

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

DEFORMIDADES ESQUELÉTICAS EN
SALMÓNIDOS | BIOSEGURIDAD EN EL
TRANSPORTE DE PECES VIVOS |
FACTORES ASOCIADOS A LA MORTALIDAD
ATRIBUIBLE A LA TENACIBACULOSIS EN LA
PRODUCCIÓN DE SALMÓN EN CHILE |
FLORACIONES ALGALES NOCIVAS (FAN)
EXTREMAS EN LOS FIORDOS DE LA
PATAGONIA NOROCCIDENTAL | SRS
| REEMERGENCIA DE LA FURUNCULOSIS
EN LA SALMONICULTURA CHILENA |
BINESTAR ANIMAL Y RELACIÓN CON EL
CULTIVO | FOTOPERÍODO ARTIFICIAL |
LA RESILENCIA SANITARIA EN LA
SALMONICULTURA CHILENA | PÉPTIDO
ANTIBACTERIANO DERIVADO DE IL-8 | IA
LEVADURAS CON PROPIEDADES
INMUNOMODULADORAS PARA SU
APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ACUÍCOLA
| INNOVACIÓN APLICADA PARA UNA
ACUICULTURA SOSTENIBLE |
BIOTECNOLOGÍA PARA ALIMENTAR EL
FUTURO | PROPUESTA DE
MICRORELOCALIZACIONES EN LA
ACUICULTURA CHILENA



issuu

Distribución Gratuita Con Svela

TOPGRADE

Nutrición que transforma la calidad del filete

La melanosis es un desafío creciente para la industria. TopGrade entrega una estrategia nutricional diseñada para proteger la calidad del filete en momentos críticos: manejos, eventos sanitarios y períodos ambientales de riesgo.

Su combinación funcional reduce la acumulación de melanina, modula la inflamación y fortalece la capacidad antioxidante del pez.

El resultado: filetes más uniformes, atractivos y predecibles.





Año 23 - N°41
Segundo Semestre 2026

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:

- ~ Juan Francisco Toro, Acuasesorías
- ~ Mónica Imarai, Usach
- ~ Marcela Ávila, UST

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®

SUMEJOR OPCION EN PUBLICIDAD

Porque somos diferentes,
publique con nosotros

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

Avisadores

VeHiCe	7
Pharmaq	13
Lipigas	19
AquaBC	24
Salmonicultores de Magallanes	31
SalmonChile	32
Diving Trapananda	49
Universidad Santo Tomás	61
Chile Austral	66
Blue Metrics	71
Plásticos Austral	76
Salmofood	T2
Veterquímica	T3
Lota Protein	T4

Contenidos

Indice de Universidades	2
Editorial	3
Fases Lunares	4
Ferias Internacionales	5
Ferriados Internacionales	6
Deformidades esqueléticas en salmónidos: Una guía para su diagnóstico e interpretación en la salmonicultura	8
Piscirickettsiosis en Chile: Cambios recientes en la epidemiología de Piscirickettsia salmonis y nuevos desafíos para su control	33
Reemergencia de la furunculosis en la salmonicultura chilena: Nuevos desafíos sanitarios en agua dulce	37
Bienestar animal y relación con el cultivo: Marcadores moleculares y medidas de control y mitigación.	39
La resiliencia sanitaria en la salmonicultura chilena: Lecciones del pasado para enfrentar los desafíos del futuro	46
Biotechnología para alimentar el futuro: Edición genética, agricultura y el desafío de una nueva agroindustria en Chile	67
La propuesta de microrelocalizaciones en la acuicultura chilena: Un enfoque descriptivo y de solución sectorial	72

INDICE DE UNIVERSIDADES

sus Estudios e Investigaciones

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

- 14** BIOSEGURIDA EN EL TRANSPORTE DE PECES VIVOS

UNIVERSIDAD ANDRES BELLO

- 20** FACTORES ASOCIADOS A LA MORTALIDAD ATRIBUIBLE A LA TENACIBACULOSIS EN LA PRODUCCIÓN DE SALMÓN EN CHILE: UN ESTUDIO DEL PERÍODO 20218 – 2021

UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS

- 25** FLORACIONES DE DINOFLAGELADOS TÓXICOS MODULADAS POR ANOMALÍAS TÉRMICAS EXTREMAS EN LOS FIORDOS DE LA PATAGONIA NOROCCIDENTAL

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

- 42** FOTOPERÍODO ARTIFICIAL: LADO INVISIBLE DE UNA HERRAMIENTA PRODUCTIVA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

- 50** PÉPTIDO ANTIBACTERIANO DERIVADO DE IL-8: POTENCIAL EFICACIA Y SEGURIDAD COMO HERRAMIENTA BIOSEGURA CONTRA LA VIBRIOSIS EN LA ACUICULTURA

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

- 54** IA LEVADURAS: UNA PLATAFORMA DE MEJORAMIENTO Y SELECCIÓN DE LEVADURAS CON PROPIEDADES INMUNOMODULADORAS PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ACUÍCOLA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

- 62** INNOVACIÓN APLICADA PARA UNA ACUICULTURA SOSTENIBLE: SOLUCIONES DESDE CAPIA, UST, PARA LOS DESAFÍOS DEL SECTOR

Editorial

Para la edición segundo semestre 2026, traemos una variedad de temas salmón-acuícolas tales como: Deformidades esqueléticas en salmónidos; Bioseguridad en el transporte de peces vivos; Factores asociados a la mortalidad atribuible a la Tenacibaculosis en la producción de salmón en Chile; Floraciones de dinoflagelados tóxicos moduladas por anomalías térmicas extremas en los fiordos de la Patagonia noroccidental; Piscirickettsiosis en Chile; Reemergencia de la furunculosis en la

salmonicultura chilena; Bienestar animal y relación con el cultivo; Fotoperíodo artificial; Resiliencia sanitaria en la salmonicultura chilena; Péptido antibacteriano derivado de IL-8; IA Levaduras con propiedades inmunomoduladoras para su aplicación en la industria acuícola; Innovación aplicada para una acuicultura sostenible; Biotecnología para alimentar el futuro; Propuesta de microrelocalizaciones en la acuicultura chilena.

Seguimos buscando temas de investigación relacionados con Salmonicultura, Acuicultura, Pesquería, Algal y Mitilicultora a nivel nacional de interés de nuestros lectores.

Esperamos para la edición digital e impresa segundo semestre 2026, sea un aporte en materia

de consulta de nuestros lectores habituales y nuevos en materia de investigación salmón acuícolas.

Queremos dar un especial agradecimiento a todo nuestros colaboradores e investigadores académicos, privados y públicos que hacen un aporte para cada edición semestral con artículos de divulgación científica en materia de biotecnología, patologías en peces, micro-macro algas, salmonicultura, mitilicultura pesquería, entre otras.

Consolidando la publicación revista técnica de divulgación Versión Diferente como un medio de consulta diaria.

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

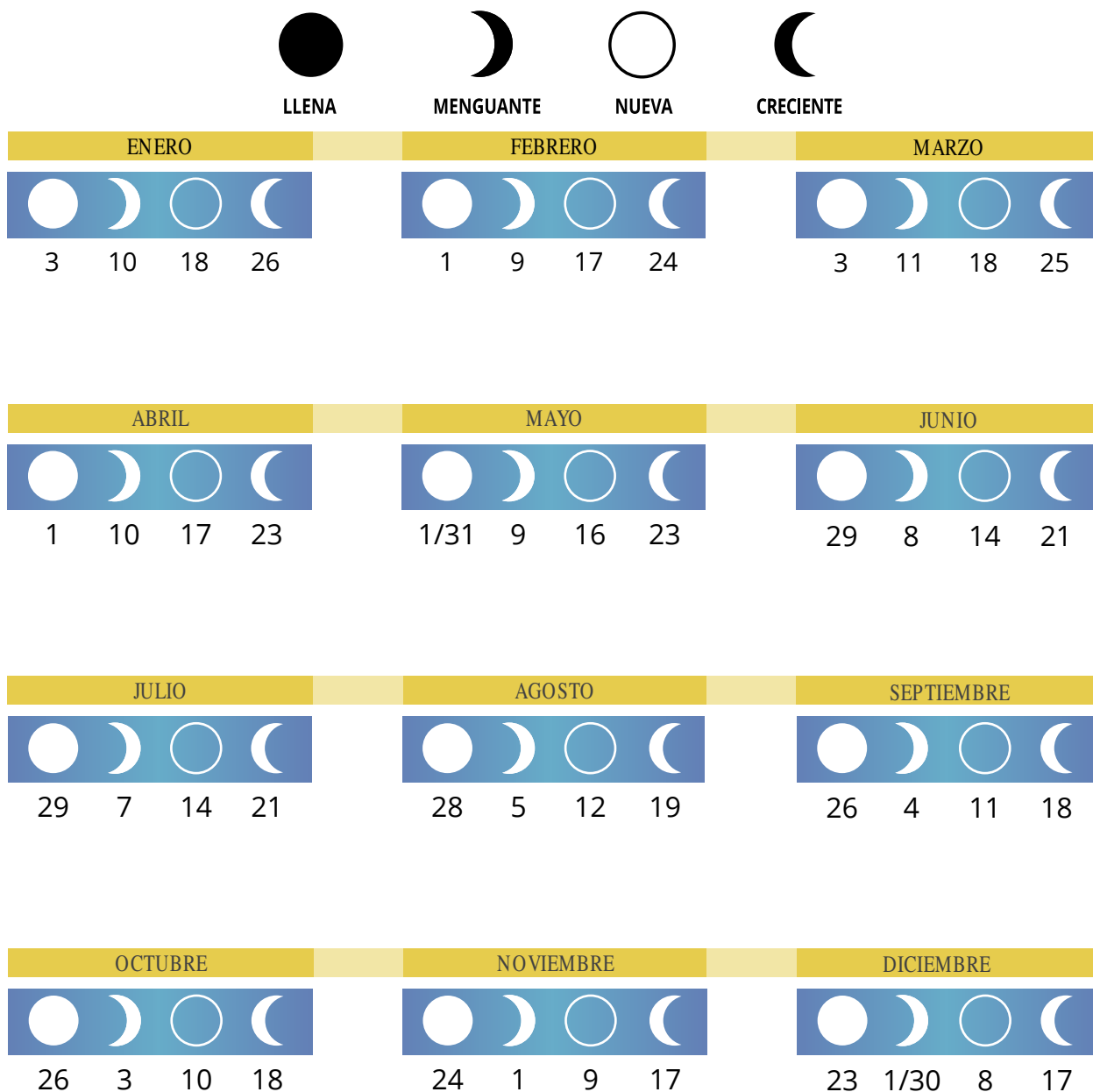
Los invitamos a participar en próxima edición especial digital e impresa, Primer Semestre 2027.

Queremos agradecer a nuestro colaborador principal : LABORATORIO DE HISTOPATOLOGIA VEHICE con quienes trabajamos desde su stand en Feria Internacional AQUASUR MARZO 2026. Donde fuimos invitados para obsequiar la revista versión Diferente edición especial primer semestre marzo 2026, al público asistente a dicho evento.

Richard Araya Véliz
Gerente Comercial
Revista Versión Diferente



FASES LUNARES 2026



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

Ferias Internacionales 2026

AGOSTO	18 ~ 20	AQUANOR	Trondheim – Norway
	19 ~ 21	VIETNAM FISHERIES INTERNATIONAL EXIBITION	Ho Chi Min – Vietnam
	19 ~ 21	28 th JAPAN INTERNATIONAL SEAFOOD & TECHNOLOGY EXPO	Tokyo – Japan
	26 ~ 28	WORLD SEAFOOD SHANGHAI	Shanghai – China
	26 ~ 28	AQUA FISHERIES CAMBODIA	Phnom Yaub – Cambodia
SEPTIEMBRE	2 ~ 4	SEAFOOD EXPO ASIA	Singapur
	7 ~ 10	MUCOSAL HEALTH IN AQUACULTURE	Barcelona – España
	8 ~ 10	AQUATECH TAIWAN INTER. AQUACULTURE & FISHERIES TECHNOLOGY EXPO	Tapei – Taiwan
	9 ~ 11	POLFISH	Gdansk – Poland
	10 ~ 12	CHINA INTERNATIONAL FISHERIES & SEAFOOD EXPO	Guang Zhou – China
	16 ~ 18	GLOBAL FISHERY FORUM AND SEAFOOD EXPO RUSSIA	St. Petersburg – Rusia
	22 ~ 24	ICEFISH ICELANDIC FISHERIES & ACUICULTURE EXIBITION & CONFERENCE	Kopavogur – Iceland
	28 ~ 01	AQUACULTURE EUROPE	Ljubljana – Slovenia
OCTUBRE	6 ~ 8	CONXEMAR	Vigo – España
	7 ~ 9	XII CONGRESO COLOMBIANO DE ACUICULTURA	Bucaramanga – Colombia
	8	WORLD AQUACULTURE AND FISHERIES CONFERENCE	Tokyo – Japan
	19 ~ 22	AQUA EXPO GUAYAQUIL	Guayaquil – Ecuador
	25 ~ 29	13 th SYMPOSIUM ON HARMFUL ALGAE IN THE U.S.A.	Iowa – U.S.A.
	26 ~ 28	INTERNATIONAL CONFERENCE & EXPO ON ACUICULTURE & SEAFOOD	Singapur
	28 ~ 30	CHINA FISHERIES & SEAFOOD EXPO	Qingdao – China
NOVIEMBRE	4 ~ 6	THE BUSAN INTERNATIONAL SEAFOOD AND FISHERIES EXPO (BISFE)	Busan – South Korea
	4 ~ 7	SEAFOOD SHOW OF ASIA	Yakarta – Indonesia
	11	INTERNATIONAL CONFERENCE ON AQUACULTURE AND FISHERIES TECHNOLOGY	Tokyo – Japan
	11 ~ 13	AQUACULTURE PHILIPPINES	Cebu – Philippines
	30 ~ 03	XI CONGRESO NACIONAL DE ACUICULTURA UNIVERSIDAD DE CHILE	Puerto Montt – Chile
DICIEMBRE	8 ~ 11	ALGAE EUROPE CONFERENCE	Lavaleta – Malta

2027

FEBRERO	17 ~ 18	AQUA FARM 2027	Pordenone – Italy
	21 ~ 24	AQUACULTURE AMERICA 2027	Honolulu – Hawaii
MARZO	7 ~ 9	SEAFOOD PROCESSING NORTH AMERICA BOSTON 2027	Boston – U.S.A.
	9 ~ 11	NASF THE NORTH ATLANTIS SEAFOOD FORUM 2027	Bergen – Norway
	17 ~ 18	AQUASUR TECH 2027	Punta Arenas – Chile
	28 ~ 30	SEMEC 2027	Riad – Arabia Saudita
ABRIL	20 ~ 22	SEAFOOD EXPO GLOBAL 2027	Barcelona – España
	20 ~ 22	SEAFOOD EXPO GLOBAL 2027	Bruselas – Bélgica

Ferriados Internacianales 2026



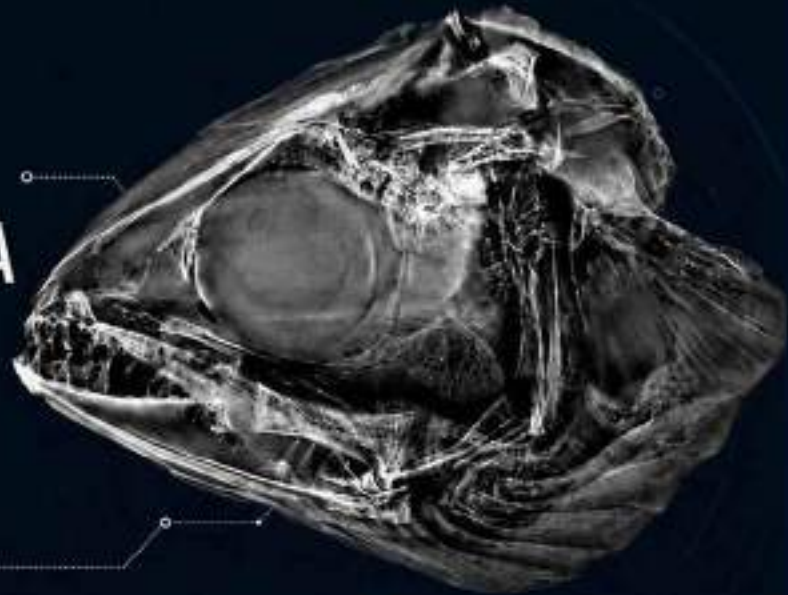
Jueves 1 Enero	Día de Año Nuevo	●	●	●	●	●	●
Lunes 12 Enero	Día de la Mayoría de Edad					●	
Lunes 19 Enero	Día de Martin Luther King Jr.			●			
Miércoles 11 Febrero	Día de la Fundación Nacional					●	
Lunes 16 Febrero	Cumpleaños de Washington			●			
Lunes 23 Febrero	Cumpleaños del Emperador					●	
Viernes 20 Marzo	Equinoccio de Primavera					●	
Jueves 2 Abril	Jueves Santo				●		
Viernes 3 Abril	Viernes Santo	●	●		●		●
Lunes 6 Abril	Lunes de Pascua		●		●		
Miércoles 29 Abril	Día de Showa	●				●	
Viernes 1 Mayo	Día del Trabajo	●			●		
Domingo 3 Mayo	Día de la Constitución					●	
Martes 5 Mayo	Día del Niño					●	
Lunes 18 Mayo	Día de Victoria		●				
Jueves 21 Mayo	Día de las Glorias Navales	●					
Lunes 25 Mayo	Día de los Caídos			●			
Lunes 25 Mayo	Spring Holiday						●
Domingo 21 Junio	Día Nacional de los Pueblos Indígenas	●					
Lunes 29 Junio	San Pedro y San Pablo	●					
Miércoles 1 Julio	Día de Canadá		●				
Sábado 4 Julio	Día de la Independencia			●			
Jueves 16 Julio	Día de la Virgen del Carmen	●					
Lunes 20 Julio	Día del Mar					●	
Lunes 3 Agosto	Día de Verano						●
Martes 11 Agosto	Día de la Montaña					●	
Sábado 15 Agosto	Asunción de la Virgen	●					
Lunes 7 Septiembre	Día del Trabajo		●	●			
Viernes 18 Septiembre	Día de la Independencia	●					
Sábado 19 Septiembre	Día de las Glorias del Ejército	●					
Lunes 21 Septiembre	Día del Respeto a los Ancianos					●	
Martes 22 Septiembre	Día Nacional					●	
Miércoles 23 Septiembre	Equinoccio de Otoño					●	
Miércoles 30 Septiembre	Día Nacional por la Verdad		●				
Lunes 12 Octubre	Encuentro de Dos Mundos	●	●	●			
Sábado 31 Octubre	Día de las Iglesias Evangélicas	●					
Domingo 1 Noviembre	Todos los Santos	●					
Martes 3 Noviembre	Día de la Cultura					●	
Miércoles 11 Noviembre	Día de los Veteranos		●	●			●
Lunes 23 Noviembre	Día de Acción de Gracias por el Trabajo					●	
Jueves 26 Noviembre	Día de Acción de Gracias			●			
Martes 8 Diciembre	Inmaculada Concepción	●					
Viernes 25 Diciembre	Navidad	●	●	●	●		●
Sábado 26 Diciembre	Día de San Esteban		●		●		●



CIENCIA. PRECISIÓN. PRODUCTIVIDAD.

DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES
PARA LA ACUICULTURA

RADIOLOGÍA ESPECIALIZADA PARA LA ACUICULTURA



ALTERACIONES DE CRÁNEO



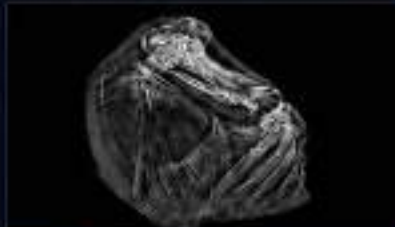
ALTERACIONES DE
COLUMNA VERTEBRAL



ALTERACIONES DE ESPINAS
COSTALES



ALTERACIONES DE MANDÍBULA



ALTERACIONES DE OPÉRCULO



ALTERACIONES DE ALETAS



DIAGNÓSTICOS PRECISOS
Imágenes de alta resolución para
identificar alteraciones con
confianza.



MEJORES DECISIONES
Información clave para mejorar
la salud, el bienestar y la
productividad.



MAYOR RENTABILIDAD
Prevención y diagnóstico temprano
para reducir pérdidas y optimizar
resultados.



APOYAMOS LA TOMA DE DECISIONES
CON IMÁGENES QUE MARCAN LA DIFERENCIA.



www.vehice.com

Deformidades esqueléticas en salmónidos: Una guía para su diagnóstico e interpretación en la salmonicultura



Carlos Sandoval, Marcelo Vera, Juan Pablo Prada, Paola Olmos, Constanza Villarroel, Fernanda Paz.

INTRODUCCIÓN

Las alteraciones del sistema músculo-esquelético representan uno de los principales desafíos para la salmonicultura moderna debido a su impacto sobre el bienestar animal, el desempeño productivo y la calidad del producto final. Estas lesiones pueden originarse durante las primeras etapas del desarrollo o adquirirse posteriormente como consecuencia de factores genéticos, nutricionales, ambientales, mecánicos o sanitarios, manifestándose como deformidades que afectan la columna vertebral, el cráneo, el aparato mandibular, el opérculo, las aletas y otras estructuras óseas. Su detección temprana y caracterización mediante herramientas diagnósticas especializadas son fundamentales para comprender su origen, implementar medidas preventivas y contribuir a una producción más eficiente y sustentable.

ALTERACIONES DE LA NOTOCORDA (ETAPAS TEMPRANAS)

Las alteraciones de la notocorda en etapas tempranas del desarrollo (fases embrionarias y de saco vitelino) son precursoras críticas de patologías esqueléticas crónicas, estableciendo el patrón para futuras fusiones y compresiones vertebrales (Wang, 2013; Witten et al., 2005). Entre las anomalías específicas detectadas en estas fases se encuentran el estrangulamiento ("pinching") de la membrana elástica externa, el doblado anormal del extremo posterior y la hiperplasia de cordoblastos, la cual genera tejido cicatricial que reemplaza a los cordocitos funcionales (Koumoundouros et al., 1997; De Clercq et al., 2018). El estrés térmico (hipertermia o frío extremo) durante la somitogénesis actúa como un factor disruptor que desorganiza la segmentación notocordal y la expresión de señales clave como *Sonic hedgehog* (Shh), comprometiendo la firmeza hidrostática del tejido y la formación de los centros de mineralización (Takle et al., 2005; Kryvi et al., 2017). Finalmente, la pérdida de integridad en la vaina notocordal y su sustitución prematura por cartílago metaplásico facilitan el acortamiento de la columna, derivando en fenotipos clínicos de "cola corta" o "Cross stitch" (Ytteborg et al., 2010; Holm et al., 2020).

ALTERACIONES DE LA COLUMNA VERTEBRAL

Las alteraciones de la columna vertebral en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) comprenden un espectro de al menos 20 fenotipos patológicos que incluyen desviaciones del eje (lordosis, cifosis, escoliosis), compresiones (platiespondilia), fusiones (anquilosis), vértebras radiolúcidas y radiopacas, desviaciones de simetría y desplazamiento de cuerpos vertebrales (Witten 2009). La patogénesis de las compresiones y fusiones suele involucrar una metaplasia condrogénica, proceso en el cual los osteoblastos de las zonas de crecimiento se transforman en condroblastos, sustituyendo el tejido notocordal por cartílago que posteriormente se mineraliza y osifica de forma ectópica (Witten 2005). Estos defectos son de origen multifactorial, identificándose como factores de riesgo críticos la hipertermia durante la embriogénesis, la deficiencia de fósforo que genera un fenotipo de "hueso blando" y cuadros inflamatorios locales (Ytteborg 2010). Recientemente, se ha caracterizado la patología de vértebras cross-stitch, definida por lesiones axiales simétricas en las placas terminales y desorganización del colágeno, posiblemente originada por debilidades estructurales durante la etapa de smoltificación (Holm 2020). Clínicamente, estas malformaciones derivan en diferentes fenotipos, comprometiendo severamente el bienestar animal, la eficiencia alimenticia y provocando importantes pérdidas económicas por degradación de la calidad del filete en cosecha (Holm 2020).

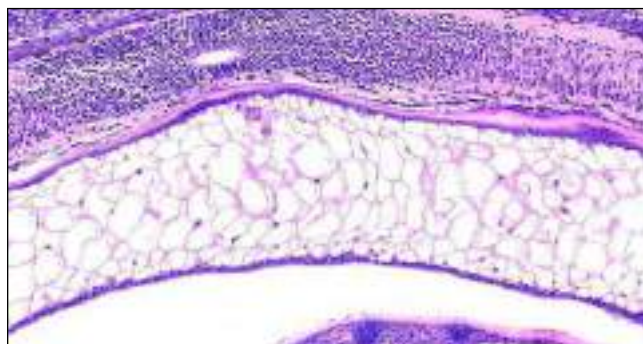


Imagen 1: (*S. salar*, H&E). Pérdida de patrón en células de la notocorda (alevín de saco con presencia de deformidades).

ALTERACIONES MANDIBULARES

La deformación mandibular (LJD) y las alteraciones como la llamada *screamer disease* en el salmón del Atlántico son anomalías esqueléticas críticas caracterizadas por una desviación ventral o lateral del hueso dentario y el aparato hioides, lo que resulta en una apertura bucal permanente que impide la alimentación normal (Roberts et al., 2001; Venegas et al., 2003). Estas patologías poseen una etiología multifactorial, donde la deficiencia de fósforo dietético —especialmente en individuos triploides con altos requerimientos minerales— y las elevadas temperaturas de incubación actúan como factores de riesgo primarios (Sadler et al., 2001; Amoroso et al., 2016a; Fjellidal et al., 2016). A nivel histológico, el cuadro se define por una displasia del cartílago de Meckel y una mineralización defectuosa con acumulación excesiva de tejido osteoide, asociada a una regulación a la baja del gen del colágeno tipo II (*col2a1*) (Amoroso et al., 2016b; Rojas et al., 2016). Clínicamente, estas malformaciones derivan en una reducción drástica del crecimiento (SGR), un aumento en el factor de conversión alimenticio y una mayor mortalidad, lo que genera severas pérdidas económicas por la degradación de la calidad del producto final (Roberts et al., 2001; Amoroso et al., 2016a).

ALTERACIONES OPERCULARES

El acortamiento y la deformación opercular constituyen una anomalía morfológica de origen multifactorial que afecta significativamente la producción de salmónidos, manifestándose como una reducción, pérdida o plegamiento de las placas óseas que protegen las branquias (Blaker & Ellis, 2022; Salvesen et al., 2025). Su etiología se vincula principalmente a comportamientos agresivos de mordisqueo o "nipping" durante la etapa de alevinaje, los cuales son exacerbados por una distribución de alimento insuficiente, periodos de hambre o densidades de cultivo inadecuadas (Blaker & Ellis, 2022; Salvesen et al., 2025; Østevik et al., 2025). Asimismo, el desarrollo de estas deformidades se asocia con deficiencias nutricionales de fósforo y vitamina C (Roberts et al., 2001; Østevik et al., 2025), variables ambientales como la temperatura de incubación y la dirección de la corriente (Larsen et al., 2018; Ørnsrud et al., 2004; Østevik et al., 2025), y factores genéticos o de ploidía (Amoroso et al., 2016; Peruzzi et al., 2018). Desde una perspectiva ejecutiva, esta condición representa un riesgo crítico para el bienestar animal, ya que se correlaciona con daños severos en el tejido branquial, un menor peso y longitud final, y un incremento en las tasas de mortalidad durante el manejo y la transferencia al mar (Burnley et al., 2010; Blaker & Ellis, 2022; Østevik et al., 2025).

ALTERACIONES DE ALETAS

Las alteraciones y deformaciones de las aletas en el salmón del Atlántico, particularmente en la aleta caudal, se manifiestan en

etapas tempranas como el fenotipo de "cola aguzada" (*pointed tail*), caracterizado por una reducción significativa del ancho de la aleta y una pérdida de la integridad de sus bordes (Rojas et al., 2020). Esta patología se asocia etiológicamente con estrés térmico brusco durante el periodo perieclosional (alrededor de las 600-700 UTAs), lo que provoca la desorganización y fractura de las lepidotriquiias, además de vasodilatación y hemorragias en el blastema interrayos (Rojas et al., 2020). De forma general, las malformaciones de las aletas pueden originarse por el doblado anormal del extremo posterior de la notocorda durante la etapa de saco vitelino, antes del desarrollo del esqueleto caudal (Koumoundouros et al., 1997; Jawad, 2017). Aunque en peces adultos las aletas poseen capacidad regenerativa, las lesiones severas en alevines comprometen de forma irreversible su capacidad de natación y bienestar general (Rojas et al., 2020).



Imagen 2: (*S. salar*). Plegamiento de aleta caudal en alevín (Lupa estereoscópica).

ALTERACIONES Y DEFORMACIONES COSTALES

Las alteraciones y deformaciones de las espinas costales (costillas) en el salmón del Atlántico comprenden desviaciones del eje (curvaturas o costillas en "forma de onda"), radiolucidez, fracturas y la formación de callos óseos. Estas anomalías poseen una etiología multifactorial, donde el estrés mecánico derivado del manejo intensivo —como el bombeo, la clasificación y la vacunación— actúa como desencadenante primario, exacerbado por deficiencias nutricionales que debilitan la integridad estructural del hueso. Un hallazgo patológico crítico es la estrecha asociación entre las fracturas costales y la aparición de manchas oscuras focales (DS) o melanosis en el filete; el daño óseo induce un proceso inflamatorio crónico que facilita la infiltración de melanomacrófagos en el tejido muscular esquelético adyacente. Dado que la prevalencia de estas deformaciones suele duplicarse tras el traslado a centros de mar, su monitoreo es fundamental para prevenir pérdidas económicas significativas por la degradación de la calidad del producto final (Brimsholm et al., 2023; Jiménez-Guerrero et al., 2022; Baeverfjord et al., 1998).

COMENTARIOS FINALES

Las alteraciones del sistema músculo-esquelético constituyen un grupo de patologías complejas cuya comprensión requiere integrar conocimientos de biología del desarrollo, nutrición, genética, manejo y patología. Su identificación temprana no solo permite comprender su origen y evolución, sino también implementar estrategias preventivas que contribuyan al bienestar animal, al desempeño productivo y a la calidad del producto final. En este contexto, VeHiCe ha desarrollado una plataforma diagnóstica especializada para la evaluación integral de estas alteraciones, que combina radiografía digital de ultra alta definición, histopatología, técnicas histoquímicas para el estudio de la mineralización, cartílago y colágeno, diafanización y escalas de evaluación desarrolladas para estructuras como notocorda, columna vertebral, mandíbula, opérculo, aletas, espinas costales y cráneo. La integración de estas herramientas permite entregar diagnósticos de alta precisión, apoyar la investigación de las causas subyacentes y generar información objetiva para la toma de decisiones en programas de producción, nutrición, mejoramiento genético y salud de peces.

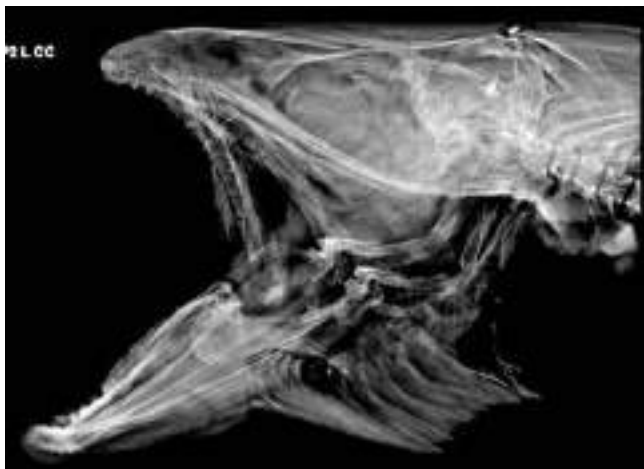


Imagen 3: (*S. salar*). Radiografía de cabeza de pez adulto con presentación de "Screamer disease".



Imagen 4: (*S. salar*). Radiografía UHD de columna vertebral, smolt con presencia de centro de fusión de cuerpos vertebrales.

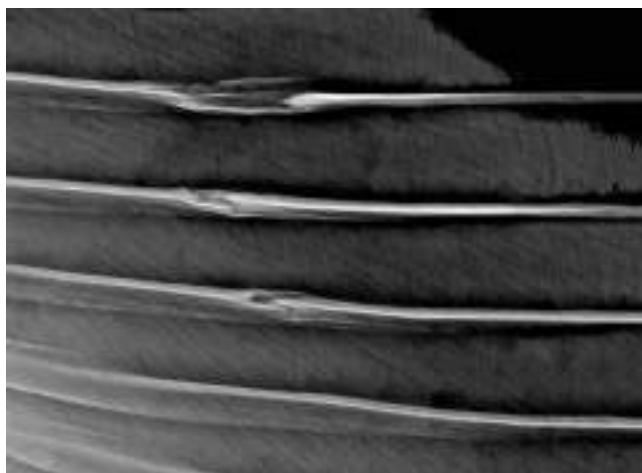


Imagen 5: (*S. salar*). Callos radiolúcidos en espinas costales (reparación de fracturas).



Imagen 6: (*O. kisutch*). Fractura de cuerpo vertebral (Radiografía UHD).



Imagen 7: (*S. salar*). Radiografía de cabeza, pez normal (superior) y pez con acortamiento opercular (inferior).

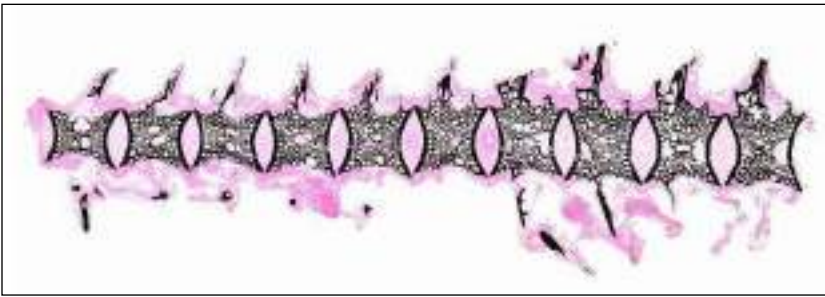


Imagen 8: (*S. salar*). Histología de columna vertebral, Tinción Von Kossa, evaluación de mineralización.



Imagen 9: (*S. salar*). Escoliosis de columna vertebral (Radiografía UHD).

