoltificación. Se ha sugerido que disminuir el fotoperiodo después de la smoltificación parece limitar la maduración temprana sin comprometer el desarrollo del tamaño corporal (Skjold *et al.*, 2024). Adicionalmente, una reducción en los niveles de grasa dietética durante la primavera sería una posible solución para mitigar la maduración sexual temprana (Fjedall *et al.*, 2018; Mota *et al.*, 2024).

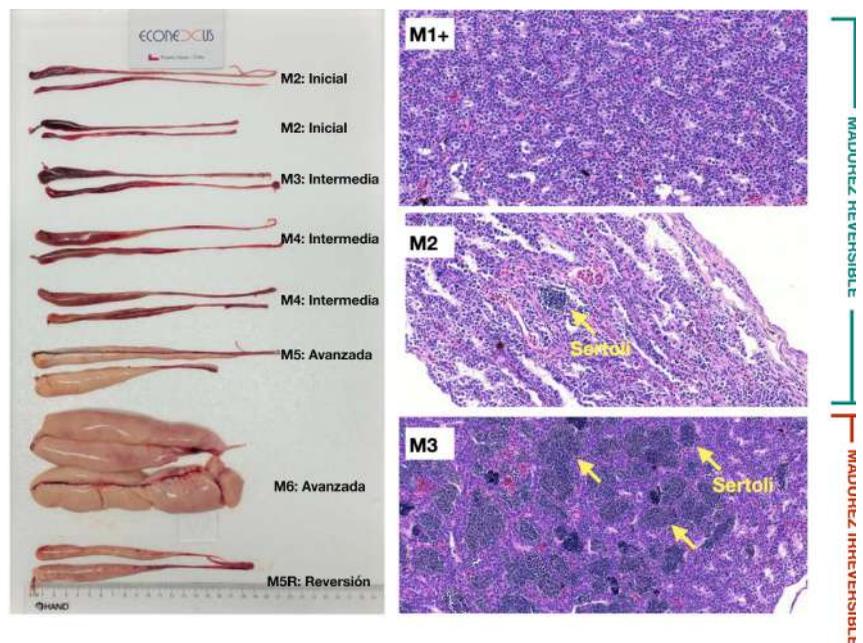


Figura 6: Categorías de desarrollo gonadal de macho *S. salar*: En FW una vez alcanzada la categoría M3, la mayor parte de los individuos continúa su desarrollo gonadal aunque sea sometido a un esquema de fotoperiodo de luz continua ($T^{\circ} < 14^{\circ}C$). Categorías inferiores responden positivamente al régimen de luz continua, inhibiendo su maduración. Si los peces se encuentran en SW y se detectan en categoría M3, estos pueden continuar su proceso de maduración o pueden revertir (ver categoría M5R), sin embargo, estos peces que revierten por lo general pierden potencial y se rezagan (Econexus y VeHiCe)."

El inicio de la madurez gonadal se relaciona con la activación del eje hipotálamo-hipófisis-gónada (HHG), que responde a factores ambientales, fisiológicos, energéticos y genéticos. Por lo tanto, una vez activado el eje, se pueden observar cambios asociados a maduración y es posible identificar visualmente los ejemplares que han alcanzado una madurez gonadal total en FW, por sus características externas típicas de un macho maduro (comunicación personal, Econexus, 2024).

La técnica de ultrasonografía permite monitorear el desarrollo gonadal en machos y hembras, permitiendo identificar ejemplares que evidencian madurez total, intermedia e incluso, en etapas iniciales. Y es en estos últimos, donde radica la importancia de la identificación temprana ya que no presentan signología externa de maduración (comunicación personal, Econexus, 2024).

FALLA EN LA SMOLTIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN A SW

Los desafíos asociados con la adaptación a SW pueden tener repercusiones significativas en la salud y el rendimiento de los salmones, afectando negativamente la producción acuícola. Problemas osmorregulatorios derivados de una smoltificación deficiente incrementan el estrés y el riesgo de enfermedades y mortalidad poco después de la transferencia al mar (Sommerset *et al.*, 2023).

Factores como mala calidad del agua y del entorno del tanque, capacidad inadecuada del tanque, estimulación lumínica desigual, maduración sexual temprana, desarrollo de "pseudosmolts", smoltificación desigual y desmoltificación, enfermedades infecciosas y ambientales interrumpen el proceso y afectan negativamente la calidad de los smolts (Sommerset *et al.*, 2023). Algunos de los signos externos de peces con falla en el proceso de adaptación al agua de mar incluyen una baja condición corporal, oscurecimiento de la piel y pérdida de escamas, junto con natación letárgica y falta de respuesta a la alimentación. Internamente, se puede observar un tracto gastrointestinal vacío, reducción de grasa visceral y contenido intestinal anormal. Además, hay atrofia generalizada de órganos internos, reflejando un proceso fisiológico alterado.

En la casuística interna (VeHiCe) de muestras provenientes de peces con mal adaptación al agua de mar, a nivel histológico se evidencia comúnmente una disminución o ausencia de grasa alrededor de los órganos internos, principalmente a nivel de grasa en los ciegos pilóricos (Imagen 1) y un aumento en el depósito de melanina en el riñón (aumento de melanomacrófagos en intersticio renal) (Imagen 2).

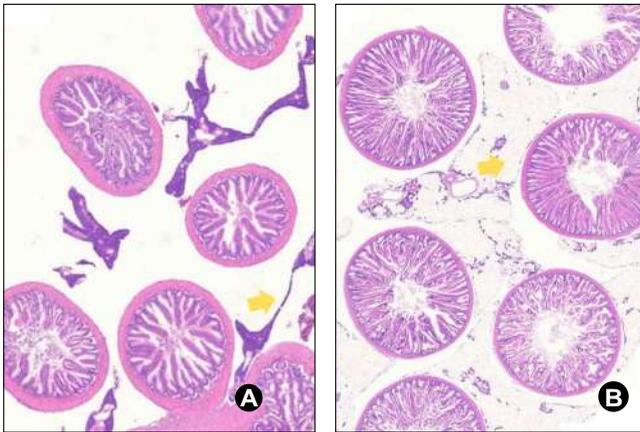


Imagen 1: H&E. Ciegos pilóricos. Disminución de grasa peripilórica en pez rezagado (A) vs. grasa peripilórica normal en smolt adaptado a SW (B).

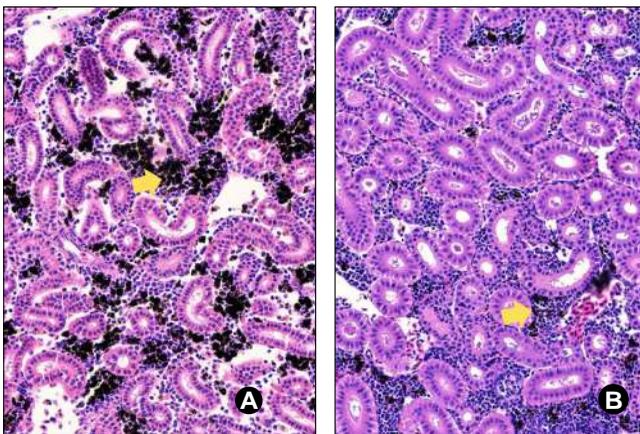


Imagen 2: H&E. Riñón. Aumento de melanomacrófagos en pez rezagado (A) vs. cantidad de melanomacrófagos normal en smolt adaptado a SW (B).

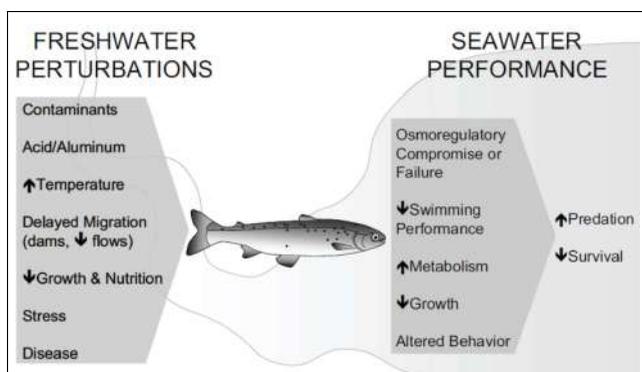


Figura 7: La exposición a condiciones ambientales adversas en FW interrumpe el desarrollo del smolt y la tolerancia a la salinidad (McCormick *et al.*, 2009).

FACTORES DE RIESGO

El proceso de smoltificación no solo está determinado por factores ambientales naturales, sino que también puede ser significativamente afectado por factores externos, como los disruptores endocrinos, la acidificación y otros contaminantes (Figura 6).

Los disruptores endocrinos son sustancias químicas que pueden interferir con el sistema hormonal y afectar la liberación y acción de hormonas clave involucradas en la smoltificación, pudiendo resultar en un desarrollo incompleto o defectuoso del smolt (Wedemeyer *et al.*, 1980).

La acidificación episódica, que resulta en un aumento de la acidez y niveles de aluminio inorgánico, también representa una amenaza significativa. Un único pulso subletal y a corto plazo de aluminio puede interferir con la capacidad de los smolts para regular su equilibrio osmótico, al perturbar la tolerancia al agua de mar, sin efectos detectables en la regulación iónica en agua dulce (Wedemeyer *et al.*, 1980; Monette *et al.*, 2008).

Otros contaminantes como los metales pesados también pueden tener efectos adversos. La exposición crónica al cobre, incluso a concentraciones de 20-30 $\mu\text{g/l}$, inhibe parcial o completamente el sistema de ATPasa branquial en smolts y pre-smolts, resultando en mortalidades severas al ser transferidos al mar. La exposición al cadmio en concentraciones superiores a 4 $\mu\text{g/l}$ también causa mortalidad dosis-dependiente al trasladar los smolts expuestos directamente a SW. Sin embargo, una mantención de cinco días de los peces en FW libre de Cd antes de la transferencia a SW permite una supervivencia normal (Wedemeyer *et al.*, 1980).

Finalmente, para prevenir la falla en la smoltificación y mejorar la adaptación a SW, es crucial la implementación de una adecuada estrategia de monitoreo de smoltificación adecuada, implementar estrategias que reduzcan el estrés antes y después de la transferencia a SW, asegurar un estado de salud adecuado con evaluaciones sanitarias pre-transferencia, mantener condiciones óptimas de cultivo, minimizar la variabilidad en el tamaño de los peces al trasladarlos a SW, evitar incluir peces de baja talla, realizar ayuno adecuado previo a la transferencia, minimizar las aglomeraciones durante los manejos, controlar variaciones de temperatura durante traslados, evitar grandes deltas térmicos entre FW y SW, mantener una buena calidad del agua durante el traslado y establecer una adecuada estrategia de alimentación post-transferencia a SW.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barron, M. G. (1986). Endocrine control of smoltification in anadromous salmonids. *Journal of Endocrinology*, 108(2), 313–319. doi:10.1677/joe.0.1080313
- Björnsson, B. T., Stefansson, S. O., & McCormick, S. D. (2011). Environmental endocrinology of salmon smoltification. *General and Comparative Endocrinology*, 170(2), 290–298. doi:10.1016/j.ygcen.2010.07.003
- Duston, J., & Saunders, R. L. (1990). The entrainment role of photoperiod on hypostomeregulatory and growth-related aspects of smolting in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Zoology*, 68(4), 707–715. doi:10.1139/z90-103
- Fjellidal, P. G., Schulz, R., Nilsen, T. O., Andersson, E., Norberg, B., & Hansen, T. J. (2018). Sexual maturation and smoltification in domesticated Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - is there a developmental conflict? *Physiological Reports*, 6(17), e13809. doi:10.14814/phy2.13809
- Jansen, M. (2020). Dietary vs. light stimulated smoltification: effects on smolt development and appetite regulation in pre- and post-smolts. (Master's thesis, Faculty of Biosciences, Fisheries and Economics, Department of Arctic and Marine Biology, UiT The Arctic University of Norway). BIO-3950.
- Langdon, J. S., & Thorpe, J. E. (1985). The ontogeny of smoltification: Developmental patterns of gill, SDH, and chloride cells in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*, 45(1-4), 83–95. doi:10.1016/0044-8486(85)90260-1
- McCormick SD, Regish AM, Christensen AK, Björnsson BT. Differential regulation of sodium-potassium pump isoforms during smolt development and seawater exposure of Atlantic salmon. *J Exp Biol*. 2013 Apr 1;216(Pt 7):1142-51. doi: 10.1242/jeb.080440. PMID: 23487266.
- McCormick, Stephen & Lerner, Darren & Monette, M. & Nieves-Puigdoller, K. & Kelly, John & Björnsson, Björn Thrandur. (2009). Taking It with You When You Go: How Perturbations to the Freshwater Environment, Including Temperature, Dams, and Contaminants, Affect Marine Survival of Salmon.
- Monette, M. Y., Björnsson, B. T., & McCormick, S. D. (2008). Effects of short-term acid and aluminum exposure on the parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Disruption of seawater tolerance and endocrine status. *General and Comparative Endocrinology*, 158(1), 122–130. doi:10.1016/j.ygcen.2008.05.014
- Morera, Francisco & Castro-Guarda, Marcos & Nualart, Daniela & Espinosa, Gabriel & Muñoz, José & Vargas-Chacoff, Luis. (2021). The biological basis of smoltification in Atlantic salmon. *Austral journal of veterinary sciences*. 53. 73-82. 10.4067/S0719-81322021000100073.
- Mota, V. C., Verstege, G. C., Striberny, A., Lutfi, E., Dessen, J.-E., Sveen, L., Burgerhout, E., & Bou, M. (2024). Smoltification, seawater performance, and maturation in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed different fat levels. **Frontiers in Aquaculture*, 3*, 1323818. <https://doi.org/10.3389/faqc.2024.1323818>
- Nichols, K. M., Edo, A. F., Wheeler, P. A., & Thorgaard, G. H. (2008). The Genetic Basis of Smoltification-Related Traits in *Oncorhynchus mykiss*. *Genetics*, 179(3), 1559–1575. doi:10.1534/genetics.107.084251
- Nisembaum, L. G., Martin, P., Lecomte, F., & Falcón, J. (2021). Melatonin and osmoregulation in fish: A focus on Atlantic salmon *Salmo salar* smoltification. *Journal of Neuroendocrinology*, 33(3). doi:10.1111/jne.12955
- NursingHero (s.f.) Osmoregulation and Osmotic Balance. <https://www.nursinghero.com/study-guides/boundless-biology/osmoregulation-and-osmotic-balance>
- Pino Martinez E, Imsland AKD, Hosfeld A-CD, Handeland SO. Effect of Photoperiod and Transfer Time on Atlantic Salmon Smolt Quality and Growth in Freshwater and Seawater Aquaculture Systems. *Fishes*. 2023; 8(4):212. <https://doi.org/10.3390/fishes8040212>
- Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. (2023). Informe con antecedentes sanitarios de agua dulce y mar, 1° semestre 2023. Departamento de Salud Animal, Subdirección de Acuicultura. Skjold V, Rørvik K-A, Sveen L, Burgerhout E, Mota VC, Weihe R, Ytrestøyl T, Bou M, Jacobsen HJ, Allaoui G, Fuskevåg O-M and
- Dessen J-E (2024) Gradually decreasing daylength after smoltification induced by "winter signal" reduced sexual maturation in male Atlantic salmon. *Front. Aquac.* 2:1235584. doi: 10.3389/faqc.2023.1235584.
- Sommerset I, Wiik-Nielsen J, Moldal T, Oliveira VHS, Svendsen JC, Haukaas A og Brun E. Norwegian Fish Health Report 2023, Norwegian Veterinary Institute Report, series #8b/2024, published by the Norwegian Veterinary Institute in 2024.
- Striberny, Anja & Lauritzen, Daniel & Fuentes, Juan & Campinho, Marco & Gaetano, Pasqualina & Duarte, Vilma & Hazlerigg, David & Jørgensen, Even. (2021). More than one way to smoltify a salmon? Effects of dietary and light treatment on smolt development and seawater growth performance in Atlantic salmon. *Aquaculture*. 532. 736044. 10.1016/j.aquaculture.2020.736044.
- Thorpe, J. E. (1994). An alternative view of smolting in salmonids. *Aquaculture*, 121(1-3), 105–113. doi:10.1016/0044-8486(94)90012-4
- Wedemeyer, G. A., Saunders, R. L., & Clarke, W. C. (1980). Environmental factors affecting smoltification and early marine survival of anadromous salmonids. *Marine Fisheries Review*.
- Zydlewski, G. B., & Zydlewski, J. (2012). Gill Na⁺,K⁺-ATPase of Atlantic salmon smolts in freshwater is not a predictor of long-term growth in seawater. *Aquaculture*, 362-363, 121–126. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.

SALMOFOOD 

Respira

Oxycare

Mejora la tolerancia de los peces al estrés causado por hipoxia.

WWW.SALMOFOOD.CL



¿Hablamos?

Comunicate con tu asesor técnico para más información

Una marca de
VITAPRO 

Efecto de los tratamientos antiparasitarios sobre la estructura poblacional de los ejemplares adultos de *Caligus rogercresseyi*



Sandra Bravo¹, M.T. Silva², Celia Agusti³, Nike Ponce¹

¹ Universidad Austral de Chile

² Universidad San Sebastián

³ Norwegian University of Life Sciences

Según May (1993), la reproducción de los parásitos depende de la proporción de sexos y también de si los parásitos machos y hembras se distribuyen juntos o por separado entre los hospedadores. La distribución en conjunto supone que el sexo de cada parásito es aleatorio y que los individuos tienen la misma probabilidad de ser hembras o machos, asumiendo una proporción igual de sexos. Hamre et al. (2019) reportaron que la proporción de sexos en *Lepeophtheirus salmonis* es 1:1, y que las hembras se desarrollan más lentamente que los machos. Piasecki & McKinnon (1995) reportaron una proporción de igual sexo para *L. salmonis* y *Caligus elongatus*. En el caso de *Caligus rogercresseyi*, Jeong et al. (2021) reportaron que bajo condiciones de laboratorio, la proporción de machos y hembras es similar una vez que se desarrollan hasta la etapa adulta. Por otro lado, González et al. (2015) reportaron que después de una infestación con copepoditos, se alcanzó la etapa adulta a los 22 dpi (días post infección) con una proporción de 54% machos y 46% hembras. Sin embargo, de acuerdo a lo registrado en terreno, la proporción de hembras totales (hembras grávidas y no-grávidas) posterior a un tratamiento farmacológico, es superior al de machos registrándose hasta 70% de hembras totales (Bravo & Treasurer, 2023).

El Programa Sanitario Específico para la Vigilancia y Control de la Caligidosis, establece que el monitoreo de Caligus se debe iniciar 30 días después de finalizado el traslado del salmón a la primera jaula del centro de cultivo y debe extenderse hasta la última semana del ciclo productivo, y antes del final de la cosecha del salmón. Establece además, que el monitoreo debe ser realizado por un muestreador calificado, autorizado por Sernapesca (Res. Ex. 60-2022, SERNAPECA). El objetivo de esta

normativa es mantener el número de hembras grávidas <3 por pez, después de la aplicación de cualquier tratamiento antiparasitario. Si un centro de cultivos tiene tres notificaciones consecutivas de una alta carga de piojos, se enfrenta a la cosecha obligatoria. La normativa exige el monitoreo de seis jaulas semanalmente, y el muestreo aleatorio de 10 peces de cada jaula muestreada, a los cuales se les debe registrar el número de hembras grávidas (con sacos ovíferos), adultos móviles (machos y hembras sin sacos ovíferos) y chalimus.

En países del hemisferio norte, la regulación además de considerar el bienestar del salmón parasitado, se focaliza en la protección del salmón silvestre y considera la ventana de migración de los smolts (Vormedal & Larsen, 2021). Existe abundante evidencia que demuestra que una vez que los smolts llegan al mar, son rápidamente invadidos por copepoditos aportados por los salmones de cultivo, a lo que se le atribuye la declinación de las poblaciones de salmones silvestres (Krkosek et al., 2007; Thorstad et al., 2012). La mayoría de los países considera el número de hembras adultas (grávidas y no grávidas) para decidir la aplicación de un tratamiento antiparasitario. En el caso de Canadá, se establece la clasificación “adultos móviles”, lo que incluye a los ejemplares preadultos de *L. salmonis* además de los machos y hembras totales. En el caso de Irlanda y Chile, se considera solo a las hembras grávidas. (Tabla 1).

Tabla 1: Umbral en el número de piojos para aplicar un tratamiento antiparasitario, establecido en países productores de salmón.

País	Migración salmones silvestres	Resto del año	Fuente
Canadá (Atlántico)	>3 piojos móviles	> 3 piojos móviles	https://www.dfo-mpo.gc.ca
Canadá (Pacífico)	> 3 piojos móviles	> 3 piojos móviles	http://www.dfo-mpo.gc.ca
Chile	-	> 3 hembras grávidas	http://www.sernapesca.cl
Irlanda	> 0.5 hembras grávidas	> 2 hembras grávidas	http://www.marine.ie
Noruega	> 0.2 hembras adultas	> 0,5 hembras adultas	http://www.mattilsynet.no
Escocia	> 0.5 hembras adultas	> 2 hembras adultas	http://www.gov.uk
Islas Feroés	> 0.5 hembras adultas	> 1 hembras adultas	http://www.hfs.fo

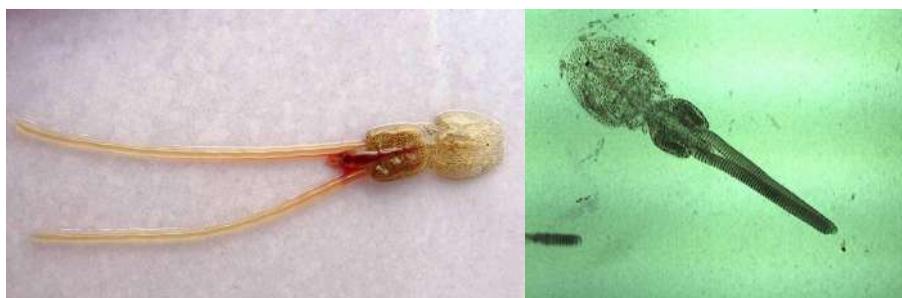


Figura 1: Hembra *Lepeophtheirus salmonis* (izquierda; foto Trygve Poppe). Hembra de *Caligus rogercresseyi* (derecha).



Figura 2: Smolt de salmón del Atlántico parasitado por hembras de *Lepeophtheirus salmonis* (izquierda; foto Per Kvenseth). Smolt de salmón del Atlántico parasitado por hembras de *Caligus rogercresseyi* (derecha).



Figura 3: Monitoreo abundancia de *Caligus rogercresseyi*. Los muestreos se realizaron seis meses después de finalizado los tratamientos con lufenuron (aplicado en el alimento) y hexaflumuron (aplicado por baño), período de protección declarado por las compañías farmacéuticas para benzoinureas. Los muestreos para los otros tratamientos antiparasitarios aplicados por baño (DMT, AZA y PER) se realizaron 7 días después de finalizado el tratamiento, siguiendo la frecuencia semanal de conteo de piojos en los centros de cultivo. Para el benzoato de emamectina (aplicado en el alimento) los muestreos se realizaron 14 días después de finalizado el tratamiento. Todos los sitios muestreados se ubicaron en la Región de Los Lagos, Región-X (40°15'- 44°14' S).

El criterio para establecer el número máximo de piojos para la aplicación de un tratamiento antiparasitario está relacionado con la tasa de fecundidad. Las hembras de *L. salmonis* presentan un tamaño que fluctúa entre 10 y 12 mm y producen hasta 700 huevos por saco ovífero (Wooten et al., 1982), a diferencia de la hembra de *C. rogercresseyi* que tiene un tamaño aproximado de 5 mm y produce alrededor de 50 huevos por saco (Bravo et al., 2009). La tasa de fecundidad de *L. salmonis* supera en más de 10 veces la tasa de fecundidad de *C. rogercresseyi* (Figura 1), pero además, el daño mecánico causado por las hembras de *L. salmonis* es también mayor que el causado por *C. rogercresseyi* (Figura 2).

Dado que la normativa implementada por la autoridad chilena en 2007 y actualizada en 2022, pone el foco solo en el número de hembras grávidas, no existe información documentada sobre la proporción de hembras no grávidas clasificadas como adultos móviles. Por lo que el objetivo de este estudio fue aportar información que permita determinar la proporción de hembras no grávidas clasificadas como adultos móviles, así como documentar el efecto de los tratamientos antiparasitarios sobre la relación hembra/macho después de la aplicación de un tratamiento, y de esta manera conocer la real situación epidemiológica del piojo de mar en Chile (Bravo et al., 2024).

Al igual que para *L. salmonis* (Heuch et al., 2000), bajo condiciones de laboratorio se demostró que las hembras de *C. rogercresseyi* que se han apareado una sola vez, pueden producir hasta once generaciones de sacos ovíferos en un periodo de 74 días, con una periodicidad entre cuatro y seis días dependiendo de la temperatura del agua (Bravo, 2010), por lo que al no considerar a las hembras sin saco en el monitoreo de carga parasitaria, se está subestimando la tasa de fecundidad de la población de hembras de *C. rogercresseyi*.

METODOLOGIA

Se realizaron muestreos de *C. rogercresseyi* adultos en el período 2021-2022 después de los siguientes tratamientos antiparasitarios: azametifos (AZA) en dos centros de cultivo; deltametrina (DTM) en un centro de cultivo; lufenuron (LUF) en dos centros de cultivo; hexaflumuron (HFM) en un centro de cultivo, y peróxido de hidrógeno (PER) en un centro de cultivo. Además, los datos recopilados de estudios previos se incorporaron para evaluar la

estructura poblacional posterior a la aplicación de tratamientos contra el piojo de mar: datos recopilados después del tratamiento con benzoato de emamectina (EMB) en seis centros de cultivo en el periodo 2006-2007; datos recogidos posterior al tratamiento con deltametrina en un centro en 2008 y otro en 2009, y los datos recogidos después del tratamiento con azametifos en un centro en 2014 y otro en 2016.

Se muestrearon 20 peces por jaula en el periodo 2006-2016 y 40 peces por jaula en el periodo 2021-2022. En los peces previamente anestesiados con benzocaína (10% en etanol, 1 ml/L), se registró el número de piojos adultos por pez, clasificándolos como machos, hembras con sacos (grávidas) y hembras sin sacos (no-grávidas). Los muestreos fueron realizados por profesionales involucrados en los proyectos, durante el monitoreo rutinario de *Caligus* en los centros de cultivo (Figura 3). La clasificación y el conteo de piojos se llevó a cabo mientras los piojos aún estaban adheridos a los peces, para minimizar la manipulación de los piojos y el desprendimiento de sacos ovigeros en las hembras grávidas.

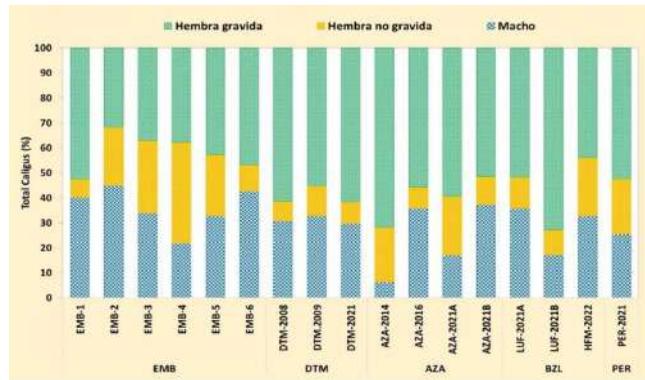


Figura 4: Registro del porcentaje de hembras grávidas, hembras no-grávidas y machos de *Caligus rogercresseyi* posterior a los tratamientos antiparasitarios.

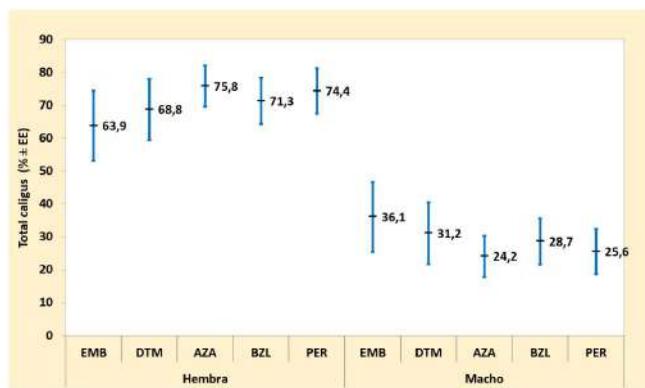


Figura 6: Diferencias en la proporción de hembras y machos (% ± SE) posterior a la aplicación de cada producto antiparasitarios.

RESULTADOS

La Figura 4 muestra que posterior a un tratamiento farmacológico, la proporción de hembras fluctuó entre 55% (EMB-2) y 93,7% (AZA-2014) respecto al total de piojos, la proporción de hembras no-grávidas fluctuó entre 7,1% (EMB-1) y 40,4% (EMB-4), y la proporción de machos fluctuó entre 6,3% (AZA-2014) y 45% (EMB-2).

La figura 5a, muestra que no hubo diferencias significativas ($p=0,143$) en la proporción de hembras no-grávidas en relación al total de *Caligus* adultos, posterior al tratamiento con los diferentes productos antiparasitarios. La figura 5b muestra que diferencias significativas fueron registradas en la proporción de hembras no-grávidas en relación al total de hembras ($p=0,031$) para los diferentes productos antiparasitarios. Las mayores diferencias fueron registradas entre las hembras no-grávidas después del tratamiento con benzoato de emamectina y deltametrina ($p=0,043$). La figura 5c muestra que no fueron registradas diferencias

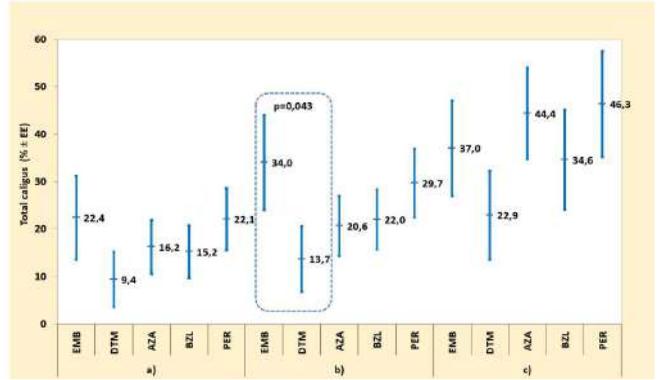


Figura 5a: Porcentaje de hembras no-grávidas en relación al total de piojos (hembras + machos). Figura 5b: Porcentaje de hembras no-grávidas en relación al total de hembras. Figura 5c: Porcentaje de hembras no-grávidas en relación al total de adultos móviles (hembras no-grávidas + machos) (% ± SE).

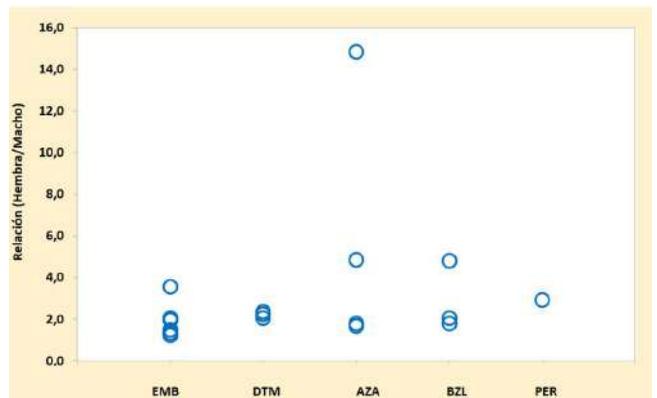


Figura 7: Relación entre hembras y machos en *Caligus rogercresseyi* posterior al tratamiento con los diferentes productos antiparasitarios. Los círculos representan el valor para cada sitio muestreado y producto.

significativas ($p=0,053$) en la proporción de hembras no-grávidas en relación al total de adultos móviles, para los diferentes productos.

La figura 6 muestra que la proporción de hembras posterior a un tratamiento antiparasitario fue similar para los diferentes productos, sin registrarse diferencias significativas ($p=0,609$) al igual que para los machos ($p=0,864$). Para todos los casos, la proporción de hembras fue mayor que la proporción de machos. Diferencias en la proporción de hembras fueron solo registradas posterior al tratamiento con azametifos ($p=0,030$). No se registraron diferencias significativas posterior al tratamiento con benzoato de emamectina ($p=0,346$), deltametrina ($p=0,969$) y benzoilureas ($p=0,247$).

La Figura 7 muestra la relación hembra/macho posterior al tratamiento con los diferentes productos antiparasitarios. Posterior al tratamiento con benzoato de emamectina la relación hembra/macho fluctuó entre 1,2:1 y 3,6:1; para deltametrina entre 2,1:1 y 2,3:1; para azametifos entre 1,7:1 y 14,8:1; para benzoilureas (lufenuron y hexaflumuron) entre 1,8:1 y 4,8:1 y para peróxido de hidrógeno fue 2,9:1. No fue posible determinar estadísticamente diferencias significativas en la relación hembra/macho entre los productos aplicados debido a la alta variabilidad de los resultados, particularmente en uno de los centros de cultivos tratados con azametifos ($p=0,373$).

CONCLUSIONES

Los resultados generados en este estudio muestran que el número de hembras fue mayor que el número de machos después de la aplicación de un tratamiento contra el piojo de mar, con la proporción de hembras respecto a los machos más baja (1,2:1) para el benzoato de emamectina y la proporción más alta (14,9:1) para el azametifos. No se registraron diferencias significativas en la proporción de hembras después de un tratamiento

antiparasitario para los diferentes productos ($p = 0,609$) y lo mismo para los machos ($p = 0,864$).

El mayor número de hembras presentes en los salmones posterior a la aplicación de un tratamiento farmacológico, puede explicarse por la mayor susceptibilidad de los machos. Se ha demostrado que las hembras de *C. rogercresseyi* son más resistentes que los machos a los productos químicos utilizados en su control y también a condiciones ambientales adversas. En condiciones de laboratorio, se ha demostrado que la supervivencia de las hembras es mayor que la de los machos después de la exposición por baño a un compuesto antiparasitario (Agusti et al., 2016; Helgesen et al., 2014; Marín et al., 2015) y lo mismo se ha observado en terreno (Bravo & Treasurer, 2023).

El porcentaje de hembras no grávidas en el total de hembras osciló entre 11,2% y 51,7% y entre 15,0% y 77,6% en la categoría adultos móviles. Sin embargo, es importante señalar que la proporción de hembras grávidas y no-grávidas registradas durante el monitoreo, es dependiente del momento en que se produzca la generación de los sacos ovígeros. Frente a este escenario, la recomendación es incorporar en el monitoreo de Caligus a las "hembras no-grávidas", ya que al ignorar su abundancia se genera una subestimación del número total de hembras en los salmones parasitados, y por consiguiente, una subestimación de la tasa de fecundidad y una subestimación de la real situación epidemiológica del piojo de mar.

El argumento por parte de la autoridad para incluir a las hembras sin sacos ovígeros junto a los machos es su similar tamaño, a diferencia de lo que ocurre con *L. salmonis*, en que el macho es de menor tamaño que la hembra. Sin embargo, existen claras diferencias entre machos y hembras en *C. rogercresseyi* que permiten su identificación a simple vista (Figura 8).



Figura 8: *Caligus rogercresseyi* hembras con saco y sin saco (derecha); machos (izquierda).

REFERENCIAS

- Agusti, C., Bravo, S., Contreras, G., Bakke, M. J., Helgesen, K.O., Winkler, C., et al. 2016. Sensitivity assessment of *Caligus rogercresseyi* to anti-lice chemicals in relation to treatment efficacy in Chilean salmonid farms. *Aquaculture*. 458:195-205. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.006>.
- Bravo S., Silva M.T., Agusti C., Ponce N. 2024. Adult population structure of *Caligus rogercresseyi* after pharmacological treatments. *Aquaculture*. 586 (2024) 740788. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740788>
- Bravo S., Treasurer J. 2023. The management of the sea lice in Chile: A review. *Reviews in Aquaculture*. 2023,1-16. <https://doi.org/10.1111/raq.12815>
- Bravo S., 2010. The reproductive output of sea lice *Caligus rogercresseyi* under controlled conditions. *Experimental Parasitology*. 125: 51–54. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2009.12.001>
- Bravo S., Erranz F., Lagos C. 2009. A comparison of sea lice (*Caligus rogercresseyi*) fecundity in four areas in southern of Chile. *Journal of Fish Diseases*. 32:107-113.
- González M. P., Marín, S. L., Vargas-Chacoff L., 2015. Effects of *Caligus rogercresseyi* (Boxshall and Bravo, 2000) infestation on physiological response of host *Salmo salar* (Linnaeus 1758): Establishing physiological thresholds. *Aquaculture*. 438: 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.039>
- Hamre L., Bui S., Oppedal F., Skern-Mauritzen R., Dalvin S. 2019. Development of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* parasitic stages in temperatures ranging from 3 to 24 °C. *Aquac. Environ. Interact*. 11: 429–443. <https://doi.org/10.3354/aei00320>
- Helgesen K.O., Bravo S., Sevatdal S., Mendoza J., Horsberg T.E. 2014. Deltamethrin resistance in the sea louse *Caligus rogercresseyi* (Boxshall and Bravo) in Chile: bioassay results and usage data for antiparasitic agents with references to Norwegian conditions. *Journal of Fish Diseases*. 37: 877–890. <https://doi.org/10.1111/jfd.12223>
- Heuch P.A., Nordhagen J.R., Schram T.A. 2000. Egg production in the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer)) in relation to origin and water temperature. *Aquaculture Research*. 31: 801–814.
- Jeong J., McEwan G.F., Arriagada G., Gallardo-Escárate C., Revie C.W. 2022. Quantifying key parameters related to the life cycle of *Caligus rogercresseyi*. *Journal of Fish Diseases*. 45: 219–224. <https://doi.org/10.1111/jfd.13535>
- Krkosek M., Ford J.S., Morton A., Lele S., Myers R.A, Lewis M.A. 2007. Declining wild salmon populations in relation to parasites from farm salmon. *Science*. 318:1772-1775.
- Marín S.L., Ibarra R., Medina M.H., Jansen P.A. 2015. Sensitivity of *Caligus rogercresseyi* (Boxshall and Bravo 2000) to pyrethroids and azamethiphos measured using bioassay tests—a large scale spatial study. *Preventive Veterinary Medicine*. 122: 33–41.
- May R. M., Woolhouse M. E. 1993. Biased sex ratios and parasite mating probabilities. *Parasitology*. 107: 287–295.
- Piasecki W., MacKinnon B.M. 1995. Life cycle of a sea louse *Caligus elongatus* von Nordmann, 1832 (Copepoda, Siphonostomatoida, Caligidae). *Canadian Journal of Zoology*. 73: 74–82
- SERNAPESCA. 2022. Specific Sanitary Program for the Surveillance and Control of Caligidosis - SSPSC. Res. Ex. 60-2022. <http://www.sernapesca.cl/programas/programa-sanitario-especifico-de-vigilancia-y-control-de-Caligidosis>.
- Thorstad E.B., Whoriskey F., Uglem I., Moore A., Rikardsen A.H., Finstad B. 2012. A Critical Life Stage of the Atlantic Salmon *Salmo Salar*: Behaviour and Survival During the Smolt and Initial Post-Smolt Migration. *Journal of Fish Biology*. 81: 500–42.
- Vormedal I., Larsen M.L. 2021. Regulatory Processes for Setting Sensitive-Period Sea-lice Thresholds in Major Salmon Producer Jurisdictions: An Evaluation. *The Fridtjof Nansen Institute (FNI)* 25 pp.
- Wootton, R., Smith, J.W. & Needham, E.A. 1982. Aspects of the biology of the parasitic copepods *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* on farmed salmonids, and their treatment. *Proc. R. Soc. Edinb. Sect., B*. 8: 185-197.



- **Fundas - Láminas**
- **Bolsas net-bag para redes**
- **Insumos para selladoras**
- **Cintas de canalización**
- **Mangas polietileno e Invernadero**
- **Rollos prepicado**
- **Mallas raschel**
- **Bolsas basura**
- **Malla faenera**
- **Bolsas vacío**
- **Bolsas bins**



**Estamos certificados con la Norma ISO 9001:2015 y HACCP
Actualmente en proceso de implementación de la normativa BRCGS Packaging Materials**

FONOS 65 228 6420 65 228 6416 +569 5411 9904

PARCELA 22 ALTO LA PALOMA PUERTO MONTT

MARCELA.CARDENAS@PLASTICOSAUSTRAL.CL WWW.PLASTICOSAUSTRAL.CL

DDX41: La Nueva Frontera en la Inmunidad del Salmón Atlántico contra Patógenos Bacterianos



Alejandro Yáñez^{1,2}, Claudia A. Barrientos³, Marcelo Aguilar³, Adolfo Isla^{2,3,4}, Sandra N. Flores-Martin³, Jaime Figueroa^{2,3}, Felipe Almendras¹, Patricio Bustos⁵ y Marcos Mancilla⁵

¹ Departamento de Investigación y Desarrollo, Greenvolution SpA., Puerto Varas, Chile

² Interdisciplinary Center for Aquaculture Research (INCAR), Universidad de Concepción, Concepción, Chile

³ Laboratorio de Biología Molecular de Peces, Instituto de Bioquímica y Microbiología, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

⁴ Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile.

⁵ ADL Diagnostic Chile, Sector la Vara, Puerto Montt 5480000, Chile

Autor de correspondencia: ajyanezc@gmail.com, alejandro.yanez@greenvolution.cl y mmancilla@adldiagnostic.cl

El cultivo de salmón del Atlántico o *Salmo salar*, enfrenta desafíos significativos debido a diversas enfermedades bacterianas, entre ellas las causadas por los patógenos *Piscirickettsia salmonis* y *Renibacterium salmoninarum*, los cuales causan significativas pérdidas económicas. En este sentido la respuesta inmunológica innata de los peces, mediado por receptores de reconocimiento de patrones (*Pattern recognition receptors* PRRs), juega un papel importante en la reconocimiento de patrones moleculares asociados a patógenos o PAMPs (*Pathogen-associated molecular patterns*), permitiendo la activación de las vías de señalización celular en relacionados con respuesta inmune contra los microorganismos (Takeuchi y Akira, 2010).

La interacción entre patógenos y hospedadores revela estrategias microbianas para manipular funciones celulares, como el uso de mensajeros secundarios c-di-GMP y c-di-AMP. Estos mensajeros modulan funciones esenciales, detectadas por proteínas sensoras citosólicas especializadas, como DDX41 (Jiang y col., 2017). La proteína DDX41 es altamente conservada en diversos organismos y actúa como un PRR (receptor de reconocimiento de patrones), reconociendo dinucleótidos cíclicos, particularmente c-di-AMP, los cuales son secretados por patógenos como *Listeria monocytogenes*. Al hacerlo, DDX41 activa la vigilancia citosólica, detectando diversos microorganismos patógenos, incluidos bacterias, virus y protozoos (Woodward y col., 2010). De esta manera, la proteína DDX41 actúa como un guardián inmunológico intracelular. Al detectar estos patógenos, se activa su vía de señalización, que culmina en la secreción de factores como los interferones.

Además, DDX41 desempeña un papel crucial en la vía de señalización IRF3, reconocida por su capacidad para detectar ARN de doble cadena, ADN y dinucleótidos cíclicos a través de su dominio DEAD. Esta proteína ha ganado importancia en las respuestas inmunitarias innatas contra patógenos. Funciona

mediante la vía IRF3, uniéndose al ADN y a STING (Ma y col., 2018). Tras la infección, la liberación de dsDNA o c-di-GMP por virus o bacterias actúa como PAMP, estimulando señales que activan moléculas como IL-1 β , TNF α e IFN γ , fortaleciendo la respuesta innata del huésped (Ma y col., 2018). La secuencia codificante del gen *ddx41*, ha sido identificada en diversos organismos, incluyendo peces como *Paralichthys olivaceus*, *Danio rerio*, *Epinephelus coioides*, *Oreochromis niloticus* y *Siniperca chuatsi*, mostrando su conservación evolutiva y su importancia en la inmunidad de los peces. En *P. olivaceus*, la expresión del gen *ddx41* se induce tras la infección por ADN viral (Quynh y col., 2015). En el caso de *D. rerio*, los reportes indican que el gen *ddx41* juega un papel en la inmunidad innata contra infecciones bacterianas por *Aeromonas hydrophila* y *Edwardsiella tarda* (Ma y col., 2018). Estos reportes, indicarían la relevancia de esta proteína en respuestas antivirales e inflamatorias mediadas por interferón durante infecciones víricas o bacterianas. Hasta ahora, la investigación sobre DDX41 en peces se ha centrado en un número limitado de especies. Este estudio es pionero en examinar la función de DDX41 en el salmón del Atlántico. Dado el papel crucial de DDX41 en humanos, se espera que desempeñe una función similar en la detección de patógenos y la activación de respuestas inmunitarias en el salmón. Sin embargo, la investigación sobre genes homólogos de DDX41 en salmónidos, especialmente en *Salmo salar*, es inexistente. Esta falta de información subraya la necesidad urgente de estudiar las vías inmunitarias innatas mediadas por el gen *ddx41* en *S. salar* para comprender mejor sus roles estructurales, funcionales y su importancia evolutiva. En este contexto, el estudio investiga la existencia, estructura y evolución del gen *ddx41* en *S. salar*; sus relaciones filogenéticas y la conservación de sus dominios estructurales y funcionales. Además, evalúa la expresión del gen *ddx41* en respuesta a infecciones por *P. salmonis* y *R. salmoninarum* tanto en líneas celulares como en *S. salar*.

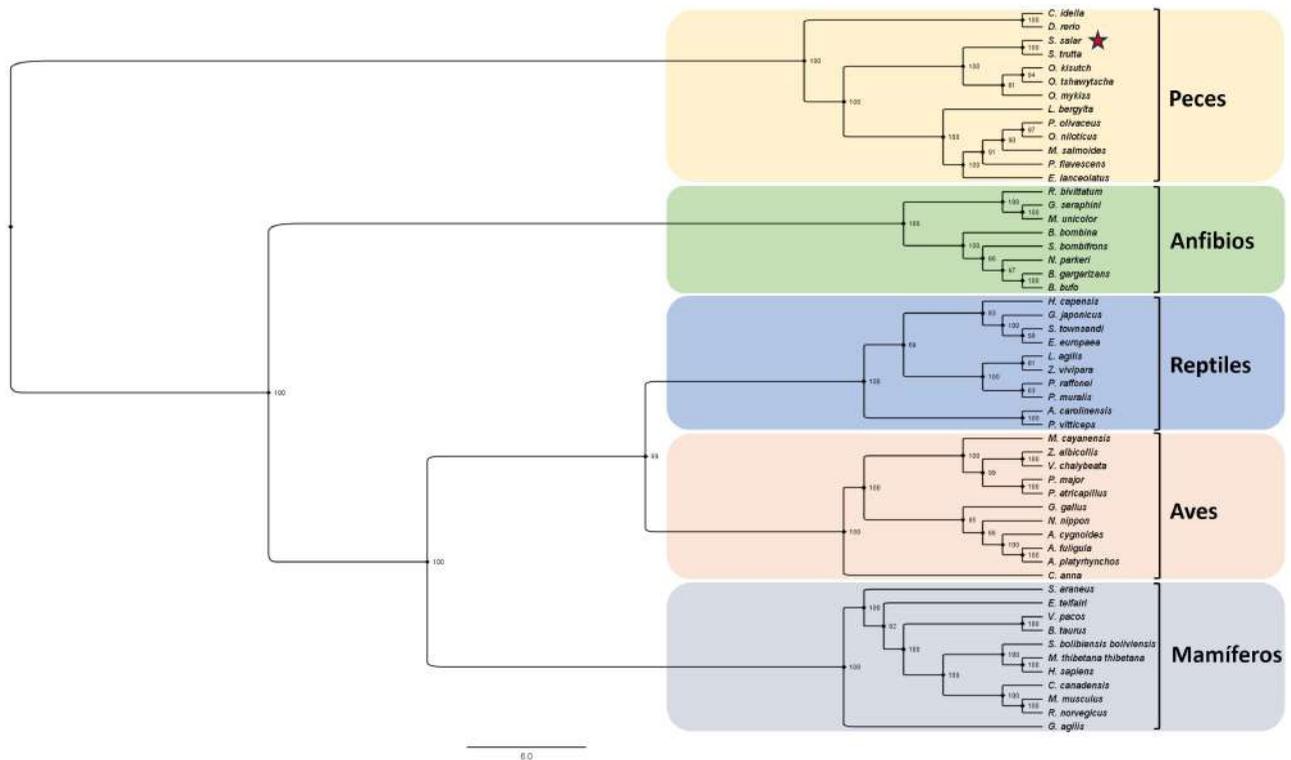


Figura 1: Análisis filogenético del gen *ddx41* realizado con 53 secuencias codificantes de diversos organismos vertebrados. Se desataca en el esquema con una estrella la secuencia codificante de *Salmo salar*.

