

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

- DEFORMACIONES / MALFORMACIONES EN SALMÓNIDOS
- VACUNAS PARA LA PREVENCIÓN ENFERMEDADES EN SALMONES
- BKD EN SALMONES
- LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO CON AUTOVACUNAS Y SINERGIA
- *TENACIBACULOSIS* EN SALMONICULTURA CHILENA
- LOS BOSQUES DE HUIRO: HOTSPOT DE DIVERSIDAD MARINA
- FLORACIONES ALGALES NOCIVAS (FAN)
- DESARROLLO TECNOLÓGICO MICROALGAL EN GALLINAS PONEDORAS LIBRES
- SOLUCIONES INTEGRALES BASADAS EN LA ENERGÍA SOLAR EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS
- SEDIMENTOS MARINOS IMPACTOS CAMBIO CLIMÁTICO ZONA AUSTRAL DE CHILE



issuu



EXPERTOS EN REDUCCIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y EN FLORACIONES ALGALES NOCIVAS (MAREAS ROJAS)

INSUMOS E INSTRUMENTOS PARA MUESTREO Y MONITOREO AMBIENTAL.

TESTS RÁPIDOS PARA DETECCIÓN DE BIOTOXINAS (VPM Y VAM) EN MARISCOS Y FITOPLANCTON.

CONSULTORÍA, I+D+i, ACUICULTURA.



**Descargue
nuestro
Catálogo aquí**





Año 19 - N°35
Edición Especial
Segundo Semestre 2022

Distribución Gratuita a nivel nacional
Semestral - 3.000 unidades

Editores

Opción Comunicaciones
Cel: + 56 9 9443 3504 + 56 9 9443 3076
publicidad@opcionaraya.cl

Diseño y Diagramación

Lucía Zúñiga Fuentes
luciazunigaf@gmail.com

Fotografías Portada

Gentileza de:
- Javier Díaz Ochoa, Universidad de Magallanes
- Iván Gómez, UACH
- Sandra Bravo, UACH
- Carlos Sandoval, VeHiCe
- Daniel Nieto, Salmón Sustentable

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

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

Una Producción de:

opción[®]
comunicaciones

SU MEJOR OPCION EN PUBLICIDAD

*Por que somos diferentes,
publique con nosotros*

*Cel: +56 9 9443 3504 +56 9 9443 3076
publicidad@opcionaraya.cl*

Avisadores

VeHiCe	10
Termoindustrial	17
Plásticos Austral	25
7 Plagas	31
Global Pacific	37
Santa Adriana	38
OTAQ	63
AquaBC	T2
Opción Comunicaciones	T3
Veterquímica	T4

Contenidos

Indice de Universidades	2
Fase Lunar Ferias acuícolas	3
Editorial	4
Ferriados Internacionales	5
Deformaciones / malformaciones post eclosión - primera alimentación	6
Autovacunas y sinergia con el laboratorio de diagnóstico	22
Aplicación de poliuretano expandido para aislamiento térmico y acústico	39
En Chile: Nuevas tecnologías están demostrando la viabilidad económica, productiva y medioambiental de cultivar salmones en zonas de alta energía	40
La pesquería de jurel en el Pacífico sur oriental (1973-2021): Estimaciones del rendimiento máximo sostenido	64
Modificación tributaria todos los servicios se afectarán con IVA	84

Índice de Universidades

SUS ESTUDIOS E INVESTIGACIONES

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Vacunas para la prevención de las enfermedades en salmones 11

Renibacterium salmoninarum una amenaza latente en la industria salmonera 18

Los bosques de huero: Hotspots de biodiversidad, ingenieros ecosistémicos, y fuente de carbono azul 32

Principales logros de investigación básica y aplicada del Centro INCAR-UACH 68

UNIVERSIDAD ANDRES BELLO

Regulación y conocimiento existente de la tenacibaculosis en la salmonicultura chilena 26

UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

Gallinas Ponedoras libres: Desarrollo biotecnológico microalgal para potenciar sistema inmunológico en gallinas, produciendo huevo con alto contenido de antioxidantes, en la provincia del Loa 44

UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ

Uso eficiente de los recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas: soluciones integrales basadas en la energía solar para promover el desarrollo 49

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES

Sedimentos marinos evidencian impactos del cambio climático y actividades antrópicas: Fiordos y canales australes del extremo sur de Chile como caso de estudio 58

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

Floraciones Algales Nocivas (FAN): múltiples miradas para un problema complejo 72

EDITORIAL

Para el segundo semestre 2022, seguimos en la senda de buscar contenidos relevantes en materia de: Enfermedades existentes y emergentes bacterianas a nivel de peces, histopatologías, veterinaria, patologías de peces, medio ambiental, nutrición, genética, biotecnologías y proyectos de investigación para la acuicultura nacional.

Continuamos manteniendo el cambio de fecha, dada las circunstancias de pandemia vigentes que aún se mantienen en gran parte del país, sin embargo nos preocupamos de traerles temas de interés en materia de salmónica, miticultura y pesquerías que son de gran interés para nuestros lectores.

Esperamos que en esta edición segundo semestre tanto digital e impresa año 2022, la revista pueda ser vista por un mayor número de personas que consideren un aporte en materia de investigación y tecnología en el ámbito salmónico-acuícola del país.

Queremos dar un especial agradecimiento a todos nuestros colaboradores e investigadores académicos que hacen un aporte con artículos científicos de extensión de proyectos en ejecución en materias como: biotecnología, patologías, nutrición, genética, medio ambiental, normativas, tecnología y muchos otros temas de interés que consolidan la revista "Versión Diferente" como un medio escrito científico de extensión de consulta diaria.

Continuamos en la búsqueda de información técnica relevante en materia de investigación para la industria salmónica-acuícola, miticultora y pesquera de Chile.





Siendo algunos de los temas a tratar como: "Deformaciones / Mal formaciones Post Eclosión – Primera Alimentación "; "Vacunas para la Prevención de las enfermedades en salmónidos"; "*Renibacterium Salmoninarum*, una amenaza latente en la industria salmónica"; "Autovacunas y Sinergia con el laboratorio de diagnóstico"; "Regulación y conocimiento existente de la Tenacibaculosis en la salmónica chilena"; "Principales logros de investigación básica y aplicada del Centro INCAR-UACH"; "Los Bosques de Huiro: Hotspots de Biodiversidad, ingenieros ecosistémicos y fuente de carbono azul"; "En Chile: Nuevas Tecnologías están demostrando la viabilidad económica, productiva y medioambiental de cultivar salmónes en zona de alta energía"; "Uso eficiente de los recursos Hídricos en zonas áridas y semiáridas: Soluciones integrales basadas en la Energía Solar para promover el desarrollo"; "Gallinas Ponedoras libres: Desarrollo biotecnológico microalgal para potenciar sistema inmunológico en gallinas, produciendo huevo con alto contenido de antioxidantes, en la provincia del Loa"; "La pesquería de Jurel en el Pacífico Sur Oriental (1973-2021): Estimaciones del rendimiento máximo sostenido"; "Sedimentos marinos evidencian impactos del cambio climático y actividades antrópicas: Fiordos y canales australes del extremo sur de Chile como caso de estudio".

Los invitamos a participar en próxima edición digital e impresa Mayo 2023.

Richard Araya Veliz
Gerente Versión Diferente

2° Semestre 2022

Fases Lunares

	 NUEVA	 CRECIENTE	 LLENA	 MENGUANTE
JULIO	28	07	13	20
AGOSTO	27	05	12	19
SEPTIEMBRE	25	03	10	17
OCTUBRE	25	02	09	17
NOVIEMBRE	23	1-30	08	16
DICIEMBRE	23	30	08	16

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

Ferias Internacionales

AGOSTO			OCTUBRE		
Canadá	15 / 18	AQUACULTURE CANADA AND WAS NORTH AMERICA 2022 ST JOHN 'S CONVENTION CENTRE NEW FOUND LAND	USA	03 / 06	CONFERENCE GOAL 2022 ORGANIZE BY GLOBAL SEAFOOD ALLIANCE SEATTLE
Norway	23 / 26	NOR FISHING / AQUANOR TRONDHEIM	Chile	20 / 21	REUNIÓN ANUAL DE SOCIEDAD CHILENA DE PATOLOGÍA VETERINARIA / UACH VALDIVIA
Rusia	25 / 30	HE 9 TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FISHERIES AND AQUACULTURE			
	29 / 30	AQUACULTURE RUSIA 2022 MOSCOW			
SEPTIEMBRE			NOVIEMBRE		
Chile	04 / 08	9 TH INTERNATIONAL ASSOCIATION AQUATIC ANIMAL HEALTH SANTIAGO	Chile	27 / 02 DIC	INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GENETICS IN AQUACULTURE XIV PUERTO VARAS
Asia	14 / 16	SEAFOOD EXPO ASIA	Singapur	29 / 02 DIC	WORLD AQUACULTURE SINGAPUR 2022
Italia	27 / 30	EUROPEAN AQUACULTURE SOCIETY RIMINI			
			DICIEMBRE		
			Thailandia	16 / 17	INTERNATIONAL CONFERENCE ON AQUACULTURE AND FISHERIES BANGKOK

Ferriados Internacionales 2022



CHILE



CANADA



EEUU



NORUEGA



JAPON



ESCOCIA

Fecha	Evento	CHILE	CANADA	EEUU	NORUEGA	JAPON	ESCOCIA
Sábado 1 Enero	Día de Año Nuevo	●	●	●	●	●	●
Lunes 10 Enero	Día de la Entrada a la Edad Adulta					●	
Lunes 17 Enero	Día de Martin Luther King			●			
Lunes 7 Febrero	Día de la Constitución		●				
Lunes 21 Febrero	Día de Los Presidentes			●			
Jueves 6 Abril	Jueves Santo				●		
Jueves 14 Abril	Jueves Santo		●				
Viernes 15 Abril	Viernes Santo	●	●	●			●
Sábado 16 Abril	Sábado Santo	●	●				
Lunes 18 Abril	Lunes de Pascua						●
Domingo 1 Mayo	Día Internacional del Trabajo	●			●		
Lunes 2 Mayo	Día Festivo						●
Lunes 8 Mayo	Día de La Madre					●	
Martes 17 Mayo	Día de la Constitución				●		
Miércoles 18 Mayo	Día de la Ascensión				●		
Sábado 21 Mayo	Día de las Glorias Navales	●					
Lunes 23 Mayo	Día de la Reina		●				
Domingo 29 Mayo	Domingo de Pentecostes				●		
Lunes 30 Mayo	Día de los caidos en la Guerra			●			
Lunes 30 Mayo	Día Festivo de Primavera						●
Lunes 20 Junio	Día de la Emancipación						
Lunes 27 Junio	Día de San Pedro y San Pablo	●		●			
Viernes 1 Julio	Día de Cánada		●				
Lunes 4 Julio	Día de la Independencia			●			
Sábado 16 Julio	Día de la Virgen del Carmen	●					
Lunes 18 Julio	Día del Mar					●	
Lunes 1 Agosto	Fiesta del Verano						●
Jueves 11 Agosto	Día de la Montaña					●	
Lunes 15 Agosto	Día de la Ascensión de la Virgen	●					
Lunes 29 Agosto	Festivo en Gales						●
Lunes 5 Septiembre	Día del Trabajo		●	●			
Domingo 18 Septiembre	Día de la Independencia	●					
Lunes 19 Septiembre	Día de las Glorias del Ejército	●					
Lunes 19 Septiembre	Homenaje a las personas mayores					●	
Viernes 23 Septiembre	Equinoccio de Otoño					●	
Lunes 10 Octubre	Día del Encuentro de Dos Mundos	●		●			
Lunes 10 Octubre	Día de Acción de Gracias		●				
Lunes 10 Octubre	Día de la Salud y los Deportes					●	
Lunes 31 Octubre	Día de las Iglesias Protestantes y Evangélicas	●					
Martes 1 Noviembre	Día de Todos los Santos	●					
Jueves 3 Noviembre	Día de la Cultura					●	
Viernes 11 Noviembre	Día del Recuerdo		●				
Viernes 11 Noviembre	Día de Los Veteranos de Guerra			●			
Miércoles 23 Noviembre	Día de Acción de Gracias al trabajo					●	
Jueves 24 Noviembre	Día de Acción de Gracias			●			
Miércoles 30 Noviembre	Fiesta de San Andrés						●
Jueves 8 Diciembre	Immaculada Concepción	●					
Domingo 25 Diciembre	Navidad	●	●	●	●		●
Lunes 26 Diciembre	Día de San Esteban				●		●

DEFORMACIONES / MALFORMACIONES POST ECLOSIÓN - PRIMERA ALIMENTACIÓN



Carlos Sandoval^{1,2}, Marcelo Vera², Karina Carrasco², Matías Vera², Karen Acuña², Karla Mariman², Manuel Ulloa², Enrique Paredes Herbach³, Paulo Salinas⁴

¹ M.V., MSc (c). Escuela de Graduados, Fac. Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile.

² Investigación y Desarrollo VeHiCe, Área Técnica VeHiCe.

³ M.V., Dr. Med.vet. Instituto de Patología Animal, Universidad Austral de Chile.

⁴ M.V., MSc, PhD. Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

En salmónidos la ontogenia se puede dividir principalmente en dos períodos: embriones y alevines. Es importante considerar este proceso como un proceso dinámico y no como una sucesión de etapas morfológicas separadas, por lo tanto, un estado embrionario se debe considerar como un intervalo dentro de la embriogénesis. A lo largo de este proceso de desarrollo, a menudo se han evidenciado alteraciones del desarrollo en peces en sistemas de cultivo intensivos, resultando en pérdidas de producción.

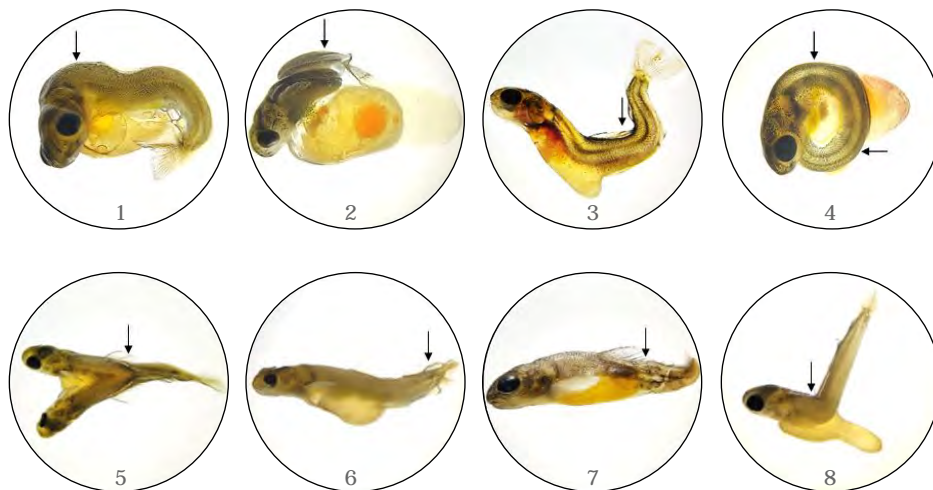
Las deformidades esqueléticas son un problema recurrente en las especies de teleósteos cultivados. La aparición y los factores causales de las deformidades esqueléticas han sido revisados para los teleósteos en general (Boglione, Gavaia, et al., 2013; Boglione, Gisbert, et al., 2013) y salmónidos en particular (Fjellidal et al., 2012).

Las deformidades, como fusiones y compresiones, pueden desarrollarse antes y durante las etapas embrionarias o poco después de la eclosión. Las malformaciones tempranas pueden desarrollarse aún más y agravarse en etapas juveniles o, por el contrario, pueden contenerse con restauración de un fenotipo funcionalmente estable (Witten, Obach, Huysseune y Baeverfjord, 2006).

Para los salmónidos, la mayoría de las malformaciones en etapas tempranas describen variaciones morfológicas externas como Teratópagos (unidos en H), Teratodelfos (unidos en Lambda), y Teratodymos (unidos en Y), malformaciones de la mandíbula inferior y desviaciones axiales (lordosis, cifosis y escoliosis) (Eriksen, Bakken, Espmark, Braastad y Salte, 2006; Fjellidal et al., 2016; Johnson et al., 1998; Leduc, 1978; Mahrosh et al., 2014; Qua trefages, 1888; Yamamoto, Kobayashi y Kuramoto, 1996).

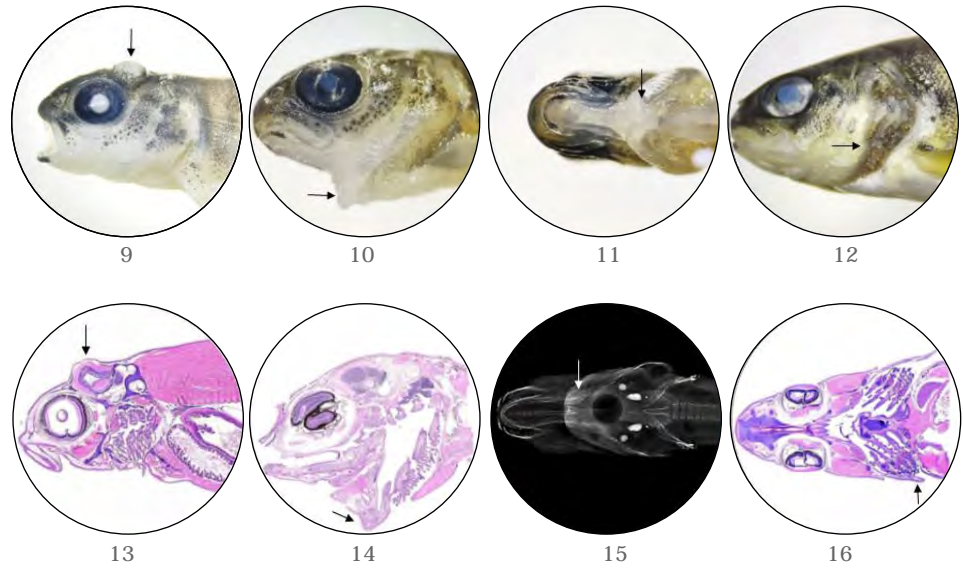
Gross Pathology: Alteraciones en columna vertebral y músculo-esqueléticas

1. Bent neck / Cifosis y lordosis
2. Curly / Espirilización
3. Bent tail / Lordosis
4. Severe kyphosis / Cifosis severa
5. Dithoracic parapagus / Siameses
6. Caudal fin hypoplasia / Hipoplasia aleta caudal
7. Muscular dystrophy / Distrofia muscular
8. Bent spine / Lordosis severa



Gross Pathology: Alteraciones craneales

9. Craneal noduls / Protrusión craneal
10. Ceratohial cartilage deformity / Deformación del cartilago ceratohial
11. Ceratohial cartilage deformity / Deformación del cartilago ceratohial
12. Short operculum / Acortamiento opercular
13. Craneal noduls / Protrusión craneal
14. Ceratohial cartilage deformity / Deformación del cartilago ceratohial
15. Ceratohial cartilage deformity / Deformación del cartilago ceratohial
16. Short operculum / Acortamiento opercular



Desarrollo de la columna vertebral

El esqueleto del teleósteo consta de diferentes tipos de cartilago y hueso (Witten & Hall, 2015; Huyssseune, & Hall, 2010). Las primeras estructuras que forman la columna vertebral son la notocorda, los centros vertebrales y sus elementos asociados (Arratia, Schultze y Casciotta, 2001). Los tejidos que constituyen estas estructuras esqueléticas, es decir, la notocorda, el cartilago y el hueso, son susceptibles de alteraciones en condiciones de cultivo (Boglione, Gavaia, et al., 2013).

En los teleósteos, la notocorda funciona como soporte mecánico para el eje del cuerpo embrionario y como un centro de señalización de la línea media (Anderson et al., 2007; Stemple, 2005; Wang,

2013). Las células de la notocorda vacuoladas (cordocitos) son rodeados de cordoblastos, que producen la vaina de la notocorda (Kryvi et al., 2017; Stemple, 2005). El esbozo de los centros de las vértebras del teleósteo surge por la mineralización segmentada de la vaina notocordal (Huxley, 1859; Kolliker, 1859), designada como cordacentra (Arratia et al., 2001). Elementos asociados a los centros vertebrales son costillas, arcos neurales y hemales y los elementos esqueléticos de la aleta caudal (Arratia et al., 2001). Los elementos asociados derivan de los somitas (esclerotomo), y en los salmónidos se desarrollan como anágenos cartilaginosos hialinos ricos en células antes de que comience la osificación pericondral y endocondral (Arratia et al., 2001; de Azevedo et al., 2012 y De Clercq et al., 2017).

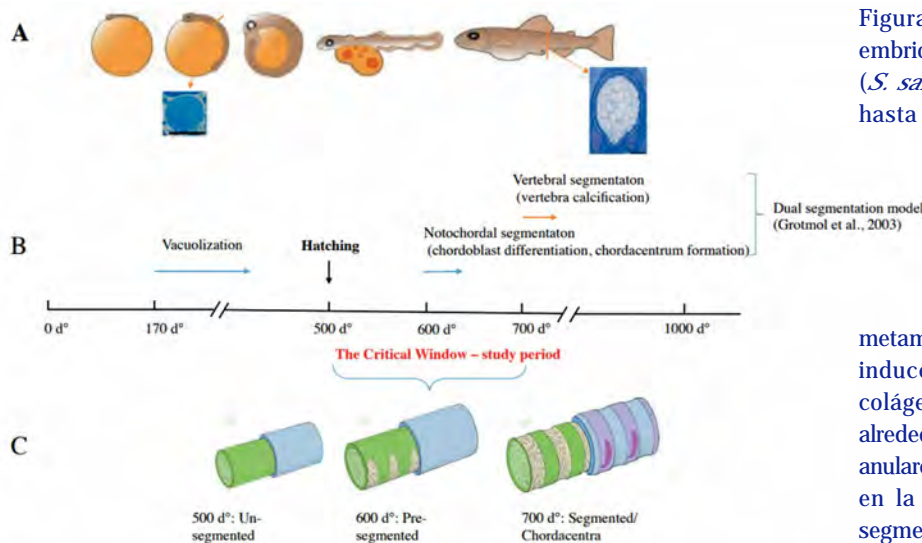
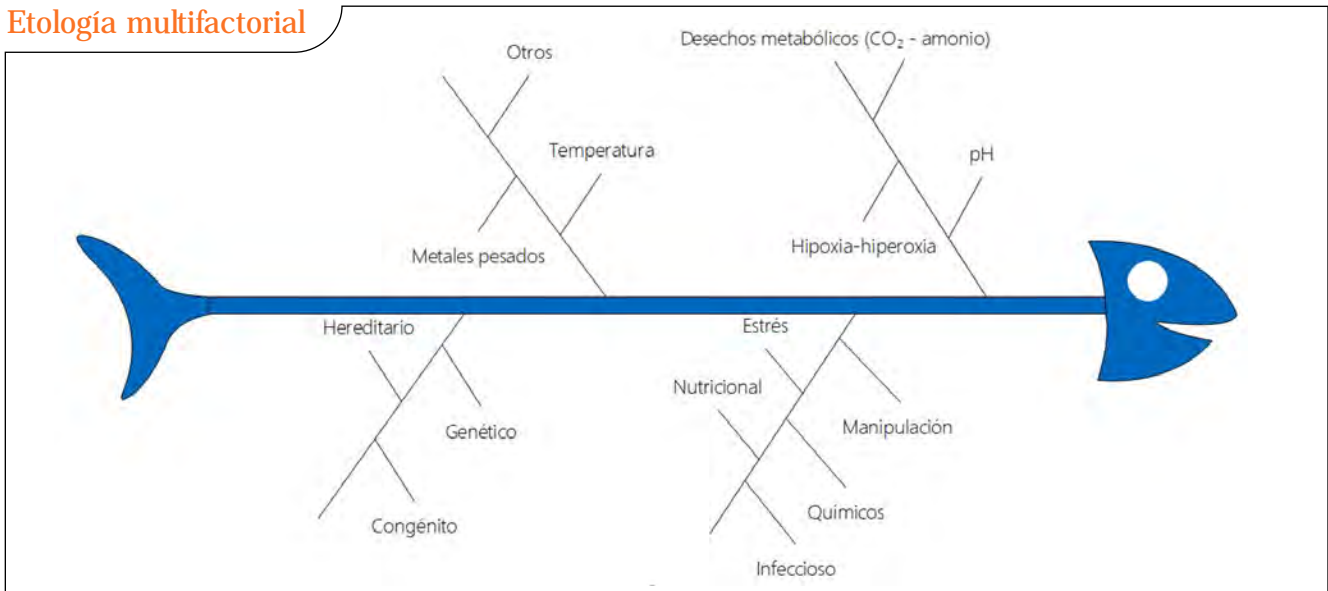


Figura 17. Desarrollo de la notocorda en embriones y alevines de Salmón del Atlántico (*S. salar*). (A) Ontogenia desde la fertilización hasta alevín de saco vitelino; se observan las secciones transversales de la notocorda. (B) Desarrollo de la notocorda y segmentación vertebral a lo largo de las etapas de desarrollo por grados de día (d°). (C) Después de la eclosión, las bandas metaméricas de cordoblastos cambian de eje e inducen un cambio en la arquitectura del colágeno. La segmentación continúa hasta alrededor de los 750 d°, cuando las estructuras anulares mineralizadas (chordocentra) se forman en la vaina de la notocorda en un patrón segmentario (Shou Wang 2013).

Etología multifactorial



Efecto de la temperatura en etapa temprana de desarrollo

Los factores ambientales juegan un papel importante en la aparición de anomalías en la etapa de embrión en teleósteos. Las condiciones de incubación de los óvulos fecundados, especialmente la temperatura y fotoperíodo, juegan un papel importante en la determinación del desarrollo saludable de la notocorda y así influir en la salud ósea incluso antes de la eclosión (Canagaratnam 1959; Garside 1966). En la etapa embrionaria del ciclo de vida, el número de vértebras desarrolladas es inversamente relacionado con la tasa de desarrollo del embrión y también puede influir en la incidencia de vértebras deformadas (Garside 1966).

La temperatura se destaca entre los muchos factores que influyen en el desarrollo del esqueleto. Cambios de temperatura afecta la tasa de desarrollo, mortalidad, éxito de la eclosión y también el desarrollo esquelético normal. Elevando la temperatura acelera el desarrollo normal pero también aumenta el riesgo de desarrollo anormal (De Clercq A., et al 2017).

Malformación/deformación en alevines first feeding fry de *S. Salar*

Se realiza un estudio radiológico entre Joe Pierce y VeHiCe de 90 alevines First Feeding de la especie *S. salar* para evaluar el efecto de la temperatura en el desarrollo de la columna vertebral en etapa de incubación. Para esto, durante la etapa de incubación los alevines fueron separados en 3 grupos (30 alevines por grupo): el primero fue expuesto a una temperatura de 4°C, el segundo a 8°C y el tercero a 11°C.

Las radiografías fueron obtenidas por el equipo FX UHD, observando las siguientes alteraciones:

GRUPO	ALTERACIÓN EN COLUMNA VERTEBRAL
4°C	<ul style="list-style-type: none"> No se observan alteraciones de compresión y fusión de cuerpos vertebrales.
8°C	<ul style="list-style-type: none"> No se observan alteraciones de compresión y fusión de cuerpos vertebrales.
11°C	<ul style="list-style-type: none"> Fusión completa de cuerpos vertebrales (Anquilosis). Fusión en progreso de cuerpos vertebrales. Fusión central de cuerpos vertebrales. Compresión unilateral.

Tabla 1. Alteraciones de compresión y fusión en columna vertebral

De acuerdo con los hallazgos observados, se observa que el grupo que presentó mayor prevalencia e importancia diagnóstica de alteraciones en columna vertebrales fue el Grupo incubado a 11°C.

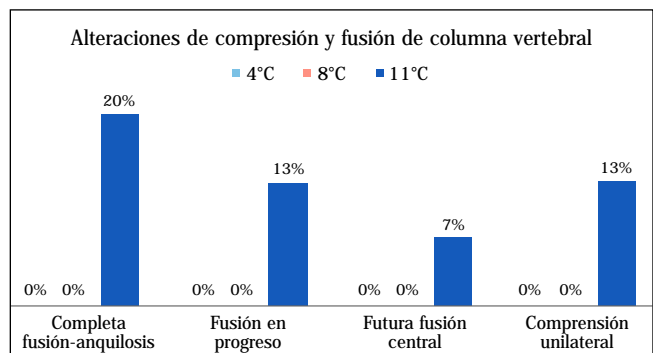


Gráfico 1. Prevalencia de hallazgos en columna vertebral (Grupo 4°C, 8°C, 11°C), (n= 90).

Imágenes radiológicas de columna vertebral, donde se observa Grupo 4°C (Fig. 19) y 8°C (Fig. 20) sin alteraciones de compresión y fusión de cuerpos vertebrales. En cambio, se observa el Grupo 11°C (Fig. 21) alteraciones de fusión completa y central de cuerpos vertebrales.

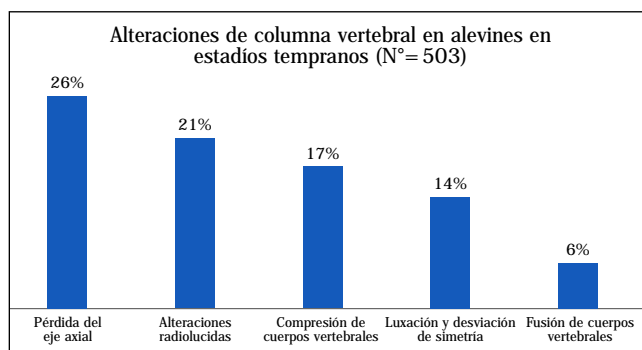
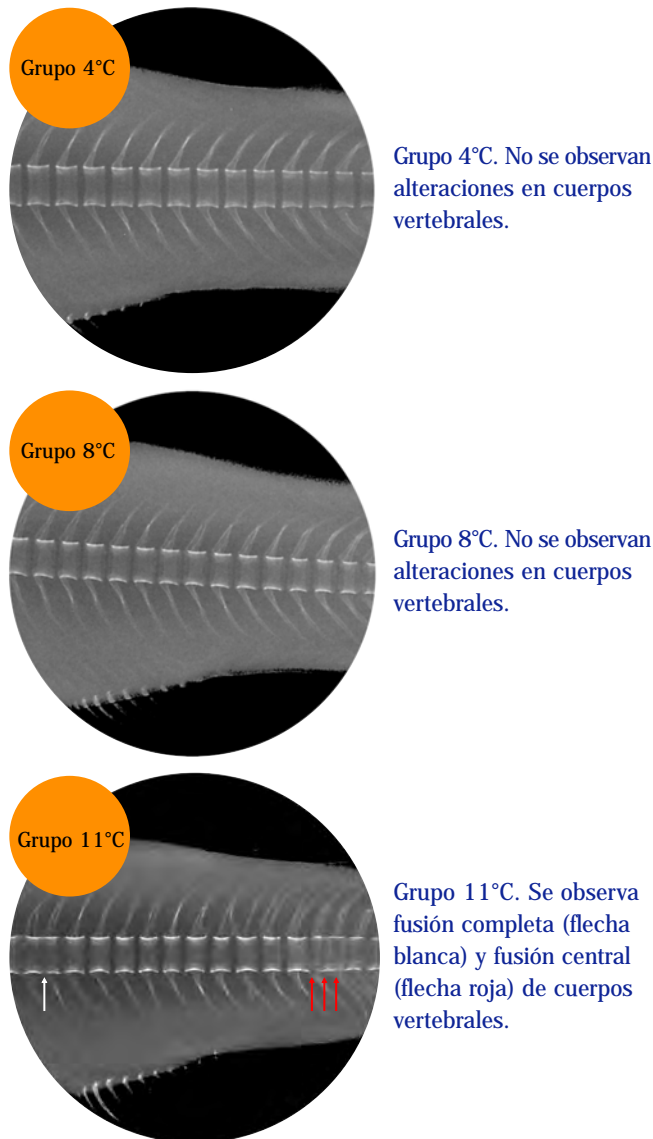


Gráfico 2. Prevalencia de hallazgos radiológicos UHD en columna vertebral, (n= 503).

Referencias bibliográficas

Anderson, C., Bartlett, S. J., Gansner, J. M., Wilson, D., He, L., Gitlin, J. D., Dowden, J. (2007). Chemical genetics suggests a critical role for lysyl oxidase in zebrafish notochord morphogenesis. *Molecular Biosystems*, 3, 51–59.

Arratia, G., Schultze, H.-P., & Casciotta, J. (2001). Vertebral column and associated elements in dipnoans and comparison with other fishes: Development and homology. *Journal of Morphology*, 250, 101–172.

Boglione, C., Gisbert, E., Gavaia, P., Witten, P. E., Moren, M., Fontagne, S., & Koumoundouros, G. (2013). Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 2: Main typologies, occurrences, and causative factors. *Reviews in Aquaculture*, 5, S121–S167.

Boglione, C., Gavaia, P., Koumoundouros, G., Gisbert, E., Moren, M., Fontagne, S., & Witten, P. E. (2013). Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 1: Normal and anomalous skeletogenic processes. *Reviews in Aquaculture*, 5, S99–S120.

De Azevedo, T. P., Witten, P. E., Huysseune, A., Bensimon-Brito, A., Winkler, C., To, T. T., & Palmeirim, I. (2012). Interrelationship and modularity of notochord and somites: A comparative view on zebrafish and chicken vertebral body development. *Journal of Applied Ichthyology*, 28, 316–319.

De Clercq, A., Perrott, R. M., Davie, P. S., Preece, M. A., Wybourne, B., Ruff, N., Witten, P. E. (2017). Vertebral column regionalisation in Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Journal of Anatomy*, 231, 500–514.

Eriksen, M. S., Bakken, M., Espmark, A., Braastad, B. O., & Salte, R. (2006). Prespawning stress in farmed Atlantic salmon *Salmo salar*: Maternal cortisol exposure and hyperthermia during embryonic development affect offspring survival, growth and incidence of malformations. *Journal of Fish Biology*, 69, 114–129.

Fjelldal, P. G., Hansen, T., Breck, O., Ørnstrud, R., Lock, E. J., Waagbø, R., Eckhard Witten, P. (2012). Vertebral deformities in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) – etiology and pathology. *Journal of Applied Ichthyology*, 28, 433–440.

Stemple, D. L. (2005). Structure and function of the notochord: An essential organ for chordate development. *Development*, 132, 2503–2512.

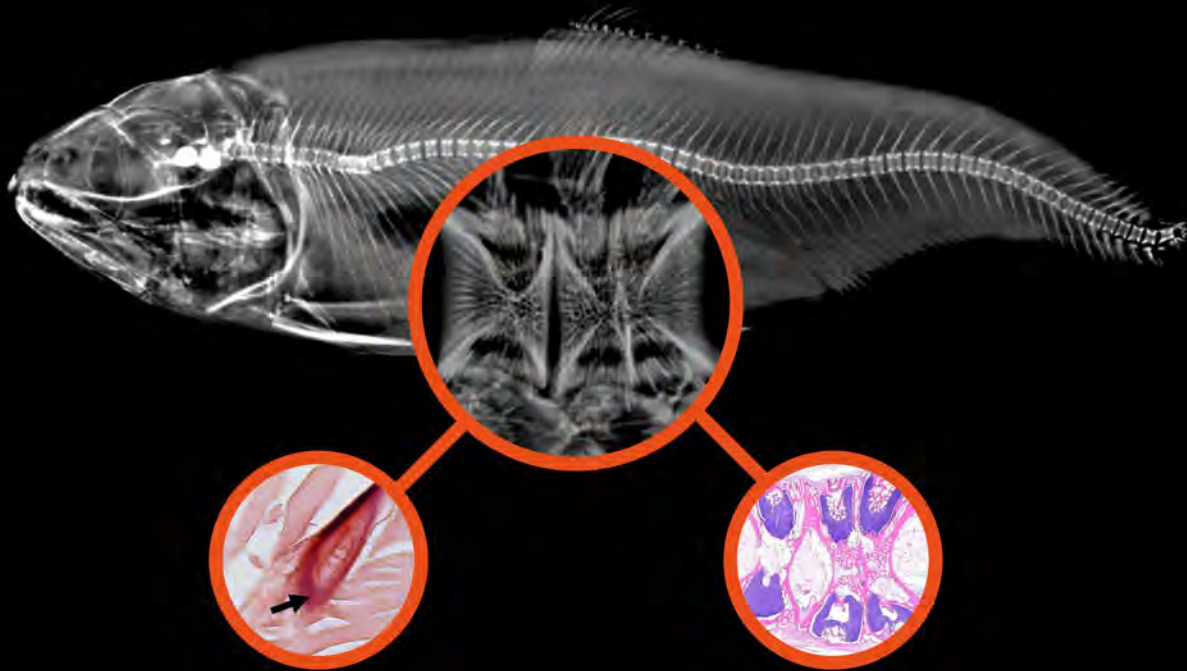
Wang, S. (2013). Notochord development in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): Exploring molecular pathways and putative mechanism of segmentation. PhD thesis. Department of Biology, Bergen, Norway: University of Bergen.

Witten, P. E., & Hall, B. K. (2015). Teleost skeletal plasticity: Modulation, adaptation, and remodelling. *Copeia*, 103, 1–13.

Witten, P. E., Obach, A., Huysseune, A., & Baeverfjord, G. (2006). Vertebrae fusion in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Development, aggravation, and pathways of containment. *Aquaculture*, 258, 164–172.



UN DIAGNÓSTICO
ACERTADO SÓLO SE
LOGRA CON UN EQUIPO
COMPLETO



IMAGENOLÓGÍA DE ÚLTIMA GENERACIÓN PARA LA ACUICULTURA

REVISA NUESTRO BLOG  FISH RADIOLOGY



www.vehice.com



info@vehice.com



Vacunas para la prevención de las enfermedades en salmones



Universidad Austral de Chile

Conocimiento y Naturaleza

Dra. Sandra Bravo

Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile

Las vacunas han mostrado ser la mejor herramienta para la prevención de enfermedades en el hombre y animales. Esto porque tienen un sistema inmune desarrollado, lo que permite la activación de anticuerpos. Sin embargo, los peces tienen un sistema inmune más primitivo, lo que genera que no todos los patógenos puedan ser controlados a través de vacunas. De hecho, su sistema adaptativo, mediado

por anticuerpos, está menos desarrollado que la inmunidad innata, mecanismos de defensa inespecíficos, que responden frente a cualquier agente extraño que ingrese al torrente sanguíneo (Fig. 1).

La función esencial del sistema inmune en todos los vertebrados es la defensa contra las infecciones. El sistema inmunitario es capaz de activar dos clases de respuestas: una respuesta inmune innata, rápida y general, y una respuesta inmune adaptativa más lenta pero específica para cada patógeno y con capacidad de crear memoria.

La vacuna es una preparación antigénica desarrollada para producir una respuesta inmune protectora contra una o más enfermedades. Estas son preparadas con la bacteria y/o virus muerto o atenuado, de tal forma activar los anticuerpos, que son específicos para el antígeno (virus o bacteria) que se quiere controlar, ya que el sistema inmune lo reconoce como una amenaza.

Los anticuerpos son proteínas cuya función consiste en detectar elementos extraños que puedan entrar en el organismo. Normalmente detectan partes concretas de esos elementos,

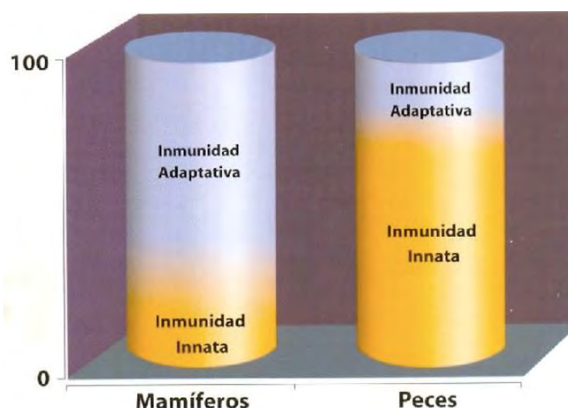


Figura 1. Inmunidad adaptativa vs inmunidad innata en peces, compara con los mamíferos

por ejemplo, proteínas de la superficie bacteriana o vírica, que se denominan "antígenos". Cuando los anticuerpos se unen a estos antígenos, se producen una serie de reacciones: aglutinación, precipitación, opsonización y neutralización, que tiene como objetivo bloquear y destruir al patógeno.

Debido a que los anticuerpos específicos comienzan a aparecer en el suero de truchas inmunizadas, dos a tres semanas posterior a la vacunación, bajo condiciones óptimas de crianza (Siniezko &

Axelrod, 1974), no es recomendable someter a los peces a los patógenos sobre los cuales han sido inmunizados antes de los 600 grados-días acumulados (60 días, si la temperatura del agua es 10°C). Esto, con la finalidad de asegurar que los anticuerpos estén activados y circulando en el sistema sanguíneo, ya que son de reacción lenta, y su respuesta dependerá de la temperatura del agua, de las condiciones de cultivo y del nivel de estrés al que estén los peces expuestos. Importante es también tener en consideración, que alevines de salmónidos vacunados con pesos > 4 g desarrollan una mayor inmunidad que peces más pequeños, que no tienen su sistema inmune aún maduro.