BIBLIOGRAFÍA

- Amoroso, G., Adams, M. B., Ventura, T., Carter, C. G., & Cobcroft, J. M. (2016). Skeletal anomaly assessment in diploid and triploid juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and the effect of temperature in freshwater. *Journal of Fish Diseases*, 39(4), 449–466.
- Amoroso, G., Cobcroft, J. M., Adams, M. B., Ventura, T., & Carter, C. G. (2016a). Concurrence of lower jaw skeletal anomalies in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and the effect on growth in freshwater. *Journal of Fish Diseases*, 39(12), 1509–1521.
- Amoroso, G., Ventura, T., Cobcroft, J. M., Adams, M. B., Elizur, A., & Carter, C. G. (2016b). Multigenic delineation of lower jaw deformity in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *PLoS ONE*, 11(12), e0168454.
- Baeverfjord, G., Åsgård, T., & Shearer, K. D. (1998). Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr and post-smolts. *Aquaculture Nutrition*, 4(1), 1–11.
- Berg, A. E., Rødseth, O. M., Tangerås, A., & Hansen, T. J. (2006). Time of vaccination influences development of adhesions, growth and spinal deformities in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 69(2–3), 239–248.
- Blaker, E., & Ellis, T. (2022). Assessment, causes and consequences of short opercula in laboratory-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Animal Welfare*, 31(1), 79–89.
- Brimsholm, M., Fjellidal, P. G., Hansen, T., Trangerud, C., Knutsen, G. M., Asserson, C. F., Koppang, E. O., & Bjørgen, H. (2023). Anatomical and pathological characteristics of ribs in the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and its relevance to soft tissue changes. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 52(3), 421–436.
- Burnley, T. A., Stryhn, H., Burnley, H. J., & Hammell, K. L. (2010). Randomized clinical field trial of a bacterial kidney disease vaccine in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 33(7), 545–557.
- De Clercq, A., Perrott, M. R., Davie, P. S., Preece, M. A., Huysseune, A., & Witten, P. E. (2018). The external phenotype–skeleton link in post-hatch farmed Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Journal of Fish Diseases*, 41(3), 511–527.
- Fjellidal, P. G., Hansen, T. J., Lock, E. J., Wargelius, A., Fraser, T. W. K., Sambras, F., ... & Ørnsrud, R. (2016). Increased dietary phosphorous prevents vertebral deformities in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Nutrition*, 22(1), 72–90.
- Gil-Martens, L. (2010). Inflammation as a potential risk factor for spinal deformities in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Applied Ichthyology*, 26(3), 350–354.
- Holm, H., Ytteborg, E., Høst, V., Reed, A. K., Dalum, A. S., & Bæverfjord, G. (2020). A pathomorphological description of *cross-stitch* vertebrae in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 526, 735382.
- Jawad, L. A., Ibrahim, M., & Waryani, B. (2018). Incidences of caudal fin malformation in fishes from Jubail City, Saudi Arabia, Arabian Gulf. *Fisheries & Aquatic Life*, 26(1), 65–71.
- Jiménez-Guerrero, R., Baeverfjord, G., Evensen, Ø., Hamre, K., Larsson, T., Dessen, J. E., Gannestad, K. H., & Mørkøre, T. (2022). Rib abnormalities and their association with focal dark spots in Atlantic salmon fillets. *Aquaculture*, 561, 738697.
- Koumoundouros, G., Gagliardi, F., Divanach, P., Boglione, C., Cataudella, S., & Kentouri, M. (1997). Normal and abnormal osteological development of caudal fin in *Sparus aurata* L. fry. *Aquaculture*, 149(3–4), 215–226.
- Kryvi, H., Rusten, I., Fjellidal, P. G., Nordvik, K., Totland, G. K., Karlsen, T., ... & Long, J. H. (2017). The notochord in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) undergoes profound morphological and mechanical changes during development. *Journal of Anatomy*, 231(3), 407–454.

- Kvellestad, A., Høie, S., Thorud, K., Tørud, B., & Lyngøy, A. (2000). Platyospondyly and shortness of vertebral column in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in Norway—Description and interpretation of pathologic changes. *Diseases of Aquatic Organisms*, 39(2), 97–108.
- Larsen, M. H., Nemitz, A., Steinheuer, M., Lysdal, J., Thomassen, S. T., & Holdensgaard, G. (2018). *Effects of hatchery feeding practices on fin and operculum condition of juvenile Atlantic salmon Salmo salar*. Technical Report, Danish Centre for Wild Salmon.
- Ørnsrud, R., Gil, L., & Waagbø, R. (2004). Teratogenicity of elevated egg incubation temperature and egg vitamin A status in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 27(4), 213–223.
- Østevik, L., Stormoen, M., Kortner, T., Gundersen, I., Kjønsstad, M. V., Salvesen, Ø., ... & Eze, J. I. (2025). *Gjellelokkforkortelse hos laksefisk – En kunnskapssammenstilling*. Sluttrapport for FHF-prosjekt 901872. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).
- Peruzzi, S., Pu vanendran, V., Riesen, G., Seim, R. R., Hagen, Ø., Martínez-Llorens, S., ... & Jobling, M. (2018). Growth and development of skeletal anomalies in diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed phosphorus-rich diets with fish meal and hydrolyzed fish protein. *PLoS ONE*, 13(3), e0194340.
- Roberts, R. J., Hardy, R. W., & Sugiura, S. H. (2001). Screamer disease in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Chile. *Journal of Fish Diseases*, 24(9), 543–549.
- Rojas, M., Pellón, M., Cerda, C., Ulloa, R., Suarez, R., Godoy, M., & del Sol, M. (2020). Deformación de la aleta caudal en alevín de salmón del Atlántico (*Salmo salar*), en etapa de saco vitelino. *International Journal of Morphology*, 38(6), 1631–1638.
- Rojas, R. M., Ramírez, M. E., & Del Sol, M. (2016). Morphological study and mineral analysis of the lower mandible of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) from Scotland with mandibular deformation. *International Journal of Morphology*, 34(3), 1097–1104.
- Sadler, J., Pankhurst, P. M., & King, H. R. (2001). High prevalence of skeletal deformity and reduced gill surface area in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 198(3–4), 369–386.
- Salvesen, Ø., Heggland, G., Grøndahl, A., Kjønsstad, M. V., & Østevik, L. (2025). Opercular shortening and deformities in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)—A qualitative study. *Journal of Fish Diseases*.
- Takle, H., Baevefjord, G., Lunde, M., Kolstad, K., & Andersen, Ø. (2005). The effect of heat and cold exposure on HSP70 expression and development of deformities during embryogenesis of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 249(1–4), 515–524.
- Venegas, F., Montiel, E., Forno, P., & Rojas, M. (2003). Histology of the jaw deformation in salmon of southern Chile (*Salmo salar*). *International Journal of Morphology*, 21(3), 211–219.
- Wang, S. (2013). *Notochord development in Atlantic salmon (Salmo salar L.): Exploring molecular pathways and putative mechanism of segmentation*. Tesis doctoral, Universidad de Bergen, Noruega.
- Witten, P. E., Gil-Martens, L., Hall, B. K., Huysseune, A., & Obach, A. (2005). Compressed vertebrae in Atlantic salmon *Salmo salar*: Evidence for metaplastic chondrogenesis as a skeletogenic response late in ontogeny. *Diseases of Aquatic Organisms*, 64(3), 237–246.
- Witten, P. E., Obach, A., Huysseune, A., & Baevefjord, G. (2006). Vertebrae fusion in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Development, aggravation and pathways of containment. *Aquaculture*, 258(1–4), 164–172.
- Witten, P. E., Gil-Martens, L., Huysseune, A., Takle, H., & Hjelde, K. (2009). Towards a classification and an understanding of developmental relationships of vertebral body malformations in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 295(1–2), 6–14.
- Ytteborg, E., Torgersen, J. S., Pedersen, M. E., Baevefjord, G., Hannesson, K. O., & Takle, H. (2010). Remodeling of the notochord during development of vertebral fusions in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Cell and Tissue Research*, 342(3), 363–376.

PHARMAQ
part of zoetis

NFT25

Tecnología que impulsa la salmonicultura nacional



Haz crecer tu producción con innovación y confianza



Vacunación automatizada y clasificación inteligente de peces.
Registro en tiempo real para máxima eficiencia y bienestar animal.

Más información:



We make aquaculture progress

 pharmaq.com

Propiedad de PHARMAQ. Cualquier copia no autorizada, la reproducción, la contratación, los préstamos, la ejecución pública y la redistribución de este documento está firmemente prohibida.
MM-42501

BIOSEGURIDAD EN EL TRANSPORTE DE PECES VIVOS

Sandra Bravo, Daniela Oyarzún, Ana Millanao

sandra.bravo.sbs@gmail.com

La Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) define bioseguridad como el conjunto de medidas físicas y de gestión diseñadas para mitigar el riesgo de introducción y diseminación de los agentes patógenos en poblaciones de animales sometidos a producción intensiva (OMSA, 2021).

El cultivo de salmones es una actividad productiva intensiva, y como toda actividad de producción animal presenta riesgos sanitarios. Pero en el caso de los peces, los riesgos sanitarios son mayores por la dificultad de aislar y erradicar a los patógenos que los afectan en el medio acuático. Frente a este escenario, la bioseguridad cobra alta relevancia, ya que dependiendo de la etapa de desarrollo de los peces y de los sistemas de cultivo usados, el nivel de riesgo es diferente.

	BAJO	RIESGO	ALTO		
PECES	Ovas desinfectadas	Revinos	smolt	Peces atropados	Peces en aguas marinas
AGUA	Agua dulce desinfectada Agua de pozos	Agua dulce con peces no anádromos	Agua dulce reciclada	Agua dulce con peces anádromos Agua de mar desinfectada	Agua de mar
VECTORES	Empaques víveres	Buzos Suministro de alimento	Personal servicio de salud Embarcaciones de servicio	Servicio de limpieza de redes	Wellboats

Figura 1: Riesgos asociados a la introducción de patógenos en el cultivo de salmones (modificado de Lillehaug et al., 2015).

En la figura 1 se presenta una matriz en la cual se describe un panorama general de riesgos de fuentes y rutas potenciales de infección en el cultivo de salmones, en el que se incluyen tres vías de infección: los peces en distintos estados de desarrollo, la fuente de agua en la que habitan los peces y vectores, destacándose en color verde el menor riesgo asociado a ovas desinfectadas y en color rojo el mayor riesgo asociado a la etapa de engorda en el mar, identificando a los wellboats como el vector de mayor riesgo (Lillehaug et al., 2015).

Por ser los salmones especies anádromas, durante la esmoltificación son trasladados desde las pisciculturas de agua dulce a los centros

de engorda en el mar. Los medios de transporte usados para el transporte vía terrestre son camiones habilitados con estanques, en tanto que para el transporte vía marítima se emplean embarcaciones. De acuerdo a listado del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA, 2026), 64 wellboats y 17 fishboats han sido autorizadas para el transporte de peces vivos en Chile. Los wellboat son también usados para el transporte de peces vivos destinados a cosecha.

El programa sanitario específico de vigilancia y control de la Anemia Infecciosa del Salmón (Resolución Exenta N°1577), define las embarcaciones destinadas al transporte de peces vivos como:

- Wellboat semi-cerrado: nave con operación abierta que cuenta con un sistema de tratamiento de las aguas destinado a eliminar patógenos.
- Wellboat cerrado: nave con operación cerrada que transporta peces vivos con recirculación de agua, sin realizar intercambio con el exterior.
- Fishboat: nave que debe realizar la validación de su sistema de tratamiento de afluente y efluente para proceder a la inscripción como nave de apoyo a la acuicultura.

Slette y col. (2025) señalan que los factores de riesgo para los wellboats se dividen en tres grupos principales: la introducción de patógenos a través del agua de ingreso, la propagación de patógenos entre grupos de peces y la propagación de patógenos desde el wellboat al medio ambiente. En esta última, se incorporan los factores de riesgo derivados de: la descarga de peces; del agua de lastre; de los cascos de las embarcaciones; e infección entre vías marítimas.

En Chile, el movimiento de peces vivos debe ser autorizado por SERNAPESCA, previa certificación sanitaria que indique que los peces a trasladar se encuentran libres de enfermedades (Resolución Exenta N° 210). Los estanques, medios de transportes (camiones, barcos) y los elementos utilizados en el transporte deben ser desinfectados entre cada traslado para evitar la diseminación de posibles patógenos entre sitios. Los servicios de transporte de peces deben presentar un certificado que acredite la desinfección por parte de una empresa de servicios autorizada (Resolución Exenta N°211).

La desinfección se emplea como una herramienta de lucha contra las enfermedades infecciosas en los establecimientos de acuicultura y como parte de un plan de bioseguridad. Se utiliza para prevenir la entrada o salida de agentes patógenos desde o hacia un establecimiento de acuicultura o compartimento, así como para prevenir su propagación dentro de los establecimientos de acuicultura. La desinfección es un proceso estructurado que recurre a procedimientos físicos y/o químicos, con el fin de destruir o inactivar a los agentes patógenos presentes hasta alcanzar un nivel apropiado de manipulación o uso, por lo que la elección de la estrategia a utilizar y su aplicación, dependerá del objetivo de la desinfección (OMSA, 2021).

El desinfectante a utilizar se debe seleccionar teniendo en consideración lo siguiente:

- Espectro de actividad contra los agentes patógenos
- Efectividad contra los agentes patógenos
- Concentración eficaz, tiempo de exposición, rango de temperatura de actividad
- Capacidad de evaluación de la efectividad
- Compatibilidad con el tipo de agua disponible (por ejemplo, agua dulce, agua dura o agua de mar)
- Compatibilidad con el tipo de material a ser desinfectado
- Facilidad de aplicación
- Cantidad de materia orgánica y capacidad para removerla
- Costo
- Impacto de los residuos sobre los animales acuáticos y el entorno
- Seguridad para el usuario

A la fecha, hay 76 desinfectantes aprobados por la Dirección General de Territorio Marítimo y de Marina Mercante (2026). En la tabla 1, elaborada a partir de los estándares de bioseguridad desarrollados por New Zealand Salmon Farmed Association (NZSFA, 2022), se

presenta el espectro de actividad y el grado de efectividad de los principales desinfectantes usados en el control de enfermedades que afectan a los salmones.

En los procesos de desinfección intervienen tres entidades gubernamentales en Chile, el Ministerio de Salud (MINSAL), la autoridad marítima (DIRECTEMAR) y el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). Las auditorías y certificaciones de desinfección acuícola son ejecutadas bajo los lineamientos de SERNAPESCA. Para postular al registro de Certificador de desinfección, renovable cada tres años, se debe poseer un título profesional o grado académico de duración no inferior a cuatro semestres y que considere temas de microbiología o acuicultura.

El MINSAL a través del ISP regula el registro sanitario de los desinfectantes y autoriza su comercialización, y a través de la SEREMI de Salud regional correspondiente, supervigila que empresas autorizadas cumplan con la capacitación del personal aplicador de plaguicidas, la que debe incluir: conceptos básicos de plaguicidas (tipos, usos), efectos sobre las personas, formas de uso y aplicación, identificación de plagas y estrategias de manejo, medidas de prevención de riesgos (protección personal, poblacional y ambiental), primeros auxilios ante intoxicaciones, manejo de residuos, transporte y almacenamiento, y conocimiento de la normativa, entre otros (Decreto N° 157, 2007)

Por su parte, la DIRECTEMAR autoriza específicamente la faena de limpieza, lavado y desinfección (LLD) en artefactos navales de acuicultura, exigiendo que la empresa presente un Protocolo LLD en cada gobernación marítima donde preste servicios. A la fecha operan 20 empresas autorizadas por la Gobernación Marítima de Puerto Montt en el proceso de desinfección.

Tabla 1: Efectividad de los productos desinfectantes usados en la acuicultura para el control de patógenos. (++) : altamente efectivo; (+) : efectivo; (+/-) : limitada acción; (-) : no recomendado

Producto	ISA	IPN	VHS	IHN	EHN	GRAM (-)	GRAM (+)	SRS	Micobacterias	Hongos
Glutaraldehído	++	++	++	++	++	++	++	+	+	++
Ácido peracético	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Hipoclorito de sodio	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Dióxido de cloro	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Yodóforos	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Amorrios cuaternarios	+/-	-	+/-	+/-	-	+/-	+	+	-	+
Biguanidas	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-
Ácidos	+	+/-	+	+	+/-	+	+	+	+/-	-
Hidróxido de sodio	++	++	++	++	++	++	++	++	+	++
Ozono	++	++	++	++	+	++	++	++	++	+
UV	+	+	+	+	+	++	++	++	+	+

ISA: Anemia infecciosa del salmón; IPN: necrosis pancreática infecciosa; VHS: septicemia hemorrágica viral; IHN: necrosis hematopoyética infecciosa; EHN: necrosis hematopoyética epizootica; SRS: síndrome rickettsial del salmón.

NORMATIVAS APLICADAS AL TRANSPORTE DE PECES VIVOS EN LOS PAÍSES PRODUCTORES DE SALMÓN

Las medidas de bioseguridad fueron reforzadas en todos los países productores de salmón, posterior a la aparición del virus ISA. El primer registro de brotes del virus ISA ocurrió en 1984 en Noruega, lo que generó que la autoridad sanitaria implementara normativas basadas en medidas de bioseguridad para minimizar los riesgos de propagación de la enfermedad. En 1996 fue reportado en New Brunswick (Canadá), en 1998 en Escocia, en 2000 en las Islas Feroés y también en Los Estados Unidos y en 2007 en Chile, lo que llevó a que se implementaran estrictas medidas de bioseguridad.

En 1988 Noruega implementó acciones regulatorias para el manejo del virus ISA, y en 1990 implementó regulaciones para los medios de transporte y medidas de higiene y desinfección aplicados a estos. En 2000 Escocia implementó el Código de Prácticas y la Guía de Desinfección para evitar y minimizar el impacto del virus ISA. En Chile, en 2014 SERNAPESCA implementó el Programa Sanitario General de Procedimientos de Transporte (PSGT) y el Programa Sanitario General de Limpieza y Desinfección (PSGL).

En la tabla 2 se presentan las normativas en bioseguridad que rigen el transporte de peces vivos en Noruega, Escocia y Chile, basada en los resultados generados en la Tesis de Magister *"Análisis comparativo de la normativa sanitaria que regula el transporte de peces vivos en la salmonicultura chilena y en otros países productores de salmón"* (Oyarzún, 2025).

La normativa Noruega establece que todos los vehículos de transporte de peces vivos deben ser autorizados por la Norwegian Food Safety Authority (NFSA), la cual debe ser renovada cada 5 años. Además, señala que cualquier cambio en la construcción del vehículo o en el equipamiento requiere de una nueva aprobación. También indica que las personas que operan los sistemas de transporte deben tener los conocimientos básicos necesarios respecto a las necesidades fisiológicas y de comportamiento de los peces de cultivo para asegurar su bienestar durante el transporte.

A diferencia de Noruega y Chile, Escocia ha implementado códigos de buenas prácticas, considerado el marco estratégico para la acuicultura escocesa (SFSA) en los cuales se entregan recomendaciones detalladas de las buenas prácticas a implementar en toda la cadena productiva del salmón. Incluye siete capítulos, los capítulos 2 y 3 corresponden a códigos de Buenas Prácticas en agua dulce y los capítulos 4 y 5 a códigos de Buenas Prácticas en agua de mar. Además, incorpora el Anexo 5 en el cual se describen los riesgos que presentan los wellboats en la diseminación de patógenos, y la Guía de Desinfección para prevenir la introducción y minimizar la transmisión de enfermedades de los peces.

La normativa noruega señala que la limpieza y desinfección de los vehículos debe ser realizada antes y entre cada transporte; después de la descarga de peces en un centro de matanza donde los peces desde otros establecimientos son mantenidos en jaulas; después del transporte de peces que han sido sujeto a restricción de movimiento, y después del transporte realizado con otros propósitos que el transporte de peces vivos. Los wellboats usados para otros propósitos deben ser sometidos a un período de cuarentena de al menos 48 horas, además de la limpieza y desinfección, antes de ser usado en el transporte de smolts.

En el caso de Chile, las naves que transportan peces vivos son autorizadas por Sernapesca, en tanto que los desinfectantes y las empresas que realizan la desinfección son autorizadas por la DIRECTEMAR. La normativa chilena no hace diferencias respecto al uso de wellboats que transportan smolt y los que transportan peces para cosecha. Un mismo wellboat puede ser usado para ambos propósitos, cumpliendo con la limpieza y desinfección. Tampoco se cuenta con protocolos y/o directrices de desinfección establecidos por la autoridad. Solo exige un certificado de desinfección, emitido por una empresa de desinfección acreditada, y que cuente con protocolos de limpieza, lavado y desinfección (LLD).

Penalidades y Sanciones: Las sanciones aplicadas al no cumplimiento de las normativas van desde multas para el caso de Chile y Escocia, hasta años de cárcel en el caso de Noruega

En el capítulo VII de la Ley de Acuicultura Noruega (Act 79), se señala que: *Cualquier persona que incumpla intencionadamente o con negligencia grave las disposiciones prescritas en la Ley o conforme a ella, podrá ser castigada con multas o prisión de un máximo de un año, o ambas, siempre que el delito no esté sujeto a disposiciones penales más severas. En circunstancias especialmente agravantes, se puede aplicar una pena de prisión máxima de dos años, salvo que el delito esté sujeto a disposiciones penales más severas.* La Ley de Acuicultura y pesca de Escocia (Act 2007), fija sanciones en 7 niveles que van desde 500 a 10.000 libras esterlinas, dependiendo de la gravedad de la infracción.

Para el caso de Chile, se señala que la infracción de las prohibiciones y no cumplimiento de las normativas, serán sancionadas de acuerdo a lo establecido en la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA). En el artículo 121 bis de la LGPA se establece que toda persona natural o jurídica que, sometida a fiscalización de cualquier forma obstaculice, dificulte, impida o intente obstaculizar la labor de los funcionarios del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, será sancionada con multa de 30 a 100 Unidades Tributarias mensuales (UTM).

Tabla 2: Normativas relacionadas al transporte de peces vivos en Noruega, Escocia y Chile

Reglamento / Programa	Descripción
NORUEGA	
Ley de Acuicultura (Act 79) https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-79	Regula la acuicultura en aguas interiores, marinas, territoriales, zona económica exclusiva y plataforma continental.
Normativas transporte de animales acuícolas (N° 820) https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-820	Establece requisitos de transporte, densidad animal y calidad del agua. Aplica al territorio terrestre, aguas territoriales, plataforma continental y zona económica de Noruega.
Reglamentos desinfección de aguas (N° 192) https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1997-02-20-192	Exige la desinfección del agua de transporte de organismos acuáticos para reducir el riesgo de propagación de infecciones.
Normativas sobre la aprobación y uso de desinfectantes en instalaciones acuícolas y unidades de transporte (N° 821) https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-821	Aprobación y uso de desinfectantes en instalaciones y transporte.
ESCOCIA	
Ley de Acuicultura y Pesca (Act 2007) https://www.legislation.gov.uk/asp/2013/7/contents	Regula la normativa en acuicultura.
The Aquatic Animal Health Regulations (N°85) https://www.legislation.gov.uk/ssi/2009/85/contents	Medidas contra enfermedades en animales de acuicultura; requisitos zoonosanitarios; prevención y control de enfermedades acuáticas
Scottish Government. Fish Health Inspectorate https://www.gov.scot/policies/fish-health-inspectorate/biosecurity-and-disinfection/	Guía de desinfección IV. Directrices para prevenir la introducción y minimizar la transmisión de enfermedades de los peces. https://www.gov.scot/publications/fish-diseases-disinfection-guide-iv/
Code of Good Practice for Scottish Salmonid Aquaculture (CoGP) https://thecodeofgoodpractice.co.uk/	Contiene siete capítulos. Los capítulos 2 y 3 corresponden a códigos de buenas Prácticas en agua dulce y los capítulos 4 y 5 a códigos de buenas Prácticas en agua de mar. Incluyen el transporte de peces vivos.
CHILE	
Ley general de Pesca y Acuicultura (N°18.892) https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=13315	Regula la normativa en acuicultura.
Reglamento de medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo (DS N° 319) http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/modificacion_reglamento_319_2001.pdf	Establece medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo (EAR) en actividades de cultivo, transporte y procesamiento.
Programa Sanitario General de Procedimientos de Transporte (R.E. N° 2010, 2014) http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/res.ex._2010-2014.pdf	Regula requisitos y procedimientos sanitarios para transporte aéreo, marítimo y terrestre de peces, ovas y gametos, con el fin de prevenir la diseminación de patógenos.
Programa Sanitario General de Limpieza y Desinfección (R.E. N° 2011) https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1064581	Exige que los medios de transporte cuenten con manuales de limpieza y desinfección, detallando principios activos, concentraciones y tiempos de exposición.
Programa Sanitario General de Cosecha (R.E. N° 2009) https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1064579&idParte=9490194	Garantiza la contención total de agua, sangre y residuos orgánicos durante la cosecha, obligando a la desinfección posterior de las embarcaciones.



Figura 2a: Desinfección estanques transporte smolt



Figura 2b: Desinfección wellboat

CONCLUSIONES

Aun cuando la industria del salmón en Chile ha avanzado en la adopción de buenas prácticas de bioseguridad y bienestar animal en el transporte de peces vivos, es importante fortalecer y actualizar el marco regulatorio para garantizar un control sanitario robusto y la aplicación de medidas de bioseguridad efectivas. Tanto la normativa Noruega como la Escocesa son altamente estrictas, al reconocer que el transporte de peces vivos está asociado a un alto riesgo de diseminación de enfermedades infecciosas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (2026). Desinfectantes autorizados por la AA.MM.

https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20170329/20170329113314/quimicos_autorizados_listado_05_05_2026.pdf

Lillehaug A., Santi N., Østvik, A. (2015). Practical Biosecurity in Atlantic Salmon Production. *Journal of Applied Aquaculture*, 27(3), 249–262. <https://doi.org/10.1080/10454438.2015.1066174>

MINSAL (2007). Decreto 157. Reglamento de pesticidas de uso sanitario y doméstico. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/chi147971.pdf>

New Zealand Salmon Farmers Association (NZSFA) (2022). New Zealand Salmon Biosecurity Standards. New Zealand Sustainable Aquaculture. <https://static1.squarespace.com/static/55d2b0eee4b0649ae7068665/t/63607e91174b47488d70aa77/1667268247808/Salmon+Bioscurity+Standards+2022.pdf>

Organización Mundial de Sanidad Animal (2021). Código Sanitario para los Animales Acuáticos.

<https://doc.woah.org/dyn/portal/digidoc.xhtml?statelessToken=WqYgRfGzfydlhvms3LX9RtORL0qe9ImZMHqzLTcCgpg=&actionMethod=dyn%2Fportal%2Fdigidoc.xhtml%3AdownloadAttachment.openStateless>

Oyarzún Vargas D. (2025). Análisis comparativo de la normativa sanitaria que regula el transporte de peces vivos en la salmicultura chilena y en otros países productores de salmón. Tesis de Magister, Universidad Austral de Chile.

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2025/bpme98a/doc/bpme98a.pdf>

SERNAPESCA (2026). Naves prestadoras de servicios de acuicultura.

https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2026/01/naves_prestadoras_de_servicios_de_acuicultura_v20260109.pdf

Slette H.T., Salomonsen C., Størkersen K., Tveit G.M., Misund A., Lona E. (2025). Biosafety in Norwegian Aquaculture—Risks and Measures in RAS Facilities and Well-Boats. *Reviews in Aquaculture*. 17: e12979. <https://doi.org/10.1111/raq.12979>

The Aquaculture and Fisheries (Scotland) Act 2007 (Fixed Penalty Notices) (2015).

<https://www.legislation.gov.uk/ssi/2015/113/schedule/made?view=plain>



La Buena Energía para cada desafío

Diseñamos e implementamos planes
energéticos integrales a tu medida

- Diagnóstico y asesoría energética
- Generación eléctrica con Gas Licuado de Petróleo
- Cogeneración: Generación de Electricidad y calor en un solo sistema
- Generación de agua caliente de alta eficiencia
- Apoyo en la transición energética, conversión de equipos para operación con Gas Licuado
- Calefacción de grandes superficies
- Generación de vapor

Soluciones confiables para un futuro más sostenible

Contáctanos y solicita tu evaluación.

📞 600 500 6000

💻 lipigas.cl

Factores asociados a la mortalidad atribuible a la tenacibaculosis en la producción de salmón en Chile: Un estudio del período 2018 - 2021



Álvaro Gaete-Carrasco¹, Carla Rosenfeld², Marcela Lara³, Fernando O. Mardones^{4*}, Rubén Avendaño-Herrera^{5,6,7*}

¹ Faculty of Natural Resources and Veterinary Medicine, Santo Tomás University, Viña del Mar, Chile

² Institute of Veterinary Preventive Medicine, Austral University of Chile, Isla Tejas Campus S/N, Valdivia, Chile

³ Center for Antimicrobial Stewardship in Aquaculture (CASA), Universidad de Chile, La Pintana, Santiago, Chile.

⁴ Division of Global Agriculture and Food Systems, Royal (Dick) School of Veterinary Studies, The University of Edinburgh, UK.

⁵ Laboratorio de Organismos Acuáticos y Biotecnología Acuicola, Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile.

⁶ Centro Investigación Aplicada INCAR2, Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile.

⁷ Centro Investigación Marina Quintay (CIMARQ), Universidad Andrés Bello, Quintay, Chile.

La tenacibaculosis, causada por diversas especies del género *Tenacibaculum* (familia *Flavobacteriaceae*), constituye una de las enfermedades bacterianas más importantes que afectan a los salmónidos a nivel mundial (Suzuki et al. 2001; Olsen et al. 2019). Las especies de *Tenacibaculum* son bacterias marinas Gram negativas, aerobias estrictas y con motilidad por deslizamiento, que producen lesiones principalmente en piel y otros tejidos externos de los peces (Suzuki et al. 2001; Avendaño-Herrera et al. 2016). Aunque su reservorio natural y los mecanismos de transmisión no se conocen completamente, se ha demostrado su persistencia en el mucus de los peces y se ha propuesto la transmisión a través del agua de mar, el contacto entre peces, el alimento y posibles vectores como medusas y piojos de mar (Avendaño-Herrera et al. 2006a; 2006b; Gonçalves et al. 2020).

Chile es el segundo productor mundial de salmón de cultivo, albergando en promedio, aproximadamente 300 centros de cultivo marinos de salmónidos activos por mes, distribuidos entre salmón del Atlántico (*Salmo salar*) (72% de los centros), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (9%) y salmón Coho (*O. kisutch*) (19%) (SERNAPESCA, 2020). Estos centros se localizan principalmente en las regiones de Los Lagos (42%), Aysén (48%) y Magallanes (10%) (SERNAPESCA 2020). Estas regiones se subdividen en Agrupaciones de Concesiones

de Salmónidos (ACS), o "barrios", que operan bajo un esquema de producción coordinado de 24 semanas, seguido de un descanso sanitario obligatorio de tres meses. La normativa vigente establece que la siembra en cada ACS debe completarse en un plazo máximo de tres meses (12 semanas) (SUBPESCA 2001).

Desde el primer reporte de la tenacibaculosis en Chile en 2016, asociado a *T. dicentrarchi*, se han identificado otras especies patógenas, incluyendo *T. maritimum*, *T. finnmarchense* y *T. piscium*, además de casos en especies distintas de los salmónidos (Avendaño-Herrera et al. 2016; 2022; 2024; Bridel et al. 2018). Esta situación ha transformado a la tenacibaculosis en la segunda causa de mortalidad en la salmonicultura, destacando la necesidad de comprender su epidemiología para fortalecer las estrategias de prevención y control. En consecuencia, este estudio retrospectivo incluyó un análisis

descriptivo y un estudio de casos y controles para caracterizar la mortalidad atribuida a la tenacibaculosis e identificar los factores asociados con la ocurrencia de la enfermedad en centros marinos de cultivo de salmónidos en Chile entre la semana epidemiológica 30 de 2018 (23–29 de julio de 2018) y la semana 30 de 2021 (26 de julio–1 de agosto de 2021), utilizando la información generada por el Programa Sanitario General de Manejo y Clasificación de Mortalidades (PSGM) administrado por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA).

Tabla 1: Tasa semanal de mortalidad asociadas a la tenacibaculosis por región y especie de salmón en Chile, bajo el marco del Programa Sanitario General para la Gestión y Clasificación de la Mortalidad (2018–2021)."

	N° ciclos productivos	N° ciclos con mortalidad por tenacibaculosis	% ciclos con mortalidad por tenacibaculosis
Región			
Los Lagos	528	265	50,2
Aysén	541	411	76,0
Magallanes	123	101	82,1
	1.192	777	65,2
Especies			
Atlantic salmon	762	582	76,4
rainbow trout	104	75	72,1
Coho salmon	326	120	36,8
	1.192	777	65,2

Cabe destacar que en el marco del PSGM, los centros de cultivo reportan semanalmente a SERNAPESCA, a través del Sistema Integrado para la Fiscalización de la Acuicultura (SIFA), información sobre el número de peces, mortalidades, peso promedio, especie cultivada y región, registrada a nivel de jaula. La descripción del sistema de reporte y del conjunto de datos utilizado en este estudio, incluyendo la frecuencia y distribución de la mortalidad por tenacibaculosis, puede revisarse en profundidad en "Risk Factors Associated With Tenacibaculosis-Related Mortality in Farmed Salmon in Chile From 2018 to 2021" (Journal of Fish Diseases, 2026;0. <https://doi.org/10.1111/jfd.70249>).

Para el estudio de casos y controles se consideró como variable dependiente la ocurrencia de mortalidad por tenacibaculosis durante el ciclo productivo (Tabla 1). Como variables explicativas se incluyeron las mortalidades atribuidas a causas ambientales, daño mecánico, Septicemia Rickettsial del Salmón (SRS) y Enfermedad Bacteriana del Riñón (BKD), de acuerdo con las definiciones establecidas en el PSGM. Las causas ambientales comprendieron mortalidades asociadas a floraciones algales nocivas (FAN) o a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, mientras que el daño mecánico incluyó mortalidades ocasionadas por eventos operacionales, climáticos o mecánicos registrados en los centros de cultivo. Además, se incorporó la estación de siembra como covariable, definida según la estación del año correspondiente a la primera semana de ingreso de peces al centro (verano, otoño, invierno o primavera). Las variables Región, Especie, Peso de dispersión, Peso de siembra y Tamaño de la población al inicio del ciclo fueron obtenidas de la base de datos de mortalidad reportada semanalmente por cada centro al SIFA. La variable Caligus se definió de acuerdo con la clasificación asignada a cada ciclo productivo por el Programa Sanitario Específico de Vigilancia y Control de la Caligidosis (PSEVC-Caligus), clasificando los centros como Centros de Alta Diseminación (CAD) o No clasificados durante el período de estudio (SERNAPESCA 2022).