METODOLOGÍA

Para comprender la función y evolución del gen *ddx41* en *S. salar*, se realizaron varias etapas de análisis. En primer lugar, se utilizó la herramienta BLAST para identificar por primera vez secuencias homólogas en el genoma del salmón. A continuación, se realizó el análisis filogenético para comparar la secuencia nucleotídica identificada en *S. salar* con la información disponible en diversos organismos vertebrados. Luego, se llevaron a cabo análisis transcriptómicos para confirmar la expresión del gen en diferentes tejidos del salmón, entre ellos la porción anterior del riñón. La identificación proteómica se realizó mediante espectrometría de masas, lo que permitió caracterizar los péptidos únicos del gen *ddx41*. Además, se realizó un análisis filogenético para estudiar la conservación evolutiva del gen a través de diversas especies.

RESULTADOS

Caracterización in-silico y experimental del gen y la proteína *ddx41* en *S. salar*

La predicción de la existencia de un gen ortólogo se realizó mediante una búsqueda BLAST con el gen humano *ddx41* contra taxones salmonídeos en la base de datos NCBI. Los resultados revelaron una única secuencia alineada dentro del genoma de *S. salar*, indicando la existencia de un único homólogo al gen descrito en humanos. El análisis del genoma mostró que la arquitectura

del gen descrita se encuentra en el cromosoma 5, dentro de una región de 71,3 megabases (Mb). Esta configuración consta de 17 exones combinados por 16 intrones, con una secuencia codificante que se extiende sobre 1848 pares de bases (bp), resultando en la traducción de una proteína compuesta por 615 aminoácidos. La comparación de secuencias mediante BLAST reveló que *Rattus norvegicus* y *Gallus gallus* comparten mayores porcentajes de identidad con el *ddx41* de *S. salar* tanto a nivel de nucleótidos como de proteínas. Además, los resultados mostraron que la secuencia de nucleótidos y aminoácidos están estrechamente relacionadas con el gen *ddx41* de *Homo sapiens*, con un 78,61% de identidad y una cobertura de consulta del 91% en el análisis de nucleótidos. Los resultados del BLAST de proteínas respaldaron aún más esta cercanía, demostrando un 83,92% de identidad con una cobertura de consulta del 100%.

Análisis filogenético y estructural-funcional del gen *ddx41* en *S. salar*

El análisis filogenético mostró una relación monofilética entre los taxones estudiados, con secuencias codificantes de *ddx41* categorizadas en cinco grupos distintos de vertebrados: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Los resultados mostraron que la secuencia codificante del gen *ddx41* de *S. salar* y otros salmonídeos formaron un clúster cohesivo (Figura 1). El análisis comparativo de genómica confirma la conservación evolutiva del gen *ddx41* en los vertebrados, destacando la estabilidad evolutiva del gen y la conservación de elementos funcionales desde humanos hasta la línea de salmonídeos.

La secuencia de aminoácidos de DDX41 se predijo utilizando la herramienta EMBOSS Transeq del servicio web de EMBL-EBI y se empleó para la caracterización de proteínas *in-silico*. La masa molecular calculada y el punto isoelectrónico teórico fueron de 69,12 kDa y 8,12, respectivamente. La predicción de localización subcelular de la proteína indicó ubicación en el núcleo con una probabilidad del 0,942. Posteriormente, la identificación de los diferentes dominios en la secuencia de aminoácidos de DDX41 mostró la presencia de motivos estructurales canónicos para las proteínas DDX41, particularmente los motivos del núcleo helicasa, una característica inherente de la familia de helicasas DEAD-box (superfamilia de helicasas DEAD-like). Además, los resultados mostraron la región de la espiral-coil (Coiled coil región) en el extremo amino terminal, el dominio helicasa superfamilia c-terminal (Helicase superfamily c-terminal domain) y el dedo de zinc (Zinc finger) en el extremo carboxilo terminal (Figura 2). La arquitectura del dominio mostró una alta conservación entre vertebrados de diferentes taxones. Nuestro estudio reveló aspectos fascinantes sobre la conservación evolutiva de la proteína DDX41 y la relevancia de sus motivos estructurales clave (Figura 2). La proteína DDX41 es conocida por su papel en la detección de patógenos y la activación de la respuesta inmune innata, no solo en los seres humanos, sino también en otros vertebrados, incluidos los peces.

Expresión del gen *ddx41* en tejidos *S. salar*sanos

La expresión constitutiva del gen *ddx41* se evaluó mediante RT-qPCR en una amplia gama de tejidos de *S. salar*sanos, los cuales incluyeron el bazo, corazón, hígado, branquias, riñón anterior, riñón posterior, músculo, cerebro y ojo. Los resultados mostraron

una expresión constitutiva en todos los tejidos analizados. Además, mostrando un patrón de expresión significativo y uniforme.

Expresión génica del gen *ddx41* y factores inflamatorios en células SHK-1 infectadas con patógenos Gram-positivos y Gram-negativos de *S. salar*

En el análisis de expresión génica *in-vitro* utilizando la línea celular SHK-1 de *S. salar*, se observó la expresión del gen *ddx41*. Particularmente, durante la fase inicial de la infección bacteriana intracelular, el gen *ddx41* mostró una sobreexpresión en cada tiempo de la cinética de la infección en comparación con la línea celular SHK-1 no infectada utilizada como condición de control. La infección se llevó a cabo con *P. salmonis* y *R. salmoninarum*. Los niveles de expresión génica durante la cinética de la infección indicaron un aumento en la expresión de DDX41 después de 1 hora post-infección (hpi) para ambos patógenos, con un mayor aumento observado en la infección por *P. salmonis*. A las 3 hpi, se observaron los niveles de expresión más altos. A las 6 hpi, los niveles de expresión del *ddx41* disminuyeron durante las infecciones con ambos patógenos, volviendo a los niveles basales a las 24 hpi. De manera notable, la cinética de la infección con *R. salmoninarum* reveló niveles basales de expresión génica a las 6 hpi. Observamos una sobreexpresión significativa del gen *ddx41* en respuesta a la infección con ambas bacterias, especialmente a las 3 horas post-infección (hpi), lo que sugiere una respuesta rápida y temprana a la infección (Figura 3). Además del aumento en la expresión de *ddx41*, también detectamos un incremento en los niveles de citocinas proinflamatorias como IL-1 β , TNF α e IFN γ , y la activación del factor regulador de interferón 3 (IRF3). Esta activación de IRF3 es crucial para la producción de interferones

tipo I y la respuesta inmune antiviral y bacteriana, indicando que DDX41 juega un papel central en la activación de la respuesta inmune innata en las células infectadas.

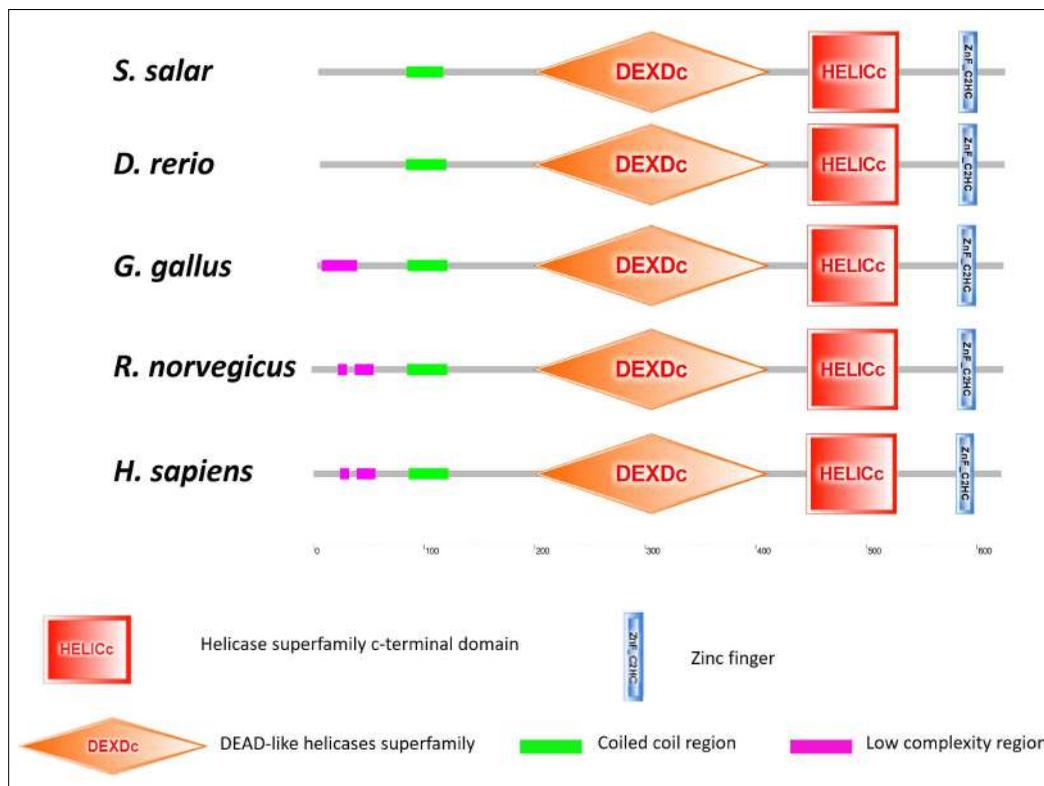


Figura 2: Esquema comparativo de la proteína DDX41, representando los dominios principales identificados con la herramienta SMART. Los dominios son esquematizados con colores.

La implementación de medidas para monitorear y regular la expresión del gen DDX41 podría servir como un indicador biológico crucial para el estado inmunológico de los salmones, permitiendo intervenciones más efectivas y preventivas contra brotes de enfermedades.

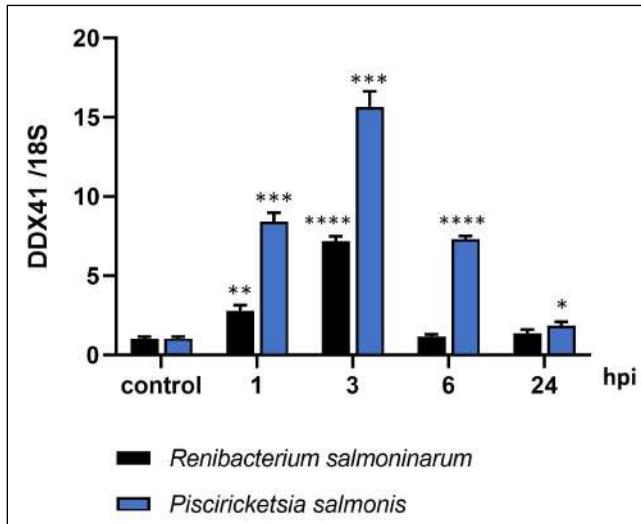


Figura 3: Cinética de expresión del gen *ddx41* en línea celular SHK-1 durante la infección con patógenos"

DISCUSIÓN

El ingreso de un patógeno en la célula huésped inicia una serie de complejas interacciones entre varias moléculas derivadas del microorganismo y sensores presentes en huésped. Reconocer la presencia de patógenos invasores es crucial para desarrollar una respuesta inmune innata efectiva (Medzhitov, 2007). Tanto las células de peces como las de mamíferos expresan diferentes clases de PRRs en compartimentos subcelulares, que alertan a la célula de cualquier infección y activan varias vías de señalización. Los avances recientes en la identificación de diferentes tipos de PRRs en peces teleósteos han revelado varios sensores intracelulares para el reconocimiento de PAMPs virales y bacterianos (Ma y col., 2018).

El gen *ddx41*, conocido ampliamente en mamíferos como un sensor intracelular para infecciones por patógenos, carece de información sobre su existencia en el genoma y la traducción en *S. salar*. Los resultados muestran la existencia del gen ortólogo *ddx41* en el genoma de *S. salar*; correspondiendo al primer reporte de su presencia en esta especie como un nuevo contribuyente a la respuesta inmune contra patógenos intracelulares (Yañez y col., 2024). Los resultados del análisis in-silico, identificaron un gen *ddx41* homólogo en *S. salar*; revelando una copia única en el cromosoma 5. La estructura génica muestra 17 exones y 16 intrones en una región de 71.3 megabases. Los resultados destacan la conservación evolutiva, sugiriendo su papel significativo en las respuestas inmunitarias entre especies. Además, el análisis genómico mostró una identidad nucleotídica del 78.68% y del 83.92% en proteínas entre DDX41 de *S. salar* y su homólogo

humano, destacando una relación evolutiva cercana y sugiriendo la conservación de aspectos funcionales del gen *ddx41*. El alto grado de conservación, especialmente a nivel proteico, indica la relevancia de este gen en la respuesta inmune innata, potencialmente en el reconocimiento de ADN citosólico y la iniciación de respuestas antivirales (Omura y col., 2016). El análisis filogenético y estructural confirma la conservación sustancial de *ddx41* en vertebrados, destacando su papel clave en el sistema inmune innato. La secuencia nucleotídica y aminoacídica de DDX41 ha sido extensamente estudiada en humanos, ratones y más recientemente en teleósteos como *D. rerio*. El análisis filogenético muestra que *S. salar* y otros salmonídeos están ubicados en el mismo cluster. Además, el análisis a nivel de secuencia aminoacídica muestra un 83.92% de identidad entre *H. sapiens* y *S. salar*. Notablemente, la conservación consistente de las estructuras génicas en comparación con los humanos destaca una estabilidad evolutiva significativa y resalta la importancia funcional de los genes ortólogos. Esta conservación en eucariotas distantes, como *S. salar* y humanos, significa una preservación evolutiva profunda (Yañez y col., 2024).

La exploración de los dominios proteicos DDX41 en *S. salar* revela motivos estructurales cruciales para estudiar su función inmunológica. Dentro del análisis proteico de DDX41 de *S. salar*, los motivos conservados abarcan principalmente dominios estructurales-funcionales distintivos, notablemente los motivos del núcleo helicasa característicos de la familia helicasa de la caja DEAD (*DEAD-box*). Los resultados con diferentes especies incluyendo *S. salar*, *D. rerio* y *H. sapiens*, revela una conservación significativa de la secuencia de aminoácidos en la proteína DDX41, destacando su importancia evolutiva. La región de la hélice enrollada y otros dominios como el motivo Q y la unión de ATP helicasa muestran similitudes que van del 89.66% al 100%, enfatizando los roles conservados de DDX41 en diversos taxones.

Los resultados de la evaluación de la transcripción del gen *ddx41* en diversos tejidos sugiere una expresión basal constante, indicando su presencia ubicua y sugiriendo que mecanismos regulatorios mantienen este nivel de expresión. La presencia generalizada del gen *ddx41* en tejidos sanos sugiere su participación en funciones fisiológicas cruciales, potencialmente más allá de sus conocidas funciones inmunológicas, como el metabolismo de ácidos nucleicos. Su transcripción activa en mRNA en una amplia gama de tejidos resalta su importancia en la biología de *S. salar*; lo que justifica una investigación más profunda sobre sus funciones específicas y mecanismos regulatorios. En estudios previos sobre la expresión del gen *ddx41* en peces han sido limitados, los cuales han sido desarrollados en *D. rerio*, *P. olivaceus*, *E. coioides*, *O. niloticus* y *S. chuatsi*. En *E. coioides*, los resultados señalaron una expresión prevalente en las branquias, cerebro e hígado, sugiriendo funciones fisiológicas e inmunológicas diversas (Liu y col., 2019). Como miembro de la familia de helicasas de la caja DEAD, DDX41 juega un papel en el metabolismo del ARN, contribuyendo a procesos como el desenrollado de ARN, la unión de ARN o las interacciones ARN-proteína.

Finalmente, la evaluación *in vitro* del gen *ddx41* en la línea celular SHK-1 de *Salmo salar* durante una infección bacteriana con *Renibacterium salmoninarum* y *Piscirickettsia salmonis* muestra una fuerte actividad transcripcional, aumentando notablemente a las 3 horas post-infección bacteriana. DDX41 actúa como un sensor intracelular, respondiendo rápidamente a bacterias patógenas y desencadenando la expresión de interferones. Su regulación ascendente, observada tras infecciones con *P. salmonis* y *R. salmoninarum*, indica su papel clave en la respuesta inmune temprana. La expresión de *ddx41* alcanza su pico temprano post-infección y luego disminuye, lo cual estaría relacionado con un aumento de citocinas proinflamatorias, destacando su importancia en la activación de una robusta reacción inmune en *S. salar* (Yañez y col., 2024). El análisis de la expresión génica del DDX41 en salmónidos, como *Salmo salar*, es crucial para comprender y mejorar las respuestas inmunitarias innatas contra patógenos. DDX41 actúa como un sensor intracelular de ADN, que al detectar la presencia de patógenos activa una respuesta inmune robusta mediante la producción de interferones tipo I y citocinas proinflamatorias. Esta activación no solo fortalece la defensa del salmón contra infecciones bacterianas y virales, sino que también puede mejorar la resistencia general a enfermedades comunes en acuicultura, reduciendo las pérdidas económicas asociadas.

CONCLUSIONES

El estudio presenta una caracterización detallada del gen *ddx41* en *Salmo salar*, mostrando su conservación evolutiva y su importante rol en la respuesta inmune innata. La identificación de la expresión de DDX41 en respuesta a infecciones bacterianas subraya su papel crucial como sensor intracelular. Esta proteína, recientemente descubierta en el sur de Chile, emerge como un nuevo guardián inmunitario del salmón del Atlántico, significando un gran aporte para la industria en materia de sostenibilidad. DDX41 es un poderoso sensor inmunitario de bacterias intracelulares y virus, ofreciendo una herramienta eficaz para detectar y mejorar la resistencia a enfermedades en la salmonicultura. Este estudio pionero ha identificado a DDX41 como un sensor intracelular crucial que activa respuestas inmunitarias robustas frente a infecciones bacterianas y virales. Al detectar patógenos, DDX41 induce la producción de interferones tipo I y citocinas proinflamatorias, fortaleciendo la defensa del salmón contra diversas enfermedades. La capacidad de DDX41 para activar respuestas inmunitarias rápidas y efectivas puede traducirse en una mayor resistencia del salmón a patógenos comunes, reduciendo la mortalidad y mejorando la salud general de los peces. La medición de la expresión del gen DDX41 podría convertirse en una herramienta vital para monitorear el estado inmunológico de las poblaciones de salmón, permitiendo intervenciones tempranas y más efectivas contra brotes de enfermedades. Al mejorar la resistencia a enfermedades y optimizar las estrategias de manejo, se pueden reducir significativamente las pérdidas económicas asociadas a las infecciones en piscicultura, asegurando una producción más eficiente y sostenible. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para futuras

investigaciones enfocadas en mejorar la resistencia a enfermedades en el salmón del Atlántico y otros peces de importancia en la acuicultura.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID, Chile) Fondap-INCAR N°1523A0007; Departamento de Investigación y Desarrollo, Greenolution SpA; Departamento de Investigación ADL Diagnostic Chile CORFO PI-4247.

REFERENCIAS

- Takeuchi, O.; Akira, S. Pattern recognition receptors and inflammation. *Cell* 2010, 140, 805–820
- Jiang, Y.; Zhu, Y.; Liu, Z.J.; Ouyang, S. The emerging roles of the DDX41 protein in immunity and diseases. *Protein Cell* 2017, 8, 83–89.
- Woodward, J.J.; Iavarone, A.T.; Portnoy, D.A. c-di-AMP secreted by intracellular *Listeria monocytogenes* activates a host type I interferon response. *Science* 2010, 328, 1703–1705
- Ma, J.X.; Li, J.Y.; Fan, D.D.; Feng, W.; Lin, A.F.; Xiang, L.X.; Shao, J.Z. Identification of DEAD-Box RNA Helicase DDX41 as a trafficking protein that involves in multiple innate immune signaling pathways in a Zebrafish model. *Front. Immunol.* 2018, 11, 1327
- Quynh, N.T.; Hikima, J.; Kim, Y.R.; Fagutao, F.F.; Kim, M.S.; Aoki, T.; Jung, T.S. The cytosolic sensor, DDX41, activates antiviral and inflammatory immunity in response to stimulation with double-stranded DNA adherent cells of the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Fish Shellfish Immunol.* 2015, 44, 576–583
- Medzhitov, R. Recognition of microorganisms and activation of the immune response. *Nature* 2007, 449, 819–826.
- Omura, H.; Oikawa, D.; Nakane, T.; Kato, M.; Ishii, R.; Ishitani, R.; Tokunaga, F.; Nureki, O. Structural and functional analysis of DDX41: A bispecific immune receptor for DNA and cyclic dinucleotide. *Sci. Rep.* 2016, 6, 34756
- Liu, J.; Huang, Y.; Huang, X.; Li, C.; Ni, S.W.; Yu, Y.; Qin, Q. Grouper DDX41 exerts antiviral activity against fish iridovirus and nodavirus infection. *Fish Shellfish Immunol.* 2019, 91, 40–49.
- Yañez, A.J.; Barrientos, C.A.; Isla, A.; Aguilar, M.; Flores-Martin, S.N.; Yuivar, Y.; Ojeda, A.; Ibieta, P.; Hernández, M.; Figueroa, J.; et al. Discovery and Characterization of the *ddx41* Gene in Atlantic Salmon: Evolutionary Implications, Structural Functions, and Innate Immune Responses to *Piscirickettsia salmonis* and *Renibacterium salmoninarum* Infections. *Int. J. Mol. Sci.* 2024, 25, 6346.

Efectividad de la vacuna ALPHA JECT LiVac® SRS en salmón: El rol de la temperatura durante la inmunización



PHARMAQ
part of zoetis

Rolf Hetlelid-Olsen ¹, Marius Karlsen¹, Susan Duhalde ²

¹ PHARMAQ As, Noruega

² PHARMAQ As, Chile

SEPTICEMIA RICKETTSIAL DE SALMÓNIDOS (SRS) Y EL USO DE ANTIBIÓTICOS

La septicemia rickettsial de salmónidos (SRS), causada por la bacteria *Piscirickettsia salmonis*, sigue siendo la principal enfermedad infecciosa la industria del salmón en Chile. Se informó que alrededor del 52,8% de la mortalidad causada por enfermedades infecciosas en Chile se debió a SRS en 2022 (Sernapesca 2023). La mortalidad total acumulada en la fase de mar en Chile es relativamente baja en comparación con otros países productores de salmón, y para el caso de la especie Salmón del Atlántico, la mayor causa de mortalidad reportada durante el año 2022 fue Infecciosa, con un 23,2% (Sernapesca 2023). Sin embargo, este resultado tiene un alto precio; un elevado uso de antibióticos para controlar el SRS y otros patógenos bacterianos. El consumo de antibióticos en Chile es aproximadamente 1000 veces mayor que en la industria noruega por tonelada de pescado producida, y reducir este número tiene una alta prioridad para mejorar la sostenibilidad de la industria chilena. De hecho, en los últimos años se han observado algunas tendencias positivas en Chile, con una tendencia algo decreciente en el uso de antibióticos

desde 2016, en un período en el que la producción de salmón ha aumentado (Figura 1). La capacidad de la industria para continuar con esta buena tendencia será decisiva para su sostenibilidad.

VACUNAS CONTRA SRS Y SU EFECTO

Actualmente existen varias medidas de mitigación para combatir el SRS, pero el uso de vacunas ha tenido un papel central en esta lucha desde finales de los años 1990 (Bravo y Midtlyng, 2007). Las vacunas iniciales contra el SRS se basaban en bacterias inactivadas. Aunque estas vacunas mostraron algunos signos de reducir la carga del SRS, una parte importante del problema persistió. En 2016, se aplicó una tecnología de vacuna diferente al problema y PHARMAQ lanzó la vacuna viva atenuada ALPHA JECT LiVac® SRS. La industria adoptó rápidamente la vacuna y en 2023 más del 80% del salmón del Atlántico sembrado en las regiones de Los Lagos y Aysén fueron vacunados con esta vacuna viva atenuada. Por lo general, esta vacuna se inyecta junto con una vacuna multivalente, que puede contener un componente inactivado de *P. salmonis*. La vacuna multivalente que se utiliza con frecuencia en Chile junto a la vacuna viva ALPHA JECT LiVac® SRS es ALPHA JECT® 5-1 (PHARMAQ) que también contiene un componente de *P. salmonis* inactivado.

Ensayos de laboratorio demuestran que ALPHA JECT LiVac® SRS induce una fuerte protección contra *P. salmonis* durante un largo período de tiempo. En un ensayo de eficacia de la vacuna realizado en la estación de investigación noruega VESO, encontramos buenos resultados de protección contra SRS tanto con ALPHA JECT LiVac® SRS solo, como con la combinación ALPHA JECT LiVac® SRS + ALPHA JECT® 5-1, incluso cuando los peces fueron desafiados 15 meses posterior a la vacunación (Figura 2). Este efecto fue claro tanto en un modelo de inyección intraperitoneal como en un modelo de convivencia, representando este último una ruta de desafío más natural. Una protección a largo plazo debería ser suficiente para

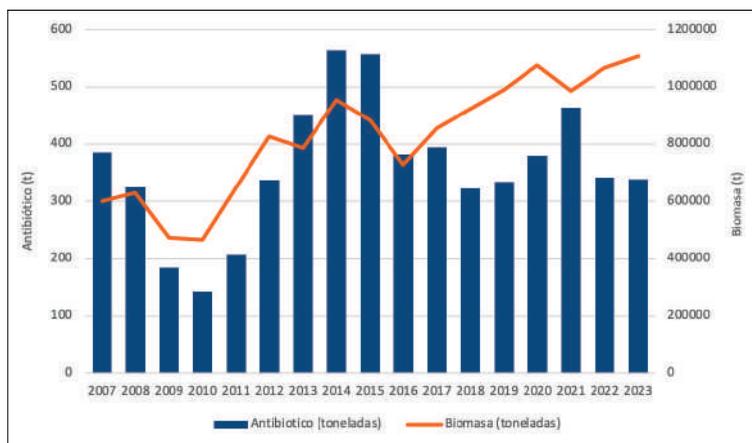


Figura 1: Consumo de antibióticos y biomasa de salmón cosechada en Chile durante los años 2007 a 2023. Fuente: Sernapesca.

proteger al salmón durante toda su vida.

Un debate en curso en la industria chilena es la capacidad de las vacunas SRS para proteger contra toda la diversidad de cepas de *P. salmonis*. En Chile se describen dos linajes principales, las cepas similares a EM90 (de las que se extraen la mayoría de las vacunas) y las cepas similares a LF89. Estas cepas muestran una distancia genética considerable, que posiblemente podría influir en la eficacia de la vacuna. Si bien se han realizado pocos estudios para evidenciar la protección cruzada contra estas cepas, nuestros análisis iniciales sugieren que difieren en su capacidad para unirse a IgM de los peces vacunados. A pesar de estas diferencias en los patrones de unión de IgM, todavía vemos una fuerte protección cruzada cuando se usa AJ LiVac SRS (basado en una cepa similar a EM90) para proteger contra cepas similares a LF89 (Figura 3). Si bien queda mucho por dilucidar para comprender exactamente cómo protege AJ LiVac SRS, solo encontramos una modesta respuesta de IgM después de la vacunación con esta vacuna, lo que sugiere que otras partes del sistema inmunológico son más importantes para la protección.

A pesar de este buen desempeño de AJ LiVac SRS en nuestros modelos de laboratorio, seguimos viendo brotes en peces vacunados en el mar e informes ocasionales también afirman que no logran ver el efecto de la vacuna (Figuroa et al. 2022). La observación de signos de enfermedad en peces vacunados en el campo debe esperarse y no es en sí misma evidencia de falta de efecto. De hecho, esta observación se puede hacer para la mayoría de las vacunas contra patógenos

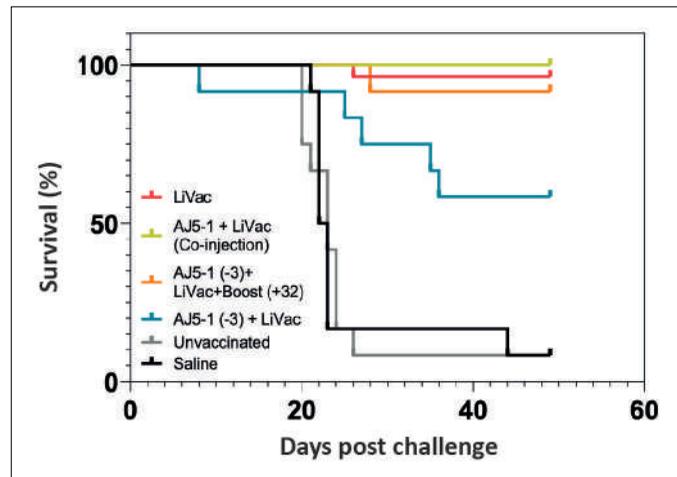


Figura 2: Gráfico de supervivencia del salmón del Atlántico expuesto mediante inyección intraperitoneal con *Piscirickettsia salmonis* 15 meses después de la vacunación. Las vacunas utilizadas están indicadas en la leyenda. Dos de los grupos (azul y naranja) fueron vacunados con AJ 5-1 tres semanas antes de la aplicación de AJ LiVac SRS (-3), y uno de estos grupos (naranja) recibió una inyección de refuerzo de AJ LiVac SRS 32 semanas después de la aplicación de AJ LiVac SRS (+32). Se utilizaron como controles negativos peces no vacunados y grupos inyectados únicamente con solución salina (Olsen et al. 2024).

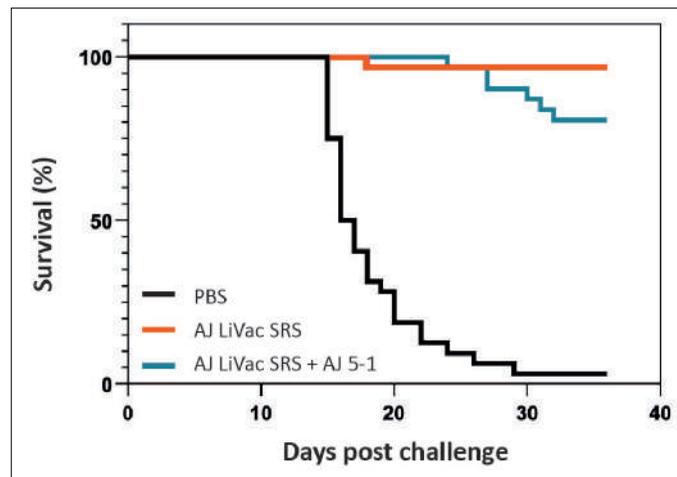


Figura 3: Gráfico de supervivencia del salmón del Atlántico expuesto mediante inyección intraperitoneal con una cepa similar a *Piscirickettsia salmonis* LF89. Los peces habían sido vacunados con AJ LiVac SRS solo o con la combinación AJ LiVac SRS + AJ 5-1.

intracelulares, en peces y en otros organismos, incluidos los humanos. La vacunación rara vez conduce a una inmunidad estéril. Si bien la verdadera eficacia de campo de AJ LiVac SRS es difícil de medir en Chile debido al rápido uso de antibióticos cuando el agente se detecta en un centro de cultivo, un indicador del efecto podría ser la tendencia del uso antibióticos contra *P. salmonis*. Sin embargo, AJ LiVac SRS es una vacuna más compleja de utilizar que los antígenos inactivados. La naturaleza viva de la vacuna es crucial para obtener efecto. Al ser un organismo vivo, la vacuna en sí necesita buenas condiciones para propagarse en los peces después de la vacunación aprovechar todo su potencial.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL RENDIMIENTO DE LAS VACUNAS VIVAS ATENUADAS

Un factor que influye claramente en el efecto de vacuna es la temperatura del agua durante la inmunización. Descubrimos que realizar la vacunación y adquirir grados día en temperaturas tan bajas como 7 y 8 °C da como resultado un efecto muy reducido de la vacuna en un modelo de desafío de laboratorio. Esta reducción del efecto se asocia con una capacidad reducida de la cepa de la vacuna para propagarse a

estas temperaturas, y a temperaturas muy bajas es probable que se pierda los beneficios que brinda una vacuna viva. La falta de propagación hará que funcione de manera más similar a un componente de vacuna inactivada. El tiempo necesario para que la cepa vacunal produzca una respuesta inmune sólida es relativamente corto. En un ensayo realizado en la estación de

investigación ILAB en Bergen, Noruega, descubrimos que mantener los peces a temperatura elevada (15°C) los primeros 5 días después de la vacunación y posteriormente transferirlos a 7°C fue suficiente para generar una respuesta inmune significativa (Figura 4). Probablemente no exista un estándar ideal de temperatura/duración que cambie el resultado de una vacunación para bien o para mal, sino un fenómeno continuo en el que una temperatura del agua más alta durante más tiempo es mejor para generar una protección significativa.

Por lo tanto, para los acuicultores que utilizan la vacuna en sistemas de flujo continuo durante la estación fría, cuando las temperaturas pueden ser inferiores a 10°C, se recomienda buscar soluciones en las que los peces puedan mantenerse a una temperatura elevada durante algunos días después de la vacunación. Es probable que estas soluciones mejoren significativamente los resultados de la vacunación.

¿PUEDEN OTRAS TECNOLOGÍAS DE VACUNAS PROPORCIONAR UNA MEJOR PROTECCIÓN?

Se pueden utilizar muchas tecnologías diferentes para inducir una respuesta inmunitaria protectora, y la vacunología es un área de investigación que puede parecer "experta en tecnología". Sin embargo, una tecnología sofisticada no garantiza un mejor resultado. De hecho, al examinar las vacunas que realmente funcionan a lo largo de la historia, encontramos que las tecnologías más antiguas (las vacunas vivas) generalmente tienden a dominar donde se necesita un fuerte efecto de la vacuna. Si bien las tecnologías más modernas pueden producir soluciones interesantes (especialmente en los casos en los que es difícil desarrollar vacunas vivas), a menudo encontramos que dichas tecnologías son incapaces de reproducir las complejas respuestas inmunológicas proporcionadas por un organismo vivo.

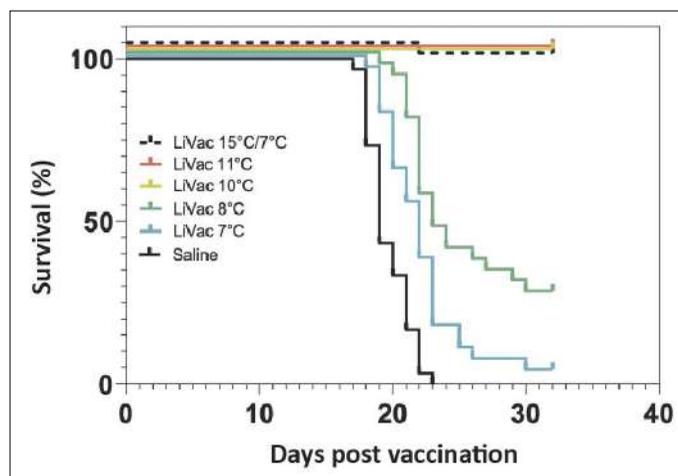


Figura 4: Gráfico de supervivencia del salmón del Atlántico expuesto a inyección intraperitoneal con *Piscirickettsia salmonis* alrededor de 450 grados día después de la vacunación con AJ LiVac SRS. Los grupos habían acumulado los grados día a diferentes temperaturas como se indica en el texto de la leyenda. Un grupo (línea de puntos negra) se mantuvo a 15 °C los primeros 5 días después de la vacunación, antes de reducir la temperatura a 7 °C durante el resto del período de inmunización. El desafío se realizó en el mismo tanque a 15°C para todos los grupos (Olsen et al. 2024).

basadas en tecnología viva, y también controlar otros factores que afectan negativamente el estado de salud general de los peces, por ejemplo, el piojo de mar.

REFERENCIAS

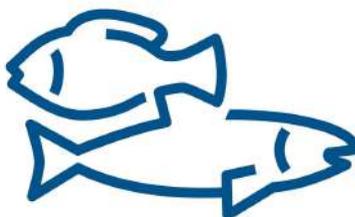
Semapesca. Informe Sanitario con Información Sanitaria de Agua Dulce y mar Año 2022; Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura: Santiago, Chile, 2023; pp. 1–54.

Bravo, S.; Midtlyng, P. The use of fish vaccines in the Chilean salmon industry 1999–2003. *Aquaculture* 2007, 270, 36–42.

Olsen, R.H.; Finne-Fridell, F.; Bordevik, M.; Nygaard, A.; Rajan, B.; Karlsen, M. The Effect of an Attenuated Live Vaccine against Salmonid Rickettsial Septicemia in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Is Highly Dependent on Water Temperature during Immunization. *Vaccines* 2024, 12, 416.

<https://doi.org/10.3390/vaccines12040416>

Figuroa, C.; Torrealba, D.; Morales-Lange, B.; Mercado, L.; Dixon, B.; Conejeros, P.; Silva, G.; Soto, C.; Gallardo, J.A. Commercial Vaccines Do Not Confer Protection against Two Genogroups of *Piscirickettsia salmonis*, LF-89 and EM-90, in Atlantic Salmon. *Biology* 2022, 11, 993.



DIMARINE: COMPROMISO CON LA SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA A TRAVÉS DE INNOVACIONES ESTRATÉGICAS

DIMARINE

Con un enfoque centrado en la sostenibilidad, Dimarine se posiciona como un aliado estratégico para la industria acuícola, destacando su compromiso con la gestión responsable de residuos. Durante más de una década, las principales empresas internacionales y chilenas en el sector acuícola han trabajado para optimizar sus prácticas sostenibles, estableciendo alianzas con proveedores que comparten estos objetivos.

Andrés Latorre, Gerente General del grupo Dimarsa, el cual incluye a Dimarine, enfatiza en la importancia de adaptarse a las crecientes exigencias ambientales del mercado. "El sector salmonero está bajo evaluación constante, no sólo por organismos medioambientales, sino también por la comunidad. Por ello, nos hemos transformado en un socio estratégico para la acuicultura, adoptando prácticas sostenibles en la fabricación de productos de alta calidad", asegura Latorre.

Dimarine se preocupa especialmente por el impacto ambiental de su producción. "Tanto la fabricación de nuestros trajes de buceo profesional, como la fabricación de nuestras embarcaciones, que generan subproductos. Nos aseguramos de que estos no termine en vertederos ni se dispersen como microplástico. Colaboramos en conjunto con gestores autorizados por la SEREMI de salud que trasladan este material y le dan un segundo uso, aportando realmente en la economía circular", agrega.

En línea con la responsabilidad ambiental, Dimarine ha integrado la Ley 20.920 de Responsabilidad Extendida al Productor (Ley REP) en su estrategia de gestión ambiental. Esta legislación busca prevenir la generación de residuos y fomentar el reciclaje como parte integral de su enfoque sostenible.

A través de estas iniciativas, Dimarine no sólo avanza en su propia sostenibilidad, sino que también contribuye al progreso de la industria acuícola en su conjunto. Al promover prácticas responsables y equitativas, la compañía se establece como un referente positivo en el sector, demostrando su compromiso con un futuro sostenible.



Andrés Latorre
Gerente General Corporativo Grupo Dimarsa



DIMARINE

Garantizamos calidad, protección y rendimiento de cada uno de nuestros productos. Brindamos soluciones pensadas para los medios acuáticos y adaptados a los requerimientos de cada cliente. Más de 40 años de experiencia y dedicación en el rubro náutico nos respaldan y nos permiten ser una alternativa fiable, con una comunicación abierta y transparente hacia nuestros clientes.

No solo nos preocupamos por el correcto manejo de nuestros residuos, sino también por la adecuada aplicación de la ley REP, que regula los envases y embalajes declarada desde el 2021 al ministerio.

Dimarine, pasión por el agua.

Experto

Fiable

Aventurero

Caracterización proteómica de *Tenacibaculum dicentrarchi*: efecto de la limitación de hierro en la composición y expresión de proteínas de la bacteria



Centro de Investigación Marina Quintay
CIMARQ

MELISA
INSTITUTE
PROTEOMICS & GENOMICS



Rubén Avendaño-Herrera^{1,2,3*}, Macarena Echeverría-Bugueño^{1,2}, Mauricio Hernández⁴, Pablo Saldivia⁴, Rute Irgang^{1,2}

¹ Universidad Andrés Bello, Laboratorio de Patología de Organismos Acuáticos y Biotecnología Acuicola, Facultad de Ciencias de la Vida, Viña del Mar, Chile
(*correspondencia a: reavendano@unab.cl)

² Interdisciplinary Center for Aquaculture Research (INCAR), Viña del Mar, Chile

³ Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), Universidad Andrés Bello, Quintay, Chile

⁴ Division of Biotechnology, Molecular Epidemiology for Life of Science Research (MELISA) Institute, San Pedro de Paz, Chile

Tenacibaculum dicentrarchi, es una bacteria Gram negativa y reconocida como el principal agente causal de la tenacibaculosis en Chile. El patógeno se aisló por primera vez en Chile a partir de ejemplares enfermos de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) en 2010 y se describió recién en 2016 (Avendaño-Herrera et al., 2016). Desde entonces, es la segunda causa de muerte en salmón del Atlántico cultivado, con un 32,2% de la clasificación de mortalidad en el primer semestre del año 2023 (SERNAPESCA, 2023). La enfermedad se hace evidente en los peces infectados mayoritariamente por lesiones externas de tipo ulcerosas, con

daño y placas amarillas en la zona bucal, hemorragias la cabeza y el tronco de los peces, así como aletas deshilachada y podredumbre en aleta caudal (Avendaño-Herrera et al., 2016; Klakegg et al., 2019). Estos signos clínicos de campo se han logrado reproducir a nivel de laboratorio, y no solo en salmónidos (Avendaño-Herrera et al., 2020), lo que confirma que los aislados de *T. dicentrarchi* son capaces de provocar patogenia (Irgang & Avendaño-Herrera, 2021). Sin embargo, los mecanismos específicos involucrados en el proceso infeccioso siguen siendo una interrogante.

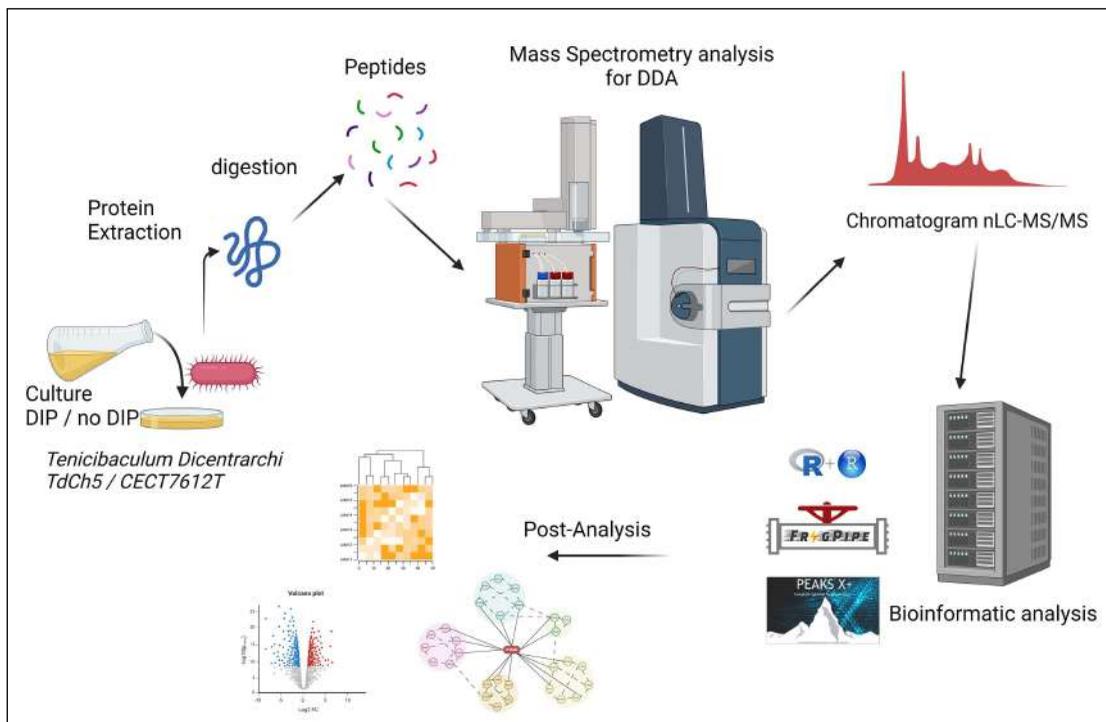


Figura 1: Diagrama de la metodología empleada para la evaluación proteómica de las cepas de *Tenacibaculum dicentrarchi* TdCh05 y CECT 7612^T.

Los estudios de caracterización de aislados de *T. dicentrarchi* han confirmado la existencia de heterogeneidad intraespecífica y las características de cada aislado tienen una fuerte dependencia del huésped del que proceden (Avendaño-Herrera et al., 2016), demostrándose divergencias en los genomas, específicamente en genes cruciales relacionados con virulencia, adaptación y composición de la bacteria (Saldarriaga-Córdoba et al., 2021). Precisamente, al evaluar 8 genomas de *T. dicentrarchi* se observó que todos los aislados comparten las proteínas asociadas a los mecanismos de captación de hierro independiente del huésped que proceden cada aislado (congrío colorado o salmón del Atlántico).

Es conocido en microbiología que el hierro juega un rol vital en el desarrollo bacteriano y su potencial de virulencia. Para ello, las bacterias han desarrollado diversos mecanismos para su captura: dos de los más estudiado son la presencia de moléculas capaces de secuestrar hierro comúnmente conocidas como sideróforos y otro asociado al uso de distintas proteínas capaces de emplear distintas fuentes de hierro (Miethke & Marahiel, 2007). En estudios funcionales con aislados de *T. dicentrarchi* se ha demostrado en condiciones *in vitro* la presencia de ambos, específicamente mediante el uso del grupo hemo (Avendaño-Herrera et al., 2023). Considerando la importancia del hierro en el desarrollo bacteriano y las estrategias observadas en *T. dicentrarchi* para su captación, profundizamos en el estudio proteómico en una cepa chilena de *T. dicentrarchi* con fines comparativos se empleó la cepa tipo de la especie. Esto con el fin de prospectar proteínas que se expresen diferencialmente cuando la bacteria se crece en condiciones limitantes de hierro, dado que la selección de una proteína de interés podría ser considerada para el desarrollo de una vacuna que prevenga la tenacibaculosis. Así, el objetivo de este trabajo fue evaluar cómo influye la limitación de hierro en la distribución y expresión proteica del patógeno de peces *T. dicentrarchi*.

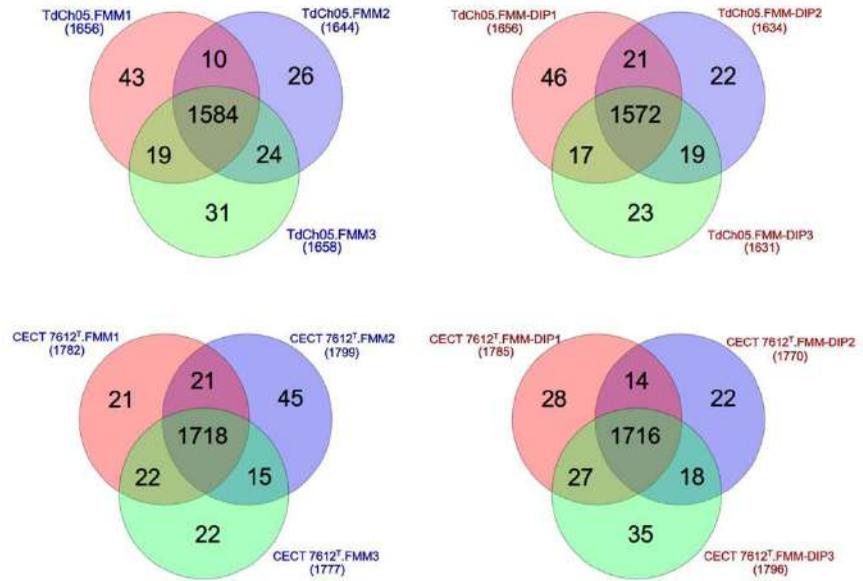


Figura 2: Gráfica de proteínas identificadas por condición y su localización celular. Proteínas detectadas únicamente en la condición no limitante (SD) y limitante (CD) de hierro además de las proteínas compartidas (color celeste, lila y amarillo, respectivamente) en TdCh05 (a) y CECT 7612^T (b).