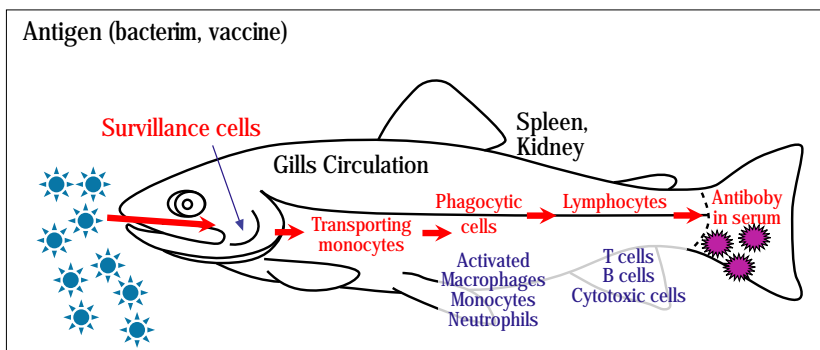


Figura 2. Activación del sistema inmune por vacuna aplicada por inmersión en peces

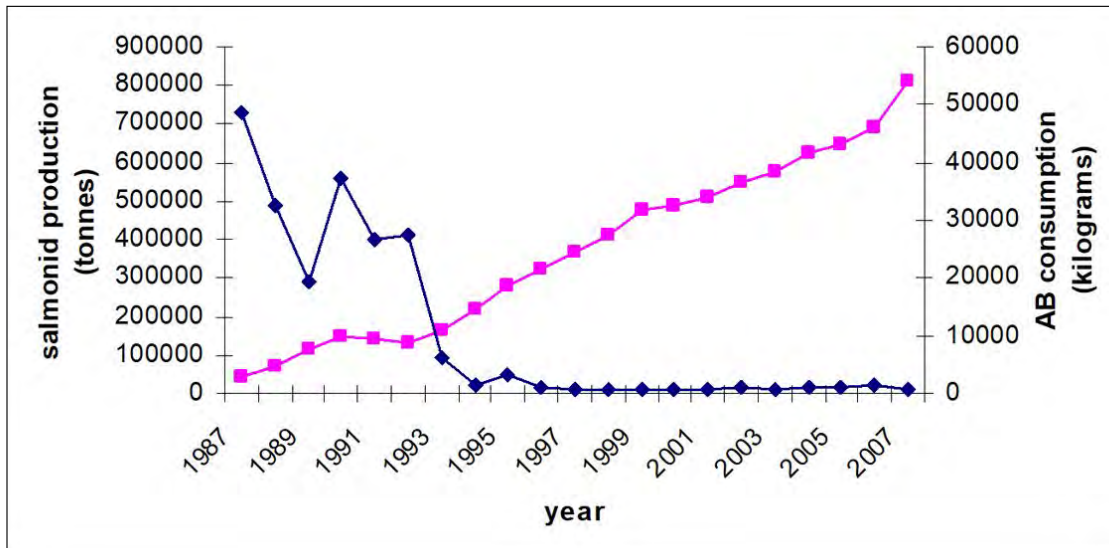


Figura 3. Efecto de la aplicación de vacunas en la disminución de antibióticos en Noruega (Fuente: Dr. Tor. E. Horsberg)

El desarrollo de vacunas contra patógenos de peces, se inició con el trabajo reportado por Duff en 1942. Este primer trabajo estuvo centrado en proveer una vacuna oral contra la bacteria *Aeromonas salmonicida*, el agente causal de la furunculosis en salmones y truchas. A mediados de 1970 ya habían dos vacunas desarrolladas comercialmente en Los Estados Unidos, la vacuna contra *Yersinia ruckeri* y la vacuna bivalente para el control de *Vibrio anguillarum* y *Vibrio ordalii*, ambas producidas con bacterias inactivadas y aplicadas por inmersión. Posteriormente, en 1981, emerge la vacuna contra *Aeromonas salmonicida* administrada vía inyección y posteriormente la vacuna contra la enfermedad del Hitra causada por *Vibrio salmonicida* en Noruega.

La aplicación de vacunas para la prevención de las enfermedades que afectan al salmón de cultivo en Noruega, permitió la reducción de los volúmenes de antibiótico usados para su control (Fig. 3). Sin embargo, uno de los grandes desafíos para la industria farmacéutica, ha sido el proveer con vacunas efectivas contra las bacterias intracelulares *Renibacterium salmoninarum* y *Piscirickettsia salmonis*, y para los virus patógenos de peces, las que hasta ahora no han logrado entregar la inmunidad requerida, con la tecnología disponible.

Los métodos de inoculación de las vacunas son:

Inyección: Es considerado hasta ahora el método más efectivo de inmunización, ya que asegura una dosis idéntica en todos los individuos, al ser inmunizados individualmente, pero debido a que los peces deben ser sedados y manipulados, pueden generar un alto nivel de estrés (Fig. 4).



Figura 4. Aplicación de vacuna vía inyección intraperitoneal

Inmersión: Es un método simple y rápido e ideal para vacunar gran número de peces pequeños. Los peces son sumergidos en una solución vacunal concentrada, durante un período de tiempo determinado, así el antígeno penetra a través de las branquias generando una alta protección (Fig.5).



Figura 5. Aplicación de vacuna por inmersión

Oral: Este es el método ideal de inmunización en acuicultura por la facilidad del procedimiento, por el relativo bajo costo y porque no causa estrés a los peces, sumado a la posibilidad de vacunar grandes poblaciones de peces pequeños en corto tiempo. La desventaja de este método es la dificultad para conocer la dosis consumida por cada pez. Además, las vacunas orales convencionales han reportado respuestas deficientes e inconsistentes, debido a la destrucción del antígeno en el estómago antes de que se produzca la absorción intestinal. Por lo que uno de los grandes desafíos en

el desarrollo de vacunas de administración oral, es proteger el antígeno de la degradación en el ambiente ácido en el estómago y garantizar que esté expuesto a los tejidos linfoides asociados al intestino, mejorando así la absorción, el procesamiento y la presentación del antígeno al sistema inmune innato de los peces a nivel de la mucosa (Tobar y col., 2011).

Efectos adversos generados por las vacunas

Las vacunas están compuestas de uno o más antígenos, patógenos muertos o inactivados hacia los cuales se quiere activar los anticuerpos específicos. Contienen además en su formulación, emulsificadores que corresponde al líquido de suspensión, en el que va disuelto o emulsionado el componente activo para que sea posible su administración; preservantes que son sustancias cuya función es evitar que se produzca la contaminación de la vacuna por bacterias u hongos durante su almacenamiento y transporte; inmunoestimulantes (azúcares, LPS) e inmunomoduladores (citoquinas) que tienen como finalidad activar el sistema inmune innato o inespecífico, y adyuvantes oleosos que pueden ser aceites minerales y no minerales y cuya función es otorgar un mayor período de protección, pero que pueden inducir a efectos adversos.

Uno de los problemas generados por las vacunas son los efectos adversos, los que dependiendo de la formulación pueden provocar adherencias (Fig. 6) y melanosis (Fig.7), que en algunos casos severos atenta contra el bienestar de los peces. Para evaluar el grado de adherencia y melanosis se utiliza la Escala de Spielberg (Tabla 1).

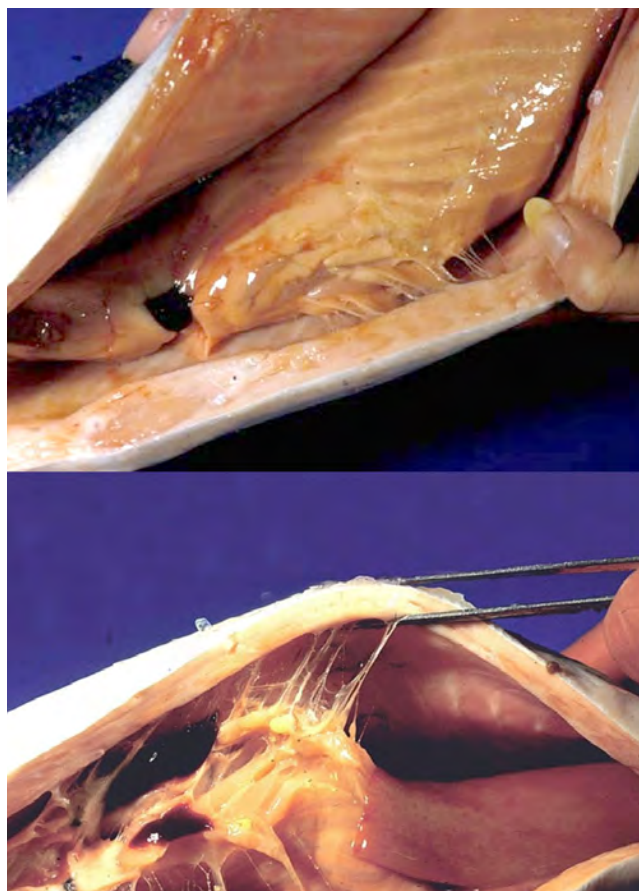


Figura 6. Adherencia generadas por vacunas aplicadas por inyección (Fotos gentileza Dr. Trygve Poppe).

Tabla 1: Escala de Spielberg

Score	Apariencia visual	Severidad de la lesión
0	Lesiones no visibles	Ninguna
1	Adherencias muy leves, la mayoría localizada cerca del punto de inyección.	Ninguna u opacidad menor del peritoneo.
2	Adherencias menores, las cuales pueden estar conectadas con el colon, bazo o ciegos pilóricos a la pared abdominal.	La opacidad del peritoneo persiste al desconectar la adherencia manualmente.
3	Adherencia moderada, parcialmente involucra los ciegos pilóricos, el hígado o ventrículo, conectándolos a la pared abdominal.	Lesiones menores, visibles.
4	Adherencias mayores, con granulomas, interconectando extensivamente los órganos internos.	Lesiones moderadas.
5	Lesiones extensivas afectando la mayoría de los órganos internos en la cavidad abdominal.	Daño visible por las lesiones severas.
6	Lesiones severas, a menudo con considerable melanosis.	Daño severo.

Fuente: Midtlyng et al., 1996

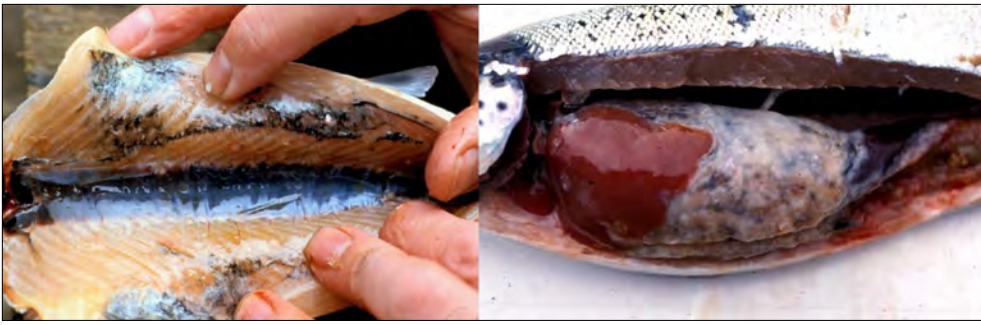


Figura 7. Melanosis generadas por vacunas aplicadas por inyección (Fotos gentileza Dr. Trygve Poppe)

Uso de vacunas en Chile

El uso de vacunas para peces en Chile comenzó a principios de los años 80's cuando las primeras poblaciones de salmón coho fueron vacunadas contra vibriosis antes de su transferencia al agua de mar (Bravo & Midtlyng, 2007). Sin embargo, después de algunos años, esta práctica se suspendió porque no había evidencia de la presencia de esta enfermedad en Chile. Las vacunas contra la enterobacteria *Yersinia ruckery* entraron en uso en 1995 en Chile, tras la primera aparición de la enfermedad entérica de la boca roja (ERM) en el salmón del Atlántico en 1992. Desde entonces, la vacunación del salmón del Atlántico contra esta enfermedad, antes de su transferencia a los lagos de agua dulce, se convirtió en una práctica común de la industria (Bravo & Midtlyng, 2007).

En 2003 se distribuyeron en el mercado chileno 23.339 L de vacunas para peces. Del volumen total, el 71% fueron productos para administración por inyección, donde las vacunas IPN compartieron el 60,3% seguidas de la vacuna bivalente IPN-

SRS con el 15,6%, y la vacuna contra SRS con el 13,2%. Las vacunas aplicadas por inmersión representaron el 29% del volumen total de ventas, de las cuales el 85,2% fueron vacunas contra yersiniosis, seguidas de las vacunas bivalentes columnaris-yersiniosis con el 9,7%. En ese período no se notificaron ventas de la vacuna oral contra yersiniosis que obtuvo autorización de comercialización durante 2002.

A Julio de 2022 se identificaron 48 vacunas con registro provisional para uso en salmónidos por parte del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), entre las cuales se incluyen vacunas inyectables monovalentes contra IPN; SRS; ISA; *Vibrio anguillarum* y *Caligus rogercresseyi*, y vacunas por inmersión contra IPN; SRS y flavobacterias. Las demás vacunas corresponden a vacunas polivalentes, que incluyen más de dos antígenos en la solución (Tabla 2). Las primera vacunas bivalentes aparecieron en el mercado nacional en 2002, las vacunas bivalentes IPN+ furunculosis atípica e IPN+SRS, cuya finalidad fue dar protección simultánea contra dos patógenos. Las vacunas polivalentes incluyen actualmente hasta cinco antígenos.

Tabla 2: Vacunas con registro SAG

Vacuna	Aplicación	Número
IPN	inyectable	6
IPN	inmersión	1
SRS	inyectable	4
SRS	inmersión	2
SRS viva	inyectable	1
IPN+ SRS	inyectable	7
IPN+ SRS+ vibriosis	inyectable	3
ISA	inyectable	4
IPN+ SRS+ vibriosis+ ISA	inyectable	3
IPN+ SRS+ furunculosis+ vibriosis+ ISA	inyectable	5
<i>Vibrio anguillarum</i>	inyectable	1
IPN+ furunculosis+ vibriosis+ ISA	inyectable	2
IPN+ SRS+ furunculosis+ vibriosis	inyectable	2
Furunculosis atípica	inmersión	1
<i>Caligus rogercresseyi</i>	inyectable	1
IPN+ flavobacterias	inyectable	1
Flavobacterias	inmersión	1
<i>Flavobacterium psychrophylum</i>	inyectable	1
<i>Flavobacterium columnare</i>	inmersión	1
BKD+ IPN+ SRS	inyección	1
Total		48

Vacunas contra *Piscirickettsia salmonis* (SRS):

La primera vacuna contra el SRS se lanzó en el mercado chileno en 1999, pero después de un aumento inicial en el uso, la proporción de salmón coho vacunado se redujo del 51% en el año 2001 a menos del 20% en el año 2003. A diferencia de otras enfermedades bacterianas, la vacunación anti-SRS no redujo significativamente la necesidad de tratamiento medicinal, ya que la cantidad de antibióticos utilizados para el control se mantuvo en el mismo nivel (Bravo y col., 2005).

Tobar y col (2011) reportaron que la vacuna oral contra SRS, administrada junto con la ración diaria de alimento, induce una respuesta inmune específica a nivel local y sistémico, detectándose los anticuerpos específicos anti-*Piscirickettsia salmonis* a los 300 grados-días post vacunación, bajo condiciones de laboratorio, señalando que la vacunación oral es un tratamiento eficaz para la prevención de brotes de SRS, administrada como vacunación primaria o como refuerzo (booster) para vacuna inyectables. Sin embargo, en el listado de vacunas con registro provisional no aparecen vacunas de aplicación oral (Tabla 2).

De acuerdo a lo reportado por Figueroa y col. (2022), la vacunación ha sido ampliamente utilizada como una estrategia de control para prevenir la *Piscirickettsiosis*, pero desafortunadamente, todas las vacunas desarrolladas en los últimos 20 años no han logrado proteger al salmón del Atlántico contra *P. salmonis*. Estos autores reportaron que en un estudio, en el cual se evaluó el desempeño de dos vacunas comerciales en salmón del Atlántico a través de un desafío de convivencia (los peces sanos fueron desafiados por la cohabitación con peces infectados), no se encontró evidencia de que las vacunas confieran protección contra las cepas LF-89 o EM-90, las dos variantes genéticas de *Piscirickettsia* más prevalentes y ubicuas en Chile.

Figueroa y col. (2017), además proporcionaron evidencia de los efectos perjudiciales de la coinfección con *Caligus rogercresseyi* sobre la supervivencia, el crecimiento, la carga bacteriana y los signos clínicos de enfermedad en diferentes tejidos de peces vacunados contra *P. salmonis*, concluyendo que la coinfección con piojos de mar, podrían anular los efectos protectores de las vacunas.

Vacunas contra *Renibacterium salmoninarum* (BKD):

Los primeros intentos de vacuna para el control del BKD, enfermedad que afecta severamente al salmón Chinook y salmón coho en Norteamérica, fueron llevados a cabo en 1971 (Evelyn, 1977), sin lograrse resultados positivos, al no mostrar evidencias de protección.

A partir de 2001, una vacuna viva atenuada para su uso contra BKD en salmón coho, estuvo disponible en Chile, la cual también fue recomendada contra el SRS (Salonius et al., 2005). En esa fecha, los brotes de BKD en salmón coho eran seguidos con

frecuencia por un brote de SRS. Sin embargo, la vacunación contra el BKD tuvo una aceptación muy limitada, con estimaciones de cobertura de alrededor del 10% en salmón coho en 2003 (Bravo & Midtlyng, 2007). A principios de 2021 se lanzó en Chile una vacuna viva, homologa inactivada, a partir de aislados nacionales de *Renibacterium salmoninarum*, la cual de acuerdo a información presentada por el laboratorio que la desarrolló daría una protección de inmunidad mayor a las 1.800 UTA (unidades térmicas acumuladas).

Vacunas contra patógenos virales

Posterior a los primeros brotes de IPN registrados en Chile en salmón del Atlántico, enfermedad ampliamente distribuida en Noruega y Escocia, las vacunas contra IPN estuvieron rápidamente a disposición para la industria en Chile. Lo mismo ocurrió posterior a los brotes del virus ISA en Chile, registrándose en el mercado vacunas comerciales desarrolladas a partir de 2009.

Vacunas contra el piojo de mar

El desarrollo de vacunas efectivas contra ectoparásitos ha sido altamente desafiante. Dependiendo de la etapa de vida, los piojos del salmón pueden alimentarse de mucus de la piel, epitelio y también de sangre, al alcanzar los vasos sanguíneos producto de las heridas generadas. Este patrón de alimentación puede exponer directamente antígenos ocultos en el intestino de los piojos a componentes inmunes inducidos terapéuticamente en la sangre y el mucus del salmón. Es así que la búsqueda de tales antígenos de piojos ha sido el objetivo de una serie de estudios reportados durante la última década. Sin embargo, la única vacuna comercial, desarrollada contra el piojo de mar *Caligus rogercresseyi*, se lanzó en Chile en 2015. Esta vacuna se basa en un péptido sintético y de acuerdo al laboratorio que la comercializa, reduce la carga del parásito en un 73% en los peces vacunados.

Bienestar en el proceso de vacunación

Los laboratorios farmacéuticos proveedores de vacunas en Chile, han desarrollado Manuales de Vacunación de peces y manejo de los productos inyectables, con la finalidad de minimizar el estrés y daño en los peces durante la operación de vacunación.

Conclusiones

A diferencia de lo que ocurre en Noruega, principal productor de salmón a nivel mundial, y que gracias al uso de vacunas logró disminuir los volúmenes de antibióticos a partir de 1994, en Chile, los principales patógenos que afectan a los salmones en el mar, son bacterias intracelulares (*Renibacterium salmoninarum* y *Piscirickettsia salmonis*), las cuales se protegen dentro de las células del hospedador, y para las cuales las vacunas no han

mostrado ser totalmente efectivas, al no otorgar una protección de larga duración, como ocurre con las vacunas desarrolladas para las bacterias extracelulares, que se distribuyen en el torrente sanguíneo. Bienestar en el proceso de vacunación.



Imagen de evaluación de vacuna aplicada por inyección.



Pez mal vacunado.

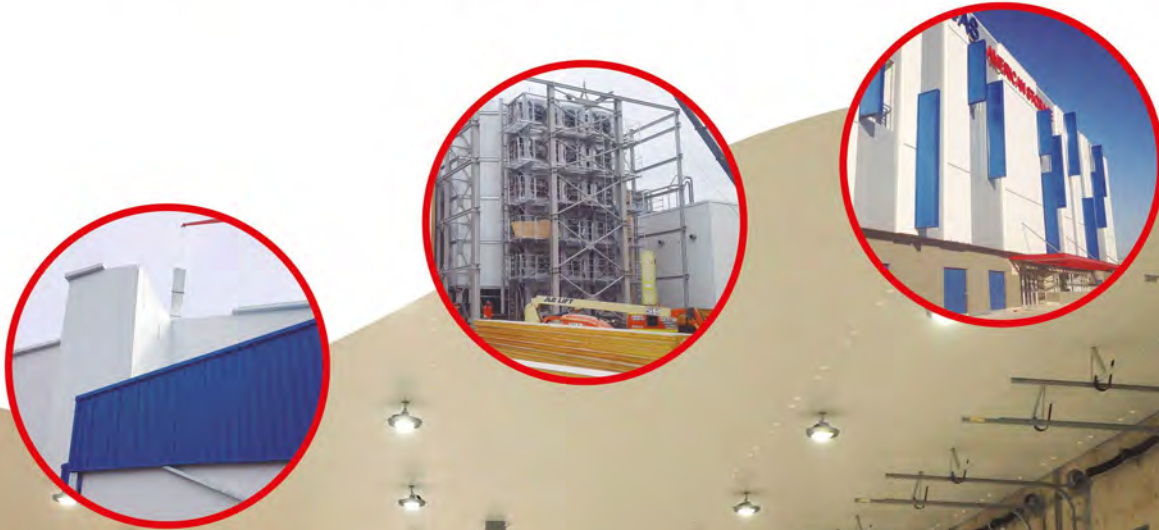
Referencias Bibliográficas

- Bravo S., Midtlyng P.J. 2007. The use of fish vaccines in the Chilean salmon industry 1999-2003. *Aquaculture* 270, 36-42.
- Bravo S., Dölz H., Silva M.T., Lagos C., Millanao A., Urbina M. 2005. Diagnóstico del uso de fármacos y otros productos químicos en la acuicultura. Proyecto FIP 2003-28, Parte I. (204 pp.).
- Evelyn TPT. 1997. A historical review of fish vaccinology. In: *Fish Vaccinology, Developments in Biological Standardization*. Gudding R, Lillehaug A, Midtlyng PJ, Brown F (Eds.). Karger, Basel, Switzerland, 90, 3-12.
- Figuroa C., Bustos P., Torrealba D.; Dixon B., Soto C., Conejeros P., Gallardo J.A. 2017. Coinfection takes its toll: Sea lice override the protective effects of vaccination against a bacterial pathogen in Atlantic salmon. *Sci. Rep.*, 7, 17817.
- Figuroa C., Veloso P., Espin L., Dixon B., Torrealba D., Elalfy I.S., Afonso J.M., Soto C., Conejeros P., Gallardo J.A. 2020. Host genetic variation explains reduced protection of commercial vaccines against *Piscirickettsia salmonis* in Atlantic salmon. *Sci. Rep.* 10, 18252.
- Midtlyng P. J., Reitan L. J., Speilberg L. 1996. Experimental studies on the efficacy and side- effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar*L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology* 6, 335-350.
- Salonius K., Siderakis K., MacKinnon A.M., Griffiths S.G. 2005. Use of *Arthrobacter davidanieli* as a live vaccine against *Renibacterium salmoninarum* and *Piscirickettsia salmonis* salmonids. In: Midtlyng, P.J. (Ed.), *Progress in Fish Vaccinology. Developments in Biologicals*, 121, pp. 189-197.
- Snieszko S.F., Axelrod H.R. 1974. Diseases of Fishes. Fish Immunology. Chapter II.
- Tobar J.A., Jerez S., Caruffo M., Bravo C., Contreras F., Bucarey S.A., Harel M. 2011. Oral vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar*) against salmonid rickettsial septicaemia. *Vaccine*, 29, 2336-2340.
- Wilhelm V., Miquel A., Burzio L.O., Roseblatt M., Engel E., Valenzuela S., Parada G., Valenzuela P.D. A vaccine against the salmonid pathogen *Piscirickettsia salmonis* based on recombinant proteins. *Vaccine* 2006, 24, 5083-5091

FABRICA DE PANELES FRIGORIFICOS / SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS TERMOAISLANTES



TermoIndustrial[®]
Soluciones Termoaislantes



PRODUCTOS

FrigoPol

PANEL POLIESTIRENO
EXPANDIDO (EPS)

FrigoPur - Pir - Lock

PANEL POLIURETANO O
POLIISOCIANURATO INYECTADO
CONTINUO

TechoPol

PANEL CUBIERTA POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

TermoRoof Pur - Pir

TERMOROOF POL DZ-4

Puertas Frigoríficos

PUERTAS FRIGORIFICOS

 +56 9 6236 9684

 termoindustrial

 +56 2 6469 1890

 www.termoindustrial.cl

Renibacterium salmoninarum

una amenaza latente en la industria salmonera.

PHARMAQ
Analytiq



Universidad Austral de Chile
Conocimiento y Naturaleza



MELISA
INSTITUTE

Sandra Flores¹, Sharin Valdivia^{1,5}, Jose Blanco¹, Adolfo Isla^{1,2,3}, Alexis Contreras⁴, Claudio Arcos⁴ y Alejandro Yáñez^{1,2}

¹ Laboratorio Diagnostico y Terapia, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

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

³ Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile

⁴ Pharmaq Analytiq Chile, Puerto Montt, Chile.

⁵ MELISA Institute, San Pedro de la Paz, Concepción, Chile

*Corresponding autor, Alejandro Yáñez, ayanez@uach.cl

Antecedentes

La enfermedad renal bacteriana o BKD (*Bacterial Kidney Disease*), es una enfermedad granulomatosa, multifocal y progresiva que afecta a todos los órganos internos, particularmente el riñón salmónidos silvestres y de cultivo en todo el mundo, alterando las etapas productivas en agua dulce y engorda en agua de mar (Fryer & Sanders, 1981; Bayliss et al. 2018; Figueroa et al., 2019). El BKD es particularmente severa en salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*), luego salmón del Atlántico (*Salmo salar*), y en menor medida en trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), que se considera más refractaria. Presenta un largo período de incubación y observándose raramente en peces menores de 6-12 meses de edad (Wiens, G.D, 2011).

El agente etiológico causante de esta enfermedad es *Renibacterium salmoninarum*, una bacteria intracelular Gram-positiva, diplo-bacilo, no móvil, que no forma esporas ni es ácido-alcohol resistente y de crecimiento lento (más de 20 días) (Figura 1A). La infección causada por este patógeno es lenta, progresiva y a menudo mortal manifestándose a través de lesiones granulomatosas en el riñón, bazo e hígado, acompañado de anemia y en ocasiones, lesiones cavernosas en la musculatura esquelética (Wiens et al., 2008) (Figura 1B y C).

Con respecto a la propagación del BKD, la mayoría de los brotes registrados han ocurrido en instalaciones de cultivo de peces; las pérdidas han sido de hasta un 80% en las poblaciones de salmón del Pacífico y un 40% en las poblaciones de Salmón del Atlántico (*Salmo salar*) (Evenden, et al. 1993). La naturaleza crónica de la enfermedad ha impedido realizar una estimación precisa de las pérdidas en poblaciones de peces salvajes. En el noroeste de Estados Unidos, la prevalencia de *R. salmoninarum* en salmón *Chinook* jóvenes puede variar del 60 al 100% en diferentes poblaciones, aunque la carga bacteriana suele ser baja en la mayoría de los peces (Elliott, et al. 1997; Rhodes, et al. 2008). BKD se transmite en forma horizontal y vertical, siendo esta última una preocupación permanente de monitoreo en poblaciones de peces destinados a reproducción (Mitchum & Sherman, 1981).

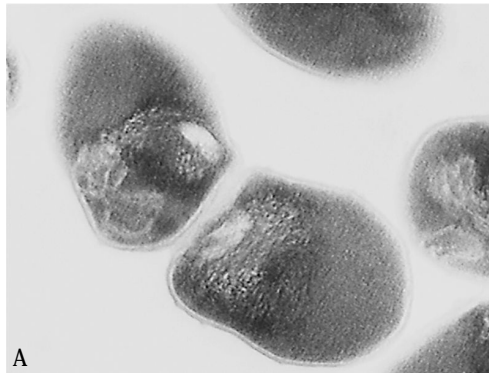


Figura 1. A) Microscopía electrónica de transmisión de *Renibacterium salmoninarum* (Foto ^AJosé Blanco).

B) Riñón de *Salmo salar* que presenta infección aguda de *R. salmoninarum*.

C) Músculos de salmo salar infectado con *R. salmoninarum* formando cavernas en la musculatura (Fotos Panel B y C ⁴Pamela Alchao, MV, p.alchao.flores@gmail.com).

Mecanismos de virulencia

En el transcurso de los años se han identificado distintos mecanismos de virulencia de esta bacteria, entre ellos la proteína p57, el factor de virulencia mejor caracterizado. La proteína p57, es una proteína de membrana y que además es secretada al medio, la cual está codificada en tres copias del gen *msa*, relacionadas con virulencia total y mortalidad del hospedero incluso con baja dosis infectante (Coady et al., 2006). P57 participa en procesos de aglutinación e inmunosupresión de los mecanismos de defensa del huésped.

Otro mecanismo de virulencia importante es el relacionado con la captación de hierro en *R. Salmoninarum*. Estos mecanismos incluyen, la producción de sideróforos (compuestos orgánicos capaces de transportar hierro debido a su alta afinidad), sistemas de asimilación de compuestos hemo, receptores de transferrina y transportadores de hierro férrico o ferroso (Bethke et al., 2016; Bethke et al., 2019).

Diagnóstico

Actualmente, se emplean numerosas técnicas tanto presuntivas como confirmatorias para el diagnóstico de *R. salmoninarum*. Entre ellas se encuentran, el cultivo microbiológico sobre agar KDM y en medio selectivo (SKDM). Además del perfil bioquímico, donde *R. salmoninarum* reacciona positivamente para catalasa, fosfatasa alcalina, fosfatasa ácida, esterasa lipasa, caprilato esterasa, leucina fosfatasa, leucina arilamidasa, fosfomidasa, α -glucosidasa, α -manosidasa, hidrólisis de caseína, tripsina, hidrólisis de Tween-20, 40 y 60. y también reacción negativa para butirato esterasa, quimotripsina, cistina arilamidasa, α -fucosidasa, α - y β -galactosidasa, α -glucosaminidasa, miristato esterasa, oxidasa, valina arilamidasa, hidrólisis de arginina, reducción de amilasa y nitrato (Bethke et al., 2017).

El microorganismo es propagado a temperaturas entre los 15 y 18°C, formando colonias visibles entre 2 a 6 semanas. El aislamiento es difícil y requiere mucho tiempo, siendo el cultivo microbiológico tradicional el método menos apropiado para el diagnóstico (Hirvelä-Koski et al., 2005; Larson et al., 2020). Por cuanto, las técnicas moleculares como PCR convencional y en tiempo real son las que ofrecen mayor rapidez y sensibilidad en el diagnóstico. Mediante estas técnicas se pueden detectar los genes: *msa*, 16S, p57 y ELF1 (Factor de Elongación 1-alfa) de *R. salmoninarum* (Bruno et al., 2007; Coady et al., 2006). Recientemente, se ha desarrollado la amplificación isotérmica mediada por bucles (LAMP), el cual permite el diagnóstico del patógeno sin la necesidad de entrenamiento o equipos de laboratorios complejos, lo que facilita el proceso de diagnóstico (Cook y Lynch, 1999; Chase et al., 2006; Action et al., 2017)

El diagnóstico basado en la necropsia de los peces afectados muestran diversos síntomas externos en etapas avanzadas de la enfermedad, tales como: branquias pálidas, hemorragia en áreas cercanas a las aletas, decoloración de la piel y abdomen, e

incluso exoftalmia severa bilateral, hemorragia sub opercular, abultamientos y úlceras en casos muy agudos. Lesiones internas como, lesiones nodulares focales o multifocales en el riñón, bazo y/o hígado, líquido en la cavidad abdominal, hemorragia en el abdomen o vísceras y una capa membranosa en los órganos internos se manifiestan en distinto grado en el transcurso de la enfermedad (Bruno, 1986).

Situación en Chile

En Chile el BKD ha sido detectado desde la década de los 80', inicialmente con una muy baja cantidad de casos. Sin embargo, en la actualidad éste es el segundo patógeno con mayor impacto y prevalencia en la industria acuícola chilena, especialmente en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, zona principalmente afectada debido a las bajas temperatura que no son favorables para la propagación de otros patógenos. Esta situación resulta preocupante debido a que Magallanes experimenta el mayor crecimiento de la industria salmonera en los últimos años, estimándose más de 250 millones de dólares de inversión para los próximos 5 años. Actualmente se producen cerca de 111.000 ton/año en esta región y se proyecta la producción de hasta 200.000 mil toneladas de salmón al año en los próximos años. De lograrse esto, con ciclos sin antibióticos las ventas y ganancias podrían generar hasta US\$1,00/kg adicional.

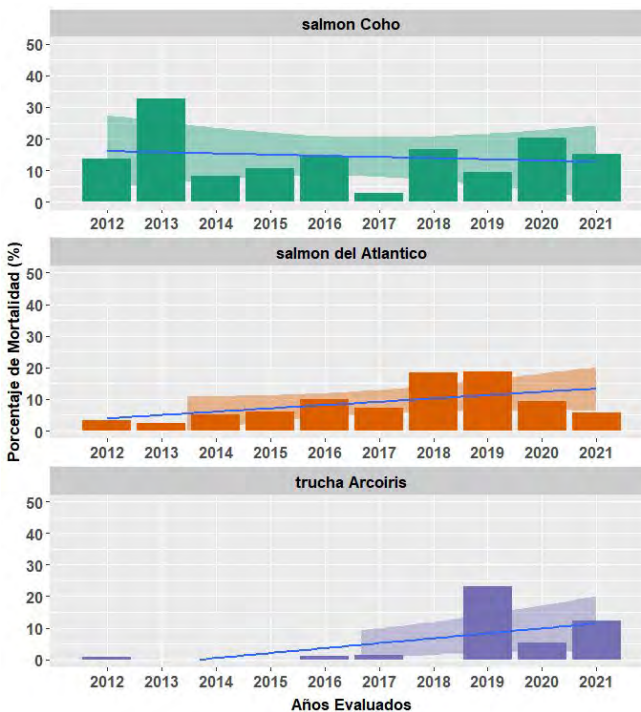


Figura 2. Porcentaje de mortalidad anual de infección con *R. salmoninarum* basado en reportes de SERNAPESCA entre los años 2012 y 2021.

La mortalidad asociada al BKD en la industria nacional ha presentado un aumento oscilante en las distintas especies durante los últimos años. El año 2019, se observó un alza en el salmón del Atlántico de 18,64% mientras que para el salmón Coho, disminuyó desde un 16,7% a un 9,5%. No obstante, el año 2020 BKD tuvo una incidencia de un 9,5% de un salmón Atlántico y de un 20,2 % en salmón Coho (SERNAPESCA, 2020) (Figura 2). Sin embargo, el aumento en la incidencia de casos podría estar relacionados con la cantidad de muestreos realizados por año, por ejemplo, el año 2020 se analizaron 25.980 peces en los principales centros de cultivo del país y el año 2021 sólo se analizaron 16.720 peces (SERNAPESCA, 2020-2021). Estos antecedentes indican que la bacteria se ha propagado intensamente en centros de cultivo de estas especies, permaneciendo en Chile por más de cuarenta años en especial en Coho y últimamente en salmón del Atlántico y trucha Arcoíris (SERNAPESCA 2011-2021).

Estrategias de control

El control de BKD es complejo principalmente por la presencia de portadores asintomáticos al igual que la capacidad de la bacteria para ingresar al interior de los huevos, y el desarrollo de resistencia a antibióticos. Por esta razón, las estrategias se basan principalmente en la eliminación de reproductores infectados y la terapia oral con antibióticos (Delghandi et al., 2020).

Antibióticos: Desde la aparición de *R. salmoninarum* como patógenos de peces, se han utilizado diversos antibióticos para controlar el BKD, entre ellos, Sulfadiazina, Eritromicina, Azitromicina, Enroflaxina, Oxitetraciclina y Florfenicol (Fairgrieve et al., 2005; Hsu et al., 1994). Sin embargo, la terapia antibiótica es poco eficaz por varias razones, entre ellas, la susceptibilidad limitada de la bacteria que implica periodos prolongados de tratamiento, hasta 30 días. El carácter intracelular del patógeno disminuye la eficacia a esta terapia. Además, se han identificado diferentes clases de genes de resistencia a macrólidos en el genoma, incluidos genes que codifican para dos metiltransferasas de ARNr 23S (*rImA* y *sopU*), factor de flujo de macrólidos (*mefA*) bomba de flujo de resistencia a múltiples fármacos (*pvxC*) y *ksgA* (16S rRNA dimetilasa) (Rhodes et al., 2008).

Vacunas

En cuanto a estrategias preventivas, se han desarrollado diversas vacunas, las que se administran intraperitoneal, intramuscular o por vía oral a través de la ingesta de alimento (Piganelli et al., 1999). El desarrollo de las vacunas se basa en el uso de bacterias inactivadas mediante el uso de calor o formalina. Se ha demostrado que las bacterinas muertas con formalina inducen la expresión de genes asociados a respuesta inmune con variable nivel de protectividad (Eslamloo et al., 2020). También se han utilizado vacunas vivas con cepas atenuadas y vacunas vivas heterólogas

las cuales utilizan como antígeno una bacteria diferente a aquella que causa la enfermedad y permite generar una respuesta inmune cruzada frente al patógeno de interés. Ambas estrategias han presentado eficacia variable entre individuos por lo cual no resultan efectivas en prevenir la infección por *R. Salmoninarum* (Ma et al., 2019).

Debido a esta baja efectividad en las estrategias disponibles actualmente para el control de *R. salmoninarum*, la prevención enfocada en la implementación de medidas de bioseguridad, buenas prácticas de manejo, screening de reproductores, programas de crías selectiva, y el uso de nuevas vacunas, son la vía utilizada para disminuir o erradicar la circulación del patógeno en la población de especies susceptibles (Larson et al., 2020).

No obstante, sigue siendo un desafío poder desarrollar vacunas y herramientas de control eficaces que permitan prevenir la infección por *Renibacterium salmoninarum* y evitar así las pérdidas que se producen a la industria salmonera.

Perspectivas

Las estrategias utilizadas en el diseño de vacunas no han sido efectivas hasta el momento, ya que no está clara la relación entre la habilidad de producir anticuerpos y la protección contra el patógeno (Alcorn, Murray, Pascho, & Varney, 2005). En este contexto, las vacunas basadas en proteínas aisladas desde el patógeno representan una oportunidad atractiva en el desarrollo de una herramienta específica y eficaz que genere una respuesta inmune adecuada en el salmónido frente a la infección por *R. salmoninarum*. En el marco del proyecto Fondef ID21110066, se busca desarrollar un prototipo de vacuna proteica contra *Renibacterium salmoninarum* que permita aumentar la competitividad y sustentabilidad de la industria salmonera, basado en la hipótesis que proteínas aisladas de esta bacteria, son capaces de activar la respuesta inmune innata y adquirida, permitiendo la formulación de una vacuna que genere una respuesta inmune específica contra este patógeno con niveles de protección altamente significativos principalmente en salmón Atlántico.