Para identificar los factores de riesgo asociados con la ocurrencia de tenacibaculosis, se incluyeron todos los ciclos productivos completos, sin datos faltantes, de centros de cultivo de las regiones de Los Lagos y Aysén. La región de Magallanes se consideró únicamente en los análisis descriptivos y de mortalidad, excluyéndose del estudio de casos y controles por el escaso número de ciclos elegibles y la limitada variabilidad de covariables clave. Los casos correspondieron a ciclos con una mortalidad acumulada por tenacibaculosis $>0,02\%$, mientras que los controles incluyeron ciclos con mortalidad $=0,02\%$, incluidos aquellos sin mortalidad atribuida a la enfermedad. Este umbral permitió distinguir brotes epidemiológicamente relevantes de eventos esporádicos. Las covariables se seleccionaron a partir de la literatura y se agruparon en factores espaciales, manejo del centro, estrés ambiental e indicadores de coinfección. Las variables continuas se categorizaron utilizando puntos de corte basados en su distribución. Las asociaciones se evaluaron mediante regresión logística. Las variables con $P < 0,25$ en el análisis univariado se incorporaron al modelo multivariable, cuya selección se realizó mediante un procedimiento escalonado hacia adelante, utilizando la prueba de razón de verosimilitud y el AIC. Se evaluaron las interacciones región $\times$ especie y región $\times$ caligidosis, y el ajuste del modelo mediante la prueba de Hosmer-Lemeshow. Los análisis se realizaron en R (función glm), con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Durante el período de estudio, la mortalidad atribuida a tenacibaculosis se notificó en 777 de los 1.192 ciclos productivos (65,2%), confirmando que la enfermedad es endémica, ampliamente distribuida y afecta a las tres especies de salmónidos cultivadas en las principales regiones de producción marina de Chile (Avendaño-Herrera et al. 2020). A nivel regional, se registró en 265 de 528 ciclos en Los Lagos (50,2%), 411 de 541 en Aysén (76,0%) y 101 de 123 en Magallanes (82,1%). Según especie, afectó 582 de 762 ciclos de salmón del Atlántico (76,4%), 75 de 104 ciclos de trucha arcoíris (72,1%) y 120 de 326 ciclos de salmón Coho (36,8%). Además, el

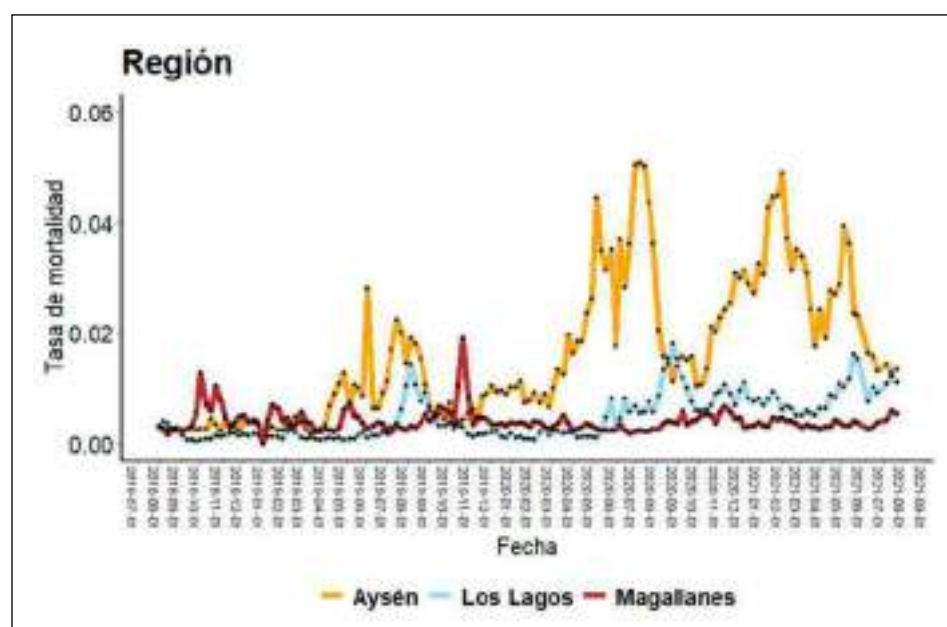


Figura 1: Tasa semanal de mortalidad asociadas a la tenacibaculosis por región y especie de salmón en Chile, bajo el marco del Programa Sanitario General para la Gestión y Clasificación de la Mortalidad (2018-2021)."

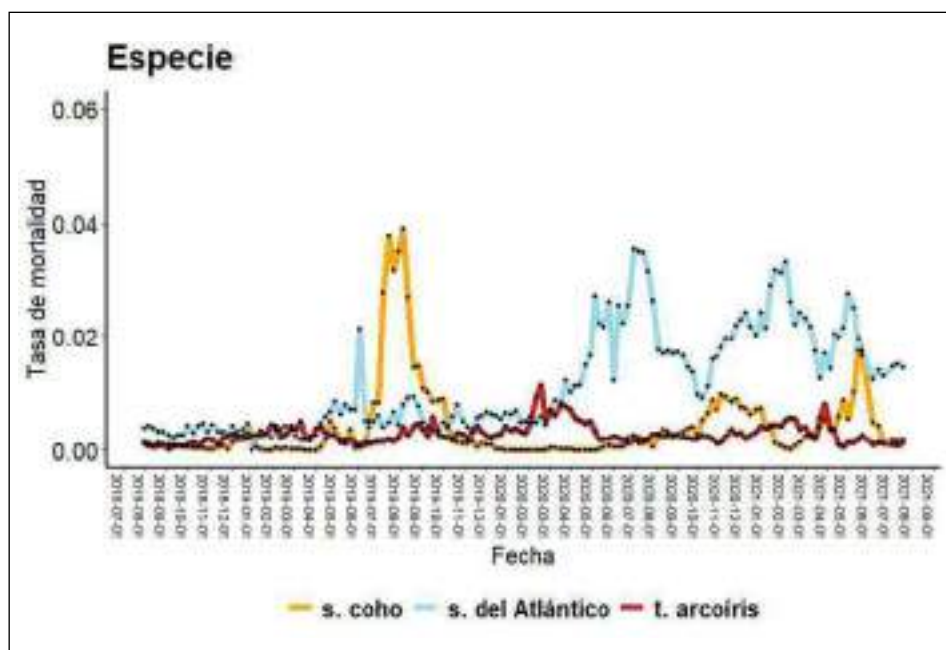


Figura 2: Tasa semanal de mortalidad asociadas a la tenacibaculosis por región y especie de salmón en Chile, bajo el marco del Programa Sanitario General para la Gestión y Clasificación de la Mortalidad (2018–2021)."

análisis temporal indicó que los ciclos productivos en Magallanes presentaron mortalidad asociada a tenacibaculosis en etapas más tempranas que aquellos desarrollados en Aysén y Los Lagos, respectivamente. Durante el período otoño-invierno, las temperaturas promedio del agua fluctuaron entre 10,5–12,7 °C en Los Lagos, 9,2–12,2 °C en Aysén y 6,0–11,0 °C en Magallanes (SERNAPESCA 2021).

La tasa de mortalidad semanal ($Mrate(t)$) alcanzó valores máximos regionales de 0,018% en Los Lagos, 0,051% en Aysén y 0,019% en Magallanes. Por especie, los valores máximos fueron 0,035% en salmón del Atlántico, 0,038% en salmón Coho y 0,011% en trucha arcoíris (Figuras 1 y 2). La estacionalidad mensual, evaluada mediante la descomposición multiplicativa de la serie de mortalidad mensual ($Mratem$), mostró desviaciones positivas respecto de la media anual principalmente en invierno. En Los Lagos, se concentraron entre junio y septiembre; en Aysén, entre marzo y junio; y en Magallanes, únicamente en septiembre. Por especie, los mayores efectos estacionales se observaron en salmón del Atlántico (abril y junio) y salmón Coho (junio y julio), mientras que trucha arcoíris fueron de baja magnitud, principalmente al inicio del año y hacia mediados del invierno.

El tiempo mediano desde la siembra hasta la ocurrencia de tenacibaculosis en los 1.192 ciclos productivos fue de 17 semanas. Por región, se registraron 265 eventos en Los Lagos, con una mediana de 26 semanas; 411 en Aysén con 13 semanas; y 101 en Magallanes con una mediana de 9 semanas. Por especie, el salmón del Atlántico presentó 582 eventos, con una mediana de 12 semanas y un tiempo hasta 70% de supervivencia de 6 semanas. En salmón Coho se observaron 120 eventos, sin estimación de la mediana, con un tiempo hasta 70% de supervivencia de 21 semanas. En trucha arcoíris se registraron 75 eventos, con una mediana de 15 semanas y un

tiempo hasta 70% de supervivencia de 10 semanas. La prueba de log-rank mostró diferencias significativas entre las tres especies ($P < 0,05$).

La tasa de mortalidad acumulada por tenacibaculosis por ciclo productivo (Mcuc), evaluada en 240 ciclos completos, presentó variaciones según región y especie. En salmón del Atlántico, las medianas fueron de 0,09% en Los Lagos, 0,27% en Aysén y 0,14% en Magallanes. En trucha arcoíris, 0,01%, 0,04% y 0,31%, respectivamente; y en salmón Coho, 0,003%, 0,01% y 0,003%, respectivamente.

Se analizaron 263 ciclos productivos completos seleccionados aleatoriamente, incluyendo 130 casos (49,2%) y 133 controles (50,8%). En el análisis univariado, cinco variables presentaron asociación significativa con la tenacibaculosis: región, especie, lesiones mecánicas, SRS y caligidosis mostraron asociación significativa con tenacibaculosis ($P < 0,05$). Tras evaluar colinealidad, siete variables con $P < 0,25$ fueron incluidas en el modelo multivariable: región, especie, estación de siembra, peso de siembra, números de peces sembrados, dispersión del peso, coinfección, caligidosis, lesiones mecánicas y factor ambiental.

El modelo final incorporó región, caligidosis y la interacción región $\times$ especie. Los ciclos clasificados como CAD-Caligus y los centros de Aysén con cultivo de salmón del Atlántico se asociaron significativamente con la ocurrencia de tenacibaculosis. La asociación con caligidosis podría explicarse por el daño cutáneo y la alteración de la respuesta inmune provocada por *C. rogerresseyi*, favoreciendo la susceptibilidad a infecciones bacterianas (Oelckers et al. 2015). De manera similar, la interacción entre caligidosis y piscirickettsiosis ha sido descrita previamente en salmonicultura chilena (Gaete-Carrasco et al. 2019; Diethelm-Varela et al. 2025).

En Magallanes, donde la prevalencia de piojo de mar suele ser baja, igualmente se observó mortalidad asociada a tenacibaculosis, lo que sugiere la participación de factores adicionales como menores temperaturas del agua, lesiones mecánicas u otros factores de estrés que comprometan la integridad de la piel. En conjunto, estos resultados indican que la caligidosis es un factor de riesgo relevante, aunque no exclusivo, y que la ocurrencia de tenacibaculosis puede estar determinada por múltiples vías epidemiológicas según las condiciones regionales.

Dada la alta prevalencia de la tenacibaculosis, su impacto sostenido sobre la mortalidad y su asociación con otros desafíos sanitarios relevantes en la salmonicultura chilena, la vigilancia continua de la tenacibaculosis es esencial. El fortalecimiento del monitoreo sanitario mediante el PSGM implementado por SERNAPESCA será clave para actualizar su estado epidemiológico, identificar nuevos factores de riesgo y orientar intervenciones oportunas destinadas a reducir sus efectos sobre la salud de los peces, el bienestar animal y la sostenibilidad productiva.

Asimismo, considerando que el PSGM ha permitido a SERNAPESCA recopilar información sanitaria relevante mediante los reportes de mortalidad, proponemos la Vigilancia Sindrómica (SyS) como una herramienta útil para la alerta temprana y el monitoreo sanitario en salmonicultura. Sin embargo, la posible clasificación errónea de mortalidades asociadas a tenacibaculosis y la ausencia de confirmación diagnóstica podrían haber afectado la definición de casos y algunas variables analizadas, por lo que se requieren estudios de validación futuros.

AGRADECIMIENTOS

A SERNAPESCA por el acceso a la base de datos oficial y la discusión de los resultados. RA-H agradece el financiamiento de ANID (Chile) mediante los proyectos FONDECYT N° 1230068 y ANID INCAR² CIA250009.

*CORRESPONDENCE AUTHORS

Rubén Avendaño-Herrera
Laboratorio de Organismos Acuáticos y Biotecnología Acuícola,
Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile., Quillota 980, 2531015,
Viña del Mar, Chile; Tel.: +56 9 68989187;
E-mail: ravendano@unab.cl – reavendano@yahoo.com

Fernando O. Mardones
Division of Global Agriculture and Food Systems, Royal (Dick),
School of Veterinary Studies, The University of Edinburgh, UK;
Tel.: +44 0 7774503131; E-mail: fmardone@ed.ac.uk

REFERENCIAS

- Avendaño-Herrera et al. (2024). *Journal of Fish Diseases*, 47(9), e13965. <https://doi.org/10.1111/jfd.13965>.
- Avendaño-Herrera et al. (2022). *Transboundary and Emerging Diseases*, 69(5), e3305–e3315. <https://doi.org/10.1111/tbed.14606>.
- Avendaño-Herrera et al. (2020). *Journal of Fish Diseases*, 43, 1077–1085. <https://doi.org/10.1111/jfd.13213>.
- Avendaño-Herrera et al. (2016). *Transboundary and Emerging Diseases*, 63(2), 121–126. <https://doi.org/10.1111/tbed.12464>.
- Avendaño-Herrera et al. (2006a). *Diseases of Aquatic Organisms*, 71, 255–266. <https://doi.org/10.3354/dao071255>.
- Avendaño-Herrera et al. (2006b). *Environmental Microbiology*, 8, <https://doi.org/921-928>. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00981.x>.
- Bridel et al. (2018). *Genome Biology and Evolution* 10: 452–457. <https://doi.org/10.1093/gbe/evy020>.
- Diethelm-Varela et al. (2025). *Journal of Fish Diseases*, 9, e70097. <https://doi.org/10.1111/jfd.70097>.
- Gaete-Carrasco et al. (2019). *Revue Scientifique et Technique Office International des Épidémiologies*, 38(3), 837–849. <https://doi.org/10.20506/rst.issue.38.3.3015>.
- Gonçalves et al. (2020). *Scientific Reports*, 10(1), 2895. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59747-0>.
- Oelckers et al. (2015). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(2), 380–387. <http://dx.doi.org/10.3856/vol43-issue2-fulltext-15>.
- Olsen et al. (2019). *Diseases of Aquatic Organisms* 94, 189–199. <https://doi.org/10.3354/dao02324>.
- SERNAPESCA (2020). http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/informe_sanitario_salmonicultura_en_centros_marinos_2020_v2.pdf.
- SUBPESCA (2001). <https://www.subpesca.cl/portal/normativa/Regulaciones-de-acuicultura/Reglamentos-de-acuicultura/83903:D-S-N-319-de-2001-Reglamento-de-Medidas-de-Proteccion-Control-y-Eradicacion-de-Enfermedades-de-Alto-Riesgo-para-las-Especies-Hidrobiologicas-Ultima-Modificacion-D-S-N-45-2021>
- Suzuki et al. (2001). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 51, no. 5: 1639–1652. <https://doi.org/10.1099/00207713-51-5-1639>.



AquaBC

**MICROSCOPIA, SOLUCIONES
INTEGRALES EN MONITOREO
AMBIENTAL Y FLORACIONES
ALGALES NOCIVAS.**



**DONDE EL SERVICIO
Y LA EXPERIENCIA SE
ENCUENTRAN.**

**www.aquabc.cl
team@aquabc.cl**

Floraciones de dinoflagelados tóxicos moduladas por anomalías térmicas extremas en los fiordos de la Patagonia noroccidental



Patricio A. Díaz^{1,2*}, Cecile Pujol³, Iván Pérez-Santos^{1,4}, Gonzalo Álvarez^{5,6}, Michael Araya⁶, Daniel Varela¹, Rosa I. Figueroa⁷, Camilo Rodríguez-Villegas¹, Carlos Lara⁸, Valentina Iturra¹, Felipe Tucca⁹, Camila Barria¹⁰, David Cassis¹¹, Beatriz Reguera⁷

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

² Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuicola - Investigación Aplicada (INCAR2), Universidad de Concepción, Concepción, Chile

³ GeoHydrodynamics and Environment Research, University of Liège, Liège, Belgium

⁴ Centro de investigación oceanográfica COPAS COASTAL, Universidad de Concepción, Chile

⁵ Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

⁶ Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Algas (CIDTA), Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile

⁷ Centro Oceanográfico de Vigo (IEO-CSIC), Subida a Radio Faro 50, 36390 Vigo, Spain

⁸ Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile

⁹ Emic Ambiental, Llanquihue, Chile

¹⁰ Instituto Tecnológico de la Mitilicultura (INTEMIT), Castro, Chile

¹¹ AquaBC Chile Spa, Puerto Varas, Chile

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

El sistema de fiordos y canales Patagónicos es reconocido mundialmente como una de las principales regiones afectadas por eventos de floraciones algales nocivas (FAN), particularmente aquellos que involucran especies de microalgas tales como *Alexandrium catenella*, *Dinophysis acuta* y *Protoceratium reticulatum* (Barría et al., 2022; Díaz et al., 2019; Díaz and Figueroa, 2023). Floraciones de estas especies de dinoflagelados han afectado las actividades costeras de la Patagonia noroccidental durante los últimos 30 años, particularmente la acuicultura de moluscos, las pesquerías bentónicas y la salud pública (Alves de Souza et al., 2014; Díaz et al., 2024; Lembeye et al., 1993). Estas floraciones, que pueden verse exacerbadas por el cambio climático, la eutrofización y la intensificación de la acuicultura, generan desafíos críticos para la seguridad alimentaria, la biodiversidad y la sostenibilidad de la acuicultura, particularmente en sistemas de fiordos estratificados como los de la Patagonia chilena. Evidencia científica reciente subraya la necesidad de comprender las FAN a escala regional, considerando los rasgos específicos de cada especie y las interacciones físico-biológicas a microescala que modulan su dinámica espacial y temporal.

La relación entre el cambio climático y la intensificación de las FAN ha sido motivo de intenso debate en el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y destacado como un tema prioritario en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (UN DESA, 2023). A pesar de la falta de evidencia clara de un aumento global en la frecuencia de las FAN, existe una sólida evidencia regional de eventos intensificados y más extendidos geográficamente, especialmente en relación con especies

productoras de biotoxinas marinas (Hallegraeff et al., 2021). En el sistema de fiordos patagónicos, estas floraciones se han asociado con anomalías climáticas de gran escala, como las fases positivas de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y del Modo Anular del Sur (SAM) (Díaz and Figueroa, 2023). Sin embargo, su asociación con condiciones oceanográficas anómalas de gran escala ha sido poco estudiada.

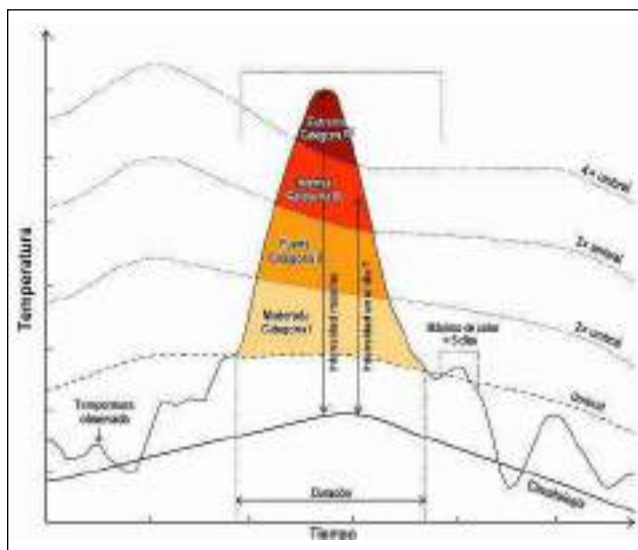


Figura 1: Esquema conceptual de una ola de calor marina (MHW), mostrando su duración, intensidad y clasificación en categorías según la magnitud con que la temperatura observada supera el umbral climatológico.

Las anomalías hidroclimáticas, que corresponden a desviaciones persistentes o extremas de las condiciones ambientales (precipitaciones, caudales de ríos, salinidad, temperatura del aire y del océano, entre otras) respecto a sus valores habituales (media histórica o climatológica), han sido sugeridas como uno de los principales moduladores o promotores de FAN en el sistema de fiordos y canales de la Patagonia (Díaz et al., 2021; Díaz et al., 2023; León-Muñoz et al., 2018; Mardones et al., 2023). Dentro de estos eventos, las olas de calor marinas (MHW por sus siglas en inglés) representan períodos prolongados en los que la temperatura superficial del mar se mantiene excepcionalmente elevada en comparación con su climatología local. Las MHW son eventos de aguas anormalmente cálidas observados en todos los océanos, con una duración de al menos 5 días hasta varias semanas y, ocasionalmente, meses (Hobday et al., 2016). Las MHW se caracterizan habitualmente mediante varias métricas: frecuencia (evento/año), intensidad media y máxima (°C) y duración (días). Además, las MHW se clasifican en categorías según su intensidad: un evento de Categoría I (moderado) presenta una intensidad entre

1 y 2 veces la diferencia entre el umbral y la climatología; la Categoría II (fuerte) corresponde a 2 a 3 veces dicha diferencia; la Categoría III (intensa), a 3 a 4 veces; y la Categoría IV (extrema), a 4 veces o más (Fig. 1) (Hobday et al., 2018). Su frecuencia e intensidad han aumentado durante las últimas décadas en relación con el calentamiento global (Capotondi et al., 2024; Frölicher et al., 2018). Las MHW alteran las condiciones ambientales al aumentar directamente la temperatura y reforzar la estratificación, provocando con ello graves impactos en los ecosistemas marinos (Oliver et al., 2018). Estos impactos incluyen eventos de mortalidad masiva, pérdida de hábitat tras la desaparición de especies clave como los bosques de kelp y los arrecifes de coral, cambios en la distribución de las especies, mayor ocurrencia e intensidad de FAN generando repercusiones económicas para las industrias pesquera y acuícola (Smith et al., 2023).

Al modificar las condiciones ambientales, las MHW también pueden generar condiciones favorables para el inicio y el desarrollo de las FAN, que proliferan en aguas cálidas y estratificadas (Gobler, 2020;

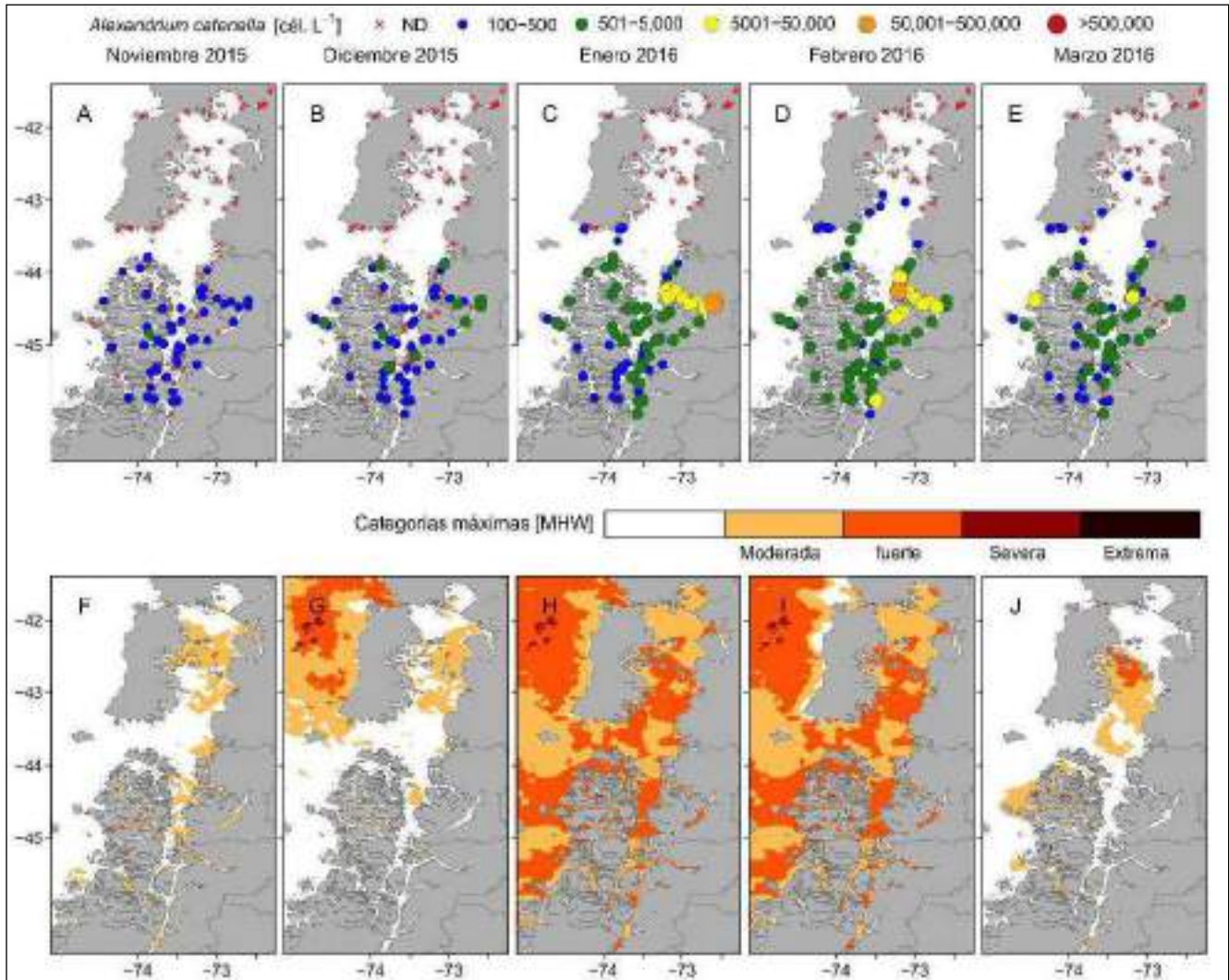


Figura 2: Distribución espacial de *Alexandrium catenella* (A-E) y categorías máximas de olas de calor marinas (MHW; F-J) entre noviembre de 2015 y marzo de 2016 en la Patagonia noroccidental.

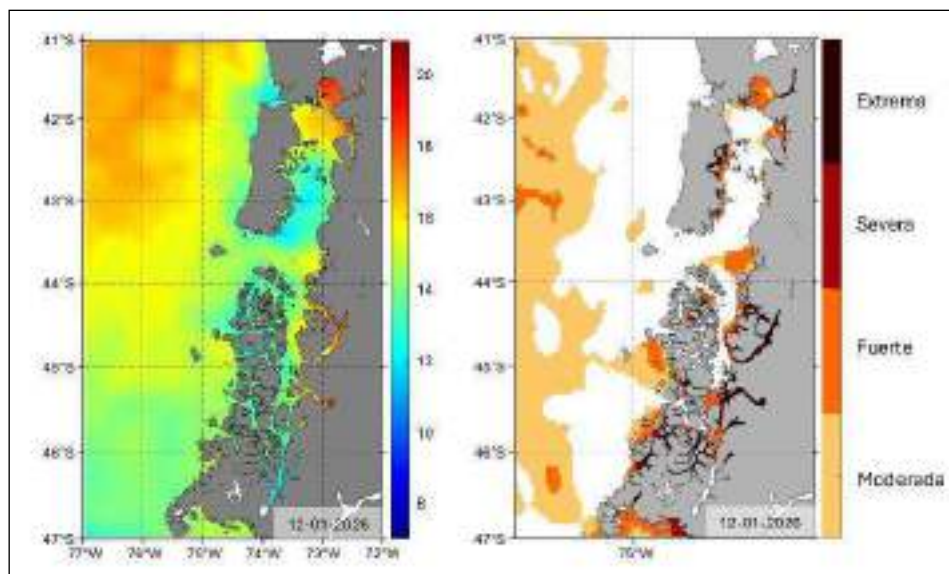


Figura 3: Distribución espacial de la temperatura superficial del mar (izquierda) y categorías de olas de calor marinas (derecha) en la Patagonia noroccidental para el 12 de enero de 2026.

Trainer et al., 2020). La coocurrencia de MHW y FAN se ha registrado en diferentes regiones del mundo (Kuroda et al., 2021; Lim et al., 2021; McCabe et al., 2016), pero escasamente en Chile, aunque tanto las FAN como las MHW han sido reportadas frecuentemente de manera independiente (Garreaud, 2018; León-Muñoz et al., 2018; Pujol et al., 2022; Pujol et al., 2025). Estos eventos de FAN han tenido consecuencias devastadoras, incluida la mortalidad de ~25 millones de salmones de cultivo, que representaron una biomasa total de 40.000 toneladas y una pérdida económica estimada de 800 millones de US\$ (León-Muñoz et al., 2018; Mardones et al., 2021).

La relación entre las FAN y las anomalías de la temperatura del mar, particularmente su asociación con las MHW, ha sido escasamente estudiada en la Patagonia noroccidental, aunque esta región sustenta una importante industria acuícola de peces (especialmente salmónidos) y moluscos (mejillones), particularmente sensibles a los eventos de FAN (Díaz et al., 2019; Díaz and Figueroa, 2023). Un estudio reciente demostró que las anomalías térmicas positivas y las MHW generan condiciones favorables para el inicio y la intensificación de las floraciones de *Alexandrium catenella* en la Patagonia noroccidental, aunque el forzamiento térmico por sí solo no siempre es

suficiente para desencadenar el desarrollo de una floración (Pujol et al., 2026).

El año 2016 fue excepcional en términos hidroclimáticos, ya que combinó la mayor frecuencia de MHW, con un promedio de 4,5 eventos y máximos cercanos a 6 eventos en Los Lagos y 3,5 en Aysén, la mayor duración (promedio de 29 días en la Patagonia noroccidental) y la mayor exposición acumulada, con un promedio de 35 días en la Patagonia noroccidental. Se observó una marcada disparidad regional, con 60 días en Los Lagos y 15 días en Aysén. Este evento fue modulado por patrones climáticos

de gran escala, como fue la coocurrencia de las fases positivas del ENOS (El Niño Oscilación de Sur) y el SAM (Modo Anular del Sur) (Garreaud, 2018). Estas condiciones, favorecieron al desarrollo de una intensa floración de *A. catenella* que abarcó gran parte del sistema de fiordos y canales de la región de Aysén y la costa oceánica de la región de Los Lagos (Fig. 2). Así, la presencia temprana *A. catenella* fue registrada en noviembre de 2015 únicamente en la región de Aysén (< 500 células L⁻¹), seguida de un aumento progresivo durante el verano, alcanzando en enero valores entre 500 y 5.000 células L⁻¹ en el norte del archipiélago de los Chonos, el canal Moraleda y el fiordo Puyuhuapi. En el canal Jacaf se registraron

densidades celulares más altas, entre 5×10³ y 50×10³ células L⁻¹, mientras que en la cabecera del fiordo Puyuhuapi se alcanzaron valores máximos entre 50×10³ y 500×10³ células L⁻¹. En febrero, la floración se extendió hacia el norte, alcanzando las costas meridionales de la isla de Chiloé, con un máximo a comienzos de marzo antes de disminuir progresivamente. Hacia marzo, las densidades celulares habían disminuido, quedando por debajo de 5.000 células L⁻¹ en casi toda el área (Fig. 2A-E). Esta floración estuvo asociada con anomalías térmicas positivas generalizadas y sostenidas, que en enero superaron +1 °C en toda el área. Se registraron anomalías superiores a +1,5 °C

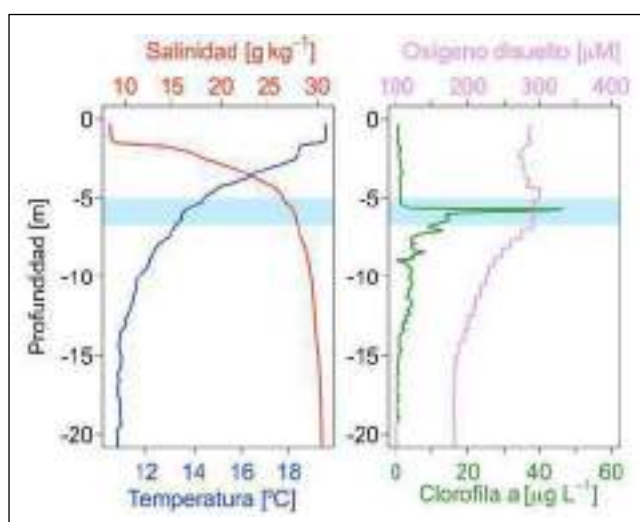


Figura 4: Perfiles verticales de temperatura y salinidad (izquierda) y de clorofila a y oxígeno disuelto (derecha), registrado en la cabecera del fiordo Puyuhuapi (región de Aysén) el 29 de enero de 2026. El polígono celeste (5-6.75) señala la profundidad donde se colectaron muestras en alta resolución con el MAR (Aravena et al., 2025).

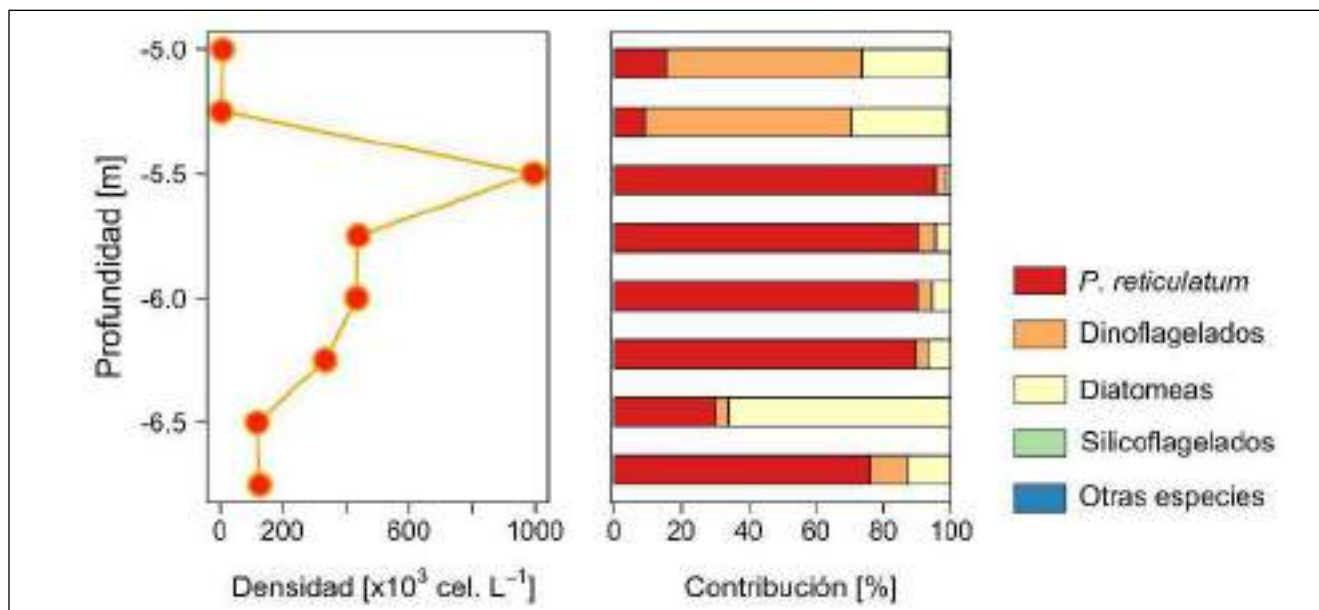


Figura 5: Distribución vertical de la densidad de *Protoceratium reticulatum* (izquierda) y contribución relativa de los principales grupos fitoplanctónicos (derecha) entre 5 y 6.75 m de profundidad registrado en la cabecera del fiordo Puyuhuapi (región de Aysén) el 29 de enero de 2026.

alrededor de las islas Desertores, el Seno de Reloncaví, los canales del archipiélago de Los Chonos, Moraleda y Jacaf, y los fiordos Comau, Puyuhuapi y Aysén. Estas condiciones estuvieron vinculadas a una MHW persistente que comenzó en noviembre de 2015 alrededor de las islas Desertores, el archipiélago de los Chonos, el canal Moraleda y los fiordos Puyuhuapi y Aysén. La MHW se intensificó en enero de 2016 alrededor de las islas Desertores y en el archipiélago de los Chonos (Categoría II), expandiéndose hasta cubrir por completo el área de estudio desde mediados de enero hasta febrero (durante la fase de floración), con una cobertura del 95% de la Patagonia noroccidental (Fig. 2F-J).