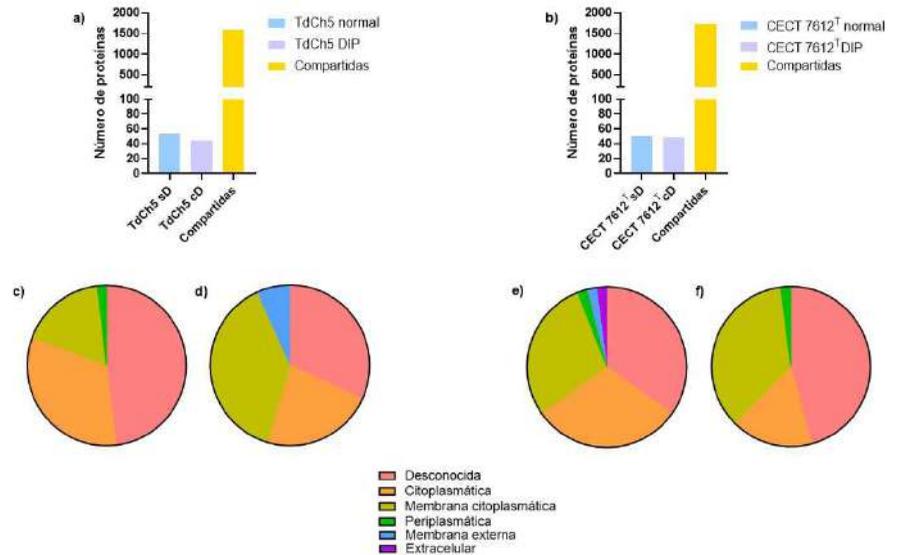


Figura 3: Localización celular de proteínas cuantificables en TdCh05 sD (c) y cD (d) y CECT 7612^T sD (e) y cD (f)

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con la cepa chilena TdCh05 y la cepa tipo CECT 7612^T. Ambas son las representantes más estudiadas en la literatura científica existente en este patógeno bacteriano. Las dos cepas se crecieron de manera rutinaria en placas de agar de medio *Flexibacter maritimum* (FMM) a 18°C por 48 h. Se confirmó mediante PCR que las bacterias crecidas corresponden a *T. dicentrarchi* y su pureza se determinó mediante observación al microscopio y pruebas fenotípicas. Para determinar el efecto del hierro, las bacterias se crecieron en caldo FMM y la condición limitante de hierro se obtuvo adicionando el quelante de hierro a 2,2'-dipiridil (DIP) en una concentración final de 65 µM, la cual fue establecida en un estudio previo (Avendaño-Herrera et al., 2023). El diagrama experimental para evaluar el proteoma de cada bacteria y condición se muestra en la Figura 1. Además, más detalles metodológicos se pueden consultar en Avendaño-Herrera et al. (2024).

RESULTADOS Y PERSPECTIVAS

El análisis del proteoma de las cepas TdCh05 y CECT 7612^T cultivadas con y sin la adición del quelante 2,2'-dipiridilo en el caldo FMM mostraron valores de proteína muy similares, con promedios de 1640,3 ± 13 y 1652,7 ± 7,6, respectivamente. Réplicas de *T. dicentrarchi* TdCh05 cultivadas con y sin la adición

de 65 µM del quelante 2,2'-dipiridilo en el caldo FMM mostraron valores de proteína muy similares, con promedios de 1640,3 ± 13 y 1652,7 ± 7,6, respectivamente (Figura 2). Todas las réplicas compartieron 1584 (96,6% del total) y 1572 (95,1%) proteínas, y el número disminuyó cuando se cultiva en presencia del quelante. Al comparar con la cepa tipo CECT 7612^T, el número promedio de proteínas totales aumentó en cada una de las condiciones de crecimiento, con valores de 1783,7 ± 13,1 proteínas cuando se cultivó en condiciones limitantes de hierro y 1786 ± 11,5 en ausencia del quelante.

De las proteínas identificadas en las condiciones de control y el quelante, las cepas TdCh05 y CECT 7612^T compartieron 1584 y 1726 proteínas cuando se crecieron en condiciones normales y con el quelante, respectivamente. Las proteínas detectadas de forma única en cada una de las condiciones de crecimiento mostraron valores muy similares (49,3 ± 3,3).

Es interesante destacar que la cepa TdCh05 tuvo 53 proteínas únicas en el FMM, que disminuyó a 45 al incorporar el quelante en el medio; mientras que la cepa CECT 7612^T disminuyó solo una proteína en condiciones limitantes de hierro (Figura 3). Usando la herramienta de predicción PSORT, 31,7 ± 1,5% de las proteínas identificadas en el proteoma de las cepas TdCh05 y CECT 7612^T cultivado sin 2,2'-dipiridil correspondieron a la categoría de citoplasma, mientras que el segundo fueron proteínas de la membrana citoplasmática con valores de 17,3% y 28,6%,

Vía biológica	Nombre proteína	Gen	Función	CECT 7612 ^T	TdCh05
Oxidación y reducción de hierro	Proteína SufA	sufA	Resistencia a la carencia de hierro	2,142922937	1,46151459
	YpmQ	ypmQ	Proteína de biogénesis de Citocromo C	1,245314561	1,30071947
	SufD	sufD	Proteína de ensamblaje FeS	0,417588243	0,47300151
	SsuB	ssuB	Proteína de transportador ABC	0,267309239	-
	Nitrito reductasa NrfA	nrfA	Citocromo c-552	-5,616879553	-4,731979
	-	AUW17_06585	Proteína de biogénesis de Citocromo C	-8,140706356	-
Transporte de sideróforos	-	zobellia_1165	Receptor dependiente de TonB	4,75523891	6,00045891
	ExbD	exbD	Proteína transportadora de biopolímeros de la familia ExbD/TolR	1,083584631	-
	HbpA	hbpA	Proteína de unión a hemina de la membrana externa	1,960536354	-
	PhuR	phuR	Receptor de hemina TonB	2,161829935	-
Toxinas/Proteínas de gliding	OmpW	ompW	Protección frente a estresores	-5,280563202	-
	HlyB	hlyB	Hemolisina alfa	0,92848767	2,38123101
	GldH	gldH	Proteína de movilidad	-	0,72524377
	GldL	gldL	Proteína de movilidad	0,524889393	0,47342842
	SprA	AUW17_00805	Control frente a infección por fago	-	1,09833817
	SprE	PHL49_1050	Proteína de movilidad	0,911561874	1,40532708
	GldG	gldG	Proteína asociada a adhesión, biofilm y movilidad	-0,460736595	-
	Colagenasa A	colA	Ruptura de colágeno	-1,667931567	-2,1902197

Tabla 1: Proteínas de cuantificación diferencial (DEPs) detectadas para *T. dicentrarchi* en la condición limitante/no limitante ([cD]/[sD]). Se aplicó el test de Fisher con p = 0,5.

respectivamente. Es interesante señalar que en condiciones limitantes de hierro, se produce una remodelación de la distribución celular en las proteínas de las cepas TdCh05 y CECT 7612^T, reduciendo las proteínas anotadas en el citoplasma en un 10% y 13,9%, respectivamente. Por el contrario, las proteínas de la categoría membrana citoplasmática aumentó al 38,6% en la cepa TdCh05 y al 35,4% en la tipo cepa.

Con el fin de conocer las proteínas que presentan una diferencia de expresión entre las condiciones de crecimiento (DEPs), nos enfocamos en los sistemas de captación de hierro y aquellos asociados a la virulencia de *T. dicentrarchi* (Tabla 1). Las proteínas que se comparten entre ambos aislados corresponden a aquellas asociadas a la vía de oxidación y reducción del hierro. Se destaca entre ellas, el receptor dependiente de TonB y la proteína de resistencia a la limitación de hierro SufA como las dos proteínas de mayor expresión y que comparten ambas cepas. Precisamente, estas dos proteínas han sido descritas como relevantes para la captación de hierro y la virulencia de otros patógenos distintos de *T. dicentrarchi*, lo que sugiere un rol relevante cuando ocurre la infección en el pez.

Las toxinas y proteínas de movimiento deslizante o *gliding*, un factor de virulencia muy estudiado en patógenos humanos de la familia *Flavobacteriaceae*, es donde se observa una mayor diversidad. De hecho, no se observa una mayor expresión bajo crecimiento en condiciones de hierro de TdCh05 y CECT 7612^T. Nuestros estudios sugieren que proteínas asociadas al mecanismo de captación de hierro y que tienen mayor expresión en condiciones limitantes podrían ser un blanco inmunológico relevante para la generación de vacunas de nueva generación contra la tenacibaculosis. Además, el estudio proteómico junto a los resultados fisiológicos sobre los mecanismos de adquisición de hierro podrían sentar las bases para futuros estudios destinados a dilucidar el papel de algunas de las proteínas descritas en el proceso infeccioso de la tenacibaculosis.

AGRADECIMIENTOS

FONDECYT Regular N° 1230068 y FONDAP n°1523A0007.

REFERENCIAS

- Avendaño-Herrera, R., Echeverría-Bugueño, M., Hernández, M., Saldivia, P., Irgang, R. (2024). Proteomic characterization of *Tenacibaculum dicentrarchi* under iron limitation reveals an upregulation of proteins related to iron oxidation and reduction metabolism, iron uptake systems and *gliding* motility. *Journal of Fish Diseases*, 29, e13984. <https://doi.org/10.1111/jfd.13984>.
- Avendaño-Herrera, R., Saldarriaga-Córdoba, M., Echeverría-Bugueño, M., & Irgang, R. (2023). *In vitro* phenotypic evidence for the utilization of iron from different sources and siderophores production in the fish pathogen *Tenacibaculum dicentrarchi*. *Journal of Fish Diseases*, 46(9), 1001–1012. <https://doi.org/10.1111/jfd.13820>
- Avendaño-Herrera, R., Collarte, C., Saldarriaga-Córdoba, M., & Irgang, R. (2020). New salmonid hosts for *Tenacibaculum* species: Expansion of tenacibaculosis in Chilean aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, 43(9), 1077–1085. <https://doi.org/10.1111/jfd.13213>
- Avendaño-Herrera, R., Irgang, R., Sandoval, C., Moreno-Lira, P., Houel, A., Duchaud, E., Poblete-Morales, M., Nicolas, P., & Ildardi, P. (2016). Isolation, characterization and virulence potential of *Tenacibaculum dicentrarchi* in salmonid cultures in Chile. *Transboundary and Emerging Diseases*, 63(2), 121–126. <https://doi.org/10.1111/tbed.12464>
- Irgang, R., & Avendaño-Herrera, R. (2021). Experimental tenacibaculosis infection in adult conger eel (*Genypterus chilensis*, Guichenot 1948) by immersion challenge with *Tenacibaculum dicentrarchi*. *Journal of Fish Diseases*, 44(2), 211–216. <https://doi.org/10.1111/jfd.13282>
- Klakegg, Ø., Abayneh, T., Fauske, A. K., Fülberth, M., & Sørum, H. (2019). An outbreak of acute disease and mortality in Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolts in Norway caused by *Tenacibaculum dicentrarchi*. *Journal of Fish Diseases*, 42(6), 789–807. <https://doi.org/10.1111/jfd.12982>
- Miethke, M., & Marahiel, M. A. (2007). Siderophore-based iron acquisition and pathogen control. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 71, 413–451. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00012-07>
- Saldarriaga-Córdoba, M., Irgang, R., & Avendaño-Herrera, R. (2021). Comparison between genome sequences of Chilean *Tenacibaculum dicentrarchi* isolated from red conger eel (*Genypterus chilensis*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) focusing on bacterial virulence determinants. *Journal of Fish Diseases*, 44(11), 1843–1860. <https://doi.org/10.1111/jfd.13503>
- SERNAPESCA. (2023). Informe con antecedentes sanitarios de agua dulce y mar año 1° semestre 2023. Departamento de Salud Animal Subdirección de Acuicultura, Servicio Nacional de Acuicultura, diciembre, 2023, 58 <https://www.sermapesca.cl/app/uploads/2023/12/InformeSanitario-1S-2023-Publicacion-002.pdf>

Los nuevos desarrollos de Veterquímica en Vacunas de Peces y en Tecnologías de Producción



Carlos Saffie, Gerente de I+D

Como Gerente de I+D de una empresa como Veterquímica, con casi 55 años de historia apoyando a la industria de producción animal, resulta un desafío tremendamente atractivo asumir esta posición para continuar desarrollando soluciones de salud en diferentes industria de producción de proteínas haciéndonos cargo de sus preocupaciones y asumiendo los retos internos que eso mismo significa en nuestras propias operaciones productivas y de Investigación y Desarrollo.



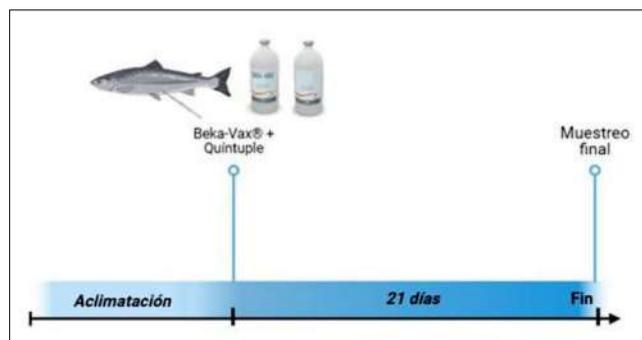
es compatible con otras vacunas relevantes de nuestro portafolio como la Beka-Plus 3 y la Vacuna Bekavax.

El registro según la escala de Spielberg para cada ensayo se muestra en las tablas 1 y 3. El registro de la evaluación de melanosis se muestra en las tablas 2 y 4. Para el caso de la administración de manera conjunta de Beka-Vax® + vacuna quintuple experimental, luego de 21 días más del 80% de los peces vacunados en ambos grupos

presentaron adherencias menores o iguales a 2 en escala de Spielberg, lo que indica que sólo presentan lesiones leves, poco visibles, sin compromiso del filete (Tabla 1). Mientras que en el ensayo del esquema de vacunación que considera Beka-Plus® 3 + Beka-Vax® + vacuna quintuple experimental, la adherencia

presentaron adherencias menores o iguales a 2 en escala de Spielberg, lo que indica que sólo presentan lesiones leves, poco visibles, sin compromiso del filete (Tabla 1). Mientras que en el ensayo del esquema de vacunación que considera Beka-Plus® 3 + Beka-Vax® + vacuna quintuple experimental, la adherencia

En el caso particular de peces, estamos abordando principalmente dos frentes desde el área de investigación y desarrollo, el primero tiene que ver con nuevos/renovados productos y el segundo tiene que ver con la implementación de nuevas tecnologías que nos permitan aumentar nuestra productividad para desafíos nuestras propias métricas y acercar, los mejores soluciones vigentes a nivel nacional e internacional en materia de vacunas, a la industria nacional.



En el caso de nuevos productos, estamos desarrollando el candidato a vacuna de PRv en conjunto con la Universidad de Santiago de Chile, en donde hemos logrado ir estableciendo el perfil de la enfermedad para poder evaluar nuestra candidata a vacuna, la cual está basada en el sistema de expresión de baculovirus, y por tanto en el uso de proteínas recombinantes para formas VLP's, del inglés "Virus Like Particles".

En paralelo, estamos trabajando en nuevas aproximaciones para desarrollar nuevas y mejoras vacunas contra el SRS, utilizando poliantígenos contra *P. salmonis*, así como reimpulsado un trabajo fundamental para contar con nuestra vacuna Quintuple, en donde los estudios comparativos que tenemos a la fecha, nos muestran que el desarrollo interno de VQ es totalmente competitivo con los resultados de otros laboratorios farmacéuticos Veterinarios y

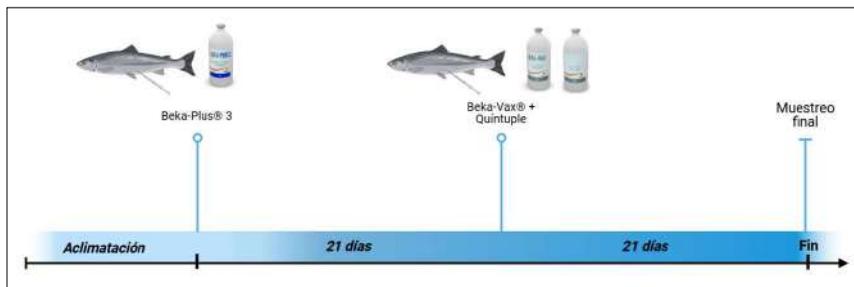


Figura 1: Esquema del ensayo de seguridad de aplicación de vacunas. A. Ensayo de vacunación de Beka-Vax® y vacuna quintuple al mismo tiempo. B. Ensayo de vacunación de Beka-plus® 3 y luego de 21 días aplicación de Beka-Vax® más vacuna quintuple.

fue menor o igual a 2 en casi la totalidad de los individuos vacunados, sólo presentándose una adherencia de grado 3 en un 3% de uno de los grupos vacunados (Tabla 3). En relación a la evaluación de melanosis, en los grupos vacunados no se vio aparición de ella en ningún grado (Tablas 2 y 4).

Los esquemas de vacunación que se probaron, que consideran la administración de Beka-Vax® + vacuna quintuple experimental o Beka-Plus® 3 + Beka-Vax® + vacuna quintuple experimental, demostraron ser seguros, ya que durante todo el ensayo no se registró mortalidad producto de la administración de la combinación de las vacunas. Además, la evaluación mediante la escala de Spielberg, mostró que la mayoría de los peces presentaron adherencia de grado menor a 2, con máximo un 18% de peces con adherencia grado 3 en uno de los grupos vacunados. Finalmente no se registró melanosis en ninguno de los peces evaluados.

PRODUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE VACUNAS: UNA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA PERMANENTE

Desde el punto de vista de nuevos procesos productivos, nos hemos embarcado en la adquisición de equipamiento de última generación para la producción de antígenos, en particular con la adquisición de un reactor Sartorius Biostat D de 100L, que nos permitir producir antígenos bacterianos en una escala superior, con mayor control de las variables de procesos y con resultados que están mejorando los títulos, los tiempos y las variaciones inherentes que tienen los procesos productivos biológicos.

En adición, el 2024 hemos renovado nuestro acuario de I+D, lo que muestra el compromiso de VQ por mantenerse vigente en términos de I+D pero también de equipamientos y tecnología.

Los desafíos de corto plazo incluyen terminar los desarrollos y empalmar el avance de I+D con la implementación de nuevas tecnologías productivas, en donde la incorporación de vacunas en base a proteínas recombinantes es un camino ineludible para nuestros candidatos vacuna, entre ellos, la vacuna PRv, la vacuna quintuple (fracción ISAv) y la vacuna de poliantígeno para el SRS, que esperamos terminen sus ensayos en condiciones controlados durante el 2025.

Tabla 1: Adherencia de Beka-Vax® + vacuna quintuple.

Ensayo 21 días luego de aplicación de Beka-Vax® + vacuna quintuple							
GRUPO	ADHERENCIA ESCALA DE SPIELBERG (% DEL GRUPO)						
	0	1	2	3	4	5	6
CONTROL	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CONTROL REPLICA	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BEKA-VAX® + QUINTUPLE	46%	21%	14%	18%	0%	0%	0%
BEKA-VAX® + QUINTUPLE REPLICA	30%	37%	30%	3%	0%	0%	0%

Tabla 2: Melanosis de Beka-Vax® + vacuna quintuple.

Ensayo 21 días luego de aplicación de Beka-Vax® + vacuna quintuple			
GRUPO	MELANOSIS ESCALA DE SPIELBERG (% DEL GRUPO)		
	0	1	2
CONTROL	100%	0%	0%
CONTROL REPLICA	100%	0%	0%
BEKA-VAX® + QUINTUPLE	100%	0%	0%
BEKA-VAX® + QUINTUPLE REPLICA	100%	0%	0%

Tabla 3: Adherencia de Beka-Plus® 3 + Beka-Vax® + vacuna quintuple.

Ensayo 42 días luego de la aplicación de Beka-Plus® 3 y 21 días de aplicación de Beka-Vax® + vacuna quintuple							
GRUPO	ADHERENCIA ESCALA DE SPIELBERG (% DEL GRUPO)						
	0	1	2	3	4	5	6
CONTROL	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CONTROL REPLICA	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BEKAPLUS3® + BEKA-VAX® + QUINTUPLE	34%	45%	21%	0%	0%	0%	0%
BEKAPLUS3® + BEKA-VAX® + QUINTUPLE REPLICA	90%	7%	0%	3%	0%	0%	0%

Tabla 4: Melanosis de Beka-Plus® 3 + Beka-Vax® + vacuna quintuple.

Ensayo 42 días luego de la aplicación de Beka-Plus® 3 y 21 días de aplicación de Beka-Vax® + vacuna quintuple			
GRUPO	MELANOSIS ESCALA DE SPIELBERG (% DEL GRUPO)		
	0	1	2
CONTROL	100%	0%	0%
CONTROL REPLICA	100%	0%	0%
BEKAPLUS3® + BEKA-VAX® + QUINTUPLE	100%	0%	0%
BEKAPLUS3® + BEKA-VAX® + QUINTUPLE REPLICA	100%	0%	0%

QUIMIOQUINAS: PROTEINAS QUE DIRIGEN LA MIGRACION DE CELULAS CLAVES DEL SISTEMA INMUNOLOGICO.



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE



CENTRO DE
BIOTECNOLOGÍA
ACUÍCOLA USACH

Natalia Valdés, Daniela Espinoza, Mónica Imarai
Laboratorio de Inmunología, Departamento de Biología,
Centro de Biotecnología Acuicola, Facultad de Química y Biología. Universidad de Santiago de Chile

El sistema inmunológico tiene un gran número de particularidades respecto a otros sistemas de órganos de los vertebrados, siendo uno de los más destacados, el que muchos de los tipos de células inmunes migran de su sitio de origen a los órganos inmunes periféricos (como los nódulos linfáticos o el bazo) y de éstos a los órganos y tejidos donde residen o a los sitios inflamados donde ocurren las infecciones (Figura 1). Todo esto permite a las células inmunes activar los mecanismos de protección y eliminar a los microorganismos patógenos. La migración y la localización de células inmunes en tejidos y órganos depende en gran parte de las quimioquinas y sus receptores, proteínas que pertenecen a una gran familia, con aproximadamente 50 miembros en humanos y ratones.

Las quimioquinas que conocemos son proteínas pequeñas que tienen una estructura muy conservada, aunque a la vez muy diversa en cuanto a la secuencia de las proteínas, tal que, las quimioquinas muestran entre ellas semejanzas que oscilan entre el 20% y el 90%. La presencia de varios residuos de cisteína (C), aminoácido que puede formar puentes químicos de disulfuros (Figura 2), es fundamental para mantener la integridad estructural y permitir la unión de las quimioquinas a sus correspondientes receptores. La presencia y distribución de estas cisteínas ha llevado a definir 4 familias de quimioquinas denominadas: C, CC, CXC y CX3C.

Aunque la naturaleza y función de las quimioquinas y sus receptores son bien conocidas en los mamíferos, en los peces en cambio no existe un nivel similar de comprensión respecto a la estructura y la función de esta importante familia de proteínas. Un mejor conocimiento de estas proteínas quimiotácticas puede tener un alto impacto en el manejo de la inmunidad de los peces ya que, al igual que en los mamíferos, se espera que participen en la activación de la respuesta inmunológica generada durante la infección y la vacunación, así como en la eliminación de microorganismos patógenos como virus y bacterias.

En los peces, el primer gen de quimioquina fue identificado por el Dr. Brian Dixon en 1998 en la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) (Dixon et al., 1998), y se le denominó CK1. Desde entonces, la identificación de los ortólogos de quimioquinas en los peces y la determinación de su función han sido complejas, principalmente debido a los procesos de duplicación del genoma completo que ha ocurrido en los peces durante la evolución y porque las quimioquinas han experimentado cambios de secuencias más rápido que otros genes inmunes en la evolución. En este contexto, se han identificado muchas más secuencias de quimioquinas en peces que en mamíferos y se han establecido homología definitiva solo para aquellas quimioquinas con funciones bien conservadas (Peatman y Liu, 2007; Alejo y Tafalla, 2011).

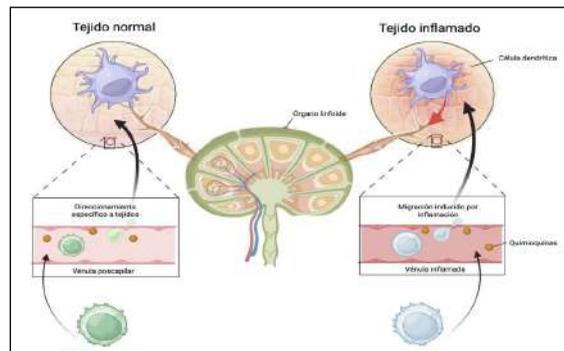


Figura 1: Migración de células inmunes

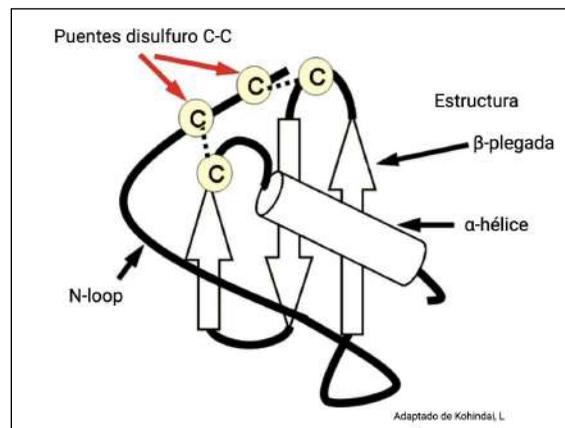


Figura 2: Puentes disulfuro en las quimioquinas

Las quimioquinas de la familia CXC tienen función de quimiotaxis para monocitos y linfocitos. Estas son las más estudiadas en peces, encontrándose en pez cebra (*Danio rerio*), bagre, trucha arcoíris, salmón del Atlántico y la corvina amarilla (*Larimichthys crocea*) (Alejo y Tafalla, 2011; Nomiya et al., 2008). Así se han identificado genes que codifican las quimioquinas CXCL9, CXCL10 y CXCL11 y su receptor CXCR3. Es muy interesante que estas quimioquinas desempeñan en los mamíferos funciones en la inducción de una respuesta inmunitaria de linfocitos del tipo Th1, respuesta que está involucrada en la eliminación de virus y bacterias intracelulares (revisado en Valdés et al., 2022). Como en todo el mundo prácticamente no se dispone de anticuerpos para detectar estas proteínas en los peces, se ha estudiado la presencia de los RNA mensajeros como prueba de que estas proteínas están presentes en los diferentes órganos y tejidos de distintas especies de peces. En la trucha arcoíris, se ha reportado que la quimioquina CXCL-10 se encuentra en tejidos linfoides y no linfoides y su presencia aumenta cuando se agrega IFN-gamma o poli I:C, un ARN bicatenario que imita la infección viral. CXCL-10 también aumenta en la trucha arcoíris cuando se produce infección con el virus de la septicemia hemorrágica viral (VHSV),

pero no cuando hay infección por el virus de la necrosis pancreática infecciosa (IPNV) (revisado en Valdés et al., 2022). Toda esta evidencia sugiere que la quimioquina CXCL-10 de los peces salmónidos puede tener una función importante en la defensa anti-viral.

En el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), nosotros buscamos identificar los genes que codifican los componentes del eje CXCL9-11/CXCR3, predecir la estructura de las proteínas a partir de la secuencia de aminoácidos y explorar la regulación de la expresión genética, así como la respuesta de estas quimioquinas y su receptor a infecciones virales. Como la producción de salmónidos se ve afectada por infecciones de bacterias intracelulares como la *Piscirickettsia salmonis*, y virus como el virus de la Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV) y Piscine orthoreovirus (PRV) (SERNAPESCA, 2023), identificar y estudiar este grupo de quimioquinas y su receptor permitirá evaluar si ellas participan en la eliminación de estos microorganismos que afectan al salmón y diseñar con esto mejores estrategias de desarrollo de inmunidad en los peces.

En nuestros estudios, las secuencias de los genes de CXCL9, CXCL10 y CXCL-11 y su receptor CXCR3 se obtuvieron de las bases de datos. Con las secuencias de las potenciales proteínas realizamos el análisis filogenético que reveló un patrón de agrupación y conservación de estos genes entre especies

de peces y mamíferos. Las secuencias de quimioquinas del salmón agruparon con ortólogos de otras especies de peces, mientras que las secuencias de los mamíferos formaron clados separados. Esto indica una evolución divergente de quimioquinas entre mamíferos y peces, posiblemente debido a diferentes presiones evolutivas y funciones inmunológicas. El análisis estructural de las quimioquinas y el receptor CXCR3 mostró la conservación de motivos y dominios críticos y de la estructura tridimensional (Figura 3), lo que sugiere que, a pesar de la divergencia evolutiva, ciertas funciones y estabilidad se han preservado a lo largo de la evolución.

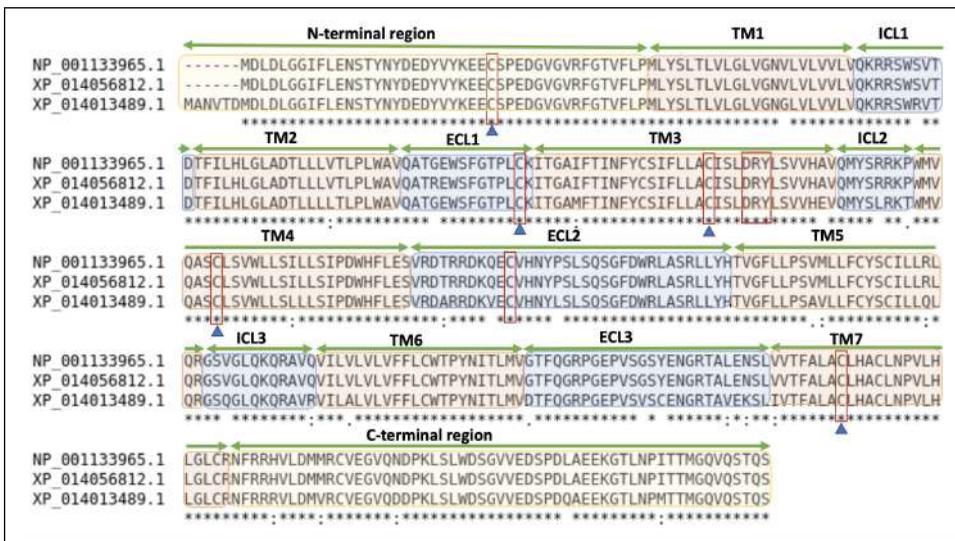


Figura 3: Alineamiento de secuencias de los receptores CXCR3

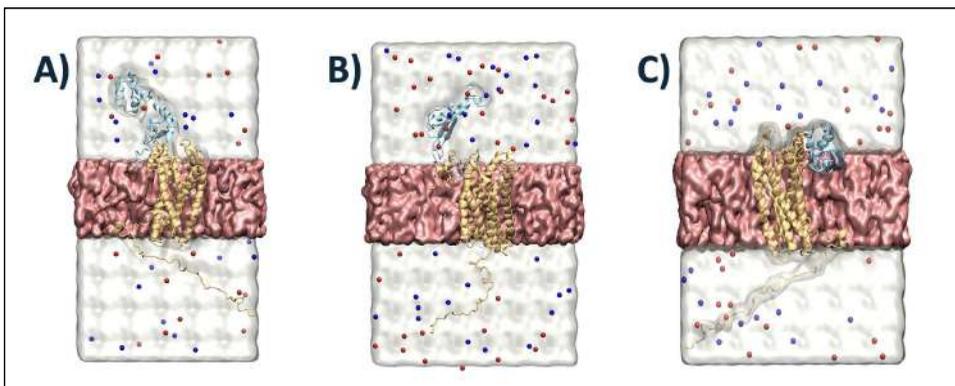


Figura 4: Docking molecular entre el complejo quimioquinas-receptor

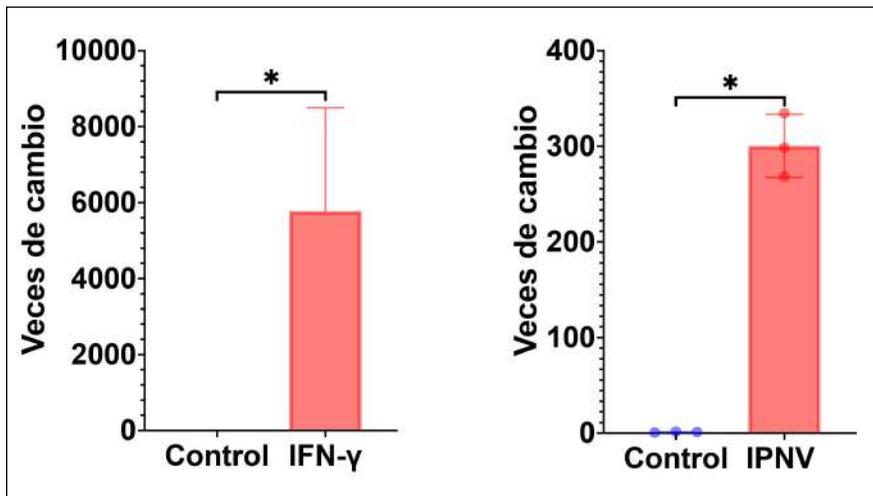


Figura 5: Modulación de la expresión del gen *cxcl10* en línea celular de salmón.

También se evaluaron las interacciones ligando receptor, lo cual muestra que la región N-terminal de las tres quimiocinas contribuye a la afinidad de unión al receptor. La afinidad de todos estos complejos está relacionada con la cantidad de residuos que interactúan en la unión quimiocina/receptor. CXCL9 y CXCL11 tienen una mayor afinidad por CXCR3 en comparación con CXCL10. Esta diferencia en la afinidad podría atribuirse a la participación de bucles adicionales en estas quimiocinas. Los hallazgos de la investigación subrayan la importancia crítica de las regiones N-terminales en la unión a CXCR3, impulsada principalmente por fuerzas de van der Waals y electrostáticas (Figura 4).

Con respecto a la expresión de los genes de CXCL9, CXCL10, CXCL11 y CXCR3 en el salmón del Atlántico, nuestro análisis reveló que todos se expresan en órganos linfoides como el riñón anterior, medio y distal, el bazo, las branquias y el intestino y también en tejidos no linfoides, como los músculos, el corazón, el cerebro y el hígado. Solo otros 3 estudios han reportado la expresión de CXCL9 y CXCL10 en tejidos de salmón del Atlántico, encontrándose estos en las branquias y el músculo del salmón del Atlántico (Boison et al., 2019; Fu et al., 2022). Hasta donde sabemos no existen reportes de la expresión de CXCL-11 en tejidos o células de salmón del Atlántico. Es interesante que la presencia

ubicua de estas quimioquinas en los tejidos del salmón respalda su papel en el reclutamiento de leucocitos, lo que puede ocurrir en la mayoría de los tejidos tanto en condiciones normales como en inflamación.

Este estudio también demostró que el interferón gamma recombinante (rIFN-γ) aumenta los niveles de transcritos de las quimioquinas CXCL10 y CXCL11, así como el receptor CXCR3 en SHK-1, una línea celular similar a macrófagos derivada de un cultivo de leucocitos de riñón anterior de salmón del Atlántico (Figura 4). Aunque la regulación de la expresión de estos genes por IFN-γ es un hecho bien establecido en mamíferos, en peces sólo se ha reportado para CXCL10 en células

RTS-11 de trucha arcoíris y para CXCR3 en carpa común (Zou et al., 2005; Chadzinska et al., 2014). Dado que IFN-γ es producido como parte de los mecanismos de respuesta antiviral es probable que los genes de estas quimioquinas del salmón del Atlántico también desempeñen un papel en la respuesta contra la infección viral. En este contexto, esto coincide con que en este trabajo también observamos que la infección por IPNV resultó en una mayor expresión de todas las quimioquinas y CXCR3 en las células SHK-1 (Figura 5). En conjunto, estos estudios sugieren que potenciados por IFN-γ, CXCL10 y CXCL11 podrían tener alguna función en la actividad anti-viral en el salmón del Atlántico. En este sentido es primordial realizar estudios funcionales de estas quimioquinas de salmón del Atlántico para establecer si ellas tienen efectivamente un rol en la regulación de la migración de las células inmunitarias y en la actividad antiviral como sugieren los antecedentes.

FINANCIAMIENTO

FONDECYT Postdoctoral project No 3210634, ANID, (NV); Beca doctoral ANID 21201137 (DE) y FONDECYT Regular 1201664 y 1240741 ANID (MI)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alejo, A., Tafalla, C., 2011. Chemokines in teleost fish species. *Dev Comp Immunol* 35, 1215–1222. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.03.011>

Boison, S.A., et al., 2019. Genomic and transcriptomic analysis of amoebic gill disease resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Front Genet* 10. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00068>

Chadzinska, et al., 2014. Characterization and expression analysis of an interferon- γ induced chemokine receptor CXCR3 in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Dev Comp Immunol* 47. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.07.008>

Dixon, B., et al., 1998. CK-1, a putative chemokine of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Immunol Rev* 166, 341–348. <https://doi.org/10.1111/j.1600-065X.1998.tb01274.x>

Fu, Q., et al., 2022. Comparative Transcriptome Analysis of Spleen Reveals Potential Regulation of Genes and Immune Pathways Following Administration of *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* Vaccine in Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Marine Biotechnology* 24, 97–115. <https://doi.org/10.1007/s10126-021-10089-6>

Nomiyama, H., et al., 2008. Extensive expansion and diversification of the chemokine gene family in zebrafish: Identification of a novel chemokine subfamily CX. *BMC Genomics* 9, 1–19. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-222>

Peatman, E., Liu, Z., 2007. Evolution of CC chemokines in teleost fish: A case study in gene duplication and implications for immune diversity. *Immunogenetics* 59, 613–623. <https://doi.org/10.1007/s00251-007-0228-4>

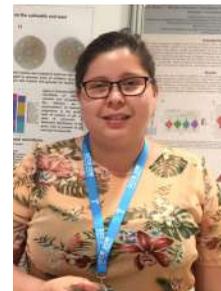
SERNAPESCA, 2023. Informe Sanitario con información de agua dulce y mar año 2022.

Valdés, N., et al., 2022. CXCL9-11 chemokines and CXCR3 receptor in teleost fish species. *Fish and Shellfish Immunology Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2022.100068>

Zou, J., et al., 2005. Identification and Bioactivities of IFN- γ in Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*: The First Th1-Type Cytokine Characterized Functionally in Fish. *The Journal of Immunology* 175, 2484–2494. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.175.4.2484>

BIOGRAFÍAS

Dra. Natalia Valdés obtuvo el título de Ingeniera en Bioinformática por la UTALCA el año 2013 bajo la tutoría del Dr. Romilio Espejo y obtuvo el grado de Doctora en Biotecnología del programa de la USACH en el año 2020, bajo la tutoría del Dr. Mario Tello con la tesis titulada “Aislamiento y caracterización de la actividad antimicrobiana e inmunomoduladora de microorganismos aislados de *Oncorhynchus mykiss* infectado con *Flavobacterium psychrophilum* aislado 10094”. Actualmente desarrolla su proyecto postdoctoral ANID 3210634 en el laboratorio de Inmunología de la USACH bajo la conducción de la Dra. Mónica, titulado “Understanding the CXCL9-11/CXCR3 chemokine axis in Atlantic salmon”.



Dra. Daniela Espinoza es Bioquímica de la Universidad de Santiago de Chile titulada el año 2017 bajo la dirección de las Dras. Brenda Modak y Beatriz Valenzuela. Actualmente, es candidata a Dr. en el programa de Doctorado en Biotecnología de la misma Universidad y becaria ANID. Actualmente realiza su investigación en el Laboratorio de Inmunología con el proyecto titulado “Evaluación de la actividad antiviral de carragenanos en salmónidos”, enmarcado en una colaboración entre las Dras. Mónica Imarai y Alejandra Moenne.



Dra. Mónica Imarai es Bioquímica e Inmunóloga y profesora titular en la Universidad de Santiago de Chile. La Dra. Imarai ha realizado investigación en inmunología, liderando un grupo que centró su investigación en la comprensión de los mecanismos de respuesta inmune y tolerancia en el tracto reproductivo femenino. Desde el año 2007 estudia los mecanismos de inmunidad adaptativa en la trucha y el salmón y compuestos naturales determinando su actividad biológica como potenciales inmunoestimulantes y antimicrobianos en peces los que pueden utilizarse como complementos dietéticos y adyuvantes en vacunas. Su grupo identificó y caracterizó los linfocitos T cooperadores en la trucha arco iris, y actualmente estudia la participación de los linfocitos T y las citoquinas tipo Th1 y Th2 del salmón en la infección por *P. salmonis* e IPNV. El objetivo es entender si los linfocitos T y las citoquinas están involucradas en la protección o desarrollo de la enfermedad en los peces salmónidos. Su trabajo ha recibido financiamiento de Innova-Chile de CORFO, Fondo de Innovación Agraria, Fondo Newton-Picarte del RCUK-Conicyt, Research Council of Norway y Fondo Nacional de Desarrollo Científico Tecnológico (Fondecyt).



FLORACIONES DE *HETEROSIGMA AKASHIWO* EN LA PATAGONIA: UN PROBLEMA CADA VEZ MÁS RECURRENTE PARA LA SALMONICULTURA



UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS



Patricio A. Díaz ^{1,2*}, Iván Pérez-Santos ^{1,3}, Daniel Varela ¹, Bárbara Cantarero ¹, Humberto Godoy ⁴, David Cassis ⁵, Álvaro Aravena ¹, Robinson Altamirano ¹, Rebeca Rantul ¹, Pamela Urrutia ⁶, Ricardo Díaz ⁷, Pedro Cabrera ⁴, Héctor Plaza ⁴, Jorge Osses ⁴, Rosa I. Figueroa ⁸

¹ Centro i-mar, Universidad de Los Lagos, Puerto Montt, Chile

² CeBiB, Universidad de Los Lagos, Puerto Montt, Chile

³ Centro de investigación oceanográfica COPAS COASTAL, Universidad de Concepción, Chile

⁴ Fishing Partners, Puerto Montt, Chile

⁵ AquaBC Chile Spa, Puerto Varas, Chile

⁶ MOWI Chile, Puerto Montt, Chile

⁷ Agua Alta Ingeniería y Construcción SPA, Valdivia, Chile

⁸ Centro Oceanográfico de Vigo, Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC), Vigo, España

* Autor de correspondencia: patricio.diaz@ulagos.cl

Las Floraciones Algas Nocivas (FAN), o más popularmente conocidas como mareas rojas, son eventos extremos de proliferaciones de microalgas que generan repercusiones negativas sobre la salud pública y las economías locales costeras (Díaz et al., 2019; Hallegraef et al., 2021). Es la dimensión negativa o del daño causado lo que determina cuando una proliferación es considerada extrema o masiva (Berdalet et al., 2015). El perjuicio puede tener su origen tanto por una alta densidad microalgal, que ocasione mortandades importantes de peces u otros organismos debido a la anoxia generada, o por daño a la estructura o la fisiología de órganos, como las branquias de los peces, ya sea por efecto mecánico o por estrés oxidativo producido por especies reactivas del oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) (Mardones et al., 2015). Además, las intoxicaciones a otros organismos o a seres humanos derivadas de ciertos metabolitos presentes en, o excretadas por, algunas de estas microalgas, y que son acumulados en la cadena trófica (principalmente por moluscos bivalvos o peces), ocasionan problemas de salud importantes, e incluso letales, a los humanos u organismos que los consumen (Díaz et al., 2022; Guzmán et al., 2002).

Esta problemática ha sido prioridad en diferentes programas de investigación a nivel global, debido a su tendencia creciente en intensidad, cobertura y recursos afectados (Berdalet et al., 2017; Kudela et al., 2017). Tal ha sido el impacto de este tipo de eventos que uno de los objetivos de desarrollo sostenible (objetivo 14, vida submarina), destinado a prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de cualquier origen, que puedan afectar negativamente a la salud del ecosistema marino y a la provisión sostenible de recursos y servicios, incluye a las FAN como un indicador (UN DESA, 2023).

Desafortunadamente para las actividades costeras, entre ellas la pesca artesanal y la acuicultura, el sistema de fiordos y canales de la Patagonia Chilena se ha convertido en una de las zonas de mayor recurrencia e intensidad de eventos FAN a nivel global (Díaz and Figueroa, 2023). En esta zona, se han registrado los eventos más intensos asociados a microalgas productoras de biotoxinas marinas, como *Alexandrium catenella* (Guzmán et al., 2002; Molinet et al., 2003) y *Dinophysis acuta* (Díaz et al., 2021), principales productores de toxinas paralizantes y diarreas, respectivamente. Más aún, esta zona ha sido impactada por floraciones muy intensas de microalgas causantes de mortalidades masivas de salmones, como son *Pseudochattonella verruculosa* y *Heterosigma akashiwo*. La primera de ellas fue la responsable de uno de los eventos de mortalidad masiva de peces de cultivo más intensas a nivel mundial, en el verano de 2016, causando pérdidas cercanas a los 800 millones de dólares (León-Muñoz et al., 2018; Mardones et al., 2021). Mientras la segunda, produjo la mortalidad del 50% de la producción anual de salmones en 1988 (10,000 toneladas), de la incipiente industria salmonicultora de ese entonces, en el mar interior de Chiloé (Avaria et al., 1999; Díaz et al., 2019). Durante 1988 (floración de invierno tardío, en septiembre) se registraron densidades celulares de *Heterosigma akashiwo* cercanas a las 100,000 cel. mL⁻¹. La presencia de esta especie ha sido intermitente en el tiempo, pero en los últimos años ha mostrado una tendencia creciente y preocupante, generando dos importantes eventos en el sistema del fiordo Comau y en los canales adyacentes a Hornopirén, conocido como el barrio ACS 17B. El primero de estos eventos ocurrió en la cabecera del fiordo Comau, en abril de 2021, y generó mortalidades cercanas a 3,000 toneladas y pérdidas superiores a 4 millones de dólares (Díaz et al., 2023; Mardones et al., 2023). En este evento las densidades celulares superaron las 200,000 cel. mL⁻¹. El segundo, y más reciente evento, ocurrió nuevamente en abril de 2024 en Hornopirén, generó la mortalidad de 294 toneladas.



Figura 1: Fotografías aéreas que muestran las intensas manchas café generadas por las floraciones de *Heterosigma akashiwo* durante abril de 2021 (A) y 2024 (B-C) en el sistema fiordo Comau – Hornopirén.

Durante este evento se alcanzaron densidades celulares cercanas de 20,000 cel. mL⁻¹ y al igual que en 2021, intensas manchas superficiales de color café en forma de filamentos fueron claramente apreciables (Figura 1).

Las floraciones de *Heterosigma akashiwo* no son exclusivas de Chile, ya que han sido detectadas en ambientes estuarinos en todo el mundo, incluyendo a Canadá, USA, Japón, Europa y Sudáfrica, donde han producido cuantiosas pérdidas a cultivos de peces marinos. Algunas de las floraciones mejor estudiadas ocurren casi todos los años a gran escala en el Estrecho de Georgia en la costa oeste de Canadá, forzando a la industria salmonera local a moverse cada vez más al norte, en un esfuerzo por evitarlas (Esenkulova et al., 2021). Estas floraciones también impulsaron a especialistas canadienses y de Estados Unidos de América a buscar soluciones prácticas para evitar mortalidades en los centros de cultivo, siendo esta la cuna de los sistemas que utilizan inyección de aire para reducir los efectos nocivos, aunque siempre se los aplicó con lonas que impidieran la entrada de las microalgas al centro de cultivo. Estos esfuerzos continúan en forma de consultores que trabajan junto a la industria, investigaciones en universidades locales y como parte de un programa de ciencia ciudadana que recopila información sobre el Estrecho de Georgia (comm. Pers. Jay Pudota).