Agradecimientos

Este proyecto fue apoyado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID, Chile) por los proyectos FONDAF N° 15110027, y FONDEF N° ID21110066. Además, se cuenta con el apoyo de la Vicerrectoría de Investigación, Desarrollo y Creación Artística (VIDCA), Universidad Austral de Chile

Bibliografía

- Action, I., Health, A.A., Zrcic, S., Radosavljevic, V. (2017). West Balkans Regional Aquatic Animal Disease Diagnostic Manual. *Food and Agriculture Organization (FAO)*; Rome, Italy.
- Alcorn, S., Murray, A., Pascho, R., & Varney, J. (2005). A cohabitation challenge to compare the efficacies of vaccines for bacterial kidney disease (BKD) in chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 63:151-160, doi:10.3354/dao063151.
- Bayliss, S.C.; Verner-Jeffreys, D.W.; Ryder, D.; Suarez, R.; Ramirez, R.; Romero, J.; Pascoe, B.; Sheppard, S.K.; Godoy, M.; Feil, E.J. Genomic epidemiology of the commercially important pathogen *Renibacterium salmoninarum* within the Chilean salmon industry. *Microb. Genom.* (2018), 4, 1-12.
- Bethke, J., Poblete-Morales, M., Irgang, R., Yáñez, A., Avendaño-Herrera, R. (2016). Iron acquisition and siderophore production in the fish pathogen *Renibacterium salmoninarum*. *J. Fish. Dis.* 39(11), 1275-1283.
- Bethke, J., Quezada, J., Poblete-Morales M., Irgang R., Yáñez A., Oliver C., Avendaño Herrera R. (2017). Biochemical, serological, and genetic characterisation of *Renibacterium salmoninarum* isolates recovered from salmonids in Chile. *Bull. Eur. Ass. Fish. Pathol.* 37(4), 169.
- Bethke J, Arias-Muñoz E, Yáñez A, Avendaño-Herrera R. (2019). *Renibacterium salmoninarum* iron-acquisition mechanisms and ASK cell line infection: Virulence and immune response. *J Fish Dis*;42(9):1283-1291. doi: 10.1111/jfd.13051. PMID: 31241770.
- Bruno, D.W. (1986). Histopathology of bacterial kidney disease in laboratory infected rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, and Atlantic salmon, *Salmo salar* L., with reference to naturally infected fish. *Journal of Fish Diseases*, 9: 523-537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1986.tb01049.x>
- Bruno, D.W., Collet, B., Turnbull, A., Kilburn, R., Walker A., Pendrey, D., McIntosh, A., Urquhart, K., Taylor, G. (2007). Evaluation and development of diagnostic methods for *Renibacterium salmoninarum* causing bacterial kidney disease (BKD) in the UK. *Aquaculture*. 269:114-122. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.04.057.
- Coady, A. M., Murray, A. L., Elliott, D. G., Rhodes, L. D. (2006). Both *msa* genes in *Renibacterium salmoninarum* are needed for full virulence in bacterial kidney disease. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72(4), 2672-2678.
- Cook, M., Lynch, W.H. (1999). A sensitive nested reverse transcriptase PCR assay to detect viable cells of the fish pathogen *Renibacterium salmoninarum* in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *Appl. Environ. Microbiol.* 65:3042-3047. doi: 10.1128/AEM.65.7.3042-3047.
- Chase, D.M., Elliott, D.G., Pascho, R.J. (2006). Detection and quantification of *Renibacterium salmoninarum* DNA in salmonid tissues by real-time quantitative polymerase chain reaction analysis. *J. Vet. Diagnostic Investig.* 18:375-380. doi: 10.1177/104063870601800409.
- Delghandi, MR., Menanteau-Ledouble, S., Waldner, K., El-Matbouli, M. (2020a). *Renibacterium salmoninarum* and *Mycobacterium spp.*: two bacterial pathogens present at low levels in wild brown trout (*Salmo trutta fario*) populations in Austrian rivers. *BMC Veterinary Research*. 16(1):40. DOI: 10.1186/s12917-020-2260-7.
- Elliott, D.G., McKibben C.L. (1997) Comparison of two fluorescent antibody techniques (FATS) for detection and quantification of *Renibacterium salmoninarum* in coelomic fluid of spawning chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. *Dis. Aquat. Org.* 30:37-43.
- Eslamloo, K., Kumar, S., Caballero-Solares, A., Gnanagobal, H., Santander, J., Rise, M.L. (2020). Profiling the transcriptome response of Atlantic salmon head kidney to formalin-killed *Renibacterium salmoninarum*. *Fish Shellfish Immunol.* 98:937-949. doi: 10.1016/j.fsi.2019.11.057.
- Evenden, A.J., Grayson, T.H., Gilpin, M.L., Munn, C.B. *Renibacterium salmoninarum* and bacterial kidney disease: the unfinished jigsaw. *Ann. Rev. Fish. Dis.* (1993) 3:87-104.
- Fairgrieve, W.T., Masada, C.L., McAuley, W.C., Peterson, M.E., Myers, M.S., Strom, M.S. (2005). Accumulation and clearance of orally administered erythromycin and its derivative, azithromycin, in juvenile fall Chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. *Dis. Aquat. Organ.* 64:99-106. doi: 10.3354/dao064099.
- Figueroa J, Cárcamo J. G., Yáñez A., Olavarría V., Ruiz P., Manríquez R., Muñoz C., Romero A., Avendaño-Herrera R. (2019). Addressing viral and bacterial threats to salmon farming in Chile: historical contexts and perspectives for management and control". *Reviews in Aquaculture*, <https://doi.org/10.1111/raq.12333>.
- Fryer, J.L, Sanders, J.E. (1981). Bacterial kidney disease of salmonid fish. *Annu Rev. Microbiol.*35:273-98.
- Hirvelä-Koski, V., Pohjanvirta, T., Koski, P., Sukura, A. (2005). Crecimiento atípico de *Renibacterium salmoninarum* en infecciones subclínicas. *J. Fish Dis* 29: 21-29. doi: 10.1111 / j.1365-2761.2005.00677.
- Hsu, H.M., Wooster, G.A., Bowser, P.R. (1994). Efficacy of enrofloxacin for the treatment of salmonids with bacterial kidney disease, caused by *Renibacterium salmoninarum*. *J. Aquat. Anim. Health.* 6:220-223. doi: 10.1577/1548-8667.
- Larson, D.L., Faisal, M., Tempelman, R.J., Yu H., Scribner, K.T. (2020). Effects of hatchery rearing density, handling, and nutrition on *Renibacterium salmoninarum* infection prevalence in juvenile Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) *J. Aquat. Anim. Health.* :doi: 10.1002/aah.10103.
- Ma, J, Bruce, T.J, Jones, E.M, Cain, K.D. (2019). A Review of Fish Vaccine Development Strategies: Conventional Methods and Modern Biotechnological Approaches. *Microorganisms.* 16;7(11):569. doi: 10.3390/microorganisms7110569.
- Mitchum, D., & Sherman, L. (1981). Transmission of bacterial kidney disease from wild to stocked hatchery trout. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(5), 547-551, DOI: 10.1139/f81-077.
- Piganelli, J. D., Wiens, G. D., Zhang, J. A., Christensen, J. M., & Kaattari, S. L. (1999). Evaluation of a whole cell, p57-vaccine against *Renibacterium salmoninarum*. *Dis Aquat Org*, 36(1), 37-44.
- Rhodes, L.D., Nguyen, O.T., Deinhard, R.K., White, T.M., Harrell, L.W., Roberts, M.C. Characterization of *Renibacterium salmoninarum* with reduced susceptibility to macrolide antibiotics by a standardized antibiotic susceptibility test. *Dis. Aquat. Organ.* (2008), 80:173-180. doi: 10.3354/dao01959.
- Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA, 2020-2021). INFORME SANITARIO DE SALMONICULTURA EN CENTROS MARINOS AÑO 2020-2021. (http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/informe_sanitario_salmonicultura_en_centros_marinos_1er_semestre_de_2020.pdf)
- Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA, 2012-2021). INFORME SANITARIO DE SALMONICULTURA EN CENTROS MARINOS AÑO 2012-2021.
- Wiens GD, et al. 2008. Genome sequence of the fish pathogen *Renibacterium salmoninarum* suggests reductive evolution away from an environmental *Arthrobacter* ancestor. *J Bacteriol.* 190(21):6970-6982.
- Wiens, G.D. Bacterial Kidney Disease (*Renibacterium salmoninarum*), *Fish Diseases and Disorders: Viral, Bacterial and Fungal Infections*, 2nd ed.; Woo, P.T.K., Bruno, D.W., Eds.; CAB International: Wallingford, UK (2011); pp. 338-374.

Autovacunas y sinergia con el laboratorio de diagnóstico



Harold Oliva, Bq. PhD. Subgerente I+D. | Angelica Romero, Bq. Investigador I+D. | Matías Poblete, Biol. PhD. Jefe Desarrollo Microbiología I+D.

Introducción

La OIE define los sistemas intensivos de producción animal como aquellos donde los animales están confinados y depende por completo del hombre para satisfacer las necesidades diarias básicas tales como alimento, refugio y agua. A esta definición debiésemos incluir otros aspectos tan relevantes, como los cuidados preventivos y paliativos para mantener la salud animal. La prevención de la enfermedad animal es una de las máximas para la medicina veterinaria, con ello no solo se consigue proteger a los animales, sino que también se logra proteger la salud humana, por otro lado, la prevención ayuda, por ejemplo, en la reducción del uso de antibióticos para el tratamiento de infecciones bacterianas y de esta forma evitar la selección de cepas resistentes, por tanto podríamos considerar que la prevención está en el centro del concepto denominado "One Health" o "Una Salud".

Una de las herramientas más importante en la prevención de las enfermedades infecciosas es la vacunación, a mediano y largo plazo la vacunación debe considerarse como la estrategia más sólida para el control de los patógenos, ya que limitan la evolución de microorganismos y con ello la generación de resistencia. Esto ocurre por dos motivos principales, primero, las vacunas tienden a funcionar de manera profiláctica, mientras que los medicamentos como los antibióticos tienden a funcionar de manera terapéutica, si recordamos brevemente la triada de la enfermedad entenderemos que la vacuna ayudará directamente a disminuir el número de individuos susceptibles a la enfermedad, por otro lado los tratamientos terapéuticos abren una ventana de tiempo en donde el patógeno puede reconocer y actuar sobre el individuo susceptible, tiempo que puede ser suficiente para que este evolucione y hasta genere resistencia. En segundo lugar, las vacunas tienden a inducir respuestas inmunitarias contra múltiples objetivos de un patógeno, particularmente aquellas que están formadas por el patógeno completo, como lo son las autovacunas, mientras que los medicamentos tienden a atacar a muy pocos o incluso un único blanco de acción. Todos estos beneficios los podemos encontrar tanto en vacunas registradas como en autovacunas.

Las autovacunas al igual que las vacunas registradas son productos inmunológicos encargados de estimular un tipo u otro de respuesta, bien sea humoral o celular. La diferencia entre ambas radica en

que las autovacunas están elaboradas con el agente infeccioso propio que causó la enfermedad en la unidad epidemiológica, por lo mismo tienen la restricción de ser aplicadas en el mismo lugar donde fueron aislados los microorganismo, estos productos basados en utilizar agente patógeno inactivado completo son llamados virinas o bacterinas, las que también podemos encontrar como vacunas de línea registradas, entonces la diferencia no proviene del producto en sí, sino de las condiciones generales que se deben dar para poder usar una autovacuna, a saber, (1) que para el patógeno diagnosticado no exista en el mercado una vacuna registrada, (2) que las vacunas registradas no confieran la protección mínima deseada, (3) no existan la presentación requerida, por ejemplo para un determinado estrato productivo. Bajo algunas de estas condiciones el médico veterinario con apoyo del laboratorio de diagnóstico, puede solicitar la fabricación de la autovacuna al ente fiscalizador, quien considerará al producto como de uso de emergencia.

En Veterquímica desde siempre hemos estado comprometidos con el concepto 'One Health', desarrollando productos claves para la bioseguridad, el control y sobre todo la prevención en salud animal, herramientas que presentan una especial relevancia en un escenario mundial de reducción de uso de antibióticos y control de las zoonosis. En este sentido la autovacuna es clave para prevenir enfermedades causadas por patógenos frente a los que no se dispone de vacunas comerciales, como por ejemplo *Tenacibaculum* sp., dejando en las manos de los médicos veterinarios una herramienta que permite trabajar en el control de distintas enfermedades reduciendo así la dependencia del uso de antimicrobianos.

Caracterización, investigación y prototipos en el laboratorio de autovacunas.

Una vez que el laboratorio de diagnóstico realizado el arduo trabajo del primer aislamiento de los microorganismos e identificado al patógeno, el Laboratorio de Autovacunas debe identificar al mínimo nivel taxonómico y realizar la caracterización de todos los aislados obtenidos, esta caracterización la realizamos desde a lo menos dos acercamientos uno de tipo genético, con el estudio

de los componentes de ADN o ARN y otro desde el punto de vista antigénico, que puede considerar el estudio de proteínas totales, así como también de ciertos componentes extracelulares, sumado a esto, estudios tendiente a identificación de serotipos, variantes e incluso biotipos que puedan formar parte de los aislados obtenidos. Una vez realizado el estudio de caracterización se debe realizar la selección cepas, en la práctica, es posible incorporar una o más cepas diferentes en la misma autovacuna, pero esto dependerá estrictamente si son virales o bacterianas, y si corresponde luego de la caracterización realizada a las mismas. Determinar el método de cultivo e inactivación de los patógenos a utilizar como antígeno es otra clave en el proceso. A modo de ejemplo en Veterquímica se han desarrollado medios de cultivo específicos para mejorar el crecimiento y producir antígenos más eficientes. Los tiempos de fermentación son cuidadosamente definidos y validados para garantizar la calidad y reproducibilidad de los antígenos de las vacunas, se desarrollan procesos de inactivación que respeten la exposición de los antígenos responsables de la expresión de la inmunidad, así como la seguridad de los animales en que serán usadas las autovacunas.

Para evaluar la calidad de una autovacuna, además de lo comentado anteriormente acerca del proceso de cultivo e inactivación de bacterias, existen dos puntos clave. En primer lugar, el control de la concentración de los microorganismos, independientemente de la especie, bacterianas o virales -y por tanto los antígenos- de nuestras autovacunas están estandarizados. La determinación de estas concentraciones es llevada a cabo por parte de profesional capacitado con la supervisión del equipo de Control y Aseguramiento de Calidad, antes de la formulación de cada autovacuna, lo cual es un factor clave para su eficacia.

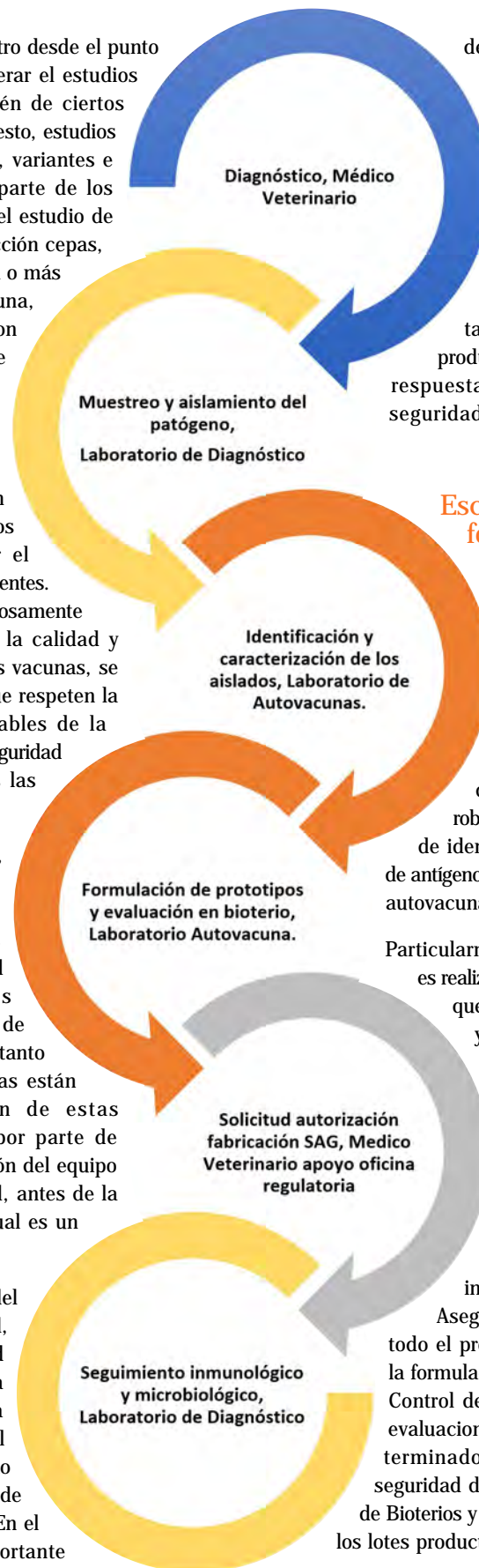
segundo lugar, la elección apropiada del adyuvante, es un componente esencial, que va a determinar la eficacia y seguridad de la autovacuna. Esto condiciona la magnitud y la duración de la respuesta inmune que se desencadena en el animal tras la aplicación de una vacuna, así como también puede favorecer un tipo u otro de respuesta, bien sea humoral o celular. En el caso de vacunación de peces es importante

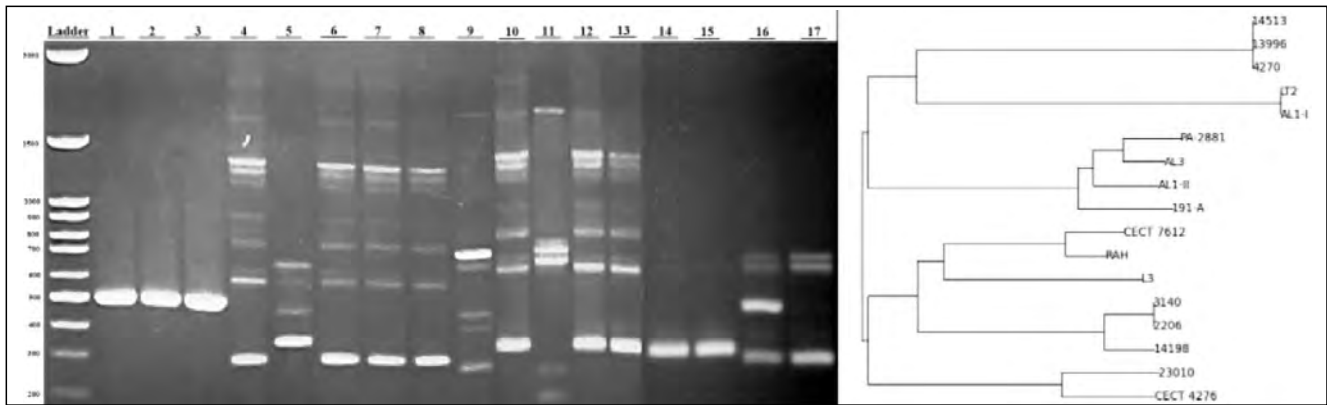
determinar ciertas condiciones, como por ejemplo el tamaño y tiempos de resguardo para definir los adyuvantes y vías de vacunación más asequibles según el programa sanitario productivo. En este sentido, en Veterquímica tenemos un conocimiento de los adyuvantes más adecuados según la especie de destino y estrato productivo, como también la posibilidad de seleccionar productos compatibles para asegurar una respuesta inmune eficiente, sin perder la seguridad y el bienestar de los animales.

Escalamiento de antígenos y formulación en planta de producción GMP.

Respecto a la producción, Veterquímica se ha distinguido siempre por la calidad de sus autovacunas, nuestras vacunas son fabricadas en una moderna planta con licencia GMP (Buenas Prácticas de Fabricación). Esto garantiza la robustez y reproducibilidad de los procesos de identificación, crecimiento, inactivación de antígenos y la posterior formulación de nuestras autovacunas.

Particularmente el escalamiento de antígenos es realizado por un grupo técnico profesionales que cuenta con reconocidas capacidades y conocimientos para el cultivo de distintos patógenos bacterianos o virales, se cuenta con salas de producción segregadas y equipamientos exclusivos para llevar a cabo estas tareas. El control de calidad de nuestras autovacunas es riguroso, participando del proceso a lo menos tres equipos independientes, a saber la Unidad de Aseguramiento de Calidad que supervisa todo el proceso de producción de antígenos y la formulación de la autovacuna, laboratorio de Control de Calidad que verifica por medio de evaluaciones todos los productos en proceso y terminados, finalmente para demostrar la seguridad de nuestros productos nuestro equipo de Bioterios y acuarios evalúa la seguridad de todos los lotes productivos de las autovacunas formuladas.



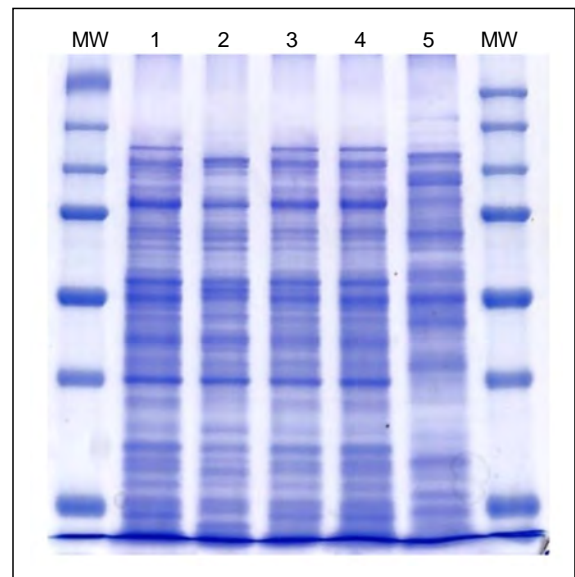


Fingerprinting genético de diferentes aislados de *Tenacibaculum* sp. y reconstrucción filogenética basada en los patrones de amplificación. Parte de la caracterización de aislados bacterianos patógenos.

Seguimiento inmunológico y microbiológico en el laboratorio de diagnóstico.

Siguiendo la misma línea de garantía de calidad, en Veterquímica realizamos el seguimiento posterior a la comercialización de nuestras autovacunas a través de nuestro laboratorio de servicio técnico. De este modo, la trazabilidad, la capacidad de respuesta, la mejora y la transparencia con el productor están totalmente garantizadas. Es posible coordinar, por ejemplo, muestreos previos a la vacunación y posterior a la vacunación tendientes a determinar respuesta inmune específica inducida por la autovacuna, así como también la coordinación de muestreos microbiológicos tanto en terreno como por el envío de muestras para análisis anatómo patológicos en nuestras dependencias, de esta forma se garantiza una continua comunicación sobre el proceso y el seguimiento de la vacunación una vez implementada, esto es clave para conseguir el éxito en la prevención.

Finalmente recalcar la importancia de las autovacunas para el control de las enfermedades microbianas y si bien no es una única bala de plata para la erradicación de la enfermedad es una potente herramienta que complementará su programa y estrategia de prevención.



Perfiles proteico de célula completa de *Tenacibaculum* sp. Parte de la caracterización de aislados bacterianos patógenos.

Resumen

Una herramienta fundamental en el tratamiento y prevención de enfermedades causadas por microorganismos patógenos son las vacunas autógenas o también llamadas autovacunas, teniendo un extenso uso en países del hemisferio norte, las autovacunas se presentan como una solución flexible y rápida, siendo a su vez eficaces y efectivas para el control de enfermedades bacterianas y virales en sistemas productivos. A pesar de la necesidad creciente de contar con soluciones flexibles y rápidas, muchos países productores a nivel mundial todavía depositan su confianza exclusivamente en vacunas de línea registradas, con consecuencias negativas para los médicos veterinarios y productores, quienes pierden la posibilidad de usar las autovacunas

como una herramienta principal para velar por la salud animal. Veterquímica S.A tiene una larga trayectoria en el campo de las autovacunas donde las experiencias del pasado reciente y actuales nos motivan a perseguir de forma proactiva y estratégica junto a nuestros clientes, nuevas y mejoradas herramientas para el cuidado, la salud y bienestar animal. Este artículo pretende informar sobre las actividades que el equipo de I+D de Veterquímica S.A realiza para conseguir el desarrollo de una autovacuna y como la asociación con el laboratorio diagnóstico genera una sinergia positiva desde el inicio del desarrollo hasta la validación de esta en campo.



- **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**



FONOS 65 228 6420 65 228 6416 +569 5411 9904
 PARCELA 22 ALTO LA PALOMA PUERTO MONTT
 MARCELA.CARDENAS@PLASTICOSAUSTRAL.CL WWW.PLASTICOSAUSTRAL.CL

Regulación y conocimiento existente de la tenacibaculosis en la salmonicultura chilena



Rubén Avendaño-Herrera^{1,2,3}, Mónica Saldarriaga-Cordoba^{2,4} & Rute Irgang^{1,2}

¹ Universidad Andrés Bello, Laboratorio de Patología de Organismos Acuáticos y Biotecnología Acuicola, Facultad de Ciencias de la Vida, Viña del Mar, Chile.

² Centro FONDAF INCAR, Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile.

³ Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), Quintay, Chile.

⁴ CIRENYS, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile.

Las infecciones asociadas con el género bacteriano *Tenacibaculum* spp. se conocen comúnmente como 'tenacibaculosis', un término acuñado originalmente para describir la enfermedad ulcerosa producida en peces marinos por *Tenacibaculum maritimum* (ver revisión de Avendaño-Herrera et al., 2006). El término ha reemplazado varios nombres basados en los signos clínicos observados en distintas especies de peces (p. ej., salmónidos, dorada, lubina, lenguados, etc.) (Figura 1), incluyendo la flexibacteriosis, enfermedad columnaris de agua salada, estomatitis



Figura 1. Lesiones ulcerativas y hemorrágicas producidas por *T. maritimum* en la superficie externa de lenguado (A), rodaballo (B) dorada (C) y trucha arcoíris (D).

bacteriana, síndrome de boca erosionada y necrosis de parche negro (Santos et al., 1999). A la fecha, la tenacibaculosis es una de las más amenazantes infecciones bacterianas que limitan el cultivo de especies marinas de valor comercial en distintas zonas geográficas áreas del mundo (ver revisión de Toranzo et al., 2005; Avendaño-Herrera et al., 2006). Específicamente en salmónidos se ha informado de tenacibaculosis en todas las áreas productoras de salmón del mundo (p. ej., Noruega, Chile, Australia, Canadá, etc.) y se puede dividir en dos tipos principales, es decir, brotes asociados con *T. maritimum* y aquellos asociados con otras especies distintas de *T. maritimum*.

En el caso de bacterias no-*T. maritimum* aisladas de brotes ocurridos en salmón del Atlántico (*Salmo salar*) las más importantes son *Tenacibaculum dicentrarchi* (Avendaño-Herrera et al., 2016; Olsen et al., 2017) y *Tenacibaculum finnmarkense* (Småge et al., 2016; Bridel et al., 2018), esta última especie presenta dos subdivisiones en genotipos *finnmarkense* y *ulcerans* (Olsen et al., 2020). Tanto *T. dicentrarchi* como *T. finnmarkense* han sido recuperados de mortalidades de peces cultivados en Noruega y Chile, restringiéndose solo a salmón

del Atlántico, sino también *Tenacibaculum* spp. se han recuperados de brotes infecciosos en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*) cultivado en la Patagonia chilena (Avendaño-Herrera et al., 2020). Además, recientemente, se ha identificado la presencia en ambos países de la nueva especie *Tenacibaculum piscium* (Olsen et al., 2020; Avendaño-Herrera et al., 2022) y en Chile de *Tenacibaculum ovolyticum* (Avendaño-Herrera et al., 2022). A la fecha se han descrito 32 especies de *Tenacibaculum* (<http://www.bacterio.net/tenacibaculum.html>), sin embargo, existen muchos más taxones aún no descritos. De hecho, durante la ejecución del Proyecto FONDECYT Regular N° 1190283 "Comprehensive study of the biological, genetic, and molecular bases and virulence factors for the causative agent of tenacibaculosis in Chilean marine fish, *Tenacibaculum dicentrarchi*. an epidemiological approximation for developing

prevention strategies" nos ha permitido obtener aislados de *Tenacibaculum* spp. recuperados de infecciones bacterianas que presentan consonancia con especies no descritas, siendo necesario dilucidar el papel etiológico preciso de estos taxones. En Chile, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile (SUBPESCA) designó a la tenacibaculosis como de "alto riesgo" el 12 de julio de 2018, mediante Resolución Exenta N° 2.574. Esta emisión significó que, a partir de la semana 30 de 2018, el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura de Chile (SERNAPESCA) comenzó a reportar oficialmente la incidencia de esta enfermedad (<https://www.serna.pesca.cl>). Dicho informe ha evidenciado el aumento sostenido de la mortalidad total por casos de tenacibaculosis infecciosa en salmón del Atlántico, pasando de 4,3% en 2018 a 14%, 25,3% y 36,4% en 2019, 2020 y 2021, respectivamente (Resolución Exenta N° DN-01606/2021 emitida el 27 de agosto de 2021). La inclusión de la tenacibaculosis como clasificación de mortalidad resultó en una disminución de las mortalidades atribuidas a *Piscirickettsia salmonis*, lo que significó que, en 2021, la tenacibaculosis pasó a ser la segunda causa de muerte entre los salmónidos. El primer lugar con el 49,4% de las mortalidades asignadas lo ocupa la piscirickettsiosis y el tercero la Enfermedad Bacteriana del Riñón (BKD) causada por *Renibacterium salmoninarum*.

Actualmente no se dispone de vacuna contra la tenacibaculosis, pero existen iniciativas para el desarrollo de autovacunas y productos biológicos con registro del Servicio Agrícola y Ganadero. Sin embargo, las numerosas especies de *Tenacibaculum* y la existencia de diversidad genética y antigénica a nivel de especie, como ocurre con *T. dicentrarchi* (Saldarriaga-Córdoba et al., 2021) es una dificultad a soslayar por los laboratorios farmacéuticos. Por tanto, las pérdidas por esta enfermedad se controlan con mayor frecuencia mediante tratamientos con florfenicol y oxitetraciclina, mostrando los datos de aplicación de ambos compuestos antimicrobianos en 2020 que se emplearon 5.4 toneladas combinadas (SERNAPESCA 2020), mientras que en 2021 se incrementó a 12,5 toneladas (SERNAPESCA 2021) e incluyendo el uso extra-etiqueta de 0.06 por toneladas de tiamulina (Irgang & Avendaño-Herrera 2022). Precisamente en el año 2021, surgió la preocupación por el repentino incremento de la clasificación en la mortalidad por tenacibaculosis, preguntándose diversos actores de la industria si la tenacibaculosis correspondía a una enfermedad originada por un patógeno primario o un microorganismo oportunista que aprovecha la susceptibilidad de los peces. La pregunta aún se encuentra abierta, aunque considerando la capacidad de genotipos particulares de *T. maritimum* (Habib et al., 2014) y otras *Tenacibaculum* spp. (Olsen et al., 2017) para colonizar múltiples especies de peces dentro de áreas geográficas restringidas puede indicar que la relación patógeno/huésped está regulada por limitaciones geográficas más que por la especificidad del huésped dentro de ciertas cepas.

En el primer semestre del 2021, producto de un trabajo técnico público-privado-académico se revisó la evolución de la enfermedad en los últimos años, analizando específicamente el comportamiento

de la mortalidad por especie de pez, región de cultivo y signos concomitantes de piscirickettsiosis y BKD. La conclusión de este panel de expertos fue la redefinición de la clasificación de la tenacibaculosis del Programa Sanitario General de Manejo y Clasificación de Mortalidad (PSGM), que se señala en la Res. (E) N°1606 del 27 de agosto de 2021 donde se sustituyó "enfermedad infecciosa asociada a bacterias del género *Tenacibaculum*" por "enfermedad infecciosa provocada por *T. dicentrarchi*, *T. maritimum*, u otras *Tenacibaculum* spp., positivo a PCR, y con signos externos en la piel como erosión de la aleta, en zona bucal y rostral asociada a una pigmentación amarilla o, en branquia como úlcera, placas o erosión de tinte amarillo, sin hallazgos de lesiones evidentes de Piscirickettsiosis o Renibacteriosis".

El diagnóstico de tenacibaculosis se realiza principalmente mediante PCR y los resultados varían según los laboratorios de diagnósticos. La variación se debe al diseño "in house" de los partidores, y la especificidad de las PCRs no son válidos para todos los posibles *Tenacibaculum* causantes de un brote (es decir, *T. dicentrarchi*, *T. finnmarkense*, *T. piscium*, entre otros) existiendo la posibilidad de posibles falsos positivos o negativos. Nuestro grupo de investigación (Avendaño-Herrera et al., 2019) y colegas canadienses (Nowlan et al., 2021) han informado las controversias con respecto a los diagnósticos de PCR para *Tenacibaculum* spp. En síntesis, la clasificación de tenacibaculosis podría ser inapropiada cuando se realiza de acuerdo a los signos clínicos y PCR, según consta en la Res.(E)N°1606 del 27 de agosto de 2021, de SERNAPESCA.

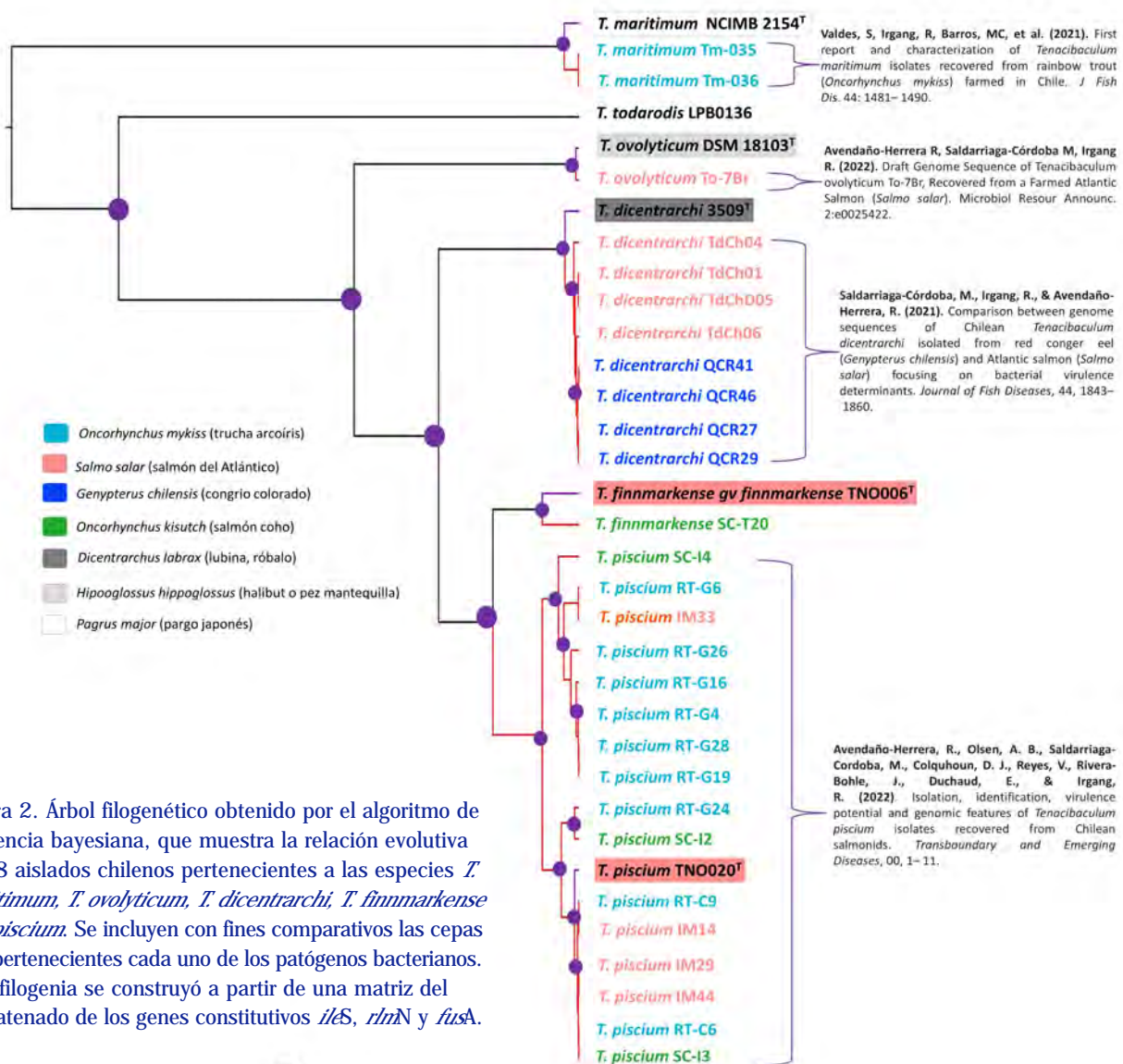
Además, el diagnóstico adecuado de la mortalidad en el medio acuático es cada vez más complejo debido a la exposición común a las coinfecciones bacterianas, entendiendo como coinfección "la infección del huésped por dos o más patógenos genéticamente distintos que impactan y dañan al huésped de manera concomitante" (Kotob et al., 2016). Por ejemplo, el primer aislamiento de *T. maritimum* junto con *T. dicentrarchi* en salmón del Atlántico chileno ocurrió durante un florecimiento de algas nocivas causado por *Pseudochattonella* spp. (Apablaza et al., 2017). Esta situación en el caso de la tenacibaculosis no es puntual, pues se han descrito coinfecciones similares en centros de cultivo de salmón en Noruega (Olsen et al., 2011; Småge et al., 2016), Canadá (Nowlan et al., 2021) y Australia (Wilson et al., 2019). Actualmente hemos denominado estos casos como "infecciones por el complejo *Tenacibaculum*".

Lo que agrava esta situación es que la susceptibilidad a los patógenos entre los peces puede cambiar con infecciones mixtas, causando brotes repentinos y ramificaciones significativas para los huéspedes expuestos (Kotob et al., 2016). Incluso entre las mismas especies hospedadoras, las coinfecciones podrían categorizarse simultáneamente como primarias y secundarias (Abdelsalam et al., 2021). Evidentemente, las regulaciones y los investigadores (incluido yo mismo) se han concentrado, hasta ahora, en infecciones singulares (es decir, piscirickettsiosis o BKD), clasificando a otros agentes como

oportunistas o, lamentablemente, simplemente ignorando las coexistencias. Por lo tanto, se requiere abrirse a los cambios y romper con algunos paradigmas de infecciones monoespecíficas, especialmente aquellas provocadas por distintas *Tenacibaculum* spp. Con este fin resumimos a continuación algunos de los principales conocimientos generados en la ejecución del FONDECYT Regular N° 1190283 sobre *T. dicentrarchi*, enfocados en aspectos relevantes para su diagnóstico, tratamiento y posible desarrollo de vacunas.

Tenacibaculum dicentrarchi provoca cuadros infecciosos en salmón del Atlántico, trucha arcoiris y salmón Coho, siendo más susceptibles los peces en los primeros seis meses de traslado a la fase de engorda o cuando los salmónidos se exponen a condiciones de estrés (p. ej., infestaciones con piojo de mar, floraciones algales, etc.). El modo de transmisión y la vía de infección de la tenacibaculosis en el salmón en general siguen sin estar claros. Sin embargo, en condiciones de laboratorio se ha logrado reproducir los signos clínicos compatibles con la

infección y la mortalidad por *T. dicentrarchi* en salmón del Atlántico y trucha arcoiris expuestos a $3,78 \times 10^5$ CFU/ml de *T. dicentrarchi* durante 60 minutos (Avendaño-Herrera et al., 2016), lo que sugiere que este agente puede acceder al huésped por transmisión horizontal en el agua de mar. Sin embargo, la reproducción uniforme de la enfermedad en condiciones de laboratorio controladas suele ser difícil, lo que podría ser explicado por la existencia de diversidad intra-específica en *T. dicentrarchi*. De hecho, comparaciones entre las secuencias del genoma de las ocho cepas de *T. dicentrarchi* obtenidas de congrio colorado (*Genypterus chilensis*) y salmón del Atlántico brindan información sobre la existencia de diversidad genómica dentro de esta bacteria (Saldarriaga-Córdoba et al., 2021). Por tanto, la capacidad de infectar depende de la cepa de *T. dicentrarchi* y más directamente debido a la diversidad de genes asociados con los mecanismos de adquisición de hierro, codificación de homeostasis de cobre, islas genómicas patógenas y fagos.



Por otro lado, la capacidad de formar biopelículas pueden ser una estrategia de vida potencial para la persistencia ambiental y la transmisión de enfermedades bacterianas. En un estudio de Levipan et al. (2019), las cepas de salmón del Atlántico TdChD05 y congrio colorado QCR29 demostraron la capacidad de adherirse y formar biopelículas en condiciones *in vitro*, con células fisiológicamente diferenciadas distribuidas en estructuras irregulares aleatorias de agregados celulares. Estos resultados fisiológicos han sido confirmados en el repertorio de genes presentes en diferentes genomas de este patógeno de peces (Saldarriaga-Córdoba et al., 2021).

Respecto a los métodos de diagnóstico tradicionales y convencionales para *T. dicentrarchi* son económicos, fáciles de usar y ofrecen resultados confiables, pero el aislamiento consume mucho tiempo. Por lo tanto, el desarrollo de técnicas moleculares para el diagnóstico presuntivo y/o confirmatorio ha sido una herramienta esencial, pero pueden ser no fiables por los taxones no identificados aún. Por ejemplo, Bridel et al. (2018) condujo a la afiliación correcta de la cepa AYD7486TD, que en realidad pertenece a la especie *T. finnmarkense* en lugar de a *T. dicentrarchi* como se afirmó anteriormente (Grothusen et al., 2016). Pese a la complejidad, nosotros recomendamos con fines diagnósticos, evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana y validación de los postulados de Koch, el aislamiento de los distintos *Tenacibaculum* spp., su análisis fenotípico y el uso de protocolos de PCR validados por literatura científica y finalmente la confirmación final mediante el análisis de secuencias multilocus de al menos cinco genes housekeeping (atpD-816 pb; fusA-758 pb; glyA-1275 pb; pgk-927 pb y rlmN-594 pb) como indican Avendaño-Herrera et al. (2020). Este análisis nos ha permitido identificar cada una de las especies de *Tenacibaculum* y poseer una amplia colección de aislados chilenos como se muestra en la Figura 2.