Las anomalías térmicas positivas y su influencia sobre el desarrollo de FAN no necesariamente ocurren bajo la fase positiva del ENOS. Así, floraciones algales de gran intensidad se han registrado en la Patagonia Noroccidental asociadas principalmente a fases positivas del SAM, como son los eventos de *Dinophysis acuta* en verano de 2018 (Díaz et al., 2021) y *Heterosigma akashiwo* a inicios de otoño de 2021 (Díaz et al., 2023; Mardones et al., 2023). Uno de los casos más recientes corresponde a una intensa floración del dinoflagelado *Protoceratium reticulatum* en la región de Aysén durante verano de 2026, el cual se generó bajo una fase negativa del ENOS (La Niña) y una fase positiva del SAM, en un contexto de marcado calentamiento superficial del mar y una MHW que alcanzó intensidades de moderadas a extremas, particularmente en sectores costeros, fiordos y canales interiores, entre ellos el fiordo Puyuhuapi (Fig. 3). En la cabecera de este fiordo la columna de agua presentó una marcada estratificación termo-halina, con aguas superficiales más cálidas y menos salinas (Fig. 4). Además, un máximo subsuperficial de clorofila a cercano a los 6 m de profundidad, coincidente con elevados niveles de oxígeno disuelto, evidenció la presencia de una capa fina (CF) de fitoplancton en una capa bien definida de la columna de agua (Fig. 4). La máxima densidad

fitoplanctónica se concentró alrededor de los 5,5 m de profundidad, alcanzando cerca de 1000×10^3 células L^{-1} (Fig. 5). En esta capa, *Protoceratium reticulatum*, dinoflagelado productor de yesotoxinas, dominó ampliamente la comunidad fitoplanctónica, con una contribución cercana al 90 %, confirmando que el máximo subsuperficial de biomasa estuvo asociado principalmente al desarrollo de esta especie. Esta elevada densidad celular corresponde a la densidad máxima registrada para esta especie a nivel nacional, superando en más del doble la densidad celular registrada en el mismo fiordo durante el evento de otoño de 2022 (407×10^3 células L^{-1}), donde se registró el primer cierre sanitario por YTX en Chile (Díaz et al., 2024).

Estas densidades excepcionalmente altas plantean diversas interrogantes: ¿Está incrementando la severidad de los eventos o hemos cambiado la forma de registrarlas? ¿Son *Protoceratium reticulatum* y *Alexandrium catenella*, dos especies que se están viendo beneficiadas por el cambio climático? ¿Son las anomalías térmicas extremas los principales forzantes implicados en el desarrollo de FAN de estas y otras especies? ¿Es posible contar con modelos predictivos confiables en tiempo y espacio para determinadas especies? 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”. Gobler et al. (2017) por su parte, destacó que períodos prolongados de temperaturas elevadas pueden favorecer ciertos taxones de FAN y aumentar su ventaja competitiva frente a especies no nocivas. En cualquier caso, para buscar respuestas a las diferentes interrogantes en torno a los eventos FAN y otros procesos que ocurren en el océano es clave estudiarlos y entenderlos en sus diferentes escalas

espaciales y temporales como lo siguió Henry Stommel hace más de 6 décadas (Stommel, 1963), sin dejar de lado la complejidad de interacciones físico-biológicas a pequeña escala, muchas de las cuales aún estamos lejos de comprender.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue financiado por el proyecto FONDECYT 1262020 "A microscale approach to explore the role of species traits and interactions during superimposed lipophilic toxin events in a Patagonian fjord" y por el Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuicola - Investigación Aplicada (INCAR², CIA250009), ambos de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID).

REFERENCIAS

- Alves de Souza, C., Varela, D., Contreras, C., de la Iglesia, P., Fernández, P., Hipp, B., Hernández, C., Riobó, P., Reguera, B., Franco, J.M., Diogene, J., García, C., Lagos, N., 2014. Seasonal variability of *Dinophysis* spp. and *Protoceratium reticulatum* associated to lipophilic shellfish toxins in a strongly stratified Chilean fjord. *Deep Sea Res.* 111, 152-162.
- Aravena, Á., Díaz, P.A., Cantarero, B., Rantul, R., Altamirano, R., Miranda, C., Pérez-Santos, I., Álvarez, G., Araya, M., Reguera, B., 2025. High-vertical resolution sampling reveals sharp thin layers of toxic phytoplankton in the Patagonian fjords, Southern Chile. *Harmful Algae News* 79, 16-18.
- Barría, C., Vasquez-Calderon, P., Lizama, C., Herrera, P., Canto, A., Conejeros, P., Beltrami, O., Suarez-Isla, B., Carrasco, D., Rubilar, I., Guzman, L., Duran, L.R., Oliva, D., 2022. Spatial temporal expansion of harmful algal blooms in Chile: A review. *Journal of Marine Science and Engineering* 10, 1868.
- Capotondi, A., Rodrigues, R.R., Gupta, A.S., Benthuisen, J.A., Deser, C., Frölicher, T.L., Lovenduski, N.S., Amaya, D.J., Le Grix, N., Xu, T., Hermes, J., Holbrook, N.J., Martinez-, Villalobos, C., Masina, S., Roxy, M.K., Schaeffer, A., Schlegel, R.W., Smith, K.E., Wang, C., 2024. A global overview of marine heatwaves in a changing climate. *Communications Earth & Environment* 5, 701.
- 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., Araya, M., Cantarero, B., Miranda, C., Varela, D., Figueroa, R.I., Basti, L., Carbonell, P., Araverana, Á., Pérez-Santos, I., Nieves, M.G., Álvarez, G., 2024. Are yessotoxins an emerging problem in Chile? Context and perspectives following the first report of YTX levels exceeding the regulatory limit in the Patagonian fjord system. *Environ. Pollut.* 361, 124844.
- 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.
- Frölicher, T.L., Fisher, E.M., Gruber, N., 2018. Marine heatwaves under global warming. *Nature* 560, 360-364.
- Garreaud, R., 2018. Record-breaking climate anomalies lead to severe drought and environmental disruption in western Patagonia in 2016. *Climate Research* 74, 217-229.
- Gobler, C.J., Doherty, O.M., Hattenrath-Lehmann, T.K., Griffith, A.W., Kang, Y., Litaker, R.W., 2017. Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 114, 4975-4980.
- Gobler, J.C., 2020. Climate change and harmful algal blooms: Insights and perspective. *Harmful Algae* 91, 101731.
- Hallegraeff, G., 2010. Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: A formidable predictive challenge. *J. Phycol.* 46, 220-235.
- Hallegraeff, G., Enevoldsen, H., Zingone, A., 2021. Global harmful algal bloom status reporting. *Harmful Algae* 102, 101992.
- Hobday, A., Oliver, E., Sen Gupta, A., Benthuisen, J., Burrows, M., Donat, M., Holbrook, N.J., Moore, P.J., Thomsen, M.S., Wernberg, T., Smale, D.A., 2018. Categorizing and naming marine heatwaves. *Oceanography* 31, 162-173.

- Hobday, A.J., Alexander, L.V., Perkins, S.E., Smale, D.A., Straub, S.C., Oliver, E.C.J., Benthuyzen, J.A., Burrows, M.T., Donat, M.G., Feng, M., Holbrook, N.J., Moore, P.J., Scannell, H.A., Gupta, A.S., Wernberg, T., 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Prog. Oceanogr.* 141, 227-238.
- Kuroda, H., Azumaya, T., Setou, T., Hasegawa, N., 2021. Unprecedented outbreak of harmful algae in Pacific coastal waters off Southeast Hokkaido, Japan, during late summer 2021 after record-breaking marine heatwaves. *Journal of Marine Science and Engineering* 9, 1335.
- Lembeye, G., Yasumoto, T., Zhao, J., Fernández, R., 1993. DSP outbreak in Chilean fjords, in: Smayda, T.J., Shimizu, Y. (Eds.), *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, Elsevier, Amsterdam, pp. 525-529.
- 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.
- Lim, Y.K., Park, B.S., Kim, J.H., Baek, S.-S., Baek, S.H., 2021. Effect of marine heatwaves on bloom formation of the harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*: Two sides of the same coin? *Harmful Algae* 104, 102029.
- Mardones, J.I., Paredes, J., Godoy, M., Suarez, R., Norambuena, L., Vargas, V., Fuenzalida, G., Pinilla, E., Artal, O., Rojas, X., Dorantes-Aranda, J.J., Lee Chang, K.L., Anderson, D.M., Hallegraeff, 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., Gonzáles, 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.
- McCabe, R.M., Hickey, B.M., Kudela, R.M., Lefebvre, K.A., Adams, N.G., Bill, B.D., Gulland, F.M.D., Thomson, R.E., Cochlan, W.P., Trainer, V.L., 2016. An unprecedented coastwide toxic algal bloom linked to anomalous ocean conditions. *Geophys. Res. Lett.* 43, 10.366-310.376.
- Oliver, E.C.J., Donat, M.G., Burrows, M.T., Moore, P.J., Smale, D.A., Alexander, L.V., Benthuyzen, J.A., Feng, M., Sen Gupta, A.S., Hobday, A.J., Holbrook, N.J., Perkins-Kirkpatrick, S.E., Scannell, H.A., Straub, S.C., Wernberg, T., 2018. Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications* 9, 1324.
- Pujol, C., Díaz, P.A., Mancilla-Gutiérrez, G., Tucca, F., Barth, A., Azcarate, A.A., 2026. *Alexandrium catenella* blooms driven by extreme thermal anomalies in a fjord system. *Water Biology and Security*.
- Pujol, C., Pérez-Santos, I., Barth, A., Alvera-Azcárate, A., 2022. Marine heatwaves offshore central and south Chile: Understanding forcing mechanisms during the years 2016-2017. *Front. Mar. Sci.* 9, 800325.
- Pujol, C., Pérez-Santos, I., Barth, A., Díaz, P., Mancilla-Gutiérrez, G., Linford, P., Alvera-Azcárate, A., 2025. Extreme temperature events in the semi-enclosed inner sea of Northern Chilean Patagonia, in: Pérez-Santos, I., de Barros, D., Rojas, X., Tucca, F., Saldías, G., Sobarzo, M., Valle-Levinson, A., Franca, C.A. (Eds.), *Latin American Physics of Estuaries and Coastal Oceans - LAPECO 2025*, Puerto Varas, Chile.
- Smith, K.E., Burrows, M.T., Hobday, A.J., King, N.G., Moore, P.J., Gupta, A.S., Thomsen, M.S., Wernberg, T., Smale, D.A., 2023. Biological impacts of marine heatwaves. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 15, 119-145.
- Stommel, H., 1963. Varieties of Oceanographic Experience: The ocean can be investigated as a hydrodynamical phenomenon as well as explored geographically. *Science* 139, 572-576.
- Trainer, V.L., Moore, S.K., Hallegraeff, G., Kudela, R.M., Clement, A., Mardones, J.I., Cochlan, W.P., 2020. Pelagic harmful algal blooms and climate change: Lessons from nature's experiments with extremes. *Harmful Algae* 91, 101591.
- 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/>.



SALMON MAGALLANICO NAVEGANDO HACIA LA SOSTENIBILIDAD

En el último tiempo la industria salmoneira 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 salmoneira 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.



SEMANA DEL SALMÓN

TERMINA CON EL CANCATO MÁS GRANDE DEL MUNDO



Una fila de más de cien metros esperaba probar un trozo del cancato de salmón más grande del mundo. Familias completas recorrieron la Plaza de Armas, los restaurantes estuvieron llenos y la música en vivo marcó el cierre de la tercera Semana del Salmón, que durante seis días reunió a más de 25 mil personas en Puerto Montt.

Impulsada por SalmonChile junto a la Municipalidad de Puerto Montt, la Universidad Santo Tomás, Proyecto Dalcas y diversos actores locales, la iniciativa reunió a

51 restaurantes y una amplia programación gastronómica y familiar, consolidándose como uno de los principales encuentros ciudadanos del invierno en el sur de Chile.

Más que una fiesta, la Semana del Salmón refleja cómo esta actividad productiva también forma parte de la identidad del territorio, reuniendo en torno a la gastronomía, la cultura y el orgullo por uno de los productos más emblemáticos del sur de Chile.



El ministro Daniel Mas participó junto a chefs en uno de los cooking show de la Semana del Salmón.



Más de 50 restaurantes prepararon el cancato de salmón más grande del mundo.



Más de 25 mil asistentes disfrutaron de la Semana del Salmón.

40 AÑOS
SalmonChile



Una iniciativa impulsada por las empresas socias de SalmonChile y la Municipalidad de Puerto Montt.

Piscirickettsiosis en Chile: cambios recientes en la epidemiología de *Piscirickettsia salmonis* y nuevos desafíos para su control

Joel Quidel

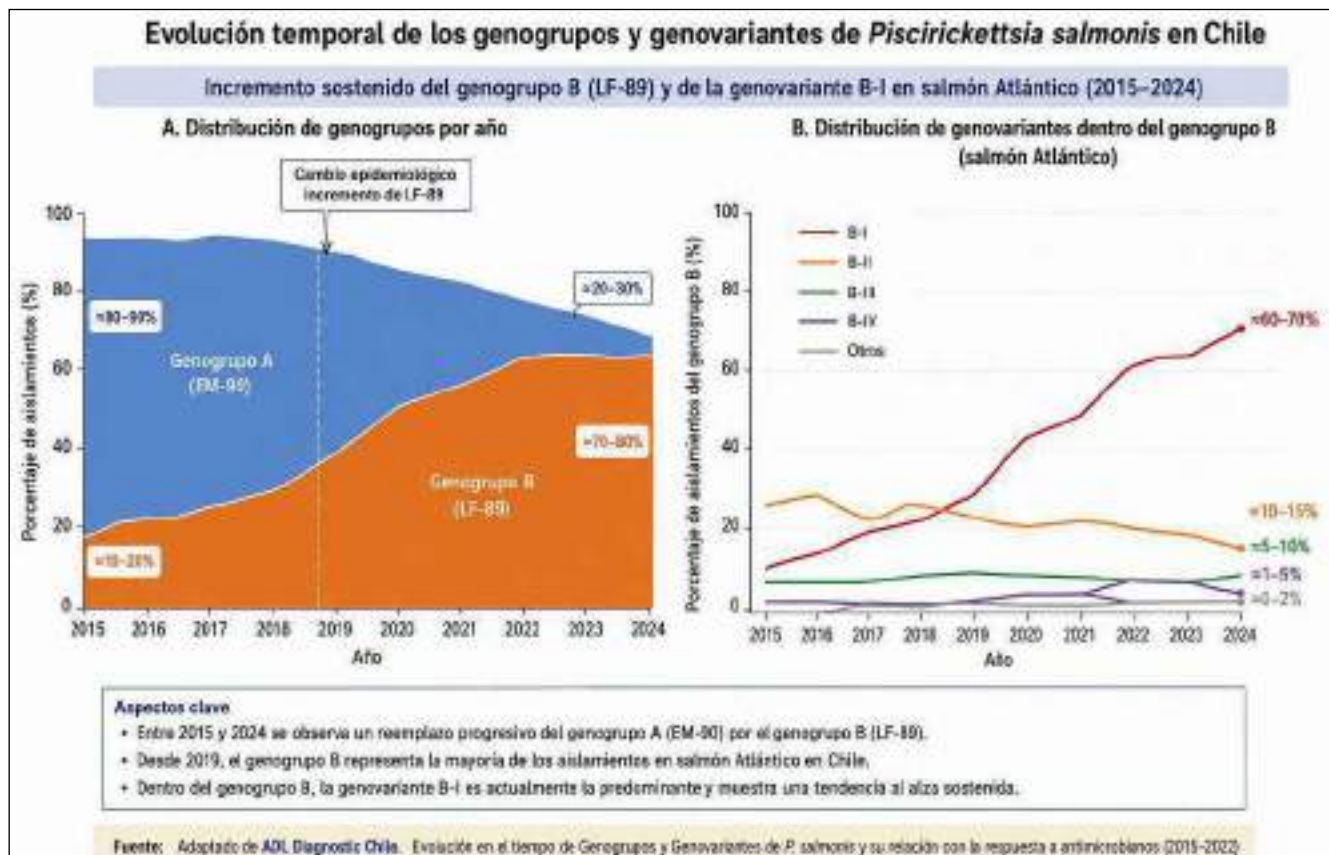
Dipl. Epidemiología Veterinaria, Consultor Especialista en Salud de Peces, Médico Veterinario

RESUMEN

La piscirickettsiosis o Síndrome Rickettsial del Salmón (SRS) continúa siendo la principal enfermedad infecciosa de la salmonicultura chilena. Durante los últimos años se han registrado cambios epidemiológicos relevantes, destacando el predominio del genogrupo LF-89 de *Piscirickettsia salmonis*, el aumento de aislados con susceptibilidad reducida a florfenicol, las dificultades para el aislamiento bacteriano y una menor concordancia entre las vacunas comerciales y los genogrupos predominantes en terreno. Estos cambios han complejizado el control de la enfermedad y han contribuido al incremento del uso de antimicrobianos y de las pérdidas productivas asociadas al SRS.

UN PATÓGENO EN EVOLUCIÓN

Por más de tres décadas, la piscirickettsiosis ha sido el principal desafío sanitario de la salmonicultura chilena. Sin embargo, la epidemiología actual de la enfermedad difiere significativamente de la observada hace algunos años. Información proveniente de laboratorios diagnósticos y programas de vigilancia ha evidenciado un cambio progresivo en la estructura poblacional de *P. salmonis*, caracterizado por el predominio del genogrupo LF-89 sobre EM-90, históricamente predominante (Nourdin-Galindo et al., 2017; ADL Diagnostic Chile, 2023). Este cambio posee importantes implicancias sanitarias debido a las diferencias descritas entre genogrupos en virulencia, diversidad genética y susceptibilidad antimicrobiana (Bohle et al., 2014; Rozas & Enríquez, 2014).





MENOR SUSCEPTIBILIDAD A FLORFENICOL Y DEPENDENCIA TERAPÉUTICA

La vigilancia nacional desarrollada por IFOP ha mostrado un aumento progresivo de aislados con susceptibilidad disminuida a florfenicol y una mayor frecuencia de aislados no silvestres, particularmente asociados al genogrupo LF-89 (IFOP, 2025). Estudios farmacocinéticos y farmacodinámicos realizados por la Universidad de Chile han demostrado que la dosis históricamente registrada de 10 mg/kg podría resultar insuficiente frente a aislados con CMI elevadas, obligando a los equipos veterinarios a incrementar progresivamente las dosis terapéuticas utilizadas en terreno (Universidad de Chile, 2018).

La dependencia práctica de un solo antibiótico representa hoy uno de los mayores riesgos para el control del SRS. Aunque existen otros antimicrobianos autorizados, en la práctica el florfenicol concentra la gran mayoría de los tratamientos realizados en agua de mar. Cualquier pérdida progresiva de eficacia reduce las alternativas terapéuticas disponibles, aumenta el riesgo de tratamientos fallidos y favorece la repetición o intensificación de las intervenciones terapéuticas. Este fenómeno contribuye a explicar, junto con la persistencia del SRS, la tendencia observada en el uso de antimicrobianos en la salmonicultura nacional reportada por SERNAPESCA (SERNAPESCA, 2025a). Asimismo, la información sanitaria oficial confirma que la piscirickettsiosis continúa siendo uno de los principales desafíos sanitarios de la industria (SERNAPESCA, 2025b).

LAS DIFICULTADES DEL DIAGNÓSTICO

Los programas de vigilancia de IFOP han reportado una disminución en el éxito del aislamiento bacteriano desde peces clínicamente afectados, obligando incluso a complementar la vigilancia con cepas provenientes de laboratorios privados (IFOP, 2025). Las causas exactas aún no se encuentran completamente esclarecidas, pero este fenómeno limita la disponibilidad de aislados para estudios de susceptibilidad, caracterización genética y desarrollo de nuevas herramientas preventivas.

VACUNAS DESARROLLADAS PARA UN ESCENARIO EPIDEMIOLÓGICO DIFERENTE

Prácticamente el 100% de las vacunas comerciales utilizadas en salmón Atlántico han sido desarrolladas utilizando cepas pertenecientes al grupo EM-90, mientras que actualmente el genogrupo predominante en terreno corresponde a LF-89 (ADL Diagnostic Chile, 2023). Diversos estudios han demostrado que los genogrupos LF-89 y EM-90 presentan diferencias relevantes en virulencia e infectividad (Bohle et al., 2014; Nourdin-Galindo et al., 2017), sugiriendo que la heterogeneidad genética del patógeno podría influir en la respuesta inmunológica inducida por las vacunas. Estudios recientes demostraron que estrategias vacunales que incorporan ambos genogrupos mejoran significativamente la protección frente a LF-89 en comparación con vacunas basadas exclusivamente en EM-90 (Rozas-Serri et al., 2024). Estos antecedentes presionan hacia el desarrollo de formulaciones que incorporen variantes genéticas representativas de las cepas actualmente circulantes.

Protección relativa de diferentes estrategias vacunales frente a los genogrupos EM-90 y LF-89 de *Piscirickettsia salmonis*



Las estrategias basadas únicamente en antígeno EM-90 ofrecen protección parcial frente a LF-89. La inclusión de ambos genogrupos o la repetición vacunal mejora significativamente la protección.



RPS: Relative Percent Survival = $100 \times (1 - \% \text{ mortalidad grupo vacunado} / \% \text{ mortalidad grupo control})$.
Ensayo de desafío: infección intraperitoneal en post-smolts de salmón Atlántico.
Evaluación a 1455 grados/día post-refuerzo.



Estudio: Rozas-Seri et al. (2024)
Fish & Shellfish Immunology, 154, 109893.



CONCLUSIÓN PRINCIPAL: Las vacunas basadas únicamente en EM-90 confieren protección parcial frente a LF-89, mientras que la inclusión de ambos genogrupos en la formulación o la repetición con el mismo antígeno (LVac®) mejora significativamente la protección frente a LF-89.

Cambio epidemiológico reciente de *Piscirickettsia salmonis* y sus implicancias sanitarias en Chile

De un escenario dominado por EM-90 a un escenario dominado por LF-89: nuevos desafíos para el control del SRS



CONSECUENCIAS EN PRODUCCIÓN



↑ **Uso de antibióticos:**
Mayor frecuencia y dosis terapéutica para controlar brotes de SRS.



↑ **Mortalidad:**
Brotes más intensos y prolongados, especialmente en salmón Atlántico.



↑ **Pérdidas productivas y económicas:**
Impacto en bienestar animal, rendimiento y sostenibilidad de la industria.



Mensaje clave: El SRS en Chile ha cambiado. El predominio de LF-89 y su mayor diversidad genética, junto con la disminución de la susceptibilidad a antimicrobianos y la protección vacunal parcial, explican el aumento del uso de antibióticos y de las pérdidas productivas.

UN ESCENARIO EPIDEMIOLÓGICO DIFERENTE AL DEL HEMISFERIO NORTE

Las condiciones oceanográficas predominantes en el sur de Chile generan un escenario altamente favorable para la persistencia y transmisión de *P. salmonis* (Rozas & Enríquez, 2014). En contraste, países como Noruega no presentan circulación endémica del patógeno y, por lo tanto, no enfrentan el desafío sanitario asociado al control del SRS. Esta diferencia epidemiológica debe ser considerada al comparar indicadores internacionales de uso de antimicrobianos, ya que los perfiles sanitarios y las presiones de infección son sustancialmente diferentes (Miranda & Godoy, 2016).

CONCLUSIONES

La piscirickettsiosis en Chile está experimentando un proceso de cambio epidemiológico significativo. El predominio del genogrupo LF-89, la disminución de susceptibilidad a florfenicol, las dificultades crecientes para el aislamiento bacteriano y la necesidad de actualizar las estrategias vacunales configuran un nuevo escenario sanitario para la salmonicultura nacional. La alta dependencia del florfenicol representa un riesgo estratégico para el control futuro de la enfermedad, reforzando la necesidad de fortalecer la vigilancia epidemiológica, diversificar las herramientas de control y promover un uso cada vez más preciso y responsable de los antimicrobianos.

BIBLIOGRAFÍA

- ADL Diagnostic Chile. (2023). Evolución en el tiempo de genogrupos y genovariantes de *Piscirickettsia salmonis* y su relación con la respuesta a antimicrobianos.
- Bohle, H., Henriquez, P., Grothusen, H., Navas, E., Sandoval, A., Bustamante, F., & Mancilla, M. (2014). Comparative genome analysis of two isolates of *Piscirickettsia salmonis* reveals major differences in virulence-associated secretion systems. *Genome Announcements*, 2(5), e01219-14. <https://doi.org/10.1128/genomeA.01219-14>
- Fryer, J. L., & Hedrick, R. P. (2003). *Piscirickettsia salmonis*: A Gram-negative intracellular bacterial pathogen of fish. *Journal of Fish Diseases*, 26(5), 251-262. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2003.00460.x>
- Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). (2025). Vigilancia de la resistencia bacteriana a los antimicrobianos de uso habitual en la salmonicultura nacional. Etapa XI 2024-2025. Informe técnico.
- Miranda, C. D., & Godoy, F. A. (2016). Antibiotic use in Chilean salmon farming: Implications and perspectives.
- Nourdin-Galindo, G., et al. (2017). Comparative pan-genome analysis of *Piscirickettsia salmonis* reveals genomic divergences within genogroups. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 7, 459. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00459>
- Rozas, M., & Enríquez, R. (2014). Piscirickettsiosis and *Piscirickettsia salmonis* in fish: A review. *Journal of Fish Diseases*, 37(3), 163-188. <https://doi.org/10.1111/jfd.12211>
- Rozas-Serri, M., et al. (2024). Improved protection against *Piscirickettsia salmonis* LF-89 by incorporating homologous antigens in vaccination strategies. *Fish & Shellfish Immunology*, 154, 109893.
- Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). (2025a). Informe de uso de antimicrobianos año 2025. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Chile.
- Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). (2025b). Informe de Situación Sanitaria de la Salmonicultura año 2025. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Chile.
- Universidad de Chile. (2018). Uso responsable de antimicrobianos en salmonicultura: optimización terapéutica mediante criterios PK/PD. Informe final Proyecto FIE.

Reemergencia de la furunculosis en la salmonicultura chilena: Nuevos desafíos sanitarios en agua dulce

Joel Quidel

Dipl. Epidemiología Veterinaria, Consultor Especialista en Salud de Peces, Médico Veterinario

RESUMEN

La furunculosis atípica causada por *Aeromonas salmonicida* ha sido históricamente considerada una enfermedad de importancia secundaria en la salmonicultura chilena. Sin embargo, desde 2022 se ha observado un incremento significativo de brotes, principalmente en salmón del Atlántico cultivado en agua dulce. Entre las posibles causas para explicar este fenómeno está el hallazgo de nuevas variantes bacterianas con diferencias antigénicas respecto de las cepas históricas.

UN CAMBIO EPIDEMIOLÓGICO INESPERADO

Durante décadas, la furunculosis atípica presentó una baja incidencia clínica en Chile. A partir de 2021-2022 se registró un aumento sostenido de detecciones y brotes clínicos, especialmente en pisciculturas de agua dulce (ADL Diagnostic, 2023; Mancilla et al., 2025). Los informes de Sernapesca muestran que la enfermedad pasó a formar parte recurrente del escenario sanitario en agua dulce entre 2023 y 2025.

Mancilla et al. (2025) describieron el hallazgo de cepas carentes del gen *vapA*, marcador molecular tradicionalmente utilizado para el diagnóstico de furunculosis. Estas cepas presentan diferencias antigénicas que podrían afectar la respuesta inmune inducida por las vacunas comerciales.

La experiencia de campo indica que los camiones de transporte de peces vivos podrían actuar como vectores mecánicos de diseminación debido a la persistencia del agente en biofilms o materia orgánica residual. Asimismo, en sistemas RAS, *Aeromonas salmonicida* puede persistir en biofiltros y componentes hidráulicos, constituyendo reservorios ambientales difíciles de eliminar. Una dificultad adicional de las pisciculturas RAS es el tratamiento que se le da al filtro biológico, el cual muchas veces no puede ser eliminado completamente debido al tiempo que toma en generarse un nuevo filtro competente. En estos casos las aeromonas son difíciles de erradicar del sistema de recirculación infectando los siguientes batch de peces que ingresan.

Por otro lado, el control de los brotes de la enfermedad en las pisciculturas RAS es más complicado ya que tienen la dificultad adicional de los tratamientos antibióticos orales y su impacto sobre el filtro biológico, el cual debe ser evaluado permanentemente. Se ha observado además que algunos grupos de peces positivos al agente bacteriano en la piscicultura, pero sin manifestaciones clínicas evidentes, pueden desarrollar brotes clínicos luego de la transferencia al mar. El proceso de esmoltificación, transporte y adaptación osmótica podría actuar como desencadenante de la enfermedad clínica. En numerosos casos, el control sanitario requiere tratamientos antibióticos orales durante la fase inicial en agua de mar.

Otro aspecto relevante observado en terreno es que grupos de peces vacunados con vacunas polivalentes inyectables que contienen antígenos de *A. salmonicida* pueden



Imagen 1: En las lesiones externas de los peces afectados en agua dulce no aparecen las clásicas lesiones tipo furúnculos con contenido purulento que se observan en agua de mar. Son lesiones mas pequeñas y hemorrágicas



Imagen 2: La mayoría de los signos observados en agua dulce son pequeñas heridas hemorrágicas en el belly, base de aletas pectorales y bajo el opérculo

igualmente desarrollar brotes clínicos, sugiriendo una protección subóptima frente a variantes emergentes o una elevada presión de infección. Con respecto a este último punto, se han visto buenos resultados utilizando vacunas de inmersión cuando los peces no tienen el tamaño suficiente para una vacuna inyectable y requieren ingresar a una piscicultura con riesgo de positividad al agente infeccioso.

IMPLICANCIAS PARA EL CONTROL SANITARIO

Los programas sanitarios deberían fortalecer la vigilancia molecular incorporando múltiples marcadores diagnósticos, reforzar la bioseguridad en transporte y sistemas RAS, y reevaluar las estrategias vacunales considerando la aparición de variantes antigénicamente diferentes y la ocurrencia de brotes en peces de pequeño tamaño.

Tabla 2. Principales desafíos epidemiológicos identificados

DESAFÍO	IMPLICANCIA SANITARIA
Biofiltros RAS	Persistencia y reinfección entre batches
Camiones de transporte	Diseminación entre pisciculturas
Brotes en peces <40 g	Ventana de susceptibilidad pre-vacunación
Cepas vapA-ausentes	Subdiagnóstico y diferencias antigénicas
Peces positivos trasladados al mar	Brotes clínicos post transferencia y uso de antibióticos

CONCLUSIONES

La furunculosis atípica ha dejado de ser una enfermedad de importancia secundaria en la salmonicultura chilena. La combinación de nuevas variantes bacterianas, cambios en los sistemas productivos y desafíos crecientes en bioseguridad obliga a desarrollar estrategias integradas de prevención y control.

REFERENCIAS

ADL Diagnostic Chile. (2023). Furunculosis atípica: actualización sobre el agente causal y la respuesta a antimicrobianos. Nota Técnica N°1.

Godoy, M., et al. (2010). First description of atypical furunculosis in freshwater farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Chile. *Journal of Fish Diseases*, 33(5), 441-449.



Mancilla, M., et al. (2025). Major antigenic differences in *Aeromonas salmonicida* isolates correlate with the emergence of a new strain causing furunculosis in Chilean salmon farms. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 15, 1508135.

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca). (2024). Informe de situación sanitaria de la salmonicultura año 2024.

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca). (2025). Informe de situación sanitaria de la salmonicultura año 2025.

BIENESTAR ANIMAL Y RELACIÓN CON EL CULTIVO: MARCADORES MOLECULARES Y MEDIDAS DE CONTROL Y MITIGACIÓN.



Jorge Martínez Aguayo

Se ha comenzado a trabajar intensamente mente en el bienestar animal en el cultivo de salmonídeos y en acuicultura en general; incluyendo cultivo de mitilidos, y crustaceos.

Esto implica asegurar que las especies en cultivo; los mantengan las condiciones óptimas de salud, nutrición y ambientales para minimizar el estrés.

En el caso de la producción de smolts en agua dulce; se desarrolló un estudio financiado por el fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA) mediante el proyecto FIPA 2017-29, con el objetivo de caracterizar el estado de bienestar de los peces de las especies salmonídeas cultivadas en el sur de Chile, e identificar los indicadores físicos más adecuados para evaluar el bienestar durante esta etapa (Bravo, et al.; 2026; Proyecto FIPA, 2019(.).

Tabla 1: Algunos ejemplos de cambios conductuales en respuesta a procedimientos de Acuicultura o estresores que podrían usarse como Indicadores Operacionales de bienestar animal especie específicos. Martins, C.M et al, 2012.

Nivel de bienestar	Conducta	Procedimiento de acuicultura/ estresor	Especie	Indicador Operacional de bienestar IOB animal. (1)*	Referencia
Bueno	Actividad exploratoria	Densidad de cultivo Kg/m³	Trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Disminuir densidad Uso alimentador automático	Boujard, et al.2002
	Acividad exploratoria	Método alimentación	Dorada <i>Sparus aurata</i>	Alimentación programada v/s aleatoria Aumenta actividad anticipatoria de alimentación	Sánchez, et al, 2009
Pobre	Agresión	Método alimentación	Bagre africano <i>Clarias gariepinus</i>	Alimentación manual v/s automática + peces mordidos	Almazán Rueda, et, al. 2004,
			Salmón Atlántico <i>Salmo salar</i>	Alimentación fija v/s demanda,+ respuesta agresiva	Noble et al, 2007b
			Salmón Atlántico <i>Salmo salar</i>	Ración fija v/s Demanda alimentaria Actos de agresión	Noble, et.: 2007
		Fotoperíodo e intensidad lumínica	Salmón Atlántico <i>Salmo salar</i>	Sub alimentación v/s saciedad. Aumenta Acccion agresiva	Cañón-Jones, et al.; 2010
			Bagre aficano <i>Clarias gariepinus</i>	Largos períodos de luz y + intensidad lumínica. Aumentan lesiones en la piel	Almazán- Rueda et al, 2004; 2005.
			Bagre africano. <i>Clarias Gariepinus</i>	Baja densidad < lesiones en la piel	Almazán rueda 2004; De NieuWeguser et al, 2008, 2009
Pobre			Trucha arco iris <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Alta densidad de cultivo, aumenta respuesta agresiva.	Ellis, et al. 2002
			Seabream <i>Diplodus gargus</i>	Alta densidad de cultivo, aumenta la interacción social	Karakoutsouli et al, 2007.