Heterosigma akashiwo prolifera en estos ambientes en aguas de salinidad media (15-25 PSU), normalmente luego de ser reducida por la influencia de un río, como en el caso del Estrecho de Georgia, donde las floraciones dependen de la descarga del río Fraser. Dado esto, la mayor densidad celular en las floraciones se encuentra siempre en la superficie y en los primeros 5 a 10 metros, ya que a mayores profundidades la salinidad aumenta en sistemas estuarinos de los fiordos. Este comportamiento muestra su dependencia por la reducción en la salinidad debido al aumento de la descarga primaveral en ríos de deshielo u otros eventos que

introduzcan grandes cantidades de agua dulce en sistemas estuarinos de mares fríos. Por lo mismo, esta dependencia hace que sus floraciones causen sorpresa y alarma en sistemas que no registran bajas de salinidad regulares.

La reciente floración de *H. akashiwo* ocurrida en los canales adyacentes a Hornopirén, coincide con la ocurrida en la misma zona y por la misma especie durante abril de 2021 (Figura 2). Aunque las ubicaciones no fueron idénticas, ambos eventos se originaron en el mismo sistema fiordo Comau – Hornopirén debido principalmente al aumento de la estratificación termo-halina de la columna de agua. Algunos perfiles verticales de CTD, realizados durante el evento de 2024 que se extendió por 3 semanas aproximadamente (2-24 abril), muestran claramente este proceso y la acumulación de células en la capa

superficial, alcanzando valores cercanos a 20,000 cel. mL⁻¹, el 22 de abril, en canal Hornopirén (Figura 3). Estos perfiles muestran además que la concentración de clorofila *a* (medida a través del fluorómetro del CTD) no siempre es un indicador directo de la densidad celular de la especie objetivo, debido a la composición de pigmentos que esta pueda tener y la presencia de otras especies fitoplanctónicas. En cualquier caso, las concentraciones de clorofila superficial fueron muy altas alcanzando valores cercanos a 100 µg L⁻¹ en la estación 3 (Figura 3). Los máximos celulares de *H. akashiwo* registrados en superficie responden a la hora de muestreo (14:00 – 16:00h), debido a que esta especie tiene la capacidad de migrar verticalmente (Wada et al., 1985) y se agrupa en las capas superficiales durante las horas de mayor radiación donde es posible visualizar las manchas café superficiales (Figura 1). Este

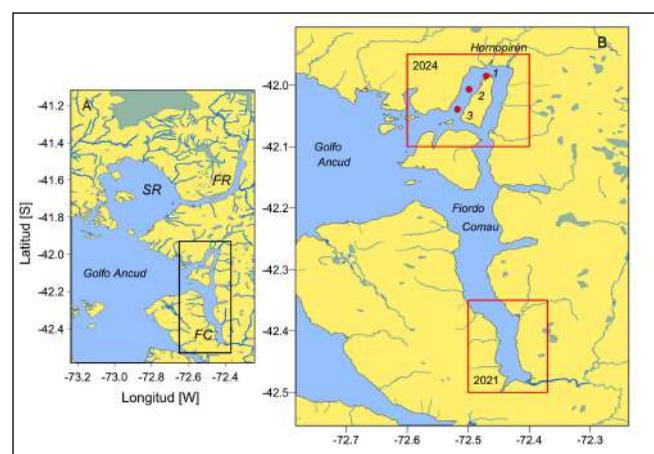


Figura 2: Área de estudio localizada en el mar interior de Chiloé (A) y sistema fiordo Comau – Hornopirén mostrando las zonas afectadas (rectángulos) por las floraciones de *Heterosigma akashiwo* en 2021 y 2024. Los círculos rojos indican la localización de tres estaciones monitoreadas en 2024.

comportamiento debe ser considerado cuando se diseñan estrategias de muestreo para estudiar esta especie.

La estratificación de la columna de agua ocurre cuando la densidad de la superficie del mar disminuye debido a cambios en la temperatura y salinidad del agua. En los fiordos y canales de la Patagonia la estratificación más intensa ocurre a finales del invierno e inicios de la primavera cuando la salinidad del agua disminuye debido al aporte de las aguas dulces derivadas del derretimiento glaciar. En ese momento se generan dos capas de agua de diferentes densidades favoreciendo el uso de los nutrientes acumulados en la superficie durante el invierno (Pérez-Santos et al., 2021). Así es como comienza la época productiva biológica dominada mayormente por el florecimiento de microalgas del grupo de las diatomeas, que en algunas ocasiones pueden generar mortalidades de peces debido a daños mecánicos en sus branquias. Por otro lado, cuando el aporte de agua dulce disminuye y avanzamos hacia el verano, la temperatura del agua se incrementa debido al aumento de la radiación solar,

contribuyendo nuevamente con la intensificación de la estratificación de la columna de agua debido a la disminución de la densidad del agua por el incremento de la temperatura superficial. Todo esto modulado por la clara tendencia climática observada en las últimas décadas en la Patagonia Chilena, caracterizada por veranos más cálidos y secos, los cuales generan variaciones locales en la fenología de algunos procesos físico-químicos y, en conjunto, crean el caldo de cultivo óptimo para la proliferación de este tipo de microalgas tóxicas (Cassis et al., 2002).

Si bien se ha avanzado bastante en la identificación y parametrización de los factores ambientales, tanto a escala global como local, que modulan los eventos de FAN, aún estamos lejos de poder predecir cuándo (en escala de días), donde (a escala de fiordos o bahías) y que especie proliferará. Se espera que, en los próximos años, estos eventos continúen aumentando debido a

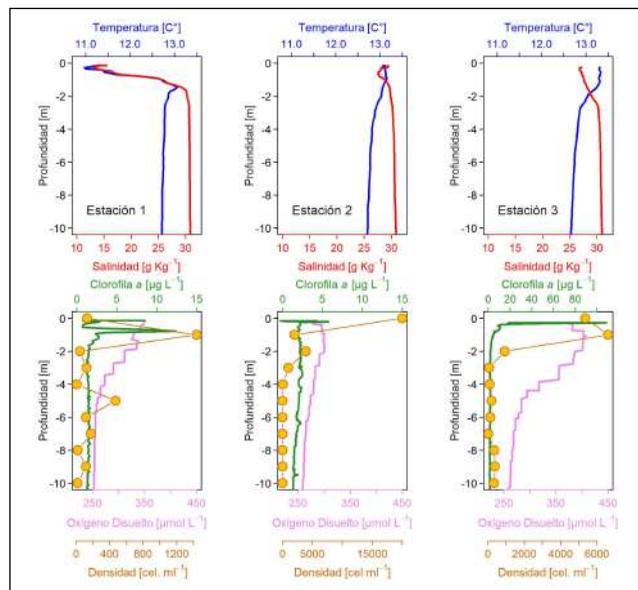


Figura 3: Perfiles verticales de condiciones hidrográficas entre superficie y 10 m de profundidad en las tres estaciones monitoreadas. Paneles superiores: Temperatura (°C) y salinidad (g kg⁻¹). Paneles inferiores: Oxígeno disuelto (µmol L⁻¹), clorofila a (µg L⁻¹) y densidad celular de *Heterosigma akashiwo* (cel. mL⁻¹).



Figura 4: Mecanismos de mitigación utilizados durante la floración de *Heterosigma akashiwo* de 2024. A) Cortina de burbujas; B) Aireación por surgencia.

especies de microalgas emergentes cuantificando sus potenciales impactos; iv) mejorar y diseñar nuevas medidas de manejo y mitigación (Figura 4); v) avanzar en modelos predictivos confiables y disponibles para todos los usuarios, considerando el nivel de las emergencias sanitarias registradas en la última década. Avanzar en cada una de estas acciones permitirá estar mejor preparados para afrontar los eventos futuros de FAN, que de acuerdo a la proyección climática seguirán en aumento en la Patagonia Noroccidental.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue financiado por el proyecto RTI10-22 “Floraciones Algales Nocivas de Alta Biomasa en Seno Reloncaví: Explorando las causas y potenciales impactos” del Concurso Interno de “Redes

las condiciones de emergencia climática actuales, donde la temperatura global ha ascendido por sobre los 1.5° C respecto a las condiciones del periodo pre-industrial (Díaz and Figueroa, 2023). En este sentido, Hallegraeff (2010) sugirió algunas respuestas que se pueden esperar frente al escenario del cambio climático global y planteó la hipótesis de que algunas especies de FAN pueden llegar a ser más competitivas, mientras que otras pueden disminuir considerablemente en áreas donde generalmente son recurrentes, es decir, que habrá “ganadores” y “perdedores”. Aunque todavía es temprano afirmarlo, el caso de *H. akashiwo* parece ser claramente una de las especies ganadoras, tal como lo sugirió Wells et al. (2015).

Considerando el escenario actual y futuro, es clave mantener y mejorar las acciones para enfrentar este tipo de episodios: i) mantener los programas de monitoreo ambiental activos todo el año; ii) fortalecer la colaboración público-privada para enfrentar los eventos FAN; iii) profundizar en la investigación básica realizando experimentos en terreno y laboratorios con

Territoriales de Investigación 2022” (Programa RTI) y el Observatorio Marino Reloncaví (OMARE), ambos de la Dirección de Investigación de la Universidad de Los Lagos.

REFERENCIAS

- Avaria, S., Cáceres, M., Muñoz, P., Palma, S., Vera, P., 1999. Plan nacional sobre floraciones de algas nocivas en Chile, Valparaíso, Chile, p. 31 p.
- Berdalet, E., Fleming, L.E., Gowen, R., Davidson, K., Hess, P., Backer, L.C., Moore, S.K., Hoagland, P., Enevoldsen, H., 2015. Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing: challenges and opportunities in the 21st century. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 96, 61-91.
- Berdalet, E., Kudela, R., Urban, E., Enevoldsen, H., Banas, N.S., Bresnan, E., Burford, M., Davidson, K., Gobler, C.J., Karlson, B., Lim, P.T., Mackenzie, L., Montresor, M., Trainer, V.L., Usup, G., Yin, K., 2017. GlobalHAB: A new program to promote international research, observations, and modeling of harmful algal blooms in aquatic systems. *Oceanography* 30, 70-81.
- Cassis, D., Muñoz, P., Avaria, S., 2002. Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén, Chile (45°26'S 73°00'W). *Rev. Biol. Mar. Ocenog.* 37, 43-65.
- Díaz, P.A., Álvarez, A., Varela, D., Pérez-Santos, I., Díaz, M., Molinet, C., Seguel, M., Aguilera-Belmonte, A., Guzmán, L., Uribe, E., Rengel, J., Hernández, C., Segura, C., Figueroa, R.I., 2019. Impacts of harmful algal blooms on the aquaculture industry: Chile as a case study. *Perspect. Phycol.* 6, 39-50.
- Díaz, P.A., Álvarez, G., Pizarro, G., Blanco, J., Reguera, B., 2022. Lipophilic toxins in Chile: History, producers and impacts. *Mar. Drugs* 20, 122.
- Díaz, P.A., Figueroa, R.I., 2023. Toxic algal bloom recurrence in the era of global change: Lessons from the Chilean Patagonian fjords. *Microorganisms* 11, 1874.
- Díaz, P.A., Pérez-Santos, I., Álvarez, G., Garreaud, R., Pinilla, E., Díaz, M., Sandoval, A., Araya, M., Álvarez, F., Rengel, J., Montero, P., Pizarro, G., López, L., Iriarte, L., Igor, G., Reguera, B., 2021. Multiscale physical background to an exceptional harmful algal bloom of *Dinophysis acuta* in a fjord system. *Sci. Total Environ.* 773, 145621.
- Díaz, P.A., Pérez-Santos, I., Basti, L., Garreaud, R., Pinilla, E., Barrera, F., Tello, A., Schwerter, C., Arenas-Urbe, S., Soto-Riquelme, C., Navarro, P., Díaz, M., Álvarez, G., Linford, P., Altamirano, R., Mancilla-Gutiérrez, G., Rodríguez-Villegas, C., Figueroa, R.I., 2023. The impact of local and climate change drivers on the formation, dynamics, and potential recurrence of a massive fish-killing microalgal bloom in Patagonian fjord. *Sci. Total Environ.* 865, 161288.
- Esenkulova, S., Suchy, K.D., Pawłowicz, R., Costa, M., Pearsall, I.A., 2021. Harmful algae and oceanographic conditions in the Strait of Georgia, Canada based on citizen science monitoring. *Front. Mar. Sci.* 8, 725092.
- Guzmán, L., Pacheco, H., Pizarro, G., Alárcon, C., 2002. *Alexandrium catenella* veneno paralizante de los mariscos en Chile, in: Sar, E.A., Ferrario, M.E., Reguera, B. (Eds.), *Floraciones Algas Nocivas en el Cono Sur Americano*. Instituto Español de Oceanografía, Madrid, pp. 235-255.
- Hallegraef, G., 2010. Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: A formidable predictive challenge. *J. Phycol.* 46, 220-235.
- Hallegraef, G., Enevoldsen, H., Zingone, A., 2021. Global harmful algal bloom status reporting. *Harmful Algae* 102, 101992.
- Kudela, R.M., Berdalet, E., Enevoldsen, H., Pitcher, G., Raine, R., Urban, E., 2017. GEOHAB—The Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms Program: Motivation, goals, and legacy. *Oceanography* 30, 12-21.
- León-Muñoz, J., Urbina, M.A., Garreaud, R., Iriarte, J.L., 2018. Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Sci. Rep.* 8, 1330.
- Mardones, J.I., Dorantes-Aranda, J.J., Nichols, P.D., Hallegraef, G.M., 2015. Fish gill damage by the dinoflagellate *Alexandrium catenella* from Chilean fjords: Synergistic action of ROS and PUFA. *Harmful Algae* 49, 40-49.
- Mardones, J.I., Paredes, J., Godoy, M., Suarez, R., Norambuena, L., Vargas, V., Fuenzalida, G., Pinilla, E., Arta, O., Rojas, X., Dorantes-Aranda, J.J., Lee Chang, K.L., Anderson, D.M., Hallegraef, G., 2021. Disentangling the environmental processes responsible for the world's largest farmed fish-killing harmful algal bloom: Chile, 2016. *Sci. Total Environ.* 766, 144383.
- Mardones, J.I., Paredes-Mella, J., Flores-Leñero, A., Yarimuzu, K., Godoy, M., Cascales, E., Espinoza, J.P., Norambuena, L., Garreaud, R., González, H.E., Iriarte, J.L., 2023. Extreme harmful algal blooms, climate change, and potential risk of eutrophication in Patagonian fjords: Insights from an exceptional *Heterosigma akashiwo* fish-killing event. *Prog. Oceanogr.* 210, 102921.
- Molinet, C., Lafón, A., Lembeye, G., Moreno, C.A., 2003. Patrones de distribución espacial y temporal de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoed) Balech 1985, en aguas interiores de la Patagonia noroccidental de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76, 681-698.
- Pérez-Santos, I., Díaz, P.A., Silva, N., Garreaud, R., Montero, P., Henríquez-Castillo, C., Barrera, F., Linford, P., Amaya, C., Contreras, S., Aracena, C., Pinilla, E., Altamirano, R., Vallejos, L., Pavez, J., Maulen, J., 2021. Oceanography time series reveals annual asynchrony input between oceanic and estuarine waters in Patagonian fjords. *Sci. Total Environ.* 798, 149241.
- UN DESA, 2023. The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition - July 2023. New York, USA: UN DESA. © UN DESA. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>.
- Wada, M., Miyazaki, A., Fujii, T., 1985. On the mechanisms of diurnal vertical migration behavior of *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae). *Plant and Cell Physiology* 26, 431-436.
- Wells, M.L., Trainer, V.L., Smayda, T.J., Karlson, B.S., Trick, C.G., Kudela, R.M., Ishikawa, A., Bernard, S., Wulff, A., Anderson, D.M., Cochlan, W.P., 2015. Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae* 49, 68-93.



Somos expertos en crear soluciones integrales enfocadas en las necesidades de nuestros clientes.

Nuestras áreas de experiencia incluyen:

Monitoreo ambiental y detección de floraciones algales nocivas (marea roja) para la salmonicultura, mitilicultura, laboratorios y universidades.

Equipamiento de microscopía y monitoreo ambiental de alta calidad y durabilidad seleccionados para el trabajo en centros de cultivo, wellboats y laboratorios.

Servicio técnico de reparación y mantención especializado en microscopía y equipos ópticos.

Capacitaciones en muestreo y análisis ambiental, correcto uso y mantención de equipos de monitoreo, y técnicas analíticas.

Test rápidos confiables y fáciles de usar para la detección de biotoxinas marinas en mariscos y agua.

**CERTIFICADOS
EN USA Y UK**

Asesoría, formulación y gestión de proyectos I+D+i.

Nuestro compromiso hacia los clientes es entregar todo el conocimiento y experiencia necesarios para maximizar la eficiencia en sus procesos, y la longevidad y operatibilidad de sus equipos.

www.aquabc.cl

contacto: team@aquabc.cl
+56 9 8131 5374



LA IMPORTANCIA DE LOS ACIDOS GRASOS OMEGA 3 Y LAS SEÑALES DE LA CIENCIA



Proyecto apoyado por
CORFO



Daniel Nieto Díaz-Muñoz PhD
¹ Gerente Programa Tecnológico PTEC-INVA.

www.inva.cl
 Salmones Antártica – Corfo

El año 2012 un interesante paper publicado en la Revista Chilena de Nutrición (Vol. 39, N°2, Junio 2012, pp 201-209; “El aceite de pescado: ayer un desecho industrial, hoy un producto de alto valor nutricional”) del destacado profesor Alfonso Valenzuela y colaboradores del INTA de la Universidad de Chile, Univ. de los Andes y P. Univ. Católica de Chile, resume de forma inmejorable el devenir de la relación entre el aceite de pescado y la industria humana y en la coyuntura actual merece ser puesto una vez más sobre la mesa: “El aceite de pescado es hoy día un valioso producto de alto valor nutricional. Pero esto no fue siempre así; el aceite de pescado que originalmente fue considerado un “segundo producto” de la fabricación de la harina de pescado, hoy es un producto de gran importancia en la nutrición animal. Este segundo producto, que se desechaba inicialmente, comenzó a ser utilizado en la fabricación de pinturas, barnices, resinas, entre otros y también esporádicamente como combustible. Más tarde comenzó a utilizarse en la fabricación de mantecas y margarinas, previa hidrogenación y posteriormente en la preparación de aceites comestibles mezclado semihidrogenado y fraccionado en diferentes proporciones con aceites vegetales. Sin embargo, el descubrimiento de las propiedades benéficas de los ácidos grasos Omega-3 que los aceites marinos contienen en alta proporción y su utilización en la preparación de alimentos para la acuicultura, ha transformado al aceite de pescado en un producto escaso, de alto valor comercial y de creciente demanda por sus propiedades nutricionales”.

EL TEMA DEL ACEITE, INDISPENSABLE Y REEMPLAZABLE A LA VEZ

En efecto, el aceite de pescado se transformó en un producto muy demandado y no sólo por la industria del alimento para la acuicultura; se usa también en otras industrias de la nutrición animal como pollos, cerdos, vacunos e incluso mascotas, por ejemplo, para los perros, industria que también crece en forma

meteórica en los últimos años. Y ni hablar de la demanda que viene desde la nutracéutica humana: el consumo de aceite de pescado puede disminuir la presión arterial, reducir el nivel de triglicéridos en la sangre o mejorar el colesterol y tiene también efecto antiinflamatorio por nombrar algunas de sus propiedades y beneficios. Y ante una demanda tan alta y creciendo, por la simple ley de la oferta y la demanda, en un escenario de pesquerías prácticamente estancadas, a mayor demanda e igual

(o menor) oferta, suben los precios. La tormenta perfecta. Este es el escenario que muestra la Figura 1, que representa la evolución de la pesca pelágica, la producción chilena de salmón y trucha y el precio internacional del aceite de pescado entre los años 1985 (por poner un inicio de la salmonicultura industrial) y 2023.

Para efectos conceptuales, la Figura 2 reduce a lo más elemental la relación entre las tres curvas de la Figura 1, por medio de sus respectivas regresiones lineales. Es precisamente esta situación la que ha llevado a la industria de alimentos para la acuicultura

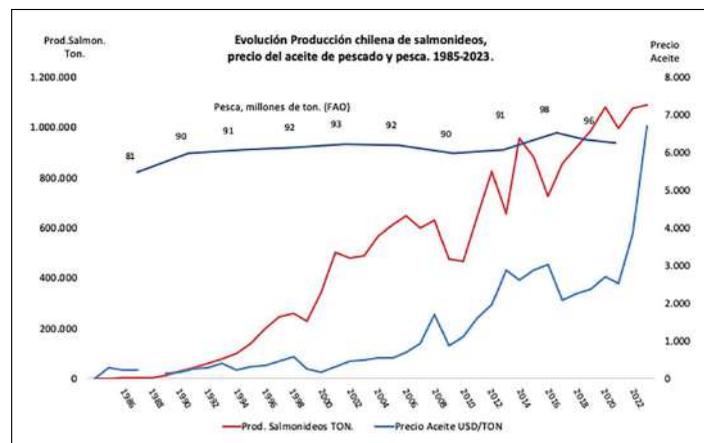


Figura 1: Evolución de la pesca pelágica (FAO; Mill.Ton/año), la producción chilena de salmón y trucha (Sernapesca; Ton. cosecha/año) y el precio internacional del aceite de pescado (Banco Central Perú; USD/Ton) entre los años 1985 y 2023

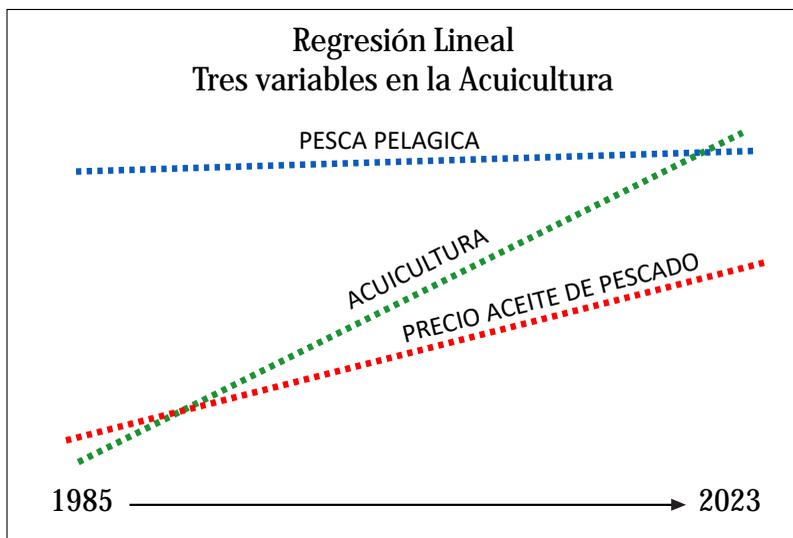


Figura 2: Regresiones lineales de los datos expuestos en la Figura 1.

y las instituciones de investigación, universidades, etc., no sólo en Chile sino en todo el mundo, a investigar y desarrollar nuevas fuentes de ácidos grasos Omega 3.

¿Qué es lo que subyace detrás de esta tendencia? En la medida que el aceite de pescado se volvía cada vez más demandado, más caro y más escaso, la industria de la alimentación para peces fue incorporando en la misma medida aceites vegetales, y los sistemas productivos no acusaron ningún problema, al menos en temas sanitarios ni en los tres parámetros productivos por excelencia: conversión, crecimiento y sobrevivencia a la cosecha. Pero llegó un momento en que se hizo notar la escasa proporción de aceite de pescado en la dieta: llegados a un 80 - 90% de reemplazo la aparición de focos de melanosis en los filetes fue una señal de alarma y evidentemente la industria reaccionó convenientemente deteniendo la baja en la tendencia del aceite de pescado.

Hoy sabemos que en el reemplazo de la fuente marina por fuentes vegetales como insumo para las dietas de los peces hay dos conceptos que se conocen con suficiente precisión: se puede reemplazar la harina de pescado, como fuente de proteína, incluso hasta un 100%, suplementando con los aminoácidos esenciales. Pero no se puede reemplazar el aceite de pescado en un 100% porque en el mundo vegetal no hay Omega-3 en la proporción que los salmones necesitan y, al

contrario, hay suficiente Omega-6 para que sus propiedades proinflamatorias se hagan visibles (Tabla 2, el caso de la canola) y la melanosis, manchas negras en el filete, es su primer e inequívoco signo.

La Tabla 1 da una idea de los valores que están en juego, partiendo por la referencia dada para diversos peces y luego los valores para la canola Aquaterra de Nuseed y la microalga AlgaPrime de Biomar. Estos dos últimos se mencionan más adelante a partir de tres papers recientemente publicados por la prestigiosa revista Aquaculture y que aportan fuertemente en la búsqueda de alternativas al aceite de pescado en tanto aporte de ácidos grasos Omega-3.

En resumen, la disponibilidad limitada de aceites marinos ricos en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) n-3 de cadena larga, principalmente ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5 n-3) y ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6 n-3) es una importante limitante para el crecimiento de la industria de la acuicultura. Pero esto no es definitivo y la biotecnología tiene la llave para abrir la puerta que lleva a la solución.

Un parámetro de referencia es el "Índice de Dependencia de la Pesca Pelágica" del GSI (Global Salmon Initiative) que representa la cantidad de unidades de peces pelágicos capturados para hacer una unidad de salmón. Hay un Índice para la harina y otro para el aceite; en el caso de este último, la Figura 3 muestra la evolución (2013-2024) de este índice y señala claramente el momento en que la industria salmonera, en todos los países en que se desarrolla, revirtió la baja del aceite de pescado. En el gráfico, la línea roja representa el promedio de las empresas en Canadá, Noruega, Escocia, Islas Faroe, y su vuelta a la tendencia a la baja les está

generando una ventaja competitiva, según se ve más adelante dada la recomendación de NOFIMA (Noruega) a utilizar canola Omega 3 (GMO), o bien aceite de microalgas. En los últimos años, las alternativas comerciales de aceite de algas están cada vez más disponibles.

En consecuencia, lo anterior significa que para crecer y prescindir totalmente (o casi totalmente en el corto-mediano plazo) del aceite de pescado se debe recurrir a la biotecnología: o se utilizan

ESPECIE	DHA g/100 g	EPA g/100 g
Trucha	8,6	4,5
Jurel	10,0	14,0
Sardina	10,0	16,0
Anchoveta	10,0	11,0
Atún	10,0	13,0
Salmón	10,8	7,0
Bacalao	12,0	11,0
PROMEDIO	10,2	10,9
Canola Omega 3 (a)	9,0	0,5
Microalgas (b)	29,1	0,3

(a): Com.pers. Pablo Berner, Nuseed.
 (b): Aquaculture 574 (2023) 739653.

Tabla 1: Proporciones de DHA y EPA en diferentes especies de peces, canola y microalgas. Fuente: Alfonso Valenzuela et al, 2012, Pablo Berner (Com Pers) y Kyla Meagan 2023.

los PUFA de microalgas, o se usa aceite de canola Omega 3 GMO u otros como la camelina GMO (*Camelina sativa*).

A este respecto el Instituto Noruego de Investigación en Alimentación, Pesca y Acuicultura NOFIMA ha venido estudiando sistemáticamente en los últimos años cuál es la respuesta de los salmones al uso de la canola (raps, colza) GMO, midiendo en peces en tres etapas de su desarrollo, tanto en estanques como en jaulas marinas, los parámetros productivos tasa de crecimiento, sobrevivencia y conversión de alimento, y muy especialmente focos de melanosis en los filetes (Bjarne Hatlen et al, 2022).

Una muy breve síntesis de las conclusiones de NOFIMA sobre el uso de la canola GMO es la siguiente: *“En conclusión, el aceite de canola con alto contenido de n-3 es una fuente eficiente de DHA y otros ácidos grasos n-3 para el salmón del Atlántico del tamaño de cosecha. El aumento del suministro dietético de DHA y otros PUFA n-3, por encima de los niveles mínimos requeridos para DHA, mejora la pigmentación del filete y reduce las manchas de melanina en el filete, sin comprometer el crecimiento de los peces.”*

Para hacernos una idea concreta de qué estamos hablando, la Tabla 2 muestra las diferencias entre una canola convencional y la canola GMO.

En este punto debemos destacar que bajo las estrictas normas

	Omega-3 Canola	Standard Canola
Perfil de Ác.Grasos, %		
Ácido Oleico (18:1 n-9)	40	63
N-6	7	19
N-3	34	9
N-6 : N-3	1:4	2:1
Perfil de N-3, %		
ALA (18:3 n-3)	20	9
EPA (20:5 n-3)	0,5	0
DPA (22:5 n-3)	1,5	0
DHA (22:6 n-3)	10	0

Tabla 2: Comparación entre ácidos grasos en la canola convencional y canola GMO. Fuente: Presentación Nuseed, Consejo Estratégico PTEC INVA; Junio 2024.



Figura 3: Valores para la dependencia pelágica referida al aceite, 2013 – 2023. La figura muestra el momento (2017-2018) en que la industria salmonera revierte la tendencia a bajar el aceite de pescado y reemplazarlo por aceite de raps (canola), soya, etc. Fuente: GSI, 2024.

del SAG el Programa PTEC INVA, en particular el cojecutor Saprosem, ha realizado dos temporadas de cultivo de canola GMO de semilla importada con excelentes resultados, tanto en cuanto a los criterios agronómicos de evaluación como de producción de aceite, lo que demuestra que podemos hacer esto en Chile y no depender del extranjero ya que la paradoja es que el aceite de origen canola GMO sí puede ser, y de hecho es, importando. Confiamos en

ir abriendo la ruta hacia una producción estable de canola y camelina GMO en el mediano plazo, basados en antecedentes técnicos y científicos y carentes de sesgo ideológico.

En cuanto a las microalgas, su aceite comienza a ser competitivo desde el punto de vista de los precios, lo que también es una buena noticia. El paper de Kyla Zatti et al (2023) entrega importantes resultados de su investigación con la especie *Schizochytrium* sp.

La Tabla 3 muestra el diseño experimental; los autores no informan los porcentajes de adición de cada fuente de Omega-3 pero muestra en qué medida se reemplazó la fuente de EPA+DHA.

En esta investigación, el nivel de DHA fue de 29,1 g/100g y de EPA fue de 0,3 g/100g (Zatti, Com.Pers). Respecto de las conclusiones de este paper, los autores citan lo siguiente:

- El reemplazo completo de aceite de pescado con aceite de microalgas (AlgaPrime) no tuvo ningún efecto perjudicial sobre la tasa de crecimiento, el consumo de alimento o la pigmentación.
- Los niveles altos de DHA y bajos de EPA en el alimento no afectaron negativamente la supervivencia, los parámetros de salud o la calidad del filete.
- La sustitución completa de aceite de pescado con AlgaPrime redujo significativamente los PCDD/F y DLPCB (dioxinas) en el pescado entero.
- Las dietas con AlgaPrime dieron como resultado concentraciones de DHA significativamente más altas en la carne de salmón, un beneficio para la salud humana.

Es interesante notar que este paper agrega una variable más a las razones que existen para reemplazar el aceite de pescado:

Fuente de Aceite	Dieta CONTROL	Dieta Exp. 1	Dieta Exp. 2	Dieta Exp. 3
Aceite de Pescado	100% EPA+DHA	50% EPA+DHA		
Aceite de Raps	X	X	X	
Aceite de microalga *		50% EPA+DHA	100% EPA+DHA	100% EPA+DH
Aceite de Lino				X

* Algaprime, BIOMAR

Tabla 3: Diseño experimental para determinar el impacto del reemplazo de aceite de pescado por aceite de microalgas *Schizochytrium* sp. (Zatti et al, 2023).

además de la sustentabilidad (no demandar pesca pelágica por parte de la acuicultura) y el costo, mencionan también la necesidad de reducir la ingesta semanal tolerable de contaminantes marinos (dibenzo-p-dioxinas y dibenzofuranos policlorados y bifenilos policlorados similares a las dioxinas).

Se desprende de lo anterior que las rutas alternativas a las fuentes marinas para seguir produciendo salmones sanos existen y cada vez se vuelven más importantes, más viables y más competitivas. Las fuentes de omega-3 provenientes de algas y de los vegetales GMO (canola, camelina) no solo reducirán la dependencia del aceite de pescado sino que además permitirá restaurar los niveles de Omega-3 de cadena larga en el salmón de cultivo.

Para quienes se interesan en estos temas, recomendamos estudiar estos tres papers (ver Literatura citada).

CONCLUSION

La ecuación es simple, a pesar de todo: (a) el salmón requiere de ácidos grasos Omega-3 en cantidades suficientes para su salud, crecimiento y bienestar; (b) también, por su parte, quien disfruta de un salmón en su mesa lo come por su sabor y su contribución a la salud dado su aporte en Omega-3; (c) la demanda por los Omega-3 en ambos casos es clara, conocida y en aumento; (d) la oferta desde las fuentes marinas es cada vez más cara y escasa; (e) el negocio de la acuicultura es bueno y según estimaciones de la FAO hacia el año 2050 éste debe crecer hasta prácticamente duplicarse. Ergo, como país y como industria estamos frente a una gran y hermosa oportunidad, el Programa Tecnológico PTEC INVA la ve clara y tiene entre sus misiones estimular todo aquello que signifique avanzar en las biotecnologías, sustentables y costo efectivas, que conduzcan a producir DHA y EPA en formas alternativas.

REFERENCIAS

El aceite de pescado: ayer un desecho industrial, hoy un producto de alto valor nutricional. Alfonso Valenzuela B., Julio Sanhueza C., Fernando de la Barra D. Revista Chilena de Nutrición Vol. 39, N°2, Junio 2012, pp 201-209.

Improved fillet quality in harvest-size Atlantic salmon fed high n-3 canola oil as a DHA-source. Bjarne Hatlen , Thomas Larsson, Tone-Kari Østbye , Odd Helge Romarheim , Laura Martínez Rubio, Bente Ruyter. Aquaculture 560 (2022) 738555.

Full replacement of fish oil with algae oil in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) – Debottlenecking omega 3. Kyla Meagan Zatti, Monica Juarez Ceballos , Victoria Valdenegro Vega , Vegard Denstadli. Aquaculture 574 (2023) 739653.

FAO. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. Hacia la Transformación Azul.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/05d1625-23c4-4030-a733-247b5a48b496/content>

A dose-response study with omega-3 rich canola oil as a novel source of docosahexaenoic acid (DHA) in feed for Atlantic salmon (*Salmo salar*) in seawater; effects on performance, tissue fatty acid composition, and fillet quality. Bente Ruyter et al, Aquaculture 561 (2022) 738733.

GSI (Global Salmon Initiative), 2024.
<https://globalsalmoninitiative.org/en/>

ACUASESORÍAS LTDA. y ACUADESIA LTDA.

SOLUCIONES TÉCNICAS

Y JURÍDICAS, EFICIENTES

Y OPORTUNAS, PARA

EL ADECUADO USO DE

LA ZONA COSTERA.

- Levantamientos geodésicos y elaboración de planos.
- Obtención, transferencia, arriendo y operación tanto de concesiones de acuicultura como marítimas.
- Estudios y tramitación de derechos de aprovechamiento de aguas.
- Solicitudes de operación, modificación y relocalización de concesiones de acuicultura
- Determinación de áreas y coordenadas geográficas para solicitar concesiones marítimas o de acuicultura.
- Defensa en juicios por infracciones a la Ley General de Pesca y Acuicultura.
- Cursos de capacitación.

www.acuadesia.cl
acuadesia@acuadesia.cl

www.acuasesorias.cl
acuasesorias@acuasesorias.cl



Puerto Montt O'Higgins 595, Dpto. 202 +56 6 5226 0626 / +56 9 6676 7410

Viña del Mar Avda. 1 Norte 1431 +56 32 288 1211 / +56 9 5199 7054

IMPORTANCIA EN LA GESTIÓN DE LAS AMPLIACIONES DE PLAZO PARA REINICIAR OPERACIONES DE CENTROS DE CULTIVO



Daniel Lissard Sepúlveda, Juan Francisco Toro Garrido y Marcelo Campos Larráin

Acuasesorías Ltda.

1 Norte 1431, Viña del Mar. Teléfonos: 32 2881211, +56 9 66767657
acuasesorias@acuasesorias.cl; www.acuasesorias.cl

Desde un punto de vista normativo, son varias las disposiciones que regulan el modelo productivo del cultivo de salmónidos en nuestra legislación. En este sentido, el proceso de engorda de estos peces (período entre la siembra de peces esmoltificados y la cosecha de peces cuando alcanzan la talla comercial), requiere de la utilización de espacios, que son bienes nacionales de uso público, denominados concesiones de acuicultura. En éstas, se exige una coordinación para cumplir con los periodos de descansos sanitarios, de tres meses de duración, y cuya posición en el tiempo configuran los periodos productivos, que corresponde al tiempo entre descansos sanitarios coordinados dando origen, en consecuencia, al período productivo; todo lo anterior, regulado de conformidad con el artículo 2, N° 70, del D.S. N° 319 de 2001 y sus modificaciones (1) del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (MINECON).

Lo descrito recientemente debe encajar con las disposiciones relativas al uso que se le debe dar a la concesión de acuicultura; es decir, el artículo 69 bis de la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), en su inciso tercero, indica expresamente lo siguiente respecto de la inactividad operativa de los centros de cultivo (centros que se emplazan dentro de su respectiva concesión de acuicultura): “(...) *podrá paralizar operaciones por dos años consecutivos, pudiendo solicitar, a la Subsecretaría de Marina (2) o de Pesca (3), en su caso, la ampliación de dicho plazo por el equivalente al doble del tiempo de operación que haya antecedido a la paralización, con un máximo de cuatro años*”. De esta manera, el titular de una concesión de acuicultura debe utilizarla para el objetivo productivo que le fue otorgado.

Por otra parte, la producción debe considerar los plazos y requisitos que derivan de las disposiciones del D.S. (MINECON) N° 319 de 2001 y sus modificaciones, en materias de densidades de cultivo y Porcentaje de Reducción de Siembra (PRS) que, en la práctica, establecen límites productivos y de uso de las concesiones de acuicultura en el sentido de imponer fechas específicas para declarar su uso.

Si bien existen excepciones relativas al tiempo que un centro de cultivo puede paralizar operaciones con base en razones sanitarias, en esta ocasión nos centraremos en la ampliación del tiempo que un centro de cultivo puede paralizar operaciones, teniendo como base lo dispuesto en el artículo 69 bis, inciso tercero, de la LGPA, copiado en el párrafo precedente.

IMPACTO EN LA INDUSTRIA

El cultivo de salmónidos requiere de la utilización de espacios en varios tipos de ambientes acuáticos como ríos (producción de alevines en pisciculturas), estuarios (proceso de esmoltificación que corresponde a una transformación fisiológica de los peces) y mar (etapa de crecimiento y engorda). De esta manera, las empresas productoras emulan las condiciones ambientales que salmones y truchas tienen en sus condiciones naturales y que requieren para su desarrollo. En el caso de los ambientes marinos, los proyectos se desarrollan en centros de cultivo emplazados en su respectiva concesión de acuicultura para llevar a cabo la engorda de los peces hasta alcanzar la talla comercial.

Las compañías que desarrollan este tipo de cultivos necesitan coordinar los aspectos operacionales y logísticos propios de esta actividad económica, teniendo presente las exigencias normativas. En este sentido, deben desarrollar actividades cuyos bordes configuran verdaderos sistemas con procesos que resultan ser de una alta complejidad y que para lograr ser exitosos es imperioso conocer.

Conforme con lo anterior, el tiempo otorgado por la LGPA (artículo 69 bis, inciso tercero) para paralizar operaciones (dos años más la posibilidad de ampliarlos por el doble de tiempo de la última operación por hasta un máximo de 4 años), resulta importante para la gestión desarrollada por este tipo de empresas, para alcanzar óptimos resultados sobre la base de sus objetivos en materia de desempeño ambiental y sanitario, como asimismo de cumplimiento de diversas otras disposiciones normativas.

Igualmente, los titulares de concesiones de acuicultura deben asegurar la continuidad de la producción teniendo presente la mantención de sus concesiones de acuicultura otorgadas, dando cumplimiento al objetivo por el cual se les otorgó; es decir, deben realizar la actividad de acuicultura.

GENERALIDADES DE LOS REQUISITOS NORMATIVOS

Como se ha mencionado, los titulares de concesiones de acuicultura, una vez terminada la cosecha de la totalidad de los peces, podrán paralizar hasta un máximo de 2 años sus operaciones hasta el inicio de la próxima siembra; esto es, 24 meses sin contar los 3 meses de paralización por descanso sanitario coordinado. Con base en la coordinación de todos los aspectos productivos, logísticos, cuidado del ambiente y disposiciones normativas, es común que sea requerida la ampliación de aquel tiempo, utilizando el periodo de la última operación del centro de cultivo (inciso tercero del artículo 69 bis de la LGPA), conforme lo permite la normativa.

El proceso se inicia con la presentación de una solicitud por parte del titular, ingresada ante Subsecretaría para las Fuerzas Armadas (SSFFAA); luego de esto, de manera general, existe una coordinación para la verificación de la última operación del centro de cultivo constatada con el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). Es importante que SSFFAA, encargada de otorgar o rechazar las solicitudes de ampliación de plazo para ampliar operaciones, verifique la información que entregan los titulares en cada una de las solicitudes (Figura 1).

Cabe tener presente que, la solicitud de ampliación de plazo para reinicio de operación debe ser ingresada antes que finalicen los 24 meses que un centro de cultivo tiene para paralizar operaciones. Entonces, desde la fecha de presentación ante Subsecretaría para las Fuerzas Armadas, da inicio al período de análisis de los antecedentes y de respuesta a través del respectivo acto administrativo.

Desde el punto de vista de las autoridades, el trabajo resulta complejo y exhaustivo debido a las exigencias que se deben considerar para confirmar que la última operación corresponde a una “operación efectiva” (tiempo efectivamente operado por el

centro de cultivo), conforme las disposiciones contenidas en el D.S. (MINECON) N° 383 de 2007 (4) y su modificación. Además, las autoridades deben corroborar que la operación ocurrió dentro de la concesión de acuicultura, en caso contrario, la operación podría no ser considerada como una de tipo efectiva.

Por su parte, desde el punto de vista de las necesidades de los titulares de concesiones de acuicultura, resulta importante el acto administrativo que otorga la ampliación para reiniciar operaciones porque, dicho documento otorga certezas sobre sus posibilidades a nivel de la gestión de sus proyecciones operativas en función de la disponibilidad de sus concesiones de acuicultura.

CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA GESTIÓN

Las empresas dedicadas al cultivo de salmones y truchas, en la gran mayoría de los casos, desarrollan el proceso de engorda hasta alcanzar la talla comercial de los peces en centros de cultivo emplazados en concesiones de acuicultura, otorgadas en ambientes marinos.

Dicha fase de cultivo se encuentra hacia el final de la cadena productiva que se inicia con la producción de ovas en ambientes dulceacuícolas. De esta manera y desde un enfoque productivo, su complejidad se refiere, entre otros, a los siguientes aspectos aplicables a lo largo de toda la cadena productiva:

1. La planificación de la producción;
2. La gestión de la capacidad de producción;
3. La mantención y gestión de los activos necesarios para el desarrollo de las actividades;
4. La coordinación de la cadena de suministros;
5. La gestión de los inventarios;
6. El diseño, desarrollo y mejora de los procesos;
7. La gestión de proyectos tendientes con la innovación y mejora continua; y,
8. Sostenibilidad ambiental y responsabilidad social.

A todo lo anterior, se debe sumar la dimensión del cumplimiento normativo en materias específicas de la acuicultura (cultivo de recursos hidrobiológicos); marco normativo que, además, tiene la característica de ser altamente dinámica.

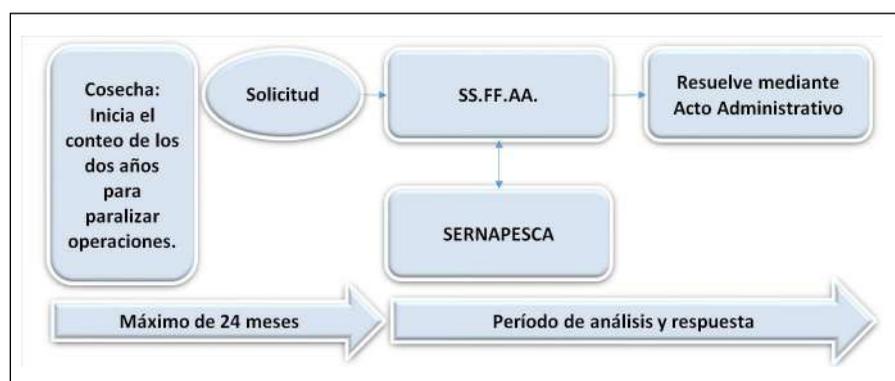


Figura 1: Procedimiento general relativo a la ampliación de plazo para volver a iniciar operaciones en centros de cultivo. Elaboración propia a partir del marco normativo para la acuicultura.

Las compañías salmonicultoras deben generar, mantener y mejorar sus sistemas para incrementar la calidad de sus resultados, para lo cual -en la gran mayoría de los casos- llevan a cabo procedimientos de control de sus procesos (control de gestión), para obtener mejores resultados a nivel de sus productos y de desempeño ambiental y sanitario.

PRINCIPALES CONCLUSIONES

Los titulares de concesiones de acuicultura, en sus procesos cotidianos, configuran amplios sistemas cuyos procesos deben incorporar la operación de sus concesiones de acuicultura y sus períodos de inactividad.

La gestión de los períodos de inactividad operativa, por parte de las empresas productoras, contribuyen a mejorar los objetivos relativos a los “descansos ambientales y sanitarios” para las concesiones de acuicultura, generando una tendencia hacia la reducción de los niveles de presión sobre los ambientes marinos en donde se encuentran emplazados. Asimismo, dicha gestión permite dar cumplimiento a las normativas referidas a la mantención de aquellas concesiones de acuicultura.

Es fundamental el óptimo funcionamiento del sistema y los organismos involucrados que se relacionan en los procesos que permiten otorgar ampliaciones de plazo para reinicio de operaciones.

El tiempo de respuesta por parte de la administración a las solicitudes de esta naturaleza es extremadamente extenso, por lo que esto se transforma en una de las variables críticas para una adecuada gestión de la operación de las empresas productoras. Este plazo de respuesta puede tomar varios años de tramitación, lo que genera un impacto negativo en la necesaria coordinación de los titulares de las concesiones de acuicultura en este tipo de materias.

Tanto inversionistas como productores necesitan de trámites que sean sencillos y expeditos, con respuestas entregadas de manera precisa, rápida y oportuna.

- 1 Reglamento de Medidas de Protección, Control y Erradicación de Enfermedades de Alto Riesgo para las Especies Hidrobiológicas, también conocido como RESA.
- 2 Actual Subsecretaría para la Fuerzas Armadas (SSFFAA), dependiente del Ministerio de Defensa Nacional.
- 3 Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.
- 4 Reglamento que fija los niveles mínimos de operación por especie y área de las concesiones de acuicultura.

REFERENCIAS

Decreto Supremo (MINECON) N° 430 de 1991 y sus modificaciones, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.892, de 1989 y sus modificaciones. Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA).
https://www.subpesca.cl/portal/615/articles-88020_documento.pdf

Decreto Supremo (MINECON) N° 319 de 2001 y sus modificaciones, que aprueba reglamento de medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo para las especies hidrobiológicas.
https://www.subpesca.cl/portal/615/articles-83903_documento.pdf

Decreto Supremo (MINECON) N° 383 de 2009 y sus modificaciones, que aprueba reglamento que fija los niveles mínimos de operación por especie y área de las concesiones y autorizaciones de acuicultura.
https://www.subpesca.cl/portal/615/articles-11973_documento.pdf



Créditos: Marcela Benelli Cuevas - Augusto Guidi Cabrera.