Respecto al tratamiento de la tenacibaculosis, recientemente se publicó el primer informe que documenta los patrones de susceptibilidad de *T. dicentrarchi*, encontrando que de 55 aislados de *T. dicentrarchi*, 33 tenían un valor de concentración inhibitoria mínima (CIM) de 2 µg/ml para florfenicol y oxitetraciclina (Irgang et al., 2021). El mismo estudio sugiere como valores de corte epidemiológico en $\leq 4,0$ µg/ml para florfenicol y $\leq 8,0$ µg/ml para oxitetraciclina, lo que resultó en la clasificación de todos los aislamientos chilenos de *T. dicentrarchi* como tipo silvestre o "wild-type" para ambos antimicrobianos. Sin embargo, brotes de tenacibaculosis ocurridos entre 2018 a 2020 se controlaron con efectividad mediante la administración oral de tiamulina, reduciendo la mortalidad de los peces después de 25 a 30 días de haber entregado el alimento medicado (Irgang et al., 2022). Las CIM obtenidas para los 32 aislamientos de campo de *T. dicentrarchi* chilenos mostraron una distribución unimodal con valores entre 0,06 y 1,0 µg/ml para la tiamulina. Los cálculos del método de interpretación de resistencia normalizada (NRI) generaron un valor de corte epidemiológico de $\leq 1,0$ µg/ml, con los 33 aislados clasificados como de tipo silvestre. Estos resultados *in vitro* indican que la tiamulina es una alternativa eficaz para el control de la tenacibaculosis, pero el antimicrobiano

presenta como inconveniente carecer de límites máximos residuales, requiriéndose autorización especial para su uso.

En relación a la prevención de la tenacibaculosis por *T. dicentrarchi* ha sido un trabajo más complejo, incluso que la experiencia previa con los aislados de *T. maritimum* (Avendaño-Herrera et al., 2006). Ello debido a todos los inconvenientes descritos en esta nota, aunque hoy tenemos claridad en la existencia de heterogeneidad antigénica y genética dentro de las poblaciones de *T. dicentrarchi* (Irgang et al., 2017; Olsen et al., 2017), dificultando la elección del candidato para el desarrollo de las vacunas experimentales. No obstante, hemos establecido modelos de desafíos que imitan lo que podría ocurrir en condiciones naturales en los ambientes acuáticos, por lo que esperamos prontamente compartir resultados de vacunación.

Bibliografía

- Abdelsalam M, Ewiss MAZ, Khalefa HS, Mahmoud MA, Elgendy MY, Abdel-Moneam DA. (2021) Coinfections of *Aeromonas* spp., *Enterococcus faecalis*, and *Vibrio alginolyticus* isolated from farmed Nile tilapia and African catfish in Egypt, with an emphasis on poor water quality. *Microb Pathog* 160, 105213.
- Apablaza P, Frisch K, Brevik ØJ, Småge SB, Vallestad C, Duesund H, Mendoza J, Nylund A. (2017) Primary isolation and characterization of *Tenacibaculum maritimum* from Chilean Atlantic salmon mortalities associated with *Pseudochattonella* spp. algal bloom. *J Aquat Anim Health* 29,143-149.
- Avendaño-Herrera R, Olsen AB, Saldarriaga-Cordoba M, Colquhoun DJ, Reyes V, Rivera-Bohle J, Duchaud E, Irgang R. (2022) Isolation, identification, virulence potential and genomic features of *Tenacibaculum piscium* isolates recovered from Chilean salmonids. *Transbound Emerg Dis*. doi: 10.1111/tbed.14606.
- Avendaño-Herrera R, Saldarriaga-Córdoba M, Irgang R. (2022) Draft Genome sequence of *Tenacibaculum ovolyticum* To-7Br, recovered from a farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Microbiol Resour Announc*. 11(7), e0025422.
- Avendaño-Herrera, R., Collarte, C., Saldarriaga-Córdoba, M., Irgang, R. (2020) New salmonid hosts for *Tenacibaculum* species: Expansion of tenacibaculosis in Chilean aquaculture. *J Fish Dis* 43, 1077-1085.
- Avendaño-Herrera R, Saldarriaga-Córdoba M, Irgang R, Tapia-Cammas R. (2019) PCR protocol for *Tenacibaculum dicentrarchi*: updated specificity for "*Tenacibaculum finnmarkense*" detection. *Bull Eur Assoc Fish Pathol* 39,162-171.
- Avendaño-Herrera R, Irgang R, Sandoval C, Moreno-Lira P, Houel A, Duchaud E, Poblete-Morales M, Nicolas P, Ilardi P. (2016) Isolation characterization and virulence potential of *Tenacibaculum dicentrarchi* in salmonid culture in Chile. *Transbound Emerg Dis* 63, 121-126.

- Avendaño-Herrera R, Toranzo AE, Magariños B. (2006) Tenacibaculosis infection in marine fish caused by *Tenacibaculum maritimum*. a review. Dis Aquat Org 71, 255-266.
- Bridel S, Olsen AB, Nilsen H, Bernardet J-F, Achaz G, Avendaño-Herrera R, Duchaud E. (2018) Comparative genomics of *Tenacibaculum dicentrarchi* and "*Tenacibaculum finnmarkense*" highlights intricate evolution of fish pathogenic species. Genome Biol Evol 10, 452-457.
- Habib C, Houel A, Lunazzi A, Bernardet JF, Olsen AB, Nilsen H, Toranzo AE, Castro N, Nicolas P, Duchaud E. (2014) Multilocus sequence analysis of the marine bacterial genus *Tenacibaculum* suggests parallel evolution of fish pathogenicity and endemic colonization of aquaculture systems. Appl Environ Microbiol 80, 5503-5514.
- Grothusen H, Castillo A, Henríquez P, Navas E, Bohle H, Araya C, Bustamante F, Bustos P, Mancilla M. (2016) First complete genome sequence of *Tenacibaculum dicentrarchi*, an emerging bacterial pathogen of salmonids. Genome Announc 4(1), e01756-15.
- Irgang R, Avendaño-Herrera R. (2022) Evaluation of the *in vitro* susceptibility of *Tenacibaculum dicentrarchi* to tiamulin using minimum inhibitory concentration tests. J Fish Dis. 45, 795-799.
- Irgang R, Mancilla M, Avendaño-Herrera R. (2021) Florfenicol and oxytetracycline susceptibility patterns in Chilean isolates of *Tenacibaculum dicentrarchi*. An emerging pathogen for farmed salmonids. Journal of Fish Diseases, 44, 1043-1046.
- Levipan HA, Irgang R, Tapia-Cammas D, Avendaño-Herrera, R. (2019) A high-throughput analysis of biofilm formation by the fish pathogen *Tenacibaculum dicentrarchi*. J Fish Dis 42, 617-621.
- Kotob MH, Menanteau-Ledouble S, Kumar G, Abdelzaher M, El-Matbouli M. (2016) The impact of co-infections on fish: a review. Vet Res 47, 98.
- Nowlan JP, Lumsden JS, Russell S. (2021) Quantitative PCR for *Tenacibaculum dicentrarchi* and *T. finnmarkense*. J Fish Dis 44, 655-659.
- Nowlan JP, Britney SR, Lumsden JS, Russell S. (2021) Application of quantitative-PCR to monitor netpen sites in British Columbia (Canada) for *Tenacibaculum* species. Pathogens 10, 414.
- Olsen AB, Spilsberg B, Nilsen HK, Lagesen K, Gulla S, Avendaño-Herrera R, Irgang R, Duchaud E, Colquhoun DJ. (2020) *Tenacibaculum piscium* sp. nov. isolated from skin ulcers of sea-farmed fish and description of *Tenacibaculum finnmarkense* sp. nov. with subdivision into genomovars *finnmarkense* and *ulcerans*. Int J Syst Evol Microbiol, 70, 6079-6090.
- Olsen AB, Gulla A, Steinum T, Colquhoun DJ, Nilsen HK, Duchaud E (2017) Multilocus sequence analysis reveals extensive genetic variety within *Tenacibaculum* spp. associated with ulcers in sea-farmed fish in Norway. Vet Microbiol 205, 39-45.
- Olsen AB, Nilsen H, Sandlund N, Mikkelsen H, Sørum H, Colquhoun DJ. (2011) *Tenacibaculum* sp. associated with winter-ulcers in seareared Atlantic salmon *Salmo salar*. Dis Aquat Org 94, 189-199.
- Saldarriaga-Córdoba M, Irgang R, Avendaño-Herrera R. (2021) Comparison between genome sequences of Chilean *Tenacibaculum dicentrarchi* isolated from red conger eel (*Genypterus chilensis*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) focusing on bacterial virulence determinants. J Fish Dis. 44, 1843-1860.
- Santos Y, Pazos F, Barja JL (1999) *Flexibacter maritimus*, causal agent of flexibacteriosis in marine fish. ICES Leaflet No. 55. ISSN 0109-2510.
- SERNAPESCA (2021) Informe sobre uso de antimicrobianos en la salmonicultura nacional año 2021. http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/informe_sobre_uso_de_antimicrobianos_en_la_salmonicultura_nacional_ano_2021.pdf (accessed May 5th, 2022)
- SERNAPESCA (2020) Informe sobre uso de antimicrobianos en la salmonicultura nacional año 2020. http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/informe_sobre_uso_de_antimicrobianos_en_la_salmonicultura_nacional_ano_2020.pdf (accessed July 20th, 2021)
- Småge SB, Brevik ØJ, Duesund H, Ottem KF, Watanabe K, Nylund A. (2016) *Tenacibaculum finnmarkense* sp. nov., a fish pathogenic bacterium of the family Flavobacteriaceae isolated from Atlantic salmon. Antonie van Leeuwenhoek 109, 273-278.
- Toranzo AE, Magariños B, Romalde JL. (2005) A review of the main bacterial fish diseases in mariculture system. Aquaculture 246, 37-61.
- Wilson TK, Douglas M, Dunn V. (2019) First identification in Tasmania of fish pathogens *Tenacibaculum dicentrarchi* and *T. soleae* and multiplex PCR for these organisms and *T. maritimum*. Dis Aquat Org 136, 219-226.



Matamos por encargo...

NUESTROS SERVICIOS



CONTROL DE AVES

SANITIZACIONES

DES RATIZACIONES

CAPTURA ANIMAL

TERMO NIEBLA

EQUIPOS ATRAPA INSECTOS

NUESTRO EQUIPO



CONSULTAS: info@7plagas.cl - Cel: (+569) 68301662

Puerto Montt: Avda. Presidente Ibáñez 352 / Fono: (65) 2253203 - 2480625 - Cel: (+569) 68301647

Santiago: Avda. el Retiro 1227, Bodega 40, Renca / Fono: (65) 2253203

Concepción: Millarapue 36, San Pedro de la Paz, Región del Bío-Bío / Fono: (41) 3833737 - Cel: (+569) 63081482

Temuco: 12 de Febrero # 1035, Región de la Araucanía

Castro: Sector Llau-Llao s/n, Chiloé, Región de los Lagos / Fono: (65) 2253203 - 2480625

Puerto Aysén: Sargento Aldea # 988, Región de Aysén / Fono: (67) 2333060

Punta Arenas: Quillota 0130, Región de Magallanes y Antártica Chilena / Fono: (61) 2 270917



LOS BOSQUES DE HUIRO:

Hotspots de biodiversidad, ingenieros ecosistémicos, y fuente de carbono azul



Iván Gómez^{1,2}, Pirjo Huovinen^{1,2}, Ignacio Garrido^{1,2,4,5}, Mauricio Palacios^{1,2,3}

¹ Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

² Centro Fonmap de Investigación en Dinámica de Altas Latitudes (IDEAL).

³ Wildlife Conservation Society-Chile.

⁴ Laboratorio Costero de Recursos Acuáticos de Caluco (LCRAC), Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

⁵ Québec-Océan and Département de Biologie, Université Laval, Québec, Canada.

e-mail: igomezo@uach.cl

El Huiro, *Macrocystis pyrifera*, es la especie de alga parda del orden Laminariales más extendida en el mundo. Su distribución anti-tropical va desde Alaska hasta Baja California y desde Perú hasta el Cabo de Hornos en el Pacífico Oriental, sur del Atlántico Argentino e Islas Malvinas, sur de Sudáfrica, sur de Nueva Zelanda, Australia y Tasmania, así como las islas sub-Antárticas. Con una envergadura que puede llegar a los 70 m, esta especie forma bosques submarinos altamente productivos que proporcionan hábitat, alimentación y refugio para una gran diversidad de organismos bentónicos y pelágicos, algunos de ellos de gran importancia comercial. Debido a la degradación de su hábitat y la explotación intensiva, la abundancia global de bosques de esta especie ha disminuido cerca de un 28% (Krumhansl et al. 2016).

A lo largo de Chile, la especie es un conspicuo habitante de bahías y estuarios, sin embargo, es en los fiordos y canales del Sur de Chile (Región de Aysén y Magallanes) donde logra su mayor desarrollo (Dayton 1985, Mora-Soto et al. 2021). Sin embargo y considerando su importancia en los ecosistemas Patagónicos, solo en los últimos años se ha comenzado a estudiar en mayor detalle su ecología, desempeño fisiológico y respuestas al ambiente, especialmente aquellos derivados del cambio climático.

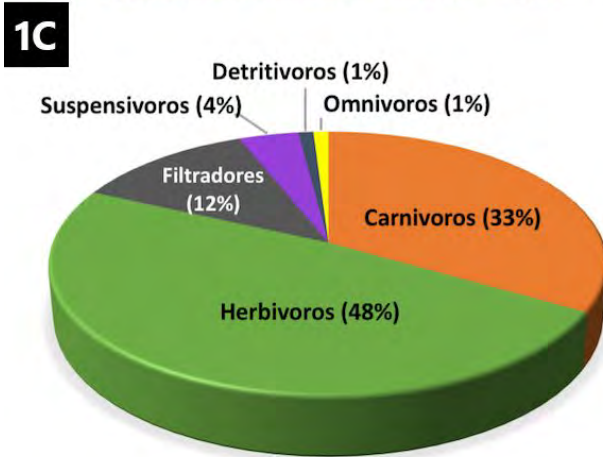
Los bosques de Huiro albergan una gran biodiversidad

En el sur de la Patagonia chilena, los bosques de *M. pyrifera* son considerados hotspot de diversidad marina (Friedlander

et al. 2020). En general, aunque la riqueza de especies y relaciones tróficas dentro de los bosques de Huiro difiere de aquellas descritas en poblaciones del Hemisferio Norte, se ha reconocido que son importantes áreas de reclutamiento y alimentación de varios invertebrados marinos, por ejemplo, el calamar *Doryteuthis gahi* y el crustáceo *Lithodes santolla* (Cárdenas et al. 2007, Rosenfeld et al. 2014), entre otros (Fig. 1A). En el caso de la centolla, la presencia de gran número de reclutas y ejemplares juveniles indica que los bosques de Huiro juegan un papel fundamental en la mantención de las poblaciones de este crustáceo de gran importancia económica. Por otro lado, varias especies de algas pardas y rojas crecen debajo del dosel del Huiro, por lo que sus dinámicas poblacionales y productividad están fuertemente interrelacionadas (Santelices & Ojeda 1984) (Fig. 1B). En un reciente catastro a lo largo del Estrecho de Magallanes, se encontró que los herbívoros, con un 48 %, es el grupo funcional más importante, seguido de los carnívoros (33%), los filtradores (12%) y los suspensivos (4%), mientras omnívoros y detritívoros estuvieron menos representados (1%) (Fig. 1C).



Estas proporciones pueden variar considerablemente según el tipo de bosque, tipo de sustrato, profundidad, etc. (Palacios et al., datos no publicados). La presencia de los bosques de Huiro añade complejidad estructural al fondo marino, lo que incrementa los grupos funcionales de organismos. Por lo tanto, la pérdida de biomasa de estas poblaciones, por ejemplo, debido al cambio



Figuras 1. Fauna y flora asociada a los bosques de Huiro.
 A) Juveniles de centolla.
 B) Bajo el dosel habitan muchos invertebrados y algas mas pequeñas (Fotografía: Ignacio Garrido).
 C) Composición relativa de diferentes grupos funcionales de macro-invertebrados en bosques de Huiro de Estrecho de Magallanes (Palacios et al., datos no publicados).

climático o acción humana directa, puede empobrecer la provisión de hábitat, que se reflejará en una baja en la productividad primaria, simplificación de las tramas tróficas y finalmente una pérdida de biodiversidad. Las consecuencias van mas allá del daño ecológico, ya que se extienden al ámbito económico, pues varias de las especies que viven en directa interacción con el Huiro, sustentan importantes pesquerías en la Patagonia austral.

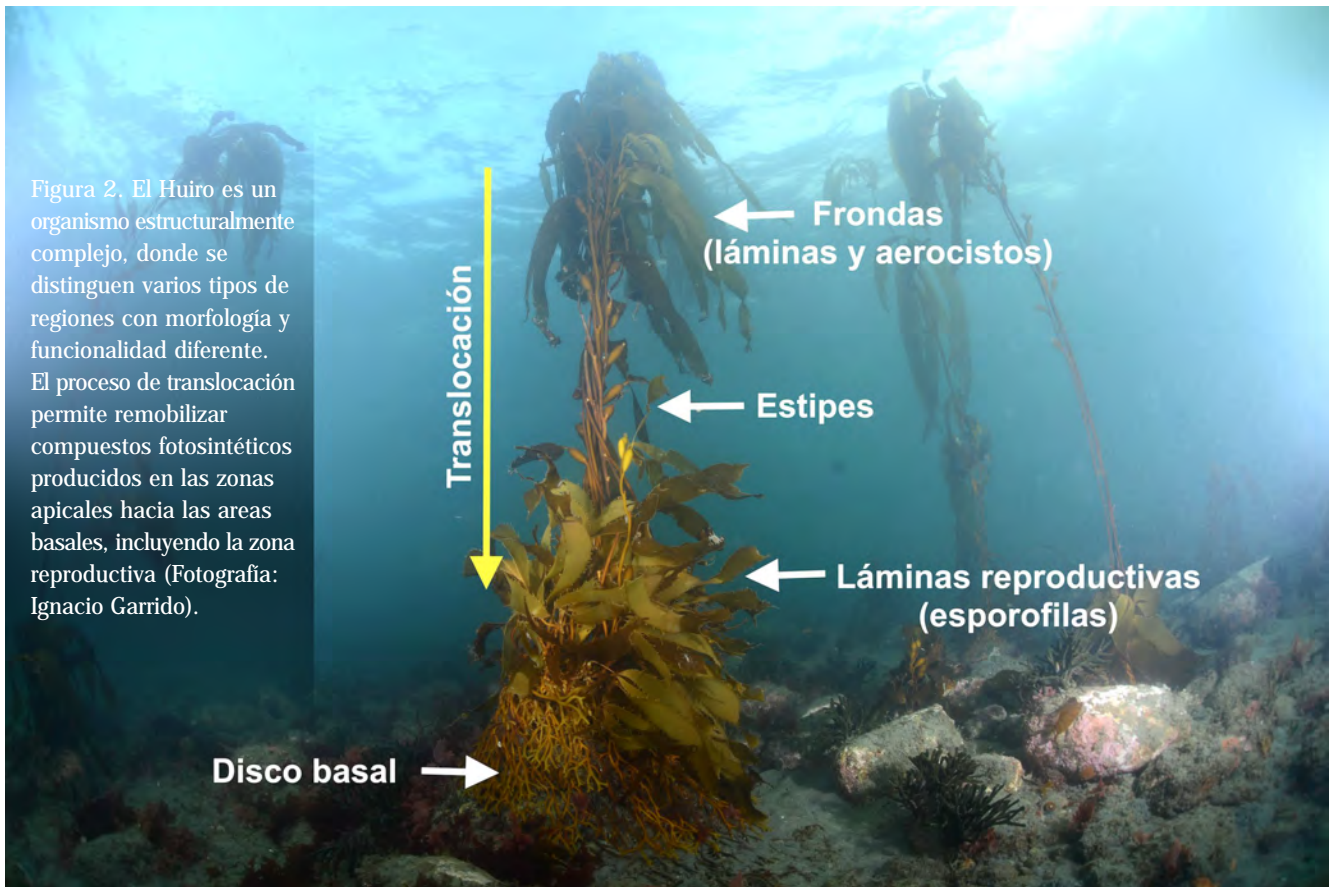
Adaptaciones morfo-funcionales: factor clave para vivir en entornos altamente cambiantes

La morfología y funcionalidad del Huiro están fuertemente influenciadas por la disponibilidad de luz a diferentes profundidades y a lo largo del tiempo. En general, las frondas conforman un sistema de múltiples capas de láminas, análoga al follaje de las plantas terrestres y, por lo tanto, representan las estructuras especializadas en la absorción de la luz. Especialmente en

individuos mayores de 10 m de longitud, la capacidad de absorber la luz está fuertemente asociada con la profundidad a la que se localizan las láminas, mientras que en los estratos basales hay zonas que están continuamente sujetas a poca luz, o incluso total oscuridad, las frondas apicales, normalmente flotantes, pueden permanecer expuestas a altos niveles de radiación solar. Por lo tanto, existen gradientes longitudinales en la fotoaclimatación de las frondas y su rendimiento fotosintético. En un organismo con diferentes tipos de zonas celulares, el abastecimiento de nutrientes y compuestos energéticos a lo largo del talo se realiza vía translocación, un mecanismo morfo-funcional que permite el transporte de sustancias desde las zonas apicales a las basales (Gómez & Huovinen 2012) (Fig. 2).

La adaptación fisiológica del Huiro en las regiones de la Patagonia austral de Chile queda de manifiesto en su éxito para vivir en condiciones altamente dinámicas y heterogéneas que caracterizan a los fiordos, bahías y canales. Por ejemplo, las fluctuaciones diarias y estacionales de la radiación solar son marcadas por el ángulo cenital, mareas y los fotoperíodos; y espacialmente debido a los cambios en las condiciones de luz a lo largo de la columna de agua, por ejemplo, debido a la atenuación por el material particulado y la turbidez. Estudios recientes indican que en los sistemas de fiordos la distribución de los bosques de Huiro sigue el gradiente de turbidez (Huovinen et al. 2020, Palacios et al. 2021). En estos ambientes, el 1% de la radiación solar (z1%) puede alcanzar profundidades entre 6 y 22 m. Por otra parte, bajo el dosel del bosque submarino, la luz se atenúa en un 70 % (Huovinen & Gómez 2011, Marambio et al. 2017), en particular las longitudes de onda más cortas, que son absorbidas por una serie de pigmentos y moléculas orgánicas de las frondas. Sin embargo, en verano, las frondas de los estratos superiores del alga pueden estar expuestas a altos niveles de radiación solar, especialmente radiación UV que puede causar inhibición de fotosíntesis.

Debido a la influencia de la escorrentía terrestre y deterioramiento de glaciares, entre otros factores, la estratificación de la columna de agua impone condiciones térmicas y de salinidad cambiantes a una especie que puede alcanzar decenas de metros, es decir, diferentes partes de su talo viven no solo bajo diferentes condiciones de luz, sino también están expuestas a diferente temperatura y salinidad (Huovinen et al. 2016). En algunos fiordos Patagónicos, debido a la influencia del agua dulce, se desarrolla una columna de agua superior (2-5 m) con baja salinidades (entre 8-25 PSU). Por debajo, la salinidad aumenta a 30-32 PSU (Muñoz et al. 2014). En sistemas estuarinos, los cambios en temperatura y salinidad debido a las mareas también son importantes para explicar algunos patrones poblacionales del Huiro. En general, el Huiro se desarrolla mejor en ambientes mas salinos, donde el alga puede desplegar mejor sus mecanismos metabólicos para hacer frente a las altas temperaturas y la radiación solar.



Rol ecosistémico en tiempos de cambio climático

Los bosques submarinos no sólo responden a los cambios ambientales, sino que también pueden modificar y modular algunas de las propiedades físico-químicas más relevantes de su entorno (Smale et al. 2013). Esta retroalimentación, junto con la provisión de hábitat, definen al Huiro como un bio-ingeniero ecosistémico, cuyos procesos afectan propiedades comunitarias fundamentales, como la estructura, la diversidad, las tramas tróficas y la productividad. La magnitud de estos efectos variará según estructura y los rasgos funcionales del bosque de Huiro.

Diferentes condiciones climáticas y oceanográficas, así como profundidad y geomorfología del fondo, modelan la extensión, tamaño y densidad de los bosques de Huiro, entre otras características. Estas condiciones están siendo modificadas debido al cambio climático, especialmente por aumento local de las temperaturas, disminución de salinidad que puede incrementar a su vez el impacto de la acidificación, la turbidez que afecta las condiciones de luz, las marejadas y corrientes, entre otras. Esto interactúa con la acción humana directa, como la contaminación y degradación de hábitat, sobreexplotación de recursos bentónicos, etc. Sin embargo, debido a su carácter fundacional esta especie puede aminorar el impacto de algunos factores ambientales. Por ejemplo, el bosque de Huiro atenúa la velocidad de las corrientes y dependiendo de la densidad de algas, puede también disminuir la perturbación causada por marejadas o tormentas.

Asimismo, la actividad metabólica de las algas puede estabilizar variaciones en la química del agua al interior del bosque, especialmente nutrientes, pH y oxígeno, entre otros. Además, la presencia de los discos basales del alga permite la estabilización del sustrato, incrementando la diversidad bentónica y de microbiomas. Finalmente, la absorción de la radiación solar en la canopia superior del bosque, atenúa el impacto de un exceso de radiación solar, que beneficia a organismos adaptados a vivir en entornos más sombreados. Pese a que se reconoce que la pérdida de los bosques de huiros puede exacerbar los efectos negativos del cambio climático sobre las comunidades bentónicas asociadas, la evidencia científica aún es muy limitada.

Potencial rol en la secuestro de carbono

Se ha estimado que la producción neta global de las macroalgas asciende a 1.5 Tg C año⁻¹ (Krause-Jensen & Duarte 2016). En este contexto, los bosques de Huiro contribuyen de forma importante a estos montos. Para las poblaciones de la costa de California, estimados de producción neta anual pueden sobrepasar los 0,5 y 1,1 kg C m⁻² (Miller et al. 2018). En la región de Magallanes, donde el Huiro cubre un área cercana a los 5000 km² (Mora-Soto et al. 2020), valores cercanos a 0,2 kg C m⁻² año han sido estimados para algunas poblaciones (Palacios et al., datos no publicados). Estos niveles de productividad permiten

argumentar que esta especie tiene un alto potencial para fijar CO_2 desde el medio y por lo tanto podría ser considerada candidata al club de especies del “carbono azul” (“Blue Carbon”). Este grupo lo integran las plantas terrestres, manglares y algunas macrofitas (ej. pastos marinos), que pueden capturar y secuestrar el carbono almacenado en sus hojas, tallos y raíces por largos periodos (hasta miles de años en el caso de biomasa depositada en el suelo y otros sedimentos). En el caso de macroalgas grandes de la costa de Chile, se tiene evidencia de su alta capacidad para fijar CO_2 (hasta $21 \mu\text{mol C g alga m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; Gómez & Huovinen 2012), sin embargo, su potencial para almacenar y secuestrar este carbono fijado aún no ha sido demostrado. Esto debido a la ausencia de estructuras tales como la lignina, y el hecho de que en el ambiente acuático es difícil determinar los lugares de sedimentación de los stocks de carbono proveniente de las algas. Pese a ello, se ha reconocido que los bosques de macroalgas son importantes sumideros de carbono que rivalizan con la masa vegetal terrestre. En consecuencia, han surgido diversas ideas para poder aprovechar este enorme potencial de captura de carbono, como son el transporte de biomasa algal a zonas profundas (denominado *afforestation*), o el cultivo masivo de especies con alta capacidad productiva y valor comercial. Estas alternativas tienen ventajas

y desventajas en cuanto a su eficacia y posibles efectos sobre los ecosistemas. Sin embargo, otras iniciativas tales como la reforestación y un mejor manejo de las praderas de algas que actualmente están siendo fuertemente explotadas, aparecen como mucho más sustentables en un corto y mediano plazo.

En resumen, los bosques de Huiro representan ecosistemas en sí mismos que son modulados y afectados por una serie de factores externos e internos, tanto abióticos como biológicos (Fig. 3). Estos factores afectan los procesos morfo-funcionales del alga, así como su reproducción y desarrollo, que finalmente impactan al resto de la flora y fauna asociada. Por lo tanto, la preservación de estos ecosistemas y sus servicios ecosistémicos dependerá no sólo de la capacidad de adaptación, autoregulación y resiliencia del bosque, sino también de políticas de manejo y conservación eficientes y sustentables en el tiempo. El proyecto Fondecyt 1201069, “Evaluación fisiológica del Huiro (*Macrocystis pyrifera*) en la Patagonia Sur de Chile” estudia estos aspectos y entregará importante nueva información sobre el estatus de esta especie, especialmente sus respuestas morfo-funcionales, control ambiental y escalas espacio-temporales.

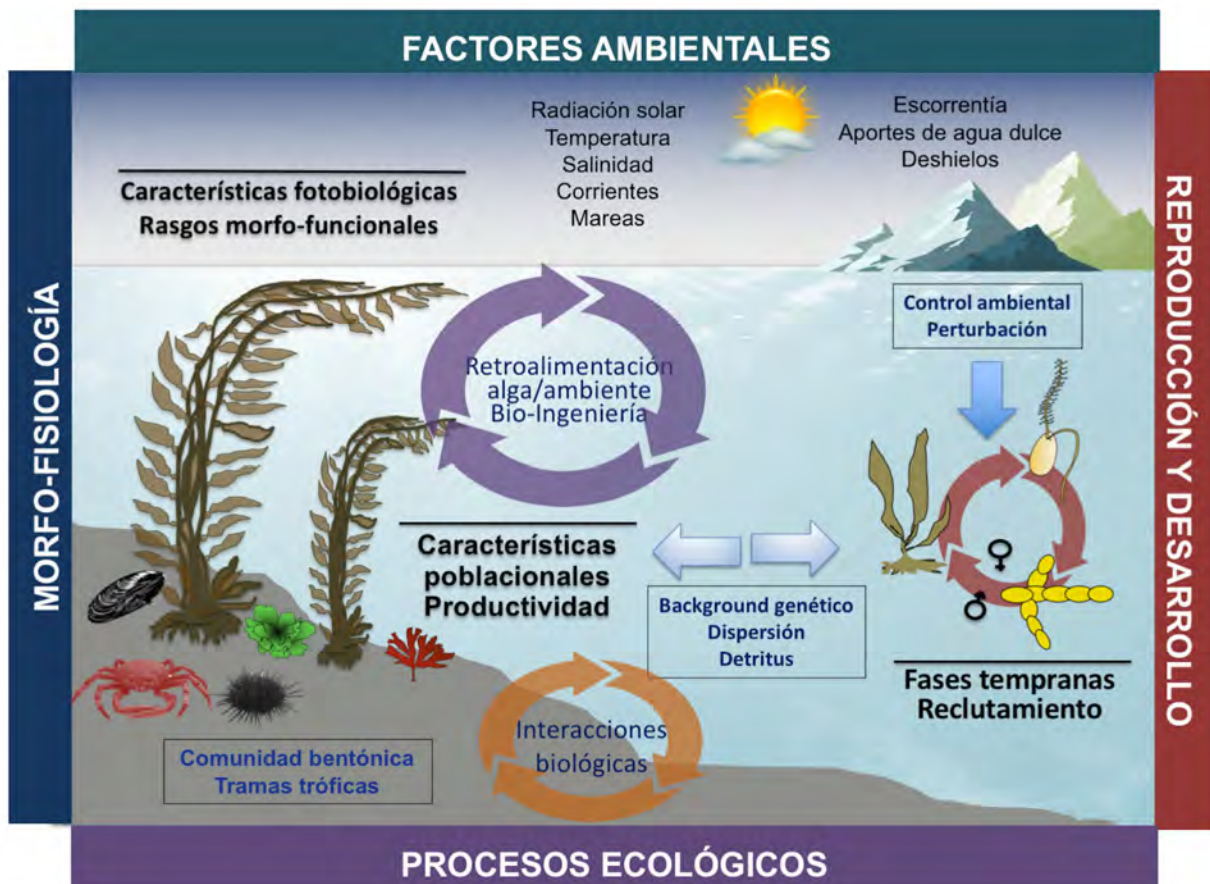


Figura 3. Esquema conceptual indicando los principales factores abióticos y bióticos que gobiernan los procesos morfo-funcionales, reproductivos y poblacionales dentro de un bosque de Huiro.

Referencias

- Cárdenas CA, Cañete JI, Oyarzún S, Mansilla A (2007). Podding of juvenile king crabs *Lithodes santolla* (Molina, 1782) (Crustacea) in association with holdfasts of *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh, 1980. *Investigaciones marinas*, 35(1), 105-110. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782007000100010>
- Dayton PK (1985). The structure and regulation of some South American kelp communities. *Ecol. Monogr.* 55, 447-468.
- Friedlander AM, Ballesteros E, Bell TW, Caselle JE, Campagna C, Goodell W, et al. (2020) Kelp forests at the end of the earth: 45 years later. *PLoS ONE* 15(3): e0229259. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229259>
- Huovinen P, Gómez I. (2011). Spectral attenuation of solar radiation in Patagonian fjords and coastal waters and implications for algal photobiology. *Continental Shelf Research* 31: 254-259
- Gómez I, Huovinen P. (2012). Morpho-functionality of carbon metabolism of seaweeds. In: *Seaweed Biology: Novel Insights into Ecophysiology, Ecology and Utilization*. Wiencke C, Bischof K. (eds). Vol 219. Ecological Studies, Springer. pp 25-46. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28451-9_2
- Huovinen P, Ramírez J, Gómez I. (2016) Underwater optics in sub-Antarctic and Antarctic coastal ecosystems. *Plos One* 11(5): e0154887. DOI: 10.1371/journal.pone.0154887
- Huovinen P, Ramírez J, Palacios M., Gómez I. (2020) Satellite-derived mapping of kelp distribution and water bio-optics in the glacier impacted Yendegaia Bay (Beagle Channel). *Science of Total Environment* 703:135531. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135531>.
- Krause-Jensen D, Duarte CM (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nat. Geosci.* 9, 737-742. doi: 10.1038/ngeo2790
- Krumhansl KA, Okamoto DK, Rassweiler A, Novak M, Bolton JJ (2016) Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113: 13785-13790.
- Marambio J, Rodríguez JP, Méndez F, Ocaranza P, Rosenfeld S, Ojeda J, et al. (2017) Photosynthetic performance and pigment composition of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyceae) along a gradient of depth and seasonality in the ecoregion of Magellan, Chile. *J. Appl. Phycol.* 29, 2575-2585. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1136-0>
- Miller RJ., Reed DC, Brzezinski MA (2011), Partitioning of primary production among giant kelp (*Macrocystis pyrifera*), understory macroalgae, and phytoplankton on a temperate reef. *Limnology and Oceanography*, 56, doi: 10.4319/lo.2011.56.1.0119.
- Mora-Soto A, Palacios M, Macaya EC, Gómez I, Huovinen P, Pérez- Matus A, et al. (2020) A high-resolution global map of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) forests and intertidal green algae (Ulvophyceae) with Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing* 12: 694.
- Muñoz P, Sellanes J, Villalobos K, Zapata-Hernández G, Mayr C, Araya K. (2014) Geochemistry of reduced fluids from shallow cold vents hosting chemosynthetic communities (Comau Fjord, Chilean Patagonia, ~ 42°S). *Progr Oceanogr.* 2014; 129: 159-169.
- Palacios M., Osman D., Ramírez J, Huovinen P, Gómez I. (2021) Photobiology of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in the land-terminating glacier fjord Yendegaia (Tierra del Fuego): a look into the future? *Science of the Total Environment* 751:141810 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141810>
- Rosenfeld S, Ojeda J, Hüne M, Mansilla A, Contador T. (2014) Egg masses of the Patagonian squid *Doryteuthis (Amerigo) gahi* attached to giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) in the sub-Antarctic ecoregion, *Polar Research*, 33:1, DOI: 10.3402/polar.v33.21636
- Santelices B, Ojeda FP. (1984). Population dynamics of coastal forests of *Macrocystis pyrifera* in Puerto Toro, Isla Navarino, Southern Chile. *Mar Ecol Prog Ser.* 14: 175-183.
- Schiel DR., Foster MS (2015) (eds) *The Biology and Ecology of Giant Kelp Forests*. 1st ed., University of California Press, JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/10.1525/j.ctt14btfvw>.
- Smale DA, Burrows MT, Moore PJ, O'Connor N, Hawkins SJ. (2013). Threats and knowledge gaps for ecosystem services provided by kelp forests: a northeast Atlantic perspective. *Ecology and Evolution* 3: 4016- 4038.



Nuevo e innovador desarrollo
para films tapa impresos
que no requieren laminación

Amcor y Global Pacific **Sus socios de empaque confiables**

VENTAJAS COMPARATIVAS:



*Tapa full impresión
8 colores sin laminación*



*Optimiza el rendimiento de
sus líneas de envasado*



*Disminución del material de
empaque haciéndolo más
sustentable.*



*Prolonga la vida útil de los
productos envasados.*



SANTIAGO

Teléfono (+56) 2273 92878
ventas@globalpacific.cl

PUERTO MONTT

Teléfono (+56) 65 2275560
Móvil (+56) 9 9801 2503
vmera@globalpacific.cl
www.globalpacific.cl



SERVICIOS

Servicio de aislación térmica

Instalación de porcelanato hospitalario

Cierres sanitarios

Hojalatería para aislación térmica

Construcción de mamparas de vidrio para aislación
médica y plantas de alimentos

Servicios de emergencia 24/7

Construcción y mantención en general

Constructora e inmobiliaria
Santa Adriana spa

Gerente Comercial +56 9 7790 2942
Jefe Técnico +5699 3001 3444

Fono 64 220 7567

José María Sotomayor 71
Osorno

MODIFICACION TRIBUTARIA TODOS LOS SERVICIOS SE AFECTARÁN CON IVA



La nueva Ley 21.420 publicada en el Diario Oficial con fecha 04/02/2021 modificó diversos cuerpos normativos para efectos de reducir o eliminar exenciones tributarias que se encontraba vigente, generando que se deba pagar un mayor valor para los usuarios finales de cada servicio que estará afecto desde el 01 de enero del 2023, con esta modificación se genera la afectación con IVA a todos los servicios que preste un contribuyente independientemente de la actividad que éste desarrolle.

La normativa, rige a partir de los servicios que se presten desde el 1° de enero del año 2023, una medida que resultaría ser el cambio más significativo en materia de recaudación fiscal, recaudación que se obtiene de los usuarios finales de estos servicios, que verán incrementado estos valores en un 19% del valor que hoy están pagando, el que vendrá en afectar principalmente aquellos servicios calificados como de Ingeniería, Consultorías, Asesorías Legales y Otras Asesorías en general. Era frecuente encontrar resoluciones u opiniones en que el Servicio de Impuestos Internos encasillaba muchas de estas prestaciones en el N°5 del Artículo 20 de la Ley sobre Impuesto a la Renta, disposición que permitía no afectar con IVA.

Respecto de una de las actividades más frecuentes en la zona sur de nuestro país, este cambio obligará también a afectarse con este impuesto a los servicios agrícolas que presten los contribuyentes que sean agricultores, cuyas actividades se clasifican en el N°1 del Artículo 20 de la Ley de la Renta, esto generará una nueva presión al flujo de caja a la actividad de este rubro. Los gastos fijos de un prestador de servicios por lo general se caracterizan por ser muy inferiores a sus ingresos por tanto el acceso al crédito fiscal para rebajar del IVA Débito será mínimo. Si bien es cierto, quién soporta el impuesto es el consumidor final y entre contribuyentes se compensa el impuesto. En los primeros meses de implementación se verá afectado el flujo de caja de los prestadores de servicios debido que el dinero esperado podría no percibirse oportunamente, pero si o si deberá pagar el impuesto mensual hasta el día 20 de cada mes, o postergar si cumple con los requisitos de tener un buen comportamiento tributario. Ello generará pérdida de eficiencia financiera para los negocios, hecho que no es menor en los tiempos que se están viviendo hoy cuando la morosidad de los negocios han aumentado sosteniblemente debido a las manifestaciones sociales y la pandemia,

LEY 21420 | REDUCE O ELIMINA EXENCIONES TRIBUTARIAS QUE INDICA.
MINISTERIO DE HACIENDA

que han dejado a las pymes en situaciones poco favorables, según algunos estudios se ha aumentado en un 31% la morosidad durante los

primeros 5 meses de este año.