En el cultivo intensivo del salmón y trucha es importante considerar para evaluar y garantizar el bienestar animal la evaluación de las condiciones físicas y el estado conductual de los peces, complementando con sistemas objetivos de medición que se pueden vincular a las libertades del bienestar o de los dominios del bienestar animal. Estos son:

1. Nutrición, Dieta de alta calidad. Tasa de alimentación adecuada (SFR).
2. Ambiente. (entorno o Alojamiento): Jaula, Estanque. las condiciones ambientales: T°, oxígeno, densidad de cultivo en agua dulce y en engorda: En agua dulce; dependiendo de si es piscicultura con flujo abierto o sistema de recirculación (RAS). Alcalinidad, dureza, concentraciones de CO₂, sustancias nitrogenadas (amonio, nitrato, nitrito). En mar floraciones de algas nocivas, batimetría, correntometría, corrientes de marea, predadores.
3. Salud. Ausencia de lesiones y enfermedad. Presencia de patógenos (bacterias como *Piscirickettsia*, *Flavobacterias*), carga viral (PRV, ISAV, IPNV), presencia de parásitos (caligus).
4. Comportamiento: Posibilidad de interactuar con su entorno, expresar comportamiento natural e interacción social dentro del estanque o jaula; conducta de cardumen, letargia, agresividad, reflejo de Meithner (reacción de huida), cambios que ocurren dentro de la transformación parr-smolt.
5. Estado Mental. Efectos positivos, reducción de emociones negativas, estrés (huida de predadores (pájaros, lobos marinos (miedo)).
6. Etapa final de producción. Esta es tal vez una culminación y tal vez crítica pensando en el producto final, que es inherente a seguridad alimentaria y consumidor por el impacto en la calidad del filete (trato más "gentil" Término de un ciclo y culminación de la etapa productiva, Cosecha, sacrificio o proceso (aquí cito a la Zoóloga y zootecnista Temple Grandin). Los peces en cultivo deben tratarse de tal manera de mantener el estado de bienestar. Este trato dentro del bienestar afecta sin duda la calidad del producto final (rigor mortis) y la menor presentación de gaping, tracking en el filete.

Para cada uno de estos dominios se pueden asociar algunos indicadores físicos, indicadores operacionales de bienestar, indicadores fisiológicos e indicadores fisiológicos, y marcadores moleculares (tabla 2). Para evaluar el estado emocional y conductual de los peces se podría eventualmente emplear dopamina y serotonina como marcadores moleculares y neuroquímicos. Junto con el cortisol, la principal hormona del estrés, estos neurotransmisores operan similar como lo hacen en las especies homeotermas; regulando respuestas de ansiedad.

5 Dominios – 5 Libertades



Dopamina: Regula el comportamiento exploratorio, la locomoción, agresión y los mecanismos de recompensa. Niveles inusualmente altos o bajos de dopamina se asocian directamente con estrés crónico, evitación del espacio y respuestas tipo "depresión o letargia". Mesias, J. et al, 2016.

Serotonina: Fundamental para controlar los estados de ánimo, ansiedad y estrés. Los cambios en sus concentraciones indican como el pez evaluaría su entorno o enfrenta el estrés. (Prasad, et al., 2015).

Adicionalmente a la identificación de los indicadores operacionales físicos de bienestar animal, se puede complementar con técnicas moleculares y dimensionar el efecto de éstos con lo que ocurre sistémicamente en los peces. Sin embargo el cultivo de peces puede ser más gentil mediante el uso de herramientas no farmacológicas como es la aplicación de productos fitogénicos mediante baños previo a un manejo determinado; graduación, vacunación, transporte de smolts y cosecha bien administración oral. Millan-Ocampo et al, 2012. En el primer caso ya se vienen utilizando productos que contienen terpenos tales como; eugenol, terpineol o linalool en sus formulaciones. Otros de presentación oral contienen limoneno, apineno y/o β pineno.

Las dosis de los productos aplicados mediante baños varían entre 20 a 40 ppm previo a la realización de un manejo; pero falta investigación para establecer la dosificación de productos orales. No obstante, es promisorio el uso de estos productos para mitigar el estrés y constituyen herramientas útiles lograr un estado de bienestar adecuado permitiendo producir en cultivo con menores pérdidas imperceptibles haciendo de la acuicultura una actividad sostenible.

Tabla 2: Marcadores moleculares e indicadores fisiológicos sugeridos para evaluar bienestar en peces.

Biomarcador	Dominio asociado	Valores Referenciales	Técnica usada Determinación	Especie	Referencias
Dopamina	Estado emocional	500 - 1000 pg/ml	LC-MS/MS	Varias	
Serotonina	Estado emocional	0,5 – 2 ng/ml	LC-MS/MS	Zebra, trucha	Prasad et al.; 2015
Leptina	Nutrición	0,5 nM	RIA; ELISA	Salmónidos	
Ghrelin	Nutrición	59,11 + 0,95 pmol/L	RIA; ELISA	Salmónidos	
Cortisol	Proceso, cosecha	10 - 45ng/ml basal 200 ng/ml stress	ELISA RIA		Vendelaar Bonga, 1997
Lactato	Asociado a varios dominios	0,5 - 2 mmol/L basal 1 - 20mmol/L	Espectrofotometría colorimétrica		Prieto - Quintero, et al, 2025. Aerts, et, al. 2015
Glucosa	Asociado a varios Dominios	60 - 100 mg/dl			Bermejo, et al., 2015
Adrenalina	Asociado a varios Dominios	0,5 - 5 mmol/L		Catfish	Reid et al, 1998; Reid, S.S. Vilayan, M.M, Perry, F., 1998.
Noradrenalina	Asociado a varios dominios	(1-2): ng/ml 40.100 ng/ml			Wendelaar bonga, 1988

BIBLIOGRAFÍA

Bravo, S.; Strappini, N.; Ponce, N. 2026. Evaluación del Bienestar en la producción de smolts.Opción diferente, 40.

Copeland, Donald I., 1,2, Duff J RobertJ, QinLiu, Prokop J., Londraville I,Richard Lyle2011.. Leptin in teleost fishes: an argument for comparative study. 2011, Frontiers in Fish Physiology.

Jazlynn, Xiu Min Tan, Ryan, Jun Wen Ang and Caroline Lei Wee*. 2022. Larval Zebrafish as a Model for Mechanistic Discovery in Mental Health. Frontiers in Molecular Neuroscience.

Martins • Catarina I. M. Galhardo, Leonor • Noble, Chris, • Børge Damsga°rd • Maria T. Spedicato • Walter Zupa • Marilyn Beauchaud • Ewa Kulczykowska • Jean-Charles Massabuau • Toby Carter • Sonia Rey Planellas • Tore Kristiansen. 2012. Behavioural indicators of welfare in farmed fish Fish Physiol Biochem (2012) 38:17–41.

Mesias, J, Santos, T. P., Pinto, M., Soares, M. C., 2016. Stimulation of Dopamine D1 Receptor improves learning capacity in cooperating cleaner fish. Proc Biol Sci. 283

Millan-Ocampo, Laura, Torres-Cortés, A., Marín-Méndez1, Gira Alejandra, Ramírez-Duarte, W., Vásquez-Piñeros, M. A., Schroniltgen Rondón-Barragán- I.; (2012). Concentración anestésica del Eugenol en peces escalares (Pterophyllum scalare) Rev Inv Vet Perú 2012; 23 (2): 171-181.

Oliveira J, Oliva-Teles, A., Couto, A. 2024. Tracking Biomarkers for the Health and Welfare of Aquaculture Fish. Fishes 2024, 9, 289.

Prasad P., Ogawa S., Parhar, I. S. 2015. Role of serotonin in fish reproduction.Frontiers in Molecular Neuroscience., 2022, Volumen 9.

Proyecto FIPA 2017-29, 2019. Determinación y aplicación de indicadores operacionales de bienestar animal en salmónidos cultivados en agua dulce. www.subpesca.cl/fipa/613,articles.108119-archivo_01.pdf.

Vieira, Raquel S. F., Rocha Claudia A., Venâncio., Félix, L. A. M. 2026. Monoterpenes as Natural Anesthetics to Mitigate Stress in Fish: Advances Using the Zebrafish Larvae Model Fishes 2026, 11, 289.

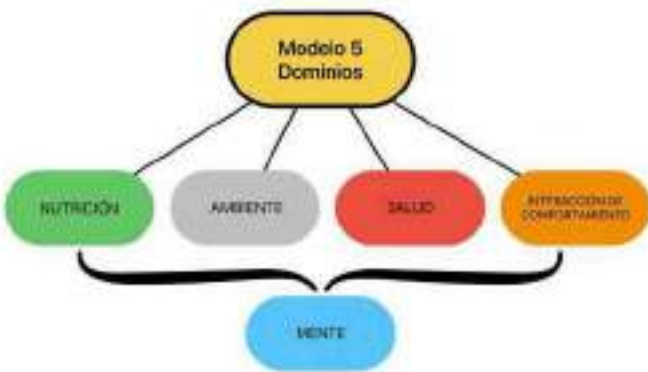


Figura 1: Modelo de los 5 dominios del bienestar animal.

Fotoperíodo artificial: El lado invisible de una herramienta productiva



Jorge Saavedra¹, Luana Smith¹, Paulina Bustos¹, Jannel Acosta², Jorge Toledo², Fernando Cruzat¹, Sebastián Escobar³, Ariel Valenzuela¹

¹ Laboratorio de Piscicultura y Patología Acuática, Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Chile.

² Laboratorio de Biotecnología y Biofármacos, Departamento de Fisiopatología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Concepción, Chile

³ Laboratorio de Biotecnología Molecular Marina, Departamento de Ciencias Animales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica, Chile

Desde la década de 1990, y a partir de los trabajos pioneros de Niall Bromage y colaboradores, el manejo del fotoperíodo mediante iluminación artificial comenzó a consolidarse como una herramienta relevante en la salmonicultura. Su aplicación permite intervenir en procesos biológicos estrechamente asociados al ciclo de luz, favoreciendo el crecimiento somático, sincronizando la smoltificación y contribuyendo al control de la maduración reproductiva. En Chile, los primeros estudios sistemáticos en esta materia se remontan a 1996, con el proyecto FONDEF D96I1090, "Modificación de la época de desove de salmónidos mediante regulación de fotoperíodo", dirigido por el Dr. Alfredo Klempau, de la Universidad de Concepción. Este proyecto contribuyó tempranamente al desarrollo y aplicación del conocimiento sobre el control fotoperiódico de salmónidos en el país.

Aun cuando en la actualidad los efectos de la aplicación del fotoperíodo en el desempeño productivo están bien documentados, su impacto sobre la competencia inmunológica sigue siendo menos claro, con resultados que varían según la especie y el régimen de luz. En este contexto, algunos de los trabajos desarrollados los últimos 20 años en el Laboratorio de Piscicultura y Patología Acuática (LPPA) de la Universidad de Concepción han estado abordando esta problemática desde niveles complementarios del sistema hemato-inmune. En el último tiempo uno de ellos evaluó el compromiso de progenitores hematopoyéticos en el riñón anterior, mientras que otro analizó la respuesta inmune adaptativa e innata. Considerados en conjunto, ambos estudios permiten proponer una explicación integrada de cómo el fotoperíodo artificial podría afectar la inmunocompetencia de los salmónidos en cultivo. En el primer trabajo realizado por Saavedra (2024), evaluó en la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) por medio de RT-qPCR la expresión de genes asociados a la respuesta inmune en el riñón anterior, incluyendo T-bet, regulador de la diferenciación Th1, IL-17a/f y las citoquinas proinflamatorias TNFα e IL-1β1. El segundo estudio realizado por Bustos (2025) en *Salmo salar*, se analizó en el mismo

tejido la expresión de genes relacionados con la hematopoyesis, entre ellos GATA1 y eritropoyetina (EPO), asociados al linaje eritroide, y PU.1 y CSF1R, vinculados al compromiso mieloide. En ambos estudios, los peces fueron expuestos a tres regímenes de fotoperíodo: 24L:0D, 14L:10D y 12L:12D. Posteriormente, todos los grupos volvieron a sus condiciones iniciales de fotoperíodo para evaluar la reversibilidad de las respuestas observadas.

ACTIVACIÓN HEMATOPOYÉTICA SIN RESOLUCIÓN FUNCIONAL

En *S. salar*, los tres fotoperíodos indujeron un aumento significativo en la expresión de GATA1 y EPO a los 45 días, el cual revirtió tras el retorno al fotoperíodo control. En contraste, PU.1 aumentó únicamente bajo los fotoperíodos prolongados, con la mayor expresión en el régimen 14L:10D, mientras que CSF1R mostró cambios mucho más discretos. Este patrón resulta consistente con la relación antagónica entre GATA1 y PU.1 durante la diferenciación hematopoyética. Ambos factores regulan el destino del progenitor mieloide-eritroide mediante inhibición recíproca, de modo que el equilibrio entre sus niveles de expresión favorece el compromiso hacia el linaje eritroide o mieloide. En este contexto, la elevación simultánea de ambos genes no necesariamente indica una expansión hematopoyética coordinada. Más bien, sugiere que el fotoperíodo prolongado estimula el reclutamiento de progenitores hacia ambos linajes, sin evidenciar un predominio claro de alguno de ellos dentro del período evaluado.

La respuesta de CSF1R aporta un elemento adicional para interpretar estos resultados. Este receptor participa en la supervivencia, proliferación y diferenciación de monocitos y macrófagos, y su expresión suele aumentar en paralelo con la de PU.1, que regula directamente su transcripción. En este estudio, sin embargo, el incremento de PU.1 no estuvo acompañado por un aumento



proporcional de CSF1R. Este desacople podría indicar que el compromiso hacia el linaje mieloide ocurre en etapas tempranas, sin una progresión equivalente hacia la maduración de macrófagos. De ser así, el fotoperíodo prolongado estaría promoviendo el compromiso de progenitores mieloides, pero no necesariamente la generación de una población de células efectoras completamente funcional.

En términos simples, estos resultados sugieren que un fotoperíodo prolongado podría estar modificando la forma en que el pez produce y prepara sus células de defensa. El aumento simultáneo de GATA1 y PU.1 indica que se estarían activando procesos asociados tanto con la formación de células sanguíneas como con el desarrollo de células del sistema inmune. Sin embargo, el aumento de PU.1 sin un incremento equivalente de CSF1R sugiere que este proceso podría quedar parcialmente detenido en etapas tempranas, antes de que los progenitores mieloides se diferencien completamente en células como los macrófagos. Biológicamente, esto significa que una mayor activación de los mecanismos que generan células inmunes no necesariamente se traduce en una mayor cantidad de células maduras y funcionalmente preparadas para responder frente a agentes infecciosos. En un contexto productivo, este hallazgo es relevante porque indica que el fotoperíodo no solo puede afectar el crecimiento o los ritmos fisiológicos del salmón, sino también la organización y el estado de preparación de su sistema inmune.

REGULACIÓN NEGATIVA DE LA INMUNIDAD EFECTORA BAJO EL MISMO ESTÍMULO

En *O. mykiss*, los fotoperíodos prolongados se asociaron con una disminución significativa en la expresión de T-bet y TNFα a los 45 días, mientras que IL-1β disminuyó bajo luz continua. IL-17a/f mostró una tendencia a la baja, aunque sin diferencias significativas. Entre estos cambios, la disminución de T-bet resulta especialmente

relevante, ya que este factor de transcripción regula la diferenciación de linfocitos T hacia el perfil Th1 y controla la expresión de genes efectores como IFN-γ, esencial para la activación de macrófagos y la respuesta frente a patógenos intracelulares. Llama la atención que esta regulación negativa ocurriera en ausencia de un desafío infeccioso, ya que reproduce un patrón de expresión descrito previamente en esta especie durante infecciones bacterianas y parasitarias. Esto sugiere que el fotoperíodo artificial podría inducir cambios tempranos en la regulación de la respuesta inmune que se asemejan a los observados durante un proceso infeccioso. La disminución de TNFα e IL-1β es consistente con esta interpretación desde la inmunidad innata. Ambas citoquinas participan en la activación temprana de macrófagos y en la respuesta inflamatoria inicial. En conjunto con los resultados obtenidos para los reguladores hematopoyéticos, estos hallazgos sugieren que el fotoperíodo prolongado favorece el compromiso hacia el linaje mieloide, pero sin un aumento equivalente en la capacidad proinflamatoria de las células resultantes. En consecuencia, más que una reducción en el número de células inmunes, los resultados apuntan a una modificación de su estado funcional, caracterizada por una menor capacidad para iniciar una respuesta inflamatoria eficaz.

En conjunto, estos resultados sugieren que un fotoperíodo prolongado podría modificar no solo la cantidad o el desarrollo de las células del sistema inmune, sino también su estado de activación. La disminución de T-bet, TNFα e IL-1β indica una menor activación de mecanismos asociados a la respuesta inflamatoria y a la coordinación de las defensas frente a agentes infecciosos. Esto resulta particularmente interesante porque estos cambios se observaron incluso en peces que no estaban enfrentando una infección, lo que sugiere que una exposición prolongada a luz artificial podría mantener al sistema inmune en un estado funcional diferente al habitual. En términos sencillos, los peces podrían conservar las células necesarias para responder frente a una amenaza, pero encontrarse menos preparados para activar rápidamente una

respuesta inflamatoria cuando esta sea necesaria. Para la salmonicultura, este hallazgo es relevante porque plantea que el manejo del fotoperíodo podría influir en el estado basal de preparación del sistema inmune y, potencialmente, en la capacidad de los peces para enfrentar posteriormente una infección.

REVERSIBILIDAD ASIMÉTRICA Y RESPUESTA DE SOBRECORRECCIÓN

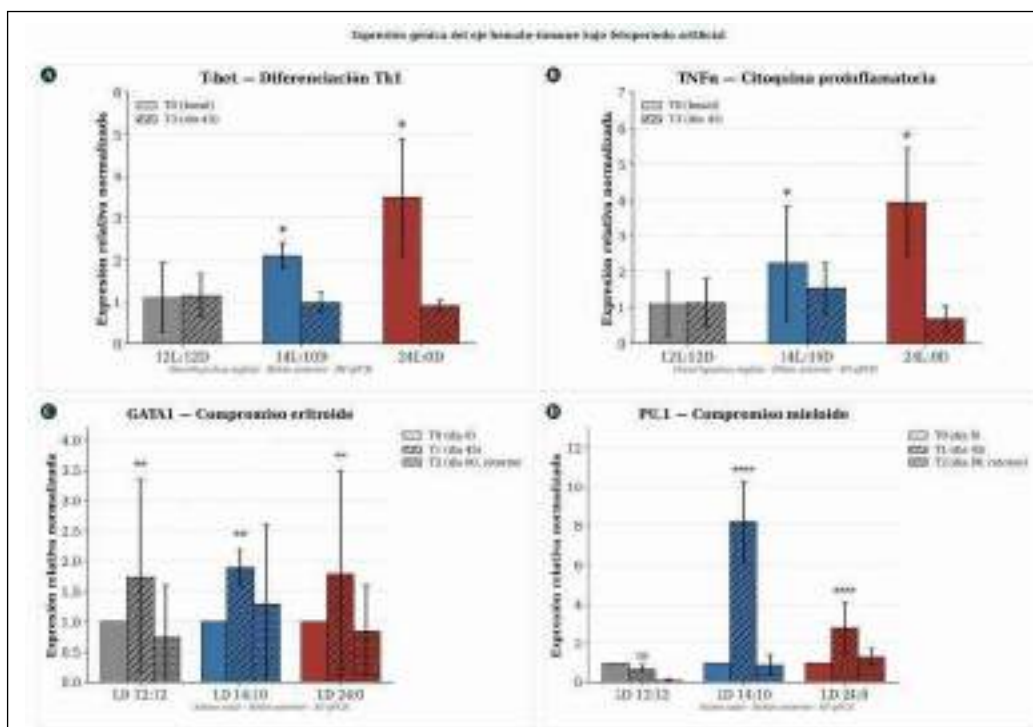
Tras el retorno al fotoperíodo control, ambos ejes revirtieron su respuesta, aunque con cinéticas diferentes. GATA1 y EPO recuperaron niveles comparables a los del control, mientras que PU.1 permaneció elevado en los grupos previamente expuestos al fotoperíodo prolongado. En el eje efector, T-bet, TNF α e IL-1 β no solo recuperaron sus niveles basales, sino que en varios casos los superaron. La evidencia disponible permite plantear al menos dos explicaciones para esta sobrecorrección, aunque no es posible discriminar entre ellas. La primera es que represente una respuesta compensatoria, en la que el sistema inmune no solo restablece la homeostasis, sino que la sobrepasa de forma transitoria antes de estabilizarse. Un comportamiento similar se ha descrito en otros sistemas neuroendocrinos tras la suspensión de un estímulo supresor. La segunda posibilidad es que la sobrecorrección refleje una alteración temporal de los mecanismos de retroalimentación circadiana, más que una respuesta adaptativa con un beneficio funcional. Con la evidencia disponible, ambas interpretaciones siguen siendo compatibles.

La diferencia en la cinética de recuperación entre ambos ejes resulta particularmente llamativa. Mientras los reguladores hematopoyéticos recuperaron gradualmente sus niveles sin evidenciar sobrecorrección, los genes efectores de la respuesta inmune mostraron una recuperación más rápida, acompañada de una sobreexpresión transitoria. Este patrón sugiere que ambos compartimentos responden al estímulo lumínico bajo escalas temporales distintas. Aunque ninguno de los trabajos evaluó directamente este aspecto, su integración permite reconocer este comportamiento como un hallazgo emergente.

Distinguir entre ambas hipótesis tiene implicancias prácticas para el manejo productivo. Si la sobrecorrección corresponde a un mecanismo adaptativo, el retorno programado a un fotoperíodo control tras períodos de iluminación prolongada podría aprovecharse como una ventana para potenciar la competencia inmunológica antes de etapas críticas del cultivo. En cambio, si refleja una desregulación transitoria de la respuesta circadiana, ese mismo período podría representar una fase de inestabilidad fisiológica con consecuencias sanitarias aún inciertas, por lo que debería considerarse con cautela al diseñar protocolos de manejo lumínico.

IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO PRODUCTIVO

El desempeño zootécnico no reflejó directamente los cambios observados en la respuesta inmune. En *S. salar*, la luz continua produjo la mayor ganancia de peso, mientras que en *O. mykiss* el



régimen con menor crecimiento fue el que presentó el mayor compromiso de la expresión de genes inmunes. En conjunto, estos resultados indican que evaluar los programas de iluminación únicamente en función del crecimiento podría subestimar sus efectos sobre la inmunocompetencia, especialmente durante los períodos de exposición prolongada. Aunque ninguno de los dos estudios cuantificó hormonas circulantes, un mecanismo que podría explicar esta respuesta involucra al eje melatonina-pineal. En salmónidos, la síntesis de melatonina depende estrechamente del ciclo luz-oscuridad y disminuye bajo exposición lumínica continua debido a la inhibición de la enzima responsable de su producción. Como consecuencia, los fotoperíodos prolongados podrían alterar la señal hormonal que sincroniza los ritmos circadianos.

Esta hipótesis resulta consistente con la función descrita para ROR γ t, el principal regulador de la diferenciación de células Th17. Este factor de transcripción pertenece a la familia de los receptores nucleares ROR, cuyos miembros participan tanto en la regulación de genes reloj como en la coordinación de respuestas inmunes. En distintos modelos experimentales se ha propuesto que esta interacción contribuye a sincronizar el reloj molecular con la respuesta inflamatoria de las mucosas. Si un mecanismo similar opera en salmónidos, podría proporcionar una explicación para la alteración observada en la vía Th1/Th17 bajo fotoperíodos prolongados. No obstante, esta hipótesis deberá evaluarse directamente mediante la cuantificación simultánea de melatonina, genes reloj y marcadores inmunes en futuros estudios.

REFERENCIAS

- Bustos Panes, P. E. (2025). Evaluación de efectos del fotoperíodo artificial en la hematopoyesis del salmón del Atlántico *Salmo salar* [Seminario de título, Universidad de Concepción].
- Eberl, G. (2017). ROR γ t, a multitask nuclear receptor at mucosal surfaces. *Mucosal Immunology*, 10(1), 27-34.
- Leonardi, M. O., & Klempau, A. E. (2003). Artificial photoperiod influence on the immune system of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the Southern Hemisphere. *Aquaculture*, 221(1-4), 581-591.
- Rhodes, J., Hagen, A., Hsu, K., Deng, M., Liu, T. X., Look, A. T., & Kanki, J. P. (2005). Interplay of Pu.1 and Gata1 determines myeloid erythroid progenitor cell fate in zebrafish. *Developmental Cell*, 8(1), 97-108.
- Saavedra Cabrera, J. A. (2024). Influencia moduladora del fotoperíodo artificial en la expresión transcripcional de genes asociados al sistema inmune de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) [Seminario de título, Universidad de Concepción].
- Valenzuela, A., Campos, V., Yáñez, F., Alveal, K., Gutiérrez, P., Rivas, M., & Oyarzun, C. (2012). Application of artificial photoperiod in fish: A factor that increases susceptibility to infectious diseases? *Fish Physiology and Biochemistry*, 38, 943-950.
- Wang, T., Holland, J. W., Martin, S. A., & Secombes, C. J. (2010). Sequence and expression analysis of two T helper master transcription factors, T-bet and GATA3, in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, and analysis of their expression during bacterial and parasitic infection. *Fish & Shellfish Immunology*, 29(5), 705-715.

NOMBRE, CARGO, EMAIL DE LOS AUTORES DEL ARTÍCULO

- Jorge Saavedra
 Biólogo Marino, Estudiante de Doctorado en Cs. c/m en Manejo de Recursos Acuáticos Renovables, Udec.
 Jsaavedra2019@udec.cl
- Luana Smith
 Bióloga, Estudiante de Doctorado en Cs. c/m en Manejo de Recursos Acuáticos Renovables, Udec.
 Ksmith2023@udec.cl
- Paulina Bustos
 Bióloga Marina
 pbustos2019@udec.cl
- Dra. Jannel Acosta
 Bioquímica, Dra en Ciencias Biológicas. Profesora Udec.
 janacosta@udec.cl
- Dr. Jorge Toledo
 Microbiólogo, Dr en Ciencias Biológicas. Profesor Udec.
 jotoledo@udec.cl
- Dr. Fernando Cruzat
 Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor Udec.
 fecruzat@udec.cl
- Dr. Sebastián Escobar
 Bioquímico, Dr en Acuicultura. Profesor PUC.
 Sebastian.escobar@uc.cl
- Dr. Ariel Valenzuela
 Biólogo Marino, Dr en Ciencias Biológicas. Profesor Udec.
 avalenz@udec.cl

LA RESILIENCIA SANITARIA EN LA SALMONICULTURA CHILENA: lecciones del pasado para enfrentar los desafíos del futuro

Cómo la experiencia acumulada durante las últimas dos décadas puede fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la salmónica frente a nuevos riesgos sanitarios y ambientales.



Alicia Gallardo

Investigadora del Centro Colaborador de la Organización Mundial de Sanidad Animal CASA.
Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas, la salmónica chilena ha experimentado una profunda transformación en la manera de gestionar la sanidad animal. La crisis del virus de la anemia infecciosa del salmón (ISAv) marcó un punto de inflexión que impulsó cambios regulatorios, operacionales y culturales sin precedentes. A partir de esa experiencia, todos los actores de la cadena de valor (la industria, autoridades, investigadores y prestadores de servicios) desarrollaron en conjunto un modelo basado en la gestión del riesgo, la colaboración público-privada, la coordinación territorial, la bioseguridad y la detección temprana de enfermedades. Este modelo fue la base de la regulación de la acuicultura, desde el año 2010 a la fecha.

En los años siguientes, el modelo sanitario continuó evolucionando y fue puesto a prueba por nuevos desafíos. Uno de los más

relevantes fue la floración algal nociva (FAN) de 2016, que provocó una mortalidad masiva de salmónes y evidenció la estrecha relación entre la salud animal y las condiciones ambientales. Este evento amplió el enfoque de la gestión sanitaria, incorporando con mayor fuerza la dimensión ambiental como un componente esencial de la resiliencia del sector.

Esta capacidad de adaptación refleja la naturaleza dinámica de la acuicultura. A nivel mundial, la creciente movilidad de animales vivos y sus productos, el cambio climático, la intensificación de la producción y la aparición de nuevos agentes patógenos están incrementando la complejidad del riesgo sanitario. En este escenario, la resiliencia sanitaria deja de entenderse únicamente como la capacidad de responder a una crisis y pasa a definirse como la capacidad del sistema para anticiparse, prepararse, adaptarse y recuperarse continuamente frente a amenazas cambiantes.



DE LA RESPUESTA A LA PREVENCIÓN

Uno de los mayores aprendizajes de la crisis del ISA fue comprender que la sanidad no podía gestionarse de manera aislada en cada centro de cultivo. La dinámica del ambiente acuático, las corrientes marinas y las múltiples conexiones epidemiológicas entre centros demostraron que tanto las medidas preventivas como las terapéuticas debían planificarse y ejecutarse de forma coordinada a nivel territorial. Esta visión dio origen inicialmente a las Áreas de Manejo Sanitario (AMS) y posteriormente a las actuales Agrupaciones de Concesiones de Salmónidos (ACS), consolidando un enfoque colectivo territorial para la gestión sanitaria.

Este cambio de paradigma impulsó el desarrollo de un sistema de gestión sanitaria basado en el riesgo, incorporando medidas coordinadas como los períodos de descanso coordinados por área, el sistema all in/ all out, descansos sanitarios individuales, el control y autorización de movimientos, la vacunación obligatoria contra el virus ISA, programas de vigilancia y control de enfermedades basados en riesgo y una comunicación permanente entre autoridad sanitaria, industria, laboratorios y la comunidad científica.

La prevención pasó así a ocupar un lugar central, reemplazando progresivamente un modelo centrado en la respuesta frente a los brotes por otro orientado a anticipar los riesgos, reducir la probabilidad de introducción y propagación de enfermedades y fortalecer la capacidad del sistema para enfrentar amenazas sanitarias de manera coordinada.

CINCO PILARES QUE CONTINUÁN SIENDO FUNDAMENTALES

La transformación del sistema sanitario chileno no estuvo determinada por una única medida, sino por la integración de capacidades complementarias que continúan siendo la base de la resiliencia sanitaria. Hoy, estos pilares no solo mantienen su vigencia, sino que además sirven de plataforma para incorporar nuevas herramientas como la inteligencia artificial, la genómica y el monitoreo ambiental en tiempo real.

1. Bioseguridad: La bioseguridad evolucionó desde un conjunto de medidas operacionales hacia un sistema integral de gestión del riesgo. Más que protocolos o barreras físicas, constituye una cultura organizacional que integra gobernanza, infraestructura, procedimientos, control de movimientos, vigilancia, capacitación y mejora continua para prevenir la introducción y propagación de enfermedades a lo largo de toda la cadena de valor de la producción de salmones.

2. Vigilancia epidemiológica: La vigilancia epidemiológica se consolidó como el sistema de inteligencia de la bioseguridad. Inicialmente estuvo orientada a la detección temprana de ISA, caligidosis y Piscirickettsiosis; posteriormente, evolucionó hacia un sistema más amplio, capaz de demostrar el estatus sanitario, evaluar la eficacia de las medidas de prevención y control, e integrar información para la toma de decisiones basada en riesgo. Actualmente combina vigilancia pasiva y activa, diagnóstico de laboratorio, análisis epidemiológico, notificación oportuna y retroalimentación continua, fortaleciendo la prevención, la capacidad de respuesta y la preparación frente a enfermedades conocidas y emergentes.

3. Gestión territorial: La gestión territorial constituyó un enfoque de gestión del riesgo que reconoció la interdependencia sanitaria entre establecimientos de una misma área. La coordinación de la bioseguridad, la vigilancia y las medidas de prevención y control entre todos los actores permitió abordar los riesgos compartidos de manera más eficaz, fortaleciendo la resiliencia del sistema sanitario y reduciendo la propagación de enfermedades.

4. Colaboración público-privada: La colaboración público-privada fue uno de los principales factores de éxito para la gestión sanitaria en





y el rápido desarrollo de nuevas tecnologías, la resiliencia sanitaria dependerá de la capacidad para anticipar riesgos, adaptarse continuamente e incorporar innovación basada en evidencia.

REFLEXIÓN FINAL

La experiencia nos ha enseñado que la resiliencia sanitaria no se construye cuando ocurre una crisis, sino mucho antes, mediante la prevención, el aprendizaje y la mejora continua. Mantener el liderazgo de la

salmonicultura chilena dependerá de seguir fortaleciendo la bioseguridad, la ciencia, la innovación y la colaboración, incorporando nuevas tecnologías bajo un enfoque de Una Salud. Sin embargo, el recurso más valioso seguirá siendo el mismo que permitió superar la crisis del ISA: las personas. Porque la resiliencia sanitaria no depende solo de normas o tecnologías, sino de una cultura capaz de aprender, adaptarse y anticiparse a los desafíos del futuro.

5. Transparencia: La transparencia fortaleció la confianza en el sistema sanitario al poner la información a disposición de todos los actores. La publicación oportuna de los brotes, los resultados de vigilancia y otros indicadores sanitarios permitió sustentar las decisiones en evidencia, mejorar la gestión del riesgo y favorecer la colaboración entre la autoridad competente, la industria, la comunidad científica, las comunidades y la sociedad civil.

DE LA VIGILANCIA SANITARIA A LA INTELIGENCIA SANITARIA

La siguiente etapa en la evolución del sistema sanitario estará marcada por la integración de múltiples fuentes de información. La vigilancia tradicional se complementará con monitoreo ambiental en tiempo real, secuenciación genómica, análisis predictivo e inteligencia artificial para estimar riesgos y apoyar la toma de decisiones. El objetivo dejará de ser únicamente detectar enfermedades para anticipar las condiciones que favorecen su aparición.

LOS DESAFÍOS DE LA PRÓXIMA DÉCADA

La historia reciente demuestra que los sistemas sanitarios deben evolucionar al mismo ritmo que evolucionan los riesgos. Así como la crisis del ISA impulsó una transformación profunda de la salmonicultura chilena, los desafíos que enfrenta hoy el sector representan una nueva etapa en esa evolución. En un contexto marcado por el cambio climático, la aparición de enfermedades emergentes, la creciente demanda por una producción sostenible

salmonicultura chilena dependerá de seguir fortaleciendo la bioseguridad, la ciencia, la innovación y la colaboración, incorporando nuevas tecnologías bajo un enfoque de Una Salud. Sin embargo, el recurso más valioso seguirá siendo el mismo que permitió superar la crisis del ISA: las personas. Porque la resiliencia sanitaria no depende solo de normas o tecnologías, sino de una cultura capaz de aprender, adaptarse y anticiparse a los desafíos del futuro.

BIBLIOGRAFÍA

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Progressive Management Pathway for Improving Aquaculture Biosecurity (PMP/AB): Guidelines and implementation manual. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc4790en>

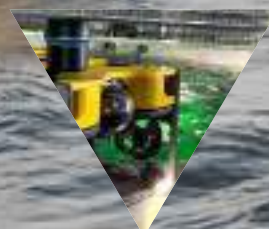
Gallardo Lagno, A., Lara, M., & Cornejo, J. (2024). Aquatic animal health: History, present and future. Scientific and Technical Review, Special Edition, 152-158. <https://doi.org/10.20506/rst.SE.3570>

Gallardo Lagno, A., Lara, M., Gaete, A., & Montecinos, K. (2019). Recovering sustainability after a health crisis in aquatic animals. Revue Scientifique et Technique (Office International des Epizooties), 38(2), 601-613. <https://doi.org/10.20506/rst.38.2.3007>

World Bank. (2014). Reducing disease risk in aquaculture (Report No. 88257-GLB). World Bank. <https://documents.worldbank.org/curated/en/110681468054563438/Reducing-Disease-Risk-in-Aquaculture>

United Nations Conference on Trade and Development. (2006). A case study of the salmon industry in Chile (Transfer of Technology for Successful Integration into the Global Economy Series, UNCTAD/ITE/IIT/2005/12). United Nations. https://unctad.org/system/files/official-document/iteit200512_en.pdf

RENTABILIZAMOS TU SIEMBRA



NUESTROS SERVICIOS

» BUCEO

» ROBÓTICA

» ARRIENDO DE
EMBARCACIONES



Contactos:

veronica.torres@divingtrapananda.cl
isabel.torres@divingtrapananda.cl

 +56 9 9072 4931

Mérida N° 1870 - Hacienda los Lagos
Puerto Montt - Región de los Lagos - Chile

www.divingtrapananda.cl



Péptido antibacteriano derivado de IL-8: Potencial eficacia y seguridad como herramienta biosegura contra la vibriosis en la acuicultura marina.