SALMON MAGALLANICO NAVEGANDO HACIA LA SOSTENIBILIDAD

En el último tiempo la industria salmonera de la Región de Magallanes ha dado fuertes pasos hacia la sustentabilidad. Su clasificación en el estudio Seafood Watch de una prestigiosa ONG norteamericana y otras certificaciones nacionales e internacionales que dan cuenta de un menor uso de antibióticos, entre otras variables, son parte de la evidencia científica que lo respalda. Avanzar en esa ruta junto con un mejor involucramiento en los desafíos de desarrollo regional ha sido parte de la estrategia de trabajo de la Asociación de Salmonicultores de Magallanes durante los últimos años.



"Somos conscientes de la responsabilidad que tenemos no sólo en dar trabajo, sino también del aporte que realizamos. Estamos muy orgullosos de generar empleo, pero nuestro compromiso de largo plazo no solo es económico, es social y medioambiental".

La Asociación de Salmonicultores de Magallanes representa a cinco empresas que operan en la región: MultiX, AquaChile, Australis, Cermaq y Blumar, que están ubicadas en las comunas de Punta Arenas, Puerto Natales, Río Verde y Porvenir. La industria salmonera tiene un fuerte impacto en la economía de la zona austral de Chile; el sector reúne a más de 4.400 trabajadores directos y el 85% de ellos son residentes de Magallanes.



ACUICULTURA E INNOVACION. FACTOR DE PROGRESO

Carlos Martínez F.

Cientista Político
Senior Fellow Atlas Network, Washington DC
Consultor en temas ambientales

camfcl22@gmail.com

En un mundo en el que los recursos naturales corren peligro y son escasos, sumado las amenazas de introducir nuevas variables por el cambio y que podrían afectar los ciclos y capacidad de los cultivos, surge la pregunta acerca de cómo se proveerá de alimentos a una población que crece y se prevé llegara a los 9.700 millones de habitantes para el año 2050.

En ese panorama el cambio climático seguramente planteará nuevos desafíos a la producción mundial de alimentos. Los últimos años sugieren que la humanidad está bien preparada para enfrentarlos apoyados en la ciencia la innovación y la inteligencia humana. Si agregamos la red internacional y la liberalización de los mercados, que permiten que los alimentos se trasladen de donde abundan a donde escasean, obtenemos un sistema alimentario global que puede enfrentar con éxito los desafíos que acecha en ese plano.

Adelantándose a ese nuevo escenario, Naciones Unidas ha realizado una estimación: en el año 2050, necesitaremos producir un 70% más de alimentos que en la actualidad para poder cubrir las necesidades de la población mundial. En ese contexto surge la pregunta de que esta haciendo Chile para ser un actor de importancia. Un país que tantas veces hemos definido como "Potencia Alimentaria". Así ante dicho desafío la Innovación es urgente y necesaria. Es en ese contexto que la Industria del salmón con toda la evolución que ha tenido en el país convirtiéndola en el segundo producto de exportación de Chile al mundo y segundo productor a nivel mundial, puede responder a estas necesidades de alimentación mundial.

Esta industria no ha estado exenta de problemas, pero la innovación como motor de ella, ha ido introduciendo mejoras en su gestión, principalmente en lo que dice relación con la sustentabilidad de sus procesos, uno de los aspectos que le han sido más cuestionados.

La innovación en la creación y producción de alimentos ha sido un factor clave en el progreso del hombre. Desde que el primer ser humano colocó la mano sobre un arado e intervino la tierra

vivimos un proceso de creación de alimentos fruto de la genialidad humana. Para comprender este proceso en un contexto histórico es muy iluminadora leer la obra "Huellas en la playa de Rodas" de Clarence Glacken (1).

Ello no habría sido posible sin el ingenio humano. Yendo a los orígenes de la historia, fueron los habitantes de Jericó quienes llevaron a cabo la Primera Revolución Agrícola en el Neolítico. Ahí hay un punto decisivo en la historia de nuestra especie, pues ello cambió sustancialmente la forma en que vivimos. Al producir un excedente de alimentos que podrían almacenarse para tiempos de necesidad o intercambiarse por otros bienes. Ellos notaron que las plantas comestibles germinaban en lugares donde las semillas de esas plantas habían sido dispersadas antes.

Este proceso notablemente bien descrito por la historiadora Chelsea Follet en su obra "Center For Progress", Esa revolución significó que los hombres pudieran producir suficiente comida para dejar atrás su antiguo estilo de vida de cazadores-recolectores (2).

Hasta ahora, la historia del crecimiento económico ha demostrado que la alteración de la superficie de la tierra mediante la voluntad y el ingenio humanos es mucho más beneficiosa que perjudicial para las perspectivas de bienestar humano. El suministro de nutrición per cápita, que se ha expandido masivamente desde la revolución industrial mediante el aumento de la producción agrícola, es un insumo necesario para el progreso tecnológico, científico y económico que ha mejorado la expectativa de vida humana. Pero la exponencial demanda de alimentos, las limitaciones de espacios, así como las restricciones en la producción de la agricultura, especialmente la crianza de animales llevo a mirar el mar como lugar de producción para producir alimentos. Así surge la acuicultura.

La acuicultura, será un factor que va a fomentar el asentamiento humano tanto como lo hizo la agricultura. Es en Budj Bim en el sureste de Australia en un volcán inactivo, cuya lava seca dio forma a una serie de canales, presas, muros y diques artificiales

que pueden representar el sistema de acuicultura más antiguo de la humanidad. Así lo considera la historiadora del progreso Chelsea Follet en la obra ya citada (3).

Algunas formas de acuicultura, como la cría de peces y anguilas implicaron la cría de animales, siendo ello un gran avance en la seguridad alimentaria. Después de todo, los animales son más difíciles de manejar que las plantas fijas, pero también son una mejor fuente de proteínas.” Las granjas de acuicultura constituían el pilar de la dieta de los gunditjmara y un producto para comerciar con otros grupos de clanes. En otras palabras, la acuicultura era el motor básico de su economía y su cultura” dice Follet (4).

En 2019, la UNESCO declaró el paisaje cultural de Budj Bim como Patrimonio de la Humanidad, señalando que “la acuicultura actuó como base económica y social de la sociedad Gunditjmara durante (al menos) seis milenios”.

La acuicultura moldeó la sociedad humana primitiva en algunas zonas del mundo tanto como lo hizo la agricultura en otras, fomentando el asentamiento permanente. El enorme complejo de acuicultura de Budj Bim ejemplifica las formas innovadoras en que los humanos han moldeado sus entornos físicos para combatir el hambre. Las ruinas de Budj Bim son más antiguas que las pirámides egipcias.

Algunas de las criaturas acuáticas eran conducidas a redes tejidas a mano para su recolección inmediata, y otras eran guiadas a estanques o corrales de retención para ser recolectadas más tarde. En total, había al menos 70 sistemas de acuicultura funcionales. En esos estanques artificiales, las anguilas enjauladas engordaban, alimentándose de insectos locales, caracoles de agua, ranas y peces pequeños, hasta que llegaba el momento de ser comidas.

Durante milenios el sistema de acuicultura produjo un suministro confiable de alimentos, y todavía estaba en uso cuando los británicos llegaron al área en el siglo XIX y proporcionaron los primeros informes escritos de las elaboradas instalaciones con paredes de piedra. Otros ubican la acuicultura en China. 4 mil años AC. Desde donde se habría extendido hacia el resto del mundo.

La necesidad de producir alimentos para satisfacción de la población tiene un impacto multiplicador de actividades conexas enormes. De eso la agricultura y la acuicultura en Chile tiene muchos ejemplos para mostrar. Infraestructura, desarrollo de la navegación, producción de alimentos. La acuicultura genera nuevas plantaciones para producir alimentos, de los peces, la fertilización alcanza éxitos y avances no conocidos en la agricultura, la tecnología y mecanización en los procesos de cultivo y cosecha en ambas actividades Impacto en el empleo y en la incorporación de hombre y mujer por igual dan fe las estadísticas de empleo. Así en la historia del pasado la pesca y la agricultura fomentaron el comercio de sus productos fueron factor de desarrollo de caminos e infraestructura en Roma, conectando todo Europa por

rutas que existen hasta el presente, o las necesidades de riego permitieron una ingeniería muy prematura, cuyos avances sorprenden hasta el presente. La necesidad de transportar productos por mar desarrolló una ingeniería naval, en lugares tan desconocidos como Nan Madol, en Micronesia, donde se asentaron entre el 3 mil y 1 mil A. pueblos de Austronesia, situadas en el océano Pacífico occidental.

Esta es un ejemplo más del ingenio de los primeros navegantes y del amplio alcance de su exploración. Poder transitar por los mares les abrió un nuevo horizonte, y nuevas necesidades de alimentación como de comercio con estos productos. La invención de embarcaciones fue objeto de un proceso a lo largo de años que permito pasar de la navegación fluvial a la navegación oceánica. Desarrollaron entre otros la técnica de los catamaranes, Los austronesios también compartieron un conjunto común de técnicas agrícolas y crianza de animales, como pollos, cerdos y perros, y cultivaban muchas de las mismas plantas, entre ellas plátanos, cocos, árboles del pan, ñames y taro. Transportaban semillas y animales en sus barcos durante sus migraciones marítimas. Según historiadores sostienen que, introdujeron papas de América del Sur en las islas del Pacífico y el sudeste asiático alrededor del año 1000 d. C.-1100 d. C.

Tras una enorme evolución hoy la agricultura produce más alimentos y de mejor calidad en menos extensiones de tierras que en el pasado. Se complementa con la acuicultura tanto en cantidad como en calidad de los alimentos, como también en función de la protección del medioambiente, al producir proteínas que no vienen de animales que contribuyen con sus gases al calentamiento global.

En Chile la acuicultura desarrolló la industria del Salmón, produciendo una proteína animal que requiere poco espacio para su crecimiento. Utiliza 28 veces menos espacio que la producción de vacuno, requiere 11 veces menos agua y sus emisiones son muchísimo más bajas. Esto sumado a lo saludable y exquisita que resulta su carne.

La acuicultura ha sido un factor de complementación de la agricultura en la producción de alimentos. Incluso hoy es posible encontrar una operación conjunta entre ambas actividades, recuperando una milenaria tradición China al producir alimentos de manera conjunta, en lo que se conoce como, y que son plantaciones de arroz y peces en conjunto. Los peces son criados en los arrozales.

Este sistema de cultivo y cría de peces utilizando los arrozales ofrecen protección y alimento orgánico, así como los peces ablandan el suelo y ofrecen nutrientes y oxígeno al grano. Estos obtienen un entorno de vida seguro en plantas de arroz densas. A cambio, los peces protegen el arroz de los insectos y hacen circular el oxígeno por la granja según explica la FAO en el informe “Cultivando arroz y peces, una tradición china de más de 1.000 años” (5).

Así poco a poco, como en otros ámbitos donde la sustentabilidad y la necesidad de satisfacer demandas crecientes, se aprecian desarrollos que hace ser optimista frente al futuro del mundo y sus necesidades alimentarias. Pro estas actividades y sus actores requieren un ordenamiento jurídico adecuado, un sistema de estado derecho que opere potenciando la innovación en un ambiente de certeza jurídica.

La Acuicultura hoy se ha convertido en el segundo producto de exportación de Chile, y gracias a la tecnología que permitió acotar los espacios utilizados para criar a los salmones, según señala un informe de Salmon Chile “hoy se puede obtener un recurso sustentable y respetuoso con el medio ambiente, transformándolo en una fuente de proteína clave en el futuro” (6).

Los centros de cultivo representan menos del 0.004% del mar patrimonial chileno. Además, menos del 0,01 % de los millones de hectáreas están bajo esquemas de protección y brindan cerca de un millón de toneladas de salmón a las personas. Esto quiere decir que, utilizando pocos recursos a nivel marino, se puede alimentar a un gran número de personas, lo que transforma al salmón en un recurso sustentable desde este punto de vista. Hoy podemos alimentar a más personas y preservar la biodiversidad mejorando la productividad de alimentos mediante nuevas formas de producción. Es posible alimentar a la población mundial con una dieta sana y nutritiva.

Esto ha sido un factor de desarrollo del sur austral chileno, generando un incremento del empleo directo y una baja del desempleo a nivel del promedio nacional en estas zonas. También es una alternativa para las mujeres que no existía antes de la llegada de esta industria a la zona generando espacio de trabajo antes inexistentes. Podemos así decir que es una industria con perspectiva de género.

Así como la acuicultura fue un factor de asentamiento y de innovación para la población en los orígenes de las actividades productivas y de alimentos, hoy podemos decir que la acuicultura es un factor de innovación para el país, que le permite contribuir a una alimentación de calidad en un mundo que cada vez demandas mas alimentos nutritivos y de una producción sustentable, siendo así un factor de crecimiento y progreso para el sur de Chile; cuyas actividades eran bastante imitadas 30 años atrás, al inició de la acuicultura en estas zonas.

Re imaginar cómo y dónde cultivamos nuestros alimentos puede marcar la diferencia para nuestro futuro Es hora de ponernos a trabajar. Dice The Nature Conservancy en su informe “Aquaculture Critical for Feeding the World in a Changing “ (7) a propósito de la acuicultura.

Una imagen de optimismo que podría ser sacada de un film de ciencia ficción será pronto posible Los tractores arando campos agrícolas sin conductor, guiados por satélites y iPhones. Los robots alimentados con energía solar cuidan las plantas en el

suelo como si fueran Roombas gigantes para exteriores, mientras que los drones vuelan por encima para rociar los cultivos. Así parece ser el futuro de la agricultura en países desarrollado.

En Chile también esta en el horizonte la implementación de tecnología de punta. ¿Y por qué no a la acuicultura? que hoy es posible manejar con robótica desde una oficina a muchos kilómetros de distancia sus operaciones, y dejando la extensa mano de obras para actividades donde no sea sustituible El uso de nanotecnologías y nano moléculas, sistemas innovadores de crianza de salmones, nos muestran que ambas actividades son complementarias produciendo alimentos sustentables y de gran valor nutritivo a escalas de producción superiores a las hasta ahora conocidas.

Es posible alimentar a la población mundial con una dieta sana y nutritiva, pero para ello debemos asegurarnos de diversas opciones de producción de estos con tecnología y métodos modernos que sabemos que salvan vidas reducen la pobreza. Existe una importante literatura optimista respecto a los avances y el progreso en el cual podemos contextualizar lo que hemos descrito. Interesante mirar “En Defensa de la Ilustración” de Steven Pinker, o de Joan Norberg “Open: The Story of Human Progress” 8.

BIBLIOGRAFIA

1. Clarence J. Glacken “Huellas en la playa de Rodas: naturaleza y Cultura en el pensamiento occidental desde la antigüedad hasta finales del siglo XVIII “. Ediciones del Serbal, Barcelona 1996.
2. Chelsea Follet “Center For Progress”, en proceso de edición. Washington DC 2024
3. Ibid
4. Ibid.
5. “Cultivando arroz y peces, una tradición china de más de 1.000 años” FAO 2017.
6. ¿Sabías qué? La salmonicultura utiliza menos de 0.004% del mar territorial chileno “Informe Salmonchile Febrero 2022.
7. Aquaculture Critical for Feeding the World in a Changing. The Nature Conservancy. Enero 2022
8. Pinker Steven “En defensa de la Ilustración:por la razón, la ciencia, el humanismo y el progreso” Paidos, Bogotá 2021 y Norbert Joan “Open: The Story of Human Progress”Washington DC 2020.

EFFECTO DE LA VARIACIÓN DE SALINIDAD EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE JUVENILES DE LISA *Mugil cephalus* (LINNAEUS, 1758)



Sebastián Messina-Henríquez ^{1,2,4}, Natalia Godoy ², Katherina Brokordt ², Edison Serrano ³, Germán Merino ⁴, Gabriele Lara ⁵, Claudio Álvarez ^{2,3}

¹ Magister en Acuicultura Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.

² Laboratorio de Fisiología y Genética Marina (FIGEMA), Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.

³ Laboratorio cultivo de Peces, Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.

⁴ Laboratorio de Bioingeniería, Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.

⁵ Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso 2373223, Chile

Mugil cephalus Linnaeus, 1758, conocido como lisa, es un pez cosmopolita eurihalino presente en las costas y estuarios de Chile. La lisa tiene la característica de ser anfidroma y tolerar un amplio espectro de salinidad, que va desde las 0 psu hasta las 126 psu (Whitfield et al. 2012). En Europa, Asia y África, su cultivo se realiza de forma semi-extensiva, generalmente mediante la captura de juveniles del medio natural para su mantenimiento en sistemas de cultivo en tierra. En Chile, en los últimos cuatro años, ha surgido interés en desarrollar la tecnología de cultivo para *M. cephalus* orientada a la producción de botarga, un producto obtenido de la deshidratación y salazón de las gónadas de la lisa.

Se ha descrito que los juveniles y adultos de *M. cephalus* pueden adaptarse y tolerar un amplio espectro de salinidad (Gutiérrez-Benítez, 2004). Sin embargo, debido a su amplia distribución mundial, se ha observado que tanto la conducta migratoria como los rangos de tolerancia son específicos de cada población (Cardona, 2006). Para las poblaciones de *M. cephalus* en Chile, los rangos de tolerancia a la salinidad no están bien definidos, y en general, no se han descrito los efectos de la salinidad en el crecimiento a distintas salinidades (Whitfield et al. 2012). Esta información es crucial para establecer una salinidad de cultivo que garantice la eficiencia en el cultivo de esta especie.

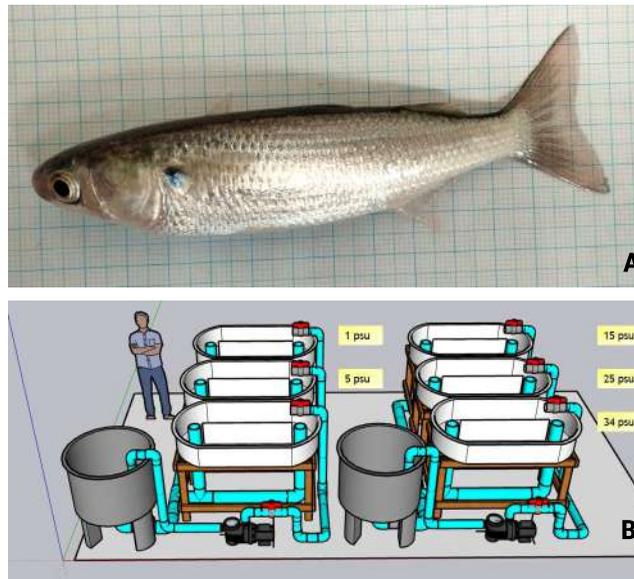


Figura 1: a) Juvenil de *Mugil cephalus* capturado en Bahía Tongoy. b) Distribución de estanques de cultivo tipo race-way aclimatados a distintas salinidades

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la salinidad en la supervivencia, índice de condición y en el crecimiento de juveniles de *Mugil cephalus* capturados en la cuarta región.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Se utilizaron 233 juveniles de *Mugil cephalus* con un peso inicial de $22,8 \pm 0,5$ g y una longitud inicial de $12,7 \pm 0,6$ cm capturados del medio natural en Bahía Tongoy, Región de Coquimbo Chile. Los peces fueron distribuidos en 5 estanques tipo race-way de 480 L a una densidad inicial de $1,9 \pm 0,1$ kg/m³ (Figura 1). Cada

estanque fue aclimatado a una salinidad específica: 1 psu, 5 psu, 15 psu, 25 psu y 34 psu. El procedimiento de aclimatación a las salinidades consistió en disminuir la salinidad del estanque en 5 psu cada 12 horas hasta alcanzar la salinidad de estudio. Los peces fueron mantenidos durante 125 días en estas condiciones de salinidad.

Durante este periodo, los peces fueron alimentados con el equivalente al 1% de la biomasa total utilizando una dieta comercial formulada para peces marinos de la marca Skretting, Supreme RC100 (45% proteínas, 20 % lípidos). Diariamente se monitoreo la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto en el agua mediante el uso de un multiparámetros HACH modelo HQ40D.

Se realizaron muestreos al inicio y al final del experimento, que consistieron en análisis

de población y mediciones biométricas para luego obtener indicadores de crecimiento.

RESULTADOS

La supervivencia fue mayor al 90% en todas las salinidades. Se alcanzó un 100% de sobrevivencia en la salinidad de 5 psu, 15 psu, 25 psu y 34 psu. Mientras que a la salinidad de 1 psu se obtuvo la supervivencia más baja correspondiendo a un 92% (Tabla 1).

Los datos biométricos al termino del bioensayo, revelaron que no hubieron diferencias significativas en relación al peso y talla promedio final, entre individuos mantenidos a diferentes salinidades de cultivo (Figura 2).

No obstante, si hubo diferencia en la ganancia de biomasa total, ya que se observó que en la salinidad de 34 psu la biomasa total al termino del experimento fue de 1,33 Kg, equivalente a un aumento del 41% en peso, mientras que a la salinidad de 1 psu se alcanzó una biomasa total de 1,05 Kg, equivalente a un incremento de solo 9% en peso (Tabla 1).

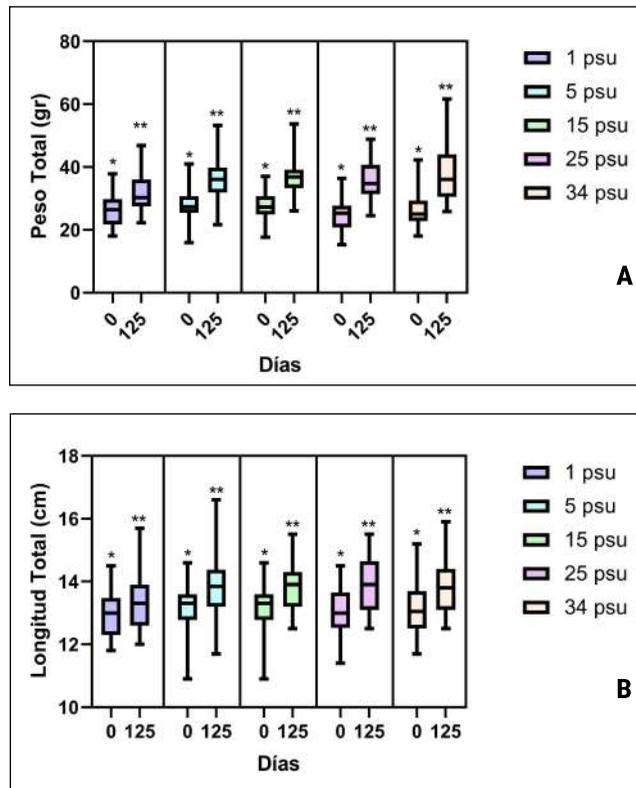


Figura 2: Indicadores de crecimiento y bienestar de Juvenil de *Mugil cephalus* mantenidos durante 125 días a distintas salinidades: a) Peso total (gr). b) Talla total (cm).

DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó el efecto de diferentes salinidades en el crecimiento y supervivencia de juveniles de *Mugil cephalus* durante un periodo de 125 días. Los resultados indican que los juveniles de lisa en las costas de Chile muestran una alta capacidad de adaptación a salinidades que varían entre 1 psu y 34 psu. Este hallazgo es concordante con datos obtenidos en otras poblaciones de *Mugil cephalus* en diferentes regiones del mundo, como Sri Lanka (De Silva & Perera, 1975), India (Barman et al., 2005), Sudáfrica (Marais, 1978), el Mediterráneo (Cardona, 2005) y el Golfo de México (Ibañez & Gutiérrez, 2004). La amplia tolerancia a las variaciones de salinidad se atribuye a cambios rápidos en la estructura osmorreguladora en los tejidos branquiales (bomba Na⁺/K⁺) y a un sistema

pituitario /interrenal que permite mantener los electrolitos plasmáticos, con mayor actividad en condiciones de agua dulce que en agua de mar (Whitfield et al., 2012; Johnson, 1972).

Aunque no se encontraron diferencias significativas en el peso y la talla final entre los diferentes tratamientos de salinidad, la mayor biomasa se observó a una salinidad de 34 psu. Este resultado sugiere que una salinidad más alta podría favorecer la eficiencia

Tabla 1: Indicadores de crecimiento y supervivencia de juveniles de *Mugil cephalus* cultivados a diferentes salinidades.

Salinidad (PSU)	Tiempo (días)	n	Peso total (gr)	Longitud total (cm)	Biomasa Total (Kg)	Densidad (kg/m ³)	Índice de condición	Crecimiento Biomasa Total (%)	TCE Peso (%/d)	TCE Longitud (%/d)	% Supervivencia
1	0	36	26,1 ± 4,9	12,9 ± 0,7	0,96	1,9	1,1 ± 0,7				
	125	33	31,6 ± 6,0	13,3 ± 0,8	1,05	2,1	1,3 ± 0,1	9%	0,16	0,04	92%
5	0	36	27,0 ± 4,9	13,0 ± 0,8	1,01	2,0	1,1 ± 0,1				
	125	36	35,9 ± 6,5	13,7 ± 0,9	1,29	2,6	1,3 ± 0,1	28%	0,22	0,04	100%
15	0	34	27,8 ± 4,7	13,2 ± 0,8	0,97	1,9	1,1 ± 0,1				
	125	34	36,0 ± 6,3	13,8 ± 0,7	1,29	2,6	1,3 ± 0,1	32%	0,23	0,03	100%
25	0	30	25,1 ± 4,8	13,0 ± 0,8	0,94	1,6	1,1 ± 0,1				
	125	30	35,6 ± 6,5	13,8 ± 0,8	1,18	2,4	1,1 ± 0,1	25%	0,28	0,05	100%
34	0	35	26,1 ± 5,2	13,1 ± 0,8	0,94	1,9	1,1 ± 0,1				
	125	35	37,8 ± 8,5	13,8 ± 0,8	1,33	2,7	1,4 ± 0,2	41%	0,30	0,04	100%

de la conversión alimenticia y el crecimiento en *M. cephalus* en las costas de Chile. Este hallazgo es consistente con el estudio de Marais (1978), quien encontró que ejemplares de *M. cephalus* de la bahía de Puerto Elizabeth, Sudáfrica mostraron menores tasas metabólicas y mejores tasas de crecimiento a una salinidad de 35 psu. Sin embargo, difiere de los resultados de De Silva & Perera (1975) y Barman et al. (2005), quienes reportaron tasas de crecimiento óptimas en salinidades de 20 psu y 10 psu, respectivamente.

Diferencias en la salinidad óptima entre poblaciones de lisas han sido descritas previamente. Por ejemplo, las poblaciones de *M. cephalus* del Atlántico Norte, Mar Negro, Mediterráneo y Golfo de México prefieren áreas oligohalinas (0-5 psu), mientras que las poblaciones del Indo-Pacífico muestran un rendimiento de crecimiento pobre en agua dulce y oligohalina, prefiriendo agua mesohalina (5-18 psu), polihalina (18-30 psu) o euhalina (>30 psu) (Cardona, 2005).

Para obtener una comprensión más integral de las capacidades adaptativas de *M. cephalus* en poblaciones de Chile, se requiere continuar con estudios que analicen los mecanismos fisiológicos de osmorregulación, como la determinación de la tasa metabólica o la cuantificación de la actividad de la Na^+/K^+ -ATPasa en tejidos osmorreguladores a diferentes salinidades. No obstante, los hallazgos obtenidos en este primer trabajo, son significativos para el desarrollo base de tecnologías de cultivo de *Mugil cephalus* en Chile, ya que proporcionan información relevante para optimizar los procesos y condiciones de cultivo de esta especie.

CONCLUSIÓN

Este estudio demuestra que es posible acondicionar juveniles de *Mugil cephalus* capturados del ambiente natural para su cultivo con alimento formulado, y que estos pueden ser aclimatados y mantenidos a diferentes salinidades. Además, el procedimiento de cambio de salinidad gradual garantizó la supervivencia de los juveniles a las distintas salinidades. No obstante, a medida que disminuye la salinidad, también lo hace el crecimiento.

REFERENCIAS

- Barman, U. K., Jana, S. N., Garg, S. K., Bhatnagar, A., & Arasu, A. R. T. 2005. Effect of inland water salinity on growth, feed conversion efficiency and intestinal enzyme activity in growing grey mullet, *Mugil cephalus* (Linn.): Field and laboratory studies. *Aquaculture International*, 13(3), 241–256. doi:10.1007/s10499-004-2479-5
- Cardona L., 20056, Habitat selection by grey mullets (Osteichthyes: Mugilidae) in Mediterranean estuaries: the role of salinity., *Sci Mar* 70:443–455
- De Silva S. & Perera P., 1976. Studies on the young grey mullet *Mugil cephalus*: Effects of salinity on food intake, growth and food conversion, *Aquaculture*, 7(1976) 327-338.
- Gutierrez-Benitez O. 2004. Climate variables and spawning migrations of the striped mullet and white mullet in the north-western area of the Gulf of Mexico. *J Fish Biol* 65:622–631
- Johnson DW, McClendon E., 1970. Differential distribution of striped mullet, *Mugil cephalus* Linnaeus. *Calif Fish Game* 56(2):138–139
- Marais J., 1978. Routine oxygen consumption of *Mugil cephalus*, *Liza dumerili* and *L. richardsoni* at different temperatures and salinities. *Mar Biol* 50:9–16
- Whitfield A., Panfili J., Durand J., 2012. A global review of the cosmopolitan flathead mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex, *Rev Fish Biol Fisheries* (2012) 22:641–681 DOI 10.1007/s11160-012-9263-9

AGRADECIMIENTOS

La investigación fue apoyada y financiada por los proyectos semilla UCN 20220807015 Fondef ID21110088 y SIBIOLATPlus P422RT0090

CONTACTO

Larrondo 1281, Coquimbo
 Universidad Católica del Norte
 Sebastian.messina@alumnos.ucn.cl

AMPLIAMOS NUESTRA FLOTA

NUEVO BARCO PARA IMPULSAR TU CRECIMIENTO

Expandimos nuestra flota para ofrecer un **servicio más eficiente y robusto a la industria salmonera**. De esta manera, con la entrega de soluciones de combustibles vía marítima, suministro de energía eléctrica, instalación de paneles solares, lubricantes de alta calidad y sistemas de monitoreo en línea, reafirmamos nuestro compromiso para **potenciar el desarrollo y movimiento de las personas, las empresas y el país**.

**COPEC**

COPEC INTRODUCE NUEVAS SOLUCIONES PARA LA INDUSTRIA SALMONERA EN EL SUR DE CHILE

COPEC



Coproc ha presentado su nuevo barco Agustinas, diseñado para mejorar el suministro de combustible a la industria salmonera en el sur de Chile. Esta iniciativa busca optimizar la logística y eficiencia en una región clave para la producción de salmón.

INNOVACIÓN Y DESARROLLO

Comprometida con el desarrollo de las personas, las empresas y el país, Coproc avanza para ofrecer una gama completa de soluciones energéticas. Además de la distribución de combustibles, lubricantes y diversas soluciones energéticas, la empresa potencia diversas soluciones en el sector marítimo, especialmente en la industria salmonera. Su oferta integral busca mejorar la producción y eficiencia de sus clientes en Chile.

BARCO AGUSTINAS: UN NUEVO PILAR

El barco Agustinas ha sido diseñado específicamente para el suministro de combustible a las empresas salmoneras en el sur de Chile. Con 18 metros de eslora y 6 metros de manga, tiene la capacidad de transportar hasta 70 m³ de combustible y puede entregar hasta 200 litros por minuto durante la carga. Esta incorporación permitirá a las salmoneras reducir los tiempos de carga y mejorar la eficiencia de sus procesos.

José Ignacio Depassier, gerente de la División Comercial y Operaciones de Coproc, comentó: "El foco está en poder acompañar -en toda la cadena logística- a una industria tan importante para el desarrollo del país como es la salmónica. Para Coproc es un imperativo aplicar tecnología e infraestructura al servicio que entregamos y, con ello, facilitar los procesos y un desarrollo eficiente a la industria".



El barco Agustinas operará bajo un sistema 24/7, ofreciendo una alternativa continua para las plantas de cultivo y crianza de salmones. Esta es la tercera embarcación de Copec destinada a estos fines en el país, sumándose a las embarcaciones Parma y Palermo.

COMPROMISO CON LA SEGURIDAD Y EL MEDIO AMBIENTE

La seguridad del suministro es una prioridad para Copec. El barco Agustinas no solo promete mejorar la eficiencia del abastecimiento, sino que también asegura una operación segura de carga, con altos estándares y protocolos diseñados para proteger el medio ambiente. Estas medidas son esenciales para mantener la sostenibilidad de la industria marítima y salmonera. Copec seguirá invirtiendo en infraestructura y logística para fortalecer su red de suministro. La incorporación de nuevas embarcaciones y la implementación de formas innovadoras de abastecimiento subrayan su compromiso con el desarrollo y la eficiencia de las industrias. Con estos avances, Copec busca consolidarse como un socio clave para el crecimiento y la competitividad de sus clientes en el mercado global.



¿Estamos desforestando nuestras costas? La pesquería de algas pardas intermareales en la Región de Coquimbo

Resultados del proyecto FIC-R Código BIP 40041022-0



Héctor Peña, Jorge E. González y Wolfgang B. Stotz
Grupo de Ecología y Manejo de Recursos (Ecolmar), Departamento de Biología Marina,
Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo

Contacto: wstotz@ucn.cl

Las pesquerías de algas pardas en Chile han evolucionado desde la recolección de algas varadas en las playas, hacia el “barroteo” (Vásquez, 2008; Vásquez et al., 2012), es decir al desprendimiento mecánico de las plantas desde las rocas, utilizando una “barreta” (Fig. 1). Este método de cosecha, comparable a la tala de bosques terrestres, genera alarma a nivel nacional e internacional debido a sus potenciales efectos en el paisaje y la biodiversidad, existiendo sin embargo poca información al respecto (Carranza et al., 2024). La alarma se genera por los altos desembarques, que en la región de Coquimbo llegaron en la década del 2010 al 2020 a un máximo de 50.000 t anuales. En el presente se estabilizaron mediante fijación de cuotas anuales por región en niveles entre 20.000 y 24.000 t anuales en los últimos 5 años. Si bien esa estabilización habla de que el recurso alga pareciera estar a resguardo, queda la duda si también lo está el bosque que forma el alga, con toda la flora y fauna asociada.



Figura 1: En las últimas décadas, además de recolectar las algas varadas en la playa, se comenzó a desprender algas usando una barreta (“barroteo”).



LO PLANTEADO EN ESTE ARTÍCULO SÓLO VALE PARA EL HUIRO NEGRO

Es importante destacar que en este artículo nos referiremos a las algas que crecen en el intermareal, específicamente al huiro negro, como se le denomina a *Lessonia berteroa* y *L. spicata* (Fig. 2 en la parte de arriba). Estos bosques son fácilmente accesibles desde tierra durante la marea baja, lo que facilita su barroteo. La explotación de esta alga es comparable a la tala del bosque valdiviano, que una vez cortado es capaz de regenerarse naturalmente, dado que vuelven a aparecer al poco tiempo juveniles o reclutas que van colonizando el espacio. Es muy diferente a lo que observamos en relación a los bosques de algas submareales, del huiro palo *Lessonia trabeculata* (Fig. 2 en la parte de abajo). En los bosques



Figura 2: Bosques de algas pardas en el intermareal (arriba) y submareal (abajo). En el intermareal *Lessonia berteroa* (de los 30° Lat sur hacia el norte) y *Lessonia spicata* (desde los 30° Lat sur hacia el sur) forman una franja en la parte más baja del intermareal, que se descubre en las mareas más bajas. En el submareal *Lessonia trabeculata* forma manchones de diverso tamaño, a veces prácticamente continuos a lo largo de la costa, entre los 4 y 20 metros de profundidad aproximadamente.

submareales, cuando son barreteados, no observamos recuperación después de ya muchos años, siendo su tala semejante a la de un bosque de araucarias o alerces en tierra. Por tanto, lo descrito y recomendado en este trabajo para el huiro negro, no es válido para el huiro palo.

LA IMPORTANCIA DE LOS BOSQUES DE ALGAS PARDAS

Las macroalgas pardas desempeñan un papel muy importante como estructuradoras de comunidades en el ecosistema marino, proporcionando áreas de refugio, alimento y protección a una gran diversidad de especies de flora y fauna, configurando un paisaje rico y complejo (Cancino & Santelices 1984). Ofrecen hábitat en el sustrato entre plantas, en cavidades en sus discos con los cuales se adhieren a las rocas, sobre estipes (sus tallos) y frondas (sus hojas). Los discos de adhesión se van erosionando paulatinamente generando cavidades que otorgan refugio a muchas especies, entre ellas varios reclutas de especies de interés para la pesca, como son por ejemplo locos y lapas. Estas cavidades sin embargo van debilitando a los discos y hace que finalmente el oleaje desprenda el alga que luego termina varando en las playas en épocas de marejadas. En el pasado eran estas algas, provenientes de la mortalidad natural, las únicas que aprovechaba la pesca. Sin embargo, los buenos precios y el aumento de la demanda del mercado han incentivado su barroteo, adelantando su desprendimiento a plantas de tamaños paulatinamente más pequeñas. La inquietud por sus potenciales efectos en el sistema completo genera la pregunta ¿las medidas del plan de manejo resguardan las funciones del bosque?

LAS MEDIDAS DE MANEJO ESTABLECIDAS Y SUS IMPLICANCIAS

Además de las cuotas y vedas, se ha establecido que para el barroteo sólo se pueden extraer plantas con discos de adhesión que tengan un diámetro superior a 20 cm (Vásquez, 2008). ¿Este tamaño es suficiente para garantizar no solo la conservación de la población del alga, sino también de sus especies asociadas? Para responder a esta pregunta, en el proyecto FIC-R "Investigación Bases Científico Técnicas para el Co-Manejo de Huiros, Código BIP 40041022-0" se siguieron en el tiempo pequeñas áreas (cuadrantes) marcadas en las rocas, las cuales inicialmente presentaban diferentes estados de desarrollo del bosque. De esta manera se reconstruyó su historia en el tiempo, describiendo la sucesión que se genera naturalmente para recuperar el bosque que ha sido talado.

Una vez barreteada un área, la roca es rápidamente colonizada por juveniles del alga. Los juveniles más cercanos entre sí, al crecer van fusionando sus discos de adhesión, formando entre varios, individuos de mayor tamaño, que se conocen como quimeras. Este proceso, denominado coalescencia, genera un rápido aumento de tamaño de plantas, y como permanentemente siguen reclutando juveniles, de la complejidad estructural del bosque (Fig. 3) (Vásquez et al. 2008; Rodríguez et al. 2014). Esta colonización inicial del huiro negro va acompañada de especies de algas e invertebrados sésiles, como *Lithophyllum* sp., *Codium* sp., *Hildenbrandia* sp. y cirripedios en los espacios entre los discos de algas. En la medida que va aumentando la complejidad del bosque, lo van colonizando también de manera creciente especies móviles, como son chitonos, lapas y diversos cangrejos, mientras que la riqueza de

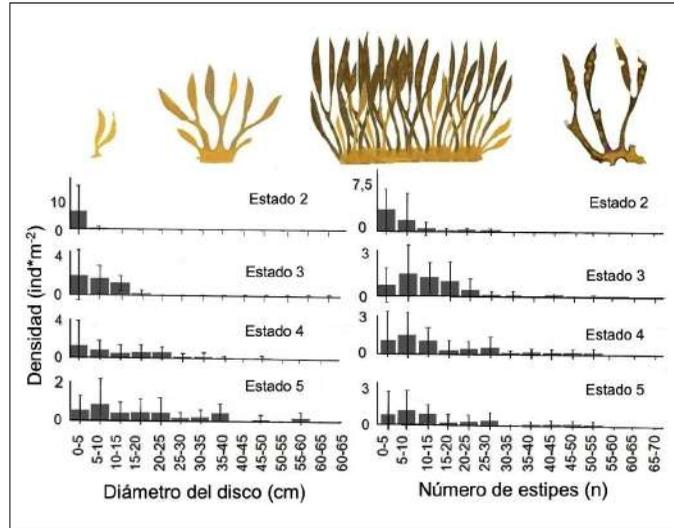


Figura 3: Tamaño y estructura de las algas en la medida que crecen, aumentando el diámetro del disco basal o adhesivo y el número de estipes. Las plantas viejas pierden estipes y se erosiona su disco.

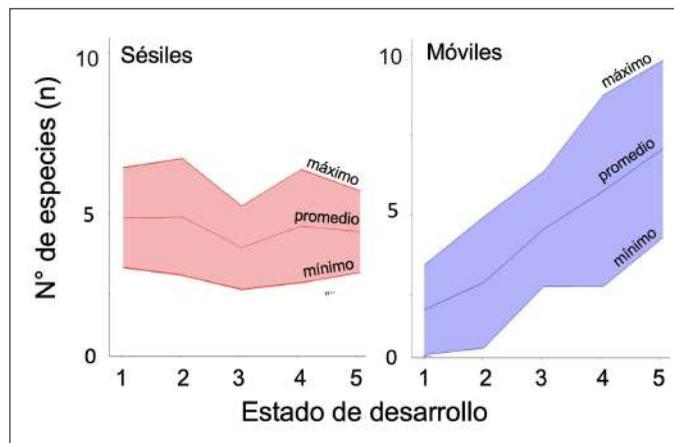


Figura 4: Riqueza de especies sésiles (algas e invertebrados incrustantes) y móviles (principalmente moluscos y crustáceos) en la sucesión del bosque del huiro negro.

especies sésiles se mantienen relativamente estable a lo largo de la sucesión (Fig. 4). Para esta sucesión hemos definido estados sucesivos que se describen a continuación y que se ilustra en las Figs. 5 y 6.

LA SUCESIÓN DE UN BOSQUE UNA VEZ “BARRETEADO”

Estado 1 - Roca desnuda:

Tras el desprendimiento del bosque, el sustrato está expuesto y libre de hueros, pero se conservan las especies sésiles que ocupaban la roca entre los discos del alga. Este estado puede persistir de 3 a 6 meses, antes que aparezcan individuos reclutas de *Lessoniá* spp.. La comunidad aparece dominada por algas incrustantes como *Lithophyllum* sp. y *Codium* sp.

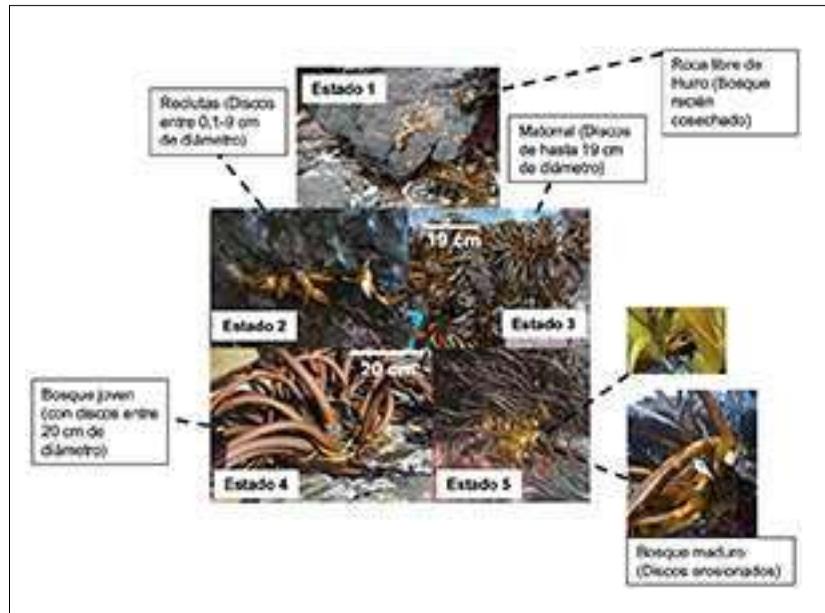


Figura 5: Fotos representativas de los estados de desarrollo del bosque de huero negro

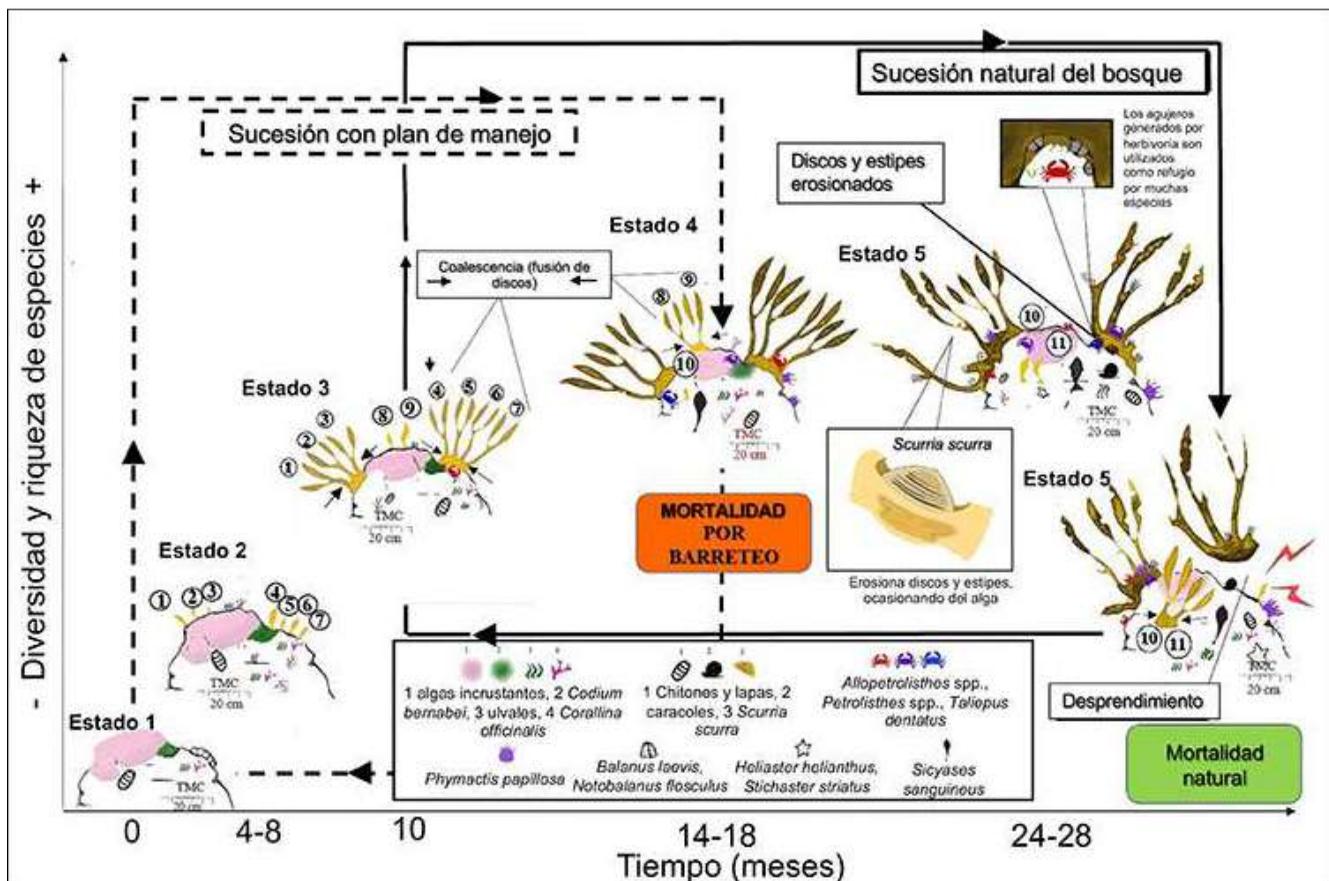


Figura 6: La sucesión del bosque de huero negro en el tiempo, mostrando la trayectoria de los cambios de estructura a lo largo de los estados, y el aumento y estabilización de la riqueza de especies.

Estado 2 - Reclutamiento:

Se observan individuos reclutas de *Lessonia* spp., cuyos discos no superan los 10 cm de diámetro. Aparecen algas erectas como *Corallinay Ulva* spp., las cuales ofrecen refugio a los reclutas de huiro frente a la herbivoría y desprendimiento. En esta etapa comienzan a aparecer especies móviles, como *Chiton grauosusy Fissurella* spp., y anémonas.