Esta norma sobre la afectación de IVA a los servicios tiene una excepción; todas las exenciones dispuestas en los Artículo 12 y 13 de la Ley sobre Impuesto a las Ventas y Servicios, como son, los servicios calificados como de exportación y los servicios prestados por personas naturales o a través de sociedades de profesionales clasificados en el N°2, del Artículo 42 de la Ley de la Renta, tomado este último caso se debe considerar que la sociedad se cree como una sociedad de profesionales y no que esta sea producto de una transformación de una sociedad generada bajo primera categoría para cambiar a sociedad de profesionales, para esto se debe tener las siguientes características básicas como, que todos sus socios resulten ser personas naturales y se dediquen exclusivamente a la prestación de servicios o asesorías profesionales, deben tratarse de profesionales afines, debe tratarse únicamente rentas de servicios profesionales provenientes de una ocupación lucrativa.

Además se agregó al listado de exenciones;

los servicios, prestaciones y procedimientos de salud ambulatorios que se proporcionen sin alojamiento, alimentación o tratamientos médicos para recuperar la salud propios de prestadores institucionales de salud, tales como hospitales, clínicas o maternidades. Exención que incluye, el suministro de los insumos y medicamentos, efectuados en la ejecución del servicio ambulatorio, siempre que sean utilizados y consumidos en dicho procedimiento e incluidos en el precio cobrado por la prestación.

En este caso se está tratando de generar ingresos fiscales a través de un impuesto que es general, lo cual es regresivo para quienes tienen menores ingresos, no ayuda redistribuir correctamente los ingresos, ya que se está considerando cobrar estos impuesto sin definir quienes tienen mayores ingresos, a diferencia de lo que ocurre con los impuestos a la renta donde mediante una tabla progresiva se puede afectar en mayor medida a quienes tienen efectivamente un mayor ingreso.



 O'Higgins 685 of 204, Osorno
 asesoriaygestionspa@gmail.com
 + 56 9 6627 2569
 www.asesoria-gestion.cl

En Chile: Nuevas tecnologías están demostrando la viabilidad económica, productiva y medioambiental de cultivar salmones en zonas de alta energía.

Las innovaciones que se han fabricado en el marco del Programa Tecnológico Estratégico para el Desarrollo de la Acuicultura Oceánica (17PTECAO-84017) impulsado por Corfo han sido obra de las empresas proveedoras Walbusch, Aquarov y AST Networks, y ya se están validando y escalando en la salmonicultora Granja Marina Tornagaleones (GMT - Marine Farm), específicamente en los centros de cultivo de alta energía "Quillaípe" y "Pirén".



Dr. Daniel Nieto Díaz-Muñoz PhD, Director Programa y Adam Mumtaz Troncoso, Encargado de Comunicaciones.
dnieto@acuiculturaoceanica.cl

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su sigla en inglés) ha reiterado que la denominada acuicultura oceánica (AO) entrega una serie de oportunidades para la producción y el desarrollo de alimentos en muchos países, especialmente en regiones donde la disponibilidad de tierra, espacio cercano a la costa y agua dulce son recursos limitados. Más aún considerando que la acuicultura es reconocida por la propia FAO como una actividad determinante para obtener proteínas que la población mundial necesitará en las próximas décadas, o incluso ahora mismo debido a la problemática global que ha generado la invasión de Rusia a Ucrania. Sin ir más lejos, en abril de 2022 las máximas autoridades del Grupo Banco Mundial, del Fondo Monetario Internacional (FMI), del Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas (PMA) y de la Organización Mundial de Comercio (OMC) exhortaron a la comunidad internacional "a tomar medidas urgentes en forma coordinada en aras de la seguridad alimentaria".

A lo anterior se suma la capacidad de adaptación de la acuicultura como respuesta al cambio climático al tener "en comparación con otras industrias alimenticias" una menor huella de agua, mejores factores de conversión (FCR) y menores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Eso sí, la FAO enfatiza que se necesitan impulsos adicionales para definir especies óptimas y mejorar los esfuerzos en innovación y transferencia de tecnologías que faciliten el desarrollo de la acuicultura oceánica -también llamada *offshore* por su nombre en inglés-, fundamentalmente en las especies con la mayor producción en la actualidad, como el salmón.

El rol de Corfo

Durante la última década, la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) ha estado impulsando la investigación en torno a la acuicultura oceánica, con el fin de vislumbrar el potencial que pudiera tener este tipo de cultivo en Chile.

En ese marco, en 2019 se dio inicio al Programa Tecnológico Estratégico para el Desarrollo de la Acuicultura Oceánica (17PTECAO-84017), iniciativa que cuenta con un plazo de cinco años en el cual se están creando diversas tecnologías con el fin de avanzar hacia un sistema evaluable, operable y escalable a nivel comercial de acuicultura *offshore*. Básicamente se trata de un programa de fortalecimiento de la red de proveedores a la industria del salmón.

Las innovadoras tecnologías que se han diseñado y luego fabricado a partir del 17PTECAO-84017, cuyo financiamiento supera los \$15.500 millones de pesos chilenos (el 75% es aporte privado y el 25% público), han sido desarrolladas por las empresas proveedoras Walbusch (elabora las balsas de cultivo y los sistemas de fondeo), Aquarov (desarrolla los ROVs, acrónimo del inglés Remotely Operated Vehicle) y AST Networks (genera la domótica), mientras que su validación se está llevando a cabo en la compañía salmonicultora Granja Marina Tornagaleones (GMT - Marine Farm), específicamente en los centros de alta energía "Quillaípe" y "Pirén".

Cabe subrayar que no necesariamente se trata de áreas oceánicas, mar afuera (lejos de la costa) u *offshore*, porque ambos centros se encuentran emplazados en el mar interior de la región de Los Lagos, pero debido a que las olas medidas son de 3 a 6 metros (m), corrientes de 3 nudos y vientos de entre 40 y 60 kilómetros (km) por hora y profundidades de 200 y 400 metros

respectivamente, representan condiciones oceanográficas similares a las *offshore*, por lo que estas tecnologías, que ya se están vendiendo a escala comercial, pueden ser homologadas para ello.

De igual manera, esas condiciones de alta energía permiten un mayor bienestar animal para los peces, ya que aumenta el recambio de agua, de oxígeno, entre otras positivas características para la salmonicultura y su búsqueda por la sostenibilidad ambiental, sanitaria y productiva.

Artefactos navales

Corrían los años 2014-2015 y el precio de venta del salmón estaba en uno de sus mínimos históricos, incluso por debajo de los costos de cultivo, lo que provocaba que no existiera rentabilidad o ganancia para algunas compañías productoras.

En ese entonces, Walbusch, como empresa prestadora de servicios, dependía casi totalmente de la rentabilidad de sus clientes. Pese a esto, no se quedaron de brazos cruzados y decidieron ser parte activa, mediante sus propias ideas, para avanzar en la sostenibilidad económica, productiva y ambiental del sector.

Ese compromiso de Walbusch coincidió con el lanzamiento del 17PTECAO-84017. Fue así como el desarrollo de sus tecnologías comenzó a enfocarse en reducir los costos, basándose en la correlación de aumentar volumen y disminuir fundamentalmente la materialidad (redes), lo que se tradujo en mejoras sanitarias y en una directa evolución del bienestar animal. Es que una de las características principales de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) de Walbusch ha sido llegar a tener un 33% de reducción de metros cuadrados (m²) de redes, logrando con esto un mayor intercambio de agua y oxígeno para los peces y, a su vez, trayendo consigo un sinnúmero de beneficios biológicos, económicos y ambientales.

Gracias a lo anterior, y en línea con el programa impulsado por Corfo, la propuesta de Walbusch empezó a tomar fuerza e interés, fundamentalmente en sus balsas de cultivo (artefactos navales) capaces de enfrentar condiciones de mayor energía en zonas más expuestas.

En este contexto, uno de los logros más importantes de la compañía fue el diseño robusto de las balsas, soportantes de las redes y anclajes con mayor eficiencia (fondeos).

El desarrollo en búsqueda de estas características condujo a balsas semirrígidas metálicas acoplables entre sí de 80 m por 80 m con un volumen individual de cultivo cuatro veces mayor a la conocida a nivel nacional e incluso internacional.

El fundador y gerente general de Walbusch S.A., Walter Buschmann, ha relatado que una de las conclusiones de la experiencia que dejó el centro de cultivo implementado en el golfo Corcovado (se encuentra en el límite de las regiones de Los Lagos y Aysén) fue cambiar para zonas de alta energía el formato

de pasillos de 2 m de ancho a 3 m por la mayor robustez que estos poseen, pudiendo recibir corrientes hasta en forma lateral.

En este mismo marco, tomó mucha más relevancia para Walbusch el que hayan podido construir más de 400 balsas de cultivo para sus clientes, las cuales en su mayoría han sido instaladas en zonas de alta energía. Y esto ha servido -en palabras de Walter Buschmann- para el proceso de mejora continua, reafirmado por los buenos resultados productivos de los clientes al incorporar dichos cambios.



Imagen 1: Centro de cultivo "Lleuna", emplazado con exposición al golfo de Ancud y que cuenta con la tecnología de Walbusch (créditos Walbusch).

Tras avanzar en ese proceso de I+D+i, Walbusch completó la primera etapa de validación del 17PTECAO-84017, como la del prototipaje y escalamiento. Con toda esta experiencia, la empresa se encuentra en la segunda fase alcanzando nuevos hitos de validación de sus tecnologías en los centros "Quillaipe" y "Pirén" de GMT - Marine Farm.

"En esta etapa no nos queremos conformar con la caracterización y medición del comportamiento de fenómenos naturales incidentes, como corriente - olas y viento mayoritariamente. Vamos a sensorificar nuestras estructuras con los componentes de unión y amortiguación de las estructuras, articulaciones de pasillos, y tensiones en las líneas de anclaje y conexiones a las balsas, con mediciones muy certeras", enfatiza Walter Buschmann, añadiendo que retroalimentarán los softwares de modelaciones y lograrán escalar con todos los datos las condiciones extremas en zonas expuestas y de alta energía, escenarios que en la naturaleza pueden darse con regularidad.

Además, con esos datos de esfuerzos que son aplicados a un software de análisis de elementos finitos, Walbusch ha llevado a cabo pruebas destructivas reales sensorificadas. Es que esta es la mejor forma de lograr saber los márgenes de seguridad de un centro de cultivo y no exponerse a colapsos estructurales con la consabida pérdida de biomasa por concepto de escapes.

Es importante mencionar que hubo una variante en el proyecto original de balsas de 80 por 80 metros a una versión de 50 por 50 metros construidas en forma pareada, donde la distancia entre las líneas de anclajes de esta estructura es de 50 metros entre anclajes en comparación de las balsas de 80 por 80 metros, donde los anclajes están a solo 20 metros de separación, lo que conlleva la reducción significativa de materiales y en ningún caso perdiendo condiciones de seguridad.

Robótica

Por su parte, Aquarov, por más de diez años ha estado enfocando todos sus esfuerzos en el desarrollo de tecnologías para impulsar la robótica submarina en Chile. Y es en este marco que, como parte del 17PTECAO-84017, dos de sus líneas más importantes se han visto fuertemente nutridas para aportar de mejor manera a las necesidades de la industria.

Por un lado, el área de inspección y extracción de mortalidad en donde se desarrolló una plataforma de control y procesamiento capaz de mejorar la latencia de forma tal que fue posible incorporar el control inalámbrico al equipo sin perder la sensación de maniobrabilidad por parte del piloto.

"Su interfaz sencilla y amigable acercó la posibilidad a pilotos sin mucha experiencia a llevar a cabo labores complejas en corto tiempo, aumentando la eficiencia de la operación en más de un 50%", afirma el gerente general de Aquarov, Manuel Miranda.

Por otra parte, las actividades de limpieza de redes llevaron a Aquarov a enfrentar desafíos enormes de ingeniería, lo que implicó desarrollar un robot capaz de cubrir grandes áreas en poco tiempo, manteniendo una calidad de limpieza, pero bajo condiciones ambientales mucho más complejas.

Si bien esta línea de desarrollo conlleva mayor tiempo en términos de fabricación y pruebas debido a los requerimientos propios de la faena, se logró llegar a una segunda iteración con un prototipo completamente funcional de propulsión eléctrica/hidráulica que cumple sin problemas con las métricas de funcionamiento actuales.



Imagen 2: ROV de limpieza desarrollado por Aquarov (créditos: Aquarov).

Domótica

Tal como Aquarov y Walbusch, AST Networks también ha dedicado gran parte de su trayectoria a impulsar el desarrollo sostenible de la industria del salmón, con oficinas en Puerto Montt (región de Los Lagos) desde el año 2003.

Es así como AST ha puesto a disposición del 17PTECAO-84017 todo su know how en domótica, especialmente en los asuntos de telecomunicaciones (telcom), seguridad, sistemas de backup, y también en sensorización y desarrollo de software.

En telcom, puntualmente, la empresa ha evaluado e integrado distintos tipos de comunicación disponibles, con soporte a fallos (*failover*). Para esto, ha integrado sistemas de VSAT, Inmarsat y Orbcomm, todos con sus distintas virtudes y debilidades sometidas a prueba, proveyendo finalmente una solución robusta para poder enfrentar distintas condiciones adversas de operación y/o falla.

En materia de seguridad, ha implementado sistemas por medio de radar, en el que ha innovado en desarrollo de nuevas herramientas de software que logren mayor simplicidad en el manejo de volúmenes de información, pudiendo evaluar y procesar múltiples instalaciones en simultáneo.

En relación con los sistemas de *backup* energético, conociendo que la energía es un pilar fundamental en la operatividad de las distintas tecnologías, AST ha desarrollado un nuevo sistema de *backup* mucho más eficiente, siendo su objetivo mantener la energía necesaria para que los sistemas de telcom y automatización estén operativos en los momentos de falta de energía proveniente de los generadores durante los periodos nocturnos.



Imagen 3 y 4: Nuevas tecnologías de respaldo de energía desarrolladas por AST (créditos: AST Networks).



La sensorización y desarrollo de software ha sido uno de los mayores desafíos en este Programa ya que se requería de nueva especialización de profesionales y que al interior de AST ha devenido en la creación de un departamento de I+D+i. Por medio del desarrollo en plataformas maduras y electrónica de alto nivel, ya se tienen los comienzos de una plataforma que gestionará y procesará gran cantidad de información, para finalmente aprender de ella", según informan en AST.

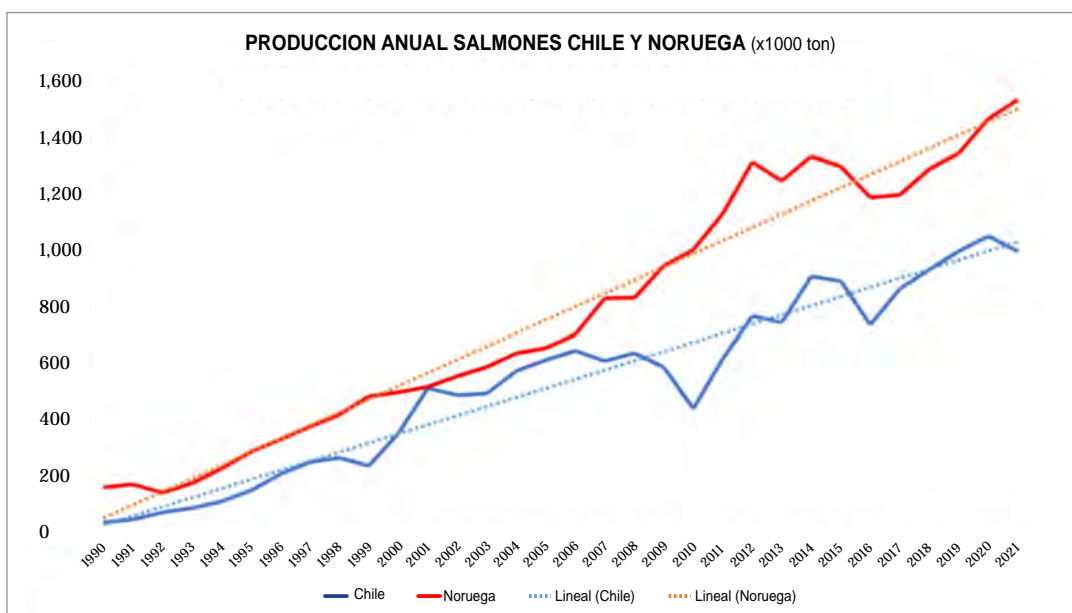
A su vez, el representante de esta empresa enfatiza que el éxito del 17PTECAO-84017 traerá efectos muy importantes en el futuro del proceso productivo. Primero, por tener a ciencia cierta la experiencia en uso de balsas de mayor tamaño que además son capaces de resistir condiciones adversas; conocimiento y pruebas de control vía remota de distintos procesos operativos y de control; y lo más importante, lograr la producción, porque cada vez la demanda es mayor, tanto por alimento de aporte nutricional como de calidad.

Dado todo lo anterior, los avances tecnológicos que logren una mayor producción de alimentos de manera más eficiente y

sostenible son una clara motivación para su futura exportación", concluye Eduardo Rivera.

Como se vislumbra, este programa impulsado por Corfo abre las puertas del futuro y al mismo tiempo plantea la necesidad de espacio para crecer, promoviendo, a su vez, el diálogo formal entre las autoridades (Servicio de Evaluación Ambiental, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, la Armada, entre otras), la industria, las comunidades, la academia y los distintos grupos de interés y así poder revisar constructivamente el mapa de las denominadas "Áreas Aptas para la Acuicultura".

En definitiva, esta es una oportunidad que Chile no debiese dilatar. Es con nosotros mismos con quien competimos más que con cualquier otro país, y nuestra curva de producción a lo largo de los años muestra el dinamismo y la energía con los que se pueden alcanzar metas altas y necesarias para la región y el país (Gráfico 1).



Gallinas Ponedoras libres:

Desarrollo biotecnológico microalgal para potenciar sistema inmunológico en gallinas, produciendo Huevo con alto contenido de antioxidantes, en la provincia del Loa.



Juan Pablo Díaz¹, Herbert Jans¹, Leonor Villavicencio¹, Juan Pablo Brown¹, Marcelo Rojas¹, Verónica Ortiz¹, María Carolina Gatica¹, Yarela Flores^{1,2}, Mario Pizarro¹ & German Bueno¹

¹ Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile

² Universidad San Sebastián, Chile

Corresponding author: Juan Pablo Díaz (jpdiaz@unap.cl)

Introducción

Los alimentos funcionales y nutraceuticos no sólo sobrevivieron a la crisis asiática (2008-2009), sino que se posicionaron como una alternativa para mantener la salud, pues los servicios de salud se vuelven cada vez más caros para el consumidor y que las enfermedades crónicas son un problema para la salud pública mundial. Así, estos alimentos dejaron de ser una "moda" para convertirse en un requerimiento del mercado de los alimentos. Es decir, se ha complejizado la demanda lo que obliga a adecuar la oferta, haciendo más eficiente y eficaz la cadena alimentaria en su conjunto. Los productos denominados nutraceuticos o alicamentos, términos que aún no constan en el FDCA ni en el FDA, pero que son de uso habitual en EEUU para designar productos cuyas características no están vinculadas al gusto, al aroma o a la nutrición básica (Diplock et al., 1998). Suelen proceder de alimentos naturales pero se presentan en forma farmacéutica: píldoras y cápsulas. Según el ILSI Europa, un alimento puede ser considerado funcional: "si se logra demostrar satisfactoriamente, o bien que posee un efecto beneficioso sobre una o más funciones específicas en el organismo, más allá de los efectos nutricionales habituales, y que mejora el estado de salud y del bienestar o bien que reduce el riesgo de una enfermedad".

Es así que actualmente varias especies de microalgas son cultivadas comercialmente en algunos países y la biomasa producida ha sido utilizada en la industria de alimentos. El mercado de alimentos funcionales, utilizando microalgas en panes, yogurt y bebidas, presenta rápido desarrollo en países como Francia, Estados Unidos, China, Japón, Taiwán y Tailandia. Por otra parte, existe una tendencia por estudiar nuevas especies de microalgas, con enfoque a la obtención de productos de mucho más valor económico que la biomasa, como componentes

específicos para la formulación de medicamentos, ya que no se obtienen directamente de la biomasa. Los estudios más recientes se enfocan al mejoramiento y desarrollo de fotobiorreactores novedosos que permitan incrementar los niveles de productividad celular.

En los últimos años, más y más científicos han comenzado a estudiar la posibilidad de incluir en los alimentos la biomasa de microalgas. Para lograr esto, se necesitan soluciones creativas e innovadoras, aquí es donde los científicos e ingenieros de alimentos tienen la oportunidad de crear productos nuevos y diversos. La producción industrial de la biomasa de microalgas también presenta en sí retos técnicos para obtener un mayor rendimiento, bajas tasas de consumo de energía, mayor producción de biomasa, a más bajos costos en fotobiorreactores cerrados. Estos retos son no nuevos, es más, muchos investigadores han y están actualmente trabajando para mejorar los rendimientos de los fotobiorreactores y sistemas de recuperación de la biomasa.

El presente proyecto desarrolla tecnología para producir huevos ricos en antioxidantes, en pequeña y mediana escala, incorporando a la dieta de las ponedoras Hy-Line Brown microalgas *Spirulina Platensis* y *Haematococcus Pluvialis*. Además, genera asociatividad entre Universidades, pequeñas empresas y Asociación de Agricultores de Calama. Más específicamente empresas productoras de microalgas, productora de pienso para ponedoras y pollitas ponedoras. Por su parte, la Asociación de Agricultores de Calama (beneficiarios), generó lazos comerciales fuertes con las empresas asociadas. En el plano académico, La universidad Arturo Prat y la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Chile, realizan los análisis de la efectividad de la microalga y su capacidad de transmitir antioxidantes a la yema del huevo y con la Universidad de Almería de España, se mejora el diseño del fotobiorreactor tipo Fibonocci.

Aplicación de microalgas en la industria avícola

Los huevos como resultado de un proceso industrial y de gran valor biológico, aportan proteínas ricas en aminoácidos esenciales. Lo que podría promover la síntesis y el mantenimiento de la masa muscular esquelética humana. Esta propiedad puede ser relevante para los atletas y adultos mayores, ayudando a estos últimos a contrarrestar el proceso de sarcopenia típico del envejecimiento. La proteína principal en la clara de huevo es la ovoalbúmina, seguida de la ovotransferrina y otras como la lisozima (Kovacs-Nolan et al., 2005). También se postula que las diferentes proteínas del huevo podrían tener un impacto favorable contra los procesos de inflamación, así como propiedades antimicrobianas, inmunoprotectidas, antihipertensivas y antioxidantes (Kovacs-Nolan et al., 2005)(Sanlier & Üstün, 2021). Además, la yema contiene inmunoglobulina (IgY) el principal anticuerpo sérico de las aves, equivalente funcional de la inmunoglobulina G de mamíferos. Tanto *in vitro* como *in vivo*, IgY inhibe el desarrollo de infecciones por patógenos gastrointestinales como rotavirus, *Escherichia coli* y otros (Kovacs-Nolan et al., 2005)(Hou et al., 2014). Por otro lado, se ha demostrado que los lípidos y fosfolípidos presentes en la yema tienen efectos antioxidantes y se han estudiado en la prevención de la oxidación de ácidos grasos insaturados. Un fosfolípido, como la fosfatidilcolina, es una fuente importante de colina, un nutriente esencial para el desarrollo del cerebro, la función hepática y la prevención del cáncer. Los fosfolípidos (PL) con actividad biológica específica se utilizan para tratar enfermedades crónicas como las enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares (Hou et al., 2014).

El huevo es también una de las principales fuentes de vitamina D en la dieta y aporta muchos otros nutrientes como riboflavina, folato, selenio, vitamina A y vitamina B12, entre otros (Gray & Griffin, 2009). Algunos de estos nutrientes (como el zinc, el selenio, el retinol y los tocoferoles) son deficientes en las personas que consumen una dieta occidental. Dada la capacidad antioxidante de estos nutrientes, son potenciales protectores de las enfermedades cardiovasculares (Cáceres & Gotteland, 2010)(Miranda et al., 2015).

Otra característica relevante del huevo es su aporte de carotenoides a la dieta humana, como la luteína y la zeaxantina, que tienen propiedades antioxidantes que protegen contra las cataratas y la degeneración macular, causas importantes de ceguera en la vejez. La luteína también puede influir en los parámetros de reproducción masculina porque su adición aumenta significativamente la viabilidad de

los espermatozoides (Pizzey & Bedecarrats, 2007)(Eisenhauer et al., 2017).

En este contexto, la producción saludable de huevos juega un papel preponderante, ya que la yema de huevo es importante como el único portador de carotenoides bioactivos solubles en grasa: luteína y zeaxantina. El perfil carotenóide de la yema de huevo depende notablemente de la composición del alimento de las gallinas ponedoras (Nimalaratne & Wu, 2015). Los carotenoides sintéticos se han utilizado desde los años 90 en los países europeos, con el fin de cumplir con los requisitos de los consumidores que prefieren huevos con yemas de colores (Kotrbaček et al., 2013). Como se presentó anteriormente, la tendencia es producir huevos con antioxidantes naturales, donde es posible agregar en el pienso un porcentaje de 1-2% de microalgas en su ración diaria y de esta manera los carotenoides naturales se incorporan a la yema (Kotrbaček et al., 2013).

La luteína y la zeaxantina tienen funciones antioxidantes e inmunomoduladoras e influyen positivamente en la mejora del sistema inmunológico de las aves (Bédécarrats & Leeson, 2006). Su suplementación en la alimentación de las ponedoras contribuye a mejorar la microflora intestinal y por lo tanto, puede tener un papel destacado en la mejora de la salud de las aves. Se ha demostrado que la adición de *Chlorella vulgaris* en las dietas de las gallinas ponedoras aumenta la diversidad microbiana en el tracto digestivo, especialmente en el ciego (Janczyk et al., 2009)(Kang et al., 2013).

Heng et al., (2021) evalúa los efectos de la astaxantina natural (ASTA) de *Haematococcus pluvialis* sobre el rendimiento de producción, la calidad del huevo, la actividad enzimática antioxidante, la capacidad de eliminación de radicales libres y la expresión génica de enzimas antioxidantes en gallinas ponedoras. Los resultados demuestran que el ASTA dietético mejora la capacidad de eliminación de radicales libres y la actividad enzimática antioxidante. Además disminuye niveles plasmáticos de colesterol de lipoproteínas de baja densidad y triglicéridos (Gao et al., 2020). Al igual que la espirulina, la adición de astaxantina (*Haematococcus pluvialis*) a la dieta de los pollos de engorde condujo a una mejora en las características inmunológicas de los pollos de engorde criados bajo temperaturas

ambientales normales y elevadas (Awadh & Zangana, 2021). La astaxantina de *H. pluvialis* afecta positivamente la calidad de los huevos frescos, puesto que permite prolongar el tiempo de almacenamiento de los huevos (Heng et al., 2020). *Spirulina platensis* en codornices japonesas tuvo efectos positivos en la



calidad del huevo. Esto se debe a que redujo los niveles de ácidos grasos saturados que son indeseables y aumentó los niveles de ácidos grasos monoinsaturados que son beneficiosos para la salud de los consumidores. Finalmente, los antioxidantes aumentaron en las yemas de huevo (Boiago et al., 2019).

Resultados preliminares

La experiencia se desarrolla en campus Canchones de la Universidad Arturo Prat con 125 ponedoras y en la parcela de las Asociación de Agricultores Calama con 800 ponedoras a nivel comercial (Fig. 1.). Se tienen 5 tratamientos, un grupo control T1 sin microalgas, T2, T3 y T4 con un %en el pienso de *Spirulina Platensis* y *Haematococcus Pluvialis* y T5 solamente *Spirulina*.

Figura 1. Fotografías que ilustran la actividad productiva en la avícola de la Asociación de Agricultores de Calama ASAC.

De acuerdo con el manual de gestión para ponedoras comerciales Hy-Line Brown, el % de postura a la semana 35, es en promedio del 92% en condiciones de jaula. En este estudio el tratamiento T4 alcanza un 84 % en la condición libre y en el suelo (Fig. 1).

En este estudio existe un efecto negativo del estrés térmico sobre la productividad a la que están expuestos nuestros tratamientos, pues la experiencia se desarrolla en clima extremo como es la Pampa del Tamarugal, mediado por la inducción del estrés oxidativo, esta diferencia puede explicarse. Sin embargo, esta situación puede revertirse, agregando altos niveles de compuestos antioxidantes bioactivos a la capa de alimentación, lo que permite reducir el daño causado por el estrés oxidativo inducido por la alta y baja temperatura ambiental, situación representada por T4 (Fig. 2).



Figura 1. Fotografías que ilustran la actividad productiva en la avícola de la Asociación de Agricultores de Calama ASAC.

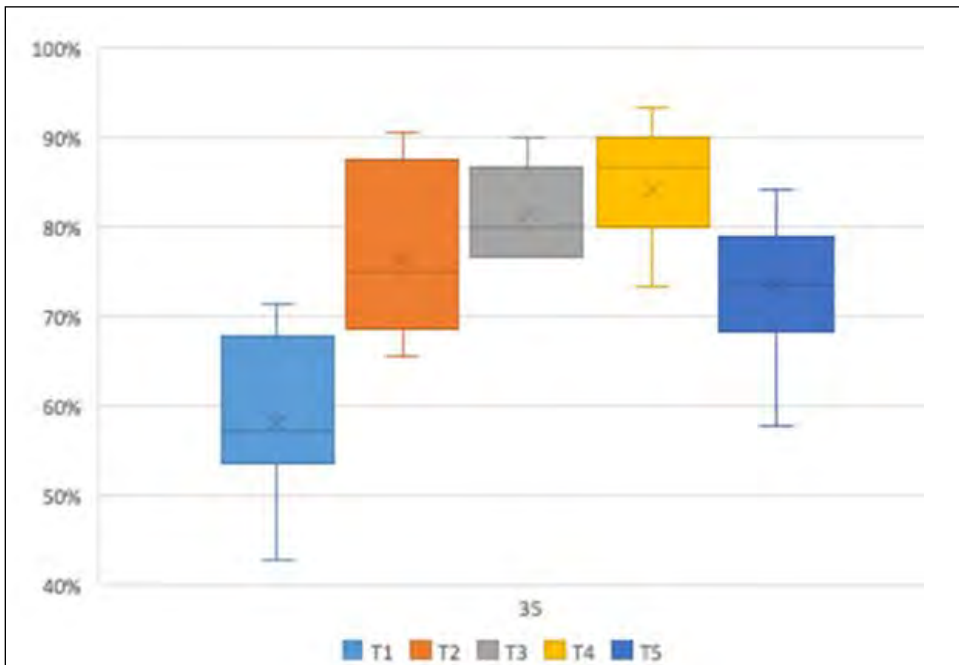


Figura 2. Porcentaje de producción de huevos en la semana 35: Tratamiento 1 (grupo control T1, sin microalgas), T2, T3 y T4 (*Spirulina* y astaxantina natural de *Haematococcus pluvialis*) y T5 (solo *Spirulina*).

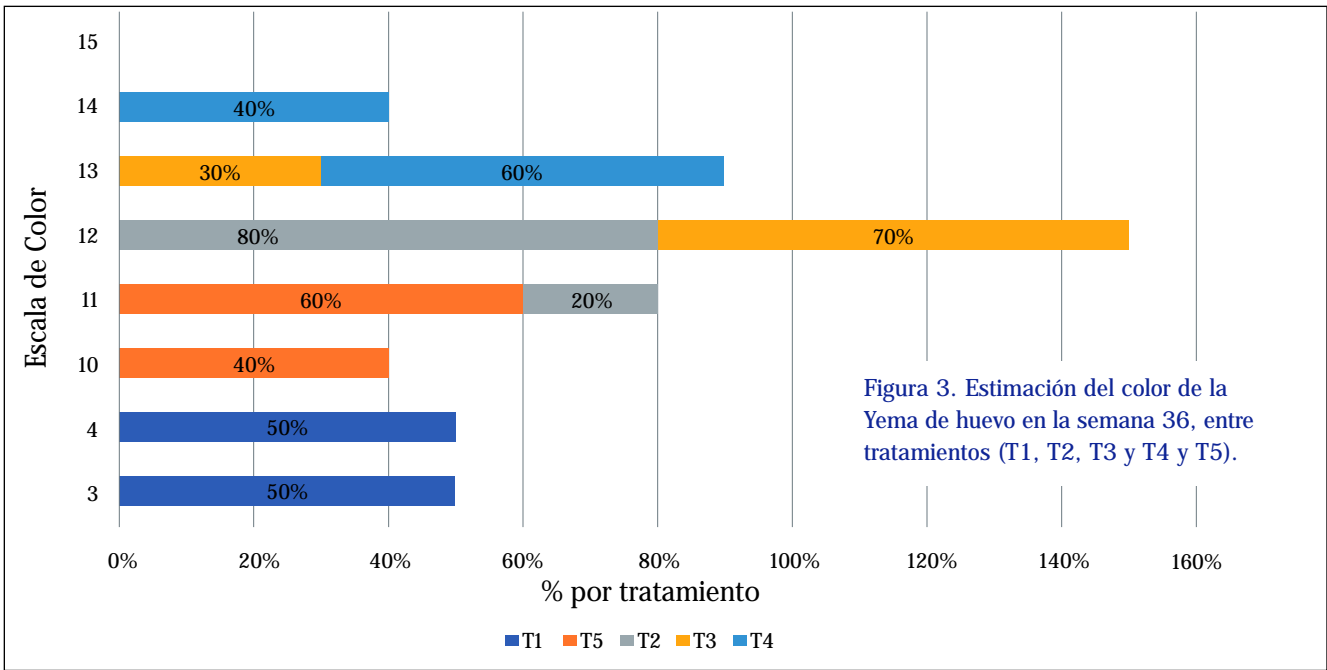


Figura 3. Estimación del color de la Yema de huevo en la semana 36, entre tratamientos (T1, T2, T3 y T4 y T5).

Las estimaciones del color de la yema de huevo en la semana 35 (DSM Yolk Color Fan), muestran que dentro de la escala de color el tratamiento T4 alcanza el valor más alto, representando el 40% de las yemas examinadas en la escala 14 y el 60% en la escala 13, en forma descendente sigue el tratamiento T3 con un 70% en la escala 12 y el 30% en la escala 13, para T2 sus valores son 80% en escala 12 y 20% en escala 11, y para T5 60% en T11 y 40% en escala 10 DSM Yolk Color Fan (Fig. 3)

Estimaciones de carotenoides en yema fresca del huevo en la semana 35, los resultados muestran que existen diferencias

significativas entre todos los tratamientos. Comportamiento similar al obtenido al evaluar el color de la yema, pues existe una alta correlación entre el contenido de carotenoides y el color de la yema. El tratamiento T4 logra un 270% más de carotenoides en comparación con el grupo control T1, seguido de T3 con un 198%, T2 logra un 174% y el grupo T5 que tiene solo la adición de *Spirulina* en su alimento, logra un 158% con respecto al control. Al añadir gradualmente en los tratamientos T2, T3 y T4 *Spirulina* y astaxantina natural de *Haematococcus pluvialis*, las cantidades de carotenoides en la de la yema de huevo aumentan, alcanzando un máximo en el tratamiento T4 (Fig. 4).

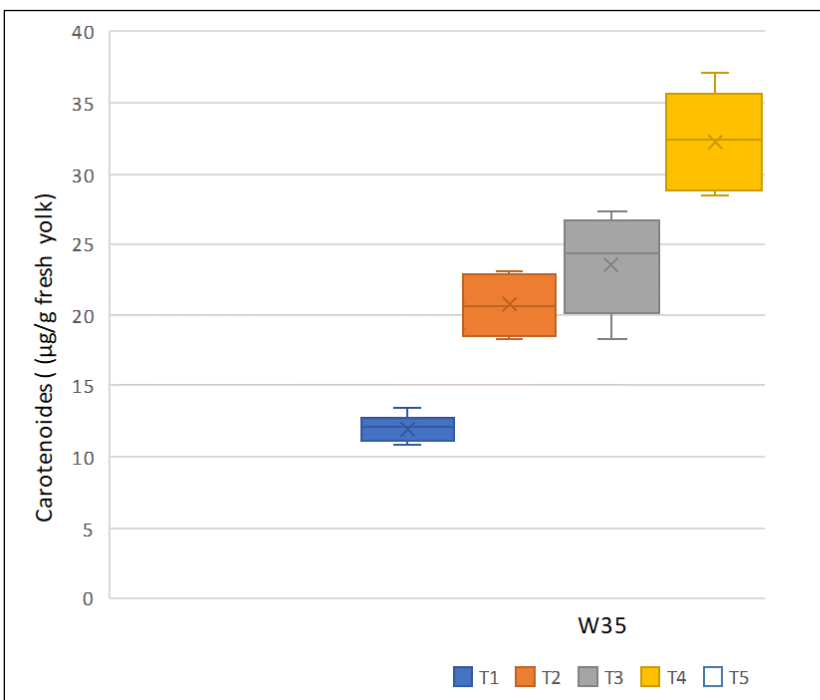


Figura 4. Estimaciones de carotenoides en yema fresca en la semana 36, entre tratamientos (T1, T2, T3 y T4 y T5).

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto FIC "Transferencia Gallinas Felices: Desarrollo Biotecnológico Microalgal". Financiado por el Gobierno Regional de Antofagasta, por permitir llevar a cabo el presente estudio. Así también, agradecemos a los funcionarios del Gobierno Regional y Universidad anónimos por sus valiosos aporte en el desarrollo de este proyecto.