Javiera Vargas¹, Constanza Guzmán², Nicolás Galleguillos², Claudio Álvarez³, Paula Santana²

¹ Carrera de Química y Farmacia, Facultad de Salud, Universidad Autónoma de Chile, Providencia, Santiago, Chile. javiera.vargas4@cloud.uaautonoma.cl

² Instituto de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chile, Huechuraba, Santiago, Chile. constanzaguzmanz@gmail.com; nicolas.g.bioqui@gmail.com; paula.santana@uaautonoma.cl

³ Departamento de Acuicultura, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile. claudio.alvarez@ucn.cl

La acuicultura marina ha tenido un crecimiento sostenido en Chile, consolidándose como un eje estratégico para el desarrollo económico del país. Al cierre de diciembre de 2025, las cosechas acumuladas alcanzaron los 1,502 millones de toneladas, lo que representa un aumento del 5,8% en comparación con el año anterior, donde los peces aportaron el 76,3% de dicha producción (SUBPESCA, 2026). Con el fin de mitigar la alta dependencia de la salmonicultura, concentrada principalmente en el sur, el Programa de Diversificación de la Acuicultura Chilena (PDACH) ha impulsado el cultivo de la palometa (*Seriola lalandi*), proyectando su expansión hacia las regiones áridas del norte mediante sistemas de recirculación acuícola (RAS) en tierra y jaulas marinas (Pepe-Victoriano et al., 2025; Orellana et al., 2014). El ciclo productivo de *S. lalandi* en cautiverio inicia en criaderos cerrados (hatcheries), donde se aplican protocolos de manipulación fototérmica u hormonal para ajustar de forma artificial su maduración gonadal y asegurar múltiples desoves al año; un paso crítico para el suministro sostenible de larvas y juveniles (Pepe-Victoriano et al., 2025). Sin embargo, el escalamiento de esta actividad enfrenta complejos desafíos en la etapa larvaria, la cual registra bajas tasas de supervivencia que fluctúan entre el 1% y el 2,5% debido a malformaciones y enfermedades (Avilés-Quevedo & Castelló-Orvay, 2004). A esto se suma que la transferencia de los peces a sistemas abiertos o las situaciones de alto estrés, como los cambios bruscos de temperatura, debilitan su sistema inmune, predisponiéndolos a patógenos presentes en el medio acuático (Shu-Chien et al., 2025).

Dentro de estas amenazas sanitarias, la proliferación de bacterias oportunistas del género *Vibrio* (causantes de la vibriosis) constituye la mayor amenaza patógena y económica para el sector. Especies como *Vibrio harveyi* y *Vibrio anguillarum* provocan septicemias hemorrágicas con lesiones severas en piel, aletas y órganos internos, desencadenando mortalidades masivas (García Mendoza, 2017). En respuesta, el sector recurre al uso de vacunas para otorgar protección, aunque aún existen dudas sobre su efectividad real y su impacto exacto en la respuesta inmune (Flores-Kossack

et al., 2020). Por otro lado, el uso intensivo de antibióticos ha generado una creciente preocupación, ya que la evidencia sugiere que los genes de resistencia seleccionados en el entorno acuático (resistoma) pueden transferirse horizontalmente hacia patógenos de peces, animales y humanos, amenazando la salud pública y ambiental (Cabello et al., 2020; Shah et al., 2014).

Como estrategia alternativa y sostenible frente a estos tratamientos tradicionales, ha tomado fuerza el estudio de moléculas basadas en péptidos de defensa del hospedador (HDPs). Estos compuestos destacan por su actividad antimicrobiana, propiedades inmunomoduladoras y compatibilidad ambiental. En peces teleósteos se han identificado cerca de 19 familias de péptidos con actividad antimicrobiana, dentro de las cuales destacan las piscidinas, defensinas, catelicidinas e hepcidinas (Valero et al., 2020; Katzenback, 2015; Mansour et al., 2014). Bajo este contexto, en el año 2018 nuestro grupo de investigación identificó y caracterizó por primera vez péptidos derivados de la quimiocina Interleucina-8 (IL-8) en salmónidos (Santana et al., 2018). Esta molécula resulta de gran interés ya que, además de su función quimiotáctica celular, posee una potente actividad antimicrobiana contra bacterias Gram-negativas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue validar el potencial terapéutico de un péptido derivado de IL-8 mediante la evaluación de su actividad bactericida contra el género *Vibrio*, su efecto estimulador en el sistema inmune innato y su perfil de baja citotoxicidad, con el fin de consolidar una nueva herramienta sanitaria para la producción acuícola.

Para evaluar el potencial antibacteriano del péptido derivado de IL-8 (pdIL-8), se realizaron ensayos *in vitro* frente a *Vibrio ordalii* y *Vibrio anguillarum*. Las bacterias en fase exponencial se ajustaron a 10^6 UFC/mL y se incubaron con 30 μ M de pdIL-8 a 23 °C por 1 hora. Posteriormente, las mezclas de incubación de cada bacteria se sembraron en agar tripticasa soya (TSA) bajo dos condiciones salinas, agua de mar filtrada y suplementado con NaCl al 3%, para cuantificar la supervivencia mediante el recuento de UFC/mL.

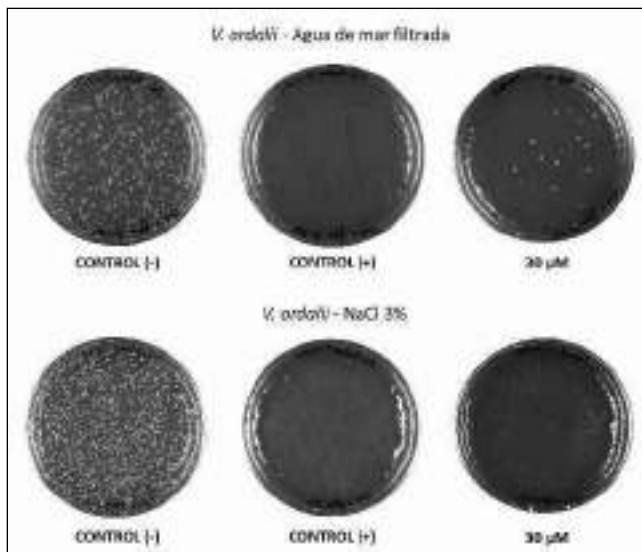


Figura 1: Actividad antibacteriana del péptido pdIL-8 frente a *Vibrio ordalii*. Una suspensión bacteriana (1×10^6 CFU/mL) fue incubada con pdIL-8 a 30 μ M en placas de agar TSA suplementado con agua de mar filtrada y NaCl 3% durante 72 h a 23 °C. Se incluyen el control negativo (sin péptido) y el control positivo (ampicilina 10 mg/mL).

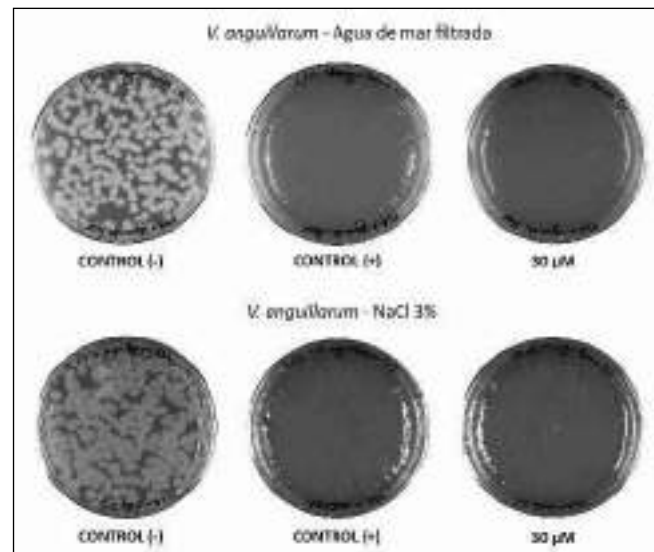


Figura 2: Actividad antibacteriana del péptido pdIL-8 frente a *Vibrio anguillarum*. Una suspensión bacteriana (1×10^6 CFU/mL) fue incubada con pdIL-8 a 30 μ M en placas de agar TSA suplementado con agua de mar filtrada y NaCl 3% durante 72 h a 23 °C. Se incluyen el control negativo (sin péptido) y el control positivo (ampicilina 10 mg/mL).

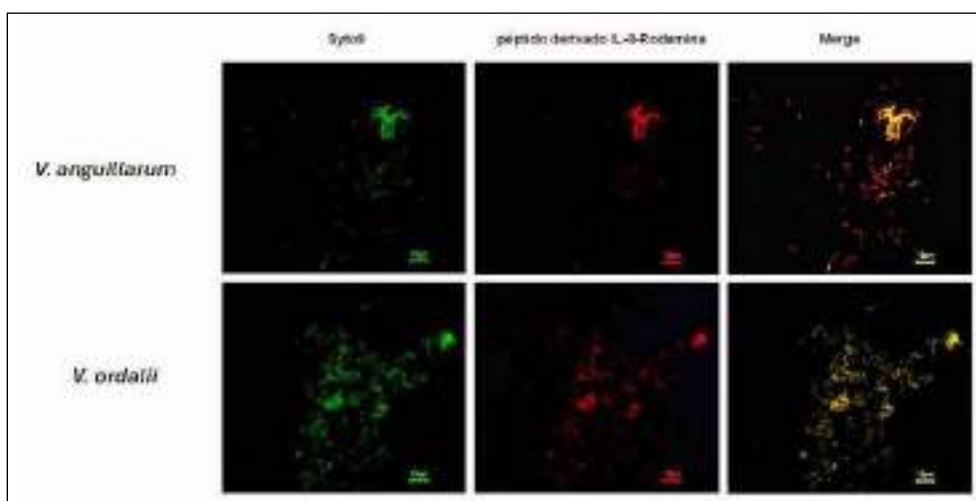


Figura 3: Localización celular de pdIL-8 en la superficie bacteriana mediante microscopía de fluorescencia. A la izquierda se observan las bacterias teñidas con la sonda SYTO9 para la visualización del ADN bacteriano (señal verde); en el centro, el pdIL-8 conjugado con rodamina (señal roja), y a la derecha, la superposición de imágenes (Merge). Barra de escala = 10 μ m; imágenes tomadas con objetivo de 100x.

Frente a *V. ordalii* (Figura 1) en TSA con agua de mar filtrada, se observó una disminución evidente en el número de colonias a 30 μ M de pdIL-8. En contraste, cuando el ensayo se realizó en TSA suplementado con NaCl al 3%, se observó una inhibición completa del crecimiento, similar a lo observado en el control positivo. Por su parte, *V. anguillarum* (Figura 2) presentó una mayor susceptibilidad, ya que la concentración de 30 μ M de pdIL-8 inhibió totalmente el desarrollo bacteriano en ambas condiciones osmóticas (agua de mar filtrada y NaCl al 3%). Estos hallazgos sugieren que la eficacia del péptido es comparable entre ambas condiciones, lo que indica que su actividad se conserva en ambientes con salinidad equivalente a la del medio marino.

Posteriormente, con el objetivo de determinar la localización celular del péptido pdIL-8 en los patógenos evaluados, se realizaron ensayos de colocalización mediante microscopía de fluorescencia. Para ello, las suspensiones bacterianas de *V. ordalii* y *V. anguillarum* fueron incubadas por 1 hora con 30 μ M de pdIL-8 conjugado al fluoróforo rodamina (señal roja), mientras que el ADN bacteriano fue teñido utilizando la sonda de ácidos nucleicos SYTO9 (señal verde). Los resultados revelaron una clara asociación del péptido con las estructuras externas de los Vibrios (Figura 3). Al realizar la superposición de imágenes (merge), se evidenció una colocalización precisa de ambas señales, caracterizada por una coloración amarilla/anaranjada que rodea el contorno celular, lo que sugiere que el péptido se une principalmente a la superficie bacteriana de *V. ordalii* y *V. anguillarum*, lo cual es un paso clave para ejercer su efecto antibacteriano.

Con la finalidad de determinar si el péptido pdIL-8 posee actividad inmunomoduladora y es capaz de activar componentes de la inmunidad innata celular, se evaluó su efecto sobre la producción de especies reactivas del oxígeno (ROS) mediante el ensayo de estallido respiratorio. Para esto, los macrófagos obtenidos del riñón anterior, fueron expuestos a diferentes concentraciones del péptido (10, 50 y 100 μM), utilizando células estimuladas con forbol miristato acetato (PMA) como control positivo y células sin estimular como control negativo. Los resultados se expresaron mediante el índice de estimulación, el cual representa el cambio relativo en comparación con el control basal. Los ensayos demostraron que el pdIL-8 posee una capacidad significativa para activar la respuesta celular (Fig. 4).

Los tratamientos con el péptido a concentraciones de 10, 50 y 100 μM indujeron un incremento en el índice de estimulación del estallido respiratorio. Este aumento en la producción de ROS fue estadísticamente equivalente a la respuesta observada en el control positivo estimulado con PMA. Estos hallazgos confirman el potencial biológico del pdIL-8 como una molécula inmunomoduladora capaz de promover la activación de las células de defensa.

La evaluación de la seguridad celular es un requisito crítico para el desarrollo de moléculas terapéuticas candidatas en acuicultura, ya que permite confirmar que el péptido ejerce una acción selectiva hacia las membranas de los patógenos sin comprometer la integridad de las células del pez. Es por ello que se evaluó la citotoxicidad del pdIL-8 mediante su capacidad para inducir la lisis de eritrocitos mediante un ensayo de actividad hemolítica *in vitro*. Para ello, los glóbulos rojos fueron expuestos a concentraciones crecientes de pdIL-8 (10, 50, 100 y 300 μM). Los resultados demostraron que la citotoxicidad del péptido es dependiente de la concentración (Figura 5). En el rango de 10 a 100 μM , el pdIL-8 exhibió un perfil de alta seguridad biológica y una baja citotoxicidad, con porcentajes de hemólisis mínimos (cerca de 10%) que no presentaron diferencias estadísticas significativas respecto al control basal (PBS, ~5% de lisis). Sin embargo, al incrementar la dosis a 300 μM , se observó un aumento notorio en la actividad hemolítica, alcanzando aproximadamente un 50% de lisis celular en comparación con el control negativo. Estos hallazgos demuestran que, si bien el pdIL-8 induce toxicidad en dosis extremas

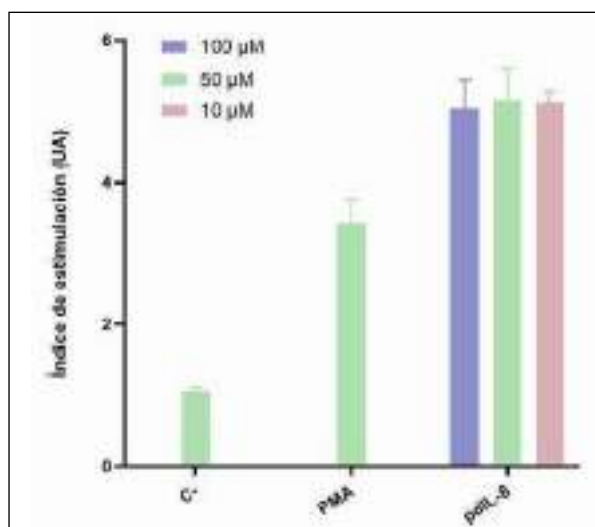


Figura 4: Efecto de pdIL-8 en la inducción del estallido respiratorio. Los resultados se expresan como índice de estimulación respecto al control basal no estimulado. Se comparan las concentraciones de 10, 50 y 100 μM de pdIL-8 frente al control positivo estimulado con acetato de forbol miristato (PMA). Los datos representan la media $\pm$ la desviación estándar.

(300 μM) mantiene un rango de seguridad e inocuidad óptimo en concentraciones de hasta 100 μM , las cuales superan ampliamente las dosis bactericidas efectivas demostradas en los ensayos previos.

CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados obtenidos posicionan al péptido pdIL-8 como una potencial herramienta biosegura y de alta eficacia para el control de la vibriosis en la acuicultura marina, al demostrar una actividad antibacteriana *in vitro* capaz de inhibir el crecimiento de *V. ordalii* y *V. anguillarum* en condiciones de salinidad equivalentes a las del medio marino.

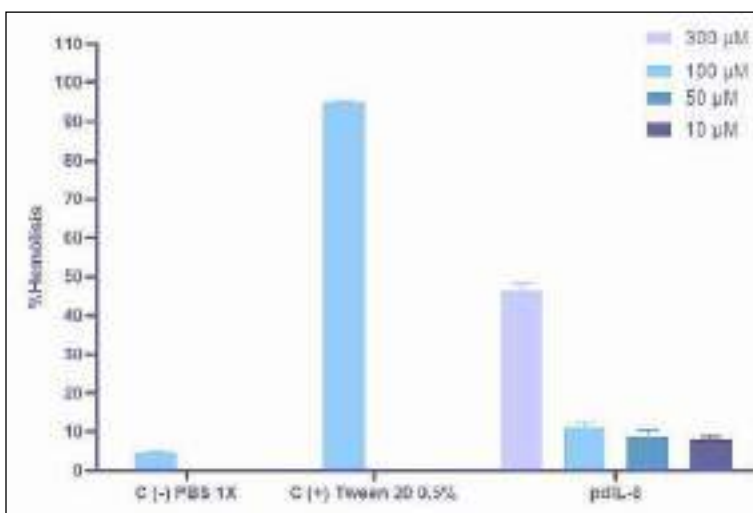


Figura 5: Evaluación de la actividad hemolítica de pdIL-8 en eritrocitos. Se muestra el porcentaje de hemólisis inducido por concentraciones crecientes del péptido (10, 50, 100 y 300 μM) en comparación con el control negativo (PBS 1X) y el control positivo (Tween20 al 0,5%). Los datos representan la media $\pm$ la desviación estándar de tres experimentos independientes.

Asimismo, la molécula evidenció un valioso atributo inmunomodulador al activar el estallido respiratorio celular en niveles comparables a los del control positivo, garantizando paralelamente una baja citotoxicidad al mantener la integridad de los eritrocitos en un amplio rango de concentraciones terapéuticas. Estos atributos validan el potencial de pdIL-8 como una alternativa sustentable frente al uso tradicional de antibióticos y respaldan su futura evaluación y escalamiento en etapas tempranas del cultivo de peces.



Figura 6: Equipo de investigación que participa en el proyecto VIU. De izquierda a derecha: Dra. Paula Santana, Nicolás Galleguillos, Constanza Guzmán y Javiera Vargas.

Actualmente, un equipo de investigadores del Instituto de Ciencias Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile (Figura 6), mediante el proyecto VIU, trabaja en el escalamiento de esta molécula para alcanzar un nivel de madurez tecnológica TRL 4. Esta etapa contempla la validación en laboratorio utilizando larvas de *Seriola lalandi* como modelo biológico, evaluando aspectos críticos de citotoxicidad, biodistribución, biodegradabilidad y eficacia frente a patógenos. El éxito de estas pruebas permitirá el potencial uso de este péptido en etapas tempranas de cultivo, proyectándolo como una alternativa de base científica para el manejo sanitario en la industria acuícola.

FINANCIAMIENTO

(Proyecto VIU código VIU25P0193 y FONDECYT regular 1231088 (Paula Santana).

REFERENCIAS

- Avilés, A., & Castelló, F. (2004). Manual para el cultivo de *Seriola lalandi* (Pisces: Carangidae) en Baja California Sur, México. Instituto Nacional de la Pesca, Dirección General de la Investigación en Acuicultura. <https://www.imipas.gob.mx/portal/Publicaciones/Manuales/2004-Aviles-y-Castello-Manual-cultivo-Seriola-lalandi.pdf>
- Cabello, F. C., Godfrey, H. P., Ivanova, L., Shah, S. Q. A., Sørsum, H., & Tomova, A. (2020). Freshwater salmon aquaculture in Chile and transferable antimicrobial resistance. *Environmental Microbiology*, 22(2), 559–563. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14891>
- Flores-Kossack, C., Montero, R., Köllner, B., & Maisey, K. (2020). Chilean aquaculture and the new challenges: Pathogens, immune response, vaccination and fish diversification. *Fish & Shellfish Immunology*, 98, 52–67. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.093>

García Mendoza, M. E. (2017). Calidad bacteriológica del agua en sistemas de mantenimiento de reproductores de *Seriola lalandi* [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. Repositorio Institucional CICESE. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1594>

Katzenback, B. A. (2015). Antimicrobial peptides as mediators of innate immunity in teleosts. *Biology*, 4(4), 607–639. <https://doi.org/10.3390/biology4040607>

Mansour, S. C., Pena, O. M., & Hancock, R. E. W. (2014). Host defense peptides: Front-line immunomodulators. *Trends in Immunology*, 35(9), 443–450. <https://doi.org/10.1016/j.it.2014.07.004>

Orellana, J., Waller, U., & Wecker, B. (2014). Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) operating with artificial seawater. *Aquacultural Engineering*, 58, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.09.004>

Pepe-Victoriano, R., Pepe-Vargas, P., Borquez-Segovia, E., Huanacuni, J. I., Aravena-Ambrosetti, H., Méndez-Abarca, F., Resurrección-Huertas, J. Z., & Espinoza-Ramos, L. A. (2025). Strategies for Broodstock Farming in Arid Environments: Rearing Juvenile *Seriola lalandi* in a Low-Cost RAS. *Fishes*, 10(11), 579. <https://doi.org/10.3390/fishes10110579>

Santana, P. A., Salinas, N., Álvarez, C. A., Mercado, L. A., & Guzmán, F. (2018). Alpha-helical domain from IL-8 of salmonids: Mechanism of action and identification of a novel antimicrobial function. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 498(4):803–809. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.03.061>

Shah, S. Q. A., Cabello, F. C., L'Abée-Lund, T. M., Tomova, A., Godfrey, H. P., Buschmann, A. H., & Sørsum, H. (2014). Antimicrobial resistance and antimicrobial resistance genes in marine bacteria from salmon aquaculture and non-aquaculture sites. *Environmental Microbiology*, 16(5), 1310–1320. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12421>

Shu-Chien, A. C., Orellana, J., Waller, U., & Wecker, B. (2025). A review of *Seriola lalandi* aquaculture with a focus on recirculating aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture* 17, no. 4 (2025): e70059, <https://doi.org/10.1111/raq.70059>

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. (2026). Informe Sectorial de Pesca y Acuicultura: diciembre 2025. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Gobierno de Chile. https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-128767_documento.pdf

Valero, Y., Saraiva-Fraga, M., Costas, B., & Guardiola, F. A. (2020). Antimicrobial peptides from fish: Beyond the fight against pathogens. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 224–253. <https://doi.org/10.1111/raq.12314>

IA LEVADURAS: UNA PLATAFORMA DE MEJORAMIENTO Y SELECCIÓN DE LEVADURAS CON PROPIEDADES INMUNOMODULADORAS PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ACUÍCOLA



Pablo A. Palacios¹, Roque Scarpa¹, Claudio Martínez^{2*}, Mónica Imarai^{*}

¹ Laboratorio de Inmunología, Departamento de Biología, Centro de Biotecnología Acuicola, Facultad de Química y Biología, Universidad de Santiago de Chile

² Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CECTA), Universidad de Santiago de Chile

± claudio.martinez@usach.cl, * monica.imarai@usach.cl, pablo.palacios@usach.cl, roque.scarpa@usach.cl



La industria acuícola es una de las principales actividades económicas de nuestro país. Durante el año 2025, el país registró una cosecha preliminar de aproximadamente 1,15 millones de toneladas de salmónidos, incluyendo 815.288 toneladas de salmón del Atlántico, 281.407 toneladas de salmón del Pacífico y 50.027 toneladas de trucha arcoíris (1). Estas cifras posicionan a Chile como el segundo mayor productor mundial de salmón, después de Noruega (2). Sin embargo, la salmonicultura enfrenta importantes desafíos que pueden comprometer su sostenibilidad y productividad como lo son el cambio climático, las floraciones de algas nocivas, y las enfermedades infecciosas. El salmón del Atlántico se encuentra expuesto a diversos patógenos de importancia sanitaria, entre los que destacan el virus de la anemia infecciosa del salmón (ISAV), el virus de la necrosis pancreática infecciosa (IPNV), la bacteria intracelular *Piscirickettsia salmonis*, agente causal de la piscirickettsiosis

o síndrome rickettsial del salmón, y *Tenacibaculum dicentrarchi*, asociada a cuadros de tenacibaculosis (3–6). Aunque la industria ha implementado medidas como vacunación, vigilancia epidemiológica, bioseguridad, mejoramiento genético y optimización de las prácticas de manejo, la protección frente a varios de estos agentes continúa siendo parcial (7–9). Este escenario deja en evidencia la necesidad de contar con otras estrategias que puedan potenciar la respuesta inmune de los peces frente a estos patógenos.

En este contexto, la incorporación de aditivos funcionales en la dieta de los peces constituye una estrategia complementaria para mejorar la salud y resiliencia del salmón frente a factores infecciosos, nutricionales y ambientales (10). A diferencia de un ingrediente nutricional convencional, estos compuestos se incorporan generalmente en concentraciones relativamente bajas para modular

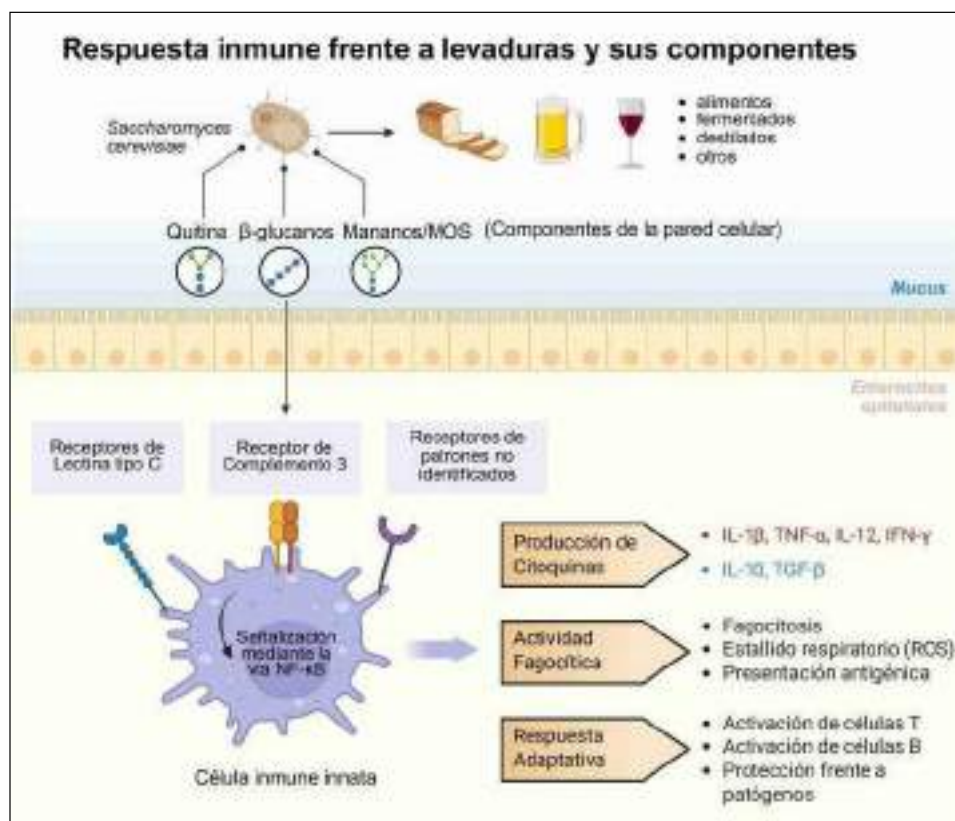


Figura 1: Modelo de la respuesta inmune inducida en peces luego de la administración de componentes de levaduras en aditivos alimenticios. La levadura *S. cerevisiae* se ha utilizado ampliamente en la elaboración de alimentos, fermentados, destilados, e incluso aditivos alimenticios para la industria acuícola. Si bien este microorganismo no es un patógeno como tal, los componentes de su pared celular (quitina, β -glucanos, mananos/MOS) son clasificados como patrones moleculares asociados a microorganismos (MAMPs), ya que son reconocidos por receptores de la respuesta inmune innata. En peces óseos, como el salmón del Atlántico, los potenciales receptores que reconocerían estas estructuras moleculares son los receptores de lectina tipo C y el receptor de complemento 3, sin embargo, la contribución de cada uno de estos receptores en la respuesta inducida aún no está establecida. Adicionalmente, es posible que existan otros receptores aún no identificados. Estos receptores son capaces de activar la vía de señalización NF- κ B, induciendo la producción de citoquinas, especies reactivas de oxígeno (ROS) y la actividad fagocítica. Dentro de estas respuestas se sugiere que estos componentes son capaces de promover la presentación antigénica, activando por tanto respuestas adaptativas mediadas por células T y células B, aumentando así la capacidad del pez para enfrentar y responder frente a distintos desafíos, como la infección por patógenos. Figura creada en <https://BioRender.com>.

procesos como la respuesta inmune, la integridad de las barreras mucosas, la composición de la microbiota y la capacidad de respuesta frente al estrés o las infecciones (11, 12). Entre estos aditivos, los derivados de levaduras, principalmente de *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*, típicamente usada en la elaboración del pan y bebidas fermentadas), han recibido especial atención debido a la presencia de β -glucanos, manano-oligosacáridos (MOS), quitina, nucleótidos, péptidos, aminoácidos y otros componentes con actividad inmunomoduladora (13). Es importante destacar que su utilización no reemplaza la vacunación, la bioseguridad o el manejo sanitario, sino que complementa estas estrategias para favorecer un estado fisiológico que permita al pez responder con mayor rapidez o eficacia frente a distintos desafíos.

Los β -glucanos de levadura están formados principalmente por polímeros de glucosas unidas mediante enlaces β -1,3, con ramificaciones β -1,6 (13). Debido a que estos polisacáridos no son producidos por los vertebrados, pueden ser reconocidos como patrones moleculares asociados a microorganismos (MAMPs) (14). Así, el reconocimiento de los β -glucanos ocurre principalmente en células de la inmunidad innata, como macrófagos, monocitos, neutrófilos y otras células fagocíticas presentes en el riñón anterior, el bazo, la sangre y la mucosa intestinal. En mamíferos, el receptor Dectin-1 es uno de los principales receptores de β -glucanos, sin embargo, en peces óseos (teleósteos), como el salmón del Atlántico, no se ha identificado de manera concluyente la existencia de un ortólogo funcional directo de Dectin-1 (15). La evidencia disponible sugiere que los peces utilizan distintos receptores extracelulares para detectar estas moléculas, como lo son los receptores de lectina tipo C, integrinas y receptor de complemento 3 (CR3), los cuales activarían la vía de señalización

NF- κ B, iniciando distintas respuestas efectoras en las células innatas (Figura 1) (15). Es importante destacar que la caracterización de estos receptores, su dependencia en el reconocimiento de estas

estructuras y la respuesta inmune inducida específicamente aún no está establecida en muchas especies de peces, incluyendo el salmón del Atlántico.

Los primeros estudios en peces teleósteos demostraron que preparaciones de β -glucano podían aumentar mecanismos de defensa asociados a respuesta innata y mejorar la resistencia frente a determinadas infecciones bacterianas (14). Estudios posteriores han mostrado efectos sobre la actividad de fagocitos, producción de mediadores inflamatorios, barreras mucosas y expresión de genes asociados con reconocimiento inmune (16–18). En las Tablas 1 y 2 se detallan los distintos aditivos comerciales formulados a base de distintos componentes de levadura y sus efectos en salmón

Tabla 1: Productos comerciales evaluados en Salmón del Atlántico a nivel intestinal y nutricional.

Producto o formulación	Composición principal	Principales resultados en salmón Atlántico
MacroGard®	β-1,3/1,6-glucano purificado de <i>S. cerevisiae</i>	Es uno de los β-glucanos comerciales más estudiados y se ha relacionado con la activación de mecanismos de reconocimiento de PAMPs a nivel intestinal y menor infestación por piojo de mar al ser administrado en dietas con harina de soya y girasol (15,19,20).
PatoGard™	Fracción de la pared de levadura rica en MOS	En dietas con harina de soya mejoró la eficiencia alimentaria, retención proteica y crecimiento, además de reducir la enteritis intestinal inducida por harina de soya (20).
Bio-Mos®	MOS derivados de <i>S. cerevisiae</i>	Se ha sugerido que aumenta la superficie absorptiva intestinal, microvellosidades y reduce la carga de piojos de mar en algunos contextos experimentales (21).
Fracción parietal rica en mananos de Lallemand®	Mananos, β-glucanos, quitina y proteína	Mejora las barreras mucosas intestinales y cutáneas, aumenta el mucus y las células caliciformes, y reduce la susceptibilidad frente a <i>Lepeophtheirus salmonis</i> en aproximadamente 16,6% (22).
Selectovit®	β-glucanos, MOS, nucleótidos y lípidos	Modifica la microbiota intestinal y cutánea, aumentando los taxones beneficiosos y reduciendo potenciales patógenos (23).
CeFi® Pro y extracto de levadura	Levadura autolisada o fracción soluble	Mejora la morfología intestinal, microvellosidades y células caliciformes (24).
Leiber® Beta-S y extracto de levadura	β-glucano o extracto de levadura	Reduce la enteritis inducida por harina de soya (25).

Tabla 2: Productos comerciales evaluados en Salmón del Atlántico a nivel inmunológico.