Estado 3 - Matorral:

Se observa llegada masiva de reclutas, cuyos discos se van fusionando (proceso denominado coalescencia), formando individuos mas grandes, generando una cubierta tupida de la roca, con individuos de *Lessonia* spp. de diversos tamaños, pero no superando sus discos los 19 cm de diámetro. Aumentan las especies móviles, ahora principalmente cangrejos, como por ej. *Pachycheles grossimanus*. Aparecen poliquetos, como *Prosorhochmus nelsoni*, *Pseudonereis* spp. y *Lineus atrocaeruleus* que hacen galerías en los discos basales del alga. También los cangrejos comienzan a horadar cavidades en el disco, generando habitat para nuevas especies.

Estado 4 - Bosque joven:

A los 14 a 18 meses desde el "barroteo", los individuos mas grandes de *Lessonia* spp. en el bosque comienzan a superar los 20 cm de diámetro del disco. Con el aumento en tamaño y número de estipes, la complejidad estructural del bosque se sigue incrementando, apareciendo ahora cangrejos de mayor tamaño, como el panchote *Taliepus dentatus*, anémonas y peces como el pejesapo *Sicyases sanguineus*, aumentando la complejidad trófica de la comunidad. A partir de este punto, la composición de especies asociadas comienza a estabilizarse en el tiempo, aumentando solo su abundancia, y ya muy poco su riqueza.

Estado 5 - Bosque viejo:

A los 24 a 28 meses comienzan a predominar individuos con discos de adhesión de tamaño cosechable (sobre 20 cm de diámetro), y los mas grandes entre ellos con grados crecientes de erosión de sus discos. En este estado la comunidad alcanza y mantiene su máxima diversidad y estabilidad estructural. Los individuos mas grandes, a raíz de la creciente erosión de sus discos, son desprendidos por el oleaje. Esto libera espacios para nuevos reclutas.

SIGNIFICADO DE LA SUCESIÓN DESCRITA PARA EL MANEJO DEL HUIRO NEGRO

La sucesión descrita muestra que el tamaño mínimo de captura (TMC) de un diámetro de disco basal o de adhesión de 20 cm, si bien cautela la reproducción del alga, no es suficiente para conservar la función que cumple el bosque para sostener la biodiversidad costera. Al cautelar la reproducción del alga, se mantiene su capacidad productiva, que sostiene a la pesquería en el tiempo. Y dado que los desembarques de algas se mantienen relativamente estables en el tiempo, señala que en ese contexto

es una estrategia eficiente. Pero un TMC de 20 cm implica que el bosque se comienza a cosechar a los 14 a 18 meses, cuando llega al estado 4 y se devuelve de ahí de nuevo al estado 1 (Fig. 6). Eso es previo a que los discos son horadados y ofrezcan refugio a la gran diversidad de organismos que se asocian al bosque. El bosque así no logra recuperar la biodiversidad completa, cosa que recién se logra en el estado 5 aproximadamente a los 24 meses después de la cosecha.

Santelices (1989) propuso, adicional al TMC de 20 cm, que se conserven plantas viejas con distancia no menores a 2 m entre ellas. Eso, con el fin de asegurar la llegada de esporas, dada su limitada capacidad de dispersión, pero principalmente, para mantener el efecto de látigo de las plantas, para que no ingresen los herbívoros al bosque y afecten a los propágulos y reclutas. Si eso se hiciera, eventualmente se lograría con esas plantas mas viejas mantener una parte de las funciones del bosque. Pero el problema con esa estrategia es la misma que en tierra hace que los bosques se cosechen a tala rasa, que son aspectos prácticos.

Con lo dificultoso que resulta acceder al intermareal rocoso bajo y expuesto en muchos sitios, lo que mas interesa son justamente las plantas mas grandes; por eficiencia por tanto se cosechan; y el ir dejando algunas, enreda a las que se barrotean, con lo que el trabajo de por si ya pesado, se dificulta aun mas. Por eso, si bien es una propuesta biológica y ecológica bien fundamentada, no es viable en la práctica, y los pescadores no la han adoptado, a pesar de que se les ha hecho esa recomendación en repetidas oportunidades.

ESTRATEGIA DE COSECHA POR BARRETEO PARA CONSERVAR LAS FUNCIONES DEL BOSQUE

Considerando la sucesión descrita, que muestra que los individuos mas grandes y viejos se van desprendiendo naturalmente y quedan disponibles para su cosecha cuando varan en la playa, sería recomendable evitar el barroteo. Esto con el fin de mantener el bosque y sus funciones para la gran diversidad de especies asociadas, también de aquellas de interés pesquero. Si no se barrotea, y sólo opera la mortalidad natural por desprendimiento debido a la erosión de los discos y las marejadas, el bosque se mantendría siempre en una composición entre los estados 3 y 5 (Fig. 6).

El barroteo es una práctica ya establecida, que obedece a las condiciones y necesidades propias de los algueros. Por ejemplo, es necesario considerar que hay épocas, en que, al no haber marejadas, no se desprenden ni varan muchas algas. Para mantener ingresos en esas épocas, suele hacerse necesario el barroteo. Considerando esto, en el proyecto FIC-R "Investigación Bases Científico Técnicas para el Co-Manejo de Huiros, Código BIP 40041022-0" estamos proponiendo una estrategia que asegure que al menos una parte del bosque alcance y permanezca por periodos en el estado 5. Para ello se les propuso a los pescadores sectorizar sus áreas costeras, e implementar una estrategia de

rotación de áreas, que permita un descanso de al menos 24 meses entre cada nuevo período de barroteo. Para facilitar esto, los pescadores están siendo apoyados para definir el mapa que delimita sectores a lo largo de la costa; luego se les enseña a identificar los diferentes estados de desarrollo del bosque; y para ello se les provee de pizarras para registrar las fechas de cosecha y la recuperación del bosque (Fig. 7). La recuperación la van registrando en el tiempo, identificando y anotando para cada sector periódicamente el estado en el cual se encuentra. Esto es a través de observación directa, utilizando la definición de estados descrita anteriormente como referencia. Para ello se le han preparado afiches y cartillas que describen esos estados.



Figura 7: Diagrama que ilustra el trabajo que se está realizando con los pescadores de algunos sectores de la región de Coquimbo, para organizar una rotación de áreas de barroteo.

La velocidad de recuperación de los bosques varía a lo largo de la costa y entre épocas de cosecha. La recuperación es más rápida en épocas de reproducción del alga y en que rápidamente aparecen los reclutas. Los tiempos indicados en la Fig. 6 son sólo promedios referenciales. Por ello es necesario el monitoreo permanente y no simplemente determinar un descanso de 24 meses para cada área cosechada. Además, es importante que los propios pescadores monitoreen sus sectores de trabajo y realicen un seguimiento constante de la recuperación del bosque. Esto les permitirá ir planificando sus cosechas en el tiempo, además de ir tomando conciencia, mediante sus observaciones directas, de la importancia que tiene el bosque para la diversidad, y también para los reclutas de diversas especies que también constituyen recursos para ellos. Y también tomar conciencia, de que si dejan madurar al bosque igual terminan cosechando sus individuos cuando varan, con un esfuerzo mucho menor, en un trabajo de bastante menos riesgo también. Porque el barroteo requiere trabajar en las rocas, cerca de la rompiente, con los riesgos que eso implica, sobre todo en la costa expuesta que caracteriza el sur de la región de Coquimbo

LA ESTRATEGIA PROPUESTA Y LA NUEVA LGPA

La estrategia propuesta se alinea con el espíritu de la nueva Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) que se está discutiendo, en cuanto al tránsito hacia un enfoque ecosistémico de pesquerías. Ese enfoque plantea preocuparse en la gestión de recursos pesqueros tanto por el bienestar humano, como por el bienestar ambiental, considerando para ello el sistema de manera amplia e integrada. La estrategia propuesta compatibiliza el bienestar humano, permitiendo el barroteo en las épocas que sea necesario, pero realizado de tal manera que genere un menor impacto y se logren mantener las funciones estructuradoras y de biodiversidad del bosque de algas. Es decir, se preocupa por mantener una regularidad en el ingreso de los pescadores, compatibilizándolo con la conservación de la biodiversidad en el sistema costero. Visto en forma integral, el beneficio de ambos, pescadores y ambiente, termina favoreciendo además a otros recursos pesqueros que usan los bosques en sus etapas de reclutamiento, redundando todo en una actividad pesquera artesanal costera más sostenible.

Así, esta experiencia que el proyecto está implementando en algunos sectores costeros de la región de Coquimbo se transforma en un buen ejemplo de que lo planteado por el espíritu de la ley respecto a un manejo con enfoque ecosistémico y precautorio, se puede materializar sin depender para ello solo de restricciones, sino en este caso a través de una reorientación y ordenamiento del esfuerzo.

BIBLIOGRAFÍA

- Cancino J. & B. Santelices. 1984. Importancia ecológica de los discos adhesivos de *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta) en Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 57: 23-33 pp.
- Carranza, D.M, Wieters, E.A., Vásquez, J.A., Stotz, W.B. 2024. Exploring the consequences of kelp removal: a review shows we are missing a broader perspective. *Biodiversity and Conservation* 33:401-437. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02769-7>
- Rodríguez D., Oróstica M. & JA. Vásquez, 2014. Coalescence in wild organisms of the intertidal population of *Lessonia berterovana* in northern Chile: management and sustainability effects. *Journal of applied phycology*, 26(2): 1115-1122 pp.
- Santelices, B. 1989. *Algas Marinas de Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 399 pp.
- Vásquez JA. 2008. Production, use and fate of Chilean brown seaweeds: re-resources for a sustainable fishery, *Journal of applied phycology*, 20: 457-467 pp.
- Vásquez JA., N. Piaget, & JM. Vega. 2012. The *Lessonia nigrescens* fishery in northern Chile: "how you harvest is more important than how much you harvest". *Journal of applied phycology*, 24: 417-426 pp.

7 **PLAGAS** | **Rentokil** **Initial**

**MÁS DE 12 AÑOS CRECIENDO
EN LA INDUSTRIA
SALMONERA EN CHILE**

**Líderes en innovaciones
en todos los mercados,
garantizando el
cumplimiento de normas
de calidad de las líneas
de producción,
importación y
exportación.**



**Expertos en
Control de Plagas**



**Expertos en
Higiene y Bienestar**



**Líderes en
Bebestibles**

Arica - Antofagasta - Iquique - Calama - La Serena y Coquimbo - Rancagua - Viña del Mar - Santiago
Curicó - Los Angeles - Temuco - Concepción - Puerto Montt - Aysén - Punta Arenas



Un aliado en los programas sanitarios en la industria salmonera

En **Rentokil Initial**, somos expertos en lo esencial. Durante nuestros 12 años de trabajo con la industria salmonera, hemos comprendido la importancia crucial de los programas sanitarios debido a que producir y comercializar un producto biológico de alto valor nutricional exige cumplir con estrictas normativas de inocuidad y producción alimentaria, sin afectar la operación y promoviendo prácticas de sostenibilidad esenciales en la industria salmonera nacional.

Por esto trabajamos incansablemente para ampliar las fronteras de lo posible en el Control de Plagas, siendo pioneros a nivel mundial en desarrollar una Gestión Integrada de Plagas con un fuerte énfasis en la innovación y nuevas tecnologías.

Nuestro objetivo es ofrecer un servicio de alto estándar que no impacte sus procesos productivos y que respete el medio ambiente y la seguridad de sus colaboradores.

Nuestra propuesta de valor se fundamenta en cuatro pilares

Calidad: Ofrecemos un servicio sensible para la industria alimentaria, respaldado por un equipo de Controles de Calidad y Supervisores Técnicos que apoyan a nuestros técnicos asesores para resolver situaciones complejas.

Seguridad: Contamos con un equipo de Prevencionistas de riesgos en todo el país, cuya misión es garantizar que los servicios se realicen cumpliendo con las estrictas normas de seguridad globales del grupo.

Innovación: Estamos en constante vinculación con nuestro Centro de I+D en el Reino Unido, donde probamos y desarrollamos productos y tecnologías útiles para las problemáticas del mercado nacional.

Sustentabilidad: Tenemos una política de sustentabilidad con indicadores clave para alcanzar la meta de cero huella de carbono para 2040. No solo aspiramos a ser una empresa más sostenible, sino que también ofrecemos a nuestros clientes un servicio más sustentable, reduciendo el uso innecesario de productos químicos y fortaleciendo la capacidad diagnóstica de nuestro equipo técnico.

Rentokil Initial: Un referente en el segmento alimentario

Con 120 años de experiencia, Rentokil Initial ha promovido la sanidad e higiene ambiental en la industria alimentaria a lo largo de todo el mundo. Como prueba de ello, participamos activamente como socios claves en la actualización de la normativa global de productores de alimentos BRCGS, reconocida en más de 130 países y por más de 22.000 productos de alimentos mundialmente.

Rentokil Initial ha aportado su experiencia en el monitoreo y gestión de programas de control de plagas para mantener altos estándares de calidad y producción de alimentos.

Todo esto al servicio de la industria salmonera.

Conócenos



RENTOKIL-INITIAL.CL



Rentokil Initial Chile



@rentokilinitialchile

Infórmate



www.rentokil.com/cl/blog

Contáctanos



800-387-100

Si la autoridad no regula ¿las pesquerías se hacen no sostenibles?

EL CASO DE LA PESQUERÍA DEL HUIRO NEGRO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

RESULTADOS DEL PROYECTO FIC-R CÓDIGO BIP 40041022-0



Nicole González, Jorge E. González y Wolfgang B. Stotz

Grupo de Ecología y Manejo de Recursos, Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo.

Contacto: wstotz@ucn.cl

En Chile ha sido común el hablar de la “tragedia de los comunes” en pesca, la cual plantea para la gestión de recursos compartidos, que los individuos actuando de manera independiente y según sus propios intereses, terminan por agotar esos recursos, perjudicando a toda la comunidad a largo plazo (Hardin, 1968). Se utiliza esta visión para fundamentar el otorgar derechos de pesca y establecer regulaciones que limiten capturas, como cuotas y vedas. No obstante, las regulaciones sólo tienen sentido si su cumplimiento puede ser vigilado. En la pesca artesanal, sobre todo en la de los recolectores de orilla de algas pardas, que trabajan a lo largo de toda la costa, sin puntos de desembarque determinados, resulta casi imposible mantener un sistema de vigilancia eficiente. De acuerdo con eso, se podría pronosticar escaso cumplimiento de las regulaciones y consecuentemente, a causa de lo que predice la “tragedia de los comunes”, el colapso de esas pesquerías. Pero los desembarques de algas, muy importantes socialmente, que sostienen a la pesca artesanal actualmente, se han mantenido (Fig. 1). En ese contexto cabe preguntarse entonces ¿cómo funciona el sistema? ¿Con qué reglas y con qué institucionalidad?

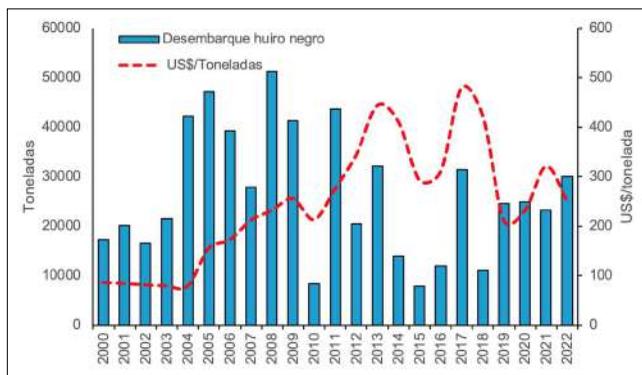


Figura 1: Desembarques y precios históricos del recurso huiro negro (*Lessonia berteorana* y *L. spicata*) en la región de Coquimbo. A partir del año 2000 los desembarques mostraron un fuerte aumento, incentivado por el aumento de precios del recurso. En décadas pasadas hubo altas fluctuaciones del desembarque, pero a partir del año 2019, con la implementación de cuotas de capturas regionales y anuales, los desembarques y precios muestran una tendencia de paulatina estabilización.

Las pesquerías de huiro se desarrollaron inicialmente a partir de la recolección de algas varadas, pero en los últimos 20 años la extracción directa (“barroteo” = desprendimiento de las algas mediante una barreta) se ha vuelto común (Berrios et al. 2022), asociado al aumento de la demanda internacional y sus precios atractivos. Estos factores, sumados a períodos de falta de empleo en zonas rurales y las bajas barreras de entrada, en cuanto a las habilidades requeridas para ejercer ese oficio y la imposibilidad de fiscalización de los agentes extractores, explican el ingreso de muchos usuarios informales a la pesca, originarios principalmente de la minería y la agricultura (González et al., 2002; Vásquez et al., 2012).

La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, SUBPESCA, administra esta pesquería básicamente a través de planes de manejo, estableciendo cierres de los registros pesqueros, tamaños mínimos de extracción, cuotas anuales de captura a nivel de regiones y períodos de veda. Estas medidas ¿son efectivas a nivel local? Este es el tema que hemos abordado en el marco del proyecto FIC-R “Investigación Bases Científico Técnicas para el Co-Manejo de Huiros. Código BIP 40041022-0”. Para ello se han hecho observaciones en terreno, entrevistas y talleres en diversos sitios de la costa de la región de Coquimbo (Fig. 2), que nos han permitido obtener una visión del funcionamiento de la pesquería a nivel local. Para analizar ese funcionamiento, lo haremos en el marco de los ocho principios planteados por la Premio Nobel en Economía del año 2009, la Dra. Elinor Ostrom respecto a que un manejo comunitario de un recurso de uso común (RUC) puede ser sustentable bajo reglas locales (Ostrom 2000). Las algas pardas varadas, que aprovechan la mortalidad natural del recurso y con eso no afectan ni sus poblaciones, como tampoco la comunidad de los bosques de algas con toda su flora y fauna asociada, representan una pesquería ambientalmente sostenible. Las varazones responden a tiempos y dinámicas naturales del recurso. La pregunta es, si la institucionalidad contribuye a esa sostenibilidad. Para eso compararemos lo establecido por la institucionalidad formal, con lo que efectivamente ocurre a nivel local respecto a la recolección de algas por parte de grupos de orilleros.

Área de trabajo

El Apollillado
Chungungo
Tortalillo Norte

Talcaruca
El Toro
Talquilla

Se visitaron sectores costeros de la Región de Coquimbo pertenecientes a la provincia del Elquí y del Limarí, donde se trabaja con organizaciones artesanales y extractores del recurso huiro negro.

Forma de trabajo



Para conocer las experiencias, motivaciones y apreciaciones de los/las recolectores de huiro negro se trabaja con metodologías participativas, tales como mapeos participativos territoriales por sector, encuestas, entrevistas y rutas de observación para integrar el conocimiento ecológico local en la construcción de herramientas de monitoreo ecológico e identificar las dinámicas organizacionales de cada sector costero.

Imagen:
1. Mapeo participativo Sindicato de Pescadores Caleta Talcaruca
2 y 3 Ruta de observación costera con recolectores (Asociación Gremial Los chinos, AMERB Caleta El Apollillado y Caleta El Toro, respectivamente)
4. Recolector de orilla ordenando huiro negro en sector playa varadero, sector Talquilla.
5. Resultados de un Mapeo participativo en el que se menciona "se trabaja con horarios determinados, de 7 a 7..." y "en cuanto al manejo" se corta a los 20 cm.", "a partir de 1 año de crecimiento" y "se realizan relaciones de áreas por sector"

Figura 2: Área de estudio y metodología de trabajo para obtener la información. Se realizaron encuestas, entrevistas y mapeos participativos en las comunidades de orilleros dedicadas a recoger algas varadas en la región de Coquimbo. Se recogió el conocimiento local, las formas de trabajo, organización y sus reglas de funcionamiento, para entender el sistema de ordenamiento local.

PRINCIPIOS DE USO DE BIENES COMUNES PARA UN MANEJO COMUNITARIO

Principio 1. Límites claramente definidos.

Se refiere a que está claramente definido quién es parte y tiene derecho de extraer el recurso en un ámbito espacial dado, y quiénes no.

- La regulación formal establece que sólo puede trabajar en el recurso (recoger y vender en este caso) quien está inscrito en el Registro de Pesca Artesanal (RPA).
- La realidad a nivel local es que muchos no están inscritos en el RPA. Quién puede trabajar en cada sector se define en base a acuerdos internos de cada grupo, y priman ahí principalmente relaciones de amistad o familiares, y/o de tradición de trabajo en ese lugar, sin importar si son o no parte del RPA, señalando por ejemplo "*...mi hijo no tiene RPA porque es difícil sacar el permiso... entonces él me ayuda a mí y va conmigo, es como si tuviera, porque trabaja siempre igual*". No obstante, como ellos explican, el que al menos algunos estén inscritos en el RPA es importante para la venta, dado que se debe registrar aquella a nombre de aquellos.

Principio 2. Coherencia entre las reglas de apropiación y provisión con las condiciones locales.

Se refiere a que las reglas deben considerar las particularidades de cada situación, en este caso del grupo local de usuarios, sus realidades geográficas, sociales, económicas, etc.

- La regulación formal establece cuotas globales por región y períodos de veda, de acuerdo al análisis del comité científico pertinente y los acuerdos de las mesas regionales en el marco del plan de manejo.
- A nivel local se ignora y no se considera cómo se distribuyen esas cuotas regionales. En vez de volumen de desembarque, los orilleros se reparten los lugares de trabajo (varaderos y playas) a lo largo de la costa; los lugares de más fácil acceso al recurso son destinados a los de mayor edad o que tienen limitaciones de trabajo; trabajan todos en días y horarios acordados, principalmente por razones de seguridad, para poder apoyarse en caso de accidentes y protegerse contra intrusos. Y temporalmente se regula por parte del comprador – si hay compra se trabaja, independiente si hay o no alguna veda.

Principio 3. Arreglos de elección colectiva.

Se refiere a que los participantes del grupo al cual se refieren las reglas pueden participar en sus definiciones, modificaciones y decisiones.

- La regulación formal establece las reglas por ley y por reglamentos, y en base a criterios técnicos basados en literatura científica y/o consulta a expertos, entre ellos el comité científico pertinente. Los usuarios pueden opinar sobre lo establecido a través de sus representantes en las mesas regionales del plan de manejo, pero sin que puedan modificarlas.
- Los usuarios a nivel local, al ser consultados respecto a su participación, evidencian que conocen poco sobre la existencia y funcionamiento de las mesas, y generalmente ignoran quien los representa ahí. Su funcionamiento se genera a partir de acuerdos

que se toman entre todos los participantes de cada grupo local, de palabra y a partir de la contingencia. Es decir, las reglas se van estableciendo en la medida que se hacen necesarias, al generarse problemas o conflictos.

Principio 4. Existe supervisión del cumplimiento de las reglas. Se refiere a que existe un sistema de vigilancia para verificar el cumplimiento de las reglas.

- En el sistema formal la vigilancia está a cargo del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, cuyos funcionarios fiscalizan principalmente en los puntos de desembarque formal, y establecieron un sistema de registro a nivel de los comerciantes, que deben declarar de que usuario (en base al RPA) ellos recibieron el producto. A su vez, los usuarios con RPA deben declarar mensualmente al Sernapesca, mediante un formulario, lo desembarcado. La fiscalización rara vez o nunca logra llegar a los lugares efectivos de trabajo de los orilleros, que están repartidos a lo largo de toda la costa, en lugares muchas veces no fácilmente accesibles.

- A nivel local la vigilancia es ejercida por todos los participantes de cada grupo en forma simultánea. Para eso establecieron días y horarios de trabajo, de modo que todos se vigilan mutuamente. Como ellos señalan” *...cuando uno está acá en la caleta va al sector; en el horario que se debe ir, que es desde las 7 hasta las 7, una se queda ahí hasta medio día más o menos dependiendo como esté, pero ahí en la playa siempre vara... estando ahí uno puede ver el mar, como viene la corriente, si llega gente de afuera... estando ahí uno sabe todo*”

Principio 5. Sanciones graduadas.

Se refiere a que las sanciones dependen de la gravedad y del contexto de la infracción, y aumentan gradualmente de acuerdo a la reincidencia. Esto con el fin de que el sancionado no se resienta y se termine marginando, haciéndose poco controlable y eventualmente buscando boicotear el funcionamiento del grupo.

- La regulación formal establece sanciones que notifica la autoridad en caso de infracciones a las regulaciones, que consisten en decomisos y multas, cuyo monto a pagar está en función del volumen y valor del recurso desembarcado ilegalmente. Para ello se establece anualmente el valor de sanción de cada recurso mediante una resolución de Sernapesca.

- A nivel local en primera instancia, el infractor es “molesto”, mediante una especie de “bullying”, más en broma que en serio, pero con ello llamándose la atención entre los participantes. En casos donde la falta es más grave, se increpan directamente pudiendo transformarse en discusiones y/o disputas más severas. En el caso que el infractor no reacciona con los llamados de atención por parte del grupo, se va estableciendo y haciendo cada vez más importante la sanción social, que consiste en ir marginando a la persona del grupo tal como se indica” *hay gente que está todo el día ahí en la orilla y no falta el que se lleva un fardo de alguien más... eso es a conciencia, pero uno sabe quiénes son, después uno ya no trabaja con ellos no más*”.

Principio 6. Mecanismos para la resolución de conflictos. Hace referencia a que los participantes de cada grupo deben tener acceso fácil a algún sistema de resolución de conflictos, que sea

asequible en forma práctica y en cuanto a costos. Esto, con el fin de resolver conflictos entre ellos, o entre ellos y las autoridades pertinentes.

- La institucionalidad pesquera establece que los usuarios pueden acudir a las oficinas de Sernapesca o de la autoridad marítima. En casos más graves, recurrir a la justicia ordinaria en el marco de la legislación nacional, o en caso de conflictos a causa de las regulaciones, pedir audiencia con autoridades nacionales, a menudo mediado por los parlamentarios del distrito pertinente. En la práctica los conflictos en torno a regulaciones que no acomodan, cuando se agravan, por lo general se resuelven mediante manifestaciones y protestas, entre otras, que buscan forzar el diálogo y acuerdo con la autoridad pesquera.

- A nivel local no hay sistema formal de resolución de conflictos. Los conflictos se resuelven al interior del grupo, haciendo participe al dirigente (si hay) o bien a algunas de las personas más respetadas, que son reconocidas como autoridades de hecho, como mediadoras. En caso los conflictos persisten, se resuelven a través de la mayoría del grupo, que adhiere a una de las posiciones, y margina a él o los contrarios a aquella.

Principio 7. Reconocimiento mínimo de derechos de organización. Se refiere a que los derechos de pesca y formas de funcionamiento del grupo son reconocidos por las autoridades pertinentes, en este caso Sernapesca y/o Subpesca o las autoridades comunales o regionales.

- La institucionalidad formal reconoce a los usuarios registrados en el Registro de Pesca Artesanal y a las organizaciones de pesca artesanal. Pero ese reconocimiento supedita los derechos de pesca y de funcionamiento a las regulaciones establecidas. Por tanto, más bien impone una forma de funcionamiento, más que reconociendo alguna pre-existente.

- Los derechos de pesca y el funcionamiento de cada grupo no son conocidos por la autoridad, por tanto, tampoco es reconocido formalmente. La legislación chilena establece para las autoridades que se deben regir estrictamente por lo establecido en aquella y no vale para ellos el principio de que lo no normado es permitido. Por tanto, aunque conocieran y quisieran reconocer lo establecido a nivel del grupo, no lo pueden hacer formalmente, a menos que se legisle al respecto.

Principio 8. Entidades anidadas.

Se refiere a que la institucionalidad local es parte de una institucionalidad de algún nivel superior, local, regional y/o nacional.

- La institucionalidad formal reconoce en el marco del plan de manejo de algas, a las mesas regionales y a las organizaciones de pescadores artesanales que están representadas ahí. Se genera así un anidamiento, que tiene como su nivel más bajo a las organizaciones, y en el nivel superior a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Fig. 3).

- Los grupos a nivel local, teóricamente forman parte de las mesas regionales a través de sus organizaciones formales y sus representantes. Pero dado que es una organización que ocurre al margen de esa institucionalidad, dada por las organizaciones y mesas, en la práctica no está anidada, sino es algo independiente y paralelo, al margen de toda institucionalidad formal. Estos grupos no son ni reconocidos como tales, ni tienen representación

directa en las mesas. Indirectamente se supone que los dirigentes de organizaciones de pesca artesanal de la caleta a la cual pertenece cada grupo los representan – pero es algo más bien nominal, no real.

El trabajo en terreno del proyecto permitió visualizar para la pesquería de huiro negro, que a nivel local hay un sistema que funciona, que les permite a todos los participantes trabajar y generar sus ingresos, con grupos que interactúan en relativa armonía. El funcionamiento cumple con la mayoría de los principios, a pesar de que no tienen nada formalizado, ni entre ellos, ni con la autoridad. Todo funciona de palabra, con interacciones directas en que van resolviendo los problemas como aparecen. Es un sistema paralelo y propio, que no tiene relación alguna con la institucionalidad formal. Pero es un sistema sustentable en términos productivos, económicos y sociales. No obstante, la falta de formalidad interna, por ejemplo, en los principios 1 a 6; y la falta de reconocimiento y anidamiento de su sistema de acuerdo con los principios 7 y 8, lo transforman en un sistema débil, que pone en riesgo el que se sostenga en el tiempo. Es fácil que agentes externos, o conflictos internos, lo destruyan. De hecho, uno de los principales problemas que enfrenta el sistema a nivel local, son los conflictos con personas externas que llegan a trabajar el huiro (Berrios et al. 2022) y que, al no lograr controlar, pueden corroer también los acuerdos internos de los grupos.

Para reducir esos riesgos es necesario trabajar en dos frentes con las comunidades locales. Por una parte, formalizar un sistema de resolución de conflictos internos, que se ajuste muy bien a su forma de ser y funcionar, y que no implique una organización muy compleja y burocrática. Sobre todo, que mantenga siempre un nivel de poder muy horizontal, sin generar jerarquías de poder, además de impulsar la participación de los diferentes actores para las tomas de decisiones, puesto que la participación y el

involucramiento de las partes interesadas fomentan la “apropiación” que permite generar confianza entre los distintos actores (Pomeroy & Douvere 2008), mejorando la comunicación e integración de las partes. En segundo lugar, hay que realizar lo necesario para lograr que su sistema sea reconocido por la autoridad. El primer paso para ello es hacerlo visible, documentar y analizar en detalle su funcionamiento - como lo hizo Ostrom (2000) para las comunidades de agua y que le permitieron plantear sus desarrollos teóricos respecto al funcionamiento de comunidades en torno a recursos de uso común. Una vez hecho visible, documentado y comprendido el funcionamiento del sistema, habría que avanzar en su reconocimiento formal por la autoridad y su inclusión y anidamiento en los sistemas de administración, en este caso en las mesas de algas pardas regionales (Fig. 3).

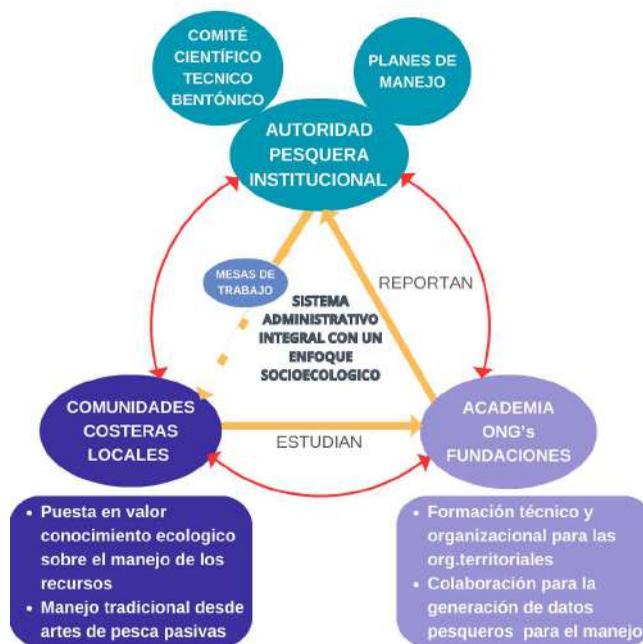


Figura 3: Modelo de administración de la pesquería de huiro negro. Se muestra que las comunidades costeras locales están poco conectadas a la institucionalidad (flechas de color naranja, que a nivel de las “Mesas de trabajo de algas pardas” básicamente se corta, quedando las comunidades locales aisladas del sistema). Y la conexión, al existir, aunque sea débil, es sólo en una dirección: les informan o instruyen. A su vez, el mundo técnico (academia, ONGs, Fundaciones, etc.) buscan conectarse, para lo cual generalmente recogen el conocimiento local, estudian el funcionamiento de sus sistemas y lo reportan. Pero todo eso ocurre principalmente en un flujo unidireccional (flechas de color naranja). Pero al hacerlo y ayudar a hacer visible lo que ocurre a nivel local, puede colaborar a vencer un primer obstáculo del diálogo bidireccional: el reconocimiento mutuo. Que las autoridades logren visualizar que las comunidades locales han ido estableciendo a su manera sistemas, que, a pesar de ser informales, contribuyen a la sostenibilidad de la pesquería. Y en ese contexto entonces, abrirse a un diálogo bidireccional, como se marca como deseable con las flechas del círculo rojo. Es decir, abrirse a un co-manejo adaptativo.

El desafío ahí es como se logra una representación de todos estos grupos que manejan en la realidad la costa por sectores; y como recoger sus normas de cosecha del recurso, para compatibilizarlo con las medidas administrativas generales de cuotas y vedas. Para ello el comité científico de recursos bentónicos, en el cual están incluidas las algas pardas, requiere abrirse a un manejo adaptativo, que recoja y conozca estas experiencias, e incluya en sus recomendaciones las flexibilidades necesarias para su funcionamiento. Por ejemplo, establecer un sistema de cuotas sólo para el huiro barreteado, pero no para el varado – cuestión compleja dado que a nivel de producto que se transa entre usuarios ya no es fácilmente distinguible. Pero, para avanzar en estos temas, se debe llegar a la convicción, de que el no hacerlo, como ocurre en el presente, sólo servirá para mantener e incrementar la distancia entre lo que teóricamente se busca en la administración del alga, y lo que efectivamente ocurre a nivel local. Esto tiene como consecuencia secundaria, dado que no se puede sincerar el funcionamiento local, por ser informal y eventualmente violar las regulaciones establecidas, no se cuenta con la información

real de desembarques, su distribución geográfica, número de usuarios reales, etc., lo cual da inicio a un círculo vicioso, que va alejando cada vez más la realidad de la teoría y/o lo esperado teóricamente de una política de manejo sustentable de pesquerías. Porque en la práctica el comité científico termina trabajando con información que no representa necesariamente la realidad.

En síntesis, como proponen Timble y Berkes (2015), para avanzar en la sostenibilidad socio ecológica, en este caso de las pesquerías de algas pardas, es necesario implementar una política de co-manejo adaptativo, con participación de los múltiples niveles involucrados. En este caso, partiendo desde los orilleros y su organización y funcionamiento local, hasta la autoridad, pasando por las mesas de algas, los funcionarios de Semapesca y Subpesca, el comité científico, hasta la autoridad pesquera a nivel nacional. Eso requiere de altos niveles de apertura, flexibilidad y voluntad política. Son temas muy importantes para considerar, por ejemplo, en la actual discusión de una nueva Ley General de Pesca y Acuicultura ¿lo propuesto ahí da cabida a lo que se requiere para avanzar hacia un co-manejo adaptativo?

El trabajo en terreno reveló un tema poco visibilizado en todas estas discusiones: una buena parte de los orilleros son mujeres, por lo general informales. Es decir, en lo que se establece, es importante también el tema de la inclusión de género, el cual, aunque siendo muy importante a nivel local, aún se mantiene invisibilizado. Invitamos a los involucrados en la discusión de la ley a hacer estos análisis y reflexiones, para identificar y evitar en ella todo lo que pudiera dificultar una participación real de todos los actores en la toma de decisiones; como también de regulaciones que luego, por falta de flexibilidad, no permitan implementar lo que se vaya decidiendo de común acuerdo. En definitiva, hay que reconocer que respecto al manejo de nuestros recursos costeros aún tenemos mucho que aprender y hace falta generar espacios de diálogo y regeneración de los vínculos existente entre los diversos actores involucrados en las tomas de decisiones, poniendo especial atención en lo que ocurre a nivel local.

En la ejecución del proyecto FIC-R "Investigación Bases científico-técnicas para el co-manejo del huiro negro en la Región de Coquimbo. Código BIP 40041022-0", se está trabajando principalmente en dos aspectos: por una parte, recoger y documentar el conocimiento local, y comprender el funcionamiento interno de los grupos y sus actividades pesqueras en relación con los huiros. Esto con el fin de visibilizar el sistema y poder darlo a conocer, como se está haciendo en este artículo. En segundo lugar, trabajar con los grupos en un ordenamiento del "barreteo", que es una forma de trabajo importante en algunos períodos, para moderar sus potenciales efectos en el sistema costero en general. Para ello estamos trabajando en el establecimiento de una estrategia de cosecha que compatibilice lo productivo, con sus efectos ecológicos (ver artículo de Peña, González y Stotz en este mismo volumen). A través de ambas estrategias, visibilizar y generar un trabajo sostenible auto-administrado, se busca por un lado que sean reconocidas sus formas de funcionamiento en el sistema, y por otro empoderarlos a ellos para impulsar ese reconocimiento.

Con el trabajo se busca avanzar hacia un enfoque de co-manejo adaptativo (sensu Berkes, 2009), buscando identificar también con los propios algueros los espacios que permitan avanzar hacia un manejo compartido con la autoridad, buscando conectarlos al sistema general que se representa en la Fig. 3. Con todo, se busca finalmente asegurar la sustentabilidad de la pesquería del huiro negro, que actualmente cumple un papel social y económico fundamental para las comunidades costeras de la región de Coquimbo, buscando que aquella no sólo dependa o sea responsabilidad exclusiva de la autoridad.

BIBLIOGRAFIA

Berkes F. (2009). Evolution of co-management: Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. *Journal of Environmental Management* 90 (5): 1692-1702.

Berrios F, González JE, Campos L, Campbell DE & Bonnail E. (2022). Brown algae (*Lessonia nigrescens*, species complex) fisheries of northern Chile evaluated through the DPSIR approach: Social and economic impact of management strategies. *Ocean & Coastal Management* 224, 106198.

González J, Tapia C, Wilson A, Garrido J & Ávila M. (2002). Estrategias de explotación sustentable Algas Pardas en la zona norte de Chile. Informe Final FIP N°2000-19. Instituto de Fomento Pesquero, Chile.

Hardin G. (1968). The tragedy of the commons: the population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality. *Science*, 162(3859): 1243-1248.

Ostrom E. (2000). El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva. Primera Edición en Español. Traducción de Corina de Iturbide Calvo y Adriana Sandoval. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Fondo de Cultura Económica. Solar, Servicios Editoriales S.A. México. 395pp. (https://base.socioeco.org/docs/el_gobierno_de_los_bienes_comunes.pdf)

Pomeroy R & Douvere F. (2008). The engagement of stakeholders in the marine spatial planning process. *Marine Policy* 32 (5): 816-822.

Timble M & Berkes F. (2015). Towards adaptive co-management of small-scale fisheries in Uruguay and Brazil: lessons from using Ostrom's design principles. *Maritime Studies* 14: 1-20.

Vásquez JA, Piaget N & Vega JA. (2012). The *Lessonia nigrescens* fishery in northern Chile: "how you harvest is more important than how much you harvest". *Journal of Applied Phycology* 24: 417-426.

PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE PIGMENTOS ALGALES DE USO ALIMENTARIO UTILIZANDO BIO-FÁBRICAS BACTERIANAS

SUSTAINABLE PRODUCTION OF ALGAL PIGMENTS FOR THE FOOD INDUSTRY USING BACTERIAL BIO-FACTORIES



Jorge Dagnino Leone¹, Cristian Agurto Muñoz^{1,2} & Andrea Donoso Youlton¹

¹ Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Marina GIBMAR del Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción, Concepción, Región del Bío Bío, Chile

² Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad de Concepción, Concepción, Región del Bío Bío, Chile

La biotecnología y la ciencia aplicada han desempeñado un papel crucial en el desarrollo económico y social de Chile. En el último tiempo se ha avanzado significativamente en áreas como la agricultura, la acuicultura y la salud. La combinación de recursos naturales únicos, una sólida infraestructura de investigación y políticas gubernamentales favorables ha permitido que Chile se posicione como un líder regional en biotecnología. En este sentido la agencia nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) manifiesta como misión de la subdirección de Investigación Aplicada, presente en su página web “*Crear, difundir y transferir conocimiento y capacidades científico-tecnológicas en estrecha colaboración y vinculación con empresas y emprendedores, la sociedad civil, el Estado y la academia, a través de la gestión de programas e instrumentos de investigación aplicada e innovación.*” En particular, la línea de financiamiento de proyectos de Tecnologías Avanzadas, tienen como propósito apoyar financieramente el desarrollo de proyectos de investigación aplicada y de desarrollo tecnológico, que requieran ciclos extensos en sus etapas de investigación, en búsqueda de resultados como prototipos de tecnologías en la forma de productos, procesos o servicios, posibles de ser escalados y transferidos a la industria.

BIO-FÁBRICAS BACTERIANAS DE CAROTENOIDES ALGALES

El proyecto ANID Tecnologías Avanzadas de 2023 TA23I-10048 “Biofábricas de carotenoides saludables: Una nueva alternativa basada en ingeniería metabólica en *B. subtilis* para la producción sustentable de ingredientes alimentarios inocuos enfocados en el fortalecimiento de fórmulas nutritivas de alimentación enteral”, liderado por los Dres. Jorge Dagnino Leone y Cristian Agurto Muñoz, del Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Marina GIBMAR (<https://gibmar.com>) del Centro de Biotecnología y del Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Concepción, tiene como principal objetivo la validación a escala piloto de un bioproceso de producción de los carotenoides saludables astaxantina, licopeno, betacaroteno y luteína (Figura 1), utilizando a la bacteria *B. subtilis*

Biotechnology and applied science have played a crucial role in Chile's economic and social development. Significant progress has been made recently in areas such as agriculture, aquaculture and health. The combination of unique natural resources, a strong research infrastructure and favourable government policies has allowed Chile to position itself as a regional leader in biotechnology. In this sense, the National Agency for Research and Development (ANID) states as the mission of the Applied Research sub-directorate, present on its website “*To create, disseminate and transfer knowledge and scientific and technological capabilities in close collaboration and linkage with companies and entrepreneurs, civil society, the state and academia, through the management of programmes and instruments of applied research and innovation.*” In particular, the purpose of the line of financing for Advanced Technology projects is to financially support the development of applied research and technological development projects that require extensive cycles in their research stages, in search of results such as technology prototypes in the form of products, processes or services that can be scaled up and transferred to industry.

BIO-FÁBRICAS BACTERIANAS DE CAROTENOIDES ALGALES

The ANID Advanced Technologies 2023 project TA23I-10048 “Biofactories of healthy carotenoids: A new alternative based on metabolic engineering in *B. subtilis* for the sustainable production of safe food ingredients focused on strengthening nutritional formulas for enteral feeding”, led by Drs. Jorge Dagnino Leone and Cristian Agurto Muñoz, from the Interdisciplinary Group of Marine Biotechnology GIBMAR (<https://gibmar.com>) of the Biotechnology Centre and the Department of Food Science and Technology of the Faculty of Pharmacy of the University of Concepción, has as its main objective the validation at pilot scale of a bioprocess for the production of the healthy carotenoids astaxanthin, lycopene, beta-carotene and lutein (Figure 1), using the bacterium *B. subtilis* as a biofactory, as a sustainable alternative for obtaining safe food ingredients (Figure 1).

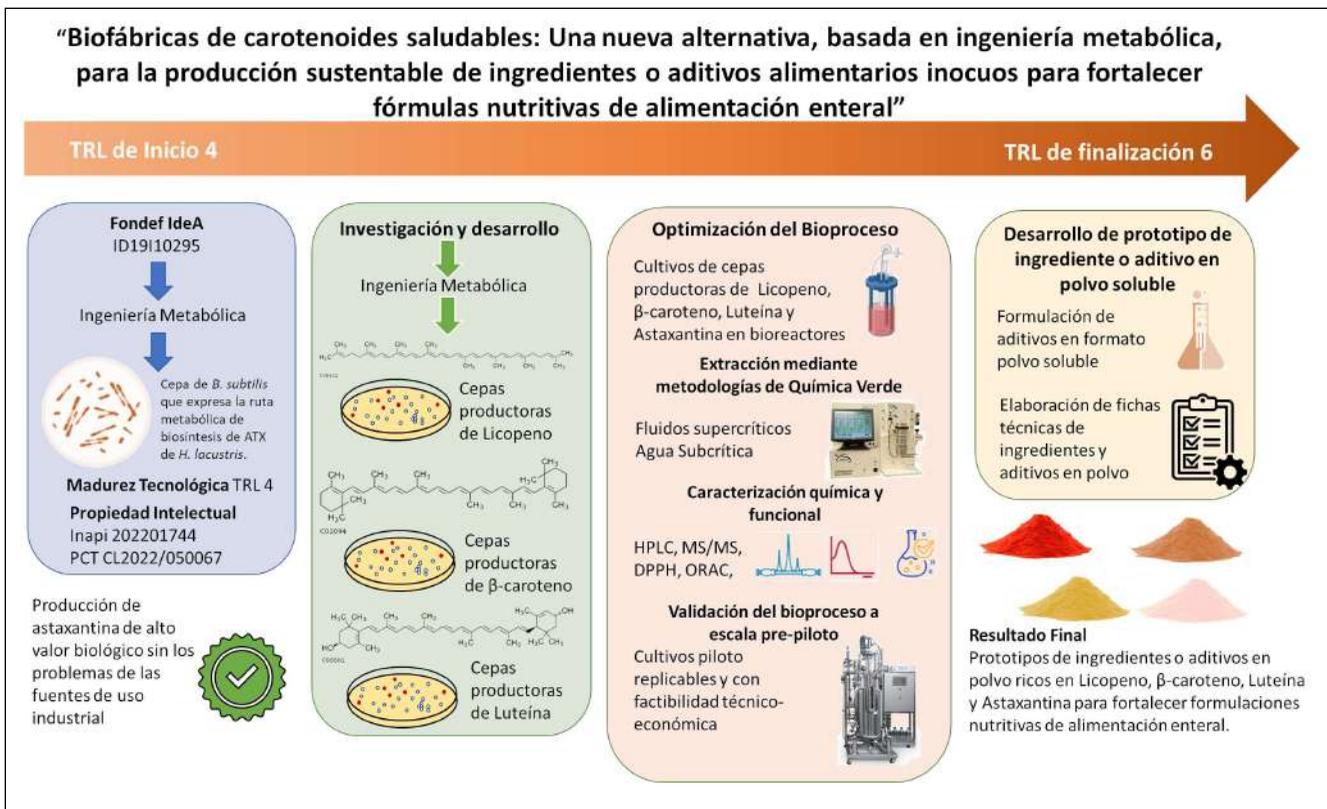


Figura 1: Resumen grafico del proyecto Tecnologías Avanzadas TA23I-10048.

Figure 1: Graphical abstract of the Advanced Technologies project TA23I-10048.

a modo de bio-fábrica, como una alternativa sustentable de obtención de ingredientes alimentarios inocuos (Figura 1).

El proyecto tiene sus raíces en una iniciativa de 2019, durante la cual se desarrolló una cepa de *B. subtilis* capaz de producir astaxantina (Figura 2), el carotenoide con mayor capacidad antioxidante reportado hasta la fecha, que protege contra el daño oxidativo y posee efectos una serie de efectos beneficiosos para la salud bien documentados.

El primer proyecto, FONDEF ID1910295, titulado “Ingeniería metabólica en *Bacillus subtilis* como herramienta para la biosíntesis de astaxantina. Una nueva alternativa para la industria nutraceútica”, tuvo como principal objetivo demostrar la factibilidad de producir astaxantina utilizando bio-fábricas bacterianas, de manera más productiva que la microalga *Haematococcus lacustris*, que actualmente es la única microalga utilizada para la producción comercial de astaxantina aprobada para consumo humano. Todo ello sustentado en las ventajas que presentan las bacterias como productoras de compuestos de alto valor, entre las que se destacan su independencia geográfica, su rápido crecimiento, bajo impacto ambiental y posibilidades de escalamiento. En la figura 3, se presenta un resumen de la primera iniciativa ejecutada, donde se destaca el problema y la solución propuesta por el proyecto.