Referencias

- Awadh, I. A. J., & Zangana, B. S. R. (2021). Effect of Adding Different Levels of Astaxanthin Extracted from an Algae *Haematococcus Pluvialis* to the Diet on Some Immunological Characteristics of Broilers Reared under Natural and Elevated Environmental Conditions'. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *910*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/910/1/012003>
- Bédécarrats, G., & Leeson, S. (2006). Dietary Lutein Influences Immune Response in Laying Hens. *Journal of Applied Poultry Research*, *15*, 183-189.
- Boiago, M. M., Dilkin, J. D., Kolm, M. A., Barreta, M., Souza, C. F., Baldissera, M. D., dos Santos, I. D., Wagner, R., Tavernari, F. de C., da Silva, M. L. B., Zampar, A., Stivanin, T. E., & Da Silva, A. S. (2019). *Spirulina platensis* in Japanese quail feeding alters fatty acid profiles and improves egg quality: Benefits to consumers. *Journal of Food Biochemistry*, *43*(7), 1-9. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12860>
- Cáceres, P., & Gotteland, M. (2010). Alimentos probióticos en Chile: ¿qué cepas y qué propiedades saludables? *Chil. Nutr.*, *37*(1), 97-109.
- Eisenhauer, B., Natoli, S., Liew, G., & Flood, V. M. (2017). Lutein and zeaxanthin - Food sources, bioavailability and dietary variety in age-related macular degeneration protection. *Nutrients*, *9*(2). <https://doi.org/10.3390/nu9020120>
- Gao, S., Li, R., Heng, N., Chen, Y., Wang, L., Li, Z., Guo, Y., Sheng, X., Wang, X., Xing, K., Ni, H., & Qi, X. (2020). Effects of dietary supplementation of natural astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* on antioxidant capacity, lipid metabolism, and accumulation in the egg yolk of laying hens. *Poultry Science*, *99*(11), 5874-5882. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.029>
- Gray, J., & Griffin, B. (2009). Eggs and dietary cholesterol - Dispelling the myth. *Nutrition Bulletin*, *34*, 66-70.
- Heng, N., Gao, S., Chen, Y., Wang, L., Li, Z., Guo, Y., Sheng, X., Wang, X., Xing, K., Xiao, L., Ni, H., & Qi, X. (2021). Dietary supplementation with natural astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* improves antioxidant enzyme activity, free radical scavenging ability, and gene expression of antioxidant enzymes in laying hens. *Poultry Science*, *100*(5), 101045. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101045>
- Heng, N., Gao, S., Guo, Y., Chen, Y., Wang, L., Sheng, X., Wang, X., Xing, K., Xiao, L., Ni, H., & Qi, X. (2020). Effects of supplementing natural astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* to laying hens on egg quality during storage at 4°C and 25°C. *Poultry Science*, *99*(12), 6877-6883. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.010>
- Hou, Y. Y., Zhen, Y. H., Wang, D., Zhu, J., Sun, D. X., Liu, X. T., Wang, H. X., Liu, Y., Long, Y. Y., & Shu, X. H. (2014). Protective effect of an egg yolk-derived immunoglobulin (IgY) against *Prevotella intermedia*-mediated gingivitis. In *Journal of Applied Microbiology* (Vol. 116, Issue 4, pp. 1020-1027). <https://doi.org/10.1111/jam.12419>
- Janczyk, P., Halle, B., & Souffrant, W. (2009). Microbial community composition of the crop and ceca contents of laying hens fed diets supplemented with *Chlorella vulgaris*. *Poult. Sci.*, *88*(11), 2324-2332. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00250>
- Kang, H. K., Salim, H. M., Akter, N., Kim, D. W., Kim, J. H., Bang, H. T., Kim, M. J., Na, J. C., Hwangbo, J., Choi, H. C., & Suh, O. S. (2013). Effect of various forms of dietary *Chlorella* supplementation on growth performance, immune characteristics, and intestinal microflora population of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, *22*(1), 100-108. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00622>
- Kotrbaček, V., Skrivan, M., Kopecký, J., Penkava, O., Hudecková, P., Uhríková, I., & Doubek, J. (2013). Retention of carotenoids in egg yolks of laying hens supplemented with heterotrophic *Chlorella*. *Czech Journal of Animal Science*, *58*(5), 193-200. <https://doi.org/10.17221/6747-cjas>
- Kovacs-Nolan, J., Phillips, M., & Mine, Y. (2005). Advances in the value of eggs and egg components for human health. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, *53*, 8421-8431.
- Miranda, J. M., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Roca-Saavedra, P., Rodríguez, J. A., Lamas, A., Franco, C. M., & Cepeda, A. (2015). Egg and egg-derived foods: Effects on human health and use as functional foods. *Nutrients*, *7*(1), 706-729. <https://doi.org/10.3390/nu7010706>
- Nimalaratne, C., & Wu, J. (2015). Hen egg as an antioxidant food commodity: A review. *Nutrients*, *7*(10), 8274-8293. <https://doi.org/10.3390/nu7105394>
- Pizzey, H., & Bedecarrats, G. (2007). Study of the effects of dietary lutein on reproductive performances in chickens. *J. Poult. Sci.*, *44*(4), 409-415.
- Sanlier, N., & Üstün, D. (2021). Egg consumption and health effects: A narrative review. *Journal of Food Science*, *86*(10), 4250-4261. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15892>

USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS: SOLUCIONES INTEGRALES BASADAS EN LA ENERGÍA SOLAR PARA PROMOVER EL DESARROLLO

~ Proyecto SEQUIA FSEQ210016 ~

Lorena Cornejo-Ponce^{1,2*}, Patricia Vilca-Salinas^{1,2}, María J. Arena-Herrera^{1,2}, Hugo Lienqueo-Aburto^{1,2}, Héctor Tapia-Caroca^{1,2}, Stavros Kukulis-Martínez^{1,2}

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Tarapacá, Avda. General Velásquez 1775, Arica, Chile; lorenacp@academicos.uta.cl

² Laboratorio de Investigaciones Medioambientales de Zonas Áridas, LIMZA, Universidad de Tarapacá,

Avda. General Velásquez 1775, Arica, Chile;

patricia786vilca@yahoo.es; mjanet08@gmail.com; hectortapiacaroca@gmail.com; stavroskukulis@gmail.com; hlienqueo@gmail.com; mjanet08@gmail.com

* Correspondencia: lorenacp@academicos.uta.cl

Introducción

Actualmente, el hombre se enfrenta a un gran desafío, proporcionar alimentos y medios de vida a una población que superará los 9.700 millones de personas a mediados del siglo XXI (FAO, 2017; ONU, 2022). La producción de alimentos requiere de un importante recurso, como el agua, siendo su disponibilidad fundamental para el desarrollo y supervivencia del ser humano y los seres vivos. Además, el 70% del agua en el mundo es utilizada en agricultura. Para dar solución a este desafío, es importante considerar lo que plantearon en el Marco estratégico 2022-2031 de la FAO, el cual indica que debe haber una vinculación con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible, *i. Fin de la pobreza (ODS 1)*, *ii. Hambre cero (ODS 2)* y *iii. Reducción de las desigualdades (ODS 10)* con la finalidad que sistemas agroalimentarios permitan alcanzar estos objetivos (FAO, 2021). Adicionalmente, dentro de las preocupaciones que existen hoy, la falta de alimentos de origen marino es un gran problema, debido a que se habría alcanzado el máximo potencial de captura de peces en los océanos (ONU, 2010). Este recurso alimenticio, desempeña un papel fundamental en la nutrición y seguridad alimentaria para el ser humano, aportando proteínas y minerales esenciales al hombre (Cornejo, 2020). En ese sentido la acuicultura oceánica y terrestre es una buena alternativa para suplir la actual carencia de peces de origen marino. Por tanto, es vital fomentar el uso de tecnologías que permitan ayudar a disponer de recurso hídrico para la producción de alimentos de origen vegetal y marino, para ello los *Sistemas Acuícolas y/o Acuipónicos*, son alternativas a considerar. Sin embargo, estos sistemas requieren agua de calidad y dependiendo de su tamaño en cantidad, lo cual es un gran desafío en estos tiempos, principalmente donde el agua no está disponible como se quisiera. Así como también, para estos casos, *el Sistema de Tratamiento Solar de Agua* es de gran utilidad, ya que permite obtener agua disponible para riego y/o consumo humano, eliminando minerales o elementos de mayor toxicidad como el arsénico, sales, entre otros.

Por otra parte, Chile posee 764.102 km² de recurso hídrico de aguas superficiales, subterráneas y de mar (BCN, 2018), siendo su distribución y calidad desigual, específicamente en la zona norte, donde existe este recurso del tipo léntico o lótico como lagunas o ríos, por ejemplo en las lagunas de Amuyo (Cornejo

et al., 2009) y el río Loa (Pasten et al., 2019), presentan una alta concentración de sales, arsénico, boro, entre otros, lo cual provoca que las zonas rurales aisladas se vean afectadas. En ese sentido, en la región de Arica y Parinacota existen extensos valles, como Lluta, Azapa y Camarones, los cuales son una fuente de abastecimiento para los habitantes de sus respectivos valles, permitiendo fomentar el desarrollo de los sectores agroindustrial, minero, pecuario y turístico. Sin embargo, a los dos primeros valles los cruza su río homónimo y al último el río San José, los cuales presentan concentraciones de arsénico y sales disueltas que superan las normativas chilenas NCh409/1.Of2005 (consumo humano) y NCh1333.Of1978 mod.1987 (riego) (Figura 1) (Cornejo et al., 2008; Cornejo et al., 2019).

Cabe mencionar, que el Laboratorio de Investigaciones Medioambientales de Zonas Áridas (LIMZA) ha realizado en la región de Arica y Parinacota diversos estudios sobre la caracterización de sus aguas. A partir de esto se han evaluado y desarrollado tecnologías para generar un agua de calidad para consumo humano, riego y para la producción de alimentos de origen vegetal/acuícola. Para ello, se ha implementado y puesto en marcha una *Plataforma Solar de Investigación y entrenamiento: Tecnologías solares para el tratamiento de aguas*, ubicada en el Campus Velásquez de la Universidad de Tarapacá en Arica-Chile, la cual permite generar investigación en la temática de tratamiento solar de agua. En la búsqueda constante de dar solución a esta problemática, se adjudicó el proyecto denominado *"Uso eficiente de los recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas: Soluciones integrales basadas en energía solar para promover el desarrollo de la producción agroalimentaria"* (Proyecto SEQUIA FSEQ210016) en conjunto con investigadores que formamos parte de SERC-Chile (www.serc.cl). El objetivo de esta iniciativa es *Impulsar soluciones integrales*, que permitan el uso eficiente del recurso hídrico para fortalecer y potenciar el sector productivo *agroalimentario, sustentadas con energía solar en zonas áridas y semiáridas*. Esta propuesta da continuidad a la investigación y transferencia de conocimiento en torno a la pequeña y mediana escala que ha realizado a través de los años el LIMZA, es decir, se propone la implementación de plantas pilotos para la obtención de agua y cultivo de peces/hortalizas, que puedan adaptarse para impulsar el desarrollo del sector productivo agroalimentario.



Figura 1. Valles de la región de Arica y Parinacota y concentraciones de arsénico presente en sus ríos (Elaboración propia)

Cabe mencionar que esta iniciativa ayudará a generar nuevo conocimiento sobre el acoplamiento de plantas solares (fotovoltaica) con plantas desalinizadoras (escala piloto) y/o plantas solares de tratamiento de agua u otras técnicas para obtención de agua (sintética, natural y/o residual, según tecnología). A través del estudio de diferentes plantas pilotos, la generación de información y resultados de la investigación realizada brindará una solución tecnológica para enfrentar los problemas de escasez y baja calidad del agua en zonas áridas y semiáridas del Norte de Chile. Además, con la ejecución de este proyecto se busca establecer un vínculo entre las demandas que vienen desde el ámbito académico y la necesidad de soluciones tecnológicas integrales en materia de Agua y Energía Solar. Es decir, que la integración de tecnologías permitan producir agua a través del uso de la energía solar y/o radiación solar, en su conjunto contribuyendo a la reducción de los gases de efecto invernadero, según lo solicitado en el 6º Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas. Así como también, el hecho de reutilizar los derivados obtenidos de los procesos de desalinización o tratamiento solar de agua es fundamental para minimizar el impacto hacia el medio ambiente mediante el concepto de *Economía Circular*. Finalmente, considerando las palabras del Director General de la ONU, QU Dongyu, indica que la *“transformación hacia sistemas agroalimentarios más eficientes, inclusivos, resilientes y sostenibles para conseguir una mejor producción, una mejor nutrición, un mejor medio ambiente y una vida mejor, sin dejar a nadie atrás”*, lo cual sería aplicable a todos los sectores del mundo, principalmente en las zonas rurales aisladas áridas, semiárida, zonas costeras, entre otras.

Metodología

Para el desarrollo de esta iniciativa se evaluarán soluciones integrales en un periodo de 12 meses, para la implementación y puesta en marcha de un *Sistema Integrado de Recirculación Acuipónico (SIRAacuipónico)*, a través del cual se trabajará con tres tecnologías, es decir, Tratamiento Solar de Agua, Desalinización y Raceway para determinar cuál sistema es más eficiente, selectivo, y que permita descontaminar y/o desalar un agua natural y/o sintética, dependiendo del tipo de agua de alimentación para la obtención de agua para consumo humano y/o regadío. Además, es importante conocer la génesis de los elementos a remover, debido a que las aguas naturales de la región de Arica y Parinacota contienen arsénico y altas concentraciones de sales, siendo aguas de baja calidad, producto de su origen volcánico (Cornejo et al., 2019). Para la evaluación de estos sistemas consideraremos las características fisicoquímicas de las aguas del río Camarones, ya que posee un alto contenido de arsénico y sales disueltas, en comparación a los ríos de Lluta y Azapa. Cabe mencionar que se utilizará agua sintética y natural.

Propuesta: Sistema Integrado de Recirculación Acuipónico (SIRAacuipónico)

Como se comentó anteriormente, en una primera etapa, se evaluarán tres soluciones integrales propuestas (Figura 2), las que considera una *Solución Integral A* correspondiente a un *Sistema de Tratamiento Solar de Agua (TSA)-Fotocatálisis*, *Solución Integral B* correspondiente a un sistema de *Desalinización* y la *Solución Integral C* correspondiente a un sistema *Raceway*. De estos sistemas para el tratamiento de aguas naturales o sintéticas, se obtiene un agua libre de sales o arsénico cumpliendo con las normativas nacionales e internacionales vigentes (NCh409/1.Of2005 y NCh1333.Of1978 mod.1987) e internacionales (OMS), es decir arsénico < 0,01 mg/L, para ser utilizada en el *Sistema de Recirculación Acuipónico* para el cultivo de peces y vegetales/frutas. De estos sistemas se obtiene un residuo líquido, el cual será utilizado para el cultivo de plantas halófitas. Estas plantas son resistentes a aguas con alto contenido de sales y sirven como forraje para los bovinos y caprinos (Cornejo et al., 2022). Cabe mencionar que en su conjunto estos sistemas se denominan *SIRAacuipónicos*, los cuales serán energizados mediante un Sistema de Energía Fotovoltaica (SF), considerando la gran radiación que posee la región de Arica y Parinacota.



Figura 2. Diagrama de los sistemas integrales propuestos (elaboración propia)

Oportunidades socio-económicas al implementar el SIRAacuipónico

El principal problema que afecta a las comunidades rurales de la región de Arica y Parinacota, es poseer una de las localidades con mayor condición de aislamiento en Chile, 83% en el caso de la Comuna de Camarones, lo que implica una baja habitabilidad de esta zona rural, con 1.220 habitantes (INE, 2017). Esta problemática, afecta su desarrollo socioeconómico, asociado principalmente con la baja disponibilidad de servicios básicos, debido a la mala calidad del agua natural (alto contenido de sales disueltas y arsénico) y la falta de energía eléctrica que sustente completamente los requerimientos del poblado. Estas

características, provocan que estas comunidades limiten la diversidad de sus productos agrícolas, asimismo, poseen como base cultivos de forrajeras como la alfalfa, la cual es utilizada para alimentar a sus animales (ovejas y vacas) y por consiguiente producir carne, leche y queso (Palenzuela, et al., 2018). Sin embargo, existen otras especies de forrajeras como las halófitas que presentan las mismas características que las anteriores en cuanto a proteínas y que pueden ser cultivadas de igual manera, pero con aguas residuales con alto contenido de salmueras. En ese sentido, debiera haber un cambio de paradigma reforzando la implementación de tecnologías amigables con el medio ambiente en la región, para que los asentamientos humanos sean *inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles*, se presentan como una oportunidad para mejorar la calidad de vida de las personas. En conclusión, la construcción y puesta en marcha de un Sistema Integrado de Recirculación Acuipónico (SIRAacuipónico), es una buena alternativa a considerar, debido a que se caracteriza por la utilización de radiación solar y energía fotovoltaica en sus procesos. Además, se debe tener en cuenta que estos sistemas puedan ser rentable, escalable y replicable, lo cual impulsará el desarrollo económico de la región.

El Proyecto de Referencia de Camarones: Un caso exitoso a seguir

Actualmente, en la comuna de Camarones, se diseñó e implementó un Sistema Integrado de Recirculación Acuícola (SIRA) (Figura 3) a través del proyecto, denominado "*Cultivo de camarón de río a través del uso intensivo de energía solar para el desarrollo sustentable del poblado de Camarones*" en el marco de proyecto Ayllu Solar, iniciativa SERC Chile (Román y Palma, 2022). Este



Figura 3. Diagrama de los principales componentes del SIRA en el Poblado de Camarones. (Elaboración propia)

proyecto consideró tres componentes principales, una planta de tratamiento solar de aguas, un sistema de recirculación acuícola y una planta fotovoltaica. El SIRA se caracteriza por la utilización de radiación solar y energía fotovoltaica en sus componentes, debido al gran potencial solar de la región (Cornejo et al., 2017; Moraga et al., 2022). Por una parte, permite la eliminación fotoquímica del arsénico y por otra, ser el sustento energético del sistema, además, se considera un modelo de negocio que permite apoyar al desarrollo económico del poblado de Camarones de manera sostenible, mediante el cultivo de dos especies: camarón de río (*Cryphiops caementarius*) y trucha (*Oncorhynchus mykiss*), siendo, una oportunidad para mejorar la calidad de vida de sus habitantes (Cornejo et al., 2020).

¿Por qué el SIRAacuipónico es un promotor de la Economía Circular?

En la economía circular, los recursos de un sistema propuesto, la energía y los materiales se reutilizan varias veces, considerando un procesamiento mínimo por cada uso subsiguiente, mediante un circuito cerrado (Sgroi et al, 2018). En ese sentido, convertir los residuos en un recurso valorizado es esencial para promover y apoyar a que el mundo deje de absorber o acumular tanto desecho que al final puede ser reutilizado (Figura 4).

A través de la presente propuesta, se producen los siguientes beneficios:

1. *Recirculación del agua, permite un uso limitado de este bien sobre todo en zonas áridas y semiáridas*
2. *Sistema sustentado energéticamente a través de energía fotovoltaica y radiación solar; hacen que la emisión de gases de efecto invernadero por combustible fósil sea nula*
3. *Los residuos obtenidos del SIRAacuipónico, permiten su uso como abono para las plantas, ya que contiene compuestos como el nitrato que sirve de fertilizante*
4. *El uso de los residuos obtenidos del SIRAacuipónico, servirán para el regadío de plantas halófitas.*

Cabe mencionar, que desde los sistemas de producción de agua se generan residuos líquidos y salmueras, los cuales también están en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, N°1, N°2, N°7, N°10 y N°11, los cuales constituyen un marco de referencia en la senda del desarrollo sostenible, siendo una

herramienta de planificación y seguimiento para los países, tanto a nivel nacional como local, buscan minimizar o mitigar la pobreza, el hambre, contar con energía y que esta no sea contaminante, reducir las desigualdades y promover que las comunidades sean sostenibles. Por tanto, la circularidad aplicada a esta iniciativa, es una propuesta que permite por lo menos colaborar con 5 de los 17 ODS.

Desafíos y futuras direcciones

El mundo se encuentra en un periodo de cambios, en busca de soluciones de corto plazo para obtener el llamado "oro azul". El agua es vital, siendo su valor cada día mayor, debido a su escasez, baja disponibilidad y muchas personas no tienen acceso directo, por tanto, el uso de este tipo de iniciativa es una buena alternativa para ayudar a solucionar en parte este problema. Como se comentó anteriormente, implementamos un caso de éxito denominado SIRA en la Comuna de Camarones, que ha funcionado perfectamente, sin embargo, en busca de mayores fuentes de producción de agua, es que mediante los sistemas de TSA, Desalinización y Raceway, se puede evaluar cuál de las tecnologías aplicadas es más eficiente y rentable para implementar en zonas

áridas, considerando el uso de energía solar fotovoltaica como sustento energético. Esperamos entregar los resultados a la comunidad una vez finalizado este proyecto para que se animen a incorporar estas tecnologías en sus terrenos, así como también, colaborar con la disminución de la huella de carbono y obtener el tan ansiado "oro azul".

Agradecimientos

Se agradece al Proyecto SEQUÍA FSEQ100016 (ANID/SEQUÍA 2022), al Solar Energy Research Center, SERC-Chile (ANID/FONDAP/15110019) y al Laboratorio de Investigaciones Medioambientales de Zonas Áridas, LIMZA/UTA por apoyar para que este proyecto se haga posible.



Figura 4. Economía Circular del uso de residuos en SIRAacuipónico. (Elaboración propia)

Referencias Bibliográficas

- FAO, 2017. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. El futuro de la alimentación y la agricultura: Tendencias y desafíos. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i6881s/i6881s.pdf> (Acceso 1 de julio 2022)
- ONU, 2022. Naciones Unidas. Población. Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/population> (Acceso 1 de julio 2022)
- FAO, 2021. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Marco estratégico 2022-2031. Roma. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb7099es/cb7099es.pdf> (Acceso 8 de julio 2022)
- ONU, 2010. Conferencia de Revisión continuada del Acuerdo Relativo a la Conservación y Ordenación de Poblaciones de Peces Transzonales y las Poblaciones de Peces altamente migratorios. Disponible en: https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/reviewconf/FishStocks_SP_A.pdf (Acceso 14 julio 2022)
- BCN, 2018. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Situación de los recursos hídricos en Chile, Asesoría Técnica Parlamentaria. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25323/2/Informe_Recurso_Hidricos_en_Chile.pdf (Acceso Julio 2022)
- Cornejo L., Acarapi J., Mella U. 2009. Cuenca de Camarones: identificación y caracterización de fuentes que condicionan la calidad de las aguas superficiales: rol del Tranque Caritaya. Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas, Chile
- Pastén P., Vega A., Guerra P., Pizarro J., Lizama K. 2019. Calidad del Agua en Chile: Avances, desafíos y perspectivas, Calidad del Agua en las Américas: Riesgos y Oportunidades, IANAS La Red Interamericana de Academias de Ciencias, ISBN: 978-607-8379-33-0, Mexico. Disponible en: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/Calidad-de-agua-en-las-Am%C3%A9ricas_2019.pdf (Acceso Julio 2022)
- NCh 409/1: 2005. Agua para beber - Part 1: Requerimientos Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
- NCh 1333: 1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
- Cornejo L., Lienqueo H., Arenas M., Acarapi J., Yañez J., Mansilla H. 2009. In field arsenic removal from natural water by zero valent iron. *Environmental Pollution*, 156 (3), 827-831; doi:10.1016/j.envpol.2008.05.022.
- Cornejo L., Lienqueo H., Vilca P. 2019. Hydro-chemical characteristics, water quality assessment and water relationship (HCA) of the Amuyo Lagoons, Andean Altiplano, Chile. *Desalination and Water Treatment*, 153:36-45; doi:10.5004/dwt.2019.24014
- Cornejo-Ponce L., Vilca-Salinas P., Arenas M.J., Lienqueo-Aburto H. and Moraga-Contreras, C. 2022. Aprovechamiento de residuos salinos de una planta desalinizadora bajo los principios de la economía circular para el desarrollo sostenible de las comunidades Rurales. *Economía circular: avances recientes en la gestión sostenible de residuos*. IntechOpen; doi: 10.5772/intechopen.105409
- INE, 2017. Instituto Nacional Estadística. www.ine.cl (Acceso Julio 2022)
- Palenzuela P., Miralles-Cuevas S., Cabrera-Reina A., Cornejo-Ponce L. 2018. Techno-economic assessment of a multi-effect distillation plant installed for the production of irrigation water in Arica (Chile). *Sci. Total Environ.* 643, 423-434; doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.183
- Román R. y Palma R. 2021. La Fuerza del Sol. 2da Edición. www.ayllusolar.cl
- Cornejo L., Martín-Pomares L., Alarcon D., Blanco J., Polo J. 2017. A Through analysis of solar irradiation measurements in the region of Arica Parinacota, Chile. *Renewable Energy*, 112(C), 197-208; <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.012>
- Moraga-Contreras C., Cornejo-Ponce L., Vilca-Salinas P., Estupiñán E., Zuñiga A., Palma-Behnke R. and Tapia-Caroca, H. 2022. Evolution of Solar Energy in Chile: Residential Opportunities in Arica and Parinacota. *Energies*. 15, 551; doi: 10.3390/en15020551
- Cornejo-Ponce L., Vilca-Salinas P., Lienqueo-Aburto H., Arenas M.J., Pepe-Victoriano R., Carpio E., Rodríguez J. 2021. Integrated Aquaculture Recirculation System (IARS) Supported by Solar Energy as a Circular Economy Alternative for Resilient Communities in Arid/Semi-Arid Zones in Southern South America: A Case Study in the Camarones Town, Water, 12, 3469; <https://doi.org/10.3390/w12123469>
- Sgroi M., Vagliasindi F., Roccaro P. 2018. Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse. *Environ. Sci. Health*, 2, 20-25; doi: 10.1016/j.coesh.2018.01.004



SALMÓN MAGALLÁNICO

Navegando hacia la sostenibilidad

En el último tiempo la industria salmoneera 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.

Un fuerte compromiso regional y avanzar en garantías de sustentabilidad ha sido el sello de la Asociación de Salmonicultores de Magallanes en los últimos años. En el segundo semestre del 2019 el gremio delineó una estrategia que involucraba un intenso trabajo para aumentar los estándares de producción local en materia medioambiental y reforzar la vinculación con los actores locales, bajo el liderazgo de un comité directivo renovado y, por primera vez, con una presidencia independiente de sus empresas socias.

A fines del año pasado el gremio recibió una importante noticia en esa materia: el estudio Seafood Watch, de la ONG internacional Monterey Bay Aquarium, clasificó al salmón producido en la región como “buena alternativa para los consumidores”. Con ello, el salmón magallánico se convertía en el único a nivel país en avanzar en este ranking mundial y en una de las ocho zonas de cultivo en mar de salmón atlántico en el mundo que logra dicho estándar.

Este interés por resguardar el estatus sanitario y ambiental de la industria responde al contexto local. La Región de Magallanes es la más extensa del país y el 52% de su territorio corresponde a áreas silvestres protegidas. Cruzada por fiordos, golfos y canales, los paisajes remotos y distantes destacan por sus postales naturales de marcados contrastes. Con cerca de 170.000 habitantes y una densidad de una persona por kilómetro, Magallanes es una región donde se estima que los pueblos originarios llegaron al territorio hace 10.000 años, cuando aún Tierra del Fuego estaba unida al continente. Milenios después, en el siglo XVI, los navegantes provenientes de Europa descubrieron el estrecho de Magallanes y lo convirtieron durante siglos en la principal ruta entre el llamado viejo continente y las costas del Océano Pacífico. En el siglo pasado su desarrollo económico y social fue lento; y entre la ganadería, la producción energética y el turismo, la salmonicultura ha ido abriéndose paso.

En la actualidad la industria salmonera es hoy una de las más relevantes en Magallanes, pero también enfrenta un enorme desafío de ordenamiento territorial, pues está presente precisamente en una zona de protección: la Reserva Nacional Kawésqar, donde actualmente las empresas salmoneras ocupan el 0,047% de dicha área y las proyecciones basadas en las solicitudes pendientes, muestran que se podría llegar a utilizar un máximo de un 0,07% de dicha área. “Estamos conscientes de que es una zona que requiere un trato acorde con su estatus de protección y es por eso que las empresas se han preocupado de avanzar para asegurar los mejores estándares de producción. Muestra de ello es que los datos científicos y de organizaciones independientes han demostrado que efectivamente el salmón magallánico puede ser considerado de un estándar de sostenibilidad superior”, argumentó Carlos Odebret, Presidente del gremio, quien también hizo un llamado al ordenamiento territorial: “Entendiendo que convivimos en un territorio protegido, creemos que es importante abordar la necesidad de ordenar el borde costero y compatibilizar las distintas actividades”, señaló.

Hoy, en ese escenario, la salmonicultura magallánica continúa trabajando por compatibilizar su potencial productivo con una operación sustentable, dada su responsabilidad con el desarrollo económico y social de la región. Hace 10 años la producción de salmónes en Magallanes representaba menos del 2% del total nacional, actualmente la cifra supera el 15%, convirtiendo al rubro en uno de los principales exportadores de Magallanes. De hecho, la industria se convirtió en un soporte clave para paliar la crisis económica que conllevó el Covid-19 en la zona: la actividad da trabajo a cerca de 6.400 personas de forma directa o indirecta y el 87% de ellos son residentes de la XII Región. “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”, aseguró Odebret.

Actualmente se encuentra en el Congreso un proyecto de ley que busca prohibir que se desarrollen actividades acuícolas en zonas protegidas. Dicha iniciativa impactaría no sólo a la salmonicultura, sino a otras actividades y para el gremio es un tema que debe ser abordado de manera mucho más integral. “Creemos que es necesario entender que la salmonicultura requiere de una institucionalidad de largo plazo. Las empresas ya no operan como hace 20 ó 30 años, el desarrollo científico tecnológico ha apoyado su crecimiento en materia de sostenibilidad y la misma regulación se ha fortalecido”, aseguró Carlos Odebret.

Asegurando el estándar ambiental y sanitario del salmón en Magallanes

Para la Asociación de Salmonicultores de Magallanes la calificación recibida por el estudio Seafood Watch, de la ONG internacional Monterey Bay Aquarium (MBA), y que clasificó al salmón producido en la región como “buena alternativa para los consumidores”, es el resultado de un intenso trabajo que responde a una estrategia que ha buscado asegurar el estándar ambiental y sanitario de la actividad, con el objetivo estratégico de impulsar la construcción de un marco normativo para el desarrollo sustentable del salmón en Magallanes

Monterey Bay Aquarium, con sede en EEUU, promueve elevar los estándares de sustentabilidad ambiental de la pesca y acuicultura a nivel mundial, pues su objetivo es cambiar el mercado global para que los productos del mar sean más sostenibles. Así, en su reciente clasificación sólo ocho de 30 zonas de cultivo evaluadas fueron clasificadas como “buena alternativa”: tres áreas de Noruega, Maine en EEUU, Nueva Escocia en Canadá, Islas Faroe, una zona de Escocia y la Región de Magallanes, en Chile.

Luego de un exhaustivo análisis de información técnica y científica en la zona, el programa Seafood Watch del MBA le dio a Magallanes esta calificación que tiene una duración de cinco años. Su informe indica que la incidencia de enfermedades bacterianas y parásitos es más baja en comparación a otros lugares de cultivo, lo que permite un bajo uso de antimicrobianos y antiparasitarios.



“Sabemos que la Región de Magallanes es diferente en muchos sentidos, tiene condiciones ambientales que la hacen única en el mundo y, por ende, nuestro compromiso como gremio ha sido cuidar esas condiciones que la convierten en una región única”, señaló Carlos Odebret, presidente de la Asociación de Salmonicultores de Magallanes, quien agregó que “los socios han hecho fuertes inversiones en materia de innovación para mejorar sus procesos, de la mano de la ciencia y la investigación”.

Así, los principales avances de la producción en la región se dan en los ámbitos de alimentación de peces de cultivo; impacto ambiental de los antibióticos; reducción de enfermedades, patógenos y parásitos; impacto ambiental de las construcciones en hábitats naturales y el grado de independencia de los peces de cultivo con respecto a otras especies.

En esa línea y en términos concretos, para preservar las condiciones sanitarias y medioambientales de Magallanes la industria ha logrado un promedio de certificación ASC (Aquaculture Stewardship Council) que está por sobre el 80% de certificados aprobados. Además, Magallanes cuenta con el mayor porcentaje del país en instalaciones con certificación PROA (Programa para la optimización del uso de antimicrobianos), de Sernapesca.

La industria, además, ha estado avanzando en un próximo acuerdo de producción limpia y en un marco normativo para la gestión de residuos. “Hemos dado grandes pasos en sostenibilidad, pero sabemos que aún quedan desafíos pendientes. Uno de ellos es la gestión de los residuos”, aseguró Odebret. En esa línea, el gremio fue uno de los activos promotores de la recientemente aprobada ley que busca evitar o reducir el depósito de desechos orgánicos e inorgánicos en el fondo marino. Esta nueva normativa no sólo obliga a las compañías a adoptar medidas para evitar el depósito de desechos en el océano y a hacerse cargo de ellos en caso de generarlos, sino también a presentar un plan de recuperación y un plan de investigación del fondo marino en el área de la concesión.

En este escenario, la industria tendrá seis meses desde que se publicó la ley para hacerse cargo de los desechos inorgánicos existente actualmente en el fondo del mar. Sin embargo, la preservación del fondo del océano ha sido una preocupación de la que ya vienen haciéndose cargo las empresas. Es así como desde hace un tiempo las compañías han implementado desarrollos tecnológicos de punta para prevenir y recuperar el impacto de la actividad salmonera en los ecosistemas oceánicos. Un ejemplo de esto es la técnica de las nanoburbujas, desarrollada en Chile

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



por una startup local y que aceleran el proceso natural de intercambio de oxígeno en el fondo marino. “Gracias a esta tecnología las salmoneras logran acelerar el proceso natural de recuperación del fondo marino con un método 100% sustentable. Este es un avance muy superior incluso a los implementados en países como Noruega. Queremos que la tecnología usada en la salmicultura en Magallanes sea un referente”, señaló Carlos Odebret.

Innovación y desarrollo local: fortaleciendo acciones para la colaboración

El trabajo estratégico de estos últimos años también ha estado fuertemente enfocado en gestionar y fortalecer acciones para el desarrollo local. A comienzos de este año, la Asociación de Salmonicultores de Magallanes, junto a otras 37 de instituciones del sector público y privado, academia, investigación e iniciativas internacionales, firmó la Declaración de Punta Arenas, un acuerdo liderado por el Ministerio de Ciencia y el Gobierno Regional de Magallanes, que promueve un polo de conocimiento para el desarrollo sostenible en la zona. Este documento formaliza el compromiso del gremio para mejorar la vida de los habitantes de la región, a través de la investigación y nuevas herramientas innovadoras para el ámbito laboral, ecológico y en la vinculación con el medio.

Esta ha sido uno de las alianzas en las que se ha involucrado el gremio luego de relevar el compromiso regional en la estrategia trazada hace algunos años. En esa línea ha dado otros pasos igual de claves, como un acuerdo con pescadores artesanales para el cuidado del litoral costero de la región. En el marco de ese compromiso, asumido a mediados del año pasado, el gremio está trabajando en conjunto con ellos para realizar una limpieza de los residuos y aceites que se mantienen en la zona.

La relevancia de la colaboración para alcanzar las metas regionales y abordar los desafíos sociales, es uno de los fuertes legados de la pandemia, crisis que no podría haber superado sus episodios más álgidos sin la extensa red de colaboración que se logró tejer en Magallanes.

Cuando estalló la pandemia mundial, el gremio reenfocó parte importante de sus esfuerzos en el resguardo de la salud de todos esos colaboradores y también de la comunidad. Según el Barómetro de la Salmicultura, de la ONG Canales, la rápida adaptación de la industria se debió al aprendizaje con el virus ISA. Según el estudio, las compañías acuícolas implementaron exhaustivos protocolos para velar por las condiciones sanitarias de los y las trabajadoras del rubro, lo que ha considerado en-



tre sus acciones la modificación de la extensión de los sistemas de turno, el trabajo a distancia y estrategias comunicacionales, a través de la contratación de personal médico, focalizadas en educar en el autocuidado. Así, como actividad esencial, las empresas socias fueron de las pocas que continuaron funcionando, siempre bajo estrictos protocolos y en permanente coordinación no sólo con las autoridades, sino también con el mundo científico local y la sociedad civil.

Pero el desafío era mucho más que fortalecer los protocolos de prevención del virus: era necesario reforzar la respuesta regional ante la pandemia. Por ello, las salmoneras con presencia en la región decidieron financiar la importación de MagEx Starlet, un robot que detecta el virus SARS-COV-2 mediante la extracción de material genético, procesando hasta 96 muestras al mismo tiempo de manera automatizada. La máquina es, hasta el día de hoy, es administrada por la Universidad de Magallanes y permitió acelerar exponencialmente el testeo en la región. “La pandemia nos reafirmó que los grandes desafíos sociales sólo pueden ser enfrentados con la articulación de todos los sectores y con el compromiso sincero de colaboración tanto del mundo público como del privado y también de la sociedad civil”, señaló el presidente de los Salmonicultores de Magallanes.

En este nuevo ciclo que comienza, con el arribo del nuevo gobierno y la reconfiguración del Congreso, el gremio magallánico buscará seguir avanzando en fortalecer el marco sanitario y medioambiental de la actividad, para avanzar hacia el desarrollo sostenible de la salmicultura en Magallanes por los próximos 30 años, buscando compatibilizar los diversos intereses de la zona, su respectivo ordenamiento, y el desarrollo social de las comunidades.

“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”.

Carlos Odebret
PRESIDENTE ASOCIACIÓN DE
SALMONICULTORES DE MAGALLANES A.G.

Sedimentos marinos evidencian impactos del cambio climático y actividades antrópicas:

Fiordos y canales australes del extremo sur de Chile como caso de estudio



Universidad de Magallanes



Javier A. Díaz Ochoa¹, Alexis Castillo², María Angélica Godoi¹, Lorena Rebolledo³, Jorge Valdés⁴, Sue Ellen Vega², Valentina Flores Aqueveque⁵

¹ Universidad de Magallanes, Punta Arenas

² Universidad Católica del Maule, Talca

³ Instituto Antártico Chileno, Punta Arenas

⁴ Universidad de Antofagasta, Antofagasta

⁵ Universidad de Chile, Santiago

Introducción

Cambios en el clima han existido a lo largo de toda la historia geológica del planeta, pero durante los últimos dos siglos se han sumado los impactos antropogénicos con la emisión de gases de invernadero responsables del calentamiento global (Pörtner et al., 2022). Debido a que el océano y la atmósfera están interconectados, la variabilidad climática se prevé que afecte ecosistemas marinos como los fiordos y canales del extremo sur de Chile, los cuales proporcionan importantes servicios ecosistémicos, incluyendo las industrias de la pesca y la acuicultura (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y Ministerio del Medio Ambiente, 2015; Fariás et al., 2019). En particular, en el corto y mediano plazo, son probables cambios en la temperatura del agua y del aire, en la distribución espacio temporal de las precipitaciones, en el caudal de los ríos, la escorrentía y la cobertura de glaciares (Rivera et al., 2017; Garreaud, 2018; Moffat et al., 2018; Vargas et al., 2018; Fariás et al., 2019).

En el caso particular del norte de la Patagonia chilena, los eventos de reducción en las precipitaciones, debilitamiento de los vientos del oeste y disminución en la estratificación serán más frecuentes en el futuro cercano (Pérez-Santos et al., 2019). A las anteriores circunstancias se suma el aparente aumento en la frecuencia de eventos de proliferación de microorganismos formadores de florecimientos nocivos de algas o FAN (por ejemplo, mareas rojas, cafés, etc.; Bueno y Soto, 2017; León-Muñoz et al., 2018; Soto et al., 2018). En contraste, en la parte sur de la Patagonia chilena, al sur de los 50°S (Fig. 1), se predicen desde pocos cambios a intensificación de las precipitaciones y de los vientos del oeste (e.g., Fariás et al., 2019), con lo que se mantendrían o aumentarían las condiciones favorables para el crecimiento de microorganismos fotosintéticos (i.e., fitoplancton) que dependen del ingreso de macronutrientes como el nitrógeno desde el océano Pacífico (Aracena et al., 2011; Cuevas et al., 2019).

Elementos metálicos como trazadores del ciclo hidrológico

La mayoría de elementos metálicos son removidos de la columna de agua a través de partículas que sedimentan, siendo uno de los principales mecanismos su incorporación en el material biogénico y la adsorción en la superficie de las partículas. Las principales vías de ingreso de los elementos metálicos al océano son el caudal de los ríos, el transporte atmosférico y eólico, el flujo de aguas subterráneas, la difusión desde los sedimentos y el transporte desde el espacio exterior. Además, las actividades humanas pueden constituirse en fuentes importantes de ingreso al ecosistema marino de estos elementos por la atmósfera y cuerpos de agua (Libes, 2009). Varios de estos

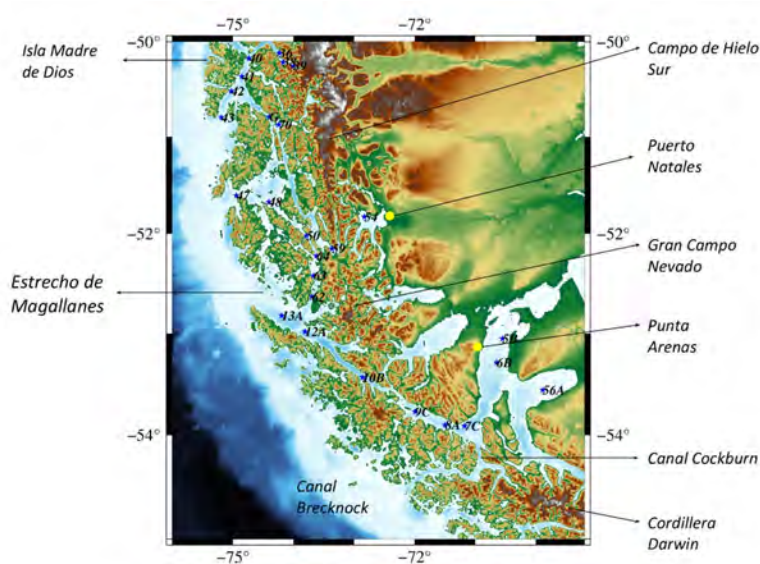


Figura 1. Área de estudio y estaciones oceanográficas muestreadas (simbolizadas con números y letras) para obtener sedimento superficial, expedición CIMAR 25 Fiordos.

elementos experimentan ciclos biogeoquímicos en el agua y el sedimento controlados por procesos biológicos que incluyen reacciones de óxido - reducción, formación y agregación de materia particulada (Tribovillard et al., 2006; Libes, 2009).

Las concentraciones de elementos metálicos pueden utilizarse como trazadores para la identificación y cuantificación de la entrada de agua en sistemas acuáticos; bien sea para cuantificar cambios en el tiempo en las entradas de agua o bien en la identificación de fuentes geográficas de los flujos (e.g., Barthold et al., 2011). Elementos como el hierro (Fe), calcio (Ca), aluminio (Al), silicio (Si), rubidio (Rb), estroncio (Sr), potasio (K), titanio (Ti), se utilizan con frecuencia para analizar el aporte de materiales por escorrentía desde el continente en sistemas marinos (e.g., Xianhong et al., 2007; Zhang et al., 2015). En el Sur de Chile (41°S), un primer antecedente basado en un registro sedimentario recuperado sobre el talud continental, y que abarcó los últimos 7700 años de historia, permitió inferir la variabilidad de las precipitaciones y el aporte de material traído por escorrentía desde el continente, a partir del análisis de hierro en el sedimento. Estas inferencias se basaron en que las rocas de la cordillera de los Andes están enriquecidas con Fe mientras que las rocas de la Cordillera de la Costa están relativamente empobrecidas del mismo (Lamy et al., 2001). En el norte de la Patagonia, algunos estudios realizados durante la última década, han determinado, por ejemplo, que en el área sur de la cordillera de los Andes elementos metálicos como Fe, Ti y zirconio (Zr) están más concentrados en minerales gruesos asociados con el transporte de material desde el continente y mayores descargas fluviales (Bertrand et al. 2012). Otro estudio evaluó la presencia de elementos pesados como bario (Ba), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb), Sr y zinc (Zn) en sedimentos superficiales (0-3 cm) en el fiordo Baker y canales vecinos, sugiriendo patrones de distribución espacial afectados por las condiciones pluviales, fluviales, la entrada de material arrastrado por glaciares y la corriente estuarina (Ahumada et al., 2015). Por su parte, Troch et al. (2021) establecieron para sedimentos superficiales (1-2 cm) en el sistema del fiordo Baker-Martínez (47.8°S-47.9°S) que éstos reflejan las diferentes litologías del batolito del norte de la Patagonia (i.e., rocas basálticas, ricas en silicatos y Ca) y del complejo metamórfico del este de los Andes. En los fiordos que reciben sedimentos de varios glaciares, estos autores encontraron que la razón Ti/Al es indicativa de la procedencia de dichos sedimentos (Troch et al., 2021).