Producto o formulación	Modelo/ Condiciones	Variables inmunológicas evaluadas	Resultado principal
MacroGard®	In vivo (administración líquida vía oral)	Receptores candidatos de β-glucanos, cascada de señalización, citoquinas, inmunoglobulina T (IgT) y células inmunes intestinales	Aumentó la expresión de los genes de receptores: <i>sclra</i> , <i>sclrb</i> , <i>sclrc</i> , <i>cr3</i> ; moléculas señalizadoras: <i>syk</i> , <i>mapkin2</i> ; citoquinas: <i>il1b</i> y <i>mip2a</i> , además de aumentar <i>igt</i> y el número de células inmunes en el intestino distal (19).
MacroGard®	In vivo (administrado en dieta vía pellet); condiciones de hipoxia y vacunación	Citoquinas: <i>ifna1</i> , <i>il12</i> , <i>ifng</i> , <i>mx2</i> , entre otras, en respuesta a vacuna modelo (Birnagen Forte 3)	No produjo una activación basal generalizada, pero evitó la supresión de genes antivirales causada por condiciones de hipoxia y potenció la expresión de genes de la respuesta inmune frente a la vacuna (18).
MacroGard®	In vivo (administrado en dieta vía pellet); condiciones de vacunación y desafío con patógeno	Mortalidad y protección frente a <i>Moritella viscosa</i> e ISAV	Disminuyó la mortalidad y aumentó el efecto protector de una vacuna multivalente; aunque no se caracterizó la respuesta inmune inducida (26).
β-glucano soluble de Biotec Pharmacon	In vitro (leucocitos de riñón anterior)	Citoquinas: <i>il1b</i> , <i>tnf2</i> , entre otras; Degranulación, MPO, secretoma y vesículas extracelulares	Indujo una respuesta proinflamatoria, Degranulación mediada por granulocitos, y liberación de vesículas con MHC II, CD11, CD18, y proteínas de señalización (27).
CeFi® Pro	In vivo (administrado en dieta vía pellet)	Expresión a nivel intestinal de genes: <i>il1b</i> y <i>muc2</i> , análisis histológico	La levadura autolisada aumentó la expresión de <i>il1b</i> y <i>muc2</i> , las células caliciformes y los parámetros de integridad intestinal; no alteró significativamente los leucocitos circulantes (24).
LAN4 y LAN6, Lallemand®	In vivo (administrado en dieta vía pellet); condición de hipoxia	TNF-α e IL-10 plasmáticas, cortisol, mucus y transcriptómica branquial	Los productos generaron perfiles inmunorreguladores distintos: LAN4 redujo los niveles proteicos de TNF-α e IL-10 en ciertos tiempos, mientras que LAN6 favoreció una respuesta más elevada de IL-10 después de la hipoxia (28).
Leiber® Beta-S y extracto de levadura	In vivo (administrado en dieta vía pellet)	Leucocitos intraepiteliales, y expresión de genes: <i>casp3b</i> , <i>pcna</i> y <i>hsp70</i>	Se redujo la expresión de genes <i>casp3b</i> , <i>pcna</i> indicando una disminución de la apoptosis a nivel intestinal, junto con una disminución de leucocitos intraepiteliales (25).

Genes: *casp3b*: caspasa 3b; *hsp70*: proteína de shock térmico 70kDa; *ifna1*: interferón alfa 1; *ifng1*: interferón gama 1; *il1b*: interleuquina 1 beta; *il12*: interleuquina 12; *igt*: Inmunoglobulina T; *mapkin2*: MAP quinasa 2; *muc2*: mucina 2; *mx2*: proteína de resistencia a mixovirus 2; *pcna*: Antígeno nuclear de células en proliferación; *tnf2*: factor de necrosis tumoral 2

En este contexto, la iniciativa científico-tecnológica chilena “IA Levaduras” busca aprovechar la diversidad genética y funcional de las levaduras para desarrollar cepas y productos adaptados a necesidades industriales concretas, que incluye aplicaciones en enología, agricultura, entre otros, incluyendo la acuicultura. La propuesta, liderada por el Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología en Alimentos (CECTA) de la Universidad de Santiago de Chile, se enmarca en el proyecto ANID ACT250038, denominado “A new platform for the diversification and sustainability of the yeast biotechnology industry in Chile”. Su ejecución contempla la integración de capacidades en microbiología, genética, genómica, inteligencia artificial, bioprocesos, ciencia de los alimentos y biotecnología acuícola.

Esta iniciativa surge de una limitación recurrente en la industria de las levaduras: muchas de las cepas utilizadas comercialmente son importadas, provienen de un conjunto genético relativamente restringido y han sido seleccionadas para aplicaciones tradicionales, como panificación, producción de bebidas fermentadas o generación de biomasa. Sin embargo, las levaduras presentan una diversidad natural mucho mayor, distribuidas en distintos ambientes, regiones geográficas y nichos ecológicos diferentes. Esta diversidad constituye una fuente potencial de fenotipos de interés, incluyendo tolerancia a cambios de temperatura, salinidad, estrés oxidativo, acidez, disponibilidad limitada de nutrientes y capacidad de producir metabolitos o componentes celulares con actividad biológica.

IA Levaduras propone transformar esa diversidad en una plataforma sistemática de descubrimiento y desarrollo. Para ello, se plantea reunir y caracterizar una colección amplia de cepas, generando información genómica y fenotípica para cada una. Esta información puede incluir la velocidad de crecimiento, rendimiento de biomasa, utilización de distintas fuentes de carbono y nitrógeno, resistencia a condiciones de estrés y composición de la pared celular, particularmente en compuestos con efectos inmunomoduladores, todo sin tener que recurrir a técnicas GMO (organismo modificado genéticamente, por sus siglas en inglés). Posteriormente, los datos pueden ser integrados mediante herramientas de inteligencia

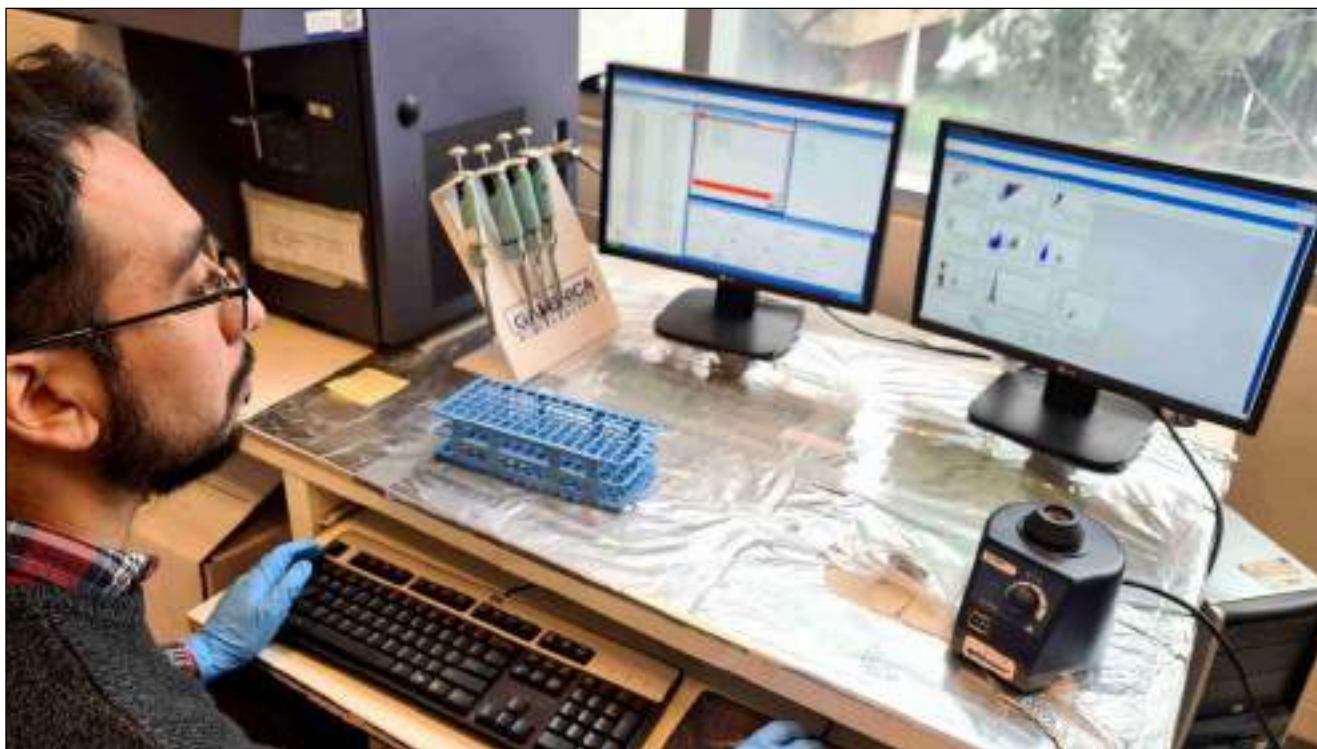
artificial y aprendizaje automático para identificar asociaciones entre variantes genéticas y características funcionales. En este contexto, la inteligencia artificial no reemplaza la experimentación ni genera organismos de manera autónoma, sino que busca reducir el número de combinaciones que deben evaluarse, identificar patrones difíciles de reconocer mediante análisis convencionales y priorizar las cepas o cruzamientos con mayor probabilidad de presentar un fenotipo determinado. Las predicciones deben ser validadas posteriormente mediante cultivos, fermentaciones, caracterización química y ensayos biológicos.

Aunque algunas de las aplicaciones más inmediatas se relacionan con fermentaciones alimentarias, IA Levaduras posee una proyección particularmente relevante para la acuicultura. En este sector, las levaduras pueden ser utilizadas tanto como ingredientes nutricionales así como fuentes de compuestos funcionales. Dependiendo de la cepa y del procesamiento, es posible utilizar la célula completa, la biomasa inactivada, la pared celular, extractos solubles, hidrolizados o fracciones purificadas ricas en β -glucanos, mananos, nucleótidos y péptidos.

Una primera aplicación corresponde al empleo de biomasa de levadura como proteína unicelular. La acuicultura moderna requiere disminuir su dependencia de harina de pescado y otras fuentes proteicas convencionales, incorporando ingredientes alternativos que mantengan el crecimiento, la conversión alimentaria y la salud intestinal. Algunas levaduras poseen un contenido proteico elevado, aportan vitaminas del complejo B y pueden producirse mediante fermentación utilizando sustratos de bajo costo o coproductos industriales. Sin embargo, su valor nutricional depende del perfil de aminoácidos, digestibilidad, contenido de ácidos nucleicos, palatabilidad y composición de la pared celular. Esta plataforma podría contribuir seleccionando cepas con mayor rendimiento de biomasa, mejor calidad proteica, menor contenido de compuestos indeseados y capacidad de crecer sobre sustratos disponibles en Chile. Además, permitiría evaluar si ciertas cepas combinan valor nutricional con propiedades funcionales, evitando que la selección se limite únicamente al contenido de proteína.



Figura 2: Estrategia experimental para la caracterización de la respuesta inmune inducida por β -glucanos aislados desde levaduras generadas durante el proyecto IA Levaduras. Figura creada en <https://BioRender.com>.



Una segunda aplicación, probablemente más distintiva, corresponde al desarrollo de aditivos inmunomoduladores. Como se mencionó previamente, la pared celular de muchas levaduras contiene β -1,3/1,6-glucanos, mananos y manoproteínas que pueden ser reconocidos por el sistema inmune innato de los peces. En el salmón Atlántico, los β -glucanos pueden interactuar con receptores de reconocimiento de patrones presentes en fagocitos y células de las mucosas. Como consecuencia de este reconocimiento, determinadas preparaciones de β -glucanos pueden inducir expresión de citoquinas, activar mecanismos fagocíticos, favorecer la degranulación y modificar la actividad antimicrobiana de leucocitos. También pueden influir sobre el epitelio intestinal, la producción de mucus y la cantidad de células caliciformes. Estos efectos son relevantes porque las mucosas del intestino, piel y branquias constituyen los principales puntos de contacto entre el pez y el ambiente acuático.

No obstante, no todas las levaduras producen paredes celulares equivalentes. La cantidad, solubilidad, longitud, peso molecular y grado de ramificación de los β -glucanos pueden variar entre cepas. También cambia la proporción de mananos, proteínas, quitina y otros componentes. A ello se suma el efecto del procesamiento: una levadura completa, una pared purificada y un hidrolizado pueden producir respuestas biológicas distintas incluso si provienen de la misma cepa. Aquí radica una de las principales oportunidades de IA Levaduras. En lugar de buscar una cepa que simplemente produzca más biomasa, la plataforma podría seleccionar levaduras en función de la composición y actividad de sus derivados. Por ejemplo, podría identificar cepas cuyas paredes celulares estimulen fagocitosis o producción controlada de especies reactivas de oxígeno, aumenten la expresión de genes de barrera o modulen citoquinas sin provocar inflamación excesiva.

Dentro de la propuesta experimental asociada a esta etapa, nuestro equipo dirigido por la Dra. Mónica Imarai, investigadora asociada de este proyecto y directora del laboratorio de Inmunología del Centro de Biotecnología Acuicola (CBA) de la USACH, está encargado de realizar la caracterización de la respuesta inmune asociada a las levaduras y β -glucanos derivados de estas (Figura 2). Esta caracterización implica evaluar la expresión de genes asociados a la respuesta inmune, lo que aborda citoquinas proinflamatorias y reguladoras, teniendo así una perspectiva general del perfil inducido, además de la evaluación de la actividad fagocítica, que corresponde a uno de los principales mecanismos empleados por macrófagos para eliminar a los patógenos, sumado también a que esta respuesta no siempre es evaluada en el contexto de los aditivos comerciales. Con esto se espera seleccionar aquellas levaduras con mayor capacidad inmunomoduladora para la generación de cepas mejoradas con potenciales usos en la industria acuícola.

En conclusión, IA Levaduras representa una oportunidad para conectar la biodiversidad microbiana, el mejoramiento de cepas, la inteligencia artificial y la validación biológica en peces. Su mayor innovación potencial para la acuicultura no consiste únicamente en reemplazar ingredientes importados, sino en desarrollar levaduras y derivados diseñados para funciones específicas: nutrición, protección de barreras mucosas, modulación inmunológica y aumento de la resiliencia frente al estrés o las infecciones. Su impacto dependerá de la capacidad de traducir las predicciones genómicas y computacionales en productos estandarizados, reproducibles y validados bajo condiciones relevantes para la producción de salmón en Chile.

FINANCIAMIENTO

Proyecto ANID ACT250038, "A new platform for the diversification and sustainability of the yeast biotechnology industry in Chile"; Fondecyt Regular 1240741; y DICYT Postdoctorado 022543IB (USACH).

BIBLIOGRAFÍA

1. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Informe sectorial de pesca y acuicultura: Consolidado 2024–2025. Valparaíso, Chile: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Gobierno de Chile; 2026.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture 2026: Blue Transformation: Turning Vision into Impact. FAO; 2026. doi:10.4060/cd8357en
3. Eissler Y, Tapia D, Canales-Aguirre CB, Yáñez JM. Epidemiological Insights Into Infectious Pancreatic Necrosis Virus: Detection, Distribution and Persistence in Chilean Salmon Farms. *Journal of Fish Diseases*. 2026;49(3):e70047. doi:10.1111/jfd.70047
4. Avendaño-Herrera R, Irgang R, Sandoval C, Moreno-Lira P, Houel A, Duchaud E, et al. Isolation, Characterization and Virulence Potential of *Tenacibaculum dicentrarchi* in Salmonid Cultures in Chile. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2016;63(2):121-6. doi:10.1111/tbed.12464
5. Rozas M, Enríquez R. Piscirickettsiosis and *Piscirickettsia salmonis* in fish: a review. *Journal of Fish Diseases*. 2014;37(3):163-88. doi:10.1111/jfd.12211
6. Godoy MG, Kibenge MJ, Suarez R, Lazo E, Heisinger A, Aguinaga J, et al. Infectious salmon anaemia virus (ISAV) in Chilean Atlantic salmon (*Salmo salar*) aquaculture: emergence of low pathogenic ISAV-HPR0 and re-emergence of virulent ISAV-HPR?: HPR3 and HPR14. *Virology*. 2013;10(1):344. doi:10.1186/1743-422X-10-344
7. Valenzuela-Aviles P, Torrealba D, Figueroa C, Mercado L, Dixon B, Conejeros P, et al. Why vaccines fail against Piscirickettsiosis in farmed salmon and trout and how to avoid it: A review. *Front Immunol*. 2022;13. doi:10.3389/fimmu.2022.1019404
8. Figueroa C, Veloso P, Espin L, Dixon B, Torrealba D, Elalfy IS, et al. Host genetic variation explains reduced protection of commercial vaccines against *Piscirickettsia salmonis* in Atlantic salmon. *Sci Rep*. 2020;10(1):18252. doi:10.1038/s41598-020-70847-9
9. Figueroa C, Torrealba D, Morales-Lange B, Mercado L, Dixon B, Conejeros P, et al. Commercial Vaccines Do Not Confer Protection against Two Genogroups of *Piscirickettsia salmonis*, LF-89 and EM-90, in Atlantic Salmon. *Biology*. 2022;11(7):993. doi:10.3390/biology11070993
10. Torres-Maravilla E, Parra M, Maisey K, Vargas RA, Cabezas-Cruz A, Gonzalez A, et al. Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*. 2024;12(3):626. doi:10.3390/microorganisms12030626
11. Bai SC, Katya K, Yun H. 7 - Additives in aquafeed: An overview. En: Davis DA, editor. *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*. Oxford: Woodhead Publishing; 2015. p. 171-202. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). doi:10.1016/B978-0-08-100506-4.00007-6
12. Encarnação P. 5 - Functional feed additives in aquaculture feeds. En: Nates SF, editor. *Aquafeed Formulation*. San Diego: Academic Press; 2016. p. 217-37. doi:10.1016/B978-0-12-800873-7.00005-1
13. Machuca C, Méndez-Martínez Y, Reyes-Becerril M, Angulo C. Yeast β -Glucans as Fish Immunomodulators: A Review. *Animals*. 2022;12(16):2154. doi:10.3390/ani12162154
14. Hadiuzzaman M, Moniruzzaman M, Shahjahan M, Bai SC, Min T, Hossain Z. β -Glucan: Mode of Action and Its Uses in Fish Immunomodulation. *Front Mar Sci*. 2022;9. doi:10.3389/fmars.2022.905986
15. Petit J, Bailey EC, Wheeler RT, de Oliveira CAF, Forlenza M, Wiegertjes GF. Studies Into β -Glucan Recognition in Fish Suggests a Key Role for the C-Type Lectin Pathway. *Front Immunol*. 2019;10. doi:10.3389/fimmu.2019.00280
16. Iliev DB, Strandskog G, Sobhkhaz M, Bruun JA, Jørgensen JB. Secretome Profiling of Atlantic Salmon Head Kidney Leukocytes Highlights the Role of Phagocytes in the Immune Response to Soluble β -Glucan. *Front Immunol*. 2021;12. doi:10.3389/fimmu.2021.736964
17. Petit J, de Bruijn I, Goldman MRG, van den Brink E, Pellikaan WF, Forlenza M, et al. β -Glucan-Induced Immuno-Modulation: A Role for the Intestinal Microbiota and Short-Chain Fatty Acids in Common Carp. *Front Immunol*. 2022;12. doi:10.3389/fimmu.2021.761820
18. Rodríguez FE, Valenzuela B, Farías A, Sandino AM, Imai M. β -1,3/1,6-Glucan-supplemented diets antagonize immune inhibitory effects of hypoxia and enhance the immune response to a model vaccine. *Fish & Shellfish Immunology*. 2016;59:36-45. doi:10.1016/j.fsi.2016.10.020
19. Kiron V, Kulkarni A, Dahle D, Vasanth G, Lokesh J, Elvebo O. Recognition of purified beta 1,3/1,6 glucan and molecular signalling in the intestine of Atlantic salmon. *Developmental & Comparative Immunology*. 2016;56:57-66. doi:10.1016/j.dci.2015.11.007

20. Refstie S, Baeverfjord G, Seim RR, Elvebø O. Effects of dietary yeast cell wall β -glucans and MOS on performance, gut health, and salmon lice resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed sunflower and soybean meal. *Aquaculture*. 2010;305(1):109-16. doi:10.1016/j.aquaculture.2010.04.005

21. Dimitroglou A, Reynolds P, Ravnøy B, Johnsen F, Sweetman JW, Johansen J, et al. The effect of mannan oligosaccharide supplementation on Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.) fed diets with high levels of plant proteins. *J Aquacult Res Dev S*. 2011;1(011).

22. Leclercq E, Pontefract N, Rawling M, Valdenegro V, Aasum E, Andujar LV, et al. Dietary supplementation with a specific mannan-rich yeast parietal fraction enhances the gut and skin mucosal barriers of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and reduces its susceptibility to sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*). *Aquaculture*. 2020;529:735701. doi:10.1016/j.aquaculture.2020.735701

23. Baumgärtner S, James J, Ellison A. The supplementation of a prebiotic improves the microbial community in the gut and the skin of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Reports*. 2022;25:101204. doi:10.1016/j.aqrep.2022.101204

24. Odu-Onikosi SG, Momoh TA, Abarra ST, Wood NE, Amulejoye FD, Emery M, et al. Impact of Autolysed Brewer's Yeast and Soluble Dried Yeast Extract on Growth Performance and Mucosal Health of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Parr. *Animals*. 2025;15(3):323. doi:10.3390/ani15030323

25. Momoh TA, Odu-Onikosi SG, Amulejoye FD, Wilson J, Eynon B, Kühlwein H, et al. Brewers' Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) Purified Functional Feed Additives Mitigate Soybean Meal-Induced Enteritis in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Parr. *Aquaculture Nutrition*. 2025;2025(1):8555658. doi:10.1155/anu/8555658

26. de O. Roberti Filho F, Koch JFA, Wallace C, Leal MC. Dietary β -1,3/1,6-glucans improve the effect of a multivalent vaccine in Atlantic salmon infected with *Moritella viscosa* or infectious salmon anemia virus. *Aquacult Int*. 2019;27(6):1825-34. doi:10.1007/s10499-019-00436-9

27. Bridle AR, Carter CG, Morrison RN, Nowak BF. The effect of β -glucan administration on macrophage respiratory burst activity and Atlantic salmon, *Salmo salar* L., challenged with amoebic gill disease – evidence of inherent resistance. *Journal of Fish Diseases*. 2005;28(6):347-56. doi:10.1111/j.1365-2761.2005.00636.x

28. Morales-Lange B, Djordjevic B, Gaudhaman A, Press CM, Olson J, Mydland LT, et al. Dietary Inclusion of Hydrolyzed *Debaryomyces hansenii* Yeasts Modulates Physiological Responses in Plasma and Immune Organs of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Parr Exposed to Acute Hypoxia Stress. *Front Physiol*. 2022;13. doi:10.3389/fphys.2022.836810

BIOGRAFÍAS

Pablo A. Palacios

Dr. Pablo A. Palacios es Bioquímico de la Universidad de Santiago de Chile titulado el año 2019, y obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Biomédicas de la Universidad de Chile el año 2025, bajo la tutoría del Dr. Leandro Carreño con la tesis titulada "Recombinación de Cambio de Clase Inducida por las Células Natural Killer T en la Respuesta Humoral Contra Antígenos T-Independientes". Actualmente es investigador postdoctoral en el laboratorio de Inmunología del Centro de Biotecnología Acuicola (CBA) bajo la conducción de la Dra. Mónica Imarai (proyecto DICYT USACH 0225431B_Post doc) y también participa como investigador postdoctoral en el proyecto ANID, Anillos Regulares de Tecnología 2025, código ACT250038, titulado "A new platform for the diversification and sustainability of the yeast biotechnology industry in Chile", encargado de la caracterización funcional e inmunológica de las levaduras y sus derivados (β -glucanos, mananoproteínas y otros polisacáridos de pared celular).

Roque Scarpa Palacios

Roque Scarpa Palacios es Bioquímico de la Universidad de Santiago de Chile titulado en el año 2024 bajo la dirección de la doctora Mónica Imarai Bahamonde con la tesis titulada "Purificación de IL-10A e IL-10B recombinantes del salmón del Atlántico y evaluación de su efecto inmunosupresor in vitro". En la actualidad participa como investigador en el proyecto ANID, Anillos Regulares de Tecnología 2025, código ACT250038, titulado "A new platform for the diversification and sustainability of the yeast biotechnology industry in Chile", encargado de la caracterización funcional e inmunológica de las levaduras y sus derivados (β -glucanos, mananoproteínas y otros polisacáridos de pared celular).

UST
UNIVERSIDAD SANTIAGO TOMÁS

CAPIA
Centro de Investigación
Acuícola y Pesquero



CIENCIA
INNOVACIÓN

Apoyamos el desarrollo del
sector acuícola y pesquero
del sur de Chile

EDUCACIÓN

www.ust.cl/capia

TECNOLOGÍA

INVESTIGACIÓN



Innovación aplicada para una acuicultura sostenible: Soluciones desde CAPIA, UST, para los desafíos del sector



Marcela Ávila, Caroline Yans, Ivonne Lee, Florencia Navarrete y Ricardo Riquelme¹

Centro Acuícola Pesquero de investigación Aplicada (CAPIA)
Facultad de Recursos Naturales y Medicina Veterinaria
Universidad Santo Tomás

El Centro Acuícola y Pesquero de Investigación Aplicada (CAPIA) creado en el año 2012 y ubicado en Puerto Montt, es uno de los 9 centros de investigación con que cuenta la Universidad Santo Tomás a lo largo del país. Cuenta con un equipo multidisciplinario de profesionales que participa activamente en comités técnicos locales y regionales que mantiene una presencia permanente en terreno y dispone de infraestructura especializada enfocado en el desarrollo de investigación aplicada. Entre sus capacidades destacan laboratorios para cultivo controlado de organismos acuáticos, biología molecular, evaluación ecofisiológica, tecnologías asociadas a la Industria 4.0 e inteligencia artificial (IA), así como líneas de trabajo orientadas a la economía circular.



Estas capacidades permiten al Centro responder de manera oportuna y pertinente a las principales necesidades y desafíos del sector pesquero y acuícola, generando soluciones basadas en evidencia científica y tecnológica. Actualmente, CAPIA ejecuta proyectos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en colaboración con otros centros científicos de relevancia como el Centro Internacional Cabo de Hornos (CHIC), universidades, empresas, organizaciones

gremiales, sector público y otros actores del sector, abordando problemáticas específicas y promoviendo el desarrollo sostenible, la innovación, valorización y el fortalecimiento de la competitividad de la pesca y la acuicultura en la región.

Entre las directrices abordadas por el centro se encuentran:

VALORIZACIÓN DE BIOPRODUCTOS

El proyecto “Obtención de Porphyrans desde cultivo controlado de *Pyropia*/Porphyras: un compuesto con poder hipoglucemiante” dirigido por la Prof. Caroline Yans, nutricionista, tiene como propósito desarrollar una tecnología para producir biomasa de luche (*Pyropia spp.*) bajo condiciones controladas, libre

de contaminantes metálicos, y utilizarla para obtener un producto con propiedades funcionales mediante un proceso de química verde, con potencial aplicación como ingrediente funcional para la prevención o tratamiento de la diabetes tipo 2. La propuesta responde a la necesidad de valorizar el luche chileno mediante la generación de un producto de alto valor agregado.

¹Marcela Ávila Directora CAPIA, UST
Caroline Yans, Directora carrera Nutrición y dietética, UST Puerto Montt
Ivonne Lee, Académica Titular e investigadora CAPIA
Florencia Navarrete, Investigadora CAPIA
Ricardo Riquelme, Investigador CAPIA

Para el logro del objetivo propuesto se considera el establecimiento de un sistema de cultivo combinado mar-estancos, la optimización de la extracción mediante procesos amigables con el medio ambiente, la caracterización fisicoquímica de los extractos y la evaluación de su actividad biológica.

A la fecha, las actividades del proyecto presentan un avance significativo, donde se ha logrado implementar exitosamente el sistema de cultivo mediante captación natural en dos localidades de la Región de Los Lagos (Hueihue y San Antonio), obteniendo niveles de biomasa significativos los cuales han sido liofilizados para su análisis. Los ensayos de depuración permitieron optimizar las condiciones de cultivo, identificando que el fertilizante Basfoliar favorece el crecimiento de la biomasa durante el proceso de descontaminación, mientras que Algamax mostró un efecto inhibitorio. Asimismo, los análisis de metales pesados mediante ICP-MS evidenciaron que el protocolo de depuración reduce las concentraciones de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en la biomasa proveniente de San Antonio, destacando una disminución del 44 % en plomo. En la biomasa de Hueihue se observaron respuestas variables, lo que permitió identificar la influencia del origen de la biomasa y de factores ambientales sobre la eficiencia del proceso. En ambas localidades, las concentraciones finales de plomo y mercurio se ubicaron dentro de rangos aceptables para consumo humano, mientras que el cadmio continúa siendo el principal desafío para optimizar el protocolo.

En conjunto, los resultados obtenidos, después de 10 meses de ejecución, validan parcialmente la hipótesis principal y demuestran la factibilidad técnica del sistema de cultivo y depuración, estableciendo una base sólida para la siguiente etapa del proyecto, orientada a la extracción del producto con propiedades funcionales y la evaluación de su actividad hipoglucemiante. Además, los avances alcanzados fortalecen la proyección tecnológica y comercial de una biomasa diferenciada, segura y con potencial aplicación en el desarrollo de ingredientes nutracéuticos de alto valor agregado.



INNOVACIÓN Y APOYO TECNOLÓGICO A LA MITILICULTURA

La mitilicultura chilena, pilar estratégico de la economía nacional y regional, enfrenta actualmente un "cuello de botella" crítico: la inestabilidad en la captación y disponibilidad de semillas de *Mytilus chilensis*. La dependencia de los bancos naturales, sumada al desprendimiento masivo de semillas provocado por factores ambientales asociados al cambio climático, como el aumento de la temperatura superficial y variaciones de salinidad, ha generado pérdidas económicas superiores a los \$1500 millones de pesos en los últimos años.

Frente a este desafío, CAPIA se ha adjudicado recientemente el proyecto Fondef ID26110212 "Semillas de *Mytilus chilensis*: Innovación en el sistema de captación para reducir el desprendimiento, aumentar la retención y potenciar la mitilicultura nacional". Esta iniciativa tiene como objetivo general desarrollar y validar un sistema de captación innovador diseñado específicamente para reducir el desprendimiento y aumentar la retención de las semillas. Para lograrlo, la propuesta integra ciencia aplicada mediante un diseño experimental que transita desde el laboratorio hasta el mar. El proceso comienza con la caracterización de las causas biológicas y ambientales del

desprendimiento bajo condiciones controladas, para luego validar en entornos reales un sistema de prueba adaptable que incorpora la dinámica natural de fijación larval.

Según declara su directora, la Dra. Ivonne Lee, investigadora principal de CAPIA, el principal resultado tecnológico será un Modelo Integral de captación eficiente y sostenible. Este modelo se compone de un prototipo de colector adaptable a la variabilidad ambiental, protocolos estandarizados de calidad y un programa de formación de especialistas para las entidades asociadas.

Con la meta de reducir el desprendimiento respecto a los métodos tradicionales, esta iniciativa liderada por la Universidad Santo Tomás, en alianza con productores de semillas del sector de Hornopiren,

como el Sindicato La Arena, Sindicato de Quiaca y Cooperativa de Cholgo, de la Región de Los Lagos, busca asegurar la sostenibilidad y competitividad de la industria semillera nacional frente a los nuevos escenarios climáticos. Además de estas entidades locales, el proyecto cuenta con una alianza estratégica de colaboración internacional con la University of Auckland, de Nueva Zelanda. Por otra parte, la industria mitilicultora chilena que actualmente ocupa el segundo lugar mundial en producción, después de China, a pesar del sostenido crecimiento durante las últimas décadas, su desarrollo ha enfrentado diversos desafíos que afectan su productividad y sustentabilidad. Destacando entre las principales problemáticas, la ocurrencia de eventos de marea roja, la escasez de semillas como se mencionó en los párrafos precedentes, y la disminución en la disponibilidad de alimento para los cultivos. Esta última, ha provocado una reducción en las tasas de crecimiento y de rendimiento del chorito en los centros de engorda, retrasando los tiempos de cosecha y afectando la planificación productiva.

La fuerte dependencia de la mitilicultura respecto de las condiciones ambientales explica gran parte de esta vulnerabilidad, ya que los mejillones son organismos filtradores cuya alimentación depende directamente de la disponibilidad de fitoplancton y de las características del medio. Como consecuencia, en numerosos casos se desconocen las causas específicas que originan eventos de bajo crecimiento en biomasa y talla, dificultando la toma de decisiones y constituyendo un aspecto crítico para la sustentabilidad de la industria.



Si bien el sector cuenta con un importante registro histórico de información productiva proveniente de los centros de cultivo, estos datos presentan limitaciones que restringen su utilización para la gestión predictiva. Entre ellas se encuentran la escasez de series históricas de seguimiento de variables como talla, biomasa, densidad y desarrollo gonadal, así como la ausencia de herramientas que permitan predecir el comportamiento productivo en función de la ubicación geográfica mediante modelos matemáticos. En este contexto, las principales empresas mitilicultoras disponen del personal capacitado para realizar los muestreos requeridos, pero carecen de las capacidades científico-tecnológicas necesarias para desarrollar, calibrar y actualizar modelos predictivos de crecimiento para sus centros de cultivo.

En respuesta a esta necesidad, el proyecto ANID IT25I0032 "Plataforma digital para el monitoreo de variables productivas y optimización de cultivos de *Mytilus chilensis* mediante captura sistemática de datos, modelado y análisis predictivo avanzado", adjudicado por CAPIA y dirigido por Florencia Navarrete, investigadora del centro, propone el desarrollo de una calculadora predictiva capaz de estimar el crecimiento del mejillón chileno según la zona geográfica de cultivo. Esta herramienta permitirá calcular automáticamente variables productivas como talla, biomasa y densidad en función del tiempo transcurrido entre la siembra y la cosecha, facilitando la planificación de las operaciones de cultivo.

En este contexto, el objetivo general del proyecto ANID IT25I0032 es desarrollar un modelo predictivo para estimar las principales variables productivas del cultivo del mejillón chileno mediante un modelo autoadministrable de crecimiento potencial de *Mytilus chilensis* en sistemas de cultivo extensivo. El proyecto, que tienen 6 meses de ejecución hasta ahora, ha avanzado en la realización del muestreo productivo de varios centros de cultivo en el área del mar interior de Chiloé, además del desarrollo de la plataforma donde se están ingresando los datos productivos y abióticos del proyecto, espacio que permitirá la estimación de las curvas de crecimientos específicas para cada centro.

El proyecto busca avanzar en la automatización del monitoreo y la predicción de variables productivas del cultivo de *Mytilus chilensis*. La incorporación de modelos de crecimiento potencial, junto con información sobre el desarrollo gonadal, permitirá optimizar la programación de las cosechas, priorizando aquellos centros con mejores condiciones de crecimiento y mayor rendimiento. Asimismo, esta información contribuirá a mejorar la coordinación entre la etapa de engorda y las plantas de proceso, considerando que el destino comercial de los choritos depende de su talla y que las estrategias de cosecha responden a los compromisos comerciales establecidos con los mercados internacionales.

El proyecto cuenta con el apoyo de empresas de la mitilicultura: Submaris Chile SA, Apiao SA y Landes Mussels SA junto con la Asociación Gremial de Mitilicultores AmiChile.



HATCHERY FORTALECE LA RESTAURACIÓN DE BANCOS NATURALES DE OSTRA CHILENA

La recuperación de los bancos naturales de ostra chilena (*Ostrea chilensis*) constituye uno de los principales desafíos para la conservación y el uso sustentable de este recurso en el sur de Chile. La disminución de sus poblaciones, producto de la sobreexplotación, la extracción ilegal y la degradación del hábitat, han impulsado el desarrollo de nuevas estrategias que complementen los procesos naturales de recuperación.

En este contexto, estamos desarrollando en CAPIA el proyecto "Captación natural de semillas de ostra chilena a través de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) y la aclimatación de reproductores", financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID). Según su director Ricardo Riquelme, investigador del centro, incorpora el uso de un hatchery como una herramienta innovadora para fortalecer los programas de restauración ecológica de la especie. A diferencia del cultivo convencional, en esta propuesta el hatchery no busca producir semillas para fines productivos, sino acondicionar reproductores bajo condiciones controladas de temperatura, alimentación y fotoperiodo, optimizando su condición fisiológica y reproductiva. Este manejo permite adelantar y sincronizar procesos reproductivos, generando ejemplares en mejores condiciones para futuras acciones de restauración y evaluación del reclutamiento natural.