The project has its roots in a 2019 initiative, during which a strain of *B. subtilis* was developed capable of producing astaxanthin (Figure 2), the carotenoid with the highest antioxidant capacity reported to date, which protects against oxidative damage and has a number of well-documented beneficial health effects.

The first project, FONDEF ID1910295, entitled “Metabolic engineering in *Bacillus subtilis* as a tool for astaxanthin biosynthesis. A new alternative for the nutraceutical industry”, its main objective was to demonstrate the feasibility of producing astaxanthin using bacterial biofactories, in a more productive way than the microalgae *Haematococcus lacustris*, which is currently the only microalgae used for the commercial production of astaxanthin approved for human consumption. This is based on the advantages of bacteria as producers of high-value compounds, including their geographical independence, rapid growth, low environmental impact and scalability. Figure 3 shows a summary of the first initiative carried out, highlighting the problem and the solution proposed by the project.

During this first initiative, the research team was able to demonstrate, on a laboratory scale, that the use of the new strain of *B. subtilis* makes it possible to obtain astaxanthin productivity nearly 7 times higher than that obtained industrially in *Haematococcus lacustris*. The promising results obtained after



Figura 2: Bioreactor con un cultivo de *B. subtilis* productor de astaxantina (izquierda). Biomasa concentrada de *B. subtilis* rica en astaxantina (derecha).

Figure 2: Bioreactor with a culture of astaxanthin-producing *B. subtilis* (left). Concentrated astaxanthin-rich *B. subtilis* biomass (right).

RESUMEN DEL PROYECTO

Astaxantina (ATX): Potente antioxidante con **efectos beneficiosos** para la salud humana y animal

Neuro-degenerativas

Enfermedades dermatológicas

cáncer

potencia sistema inmune

disminuye colesterol LDL

✓ Mercado de ATX estimado en USD 1100 millones para el 2026

✓ Crecimiento anual proyectado de 7,4%

Suplir la creciente demanda mundial de ATX para la industria nutracéutica requiere procesar grandes cantidades de biomasa algal, considerando que la principal fuente utilizada para su obtención es *Haematococcus lacustris*. El **pobre rendimiento de ATX** en esta microalga no suele superar 1,8% de peso seco de biomasa, haciendo de su obtención un **proceso poco eficiente y poco rentable**.

<p>ATX sintético</p> <ul style="list-style-type: none"> ✗ ~80% del mercado ✗ Menor Capacidad antioxidante ✗ No apta para el consumo humano. 	<p>ATX de <i>H lacustris</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ✗ Baja productividad ✗ grandes extensiones de terreno y volúmenes de agua ✗ Dependencia geográfica ✗ Variabilidad estacional ✗ No satisface la demanda por ATX de origen natural 	<p></p> <p>Oportunidad</p> <p></p> <p><i>Bacillus subtilis</i> productor de ATX</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Solución propuesta

- ✓ Independencia geográfica
- ✓ Sin variabilidad estacional
- ✓ Crecimiento rápido
- ✓ Bajo impacto ambiental
- ✓ Escalabilidad industrial
- ✓ Industria sustentable

Escalamiento de cultivos industriales de *H. lacustris*

Figura 3: Resumen del proyecto FONDEF FONDEF ID1910295 “Ingeniería metabólica en *Bacillus subtilis* como herramienta para la biosíntesis de astaxantina. Una nueva alternativa para la industria nutracéutica”

Figure 3: Resumen del proyecto FONDEF FONDEF ID1910295 “Ingeniería metabólica en *Bacillus subtilis* como herramienta para la biosíntesis de astaxantina. Una nueva alternativa para la industria nutracéutica”

Durante esta primera iniciativa, el equipo de investigación logró demostrar, a escala de laboratorio, que el uso de la nueva cepa de *B. subtilis* permite obtener una productividad de astaxantina cerca de 7 veces mayor a las obtenidas industrialmente en *Haematococcus lacustris*. Los prometedores resultados obtenidos tras esta experiencia, motivaron al equipo investigador a dar continuidad al proyecto a través de la iniciativa de tecnologías avanzadas, en búsqueda de escalar el proceso productivo, además de incluir la producción de otros carotenoides de alto valor. Si bien, actualmente muchos de estos carotenoides se encuentran

this experience motivated the research team to continue the project through the initiative of advanced technologies, in search of scaling up the production process, as well as including the production of other high-value carotenoids. Although many of these carotenoids are currently available on the market, there are a series of limitations associated with productivity, seasonality and the requirement of large volumes of water when using algae as the main raw material for obtaining them, reducing the economic viability and sustainability of processes for obtaining them (Figure 4).

COMPARACIÓN CON EL ESTÁNDAR ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE ATX		
Atributo	ATX-B	Cultivo tradicional
Productividad	1,22 gr· m ⁻³ · d ⁻¹ ATX(6.7 veces)	0,18 gr· m ⁻³ · d ⁻¹ ATX
Tiempo de cultivo e inducción	1-2 días 🕒	75-90 días 🕒 🕒 🕒
Costos de operación	Menor consumo de Agua	Mayor consumo de Agua
	Menor consumo de energía (movimiento de menores volúmenes de agua)	Mayor consumo de energía (movimiento de grandes volúmenes de agua)
	Menor necesidad de superficie 📏	Mayor necesidad de superficie 📏 📏 📏
Proceso	Mayor control de variables críticas	-Menor control de variables críticas -Propenso a la contaminación
Zona Geográfica	-Aplicable en cualquier zona geográfica -Independencia de la estacionalidad	-Requiere de luz (irradiación) y temperaturas estables ☀️ 🌡️

Figura 4: Ventajas competitivas del uso de *B. subtilis* (ATX-B) vs el cultivo tradicional de microalgas para obtener carotenoides.

Figure 4: Competitive advantages of using *B. subtilis* (ATX-B) vs. traditional microalgae cultivation to obtain carotenoids.

presentes en el mercado, existen una serie de limitaciones asociadas a la productividad, estacionalidad y requerimientos de grandes volúmenes de agua al utilizar algas como materia prima principal para su obtención, disminuyendo la viabilidad económica y sustentabilidad de procesos de obtención de estos (Figura 4).

Los principales protagonistas de este proyecto son los carotenoides (Figura 1). Los carotenoides son pigmentos que dan color a una amplia variedad de alimentos vegetales y animales, tales como zanahorias, jugo de naranja, tomates, salmón y yemas de huevo. Estos compuestos están adquiriendo mayor relevancia en el ámbito de la nutrición debido a sus propiedades antioxidantes y su capacidad para prevenir enfermedades. Tanto macroalgas como microalgas producen una serie de carotenoides de alto valor como parte de su metabolismo secundario. Los carotenoides son moléculas que tienen importantes actividades en el cuerpo humano, por ejemplo, son precursores de vitaminas como la Vitamina A.

Además, tienen diversas actividades biológicas como antioxidante que protegen de los efectos de la radiación UV en la piel, forman parte del cuerpo lúteo en el ojo, capacidad antiinflamatoria, también se han relacionado con efectos para reducir los riesgos asociados al cáncer de mama y próstata. Todas estas propiedades asociadas a los carotenoides



Figura 5: Cultivo de bacterias productoras de colorantes de origen algal.

Figure 5: Culture of algal dye-producing bacteria.

The main protagonists of this project are carotenoids (Figure 1). Carotenoids are pigments that give colour to a wide variety of plant and animal foods, such as carrots, orange juice, tomatoes, salmon and egg yolks. These compounds are becoming increasingly important in the field of nutrition due to their antioxidant properties and their ability to prevent disease. Both macroalgae and microalgae produce a number of high-value carotenoids as part of their secondary metabolism. Carotenoids are molecules that have important activities in the human body, e.g. they are precursors of vitamins such as Vitamin A. They also have a variety of biological activities such as the production of carotenoids. In addition, they have various biological activities such as antioxidant protection from the effects of UV radiation on the skin, part of the corpus luteum in the eye, anti-inflammatory capacity, and have also been linked to effects in reducing the risks associated with breast and prostate cancer. All these properties associated with carotenoids have a positive impact on health, however, enteral nutrition formulas contain carotenoids, but in low quantities, reducing the positive impact of these molecules on people. On the other hand, in Chile 95% of the population requires a dietary change, associated with a lack of healthy components in their diet.

Carotenoids are an essential component of a healthy diet because of their vitamin precursor



Figura 6: Colorantes algales producidos en bio-fábricas bacterianas, utilizados para colorear matrices líquidas.

Figure 6: Algal dyes produced in bacterial biofactories, used to colour liquid matrices.

impactan de manera positiva en la salud, sin embargo, las fórmulas de nutrición enteral contienen carotenoides, pero en cantidades bajas, disminuyendo el impacto positivo de estas moléculas en las personas. Por otra parte, en Chile el 95% de la población requiere un cambio de la alimentación, asociado a la falta de componentes saludables en su dieta.

Los carotenoides son un componente fundamental de una dieta saludable por ser precursores de vitaminas y por sus efectos protectores. Suplir la creciente demanda mundial de carotenoides por sus reconocidos beneficios a la salud, requiere el consumo de grandes cantidades de vegetales frescos. El pobre consumo de vegetales frescos, baja concentración de ellos, junto al ambiente contaminado y pro-oxidante hace que las personas sean propensas a diversas enfermedades crónicas no transmisibles, lo que tiene un gran impacto en la calidad de vida de las personas, en especial las personas mayores. Es con relación a lo anteriormente mencionado que este proyecto busca escalar las biofábricas de carotenoides, obtenerlos de manera sustentable y generar una formulación en polvo rica en carotenoides con el fin de ser incorporados a fórmulas de alimentación enteral, para que tengan los efectos biológicos deseados.

La propuesta de este proyecto incluye la participación de investigadoras e investigadores de la Facultad de Farmacia de la UdeC, los Dr. Cristian Rogel Castillo y Dra. Jessy Pavón Pérez pertenecientes al Depto. de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, en conjunto con investigadores de los deptos. de Análisis Instrumental, Dra. Claudia Mardones Peña y de Farmacia, Dra. Carolina Gómez Gaete, respectivamente. Este proyecto tiene varios aspectos que lo convierten en un proyecto relevante. Primero está el aspecto científico, de optimizar el bioproceso de obtención de los carotenoides saludables provenientes desde las biofábricas desarrolladas en el proyecto Fondef IDeA ID19I10295. Luego viene el aspecto tecnológico donde se van a generar los prototipos que serán incorporados a formulaciones de alimentación enteral ya existentes con el fin de enriquecerlos con carotenoides saludables. Finalmente, un aspecto muy importante está en la última etapa del proyecto que busca transferir la tecnología generada y validada en el transcurso del proyecto al sector productivo, quienes son

and protective effects. Meeting the world's growing demand for carotenoids for their recognised health benefits requires the consumption of large quantities of fresh vegetables. The poor consumption of fresh vegetables, low concentrations of them, together with the polluted and pro-oxidant environment makes people prone to various chronic non-communicable diseases, which has a great impact on the quality of life of people, especially the elderly. It is in relation to the above that this project seeks to scale up carotenoid biofactories, obtain them in a sustainable way and generate a carotenoid-rich powder formulation to be incorporated into enteral feeding formulas, so that they have the desired biological effects.

The proposal for this project includes the participation of researchers from the UdeC Faculty of Pharmacy, Dr. Cristian Rogel Castillo and Dr. Jessy Pavón Pérez from the Department of Food Science and Technology, together with researchers from the Departments of Instrumental Analysis, Dr. Claudia Mardones Peña and Pharmacy, Dr. Carolina Gómez Gaete, respectively. This project has several aspects that make it a relevant project. First, there is the scientific aspect of optimising the bioprocess for obtaining healthy carotenoids from the biofactories developed in the Fondef IDeA ID19I10295 project. Then comes the technological aspect, where prototypes will be generated that will be incorporated into existing enteral feeding formulations in order to enrich them with healthy carotenoids. Finally, a very important aspect is the last stage of the project, which seeks to transfer the technology generated and validated during the course of the project to the productive sector, who are the final actors and are of great importance in this value chain, as they are the ones who will deliver the final product to people, giving a real impact on technological development and the transformation of an idea into a tangible product with the social impact of job creation associated with this technology.

los actores finales y con una gran importancia en esta cadena de valor, ya que son los que van a entregar el producto final a las personas, dando un impacto real en el desarrollo tecnológico y en la transformación de una idea en un producto tangible con el impacto social de generación de empleos asociado a esta tecnología.

BIO-FÁBRICAS BACTERIANAS DE PROTEINAS COLORANTES ALGALES

Otra iniciativa originada también en el laboratorio GIBMAR tiene relación con el uso de bio-fábricas bacterianas, esta vez para expresar proteínas colorantes de origen algal (Figura 5). El equipo de investigación liderado por los investigadores Andrea Donoso y Jorge Dagnino, cuenta actualmente con un prototipo de colorante en polvo azul con miras a reemplazar los colorantes artificiales utilizados comúnmente en una serie de alimentos, especialmente bebidas (Figura 6).

Similar a lo logrado con los carotenoides, el uso de bacterias permite obtener altas productividades en tiempos considerablemente menores en comparación con las microalgas tradicionalmente utilizadas para obtener estas proteínas. El proyecto basal de este emprendimiento de base biotecnológica fue el proyecto Fondecyt Postdoc 3180614 "Expresión de Ficocianina de *Gracilaria chilensis* y *Porphyridium cruentum* y obtención de sus variantes de coloración en modelos bacterianos".

Los exitosos resultados llevaron al equipo investigador a fundar la StartUp biotecnológica Coloris Biotech (www.coloris.cl), la cual ya ha adjudicado dos proyectos StarUp Ciencia SUC 220035 y SUC 240079, el primero para desarrollar el primer prototipo del polvo colorante, y el segundo para mejorar la estabilidad de la formulación con tal de llegar próximamente al mercado. Coloris Biotech tiene como visión establecerse como una plataforma biotecnológica generadora de colorantes y pigmentos para la industria de alimentos y bebidas a partir de bio-fábricas bacterianas, que responden a las necesidades y expectativas de los consumidores, cada vez más conscientes de los efectos nocivos asociados a los colorantes artificiales.

BACTERIAL BIO-FACTORIES FOR ALGAL PROTEIN DYES

Another initiative also originating in the GIBMAR laboratory relates to the use of bacterial biofactories, this time to express algal dye proteins (Figure 5). The research team, led by researchers Andrea Donoso and Jorge Dagnino, currently has a prototype blue powdered dye with a view to replacing the artificial colours commonly used in a range of foods, especially beverages (Figure 6).

Similar to what has been achieved with carotenoids, the use of bacteria allows high yields to be obtained in considerably less time compared to the microalgae traditionally used to obtain these proteins. The baseline project for this biotechnology-based venture was the Fondecyt Postdoc 3180614 project "Expression of phycocyanin from *Gracilaria chilensis* and *Porphyridium cruentum* and obtaining their colouring variants in bacterial models".

The successful results led the research team to found the biotech start-up Coloris Biotech (www.coloris.cl), which has already been awarded two StarUp Science projects SUC 220035 and SUC 240079, the first to develop the first prototype of the colouring powder, and the second to improve the stability of the formulation in order to reach the market soon. Coloris Biotech's vision is to establish itself as a biotechnological platform generating colourants and pigments for the food and beverage industry from bacterial bio-factories, responding to the needs and expectations of consumers, who are increasingly aware of the harmful effects associated with artificial colours.



UCSC

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA



LABORATORIO DE ECOHIDRÁULICA

Estudios en:

- Efectos de perturbación controlada en sistemas acuáticos continentales
- Innovación y desarrollo de tecnologías en recursos hidrobiológicos
- Hidrodinámica de recursos hidrobiológicos

Contacto: Dra. Catterina Sobenes Vennekool
csobenes@ucsc.cl



LABORATORIO DE INGENIERÍA EN ACUICULTURA Y MEDIO AMBIENTE

Estudios en:

- Innovación y desarrollo en tecnologías de cultivo acuícola extensivo
- Estudio de factores en la fijación de semillas y el crecimiento de recursos hidrobiológicos
- Caracterización y seguimiento ambiental de ecosistemas acuáticos

Contacto: Mg. Christian Díaz Peralta
chdiaz@ucsc.cl



Transformamos la
innovación en acción

Cadenas productivas de actividades conexas y potencialidad para su desarrollo económico y social en Chile.



Catterina Sobenes ^{1,2}, Christian Díaz^{2, 3, 4}

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile. chdiaz@ucsc.cl

² Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile

³ Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

⁴ Núcleo Científico Tecnológico para el Desarrollo Costero Sustentable, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

La Ley 18.892 define la pesca artesanal como la actividad pesquera extractiva realizada por personas naturales en forma personal, directa y habitual, que trabajan como pescadores artesanales inscritos en el Registro Pesquero Artesanal (RPA), con o sin el empleo de una embarcación artesanal. Ésta se ejerce a través de una o más de las siguientes categorías: armador artesanal, pescador artesanal propiamente tal, buzo, recolector de orilla, alguero, y buzo apnea. Estas categorías no son excluyentes entre sí, por lo que una persona puede ser calificada y actuar simultánea o sucesivamente en dos o más de ellas, siempre que todas se ejerciten en la misma región. Desde el año 2021 la Ley 21.370 se definen las actividades conexas, que son aquellas que apoyan a la actividad extractiva definiéndose a las(os): charqueadoras(os), encarnadoras(os), tejedoras(os), ahumadoras(os) fileteadoras(os), carapacheras(os) y desconchadoras(os), pudiendo encontrarse otras más como amarradora o enfardadora, y carpintero de ribera que no son descritas en el presente artículo.

Estas actividades son las que se realizan antes o posterior a la extracción de los recursos hidrobiológicos. En este artículo, se describen las cadenas productivas, definidas desde la recepción de materias primas hasta la venta o entrega a intermediarios o consumidores finales para cada tipo de actividad conexas (ver figura 1).

Estas se describen a continuación:

Charqueadora o charqueador: son mujeres u hombres que procesan para su conservación el pescado mediante su secado salado. Esta actividad, se inicia con la recepción de materia prima que son los pescados (jurel, merluza o sardina) capturados por pescadores artesanales el proceso detallado por cada etapa.

Encarnadora o encarnador: están directamente relacionadas con la pesca artesanal respecto al mantenimiento de espineles y palangres. Es una actividad de servicio mantenimiento y reparación de los aparejos el proceso productivo de esta actividad comienza con la disponibilidad de materia prima, pescados que han sido

capturados por pescadores artesanales. La encarnadora o encarnador recibe el aparejo de pesca, espinel, que puede o no ser del mismo pescador que entregó el pescado como materia prima.

Tejedora o tejedor: están directamente relacionadas con la pesca artesanal respecto al mantenimiento de redes. Es una actividad de servicio mantenimiento y reparación de los aparejos, tales como; enmalle o trasmallo de tres telas. Se receptiona la red y se acuerda con el pescador el servicio que se realizará y el plazo para ser entregado.

Ahumadora o ahumador: son aquellos que realizan la elaboración de proceso de elaboración para la conservación de pescado mediante la cocción con humo de leña o carbón, cuyo proceso dura entre 2 a 4 horas.

Fileteadora o fileteador: son aquellos que realizan la elaboración de proceso de elaboración de preparación de filetes para la venta del pescado al consumidor final o en otros casos para entregar al vendedor final que puede o no ser pescador artesanal.

Carapachera o carapachero: es la elaboración de la carne de crustáceos como por ejemplo jaibas, centollas, entre otros, mediante la extracción y desmenuzar la carne de éstos, previa cocción, para su almacenamiento y venta del producto congelado, a consumidores finales o restaurantes.

Desconchadora o desconchador: es la elaboración de extracción de la carne de moluscos desde sus valvas (conchas) de interés comercial (locos, almejas, cholgas, choritos, machas, lapas, huepo, entre otros).

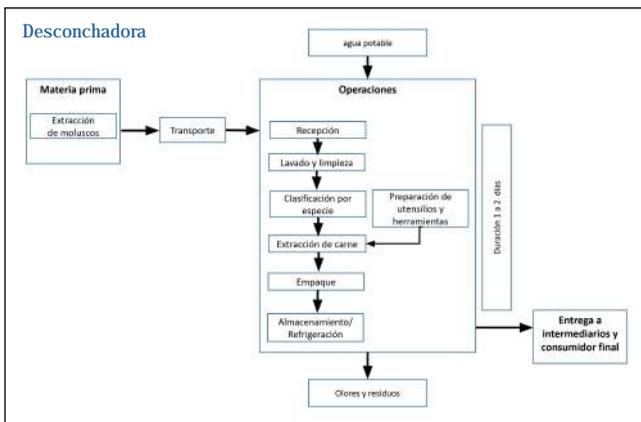
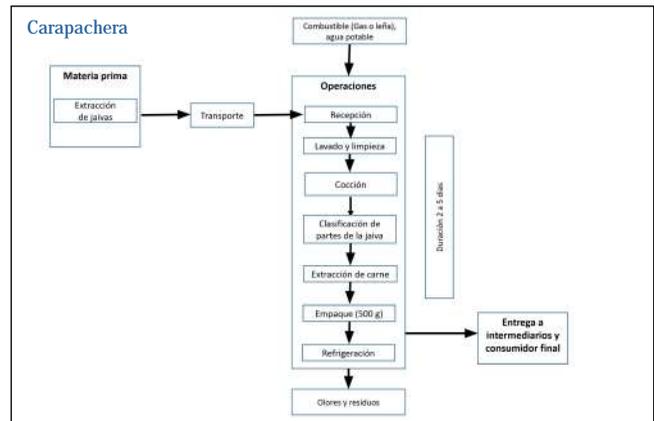
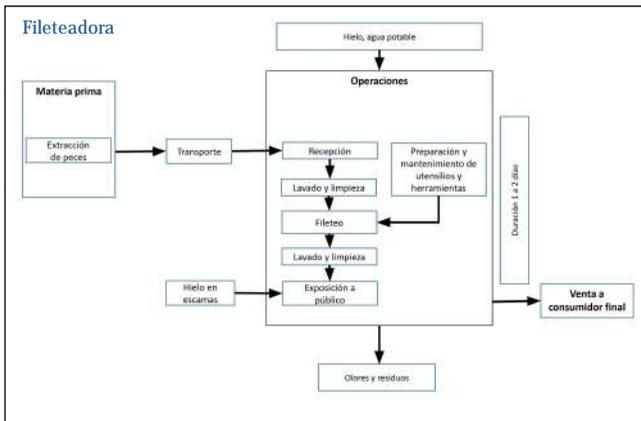
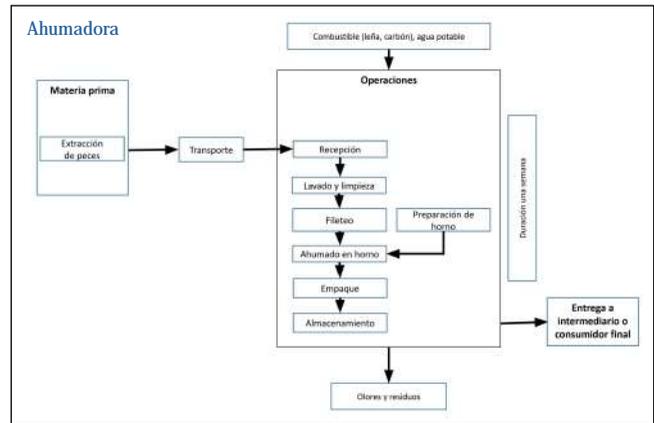
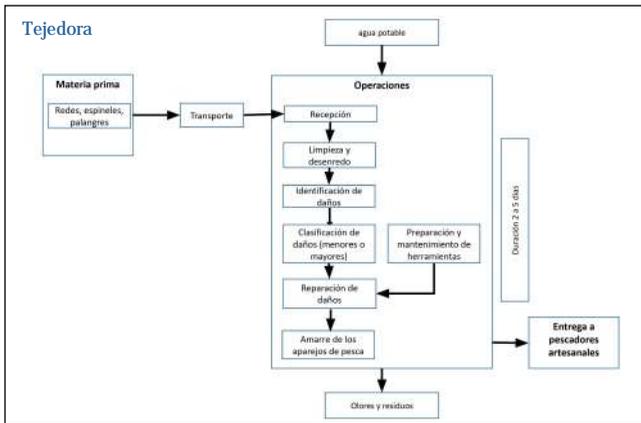
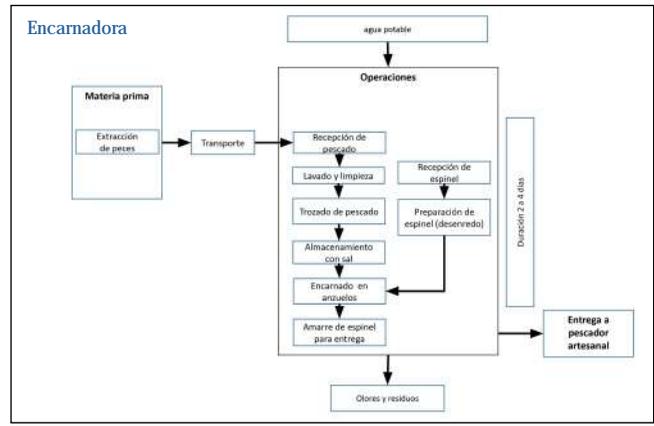
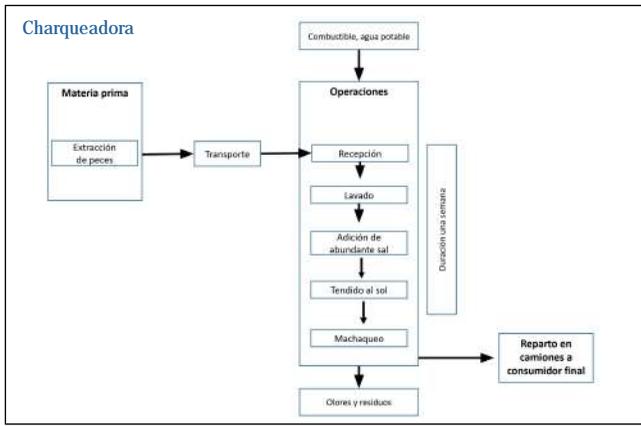


Figura 1: Cadenas productivas de las actividad conexas en Chile. (Fuente: Elaboración propia).

Para mejorar y fortalecer el desarrollo de estas actividades en Chile, se requiere diseñar instrumentos de apoyo de acuerdo a cada actividad, siendo de común para todas las señaladas en la figura 2.



Figura 2: Mejoras para el desarrollo de las actividades conexas en Chile. (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 1: Potencialidades y acciones propuestas para el desarrollo económico y social de las actividades conexas.

POTENCIALIDAD	ACCIÓN PROPUESTA
Mejoramiento de los puestos de trabajo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instalación de espacios para lavado y limpiezas de moluscos. 2. Instalación de equipamiento mesones de acero inoxidable para realizar las distintas etapas del proceso. 3. Superficies que permitan el trabajo con herramientas como cuchillos y alicates. 4. Estructuras que faciliten el almacenamiento del producto terminado.
Mejoramiento de condiciones operaciones manuales.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de guantes resistentes a cortes y abrasión. 2. Uso de botas de agua. 3. Uso de delantal, mascarillas y gorros higiénicos.
Mejoramiento de condiciones sanitarias.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad de agua potable permanente para limpiar las superficies de trabajo. 2. Instalación de filtros en las descargas de agua para evitar residuos orgánicos en los ductos de descarga. 3. Uso de dispositivos con tapas para la disposición de residuos orgánicos. 4. Incorporar etapas de limpieza y desinfección en las superficies y utensilios de trabajo durante el día. 5. Certificar la bajo normas sanitarias las operaciones realizadas para alimentos de consumo humano directo. 6. Contenedores que faciliten el almacenamiento y retiro de los desechos orgánicos. 7. Instalación de filtros desodorizadores en el proceso de cocción.
Mejoramientos de condiciones económicas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coordinación entre mujeres que desempeñan la actividad para actuar como cooperativa por caleta o territorio. 2. Programas de capacitación en manejo y procesamiento de productos del mar, cooperativismo, normas sanitarias para procesamiento de productor del mar para consumo humano directo, comercialización de productos a restaurante, liderazgo femenino, ergonomía en puestos de trabajo, innovación tecnológica y comercial, mecanismos de financiamiento de proyectos de fomento productivo y asistencia técnica.



ALGUNAS CONSIDERACIONES

Para potenciar las actividades conexas, se debe mantener acciones de capacitación, financiamiento de iniciativas productivas con acompañamiento en su formulación, ejecución de los proyectos, para lo cual se deben diseñar programas acorde a los alcances económicos de ésta. Además, es importante que se promueva el trabajo cooperativo para incrementar el poder de negociación con compradores, desarrollo de la actividad, con una mirada de mejora continua, considerando posibilidad de autonomía de la actividad en su desarrollo, acompañado de iniciativas que favorezcan la participación de mujeres en la actividad, lo que favorece al empleo de las regiones, y desarrollo de las personas de la actividad.

REFERENCIAS

Ley 18.892, 1991. LEY N° 18.892, de 1989 y sus modificaciones, Ley general de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=13315>

Ley 21.370, 2021. Modifica cuerpos legales con el fin de promover la equidad de género en el sector pesquero y acuícola. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1164124>

FIPA 2022-03. Análisis con enfoque de género de a Regulación y Políticas Públicas en el Sector Pesquero y Acuícola en Chile. Brechas de género y propuestas de mejora. Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Universidad Católica de la Santísima Concepción. 353 p. Disponible en: https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-117035_informe_final.pdf

EL JUREL CHILENO

MANEJO PESQUERO EFICIENTE CON RESPALDO CIENTÍFICO



Sergio Núñez, Rubén Luna, Cristián Salas, Sebastián Vásquez y Aquiles Sepúlveda.

Departamento de Pesquerías. Instituto de Investigación Pesquera.
snunez@inpesca.cl, rluna@inpesca.cl, csalas@inpesca.cl, svasquez@inpesca.cl, asepulveda@inpesca.cl

EL JUREL EN EL OCÉANO PACÍFICO SURORIENTAL

El jurel chileno (*Trachurus murphyi* Nichols 1920) es un recurso pesquero pelágico de amplia distribución en el Pacífico Sur (Figura 1) (Gretchina 1998, Ashford *et al.*, 2010, Gerlotto *et al.* 2012), extendiéndose a lo largo de la plataforma continental y aguas oceánicas adyacentes de Ecuador, Perú y Chile. Frente a Chile centro-sur, la especie se distribuye también en la altamar en una banda latitudinal que abarca entre los 30° y los 50°S, alcanzando hasta Nueva Zelanda y Tasmania (Grechina 1998, Vásquez *et al.* 2023).

El jurel sustenta la pesquería pelágica más importante para Chile. Ha sido explotado por la flota chilena en dos unidades pesqueras: la unidad norte, entre la Región de Arica-Parinacota y la Región de Valparaíso, y la unidad centro-sur, entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos. La principal unidad de pesquería es la centro-sur y se extiende latitudinalmente entre el 32° 10'S y el 42° 00'S, con un foco principal de actividad extractiva centrado en la Región del Biobío, cuyos principales puertos de desembarque corresponden a San Vicente, Coronel, Talcahuano y San Antonio (Arcos *et al.* 2001, Subpesca 2007).

En el Pacífico Sudeste (Área 87, FAO), las capturas de jurel chileno adquirieron importancia a mediados de los años setenta, compuestas principalmente por capturas realizadas por Chile, la exUnión Soviética y el Perú; y que, en conjunto, a finales de la década del 80, representaban un desembarque de alrededor de cuatro millones de toneladas (Subpesca 2007). De acuerdo con la historia de esta pesquería, Chile exhibe una participación

importante durante el período 1992-1995, alcanzando un promedio de 96% de las capturas anuales, con un máximo de 4,5 millones de toneladas en el año 1995. Cabe resaltar la participación de los desembarques por la flota de la exUnión Soviética, que durante sus operaciones en el período 1978-1992 desembarcó el 22% de las capturas anuales (Subpesca 2007, Naranjo *et al.* 2015). A partir del año 2016 y hasta la actualidad, el jurel chileno ha sido declarado en una condición de plena explotación (Subpesca, 2023).

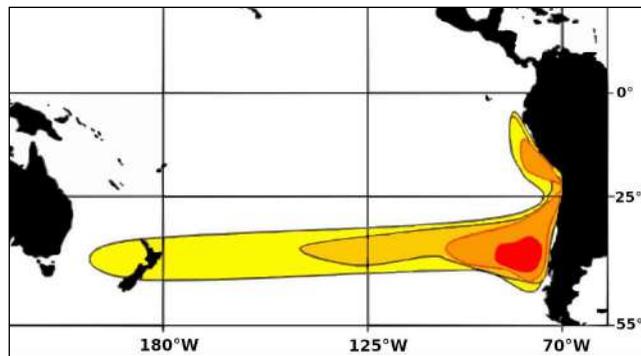


Figura 1: Distribución del jurel chileno (amarillo) y sus posibles configuraciones espaciales dependientes del nivel de abundancia (naranja). La zona de mayor concentración se muestra en color rojo (modificado de Gerlotto *et al.*, 2012).

En el desarrollo de la pesquería de jurel, la cobertura espacial de la flota industrial de cerco ha presentado fuertes cambios que han estado principalmente relacionados con la abundancia y disponibilidad del recurso. La explotación del jurel más allá de las primeras 100 millas náuticas desde la costa se inició en el año 1992 y, a mediados de la década de 1990, la incidencia de las capturas registradas entre las 100 y 200 mn era superior al 30%. Entre los años 2002-2003 las capturas de jurel en la región centro-sur se extienden más

allá de las 200 mn (Zona Económica Exclusiva), alcanzando incluso a la alta mar (aguas internacionales hasta las 700 mn). Esta situación se intensifica en el período 2008-2011, período en el cual gran parte de las capturas de jurel en la región centro-sur se desarrollan en la alta mar, alcanzando incluso más allá de las 1000 mn desde la costa. Por el contrario, a partir del año 2012 y hasta la actualidad (2023), las capturas de jurel se han desarrollado en el sector costero (<100 mn), y particularmente en los últimos 5 años, la cobertura espacial de las capturas de jurel no ha sobrepasado las 60 mn. desde la costa (Córdova *et al.* 2022).

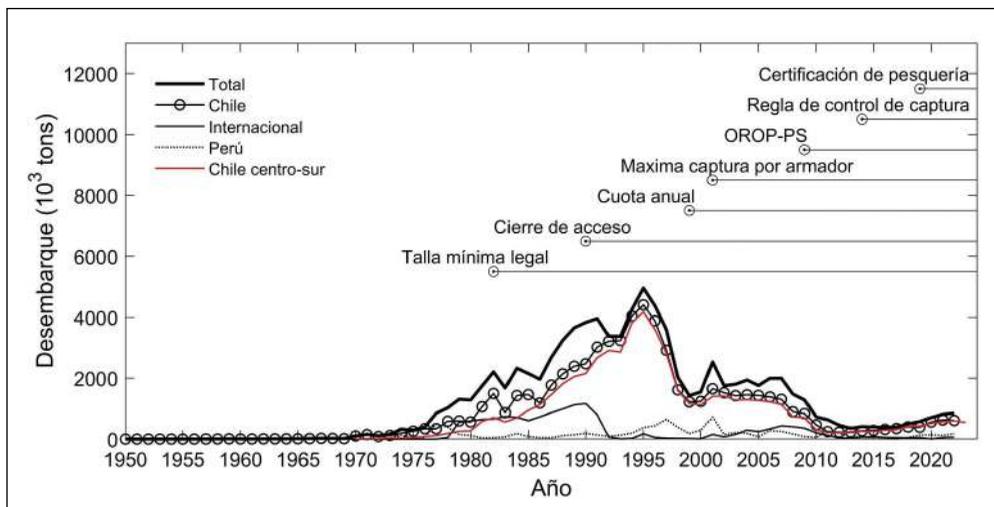


Figura 2: Series temporales de captura de jurel chileno por flota y línea de tiempo de los hitos destacados en el manejo pesquero (elaboración propia).

CRONOLOGÍA DE LA PESQUERÍA DEL JUREL EN CHILE

El desarrollo de la pesquería de jurel chileno puede resumirse en los siguientes hitos principales (Figura 2):

1. Inicio, Plena Explotación y Sobreexplotación

La pesquería de jurel se inició en Chile en el año 1970, en la región norte del país, con desembarques anuales en el orden de los cientos de miles de toneladas, y donde el 75% de la captura era realizada por buques chilenos dentro de la Zona Económica Exclusiva. A partir de 1975 y hasta 1984, los desembarques chilenos de jurel crecieron sostenidamente, alcanzando valores que fluctuaron entre las 200 mil toneladas hasta el millón de toneladas, debido al aumento del esfuerzo pesquero y a la alta disponibilidad del recurso. Esta situación se intensifica en la década de 1990, observándose un incremento sostenido de los desembarques en la región centro-sur, resaltando el máximo histórico de 4,5 millones de toneladas en el año 1995.

Las capturas de jurel comenzaron a disminuir en 1996 y cayeron fuertemente a partir de 1997, debido a la sobreexplotación pesquera y a la disminución de los reclutamientos. En respuesta a esta situación, la autoridad sectorial implementó diversas acciones de manejo y regulaciones administrativas, que en conjunto con la autorregulación de la industria (reducción de la flota industrial de cerco de la región centro-sur), jugaron un papel importante en la disminución del esfuerzo pesquero en el periodo 1997-2000 (Figura 3).

Durante los años 1999-2000, la autoridad pesquera nacional determinó que el recurso jurel se encontraba en una situación de inestabilidad, argumentando que se habían sobrepasado niveles mínimos que aseguren la recuperación del stock (Sepúlveda *et al* 2005), surgiendo la aplicación de cuotas globales de captura de cerca de 1,1 millones de toneladas. Finalmente, bajo la ley N° 17.913, se aplica el Límite Máximo de Captura por Armador (LMCA).

2. Limite Máximo de Captura por Armador (LMCA)

A partir del año 2001, entra en vigor en Chile la ley 19.713, como regulación pesquera aplicada al recurso jurel, observándose un ordenamiento en el régimen de explotación desde su aplicación. Esta ley, que establece la medida de administración del Límite Máximo de Captura por Armador (LMCA), fija una cuota global de captura de jurel para el país, y se generan los mecanismos de asignación en cada unidad de pesquería.

En consistencia con lo anterior, entre los años 2001 y 2007, se observa una estabilización de los desembarques de jurel, como

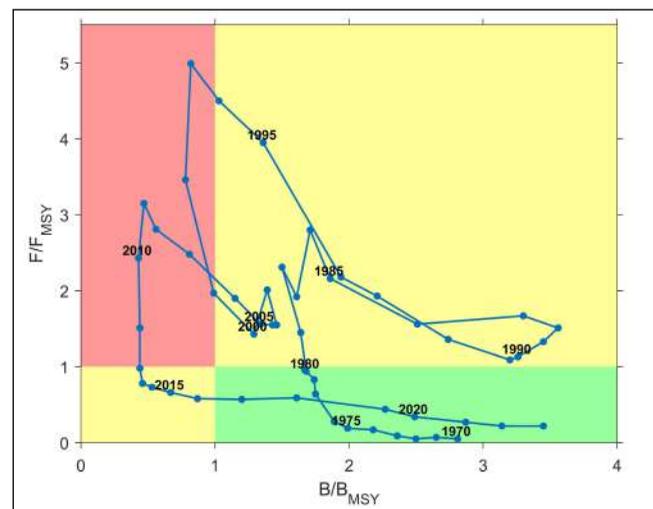


Figura 3: Diagrama de estatus del stock. F= Mortalidad por pesca, B= Biomasa desovante, MSY= Rendimiento Máximo Sostenido (elaboración propia, data: SPRFMO, 2023). El área verde indica la zona segura de la pesquería con presión por pesca sostenible y niveles de biomasa desovante saludables. El recuadro amarillo superior derecho la biomasa del stock está a punto de sobreexplotada debido a la alta presión pesquera. En el área roja la biomasa de stock está agotada por sobreexplotación continua. La zona amarilla indica la fase de recuperación del stock con presión pesquera reducida.

respuesta a las acciones regulatorias por parte de la autoridad, posibilitando capturar en torno a 1,5 millones de toneladas anuales (Figura 2).

3. La Organización Regional de Manejo Pesquero (ORP) En el año 2009, con la finalidad de establecer un manejo integrado con base científica de los recursos marinos transzonales, se crea la Organización Regional de Manejo Pesquero del Pacífico Sur (South Pacific Regional Fisheries Management Organization, SPRFMO), siendo oficialmente establecida el año 2012 (SUBPESCA, 2012). En la primera reunión de la SPRFMO, llevada a cabo el año 2013 en Nueva Zelanda, se establecen medidas restrictivas para la captura de jurel, basadas en un asesoramiento científico internacional de primer nivel, iniciando de este modo una gestión conjunta hacia el manejo del jurel chileno en el Pacífico Suroriental (Rodríguez & Urrutia, 2020).

Desde el año 2011 hasta el 2015, a pesar de registrarse una estabilización en los desembarques anuales, el recurso se mantiene en una condición de sobreexplotación (Figura 3). A partir del año 2014, la SPRFMO establece una regla de control precautoria de captura para la pesquería de jurel, que establece que la captura total permisible no variará más de un 15% de un año a otro, con el objeto de promover la recuperación de la pesquería en el mediano plazo.

La SPRFMO ha establecido límites de captura de jurel para cada país miembro de la organización (asignación de Chile actual es del 66,4% de la cuota global), posibilitando la transferencia de cuotas de captura entre los países miembros, incentivando la generación de bases de datos conjuntas entre los países miembros (tanto de información de desembarque como información biológico-pesquera y de observadores científicos a bordo de navas pesqueras), con el propósito de alimentar un modelo de evaluación de stock integrado de jurel en el Pacífico Suroriental, implementado por el comité científico de la SPRFMO y cuyos principales resultados se divulgan por medio de reuniones y reportes científicos anuales.

El éxito del trabajo colaborativo de organizaciones internacionales y el manejo de pesquerías regionales no es nuevo a nivel mundial. Ejemplos como: i) la IATTC (Inter-American Tropical Tuna Commission 1949) en el Océano Pacífico Oriental (Bayliff 2015), ii) la NAFO (Northwest Atlantic Fisheries Organization 1979) en

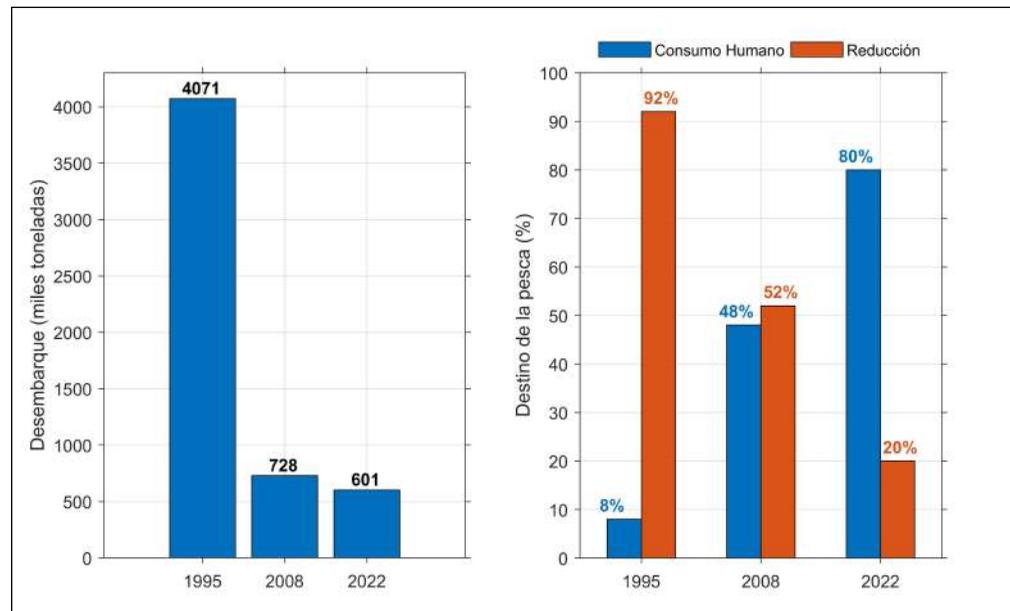


Figura 4: Destinos de la pesca del jurel chileno en la pesquería de la zona centro-sur de Chile. Reducción: harina y aceite de pescado (elaboración propia).

parte del Atlántico Noreste (Blasdale 2023), y iii) la CCAMLR (Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources 1980) al sur de la Convergencia Antártica (CCAMLR, 2015, 2022), han mostrado buenos resultados en el manejo internacional de pesquerías desde hace más de 70 años, con foco en la conservación y manejo de las pesquerías en diferentes regiones del mundo.

4. Recuperación

A partir del año 2016 y hasta la actualidad, el jurel chileno ha sido declarado en una condición de plena explotación (Subpesca, 2023), con un desembarque total anual que ha incrementado de las 288.772 toneladas en el año 2015, a las 924.874 toneladas en el año 2023, evidenciando un incremento del 220% (Sernapesca, 2023). Este incremento en las capturas ha sido la respuesta a una recuperación poblacional de mediano plazo (menor de 10 años), que ha mostrado un incremento sostenido en los estimados de biomasa desovante a partir de 2016, situando al recurso en niveles de biomasa desovante por sobre aquella consignada en el máximo rendimiento sostenible (RMS). Los modelos desarrollados por la organización internacional SPRFMO el año pasado, establecen una biomasa desovante que constituye el segundo valor máximo en la serie histórica de la pesquería de jurel en Chile (1970-2023) (Figura 5).

Esta recuperación de la pesquería del jurel chileno ha estado estrechamente ligada a importantes medidas de administración pesquera nacional e internacional (en el contexto de la SPRFMO), como también al conjunto de buenas prácticas pesqueras que la industria pesquera de cerco ha adoptado, posibilitando la explotación sostenible del jurel en el Pacífico Suroriental.

Junto con esta evolución de la pesquería de jurel, los destinos de la pesca en el proceso productivo también han cambiado, como lo muestra la Figura 4, que resalta un comportamiento inverso entre la producción hacia consumo humano indirecto (harina/aceite de pescado) y el destino hacia el consumo humano directo. De esta manera, en el año 1995 en el cual se verifica el máximo histórico de desembarque nacional (4,5 millones de toneladas) el 92% de la pesca se destinaba a la reducción (harina y aceite de pescado) y sólo un 8% al consumo humano; por el contrario, en el año 2022 sólo el 20% se destina a la producción de harina/aceite de pescado y un 80% hacia el consumo humano directo, con un desembarque significativamente menor (~600 mil toneladas).

Este cambio en el destino de las capturas de jurel por parte de la industria pesquera de cerco, con asiento principalmente en la Región del Biobío, es consistente con las directrices sobre seguridad alimentaria y la necesidad de provisión mundial de

INPESCA: INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA APLICADA A PESQUERÍAS

Dentro de este contexto del manejo pesquero integrado basado en ciencia, el Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA) ha desempeñado un rol participativo desde hace más de tres décadas, focalizando su quehacer científico en la investigación aplicada hacia las principales pesquerías nacionales, tanto pelágicas como demersales, privilegiando la investigación científica multidisciplinaria e integrada.

En INPESCA, el jurel chileno ha sido uno de los recursos más intensamente estudiados en el desarrollo de su asesoría científica. Esta investigación de varias décadas ha sido diversa, abarcando la dinámica operacional y los aspectos biológico-pesqueros, ha puesto a prueba hipótesis sobre su distribución costera y oceánica, ha generado modelos biofísicos especialmente en los primeros

estadios de vida (huevos y larvas) asociados a la dinámica oceanográfica en la alta mar (aguas internacionales), promoviendo índices de reclutamiento alternativos, ha realizado estudios integrados de la dinámica poblacional del recurso en el Pacífico Sur, así como ha puesto esfuerzos en estudiar la variabilidad de la biomasa y abundancia en relación con hitos ambientales relevantes (*e.g.*, El Niño/La Niña).