Para las localidades al sur de los 50°S aún existe poca información sobre las concentraciones de elementos metálicos en sedimentos marinos como potencial herramienta para analizar la variabilidad del ciclo hidrológico, siendo esta una de las motivaciones para realizar el presente estudio. En consecuencia, el objetivo principal de este trabajo es analizar la concentración de elementos metálicos depositados en sedimentos superficiales recolectados entre 50°S y ~54°S, como indicadora de la variación espacial en el aporte de material terrígeno desde el continente asociada con la escorrentía de agua dulce y la composición de la corteza continental adyacente a los fiordos y canales del extremo sur de Chile (Fig. 1).

Metodología

Para alcanzar nuestro objetivo se tomaron muestras de sedimentos superficiales en varias estaciones de muestreo con un box corer (Fig. 2), durante la expedición CIMAR 25 Fiordos, realizada entre septiembre-octubre de 2019 a bordo del buque oceanográfico AGS61 Cabo de Hornos de la Armada de Chile. Los sedimentos fueron conservados refrigerados en bolsas plásticas selladas en el laboratorio de oceanografía de la universidad de Magallanes.

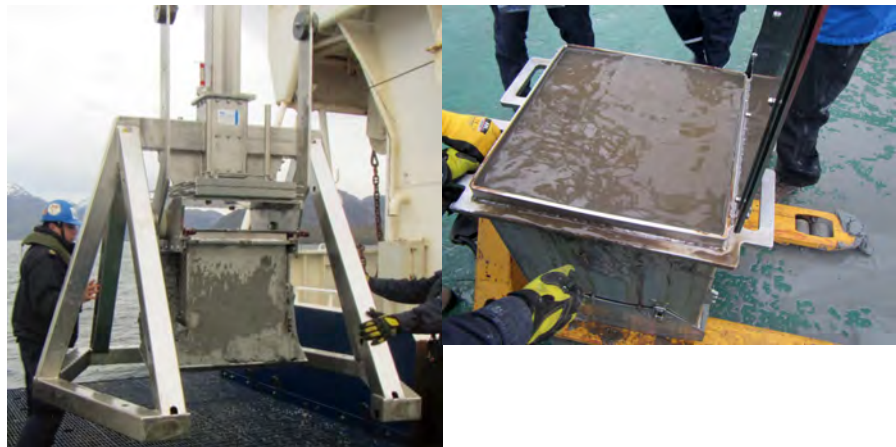


Figura 2. Box Corer (modelo 80.250, KC Denmark), la caja donde se recolectan los sedimentos tiene dimensiones 50 cm x 50 cm x 60 cm. En el recuadro del lado derecho una panorámica de sedimento recuperado en una de las estaciones de muestreo.

Posteriormente, estos sedimentos se secaron hasta peso constante y 0.5 g de sedimento seco de cada muestra se sometieron a digestión total con una mezcla de ácidos concentrados (HF, HNO₃ y HCl; USEPA 3052, 1996) para determinar la concentración de elementos metálicos con un equipo ICP-OES Perkin-Elmer Optima 8300 en la universidad de Antofagasta. También se determinó el contenido de carbono orgánico (C_{org}) con un analizador elemental Flash EA2000 Thermo Scientific en el laboratorio LABASI de la universidad Católica de Chile. Finalmente, el tamaño medio de partículas inorgánicas del sedimento (Vaasma, 2008) se determinó mediante un equipo de espectrometría de difracción de rayos láser Malvern Master Size 2000, en el laboratorio de sedimentología del departamento de geología en la universidad de Chile.

Resultados

Los elementos más abundantes en las muestras de sedimento superficial fueron hierro y aluminio (del orden de 10^3 $\mu\text{g/g}$), seguidos por el titanio, zinc y vanadio (del orden de 10^2 $\mu\text{g/g}$), níquel, cobre, plomo y molibdeno (del orden de 10^1 $\mu\text{g/g}$), y finalmente, calcio, potasio y cadmio (del orden de 1 $\mu\text{g/g}$). En general, estos elementos mostraron un importante grado de correlación entre sí (Fig. 3). Solamente la concentración de Ni estuvo correlacionada con la sedimentación del carbono orgánico (C_{org}). A su vez, no se encontró relación significativa (correlaciones < 0.43 ; valores $p > 0.05$) entre las concentraciones de estos elementos metálicos y el tamaño medio de las partículas, el cual varió entre 4 μm (limo fino) y 160 μm (arena fina). Es interesante destacar que el sedimento superficial más fino se encontró en las proximidades de localidades geográficas con cobertura de glaciares (Fig. 4).

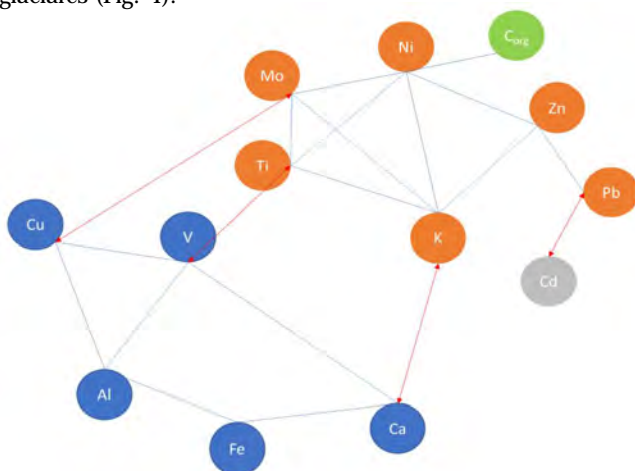


Figura 3. Agrupamiento de elementos metálicos y contenido de carbono orgánico en sedimentos superficiales recolectados en fiordos y canales del extremo sur de Chile (50 - 54°S). Las líneas azules representan correlaciones no paramétricas (correlación por rangos de Spearman) positivas en tanto que las flechas dobles rojas representan correlaciones negativas entre elementos. Los colores de los círculos resaltan asociaciones fuertes de algunos elementos y la concentración de carbono orgánico (C_{org}).

Un análisis de componentes principales, técnica estadística utilizada para resumir información contenida en variables múltiples y correlacionadas, permite explicar alrededor del 77% de la varianza total del conjunto de elementos mediante los cuatro primeros componentes (Fig. 5). También es posible identificar dos grandes subconjuntos de elementos {Al, Ca, Cu, Fe, V} y {K, Mo, Ni, Ti, Zn} (Fig. 3). Con más detalle también es posible establecer que el primer componente principal (33% de la varianza) está asociado fuertemente con elementos como K y Mo, mientras que el segundo componente (18% de la varianza) lo está con Al y Fe, el tercero con Pb y Mo (13%) y el cuarto con Ca y Fe (12%).

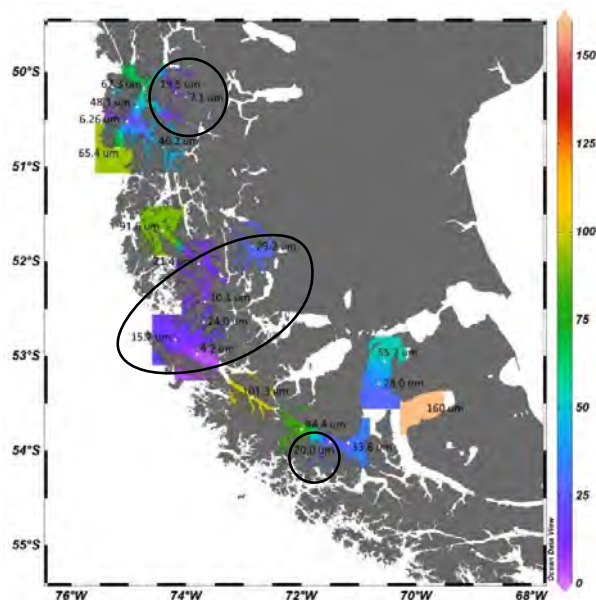


Figura 4. Distribución espacial del tamaño medio de partículas en el sedimento superficial. Se resaltan, de norte a sur, las áreas con tamaños promedio de partícula más bajos próximas al campo de hielo sur, el área vecina a Puerto Natales y el gran Campo Nevado y la estación 9C, en las proximidades del glaciar Santa Inés, en el estrecho de Magallanes (escala de colores en μm).

La representación espacial de la razón Fe/Al en el sedimento superficial se presenta en la figura 6. Este mapa revela proporciones más altas de este metal terrígeno en las proximidades de las áreas de drenaje de glaciares, cerca del campo de hielo sur en el norte ($\sim 51^\circ\text{S}$), en las proximidades de Puerto Natales y el Gran Campo Nevado (52°S - 52.5°S) y en el área de influencia del glaciar Santa Inés (53.8°S) en el estrecho de Magallanes.

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que la entrada de elementos metálicos en los fiordos y canales del extremo sur de la Patagonia chilena está asociada con el transporte de minerales arrastrados desde el continente mediante el flujo de agua derretimiento de hielo y por los ríos. La procedencia de minerales desde el continente traídos por escorrentía es apoyada por la distribución espacial del tamaño promedio de las partículas de sedimento (Fig. 4). Otros estudios han establecido que el flujo de sedimento erosionado por glaciares se caracteriza por la presencia de material muy fino (limo), a veces denominado "harina glaciar" (e.g., Silva, 2008; Ahumada et al., 2015), similar al material que en este estudio se encontró cerca del campo de hielo sur, en las proximidades de Puerto Natales y el Gran Campo Nevado o del glaciar Santa Inés, con tamaño promedio de partícula menor de 30 μm .

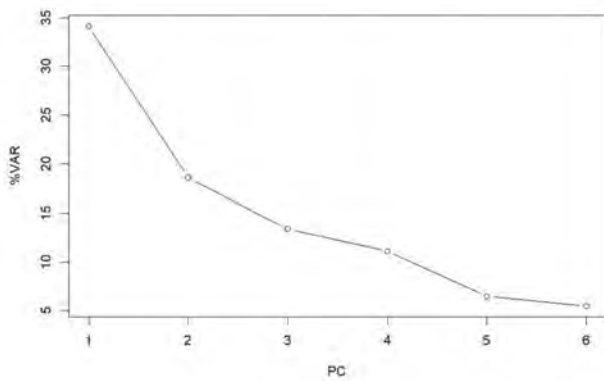


Figura 5. Proporciones de varianza explicada por los componentes principales (PC) basados en elementos metálicos medidos en sedimentos superficiales.

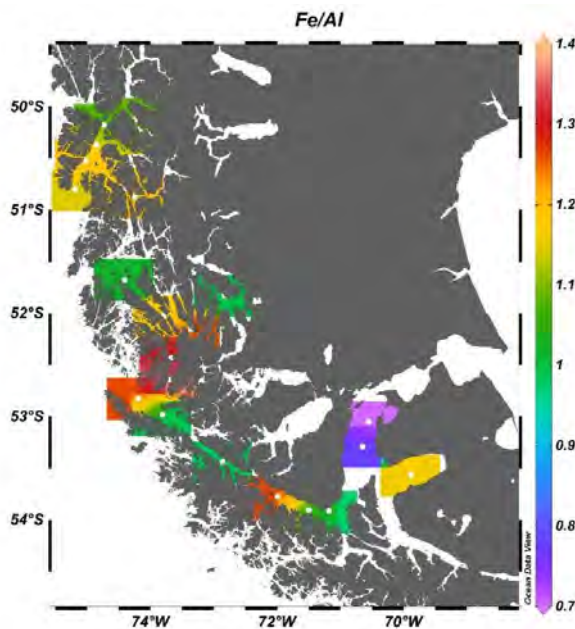


Figura 6. Distribución espacial de la razón Fe/Al como indicadora de aporte de sedimentos desde el continente por el flujo de agua dulce en el extremo sur de la Patagonia chilena. La escala de colores representa los valores de la razón Fe/Al.

La agrupación de elementos en subconjuntos (Fig. 3) sugiere distintas fuentes de minerales transportados hacia los sedimentos en el área de estudio. Aunque los elementos metálicos también pueden precipitar físicamente con la materia orgánica, en este estudio la falta de correlación con el carbono orgánico (con excepción del níquel) sugiere que los elementos metálicos precipitaron predominantemente con partículas minerales traídas desde el continente. Por otra parte, la composición de las rocas continentales indica formaciones geológicas distintas, una dominada por rocas volcánicas, alcalinas y graníticas hacia el lado occidental y otras, al oriente, conformadas por rocas sedimentarias siliciclásticas (ricas en silicio y pobres en calcio) (Gómez et al., 2019). En este sentido, las asociaciones de

elementos encontradas en el presente estudio (Fig. 3) permiten proponer que las áreas en las cuales se detectaron mayores razones Fe/Al (Fig. 6) corresponden a áreas donde se concentra material traído por la acción erosiva de las aguas de descongelamiento de los glaciares.

En conclusión, los elementos metálicos en el sedimento permitieron establecer en este estudio tres sectores con mayor influencia de derretimiento de glaciares y, por lo tanto, mayor entrada de agua dulce al sistema de fiordos y canales. Estos sectores se ubican en las cercanías del campo de hielo sur, en el sector de Puerto Natales y canales que comunican con el océano Pacífico hacia el Gran Campo Nevado y el área de influencia del glaciar Santa Inés, en el estrecho de Magallanes.

En el área frente a Puerto Natales actualmente se encuentran importantes concesiones de cultivo de salmones, por lo que es probable que, en el futuro cercano y en el contexto del calentamiento global, mayores derretimientos de glaciares alteren la estratificación de la columna de agua y, con ello, las condiciones óptimas de cultivo para estas especies de peces con importancia comercial.

Los resultados obtenidos permiten postular el Fe, así como otros elementos metálicos (e.g., K, Ca, Ti, Zn), como indicadores ambientales útiles para realizar reconstrucciones de la variabilidad de flujos de derretimiento, caudales y precipitación en el pasado reciente (últimos dos siglos), a partir de testigos de sedimento.

Agradecimientos

CONA-SHOA, proyecto No. CF25F 19-01. A la tripulación del AGS 61 "Cabo de Hornos" por su apoyo y trato cordial durante nuestro trabajo a bordo.

Bibliografía

- Ahumada, R. González, E., Díaz, C., Silva, N. (2015). Characterization of Baker Fjord region through its heavy metal content on sediments (Central Chilean Patagonia), *Latin American Journal of Aquatic Research* 43: 581-587
- Aracena, C., Lange, C. B., Iriarte, J. L., Rebolledo, L., Pantoja, S. (2011). Latitudinal patterns of export production recorded in surface sediments of the Chilean Patagonian fjords (41–55°S) as a response to water column productivity. *Continental Shelf Research* 31: 340-355.
- Barthold, F., Tyralla, C., Schneider, K., Vaché, K., Frede, H.G., Breuer, L. (2011). How many tracers do we need for end member mixing analysis (EMMA)? A sensitivity analysis. *Water Resources Research*, 47, W08519, doi:10.1029/2011WR010604.
- Bertrand, S., Hughen, K., Sepúlveda, J., Pantoja, S. (2012). Geochemistry of surface sediments from the fjords of Northern Patagonia (44–47°S): Spatial variability and implications for paleoclimate reconstructions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 76, 125-146.

- Bueno, P. Soto, D. (2017). Adaptation strategies of the aquaculture sector to the impacts of climate change. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1142. Rome, Italy.
- Cuevas, L. Tapia, F., Iriarte, J., Gonzalez, H., Silva, N., Vargas, C. (2019). Interplay between freshwater discharge and oceanic waters modulates phytoplankton size-structure in fjords and channel systems of the Chilean Patagonia. *Progress in Oceanography* 173, 103 – 113.
- Fariás, L., Acuña, E., Aguirre, C., Álvarez, S., Barbieri, M. A., Delgado, V., Dewitte, B., Espinoza, O., Pinilla, E., Fernández, C., Garrido, P., Jacob, B., Lagos, N., Masotti, I., Narváez, D., Navarre, e, S., Pérez-Santos, I., Ramajo, L., Troncoso, L., Silva, C., Saavedra, L., Soto, D., Vargas, C. A., Winckler, P., Veas, C., Yáñez, E., Yévenes, A. (2019). Propuestas para la actualización del Plan de Adaptación en Pesca y Acuicultura. Informe de la mesa Océanos. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Garreaud, R. (2018). Record-breaking climate anomalies lead to severe drought and environmental disruption in Western Patagonia in 2016. *Climate Research*, 74, 217-229. <https://doi.org/10.3354/cr01505>.
- Gómez, J., Schobbenhaus, C., Montes, N.E., compilers. (2019). Geological Map of South America 2019. Scale 1:5'20000'20000. Commission for the Geological Map of the World (CGMW), Colombian Geological Survey, and Geological Survey of Brazil. Paris. <https://doi.org/10.32685/10.143.2019.929>
- Lamy, F., Hebbeln, D., Röhl, U., Wefer, G. (2001). Holocene rainfall variability in southern Chile: a marine record of latitudinal shifts of the Southern Westerlies. *Earth and Planetary Science Letters* 185: 369-382.
- León-Muñoz, J., Urbina, M. A., Garreaud, R., Iriarte, J. L. (2018). Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Scientific reports* 8(1), 1330. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-19461-4>.
- Libes, S. (2009). Introduction to marine biogeochemistry. Second edition. Elsevier. 909 pp.
- Moffat, C., Tapia, F. J., Nittrouer, C. A., Hallet, B., Bown, F., Boldt Love, K., Iturra, C. (2018). Seasonal Evolution of Ocean Heat Supply and Freshwater Discharge from a Rapidly Retreating Tidewater Glacier: Jorge Montt, Patagonia. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(6), 4200–4223. <https://doi.org/10.1002/2017JC013069>.
- Pérez-Santos, I., Seguel, R., Schenider, W., Linford, P., Donoso, D., Navarro, E., Amaya-Cárcamo, C., Pinilla, E., Daneri, G. (2019). Synoptic scale variability of surface winds and ocean response to atmospheric forcing in the eastern Austral Pacific Ocean. *Ocean Sci. Discuss*, 15, 1247-1266, <https://doi.org/10.5194/os-15-1247-2019>.
- Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Lösschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. (eds.) (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009325844.002.
- Rivera, A., Corripio, J., Bravo, C., Cisternas, S. (2017). Glaciar Jorge Montt (Chilean Patagonia) dynamics derived from photos obtained by fixed cameras and satellite image feature tracking. *Annals of Glaciology* 53, doi: 10.3189/2012AoG60A152.
- Silva, N. (2008). Physical and chemical characteristics of surface sediments in austral Chilean channels and fjords. In: Silva, N. and S. Palma (eds.) *Progress in the oceanographic knowledge of Chilean waters, from Puerto Montt to Cape Horn*. Comité Oceanográfico Nacional – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, pp. 69 – 75 (disponible: <http://www.cona.cl/revista/english/5.1%20Nelson%20Silva.pdf>)
- Soto, D., Ross, L., Handisyde, N., Bueno, P., Beveridge, M., Dabbadie, L., Aguilar-Manjarrez, J., Cai, J., Pongthanapanich, T. (2018). Climate change and aquaculture: vulnerability and adaptation options. En: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S., Poulain, F., (eds). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. Pp: 465-490.
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y Ministerio del Medio Ambiente (2015). Propuesta Plan de adaptación al cambio climático pesca y acuicultura. Gobierno de Chile, 59 pp.
- Troch, M., Bertrand, S., Amann, B., Liu, D., Placencia, J. A., Lange, C. (2021). Sediment provenance in the Baker-Martinez fjord systema (Chile, 48°) indicated by magnetic susceptibility and inorganic geochemistry. *Frontiers in Marine Science* 8: 612309. doi: 10.3389/fmars.2021.612309.
- Tribovillard, N., Algeo, T., Lyons, T., Riboulleau, A. (2006). Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update. *Chem. Geol.* 232 (1), 12–32.
- USEPA (1996). Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3052.pdf>.
- Vaasma, T. (2008). Grain-size analysis of lacustrine sediments: A comparison of pre-treatment methods. *Estonian Journal of Ecology* 57: 231-243.
- Vargas, C. A., Cuevas, L. A., Silva, N., González, H., De Pol-Holz, R., Narváez, D. (2018). Influence of glacier melting and river discharges on the nutrient distribution and DIC recycling in the Southern Chilean Patagonia. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123, 256–270. <https://doi.org/10.1002/2017JG003907>.
- Lan, X., Wang, H., Li, R., Lin, Z., Zhang, Z. (2007). Major Elements Composition and Provenance Analysis in the Sediments of the South Yellow Sea. *Earth Science Frontiers* 14: 197–203.
- Zhang, Y., Chiessi, C., Mulitza, S., Zabel, M., Trindade, R., Hollanda, M., Dantas, E., Govin, A., Tiedemann, R., Wefer, G. (2015). Origin of increased terrigenous supply to the NE South American continental margin during Heinrich Stadial 1 and the Younger Dryas. *Earth and Planetary Science Letters* 432: 493–500.

OTAQ

AQUACULTURE

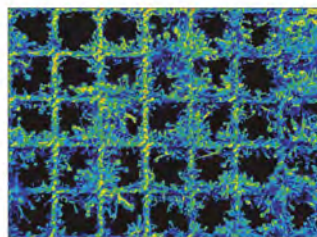
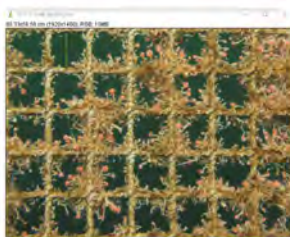
La tecnología de última generación de OTAQ se alinea con el bienestar animal optimizando la rentabilidad de tu negocio

TU ALIADO EN EL BIENESTAR ANIMAL

Otaq Chile
 Pacheco Altamirano 2875 - Puerto Montt
 Fono: (+56 65) 2562 659
 info@otaq.com

DRAGON FISH

Sistema de medición láser submarino de alta precisión, que viene a ayudarte a cumplir con la Res. Ext. 1821 del 18.08.21, minimizando tu gasto en el cumplimiento de la norma.



ESTIMACION AREA SOLIDA MALLA CULTIVO

Estime en forma rápida y efectiva el área sólida de sus mallas a través de manejo de imagen y software OTAQ, verificando cuantitativamente el fouling de tu Malla.

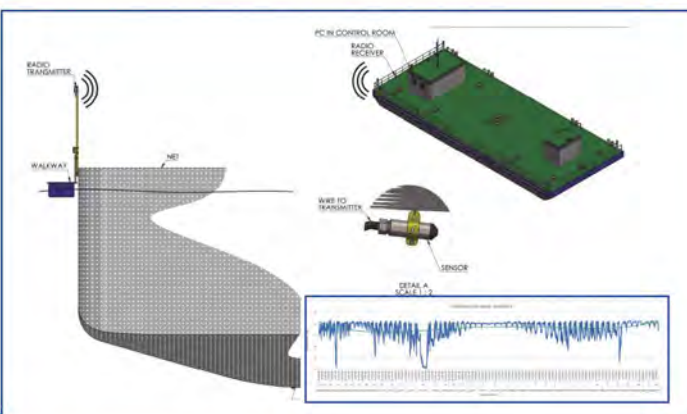
CAMARA EAGLE IP

Las cámaras a color de enfoque fijo Eagle IP de 115° y 180°, con calidad de imagen especial para alimentar tu Machine Learning de tu inteligencia artificial asociada a proceso de alimentación de tus peces.



SENSOR DE MICROALGAS

Monitoreo en tiempo real de concentraciones de microalgas en sus centros de cultivo, minimizando el tiempo sin medidas paliativas al enfrentar un FAN.



SENSOR DE PROFUNDIDAD

Mida en tiempo real la profundidad de sus mallas y controle su pérdida relativa de volumen contribuyendo a disminuir enfermedades y optimizando el potencial de crecimiento de sus peces.

SENSOR GLOBE

Registre y monitoree en tiempo real las condiciones ambientales en que sus peces son trasladados, asegurando su bienestar durante el proceso.



www.otaq.com

LA PESQUERÍA DE JUREL EN EL PACÍFICO SUR ORIENTAL (1973-2021): ESTIMACIONES DEL RENDIMIENTO MÁXIMO SOSTENIDO

THE JACK MACKEREL FISHERY FROM THE SOUTHEASTERN PACIFIC (1973-2021): MAXIMUM SUSTAINABLE YIELD ESTIMATIONS

Eleuterio Yáñez¹, Francisco Plaza², Pierre Fréon³ & Antonio Aranís²

¹ Profesor Titular Pontificia Universidad Católica Valparaíso, Chile
² Instituto de Fomento Pesquero, Chile
³ Científico Pesquero Francés (pierre.freon@free.fr)

¹ Professor Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile
² Instituto de Fomento Pesquero, Chile
³ Fisheries Scientific from France (pierre.freon@free.fr)

Contacto / Contact: eleuterio.yanez@pucv.cl

El jurel (*Trachurus murphyi* Nichols 1920) se distribuye desde el sur del Ecuador hasta el sur de Chile (1°38' S - 55° S) y desde las costas del Pacífico Sur Oriental (PSO) hasta Nueva Zelanda (Serra, 1991; Poulin et al., 2014). La Organización Regional del Pacífico Sur (OROP-PS) registra capturas desde 1970 para los 16 países (incluida la Unión Europea) que explotan el jurel en el PSO (SPRFMO SC9-Report, 2021). Estos indican un máximo de 4.955.186 t en 1995, que disminuyen drásticamente a 353.120 t en el 2013 y que aumentarían a 814.512 t en el 2021. Los desembarques de Chile representan el 73% de las capturas registradas para el PSO entre 1970 y 2021. En Chile el jurel es capturado por embarcaciones artesanales e industriales de cerco, representando éstas últimas cerca del 95% de los desembarques del recurso en el país (SERNAPESCA, 1982-2021).

Después de los trabajos de Naranjo et al. (2015) y de Yáñez et al. (2021), se analiza nuevamente la pesquería de jurel realizada en el PSO entre 1973 y 2021. Para tal efecto se considera la hipótesis de una sola unidad de stock (Parada et al., 2013) y se toman en cuenta:

1) la captura (C) de todos los países que explotan el recurso en el PSO; 2) el índice de abundancia captura por unidad de esfuerzo de pesca estándar (CPUE), deducido de los registros del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) de la flota industrial de cerco de la zona centro-sur de Chile; 3) el esfuerzo de pesca estándar ($E = C/CPUE$); y 4) la temperatura superficial del mar (TSM), registrada por la NOAA, de la zona entre los 32° - 42° S y 71° - 80° W. Cabe señalar que los desembarques de la flota industrial de cerco del centro-sur de Chile representan en el período 1973-2021 el 55% de los realizados en el PSO ($y = 0,7371 x - 342235$; $R^2 = 0,84$).

En el análisis se ajustan modelos globales de producción que consideran la variabilidad ambiental (Fréon et al., 1993; Fréon & Yáñez, 1995), usando la versión del programa CLIMPROD 5.0 (2022). Adicionalmente se considerarían correcciones de las capturas chilenas de jurel que implicarían aumentos en la zona centro-sur del orden de 1,79 (1998), 1,95 (1999), 1,63 (2000) y 2,15 (2001) (Yáñez et al., 2016). Estas diferencias, que se deben confirmar, se deberían a "dificultades" para identificar el jurel en presencia de otros recursos abundantes como la sardina

Jack mackerel (*Trachurus murphyi* Nichols 1920) is distributed from southern Ecuador to southern Chile (1°38' S - 55° S) and from the coasts of the Southeastern Pacific (SEP) to New Zealand (Serra, 1991; Poulin et al., 2014). The South Pacific Regional Fisheries Management Organization (SPRFMO) records catches since 1970 for the 16 countries (including the European Union) that exploit jack mackerel in the SEP (SPRFMO SC9-Report, 2021). These catches show a maximum of 4,955,186 t in 1995, which decreases drastically to 353,120 t in 2013, followed by an increase to 814,512 t in 2021. Landings from Chile represent 73% of the catches registered for the SEP between 1970 and 2021, where jack mackerel is captured by small-scale and industrial purse-seine vessels, the latter representing about 95% of the landings in the country (SERNAPESCA, 1982-2021).

This article follows the works of Naranjo et al. (2015) and Yáñez et al. (2021) and presents an analysis of the jack mackerel fishery carried out in the SEP between 1973 and 2021. For that purpose, a single-stock hypothesis is considered (Parada et al., 2013) along with four variables:

1) the capture (C) of all the countries that exploit the resource in the SEP; 2) the catch per unit of standard fishing effort (CPUE) as an abundance index, deduced from the records of the Fisheries Development Institute (IFOP) of the industrial purse-seine fleet of the central-southern zone of Chile; 3) the standard fishing effort ($E = C/CPUE$); and 4) the sea surface temperature (SST), registered by NOAA, in the area between 32° - 42° S and 71° - 80° W. It should be noted that the landings of the industrial purse-seine fleet from central-southern Chile within 1973-2021 represent 55% of those carried out in the SEP (the linear relationship between those two series is $y = 0.7371 x - 342235$; $R^2 = 0.84$).

The analysis involved global production models that consider environmental variability (Fréon et al., 1993; Fréon & Yáñez, 1995), using the CLIMPROD 5.0 software (2022). Additionally, corrections to the Chilean jack mackerel catches are considered, which would imply increases in the central-southern area of the order of 1.79 (1998), 1.95 (1999), 1.63 (2000) and 2.15 (2001) (Yáñez et al., 2016). These differences, which must be confirmed, are due to identification issues of jack mackerel in

común (*Strangomera bentinckii*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona centro-sur, y la caballa (*Scomber japonicus*) en la zona norte.

Así, para la pesquería del período 1973-2021 se ajusta el siguiente modelo que considera el efecto del ambiente (TSM) y del esfuerzo de pesca (E), y que fue empleado anteriormente por Yáñez et al. (2021):

$$CPUE = (-a + b \text{ TSM}) e^{-c E}$$

El modelo toma en cuenta 5 clases de edad significativas en las capturas, la ocurrencia del reclutamiento a los 2 años de edad y el ambiente afectando la abundancia principalmente entre 0 y 2 años, y logra un $R^2 = 0,84$ ($p < 0.001$), R^2 Jackknife = 0,84 y T Jackknife = bueno. Con este modelo se estima, con la TSM promedio anual de 1999 al 2014 (más fría), un rendimiento máximo sostenido (RMS) de 504.164 t/año; y de 946.005 t/año con la TSM promedio anual de 2018-2021 (más cálida). Con este modelo y las correcciones de las capturas de Chile, el ajuste muestra un $R^2 = 0,86$ ($p < 0.001$), R^2 Jackknife = 0,84 y T Jackknife = bueno. Luego, con la TSM promedio anual de 1999-2014 se estima un RMS de 556.102 t/año y con la TSM promedio anual de 2018-2021, un RMS de 1.051.582 t/año. Cabe señalar que durante el 2015-2018 se desarrolla un período más bien cálido asociado a sucesivos fenómenos El Niño, eventos que aumentarían la disponibilidad y por ende la CPUE, y no necesariamente la abundancia del recurso. En el 2020 se manifestó una TSM promedio anual bastante fría, lo que no fue previsto por Yáñez et al. (2020); en tanto que el 2021 fue aún más fría (Fig. 1).

Sin embargo, el modelo antes descrito presenta algunos problemas. Con las bajas temperaturas observadas los pronósticos de CPUE, capturas y RMS resultan negativos. Además, los residuos entre las CPUE estimadas y observadas presentan una cierta tendencia al aumento y los residuos de la CPUE versus E o versus TSM presentan una cierta heterocedasticidad. Estos problemas se solucionan al considerar el siguiente modelo:

the presence of other abundant resources such as common sardines (*Strangomera bentinckii*) and anchovy (*Engraulis ringens*) in the central-southern zone, and chub mackerel (*Scomber japonicus*) in northern Chile.

Thus, for 1973-2021 period the following model is fitted, which shows the effect of the environment (SST) and the fishing effort (E), and which previously used by Yáñez et al. (2021):

$$CPUE = (-a + b \text{ SST}) e^{-c E}$$

This model considers 5 significant age classes in the catches, the recruitment occurring at 2 years of age, and the environment mainly affecting abundance between 0 and 2 years, and achieves $R^2 = 0.84$ ($p < 0.001$), R^2 Jackknife = 0.84, and T Jackknife = good. With this model and the annual SST average of 1999-2014 (more cold), a maximum sustained yield (MSY) of 504,164 t/year is estimated. When considering the annual average SST for the 2018-2021 period, the estimated MSY is 946,005 t/year. If this model is used considering the corrections for the catches of Chile, the model fit shows an $R^2 = 0.86$ ($p < 0.001$), R^2 Jackknife = 0.84 and T Jackknife = good. If the environment is represented by the annual SST average from 1999-2014 (more warm), a MSY of 556,102 t/year is estimated; and with the annual SST average of 2018-2021 an MSY of 1,051,582 t would be achieved. It should be noted that during 2015-2018 a rather warm period was developed associated with successive El Niño events, that would increase jack mackerel availability, and therefore the CPUE, but not necessarily only the resource abundance. In 2020-2021, a cold annual SST averages manifested themselves (Fig. 1), which were not foreseen by Yáñez et al. (2020).

However, this model has some problems. With low temperatures observed, the forecasts for CPUE, catches and maximum sustained yield (MSY) are negative. Associated with this, the residuals between the estimated and observed CPUEs show a certain tendency to increase, while the

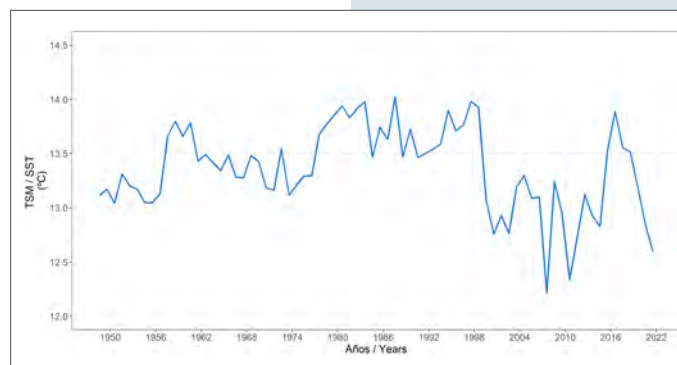


Figura 1. TSM (°C) promedio anual de la zona 32° - 42° S y 71° - 80° W.

Figure 1. Annual SST (°C) averages from the zone 32° - 42° S y 71° - 80° W

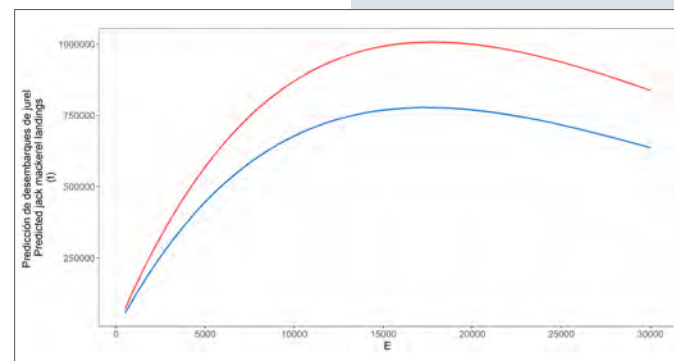


Figura 2. RMS (máximo de las curvas) de junel para un ambiente más cálido (rojo) y otro más frío (azul).

Figure 2. MSY of jack mackerel maximum of curves) for an environment more warm (red) and a more cold (blue).

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

Este modelo incorpora una relación no lineal entre CPUE y TSM, dentro del modelo de producción generalizado de Pella y Tomlinson (1969). El modelo considera las mismas condiciones que en el modelo anterior (clases de edad, reclutamiento y efecto del ambiente en la abundancia), y logra un $R^2 = 0,88$ ($p < 0.001$), R^2 Jackknife = 0,86 y T Jackknife = bueno. Así, con este modelo se estima considerando la TSM promedio anual de 1999-2014 (más fría) un RMS de 729.257 t/año y con la TSM promedio anual de 2018-2021 (más cálida) un RMS de 939.592 t. Si utilizamos este mismo modelo pero considerando las correcciones de las capturas de Chile, el ajuste muestra un $R^2 = 0,90$ ($p < 0.001$), R^2 Jackknife = 0,88 y T Jackknife = bueno. Y si consideramos la TSM promedio anual de 1999-2014 (más frío) se estima un RMS de 777.500 t anuales; en tanto que si se estableciera un ambiente con la TSM promedio anual de 2018-2021 (más cálido), se lograría un RMS de 1.007.036 t (Fig. 2).

Cabe señalar que la Comisión de la OROP-PS adoptó para el 2021 una captura total permisible de 817.943 t. Por otra parte, se constata que el análisis muestra ciertas diferencias al usar los datos corregidos y los sin corregir. También que el período 1983-1998 es más bien cálido con un promedio anual de 13,712 °C y capturas bastante más altas (3.318.098 t de promedio anual) que las más recientes (400.000 - 800.000 t). En tanto que el promedio del período 1999-2014 es más frío (12,909°C) y aún más la TSM promedio anual del 2020 (12,843 °C) y la del 2021 (12,592). Por otro lado, se observa una disminución de la TSM al comparar el promedio anual del período cálido de 2015-2018 (13,622°C), con el promedio anual de 2019 (13,188°C). Yáñez et al. (2020) analizan los datos de 1983 al 2019 y consideran para el pronóstico la TSM de 2019 y no la que realmente se dio en el 2020, lo que podría implicar una sobreestimación de las capturas pronosticadas. En el presente trabajo se supone que el enfriamiento no seguirá y que las condiciones volverían a las de 1999-2014, razón por la cual la TSM promedio anual de este período es considerada en los pronósticos; aunque también consideramos la temperatura promedio de los últimos cuatro años (1998-2021; 13,034°C). La de 1999-2014 fue una de las dos TSM consideradas por Yáñez et al. (2019). Por otra parte, un posible aumento de la disponibilidad se podría dar por una migración del jurel hacia el sur debido a los efectos del cambio climático, tal como sucedería con el pez espada (Silva et al., 2015).

Finalmente recordar que este recurso implicó capturas cercanas a 5 millones de t en 1995, las que caen a 400.000 t de promedio anual en el período 2012-2017, aumentando a 670.000 t anuales en el período 2018-2021. El recurso jurel se estaría recuperando de una gran sobreexplotación, cuyo costo para el ecosistema no ha sido todavía evaluado, toda vez que junto a este recurso se capturan otras 42 especies, aunque representando solo el 1% de las capturas.

residues of the CPUE versus E or versus SST present a certain level of heteroskedasticity. Those issues are addressed by considering the following model:

$$CPUE = ((a \text{ SST}^b) + dE)^{(1/c-1)}$$

This model integrates a non-linear relationship between CPUE and SST, within the generalized production model of Pella and Tomlinson (1969). The model takes into account the same assumptions (significant age classes in the catch, recruitment and environment affecting abundance), and achieves $R^2 = 0.88$ ($p < 0.001$), R^2 Jackknife = 0.86 and T Jackknife = good. Thus, with this model, two scenarios were considered: an MSY of 729,257 t/year was estimated considering the annual SST average of 1999-2014 (coldest), and the annual SST average of 2018-2021 (warmer) obtained an MSY of 939,592 t. If we use this same model but considering the corrections for the Chilean catches, the fit shows $R^2 = 0.90$ ($p < 0.001$), R^2 Jackknife = 0.88 and T Jackknife = good. If we consider the annual SST average from 1999-2014 (coldest), an MSY of 777,500 t per year is estimated; while if an environment with the annual SST average of 2018-2021 (warmer) was established, an MSY of 1,007,036 t would be achieved (Fig. 2).

It should be noted that the SPRFMO Commission adopted for 2021 a total allowable catch of 817,943 t, which to us is risky. On the other hand, it is verified that the analysis showed differences when using the corrected and uncorrected data. Also, the period 1983-1998 is rather warm with an annual average of 13,712 °C, showing much higher catches (3,318,098 t annual average) than the most recent ones (400,000 - 800,000 t). While the average for the period 1999-2014 is colder (12,909°C) and the annual average SST for 2020 (12,843°C) and 2021 (12,592) is even colder. Yáñez et al. (2020) analyzed the data from 1983 to 2019 and considered the 2019 SST for the forecast and not the one that occurred in 2020, which could imply an overestimation of the forecasted catches. In the present work it is assumed that the cooling will not continue and that the conditions would return to those of 1999-2014, which is why the average annual SST for this period is considered in the forecasts; although we also consider the average temperature of the last four years (1998-2021; 13,034°C). The one from 1999-2014 was one of the two SSTs considered by Yáñez et al. (2019). On the other hand, a possible increase in availability could be occurring due to a migration of jack mackerel to the south caused by the effects of climate change, as would happen with swordfish (Silva et al., 2015).