El sistema utilizado fue desarrollado previamente por el equipo de CAPIA mediante una tecnología de recirculación de agua en circuito cerrado, protegida mediante patente institucional. Esta plataforma permite controlar variables ambientales críticas y desacoplar parcialmente el ciclo reproductivo de la especie, ampliando las oportunidades para desarrollar investigaciones y apoyar programas de recuperación de bancos naturales.

Actualmente, el proyecto mantiene reproductores provenientes de Hueihue, Calbuco y la Reserva Marina de Pullinque, de la Región de Los Lagos. En la siguiente etapa se evaluará el desempeño de estos distintos orígenes sobre prototipos de arrecifes biogénicos previamente instalados, comparando ejemplares acondicionados

en hatchery con reproductores provenientes directamente de bancos naturales. Paralelamente, el equipo desarrolla una caracterización genética de las poblaciones estudiadas para resguardar su diversidad e identidad biológica durante futuras acciones de restauración y repoblamiento.

Esta iniciativa articula el trabajo conjunto de la Academia, pescadores artesanales de Ancud, sector privado con las empresas Cultivos Cholche y Cultivos Rulú, y el sector público con Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), conformando una alianza público-privada orientada a desarrollar soluciones innovadoras para la recuperación de la ostra chilena. Bajo este enfoque, el hatchery deja de ser solo una infraestructura de cultivo para transformarse en una herramienta tecnológica al servicio de la restauración ecológica, complementando los procesos naturales y fortaleciendo la recuperación de bancos naturales y de los servicios ecosistémicos que estos proveen.

Los proyectos desarrollados por CAPIA reflejan una visión de la investigación aplicada orientada a responder a desafíos concretos del sector acuícola, integrando ciencia, innovación tecnológica, sostenibilidad y colaboración con actores públicos, privados y territoriales. La valorización de recursos como el luche, el desarrollo de nuevas herramientas para fortalecer la mitilicultura y la aplicación de tecnologías de cultivo al servicio de la restauración de la ostra chilena muestran cómo la generación de conocimiento puede traducirse en soluciones con impacto productivo, ambiental y social. Sin embargo, los desafíos futuros son crecientes: el cambio climático, la variabilidad ambiental, la disponibilidad de semillas, la seguridad e inocuidad de los productos, la recuperación de ecosistemas degradados y la necesidad de incorporar herramientas digitales y predictivas exigirán una acuicultura cada vez más resiliente, eficiente y basada en conocimiento.

En este escenario, el fortalecimiento de la articulación entre academia, industria, comunidades y sector público es fundamental para acelerar la transferencia de soluciones, formar nuevas capacidades y avanzar hacia un sector pesquero y acuícola capaz de adaptarse a los cambios, generar mayor valor y contribuir de manera sostenible al desarrollo de los territorios costeros del sur de Chile.



CHILE AUSTRAL SPA
Equipos y Montajes

Prestamos una amplia gama de servicios diversos, enfocados a las necesidades de los usuarios que requieren tareas específicas.

Ejemplo de ellos son:



Estructuras Metálicas



Plantas de Tratamiento Lodos Activados



Electrofusión



Plantas de tratamiento para artefactos navales

+56 9 9802 4148

| correo@chileaustralspa.cl

| Puerto Montt

Biotechnología para alimentar el futuro: Edición genética, agricultura y el desafío de una nueva agroindustria en Chile



Daniel Nieto Díaz-Muñoz PhD

Gerente Programa Tecnológico PTEC-INVA.

www.inva.cl

INTRODUCCIÓN

Durante gran parte del siglo XX, la relación era simple: la pesca proveía harina y aceite de pescado, y esos ingredientes alimentaban a peces, aves y otros animales de producción. Sin embargo, el crecimiento sostenido de la acuicultura mundial, el aumento de la demanda por alimentos de origen animal y las limitaciones naturales de las pesquerías han impulsado una transformación silenciosa pero profunda.

La salmonicultura chilena constituye uno de los mejores ejemplos de este cambio. En sus primeros años, las dietas de los salmones contenían altas proporciones de harina y aceite de pescado. Hoy, en cambio, la mayor parte de la proteína y una fracción significativa de la energía utilizada en los alimentos provienen de ingredientes vegetales como soya, trigo, canola, lupino y otras materias primas agrícolas.

Esta transición no responde únicamente a razones económicas. También refleja una realidad global: la necesidad de diversificar fuentes de abastecimiento, reducir dependencias estratégicas y construir sistemas alimentarios más resilientes frente a las crecientes incertidumbres geopolíticas, climáticas y logísticas.

UNA OPORTUNIDAD PARA CHILE

La discusión adquiere especial relevancia a la luz de los datos de la reciente Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA 2025/26) publicada por ODEPA e INE. Según esta fuente oficial, Chile registra más

de 1,1 millones de hectáreas sembradas o plantadas, incluyendo aproximadamente 594 mil hectáreas de cereales, 119 mil hectáreas de cultivos industriales, además de importantes superficies de forrajeras, leguminosas y hortalizas. Estas cifras muestran que el país dispone de una base agrícola significativa y de capacidades productivas ampliamente distribuidas entre las regiones de Coquimbo y Magallanes.

Pero el desafío ya no consiste solamente en producir más hectáreas. El desafío es producir materias primas de mayor valor agregado, capaces de satisfacer las necesidades nutricionales de industrias tan exigentes como la salmonicultura, la avicultura y la producción porcina: todas estas industrias importan la mayor parte de sus insumos vegetales para la alimentación de sus sistemas productivos.

Justamente aquí es donde la biotecnología comienza a desempeñar un papel fundamental.

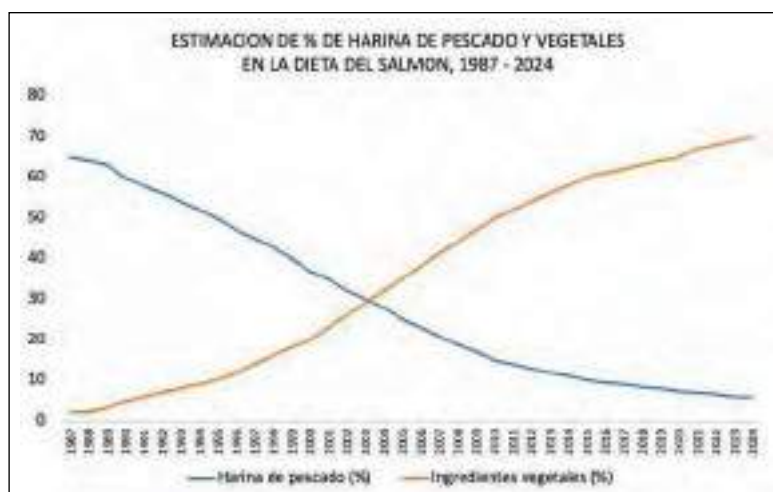


Gráfico 1: Gráfico de tendencias de insumos vegetales e insumos marinos en la dieta de los salmones, Chile, 1987 - 2024.

LA NUEVA GENERACIÓN DE CULTIVOS

La industria moderna de alimentos animales demanda dos grandes grupos de ingredientes:

- Proteínas vegetales de alta calidad, capaces de reemplazar parcial o totalmente fuentes tradicionales.
- Aceites ricos en ácidos grasos esenciales, particularmente Omega-3 de cadena larga como EPA y DHA, esenciales para los salmones.

En este contexto, algunos cultivos presentan características especialmente interesantes. El lupino, por ejemplo, posee una larga historia agrícola en el sur de Chile. Gracias al mejoramiento genético convencional y a los avances recientes en genómica, algunas líneas experimentales están alcanzando concentraciones proteicas significativamente superiores a las variedades tradicionales.

Por otra parte, cultivos oleaginosos como el raps (o canola) y la camelina se han transformado en plataformas de enorme interés para el desarrollo de aceites funcionales destinados tanto a la nutrición animal como humana. La pregunta científica es evidente: ¿podemos desarrollar variedades que produzcan más proteína, más aceite o perfiles nutricionales más específicos? La respuesta es sí, y una de las herramientas más prometedoras para lograrlo es la edición genética.

¿QUÉ ES REALMENTE LA EDICIÓN GENÉTICA?

La edición genética suele generar confusión porque con frecuencia se mezcla con el concepto de organismos genéticamente modificados (GMO). Aunque ambas tecnologías pertenecen al ámbito de la biotecnología moderna, no son equivalentes. Los organismos transgénicos clásicos generalmente incorporan ADN proveniente de otra especie. Por ejemplo, un gen bacteriano puede introducirse en una planta para conferir una determinada característica.

La edición genética funciona de manera distinta. Herramientas como CRISPR-Cas9 permiten realizar modificaciones extremadamente precisas en el ADN propio del organismo, eliminando, activando o modificando secuencias ya existentes sin necesidad de incorporar material genético externo. Una analogía útil consiste en imaginar un documento digital. Mientras la transgénesis puede compararse a insertar un párrafo proveniente de otro documento, la edición genética se parece más a corregir una palabra, eliminar una frase o ajustar una instrucción dentro del texto original.

Esta diferencia ha motivado que numerosos países desarrollen marcos regulatorios específicos para distinguir ambas tecnologías y la edición genética cada día logra mayores avances, tanto científicos como legales.



DEL LABORATORIO AL CAMPO

Efectivamente, la edición genética ya está siendo utilizada en diversos cultivos alrededor del mundo. Entre las aplicaciones reportadas se encuentran:

- Resistencia a enfermedades;
- Tolerancia a la sequía;
- Mejora de rendimiento;
- Modificación de composición nutricional;
- Reducción de compuestos antinutricionales;
- Optimización de perfiles de aceites vegetales.

Para una industria como la salmonicultura, las posibilidades son particularmente interesantes. Imaginemos un lupino capaz de alcanzar mayores concentraciones proteicas sin sacrificar rendimiento agrícola. O una camelina capaz de producir alguna cantidad de ácidos grasos Omega-3. O también variedades mejor adaptadas a condiciones climáticas específicas del sur de Chile. No se trata de ciencia ficción. Se trata de líneas de investigación que ya están siendo exploradas en distintos países y centros de investigación. Y Chile está a la cabeza de estas investigaciones, sin la menor duda.

En efecto, una de las fortalezas menos conocidas del país es la existencia de capacidades científicas avanzadas en genómica vegetal y biotecnología. Instituciones como el INIA, o el Centro de Genómica Nutricional Agroacuicola (CGNA) en Temuco han desarrollado durante años investigación aplicada en mejoramiento vegetal, genómica y nutrición. De manera complementaria, empresas biotecnológicas nacionales como Neocrop Technologies están impulsando nuevas aproximaciones para acelerar el desarrollo de cultivos mediante herramientas modernas de edición genética y biología molecular.

Estas capacidades se suman a universidades, centros tecnológicos y empresas que ya participan activamente en investigación agrícola y acuicola. En otras palabras, Chile no parte desde cero.

La infraestructura científica existe. El conocimiento existe. La oportunidad también.

MÁS ALLÁ DEL SALMÓN: UNA VISIÓN DE SISTEMA ALIMENTARIO

La relevancia de estos desarrollos trasciende ampliamente a la salmonicultura. Chile mantiene importantes importaciones de proteínas vegetales y materias primas destinadas a la alimentación animal. Lo mismo ocurre en numerosos países que dependen de cadenas globales de suministro cada vez más complejas.

Pero, evidentemente los acontecimientos recientes han demostrado que estas cadenas no son invulnerables: pandemias,

conflictos geopolíticos, interrupciones logísticas, eventos climáticos extremos y volatilidad energética han puesto de manifiesto la fragilidad de sistemas altamente dependientes de insumos producidos a miles de kilómetros de distancia. Entonces, la discusión ya no es únicamente ambiental. También es económica, estratégica y territorial.

EL OCÉANO YA NO ES SUFICIENTE

La situación actual de los ingredientes marinos refuerza esta tendencia. Según reportes internacionales recientes de la industria, la producción mundial de harina y aceite de pescado ha enfrentado importantes restricciones asociadas principalmente a fluctuaciones en la disponibilidad de anchoveta peruana, una de las principales materias primas del sector. En concreto, según el último reporte de la Organización de Ingredientes Marinos (IFFO), durante el primer cuatrimestre de 2026, la producción global de aceite de pescado retrocedió un 14% acumulado, mientras que la harina de pescado cayó un 21% interanual. Como consecuencia, las condiciones oceanográficas asociadas a eventos climáticos como El Niño han obligado a implementar restricciones pesqueras y medidas precautorias destinadas a proteger los recursos. Desde una perspectiva de sustentabilidad, estas decisiones son razonables y necesarias. Sin embargo, también ponen de manifiesto una realidad fundamental: los recursos marinos son finitos.

En este escenario, que no va a cambiar, la acuicultura del futuro – y la del presente – no podrá depender exclusivamente de aquellos recursos. La solución no consiste en reemplazar completamente la harina y el aceite de pescado, sino en complementarlos inteligentemente con nuevas fuentes agrícolas, biotecnológicas y circulares capaces de sostener el crecimiento de la producción de alimentos.

LA CONDICIÓN INDISPENSABLE: CONSTRUIR MERCADO

Existe, sin embargo, una dimensión que suele quedar fuera de las discusiones sobre innovación agrícola y biotecnología: podemos desarrollar variedades con mayor contenido proteico, mejorar rendimientos mediante edición genética, optimizar perfiles lipídicos o generar cultivos más resistentes al estrés climático. Todo ello es valioso. Pero nada de eso será suficiente si no existe una demanda real, explícita y visible desde la industria usuaria. Para lo cual debemos además generar un sello de “Hecho con Agricultura Chilena”,

La experiencia internacional demuestra que los procesos de sustitución de importaciones agrícolas no ocurren espontáneamente. Requieren señales de mercado claras y de largo plazo. En el caso chileno, ello implica que fabricantes de alimento para salmones (y eventualmente otros) manifiesten explícitamente su disposición a incorporar materias primas

nacionales cuando estas alcancen los estándares técnicos y económicos requeridos.

Aquí aparece una herramienta fundamental: los contratos agrícolas.

La existencia de contratos de suministro entre agricultores, procesadores y usuarios finales permite reducir incertidumbre, facilitar financiamiento, acelerar la adopción tecnológica y generar las condiciones necesarias para que los productores se atrevan a invertir en nuevos cultivos y nuevas tecnologías. Porque, en definitiva, el agricultor no siembra proteínas ni ácidos

La edición genética, la genómica, la fenómica, la inteligencia artificial aplicada al mejoramiento vegetal y las nuevas herramientas de biología molecular representan mucho más que avances científicos, representan una oportunidad para construir capacidades propias, capacidades que permitan diseñar cultivos adaptados a nuestras condiciones productivas, responder a las necesidades de nuestras industrias y reducir dependencias externas en materias primas estratégicas.

En otras palabras, hablamos de soberanía tecnológica aplicada a los sistemas alimentarios.



UNA OPORTUNIDAD HISTÓRICA

Durante décadas Chile demostró que podía construir una industria salmonera de clase mundial. Y efectivamente lo hizo. Hoy aparece una nueva oportunidad: construir una agroindustria basada en ciencia, biotecnología y producción sustentable de proteínas y aceites.

La cuestión vital ahora no es si estas transformaciones ocurrirán, sino si seremos protagonistas de ellas o simples importadores de

grasos. El agricultor siembra expectativas de rentabilidad. Y esa rentabilidad depende de que exista una cadena productiva completa, donde cada eslabón —desde el mejoramiento genético hasta la formulación de alimentos— comparta riesgos, beneficios y una visión común de largo plazo.

Mirado así, la gran oportunidad para Chile no consiste únicamente en desarrollar mejores cultivos. Consiste en construir una nueva relación entre agricultura, industria y ciencia, capaz de transformar conocimiento en producción, producción en mercado y mercado en desarrollo territorial.

DE LA DEPENDENCIA A LA SOBERANÍA TECNOLÓGICA

Siendo este el contexto, la pregunta estratégica más importante para Chile no es solo cuántas hectáreas adicionales podemos sembrar; la pregunta es si seremos capaces de desarrollar las tecnologías que permitan producir más proteína, más aceite y más valor por hectárea y hacerlo dentro de un circuito virtuoso de la economía. Entender consensuadamente esto es fundamental.

soluciones desarrolladas en otros países. En este contexto, la evolución de iniciativas como el PTEC INVA representa mucho más que el desarrollo de nuevos cultivos. Podría transformarse en el punto de partida para una plataforma nacional orientada al desarrollo de proteínas y aceites de nueva generación, capaces de abastecer a la salmicultura, la avicultura y la porcicultura del futuro.

REFERENCIAS SELECCIONADAS

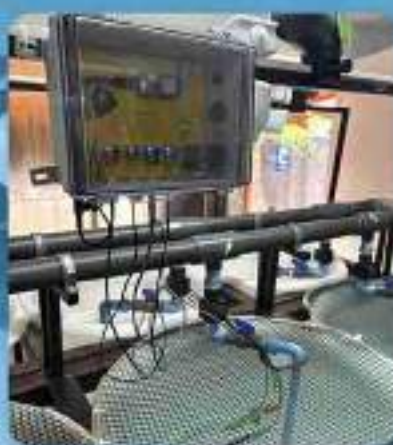
- ODEPA – Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2025/26.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture.
- European Commission. New Genomic Techniques in Agriculture.
- U.S. Food and Drug Administration (FDA). Guidance on Genome Editing.
- CGNA – Centro de Genómica Nutricional Agroacuicola.
- IFFO – Marine Ingredients Organisation.
- Nature Biotechnology.
- Nature Plants.
- CRISPR-Cas Systems: Recent Advances and Applications in Crop Improvement.



Ingeniería de datos para entornos críticos

Diseñamos soluciones tecnológicas avanzadas que convierten la información en decisiones estratégicas para operaciones acuícolas de alta exigencia.

- » Soluciones adaptadas a entornos críticos
- » Datos en tiempo real
- » Sensores de alta precisión
- » Conectividad y autonomía
- » Integración e interoperabilidad



PRECISIÓN » DURABILIDAD » CONECTIVIDAD » TECNOLOGÍA DISEÑADA PARA OPERAR SIN INTERRUPCIONES

www.bluemetrics.cl

contacto@bluemetrics.cl
+56 9 9583 5216



LA PROPUESTA DE MICRORELOCALIZACIONES EN LA ACUICULTURA CHILENA: UN ENFOQUE DESCRIPTIVO Y DE SOLUCIÓN SECTORIAL



Juan Francisco Toro Garrido

Abogado
Acuasesorías Limitada
jtg@acuasesorias.cl

INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO DEL PROBLEMA REGULATORIO

La acuicultura en Chile, particularmente la salmonicultura, se ha consolidado como uno de los pilares económicos y de exportación más relevantes del país. No obstante, el crecimiento histórico de la actividad avanzó a un ritmo diferente del desarrollo de los marcos regulatorios y de la planificación territorial costera. Como consecuencia, el sector enfrenta hoy un severo estancamiento administrativo en la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), donde cerca de un centenar de solicitudes de relocalización de concesiones permanecen paralizadas por más de una década.

Este bloqueo burocrático no solo afecta la certeza jurídica de las empresas productoras, sino que perpetúa configuraciones territoriales ineficientes. Muchos centros de cultivo vigentes quedaron emplazados en zonas con dinámicas oceanográficas deficientes, bajas tasas de renovación de agua o superposiciones cartográficas derivadas de tecnologías de medición antiguas. La falta de flexibilidad para corregir estas coordenadas se traduce en un desincentivo a la inversión y, fundamentalmente, en una barrera para implementar mejoras en el desempeño ambiental y sanitario de los cultivos.

En este escenario surge la propuesta

de microrelocalizaciones, impulsada originalmente en el marco de iniciativas legislativas de reactivación económica y reconstrucción. Este mecanismo se plantea como una herramienta de ordenamiento quirúrgico y de tramitación simplificada siendo su propósito fundamental el destrabar el sistema administrativo mediante ajustes geográficos menores, permitiendo que la producción acuícola transite hacia espacios de menor vulnerabilidad ecosistémica y mayor eficiencia operativa, sin alterar el esfuerzo de los acuicultores ni expandir la superficie total concesionada en las regiones del sur-austral de nuestro país.

DEFINICIÓN TÉCNICA Y ALCANCE DE LAS MICRORELOCALIZACIONES

Desde una perspectiva estrictamente técnica, una microrelocalización, conforme al texto propuesto en el Proyecto actualmente en discusión (Boletín N° 18.216-05) se define como *“un desplazamiento en las cercanías del área de concesión con el objeto de mejorar sus condiciones ambientales, considerando variables que inciden sobre la dispersión de la materia orgánica sobre el fondo marino, tales como la profundidad y la velocidad de las corrientes.”* Dicho texto agrega además que, *“La micro-relocalización no podrá superar los 350 metros medidos desde cualquiera de sus vértices, como tampoco implicar aumentos en la producción autorizada ni en el tamaño del área de concesión.”*



La propuesta legislativa establece que este movimiento no puede exceder los 350 metros de distancia, asegurando que el centro de cultivo permanezca sustancialmente en la misma área de influencia original y no signifique la colonización de zonas completamente nuevas o inexploradas.

Este procedimiento está diseñado exclusivamente para concesiones vigentes y regularizadas, por lo que no constituirán bajo ningún aspecto, el otorgamiento de nuevas patentes (concesiones de acuicultura) ni la ampliación de la biomasa máxima autorizada para el titular de la concesión.

Los aspectos operativos clave de la propuesta se describen a continuación:

- Corrección de Errores Cartográficos: Permite subsanar los desfases técnicos heredados de las primeras mediciones satelitales. Al actualizar las coordenadas a estándares de precisión modernos, se eliminan las superposiciones legales entre concesiones colindantes o con áreas de manejo de recursos bentónicos.
- Ajuste de Polígonos: Habilita el rediseño de la forma geométrica de la concesión (el polígono) para adaptarlo a la morfología o forma real del fondo marino y de la costa, optimizando la distribución de las balsas-jaula.
- Restricción de Densidad: Al mantener el desplazamiento dentro del límite de los 350 metros, se garantiza que la microrelocalización no altere el equilibrio de las agrupaciones de concesiones de salmonídeos (ACS o "barrios"), resguardando la macro planificación sanitaria ya establecida por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA).

Al delimitar el alcance a movimientos menores, la autoridad busca diferenciar estas solicitudes de las relocalizaciones mayores o estructurales (aquellas que implican traslados entre distintas comunas, provincias o regiones, y ACS), las cuales como bien sabemos, no han prosperado hasta la fecha de la presente publicación, a consecuencia de los procesos de evaluación de gran envergadura y una consulta ciudadana e indígena de alta complejidad.

EL MECANISMO DE AGILIZACIÓN ADMINISTRATIVA Y LA EXENCIÓN DEL SEIA

El núcleo de la propuesta normativa y su principal elemento de eficiencia radica en la modificación del régimen de evaluación ambiental aplicable a este tipo de movimientos menores en circunstancias normales. Específicamente, la propuesta plantea modificar la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) para eximir a las microrelocalizaciones de ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), siempre que se cumplan con los exigentes requisitos de distancia y mantención de las condiciones originales. La fundamentación técnica de esta exención se basa en el principio de proporcionalidad de la carga administrativa, propio del impulso que busca el Proyecto con el gobierno actual. En el modelo regulatorio

actual, mover un centro de cultivo unos pocos metros para mejorar su posición respecto a las corrientes marinas requiere iniciar un trámite idéntico al de instalar una concesión de acuicultura "desde cero", demandando Declaraciones (DIA) o Estudios de Impacto Ambiental (EIA) que tardan un tiempo importante en resolverse, lo que incluso pueden ser años.

La propuesta de solución opera bajo la siguiente lógica procedimental:

1. Acreditación de Equivalencia: El titular debe demostrar mediante estudios oceanográficos e hidrográficos previos que el nuevo emplazamiento (dentro del rango de 350 metros aludido) posee características idénticas o superiores de dispersión de contaminantes y profundidad.
2. Línea de Base Vigente: Se asume que el impacto ambiental del centro ya fue evaluado, mitigado y autorizado en su ubicación original. Al no existir un incremento en la biomasa, en el número de estructuras de cultivo, ni un cambio en la especie sembrada, el riesgo ambiental se considera controlado y predecible, justificándose técnicamente la conveniencia de esta solución.
3. Vía Administrativa "Fast-Track": Al sustraer el trámite del SEIA, la aprobación queda radicada en un análisis técnico sectorial liderado por SUBPESCA y la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR). Esto reduce los tiempos de tramitación de un promedio de 8 a 10 años a un horizonte estimado en el mejor de los casos en meses.

Esta simplificación administrativa del proceso va de la mano con impulsos recientes existentes para destrabar los procedimientos administrativos, llamados coloquialmente como "tramitología", pero en ningún caso significa una desregulación o un "cheque en blanco" para el sector. El centro microrelocalizado sigue sujeto a toda la normativa ambiental permanente, incluyendo el monitoreo de las Condiciones Ambientales de los Centros de Acuicultura (informes INFA), la entrega de datos de mortalidad y el cumplimiento estricto de los planes de contingencia ante escapes de peces o floraciones algales nocivas (FAN), en el caso que estos ocurran.

CONTRIBUCIÓN DE LA MEDIDA A LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS SANITARIOS Y AMBIENTALES

Pueden existir por supuesto posiciones contrarias a las medidas que se buscan instaurar, pudiendo catalogarse con una percepción que posee un fin netamente comercial, pero el enfoque técnico (indiscutible por lo demás) sitúa a las microrelocalizaciones como una herramienta indispensable para resolver los problemas de sustentabilidad más apremiante de la acuicultura moderna. Al permitir que un centro de cultivo se mueva sutilmente dentro de su entorno inmediato y no superior a 350 metros de su ubicación original, se generan soluciones directas las que se destacan a continuación:

1. Optimización de la Hidrodinámica y Renovación de Aguas: Muchos centros de cultivo históricos quedaron atrapados en bahías semicerradas o zonas de baja energía (pocas corrientes). La acumulación de materia orgánica (fecas y alimento no consumido)

en el sedimento bajo las balsas jaulas genera condiciones de falta de oxígeno, afectando tanto a la fauna bentónica como a la salud de los propios peces en cultivo.

Con la microrelocalización se permitirá desplazar las estructuras hacia zonas con mayor flujo de corrientes y mayor profundidad dentro del mismo sector, maximizando de esta forma con la dispersión natural de los desechos orgánicos, acelerando los procesos de remediación del fondo marino y mejorando la disponibilidad de oxígeno disuelto para los ejemplares en cultivo.

2. Mitigación de Riesgos Sanitarios y Bienestar Animal Mucho se ha discutido y se cuenta con innumerables estudios que demuestran que la cercanía entre centros de cultivo o una mala orientación respecto a los flujos de agua facilita la propagación de patógenos, como el piojo de mar (*Caligus rogercresseyi*) y el virus de la Anemia Infecciosa del Salmón (ISA), con las desastrosas consecuencias que no es necesario abordar en este artículo. Pues bien, el hacinamiento ambiental eleva el estrés de la biomasa, afectando de manera directa su sistema inmune.

Con la Propuesta, al mover un centro de cultivo 200 o 300 metros puede generarse una gran diferencia entre “posicionarse” en una corriente limpia o recibir el efluente de un centro de cultivo por ejemplo, y en ese sentido al mejorar la distancia efectiva y el aislamiento sanitario relativo de las instalaciones, se reduciría drásticamente la tasa de contagio que existe en la actualidad entre centros en un mismo barrio, disminuyendo de paso la necesidad de aplicar tratamientos antibióticos y antiparasitarios, uno de los puntos más cuestionados por los mercados internacionales.

3. Adaptación al Cambio Climático y Floraciones Algales Nocivas (FAN)

El cambio climático ha intensificado la frecuencia y severidad en el último tiempo de las Floraciones Algales Nocivas (FAN) y los eventos de baja de oxígeno debidos al calentamiento superficial del mar en los fiordos del sur de Chile, son cada vez más frecuentes. Con las microrelocalizaciones se ofrece una capacidad de adaptación táctica permitiendo reubicar los módulos de cultivo hacia zonas con perfiles térmicos más estables o con características batimétricas que faciliten la instalación de tecnologías de mitigación profunda, como cortinas de burbujas o sistemas de surgencia de aguas profundas, entre otros mecanismos utilizados en la actualidad.

IMPACTO ECONÓMICO, EMPLEO Y COMPETITIVIDAD SECTORIAL

Sin duda con el Proyecto en trámite, se pretende destrabar los proyectos de relocalización paralizados ya que poseen un impacto socioeconómico directo y cuantificable, especialmente para las comunidades dependientes de la actividad en las regiones donde se desarrolla la actividad, esto es, Los Lagos, Aysén y Magallanes. Con el estancamiento de los procesos de relocalización en curso se encuentra congelada una parte importante de la capacidad productiva potencial del país, afectando la competitividad directa

de nuestro país frente a productores globales como Noruega. El impacto positivo de la propuesta en la economía sectorial es posible constatarla en algunos ejes de fácil constatación: Reactivación de inversiones en infraestructura marítima, al contar con la certeza de los nevos emplazamientos de los centros de cultivo; Generación de empleo directo e indirecto con el destrabe de esta situación; Optimización de los costos logísticos y sanitarios al considerar una mayor biomasa efectiva en las cosechas.

En el transcurso de la tramitación del Proyecto, según los detalles del Boletín N° 18.216-05, es posible constatar en los puntos de discusión, algunos factores que son considerados de trascendencia una vez aprobadas las modificaciones legales que se pretenden:

1. Inyección de Capital: La aprobación de cerca de 100 solicitudes de microrelocalización activaría de inmediato algunas inversiones privadas destinadas a la renovación de infraestructura flotante, la adquisición de nuevos sistemas de fondeo y tecnología de monitoreo submarino de última generación.
2. Creación de Empleo: Las proyecciones parlamentarias y gremiales escuchadas en la tramitación, estiman que la puesta en marcha eficiente de estos centros de cultivo optimizados tiene el potencial de generar entre 4.000 y 8.000 nuevos puestos de trabajo, sumando plazas directas en los centros de cultivo e indirectas en la gran cadena de proveedores de servicios para la acuicultura (astilleros, transporte marítimo, talleres de redes y consultoría técnica, entre otras).
3. Eficiencia de Costos: Al reducir las mortalidades por causas sanitarias o ambientales gracias a las mejores ubicaciones de los centros, las empresas disminuyen su costo por kilo producido. Lo anterior estabiliza la oferta exportable y consolida el posicionamiento de la industria en los mercados más exigentes de Estados Unidos, Asia y Europa, donde la trazabilidad y la sustentabilidad ambiental son factores de trascendencia en la adquisición de salmones.

PUNTOS DE CONFLICTO, MITIGACIONES Y SALVAGUARDAS PROPUESTAS

Como todo proyecto de ley, las microrelocalizaciones a pesar de contar con evidentes beneficios técnicos y operativos descritos, ha generado un intenso debate en el Congreso y entre organizaciones de la sociedad civil, marcando también algún grado de resistencia. Es en este sentido que esta herramienta para que cumpla efectivamente su rol de solución sectorial, resulta indispensable analizar algunos puntos de tensión y proponer las salvaguardas técnicas que minimicen los riesgos de una mala aplicación de la norma.

Como era de esperar, uno de los principales focos de resistencia proviene de ONGs ambientales y agrupaciones de la sociedad civil, quienes argumentan que la exención del SEIA podría transformarse en una herramienta peligrosa y un verdadero “atajo legal”. Dicha preocupación radica en que algunas de las concesiones susceptibles de ser microrelocalizadas se encuentran emplazadas en las cercanías



o el interior de áreas protegidas, tales como Parques Nacionales o Reservas Nacionales Marinas (por ejemplo, en la Reserva Nacional Las Guaitecas o la Reserva Nacional Kawésqar). Señalan estas instituciones que permitir desplazamientos de 350 metros sin una evaluación ambiental exhaustiva podría consolidar la presencia de la industria en ecosistemas frágiles, o mover centros de cultivos desde zonas de menor valor ecológico hacia áreas críticas para la conservación de algunas especies o bancos naturales. Consideramos válidas las aprehensiones de estas instituciones por lo que para que el Proyecto cuente con una validación amplia es posible establecer mecanismos de protección para viabilizar la propuesta. Se estima que la legislación debería incorporar criterios de exclusión y salvaguardas explícitas:

1. Exclusión de Zonas Núcleo de Conservación: La norma debería estipular taxativamente que la exención del SEIA no aplicará para concesiones que pretendan moverse hacia el interior de Parques Nacionales o zonas núcleo de Reservas Marinas, manteniendo para estos casos el estándar máximo de evaluación ambiental vigente.
2. Validación de No Afectación Bentónica: Exigir como requisito la realización de un muestreo del fondo marino mediante filmaciones submarinas de alta resolución que demuestren fehacientemente que las nuevas coordenadas no se superponen con comunidades de bosques de macroalgas (como el Huiro) o bancos de recursos bentónicos de interés comercial para la pesca artesanal.
3. Transparencia y Acceso Público: Implementar una plataforma digital de consulta georreferenciada en la web de SUBPESCA. Esto permitirá que las comunidades locales, comunidades indígenas (ECMPO) y la pesca artesanal puedan visualizar en tiempo real el polígono original y el polígono propuesto, abriendo una ventana abreviada de observaciones para alertar sobre eventuales vicios de localización o superposición de usos consuetudinarios.

CONCLUSIÓN: HACIA UN MODELO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL QUIRÚRGICO

La propuesta de microrelocalizaciones no debe ser interpretada como una medida de desregulación ambiental ni como un beneficio arbitrario para la industria acuicultora mirando sólo un interés comercial inmediato. Por el contrario, examinada bajo una óptica técnica y descriptiva, constituye una herramienta de ordenamiento territorial quirúrgico indispensable para enmendar algunos errores de planificación acumulados durante las primeras décadas de desarrollo del sector.

La parálisis del sistema de relocalizaciones tradicional ha demostrado que los marcos regulatorios excesivamente burocráticos terminan por generar el efecto inverso al deseado, ya que se cae en la fijación de la actividad productiva en coordenadas geográficas deficientes, se establecen problemas sanitarios y ambientales crónicos que dañan el patrimonio marino común. Con el mecanismo de las microrelocalizaciones se ofrece una salida racional, pragmática y basada en la evidencia científica para romper este círculo vicioso que logra avanzar.

Al permitirse desplazamientos menores y controlados, el Estado chileno puede resolver de manera simultánea y eficiente la competitividad económica de una industria estratégica y la protección de los ecosistemas marinos. Existe gran evidencia científica que señala y sugiere mover los centros de cultivo hacia espacios con mejores condiciones oceanográficas ya que con ello disminuye el estrés biológico, reduce el uso de químicos, acelera la regeneración del suelo marino y viabiliza la fiscalización, todos factores que confluyen a un objetivo común que es propender al desarrollo de la actividad.

El éxito de esta iniciativa radicará, finalmente, en el equilibrio entre combinar la velocidad en el “tráfico administrativo” o la vía fast-track con mecanismos de salvaguardas estrictos que impidan la afectación de las áreas más sensibles de ciertos sectores de nuestro país como es parte de la Patagonia chilena, transformando la reactivación económica en un sinónimo de sustentabilidad ambiental efectiva.



- 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 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

BEKA-VAX[®]

Experiencia que da confianza

Vacuna inactivada contra
Renibacterium salmoninarum



Conoce más de
BEKA-VAX[®]
escaneando el QR



VETERQUÍMICA[®]

LotaProtein

Part of TripleNine



Aseguramos un
enfoque sostenible en
todo lo que hacemos.

HARINA PREMIUM

www.lotaprotein.cl