Asimismo, destaca el relevante desempeño que ha tenido en el proceso de certificación MSC para el jurel en la región centro-sur de Chile, así como la visión en la investigación aplicada para la conservación y

sustentabilidad pesquera, con estudios espacio-temporales del hábitat y la fauna concurrente para lograr un manejo pesquero con enfoque en el ecosistema. Resalta también el rol que INPESCA ha desempeñado en la gestión científica nacional del jurel, tanto a través de su participación permanente en instancias asesoras y consultivas de la administración (Comités científicos y Comités de Manejo), así como en el ámbito internacional y la participación permanente en la Organización Regional de Manejo Pesquero del Pacífico Sur (SPRFMO) a través de los distintos grupos de trabajo del Comité Científico y la asesoría hacia la toma de decisiones por parte de su Comisión.

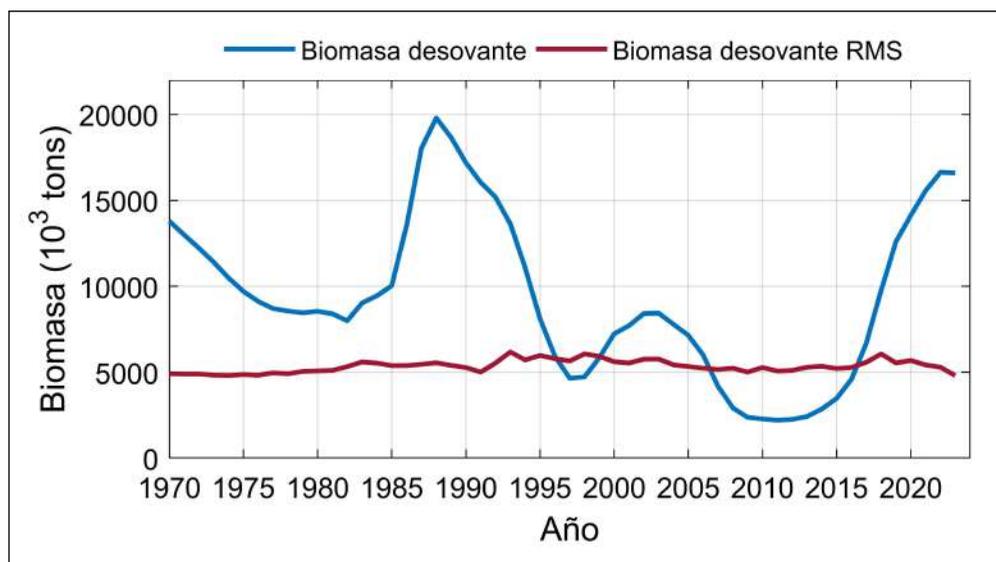


Figura 5: Series temporales de Biomasa desovante del jurel. En azul la biomasa desovante estimada y en rojo la biomasa desovante en el máximo rendimiento sostenible. Niveles de biomasa por debajo del RMS indican sobreexplotación (elaboración propia).

proteínas para la población humana, establecidas por la Agencia de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2024). De esta manera, nuestro país promueve y potencia la producción y consumo de alimento saludable, proporcionando a la población proteínas de alta calidad y nutrientes esenciales como omega-3, minerales y vitaminas.

5. Certificación

Otro hito de relevancia en la historia de la pesquería del jurel es la obtención, en el año 2019, de la prestigiosa certificación de Marine Stewardship Council (MSC) para la pesquería de jurel de la zona centro-sur de Chile, gracias al manejo apropiado del recurso con acciones basadas en altos estándares científicos que sustentan una gestión sostenible. Este importante logro convierte al jurel en la pesquería certificada más grande de Latinoamérica.

Los estudios de INPESCA en ciencia pesquera lo han llevado a participar en numerosas publicaciones científicas, así como en la organización de workshops, congresos científicos y cursos de especialización, a nivel nacional e internacional.

La evolución de la pesquería del jurel chileno revela periodos de explotación, sobreexplotación y recuperación, y su manejo pesquero ha estado sustentado en una combinación entre la administración nacional y la cooperación internacional. La implementación del Límite Máximo de Captura por Armador (LMCA) y la creación internacional de la SPRFMO, han sido cruciales para revertir la tendencia del declive de la pesquería. El éxito en la recuperación del recurso es un testimonio de la importancia de un manejo pesquero basado en ciencia y en su monitoreo constante, lo cual ha llevado al jurel chileno a niveles de biomasa desovante por encima del rendimiento máximo sostenible en los últimos años, mostrando niveles de pesca saludables.

En el proceso de recuperación del jurel chileno no solo destaca el valor de una administración pesquera bien fundamentada y adaptativa, sino también el impacto positivo de las prácticas pesqueras sostenibles por parte de la industria. La certificación MSC de la pesquería en el año 2019 y la evolución favorable en la proporción de captura destinada al consumo humano, reflejan avances relevantes hacia la sostenibilidad del recurso. A medida que el jurel chileno siga siendo un ejemplo de manejo pesquero exitoso, la continua colaboración entre instituciones nacionales e internacionales y el respaldo de la ciencia, seguirán siendo fundamentales para asegurar la sostenibilidad y la salud de esta valiosa pesquería chilena.

REFERENCIAS

- Arcos, D.F., Cubillos, L.A. & Núñez, S.P. (2001). The jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*. 49, 597–617.
- Ashford, J., La Mesa, M., Fach, B.A., Jones, C., & Everson, I. (2010). Testing early life connectivity using otolith chemistry and particle-tracking simulations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 67, 1303-1315.
- Bayliff, William H. (Editor). 2015. ANNUAL REPORT of the Inter-American Tropical Tuna Comisión. 245 pp.
- Blasdale, Tom (Editor) (2023). *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, Vol. 54. 2023. 60 pp.
- CCAMLR (2015). Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos. 12 págs. Disponible en sitio web: <https://www.ccamlr.org/es/system/files/CCAMLR%20Brochure%20Spanish%20v3.pdf>.
- CCAMLR (2022). CCAMLR: 40 years of the Convention (1982–2022). CCAMLR Secretariat. (https://www.ccamlr.org/en/system/files/CCAMLR-40th-Anniversary-Book_6.pdf)
- Córdova, J., B. Leiva, V Catasti, C Valero y L Muñoz (2022). Evaluación hidroacústica de jurel en la zona centro sur, año 2021. IT/ASIPA/2021. Instituto de Fomento Pesquero. Valparaíso, Chile (114p) +figs. y anexos.
- FAO (2024). El estado mundial de la pesca y acuicultura 2024. La transformación azul en acción. Versión resumida. Roma. 38 págs. Disponible en sitio web: <https://doi.org/10.4060/cd0690es>.
- Grechina, A.S., Núñez, S. & Arcos, D. (1998). Biología reproductiva del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el Pacífico sur. En: D. Arcos (ed.). *Biología y ecología del jurel en aguas chilenas*. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano. 77-79.
- Gerlotto, F., Gutiérrez, M., & Bertrand, A. (2012). Insights on population structure of the Chilean Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*). *Aquatic Living Resources*. 25, 341–355.
- Naranjo, L., Plaza, F., Yáñez, E., Barbieri, M. & Sánchez F. (2015). Forecasting of Jack mackerel landings (*Trachurus murphyi*) in central-southern Chile through neural networks. *Fisheries Oceanography*. 24(3), 219-228. <https://doi.org/10.1111/fog.12105>.
- Rodríguez S., & Urrutia O. (2020). A Better World- Volume 6: Successful science-based fisheries management in the South Pacific, pp 45-47. <https://www.humandevlopmentforum.org/digital/a-better-world-vol-6/45/index.html#zoom=z>.
- SERNAPESCA (2023). Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura. Disponible en sitio web: <https://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura/>.
- SUBPESCA (2024). Estado de Situación de las Principales Pesquerías Chilenas, Año 2023. Departamento de Pesquerías, División de Administración Pesquera, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Marzo de 2024. 138 págs.
- SPRFMO (2022). Jack Mackerel. Stock assessment and harvest strategies. Disponible en el sitio web: <https://www.sprfmo.int/science/jack-mackerel/>.
- SUBPESCA (2017). Plan de manejo para la pesquería de jurel XV a X regiones, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, 99 págs.
- SUBPESCA (2012). Organización Regional de Pesca del Pacífico Sur – SPRFMO. Disponible en el sitio web: <https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-article-96869.html>.
- Vásquez S.I., Cubillos, L.A., & Sepúlveda, A. (2023). A Bayesian spatio-temporal approach for the standardization of CPUE in the Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) fishery of central-southern Chile. 10th Meeting of the Scientific Committee. SC11 JM07. SPRFMO.

LA PESQUERÍA DEL JUREL EN EL PACÍFICO SUR ORIENTAL (1973-2023): CAMBIOS INTERDECADEALES DEL RENDIMIENTO MÁXIMO SOSTENIDO CON EL AMBIENTE Y PROYECCIONES DEL HÁBITAT CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

Eleuterio Yáñez¹, Claudio Silva², María Angela Barbieri¹, Francisco Plaza³, Antonio Aranís⁴ & Pierre Fréon⁵

¹ Profesor Titular Pontificia Universidad Católica Valparaíso

² Consultor

³ Universidad de Santiago

⁴ Investigador en Pesquerías

⁵ Científico Pesquero

eleuterio.yanez@pucv.cl

El jurel (*Trachurus murphyi* Nichols 1920) presenta una amplia distribución en el Pacífico Sur, desde el ecuador hasta el sur de Chile, llegando hasta Nueva Zelanda y Tasmania (Serra, 1991; Poulin et al., 2004). En Chile esta especie es capturada por flotas artesanales e industriales de cerco, alcanzando un máximo histórico de 4.400.000 t en 1995; en tanto que éstas disminuyen drásticamente hasta 231.360 t en 2013, para luego aumentar hasta 924.874 t en 2023 (SERNAPESCA, 2024). En tanto que en el Pacífico Sur Oriental (PSO), la Organización Regional del Pacífico Sur (OROP-PS) registra capturas desde 1970 para 16 países (incluida la Unión Europea), con un máximo de 4.955.186 t en 1995, que disminuyen notablemente a 353.120 t en el 2013 y que aumentarían a 1.134.612 t en el 2023 (SPRFMO SC11-Report, 2023). Así, los desembarques de Chile representan el 73% de las capturas registradas para el PSO entre 1970 y 2023; en tanto que las capturas industriales de cerco del centro-sur de Chile representan el 55% de las capturas realizadas en el PSO desde 1973 al 2023 (SERNAPESCA, 2018-2024).

Para garantizar la sostenibilidad de la pesca y salvaguardar el ecosistema marino, el manejo de esta pesquería en el Pacífico Sur Oriental lo realiza oficialmente la OROP-PS. La pesca de jurel en esta región es realizada por flotas cerqueras de zonas costeras de Chile, Perú y Ecuador, y por flotas arrastreras pelágicas de aguas lejanas de diversos países que operan más allá de la ZEE de los estados costeros. Así, la OROP-PS utiliza un modelo estadístico de captura por edad para evaluar la población de jurel (SPRFMO SC11-Report, 2023).

RESUMEN

Se analiza la pesquería de jurel (*Trachurus murphyi*) en el Pacífico Sur Oriental desde 1973 al 2023, estimando rendimientos máximos sostenidos alrededor del millón de toneladas para el período interdecadal frío de 1999 al 2023. En tanto que en el futuro habría un acercamiento del jurel a las costas de Chile, aumentando su disponibilidad debido a una migración asociada probablemente al cambio climático.

ABSTRACT

The jack mackerel (*Trachurus murphyi*) fishery in the Eastern South Pacific is analyzed from 1973 to 2023, estimating a maximum sustained yields around one million tons for the cold interdecadal period from 1999 to 2023. Meanwhile, in the future there would be an approach of jack mackerel to the coasts of Chile, increasing its availability due to a migration probably associated with climate change.

En el presente trabajo se utilizan modelos globales de producción para estimar rendimientos máximos sostenidos del jurel, asociados a la variabilidad climática; además se analiza el efecto que tendría el cambio climático en el hábitat del recurso.

ANTECEDENTES

El Sistema de Corrientes de Humboldt es uno de los más importantes en producción pesquera. Este presenta intensos y persistentes vientos que se dirigen al ecuador (máximos en primavera-verano), modulados por fluctuaciones del Anticiclón del Pacífico Sur (Strub et al., 1995). Como resultado se producen eventos de surgencia que estimulan el incremento del fitoplancton, la productividad primaria y el desarrollo de la cadena trófica (Bakun & Nelson, 1991; Blanco et al., 2001). Por otra parte, Córdova et al. (2019) sugieren una preferencia del jurel por zonas con remolinos de mesoescala, que concentran/dispersan zooplancton y que

promueven la producción primaria en aguas oligotróficas. Además se sugiere que los remolinos de mesoescala son mecanismos de retención de *E. mucronata* (principal alimento del jurel), siendo este más abundante en los núcleos ciclónicos. Además se sugiere que los remolinos podrían ser utilizados como un mecanismo de desplazamiento, para ahorro metabólico.

En la dinámica oceanográfica cambiante de esta región se dispone de una alta y variable abundancia de especies pelágicas, que han sido intensamente explotadas. Esta variabilidad ambiental asociada a cambios en la energía cinética, vientos, turbulencia, temperatura,

concentración de oxígeno, entre otros, afecta los periodos reproductivos, el reclutamiento, la retención/advección larval, la disponibilidad de alimento y los mecanismos de control del ecosistema (Bertrand et al., 2011; Parada et al., 2013). El jurel presenta un comportamiento altamente migratorio asociado a ambientes neríticos y oceánicos epipelágicos, los cuales se relacionan con la alimentación que se compone principalmente de zooplancton y peces pelágicos como la anchoveta (Alegre et al., 2015). Este patrón migratorio dificulta la descripción de la estructura de su población; sin embargo, se distingue una zona de crianza ubicada en el norte de Chile y sur de Perú, un sector de alimentación en la zona centro-sur de Chile y una extensa área de desove entre los 30°S y 40°S (Parada et al., 2017).

El jurel posee una preferencia de temperatura superficial entre 15°C y 20°C (Bertrand et al., 2004), con la isoterma de 9°C que limita su distribución vertical y horizontal (Dejnik et al., 1994). La zona de mínima de oxígeno juega un rol crucial en la distribución vertical del jurel (Bertrand et al., 2006). Los cardúmenes con densidades bajas pueden sobrevivir en un ambiente con mínimas concentraciones de oxígeno disuelto ($1\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$); en cambio para los cardúmenes grandes el mínimo de oxígeno disuelto es de $4\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$. La salinidad no sería una variable determinante en la distribución del jurel, pero la evidencia sugiere preferencia entre 34,9 y 35,1 PSU (Gerlotto & Dioses, 2013). El jurel se localiza preferentemente en los bordes externos de zonas de surgencia, en un rango de 0,07 a $26\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Gerlotto & Dioses, 2013). La principal fuente de alimento son los eufáusidos (*E. mucronata*) (Bertrand et al., 2006; Córdova et al., 2019).

Así, el hábitat, la abundancia, el comportamiento y la reproducción del jurel están relacionados con áreas productivas y características oceanográficas de temperatura superficial, concentración de clorofila-a superficial, salinidad y oxígeno disuelto, aspectos que poseen una variabilidad interanual asociada a los fenómenos ENSO (Castillo et al., 1996; Yáñez et al., 2003; Gerlotto et al., 2012; Bertrand et al., 2016; Parada et al., 2017). La variación de los ENSO provoca cambios ambientales que impactan a los recursos pesqueros, generando cambios en la distribución horizontal y vertical, reproducción, reclutamiento y biomasa de la especie en el largo plazo (Adams & Flores, 2016).

La distribución espacial de una especie está determinada por factores endógenos y ambientales que condicionan los espacios geográficos favorables (Peterson & Soberón, 2012; Hutchinson, 1957). Para establecer medidas apropiadas en el manejo de una especie como el jurel, es importante entonces determinar la relación de los factores oceanográficos con la distribución y ciclo de vida del recurso, de tal forma de incorporar esta información en el proceso de asesoría operacional (Parada et al., 2013).

MODELOS DE PRODUCCIÓN

En este trabajo se analiza la pesquería de jurel realizada en el PSO entre 1973 y 2023, y para tal efecto se considera la hipótesis de

un único stock (SPRFMO SC11-Report, 2023), y se toman en cuenta anualmente: 1) la captura (C) de todos los países que explotan el recurso en el PSO; 2) el índice de abundancia captura por unidad de esfuerzo de pesca estándar (CPUE), deducido de los registros del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) de la flota industrial de cerco de la zona centro-sur de Chile; y 3) el esfuerzo total de pesca estándar (estimado por $E = C/CPUE$) (Yáñez et al., 2024); y 4) la temperatura superficial del mar (TSM) registrada por la NOAA entre los 32° S - 42° S y 71° W - 80° W (Fig. 1).

En el análisis se ajustan modelos globales de producción que consideran la variabilidad ambiental (Fréon et al., 1993; Fréon & Yáñez, 1995), usando la versión del programa CLIMPROD 5.2 (2021). Además, se consideran correcciones de las capturas chilenas de jurel que implicarían aumentos en la zona centro-sur de Chile de 79% en 1998, 95% en 1999, 63% en 2000 y 115% en 2001 (Yáñez et al., 2016). Estas diferencias, que deben ser confirmadas, se deberían a dificultades para identificar el jurel en presencia de otros recursos abundantes como la sardina común (*Strangomera bentinckii*) y la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona centro-sur, y la caballa (*Scomber japonicus*) en la zona norte.

Por otra parte, la CPUE ocupada en la evaluación del stock parece estar sobre estimada en más del doble en el 2020, 2021 y 2022 en la zona centro-sur de Chile, debido a una fuerte concentración del recurso cerca de la costa (Payá, 2022). Sin embargo, falta un protocolo para la estandarización de la CPUE del jurel, lo cual fue definido como una prioridad para mejorar la calidad de la evaluación (SPRFMO SC11-Report, 2023).

Para ajustar los modelos se consideran 5 clases de edad participando significativamente en las capturas, el reclutamiento a los 2 años y el ambiente afectando la abundancia principalmente entre 0 y 2 años (Espíndola et al., 2016). Así, para la pesquería del período 1973-2023 se ajusta el siguiente modelo, sin considerar las correcciones de capturas:

$$CPUE = ((a \text{ TSM}^b) + d E)^{(1/c-1)} \quad (1)$$

$R^2 = 0,87$, R^2 Jackknife = 0,84 ($p < 0,01$), test Jackknife = bueno, sobre los 4 parámetros del modelo ($p < 0,01$): $a = 0,00867$, $b = 2,03834$, $c = 1,09347$, $d = -9,3071$ E-6.

Este modelo, considerado previamente por Yáñez et al. (2022, 2024), incorpora una relación no lineal entre CPUE y TSM dentro del modelo de producción generalizado de Pella y Tomlinson (1969). Con el fin de tener una aproximación de la contribución individual de ambas variables explicativas, se ajustan los modelos $CPUE = a \exp(b * E)$ ($R^2 = 0,40$) y $CPUE = a + b \text{ TSM}$ ($R^2 = 0,64$), mostrando una relevancia mayor la TSM. El modelo (1) se ajusta ahora tomando en cuenta las correcciones de las capturas antes mencionadas y los resultados son muy parecidos:

$R^2 = 0,88$, R^2 Jackknife = 0,86 ($p < 0,01$), test Jackknife = bueno, sobre los 4 parámetros del modelo ($p < 0,01$): $a = 0,00522$, $b = 2,24995$, $c = 1,10141$, $d = -9,1575$ E-6. Las contribuciones

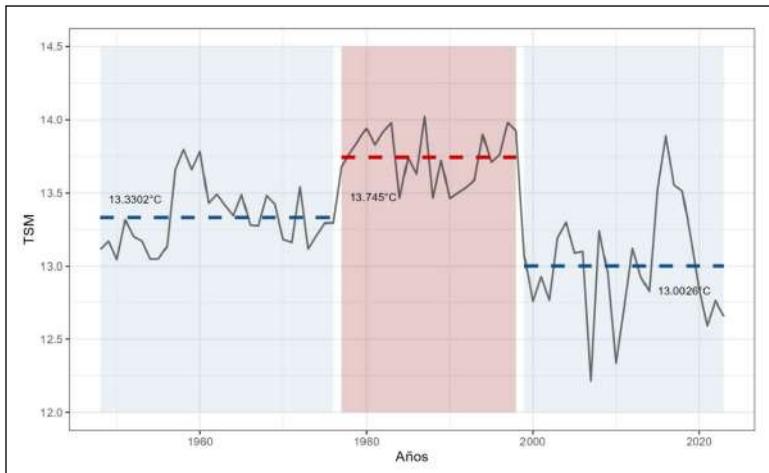


Figura 1: TSM-NOAA promedio de 1948 al 2023, entre 32° S - 42° S y 71° W - 80° W

individuales de ambas variables explicativas resultan similares. Los rendimientos máximos sostenidos (RMS) se calculan como los máximos de las curvas de equilibrio, estimadas considerando como constantes las TSM promedios anuales de tres períodos interdecadales (Fig. 1), obteniendo los siguientes resultados:

Sin correcciones de capturas (Fig. 2):

1.770.578 t	(13,3302 °C, 1948-1976)
3.676.678 t	(13,7450 °C, 1977-1998)
978.182 t	(13,0026 °C, 1999-2023)

Con correcciones de capturas:

1.939.036 t	(13,3302 °C, 1948-1976)
4.100.246 t	(13,7450 °C, 1977-1998)
1.055.645 t	(13,0026 °C, 1999-2023)

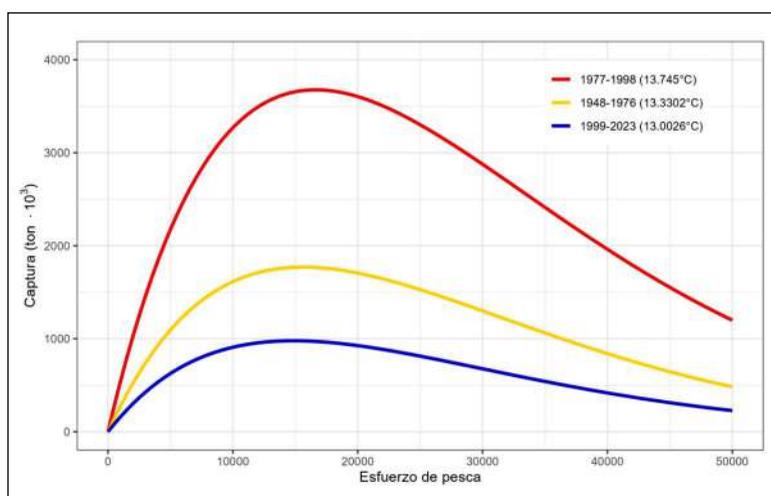


Figura 2: RMS (máximos de las curvas) del jurel en el PSO para tres valores de TSM.

Si tomamos el promedio anual de TSM más alto del período 1948-2023 (14,022 °C en 1987), el RMS sería de 5.916.661 t con el modelo sin correcciones de capturas y de 6.676.719 t con correcciones de capturas. Sin embargo, este sería un dato muy puntual de la TSM, no representando períodos como los interdecadales antes señalados. Además, estos valores de RMS son mayores a la máxima captura registrada para esta pesquería, de 4.955.186 t en 1995. Cabe señalar que, considerando también la hipótesis de una sola unidad de stock, la OROP-PS estima un RMS de 7.164 t para el 2023 (SPRFMO SC11-Report, 2023).

Durante el 2015-2017 se desarrolla un período más bien cálido asociado a sucesivos fenómenos El Niño (Garreaud, 2018), eventos que podrían aumentar la disponibilidad y por ende la CPUE, y no necesariamente la abundancia del recurso. En efecto, durante tales eventos la profundidad de la isoterma de 15°C y la oxiclina cambian significativamente, afectando la distribución espacial del jurel y su disponibilidad en diferentes regiones; pero la medida en que tales cambios afectan la productividad general de la población no está clara (SPRFMO SC11-Report, 2023).

Así la Comisión de la OROP-PS adoptó para el 2024 una captura total permisible de jurel que no sobrepase las 1.242.000 t (SPRFMO SC11-Report, 2023). Cabe señalar que en el período 1973-1976 las capturas promedios anuales fueron de tan solo 415.236 t; en el período interdecadal cálido de 1977-1998 estas aumentaron a un promedio anual de 2.813.484 t; y en el período frío de 1999-2023 estas bajaron a un promedio anual de 1.247.640 t. No obstante, cabe recordar que para el período 1999-2023 en este trabajo se estiman RMS de 978.182 t y 1.055.645 t con los datos de captura no corregidos y corregidos.

El jurel implicó en el PSO capturas cercanas a 5 millones de t en 1995, las que caen a 402.681 t de promedio anual en el período 2012-2017, aumentando a 797.857 t anuales en el período 2018-2023. El jurel se estaría recuperando de una importante sobreexplotación, asociada a cambios interdecadales del ambiente. Los eventos ambientales también influirían en la abundancia del jurel y probablemente en su disponibilidad, particularmente durante fenómenos El Niño, durante los cuales se observan los residuos mayores de nuestro modelo. En el presente trabajo se analizan las fluctuaciones temporales de las variables tomadas en cuenta; sería recomendable incluir otras variables (Naranjo et al., 2015) y la dimensión espacial en el desarrollo de los análisis de esta pesquería, incluyendo por supuesto el cambio climático (Silva et al., 2015, 2016)

PROYECCIONES DEL HÁBITAT

Los modelos de hábitat se pueden convertir en herramientas claves en la gestión de pesquerías. Las predicciones se pueden usar, por ejemplo, para producir funciones de preferencia en los modelos ecosistémicos. Estas funciones permiten una representación flexible de los patrones de distribución espacial, al definir preferencias de los organismos marinos por ciertos valores de parámetros ambientales. Estas predicciones se pueden usar para mapear los cambios espacio-temporales de especies como el jurel, relacionados por ejemplo con el cambio climático. Se pueden generar así mapas de hábitat basados en la predicción de la abundancia y distribución espacial de recursos pesqueros, tanto para un escenario actual como para escenarios futuros del cambio climático, utilizando modelos ambiente-recursos validados en forma retrospectiva. Los pronósticos de los modelos ambiente-recursos espacio-temporales se pueden presentar en mapas de indicadores de, por ejemplo, abundancia relativa por año, estación, mes, recurso pesquero y zona de estudio. Para la detección de cambios en la abundancia y distribución espacial de los recursos se comparan los mapas de hábitat esenciales actuales con mapas de hábitat futuros relacionados por ejemplo con el cambio climático.

Para analizar la distribución del jurel se utiliza la modelación espacial Maxent (Phillips y Dudík, 2008), cruzando las bases de datos espacio-temporales disponibles de la pesquería (captura, esfuerzo y CPUE) y de satélites (TSM y clorofila). Así se estima la distribución espacial de adultos de jurel a lo largo de la costa chilena, con una buena capacidad predictiva de los efectos del cambio climático en la distribución de su hábitat

esencial (Cheung et al., 2016; Jones and Cheung, 2012). En este caso los mapas del hábitat esencial tienen una resolución espacial de 4x4 km. Para evaluar la distribución actual del hábitat esencial del jurel se utilizan imágenes satelitales de TSM y clorofila promedios estacionales del 2001-2010. Y para estimar la distribución futura se utilizan imágenes de TSM del modelo global NCAR-CCSM3 para el escenario A2 del IPCC, regionalizadas a una resolución de 4x4 km; estas imágenes de TSM corresponden al promedio estacional de 2051-2060. Para la distribución futura de la concentración de clorofila, se utilizan imágenes de clorofila y TSM históricas (2003-2013) y se aplica un modelo armónico forzado con las TSM futuras NCAR-CCSM3 (Silva et al., 2016).

Así, el modelo seleccionado fue forzado con la distribución estacional promedio del 2001- 2010 y con la distribución futura promedio estacional del 2051-2060 de la TSM y de la clorofila a para generar la predicción como probabilidad de ocurrencia del índice del hábitat de adultos de jurel por estación del año. En la figura 3 se muestran los mapas estacionales de predicción del

índice del hábitat de los adultos de jurel para la condición actual y futura. Cabe señalar que la variable que más contribuye es la clorofila para todas las estaciones del año, variando entre 82% en invierno y 97% en otoño, en relación con la TSM (Silva et al., 2016). En dicha figura se observa una disminución en verano de las áreas más favorable para la zona centro-sur de los adultos de jurel hacia el 2055; en otoño, invierno y primavera se observa en tanto un notable aumento de estas áreas más favorables, lo que aumentaría la disponibilidad del jurel. Un acercamiento a la costa se produciría también con el pez espada (*Xiphias gladius*) (Silva et al. (2015).

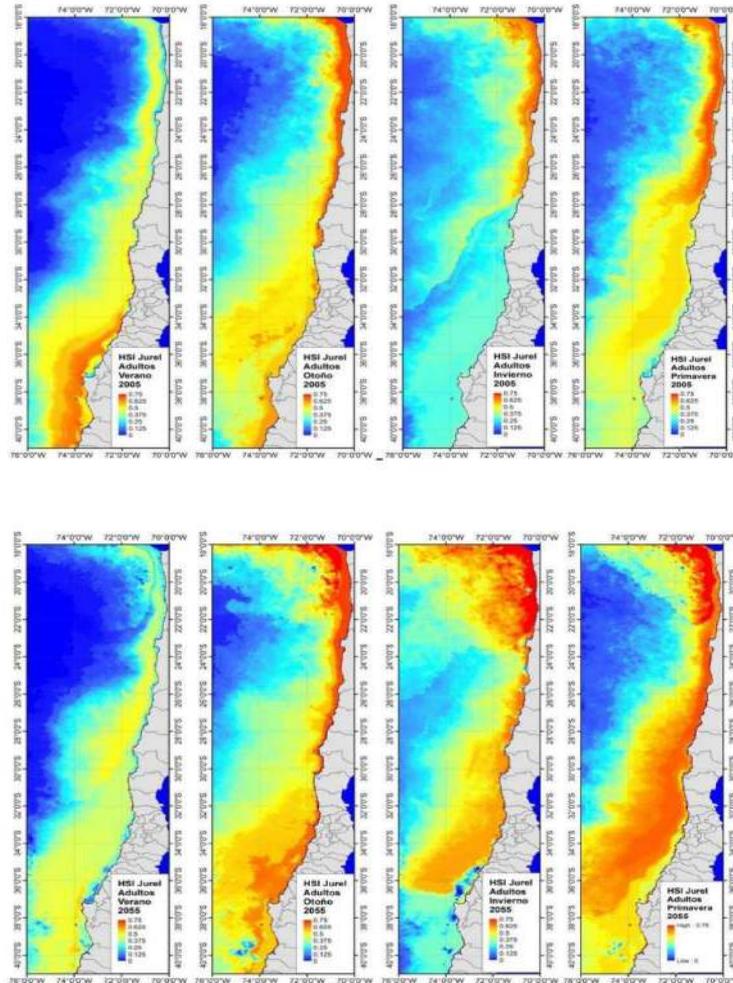


Figura 3: Mapas de predicción del hábitat esencial de adultos de jurel en verano, otoño, invierno y primavera: promedio estacional 2001-2010 (arriba) y promedio estacional 2051-2060 (abajo) (Silva et al., 2016).

REFERENCIAS

- Adams, G.D., Flores, D., 2016. Influencia de El Niño oscilación del sur en la disponibilidad y abundancia de recursos hidrobiológicos de la pesca artesanal en Ica, Perú. *Revista de biología marina y oceanografía* 51, 265–272.
- Alegre, A., Bertrand, A., Espino, M., Espinoza, P., Dioses, T., Ñiquen, M., Navarro, I., Simier, M., Ménard, F., 2015. Diet diversity of jack and chub mackerels and ecosystem changes in the northern Humboldt current system: A long-term study. *Progress in Oceanography* 137, 299–313.
- Bakun, A., Nelson, C.S., 1991. The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *Journal of Physical Oceanography* 21, 1815–1834.
- Bertrand, A., Barbieri, M.A., Córdova, J., Hernández, C., Gómez, F., Leiva, F., 2004. Diel vertical behaviour, predator–prey relationships, and occupation of space by jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. *ICES Journal of Marine Science* 61, 1105–1112.
- Bertrand, A., Barbieri, M.A., Gerlotto, F., Leiva, F., Córdova, J., 2006. Determinism and plasticity of fish schooling behaviour as exemplified by the south pacific jack mackerel *Trachurus murphyi*. *Marine Ecology Progress Series* 311, 145–156.
- Bertrand, A., Chaigneau, A., Peraltilla, S., Ledesma, J., Graco, M., Monetti, F., Chavez, F.P., 2011. Oxygen: a fundamental property regulating pelagic ecosystem structure in the coastal Southeastern Tropical Pacific. *PloS one* 6, e29558.
- Bertrand, A., Habasque, J., Hattab, T., Hintzen, N.T., Oliveros-Ramos, R., Gutiérrez, M., Demarcq, H., Gerlotto, F., 2016. 3-d habitat suitability of jack mackerel *Trachurus murphyi* in the southeastern pacific, a comprehensive study. *Progress in Oceanography* 146, 199–211.
- Blanco, J., Thomas, A., Carr, M.E., Strub, P.T., 2001. Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 106, 11451–11467.
- Caballero, L., L. Santilán, G. Rosson, 1992. Investigación del esfuerzo pesquero en las pesquerías chilenas. Pesqueras pelágicas: sardina española (Zona Norte) y jurel (Talcahuano). Corporación de Fomento de la Producción & Instituto de Fomento Pesquero, SGI-IFOP 92/16, 38 págs. + Anexos.
- Castillo, J., Barbieri, M., Córdoba, J., Lillo, S., Parker, U., Blanco, J., Braun, M., Osses, J., 1996. Evaluación hidroacústica de los recursos anchoveta, jurel y sardina española, de las regiones I a IV. IFOP. Informe Final Proyecto al FIP. 165 p + Anexos.
- Cheung, W., M. Jones, G. Reygondeau, C. Stock, V. Lam & T. Frölicher. 2016. Structural uncertainty in projecting global fisheries catches under climate change. *Ecological Modelling*, 325: 57-66.
- Córdova, J., Leiva, B., Catasti, V., Valero, C., Muñoz, L., 2019. Evaluación hidroacústica de jurel entre las regiones de Arica y Valparaíso, 2019. Technical Report II/ASIPA/2020. Valparaíso, Chile. (124p) +figs. y anexos.
- Dejnik, T.V., Nevinskiy, M.M., Galaktionov, G.Z., Nesterov, A.A., Rudometkina, G.P., 1994. Estimación de la fracción desovante del stock de jurel según estudios de ictioplancton. pp. 161–166.
- Espindola, F., Quiroz, J.C., Wiff, R., Yáñez, E. 2016. Incorporating sea surface temperature into stock-recruitment relationship: Application to jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. *Revista de Biología Marina & Oceanografía*. Vol. 51 (1): 137-145.
- Fréon, P., G. Pichon, C. Mullon. 1993. CLIMPROD: experimental interactive software for choosing and fitting surplus production models including environmental variables. *FAO, Computerized Information Series Fisheries* 5, 76 pp.
- Fréon, P., Yáñez. 1995. Influencia del medio ambiente en evaluación de stock: una aproximación con modelos globales de producción. *Invest. Mar., Valparaíso*, 23: 25-47.
- Hormazábal, S. 2004. Coastal transition zone off Chile. *Journal of Geophysical Research* 109. <https://doi.org/10.1029/2003JC001956>.
- Hutchinson, G.E., 1957. Concluding remarks, in: Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology, Cold Spring Harbor Laboratory Press. pp. 415–427.
- Garreaud, R. 2018. Tres Niños Sorprendentes. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. *Boletín Técnico*, Vol.5, N° 1, Enero 2018, 9 páginas.
- Gerlotto, F., Dioses, T., 2013. Bibliographical synopsis on the main traits of life of *trachurus murphyi* in the south pacific ocean. sprfmo, SC-01-INF-17, 1st Meeting of the Scientific Committee, La Jolla, 21–27.
- Gerlotto, F., Gutiérrez, M., Bertrand, A., 2012. Insight on population structure of the chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*). *Aquatic Living Resources* 25, 341–355.
- Jones, M., S. Dye, J. Pinnegar, R. Warren, W. Cheung. 2012. Modelling commercial fish distributions: Prediction and assessment using different approaches. *Ecological Modelling*, 225: 133-145.
- Naranjo, L., F. Plaza, E. Yáñez, M. Á. Barbieri, F. Sánchez. 2015. Forecasting of jack mackerel landings in central-southern Chile through neural networks. *Fisheries Oceanography*, Vol. 24 (3): 219–228.

- Parada, C., Gretchina, A., Vásquez, S., Belmadani, A., Combes, V., Ernst, B., Di Lorenzo, E., Porobic, J., Sepúlveda, A., 2017. Expanding the conceptual framework of the spatial population structure and life history of jack mackerel in the eastern south pacific: an oceanic seamount region as potential spawning/nursery habitat. *ICES Journal of Marine Science* 74, 2398–2414.
- Parada, C., B. Yannicelli, S. Hormazábal, S. Vásquez, J. Porobic, B. Ernst, C. Gatica, M. Arteaga, A. Montecinos, S. Núñez, A. Gretchina. 2013. Environmental variability and fisheries in the southeastern Pacific: research status and challenges for fisheries management. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(1): 1-28.
- Payá, I. 2022. High fish concentrations close to the coast in recent years could affect the Jack Mackerel CPUE abundance index in south-central Chile: proposal of a correction procedure. 10th SPRFMO SC Meeting, SC10-JM05: 1-14.
- Pella, J.J., P.K. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model. *IATTC Bull.*, 13 (3): 419-496.
- Peterson, A.T., Soberón, J., 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação* 10, 102–107.
- Phillips, S., M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161-175.
- Poulin, E., L. Cárdenas, C.E. Hernández, I. Kornfield, F.P. Ojeda. 2004. Resolution of the taxonomic status of Chilean and Californian jack mackerel using mitochondrial DNA sequence. *Journal of Fish Biology* 65: 1160-1164.
- SERNAPESCA. 1982-2024. Anuarios estadísticos de desembarque. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Chile.
- Serra, R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel *Trachurus symmetricus murphyi*. *Invest. Pesq. (Chile)*, 36: 67-83.
- Silva, C., E. Yáñez, M. A. Barbieri, C. Bernal, A. Aranís. 2015. Forecasts of swordfish (*Xiphias gladius*) and common sardine (*Strangomera bentinckii*) off Chile under the A2 IPCC climate change scenario. *Progress in Oceanography*, 134: 343–355.
- Silva, C., E. Yáñez, N. Lagos, F. Labra, L. Ramajo, F. Sánchez, M.E. Gallardo. 2016 Identificación, caracterización y vulnerabilidad al cambio climático de hábitat esenciales asociados a recursos hidrobiológicos en Chile. Informe Final Proyecto FIP N° 2014-25, 607 páginas.
- SPRFMO SC11-Report. 2023. Annex 7. Jack Mackerel Technical Annex. Scientific Committee, South Pacific Regional Fisheries Management Organisation (SPRFMO), 114 pp.
- Strub et al. 1995 Strub, P.T., Mesias, J.M., James, C., 1995. Altimeter observations of the Peru-Chile countercurrent. *Geophysical research letters* 22, 211–214.
- Yáñez, E., Barbieri, M., Silva, C. 2003. Fluctuaciones ambientales de baja frecuencia y principales pesquerías pelágicas chilenas. *Actividad Pesquera y de Acuicultura en Chile*, Escuela de Ciencias del Mar, PUCV, Valparaíso , 109-121.
- Yáñez , E, P. Fréon, A. Aranís. 2024. Incluyendo el ambiente en modelos de producción de la pesquería de jurel en el Pacífico Suroriental. *Revista Versión Diferente*, Año 21, N°37, 70-72.
- Yáñez, E., F. Plaza, P. Fréon, A. Aranís. 2022. La pesquería del jurel en el Pacífico Sur Oriental (1973-2022): estimaciones del rendimiento máximo sostenido. The jack mackerel fishery from the southeastern Pacific (1973-2021): maximum sustainable yield estimations. *Revista Versión Diferente*, Año 19, N°35: 64-67.
- Yáñez, E., C. Silva, M.Á. Barbieri, L. Soto, G. San Martín, P. Muck, J. Letelier, F. Sánchez, G. Böhm, A. Aranís, A. Parés, F. Plaza. 2016. Sistema de pronósticos de pesquerías pelágicas chilenas frente a diversos escenarios del cambio climático. Informe Final Proyecto FONDEF D11I1137, CONICYT, 46 pp. + Anexos.

LEY KARIN



La Ley 21.643 busca establecer un marco legal claro para la prevención y sanción del acoso y la violencia en el entorno laboral en Chile. La ley se genera por Karin Salgado, una funcionaria pública de la salud quien se quitó la vida en el 2019 por el constante acoso laboral que sufría. Esta ley fue promulgada el 5 de enero de 2024, publicada en el diario oficial el 15 de enero de 2024, y comienza a regir su vigencia desde el 1 de agosto de 2024.

DENTRO DE LA LEY KARIN DEFINEN CINCO CONCEPTOS

1. Acoso Sexual: "Entendiéndose por tal, el que una persona realice, en forma indebida y por cualquier medio, requerimientos de carácter sexual, no consentidos por quien los recibe y que amenacen o perjudiquen su situación laboral o sus oportunidades en el empleo".as
2. Acoso Laboral: "Entendiéndose por tal, toda conducta que constituya agresión u hostigamiento ejercida por la o el empleador o por uno o más trabajadores y trabajadoras, en una sola vez o de manera reiterada, y que tenga como resultado para la o las personas afectadas su menoscabo, maltrato o humillación; o bien que amenace o perjudique su situación laboral o sus oportunidades en el empleo".
3. Violencia en el trabajo: "La violencia en el trabajo ejercida por terceros ajenos a la relación laboral, entendiéndose por tal aquellas conductas que afectan a las y los trabajadores, con ocasión de la prestación de servicios, por parte de las y los clientes, proveedores, usuarios, entre otros".
4. Conductas incívicas: El incivismo abarca comportamientos descorteses o groseros que carecen de una clara intención de dañar, pero que entran en conflicto con los estándares de respeto mutuo. A menudo surge del descuido de las normas sociales. Sin directrices claras, el comportamiento descortés puede perpetuarse y generar situaciones de hostilidad o violencia necesarias de erradicar de los espacios de trabajo. Al abordar las conductas incívicas de manera proactiva, las organizaciones pueden mitigar su propagación y evitar que evolucione hacia transgresiones más graves.
5. Sexismo: "Cualquier expresión (un acto, una palabra, una imagen, un gesto) basada en la idea de que algunas personas son inferiores por razón de su sexo o género".

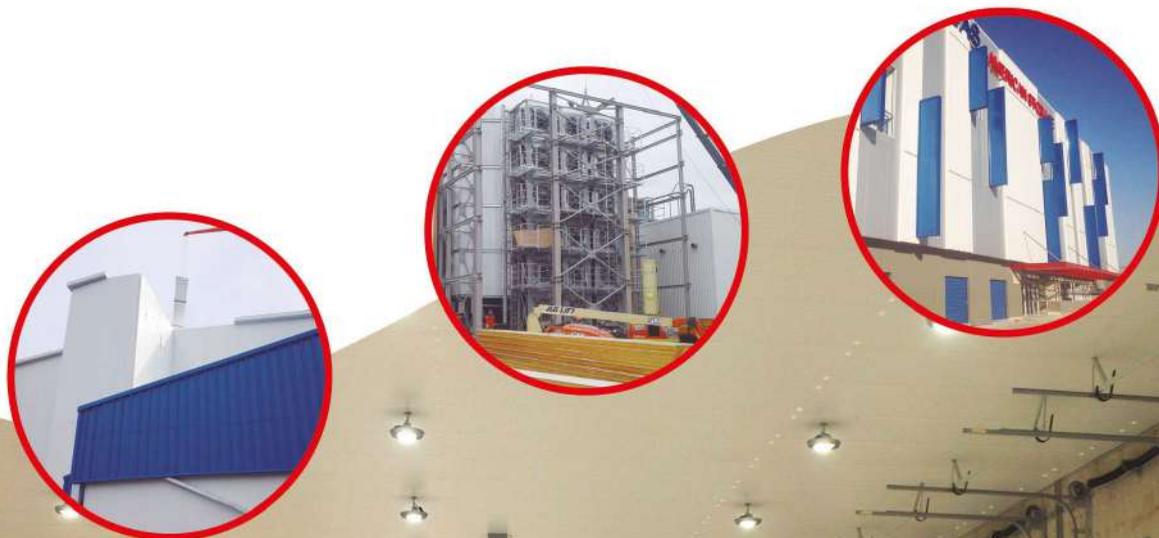
DEBERES

1. Entidades empleadoras: - Estas deben generar medidas para evitar la violencia y el acoso, incluida la violencia y el acoso por razón de género, mediante la gestión de los riesgos y la información y capacitación de las personas trabajadoras.
 - Dar a conocer los mecanismos para realizar las denuncias de acoso y violencia y la orientación de las personas denunciantes.
 - Validar la estricta confidencialidad de las denuncias y su investigación.
 - Validar que el denunciante, la víctima o los testigos no sean revictimizados y estén protegidos de represalias.
 - Realizar seguimiento y cumplimiento del Protocolo de Prevención del acoso laboral, sexual y violencia en el trabajo.
2. Trabajadores: -Deben tratar a todas y todos con respeto y no cometer ningún acto de acoso y violencia.
 - Estricto cumplimiento de la normativa de seguridad y la salud en el trabajo.
 - Deben denunciar las conductas de acoso y violencia al personal designado para ello.
 - Ayudar en la investigación de casos de acoso o violencia cuando le sea solicitado, manteniendo la confidencialidad de la información.

PROCEDIMIENTOS DE DENUNCIA Y SANCIÓN

Los trabajadores pueden denunciar ante la entidad empleadora o ante la Inspección del Trabajo (DT), en esta última ante los tribunales laborales. El procedimiento de investigación se inicia con la presentación de la denuncia, de manera verbal o escrita. Si es verbal, la parte empleadora deberá levantar acta de los hechos denunciados, firmada por la persona denunciante. Los empleadores que no cumplan con las obligaciones establecidas en la Ley Karin pueden ser sancionados con multas importantes que pueden afectar el funcionamiento de las empresas, los trabajadores pueden demandar a sus empleadores por los daños y perjuicios causados por el acoso o la violencia. La Dirección del Trabajo ha incorporado a la última versión del Tipificador Infraccional (1° de agosto de 2024) las conductas que constituirían una infracción a las normas incorporadas por la Ley Karin, aplicando multas que van entre las 3 y 60 UTM, dependiendo de la gravedad de la infracción y el número de trabajadores que tenga la empresa. Dado lo anterior es importante que las empresas tengan protocolos claros realizadas por profesionales que se ajusten a las normativas vigentes, que sean de conocimiento de todos los participantes de cada empresa, de esta forma las empresas no estarán expuestas a riesgos generando ahorros futuros importantes.

FABRICA DE PANELES FRIGORIFICOS / SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS TERMOAISLANTES



PRODUCTOS

FrigoPol

PANEL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

FrigoPur - Pir - Lock

PANEL POLIURETANO O POLIISOCIANURATO INYECTADO CONTINUO

TechoPol

PANEL CUBIERTA POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

TermoRoof Pur - Pir

TERMOROOF POL DZ-4

Puertas Frigoríficos

PUERTAS FRIGORIFICOS



+56 9 6236 9684



termoindustrial



+56 2 6469 1890



www.termoindustrial.cl

opción[®]

comunicaciones

! Seguimos avanzando !

COMPROMETIDOS CON LA INDUSTRIA SALMÓN-ACUÍCOLA

CUADERNOS CORPORATIVOS
AGENDAS TÉCNICAS CORPORATIVAS
REVISTA TÉCNICA SEMESTRAL



PRÓXIMA EDICIÓN MAYO 2025

CONTACTO: +569 9443 3504 RICHARDARAYA@OPCIONARAYA.CL

WWW.OPCIONCOMUNICACIONES.CL | WWW.OPCIONARAYA.CL



issuu

LotaProtein 
Part of TripleNine

Aseguramos un
enfoque sostenible en
todo lo que hacemos.

HARINA PREMIUM

www.lotaprotein.cl