Finally, remember that this resource involved catches close to 5 million t in 1995, which fell to an annual average of 400,000 t in the 2012-2017 period, increasing to 670,000 t per year in the 2018-2021 period. The jack mackerel fishery would be recovering from a great overexploitation, whose cost for the ecosystem has not yet been assessed, since over 42 other species are captured alongside jack mackerel, although representing only 1% of the captures.

Agradecimientos / Acknowledgements

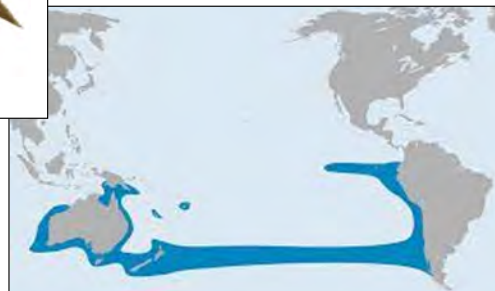
Francisco Plaza fue parcialmente apoyado por/was partially supported by CONICYT-PFCHA/DOCTORADO BECAS-CHILE/2018-21182037.

Referencias / References

- Espindola, F., J.C. Quiroz, R. Wiff & E. Yáñez. 2016. Incorporating sea surface temperature into stock-recruitment relationship: Application to jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. Revista de Biología Marina & Oceanografía. Vol. 51 (1): 137-145.
- Fréon, P., G. Pichon & C. Mullon. 1993. CLIMPROD: experimental interactive software for choosing and fitting surplus production models including environmental variables. FAO, Computerized Information Series Fisheries 5, 76 pp.
- Fréon, P. & E. Yáñez. 1995. Influencia del medio ambiente en evaluación de stock: una aproximación con modelos globales de producción. Invest. Mar., Valparaíso, 23: 25-47.
- Naranjo, L., F. Plaza, E. Yáñez, M. Á. Barbieri & F. Sánchez. 2015. Forecasting of jack mackerel landings in central-southern Chile through neural networks. Fisheries Oceanography, Vol. 24 (3): 219-228.
- Parada, C., B. Yannicelli, S. Hormazábal, S. Vásquez, J. Porobic, B. Ernst, C. Gatica, M. Arteaga, A. Montecinos, S. Núñez & A. Gretchina. 2013. Environmental variability and fisheries in the southeastern Pacific: research status and challenges for fisheries management. Lat. Am. J. Aquat. Res., 41(1): 1-28.
- Pella, J.J. & P.K. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model. IATTC Bull., 13 (3): 419-496.
- Poulin, E., L. Cárdenas, C.E. Hernández, I. Kornfield & F.P. Ojeda. 2004. Resolution of the taxonomic status of Chilean and Californian jack mackerel using mitochondrial DNA sequence. Journal of Fish Biology 65: 1160-1164.
- SERNAPESCA. 1982-2021. Anuarios estadísticos de desembarque. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Chile.
- Serra, R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel *Trachurus symmetricus murphyi*. Invest. Pesq. (Chile), 36: 67-83.
- SC9-Report. 2021. Annex 10. Jack Mackerel Technical Annex. Scientific Committee, South Pacific Regional Fisheries Management Organisation (SPRFMO), 67 pp.
- Yáñez, E., A. Aranís, L. Caballero & C. Silva. 2020. Capturas totales permisible de jurel (*Trachurus murphyi*) en el Pacífico Suroriental. Revista Versión Diferente, Año 17, N°32: 68-69.
- Yáñez, E., A. Aranís & C. Silva. 2021. La Explotación del Jurel en el Pacífico Sur Oriental (1973-2020): Estimaciones del Rendimiento Máximo Sostenido. Revista Versión Diferente, Año 18, N°33: 58-59.
- Yáñez, E., C. Silva, M.Á. Barbieri, L. Soto, G. San Martín, P. Muck, J. Letelier, F. Sánchez, G. Böhm, A. Aranís, A. Parés & F. Plaza. 2016. Sistema de pronósticos de pesquerías pelágicas chilenas frente a diversos escenarios del cambio climático. Informe Final Proyecto FONDEF D11I1137, CONICYT, 46 pp. + Anexos.



El jurel / Chilean jack mackerel
(*Trachurus murphyi* Nichols, 1920)



Distribución del jurel en el Pacífico Sur / Distribution of jack mackerel in the South Pacific

Principales logros de investigación básica y aplicada del Centro INCAR-UACH



Universidad Austral de Chile
Conocimiento y Naturaleza

Jaime Figueroa^{1,3}, Alejandro Yáñez^{1,3}, Juan Guillermo Cárcamo^{1,3}, Alex Romero^{2,3}

¹ Instituto de Bioquímica y Microbiología, Facultad de Ciencias, UACH;

² Instituto de Patología Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias, UACH;

³ Research Program 3 (RP3), Interdisciplinary Center for Aquaculture Research

<https://centroincarc.cl/>

jefigueroa@uach.cl | gcarcamo@uach.cl | ayanez@uach.cl | alexromero@uach.cl

INCAR es el primer Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuicola en Chile, y un Centro de investigación de excelencia FONDAF creado inicialmente por CONICYT, actual Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID). Está conformado por investigadores de la Universidad de Concepción, como institución patrocinante, la Universidad Andrés Bello y la Universidad Austral de Chile, como instituciones asociadas. El centro genera conocimiento científico de alto nivel para resolver algunos de los problemas y desafíos más urgentes que enfrenta la acuicultura nacional, para lograr la sustentabilidad ecológica, económica, ambiental y social. Este conocimiento también se transforma en información científica pertinente y de valor para los tomadores de decisiones y autoridades sectoriales a través de documentos *Policy Brief*. Estas actividades se distribuyen en cinco líneas de investigación (RP1-RP5), que aportan conocimiento de alto valor en temáticas críticas para el desarrollo sustentable de la actividad acuicola, junto a un Programa Integrativo (P.I.) que promueve la investigación interdisciplinaria entre las cinco líneas del centro.

En el caso de la RP3, Salud Animal en el Ambiente Marino de la UACH, sus actividades de investigación se han centrado en fortalecer el conocimiento de patógenos como *Piscirickettsia salmonis*, el virus de la necrosis pancreática infecciosa (IPNV), *Caligus rogercresseyi* y *Renibacterium salmoninarum*, particularmente a nivel genómico, transcriptómico y proteómico, para comprender la patogenicidad, la virulencia y los mecanismos de resistencia antibiótica, y de paso comprender la interacción patógeno-hospedero, especialmente a nivel del sistema inmune innato, adaptativo y nutricional de salmónidos. La RP3 también se ha enfocado en estudiar el estado de salud de otras especies de importancia comercial en Chile como los mejillones (*Mytilus chilensis*). Cada uno de estos aspectos, se han ido desarrollando a través de tesis de pre- y post-grado, proyectos de postdoctorado, proyectos concurrentes y contratos tecnológicos con empresas del área acuicola. Por lo tanto, esta publicación busca destacar los mayores hitos logrados por la línea RP3-UACH INCAR en

estos 10 años de investigación, considerando la genómica y proteómica de patógenos como los pilares fundamentales del desarrollo y proyección de nuevas estrategias de diagnóstico, control y tratamiento de enfermedades en peces.

Genómica y proteómica de patógenos

Piscirickettsia salmonis

En el año 2017, Nourdin-Galindo y col., lograron establecer el primer análisis de genoma central (Core-Genoma) y el genoma completo de la especie (Pan-genoma) de *P. salmonis* a partir de 19 genomas disponibles en NCBI. Se confirmó la existencia de los dos genogrupos LF89 y EM90, a través de análisis filogenéticos y filogenómicos, los que presentaron un pangenoma específico, conformado por 148 y 273 genes de proteínas específicas, respectivamente. Se determinó la presencia de varios grupos compartidos de genes entre LF89 y EM90, relacionados con funciones celulares básicas, supervivencia y en particular, los factores de virulencia vinculados a adhesión, colonización, invasión y producción de endotoxinas [1]. Estos resultados permiten comprender las características más encriptadas de la interacción patógeno-hospedero de esta bacteria, con lo que se accede al diseño de estrategias para su diagnóstico y control. Adicionalmente, se generó un sistema de clasificación basado en multilocus dentro de los dos principales genogrupos, describiendo además un grupo híbrido entre LF-89 y EM-90 [2] y el desarrollo de un sistema múltiple de PCR para la identificación específica de genogrupos de *P. salmonis* [3].

Gracias a proyectos concurrentes en colaboración con la PUCV, UNAB y UACH, se pudo obtener la anotación en el NCBI de cerca de 80 nuevos genomas de *P. salmonis*, tanto de cepas de referencia y aislados de campo hasta el año 2018. Este trabajo fue realizado con la colaboración internacional del Dr. Jörg Overman del Leibniz Institute DSMZ, Alemania. A partir de estos hallazgos genómicos, se han identificado una serie de factores

de virulencia que han sido asociados tanto en procesos infecciosos, sobrevivencia intracelular y resistencia antimicrobiana. En este sentido, la identificación diferencial de islas genómicas codificantes de enzimas citotóxicas y proteolíticas, asociadas a procesos de invasión y proliferación intracelular [4, 5], permitiría explicar los diferentes niveles de virulencia descritos en *P. salmonis* LF89 y EM90. También se pudo demostrar la síntesis y secreción de sideróforos, que confirman su capacidad para utilizar diferentes fuentes de hierro [6]. De igual forma, se identificó el sistema de

Uno de los grandes desafíos de la industria salmonera nacional es la disminución del uso de antibióticos, principalmente aquellos dirigidos al tratamiento de la Piscirickettsiosis. En este sentido, la bacteria ha ido disminuyendo su susceptibilidad a los antibióticos, especialmente para Florfenicol (Flo) y Oxitetraciclina (Oxi). El estudio de 10 genomas de *P. salmonis*, identificó y caracterizó los potenciales mecanismos moleculares involucrados en la fármaco-resistencia de *P. salmonis*, describiendo 140 genes asociados a la resistencia antibiótica, 6 genes involucrados directamente a resistencia a Flo y Oxi y el eventual rol de SNPs, como elementos de variación evolutiva en estos genes [18, 19 y 20]. Adicionalmente, el estudio *in vitro* de resistencia antibiótica, han sido posibles a través de la formulación de medios de cultivo bacteriológicos (caldo y agar), que permitieron el cultivo masivo y eficiente de la bacteria, obteniendo una patente para uno de ellos [21, 22, 23]. Estos avances en el sistema de cultivo permitieron el desarrollo de un sistema de análisis CIM de antibióticos (concentración inhibitoria mínima) para

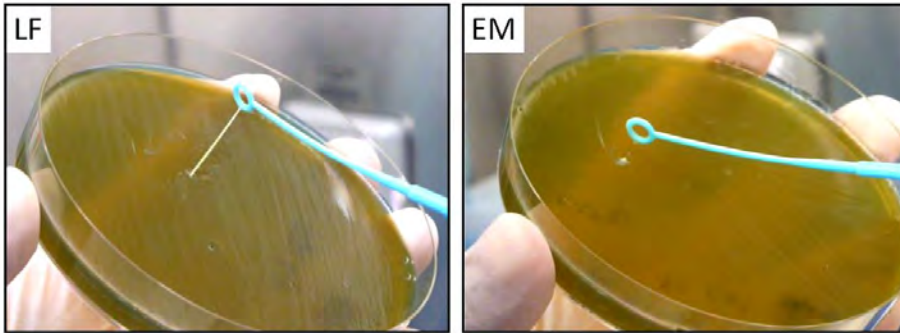


Figura 1. Fenotipo diferencial de colonias de *P. salmonis* genotipo LF89 y EM90 cultivada en medio AGAR ADL-PSB. Tomado de Nourdin-Galindo 2017.

secreción vía Sec-independiente y Tipo 4 Dot/Icm, asociados a la interferencia de la maduración endosomal y sobrevivencia dentro de macrófagos [7]. Además, la generación de estructuras celulares específicas como OMVs, conteniendo proteínas claves para la supervivencia y toxinas [8, 9], Pili tipo4 [10] ligado a procesos de adhesión a la superficie celular y la expresión de HSP60 (GroEl) [11], se asociaron a la producción de biofilm, lo cual fue descrito *in vitro* como una estructura viable, estable y tolerante al mucus de la piel de salmónidos en superficies abióticas [12]. Adicionalmente, la producción de biofilm es modulada en la bacteria por superficies como el Nylon [13], el cultivo en medios restrictivos nutricionalmente y la presencia de NaCl y Fe [14, 15, 16], encontrando además que *P. salmonis* EM-90 planctónica y LF-89 sésil, generarían un mayor efecto citopático en células SHK-1, asociado a la modulación de la expresión genes proinflamatorios [16]. Es interesante destacar que a partir de la primera descripción de potenciales genes asociados a procesos de formación de biofilm [1], se ha podido evidenciar la existencia de una serie de genes cuya expresión es modulada diferencialmente durante la formación de biofilm, asociados a procesos de quimiotaxis (*cheYZA*) [14], virulencia (*mazE-mazF*, *liso* y *tcx*) y actividad metabólica (*glxA* y *glxB*) [15], junto con la primera identificación de la producción de N-acetil-L-homoserina-Lactona, como molécula señal de *quorum sensing*, sugiriendo la regulación de la expresión génica bacteriana dependiente de la densidad celular, lo que modularía las características fisiológicas y varios mecanismos bacterianos de *P. salmonis* [17].

P. salmonis, el cual fue recomendado por el CLSI para su aplicación en laboratorios asociados a la industria acuícola [24]. En relación con el proceso infeccioso, bajas dosis de *P. salmonis* en *S. salar*, simulando una infección natural, demostraron la disminución de diversos parámetros hematológicos y bioquímicos, como el hematocrito y la concentración de glucosa, Fe y Mg plasmático en la etapa inicial de infección, sugiriendo el monitoreo de estos parámetros fisiológicos durante la infección [25].

Caligus rogercresseyi.

A comienzos del Centro INCAR, describimos la participación de enzimas de biotransformación y de proteínas de resistencia a fármacos, en el fenómeno de resistencia farmacológica presente en el sistema salmónido/caligus [51] y posteriormente en otros sistemas parasitarios [53]. A continuación, evaluamos distintos tratamientos antiparasitarios, los que alteran en distinta cuantía la expresión y actividad de las enzimas de biotransformación en diferentes tejidos en los peces tratados, afectando procesos de desintoxicación y mecanismos inmunomoduladores, generando desequilibrios en los procesos de síntesis y degradación de hormonas, y complicaciones asociadas a interacciones medicamentosas [34, 42]. Este tipo de estudios tienen una especial relevancia para los periodos de resguardo y también por su posible vínculo con la eficiencia de conversión del alimento en salmónidos.

Virus de la Necrosis Pancreática infecciosa (IPNV):

Se estudió las diferentes variantes genómicas del virus (West Buxton y Sp) y sus diferentes grados de virulencia en muestras del sur de Chile [26], específicamente la correlación entre

genogrupos, hospedador y grados de virulencia, especialmente relacionados con cambios en la secuencia de la proteína VP2 y VP5 [27]. Estudios *in vitro*, también permitieron demostrar que IPNV, regula durante la infección temprana, la expresión de proteínas de matriz extracelular y promueve la producción de IL-1?, principalmente a través de la vía NF- κ B [28], junto con la expresión de diferentes genes inmunes como TLRs e interleuquinas [29]. Del mismo modo, se demostró por primera vez el control epigenético de la respuesta antiviral ejercida por IPNV, a través del análisis de los cambios en los patrones de acetilación y metilaciones específicas del DNA celular derivadas de la infección por IPNV [30].

Renibacterium salmoninarum.

En los últimos años, el desarrollo de acuicultura en diferentes áreas geográficas del país ha evidenciado la proliferación de *R. salmoninarum* en la región de Magallanes y de la Antártica Chilena, lo cual obliga a desarrollar nuevas estrategias para el tratamiento y control de este microorganismo. Por ello, el conocimiento científico obtenido por nuestra línea en vacunas contra *P. salmonis*, nos permitió la adjudicación de un proyecto FONDEF para el Desarrollo de un prototipo de vacuna proteica contra *R. salmoninarum* en *S. salar*, lo cual permitirá contribuir en el control de este patógeno.

Mytilus chilensis.

El microbioma intestinal de *M. chilensis* mostró una amplia diversidad de microorganismos; sin embargo, se observaron diferencias según el origen de las muestras, ya sea bancos naturales o en zonas de cultivos acuícolas masivos [31]. Para tener una visión clara del estado de salud de *M. chilensis* y estudiar su potencial como especie hospedera de enfermedades exóticas, se realizaron análisis diversos y no se detectaron patógenos de notificación obligatoria a la OIE y al SERNAPESCA, lo que confirma que *M. chilensis* tiene un buen estado sanitario [32].

Estrategias de prevención y tratamientos de enfermedades de peces

Los diferentes avances en el conocimiento integral de los patógenos, permitió el desarrollo de estrategias para la generación de vacunas de manera diferente a la clásica formulación por patógeno atenuado o inactivado. Para IPNV y en colaboración con Veterquímica, se optó por la generación de VLPs (virus like particles) de IPNV, que corresponden a cápsidas virales recombinantes, carentes del genoma viral. La encapsulación de VLPs-IPNV en matrices poliméricas resistentes al tránsito digestivo de peces, generó una respuesta inmune similar a la del virus infectante, demostrando claramente la vigencia tecnológica de la producción y

utilización de la administración oral de VLPs-IPNV basadas en cepas nacionales [33].

En otro contexto, en asociación con Biomar y AquaChile, se desarrollaron dietas suplementadas con principios activos fitogénicos, capaces de revertir la resistencia farmacológica en *C. rogercresseyi*. Estos resultados permitieron generar y patentar productos efectivos para aumentar la sensibilidad a EMB y piretroides, mejorando además parámetros productivos, como índice de conversión e incremento de peso [35]. Del mismo modo, la vacuna contra *Caligus* fue desarrollada con participación de Veterquímica, a partir de la información transcriptómica del parásito y estudios estructurales y antigénicos de las proteínas seleccionadas. Estos hallazgos permitieron desarrollar 3 prototipos de vacunas polipeptídicas, donde uno de ellos generó niveles de protección cercanos al 60%, el que cuenta con una patente concedida a principios de este año [36].

En el caso de *P. salmonis*, el desarrollo de la vacuna fue posible a través de la investigación básica y aplicada de las respuestas de los hospederos *in vitro* e *in vivo*, especialmente la respuesta de los TLRs del hospedero a diversas formas de presentación de antígenos [37, 38, 39 40, 41, 27] y la identificación genómica de potenciales marcadores antigénicos en *P. salmonis*, lo que permitió generar una formulación basada en antígenos proteicos, la que generan anticuerpos neutralizantes para este patógeno [42].

Por otro lado, y como una forma de mitigar o complementar el uso de antibióticos en la salmicultura, se establecieron y evaluaron estrategias no farmacológicas basadas en aditivos fitogénicos para el tratamiento de Piscirickettsiosis en trucha y salmón. Estos aditivos indujeron el aumento de la expresión de genes inmunes (*il12* e *ifn- λ*) en células SHK-1 de salmón, asociado a un efecto protector celular cuando fueron infectadas con *P. salmonis*. La inclusión de estos extractos en el alimento redujo la mortalidad de salmónidos con dietas suplementadas con los aditivos y posterior desafío por cohabitación con la bacteria, lo cual se relacionó con el aumento de la inmunidad innata y adquirida en los peces sobrevivientes a la infección [43, 44].

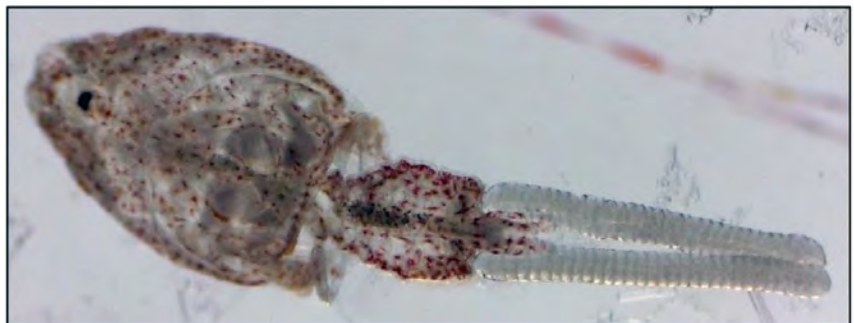


Figura 2. Hembra ovígera de *Caligus* utilizada en ensayos *in vitro* para el análisis de distintos compuestos antiparasitarios.

Efecto de la polución sobre la homeostasis de salmónidos.

Los hidrocarburos derivados del petróleo son los principales contribuyentes de la contaminación de los ambientes acuáticos. Esta condición tóxico-ambiental, tiene un fuerte efecto sobre la susceptibilidad de los organismos acuáticos a diversas patologías, e indirectamente sobre la salud de consumidores humanos. En este sentido, se logró establecer el efecto negativo de diferentes derivados sobre la expresión y actividad de diferentes enzimas involucradas en detoxificación, como CYPs, CEs y AChE en órganos de trucha arcoiris de arroyos de la Patagonia, afectados por derrames de petróleo [45, 46 y 47]. Asimismo, la exposición a hidrocarburos produce disrupción endocrina, con señales de

masculinización y feminización, además de inducir la expresión diferencial de diversas enzimas antioxidantes y desintoxicantes, citoquinas pro- y anti-inflamatorias asociadas a estrés, junto con caspasas iniciadoras y ejecutoras de la apoptosis [48]. Además, se observó la participación de diversos receptores y vías de señalización celular en respuesta a la exposición a pesticidas en hígado e intestino de trucha, afectando la expresión de genes codificantes de enzimas claves involucradas en el metabolismo y transporte de muchos compuestos endógenos y exógenos de peces [49]. Del mismo modo, también se determinó el daño oxidativo a lípidos y la estimulación procesos de desintoxicación, asociada a la inducción de la actividad de ABCC2, proteína clave en procesos de resistencia multi-xenobiótica a nivel intestinal en enterocitos de trucha [50].

Referencias

- [1] Nourdin-Galindo et al., (2017). *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 7: 459;
- [2] Isla et al., (2019). *J. Fish Dis.*, 42:721-737;
- [3] Isla et al., (2021). *Front. Microbiol.*, 12: 673216;
- [4] Lagos et al., (2017). *J. Fish Dis.*, 40: 1321-1331;
- [5] Figueroa et al., (2021). *J. Fish Dis.*, 44:495-504;
- [6] Calquiñán et al., (2017). *J. Fish Dis.*, 41(3):553-558;
- [7] Cortes et al., (2017). *Microb. Pathog.*, 110:586-93;
- [8] Oliver et al., (2016). *Vet. Microbiol.*, 184: 94-101;
- [9] Oliver et al., (2017). *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 7:420;
- [10] Sánchez et al., (2018). *FEMS Microbiol. Lett.*, 365: 1-9;
- [11] Oliver et al., (2020). *Microorganisms*, 8:117;
- [12] Levipan, et al., (2020). *Sci. Rep.*, 10: 12224;
- [13] Vidal et al., (2022). *J. Fish Dis.* 45:1099-1107;
- [14] Albornoz et al., (2017). *Microb. Pathog.*, 107:436-441;
- [15] Zúñiga et al., (2020). *FEMS Microbiol. Lett.*, 367,
- [16] Santibañez et al., (2020). *Microorganisms*, 8:1609.
- [17] Ruiz et al., (2021). *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 11:755496;
- [18] Sandoval et al., (2016). *FEMS Microbiol. Lett.*, 363: fnw102;
- [19] Cartes et al., (2016). *J. Fish Dis.*, 40: 1025-1039;
- [20] Figueroa et al., (2019). *J. Fish Dis.*, 42: 1645- 1655;
- [21] Yáñez et al., (2012). *Dis. Aquat. Org.*, 97: 197-205;
- [22] Yáñez et al., (2013). *J. Fish Dis.*, 36:587-591;
- [23] Yáñez et al., (2014). *J. Fish Dis.*, 37: 505-509.
- [24] Yáñez et al., (2020). INAPI -CHILE. N°. Registro 59619;
- [25] Isla et al., (2022). *J. Fish Biol.*
<https://doi.org/10.1111/jfb.15167>;
- [26] Calleja et al., (2012). *J. Virol. Methods*, 183:80-85;
- [27] Martínez et al., (2022). *Front. Immunol.*, 13:849752;
- [28] Manríquez et al., (2017). *Virol. J.*, 14:17;
- [28] Villalba et al., (2017). *Vet. Immunol. Immunopathol.*, 193-194: 10-17;
- [29] Manríquez et al., (2022). Enviado a *Aquaculture*,
- [30] Manríquez et al., (2015). *J. Immun.*, 194 (1 Supplement) 75.12;
- [31] Santibañez et al., (2022). *Aquaculture*, 548, 737644.
- [32] Santibañez et al., (2022). *Pathogens*, 11: 494;
- [33] Cárcamo et al., (2013). *Versión Diferente* Enero 2013;
- [34] Cárcamo et al., (2014). *Aquaculture*, 434: 188-200;
- [35] Cárcamo et al., (2015). Provisional Patent USPTO: US 62/386,280. USA;
- [36] Cárcamo et al., (2022). INAPI Patente N° de registro 64444;
- [37] Salazar et al., (2015). *J. Fish Dis.*, 39:239?248;
- [38] Peña et al., (2016). *Fish Physiol.*, 42:509-516;
- [39] Pontigo et al., (2016). *Fish Shellfish Immunol.*, 58:259-265;
- [40] Tandberg et al., (2017). *Fish Shellfish Immunol.*, 67:189-198;
- [41] González-Stegmaier et al., (2021). *Dev Comp Immunol.*, 117:103988;
- [42] Pontigo et al., (2021). *Front. Immunol.*, 12: 602689;
- [43] Hernández et al., (2016). *Aquaculture*, 454: 109-117;
- [44] Romero et al., (2021) *Aquaculture*, 533: 736170;
- [45] Leggieri et al., (2017). *Rev. Int. de Contam. Ambient.*, 33: 681-690;
- [46] Leggieri et al., (2019). *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 67: 61-65;
- [47] De Anna et al., (2018). *Comp. Biochem. Physiol. Part - C: Toxicol. Pharmacol.*, 212:47-55.
- [48] De Anna et al., (2021). *Ecotoxicol Environ Saf.*, 208:111394; [49] De Anna et al., (2021). *Pestic Biochem Physiol.*, 178:104920;
- [50] De Anna et al., (2022). *Pestic Biochem Physiol.* SSRN Electronic Journal. DOI: 10.2139/ssrn.4091547;
- [51] Cárcamo et al., (2011). *Aquaculture*, 321:207-215.
- [52] Cárcamo et al., (2017). *Comp. Biochem. Physiol. Part - C: Toxicol. Pharmacol.*, 191:129-137; [53] Nicolao et al., (2014). *Parasitol. Int.*, 63:1-8.
- [53] Nicolao et al., (2014). *Parasitol. Int.*, 63:1-8.

FLORACIONES ALGALES NOCIVAS (FAN): múltiples miradas para un problema complejo

Gonzalo Gajardo¹, Milko Jorquera², Leonardo Guzmán³, Carlos Riquelme⁴, Oscar Espinoza-González³, Andrés Ávila⁵, Jacqueline Acuña², Andrea Rivera⁶, Alejandro Barrientos⁷, Rodrigo Dougnac⁸, Camila Barria⁹, Esteban Ramírez¹⁰, Francisco Ther¹, Yuji Misu¹¹, Alejandro Murillo²

Este artículo surge de los temas, ideas y conclusiones generadas a partir del Primer Taller Abierto “Floraciones Algas Nocivas: Problemas, Oportunidades y Desafíos” (Figura 1), realizado el 29 de julio en el marco del Proyecto de “Monitoreo de Algas en Chile” (MACH, [Recuadro 1]). El taller, moderado por el Dr. Alejandro Murillo, profesional de extensión del proyecto, reunió a los “*stakeholders*” asociados a MACH para aunar criterios sobre este fenómeno natural, recurrente e impredecible, que admite múltiples miradas, en concordancia con su complejidad e impacto socio-ecológico-económico. Las FAN definidas operacionalmente como un crecimiento exponencial de determinadas microalgas (fitoplancton), debido a múltiples factores ambientales e interacciones biológicas, pueden ocurrir en sistemas estuarinos, marinos o dulceacuicolas. En este contexto, el enfoque del proyecto MACH es la sustentabilidad del ecosistema marino lo que requiere abordar la interfase

“ciencia-política”, incluyendo a las partes interesadas (*stakeholders*) que no pertenecen al mundo científico-académico. Desde la ciencia, MACH (Recuadro 1) ofrece una mirada ecosistémica que contempla las relaciones co-evolutivas (simbióticas y antagonistas) entre bacterias y microalgas, englobadas en el concepto de holobioma (Recuadro 2). El desafío es ver qué capacidad predictiva tendrían los sistemas actuales de monitoreo al ser alimentados con datos del “Holobioma” de las FAN. El taller virtual estuvo abierto a todo público y convocó a representantes de todas las instituciones asociadas al proyecto MACH. Se inició con las palabras de bienvenida del Sr. Shoji Ozawa, Representante Residente de JICA en Chile, y del Dr. Rodrigo Navia, Vicerrector de Investigación y Postgrado de la Universidad de la Frontera, entidad a la que pertenece el coordinador del proyecto en Chile, Dr. Milko Jorquera. A continuación se resumen las presentaciones de cada expositor.

Recuadro 1

El proyecto de Monitoreo de Algas en Chile (MACH) surge como una colaboración Chileno-Japonesa, que tiene por objetivo monitorear y estudiar los procesos de Floraciones Algas Nocivas (FAN) en las costas de Chile incluyendo el sistema de canales y fiordos, con el fin de lograr un modelo de pronósticos para determinadas floraciones, utilizando una aproximación holística, ecosistémica, multidisciplinaria y transdisciplinaria, que se sustenta fundamentalmente en el estudio del holobioma de las microalgas productoras de FAN, específicamente enfocado a bacterias que promueven o inhiben su proliferación, como potenciales bioindicadores, utilizando herramientas de microbiología, biología molecular, ecología, secuenciación de ADN y bioinformática. Este proyecto es financiado con recursos del Programa Asociativo de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sustentable (SATREPS) del Gobierno de Japón, a través de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón

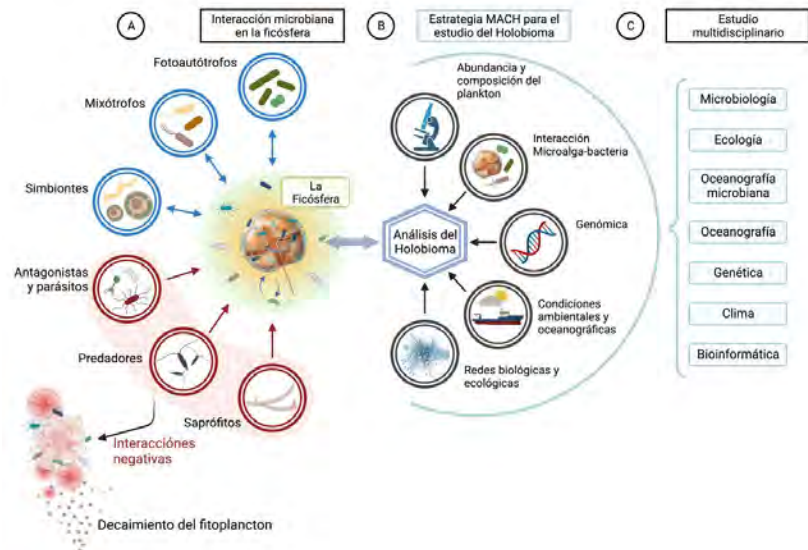
(JICA) y la Agencia de Ciencia y Tecnología de Japón (JST). Japón está representado por las Universidades de Hiroshima, Kyoto y Okayama, además del Instituto Nacional de Investigación en Ciencias Pesqueras. Chile por su parte está representado por las Universidades de la Frontera, de Antofagasta, de Los Lagos y el Instituto de Fomento Pesquero a través de su Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN). Este proyecto además cuenta con la aprobación, patrocinio y participación de la institucionalidad nacional como son la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Salud y Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo. Asimismo, cuenta con la colaboración del Instituto Tecnológico del Salmón (INTESAL) y el Instituto Tecnológico para la Mtilicultura (INTEMIT).

Recuadro 2

El concepto de “Holobioma” deriva del concepto de “Holobionte” introducido en 1991 (Margulis & Fester) y que se refiere al huésped y su microbiota, es decir, una célula u organismo (multicelular) huésped y todos los microorganismos asociados a este, donde el “Holobioma” es la suma del total de los genomas que componen a un organismo eucarionte, es decir, el genoma del huésped (la microalga o célula eucarionte en este caso) y los genomas de sus microorganismos asociados (Guerrero et al., 2013). Lo anterior refleja la compleja red de interacciones

simbióticas entre el huésped y su microbiota asociada (Guerrero et al., 2013). Lo anterior se asocia y se extiende al concepto de la ficosfera, que se refiere al microambiente que circunda a las células de fitoplancton, una zona enriquecida en nutrientes y moléculas orgánicas exudadas por la célula, donde se dan distintos tipos de interacciones entre bacterias y el fitoplancton, como mutualismo, comensalismo, parasitismo antagonismo y competición (Seymour et al., 2017).

Recuadro 2. A) Ficósfera y las múltiples interacciones que existen entre una célula fitoplanctónica y los microorganismos circundantes. B) Estudio del holobioma de microalgas productoras de FAN, considerando la ficósfera dentro de estas interacciones. C) Diversas disciplinas involucradas en el estudio del holobioma de las FAN.



Recuadro 3

Las FAN son "wicked" problems:

Por definición los problemas retorcidos o perversos ("wicked problems"), se caracterizan por ser poco específicos en sus impactos, al tiempo de no ser generalizables y suponer un conjunto variado de interpretaciones y de difícil solución. El concepto ha sido introducido desde el ámbito de las ciencias sociales. Por ejemplo, lo que pasa en un espacio geográfico, como puede ser un conjunto de comunas contiguas afectadas por la FAN, es propio de la complejidad de ese territorio, pues las condiciones biológicas de las FAN están imbricadas con otras de tipo social, económica, política y cultural. Así, las FAN como wicked problems también constituyen una situación compleja

dado las múltiples relaciones e interrelaciones entre distintos ámbitos. Del mismo modo, las FAN en tanto problemas perversos plantean una fuerte exigencia por un tiempo importante tanto a los sectores públicos como a científicos, empresas y comunidades de pescadores. Las FAN así entendidas requieren de trabajo colaborativo entre distintos grupos de interés ("stakeholders"), pero además de creatividad desplegada en los territorios, como son programas de alfabetización tecnológica destinados a pescadores artesanales y programas de sensibilidad sociocultural destinado a científicos y técnicos, todo a objeto de co-diseñar nuevas formas de participación técnico-política.

Charla 1

Floraciones Algaes Nocivas en Chile, regulación sectorial y monitoreo: desafíos y oportunidades. Sr. Alejandro Barrientos Puga, encargado de la Unidad de Gestión Sanitaria y Plagas, División de Acuicultura - Subpesca.

El foco de la charla estuvo en la revisión de la institucionalidad pública dedicada a responder frente a eventos de FAN que afectan la actividad acuícola, pesquera y al medio ambiente en general. Cuatro ministerios tienen competencias en los temas acuícolas: Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (MINECON), Ministerio de Defensa y Ministerio de Salud. Para el caso particular de las FAN los más directamente involucrados son el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo y el Ministerio de Salud. El primero a través de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Subpesca), el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca), y el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). El segundo a través de la Subsecretaría de Salud Pública y sus Secretarías Regionales Ministeriales (Seremi).

Subpesca administra el reglamento sobre plagas hidrobiológicas (REPLA), D. S. (MINECON) N° 345 de 2005, la gestión de la investigación para la regulación de la pesca y acuicultura, los reglamentos ambiental y sanitario, con consideraciones especiales para las floraciones algales nocivas y su impacto en la actividad acuícola, pesquera y medioambiental.

Sernapesca administra temas relacionados con la inocuidad alimentaria, mediante el "Programa Sanitario de Moluscos Bivalvos" (PSMB), como también lo relacionado a temas de salud animal y los efectos que puedan tener las FAN sobre especies hidrobiológicas en cultivo y actividades pesqueras. Asimismo, administra los programas de vigilancia y control considerados en el REPLA. Para el caso de IFOP, es quien realiza la investigación para aportar a la regulación y toma de decisiones sobre FAN, es Subpesca, a través de la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño, quien realiza los convenios con IFOP, para la realización de los programas ligados a las FAN y otros temas de interés.

Dentro de los alcances del REPLA, se considera evitar la introducción de especies que constituyan plagas hidrobiológicas, aislar su presencia, evitar su propagación y propender a su

A

Monitoreo de Algas en Chile (MACH-SATREPS)

SATREPS
Sustainable and Technological Research Partnership for Sustainability Development Program

1° Taller ABIERTO

"FLORACIONES ALGALES NOCIVAS: Problemas, Oportunidades y Desafíos"

Viernes 29 de Julio 2022
9:00 a 12:30 horas

Programa y link del taller en:
<https://www.mach-satreps.org/es/topics/>

B

Programa del Taller

Palabras de Apertura: Sr. Shoji Ozawa
Representante Residente (JICA Chile)

Palabras de Bienvenida: Dr. Rodrigo Navia
Vicerrector de Investigación y Posgrado UFRO.

- 1 Floraciones Algales Nocivas en Chile, regulación sectorial y monitoreo: desafíos y oportunidades. **Alejandro Barrientos (SUBPESCA)**
- 2 PSMB y su rol en el monitoreo de marea roja. **Rodrigo Dougnac Figueroa (SERNAPESCA)**
- 3 Programa Nacional de Vigilancia y Control de las Intoxicaciones por Floraciones Algales Nocivas del Ministerio de Salud. **Andrea Rivera (MINSAL)**
- 4 Floraciones algales nocivas; implicancias y desafíos para la industria mitilicultora. **Camila Barría (INTEMIT)**
- 5 "FAN" un desafío que continúa **Estebán Ramírez (INTESAL)**
- 6 Complejidades asociadas a las floraciones de algas nocivas y el por qué e importancia de los programas de monitoreos. **Dr. Leonardo Guzmán (IFOP)**
- 7 Impacto de floraciones de algas en plantas desaladoras del norte de Chile. **Dr. Carlos Riquelme (UANOTF)**
- 8 Complejidad litoral: oportunidades y desafíos de las comunidades de pescadores artesanales ante las floraciones de algas nocivas. **Dr. Francisco Ther (ULAGOS)**
- 9 Desafíos científicos para la integración de técnicas de estudio y monitoreo de las floraciones de algas nocivas en aguas costeras de Chile. **Dr. Milko Jorquera (UFRO)**

Mesa Redonda - Dr. Gonzalo Gajardo (ULagos)

Figura 1. A) Afiche del Primer Taller Abierto SATREPS-MACH. B) Programa del taller.

erradicación. Se entiende por plaga hidrobiológica cuando una especie puede causar efectos negativos (debido a su abundancia o densidad) en la salud humana, en otras especies o en el medio, con detrimento de las actividades pesqueras extractivas o de acuicultura y pérdidas económicas. En el marco, se declaró área de florecimiento algal nocivo (área de FAN), debido a la microalga *Alexandrium catenella*, en 2009, por lo cual se dictó un programa de vigilancia, detección y control de esta especie. Dentro del área FAN, actualmente está declarada área de plaga para *A. catenella* la Región de Aysén, con excepción de la zona de Pitipalena, que presenta riesgo de plaga. La región de Magallanes por su parte es un área catalogada en riesgo de plaga. Dada esta declaración de plaga para *A. catenella*, Subpesca mantiene 2 programas de monitoreo que son ejecutados por IFOP; el programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en el sistema de fiordos y canales de Chile, que se encuentra en su etapa XVI (2022-2023) iniciado en 2006 y el programa de manejo y monitoreo de FAN y toxinas marinas en el Océano Pacífico, en su etapa V, iniciado en 2018, esto, de acuerdo con la Ley General de Pesca y Acuicultura.

En contexto de sus funciones Subpesca ha identificado las siguientes oportunidades y desafíos

- 1) Coordinación intersectorial, para contar con una plataforma única de análisis y registro de datos,
- 2) Avanzar en la definición de medidas de mitigación para la acuicultura y pesca artesanal,

- 3) Abordar las FAN en forma interdisciplinar, desde el enfoque "One Health" incorporando el ámbito sociocultural,
- 4) Extender los programas de monitoreo a la zona norte del país,
- 5) Realizar una revisión y ajuste normativo para distintas especies de microalgas nocivas y
- 6) Mejorar el financiamiento, desarrollo y coordinación de la investigación de FAN.

Charla 2

PSMB y su rol en el monitoreo de marea roja. Sr. Rodrigo Dougnac Figueroa Encargado Nacional del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB) - Sermapesca.

Este programa opera en tres regiones del país con producción de Moluscos Bivalvos (MB) con fines de exportación: Coquimbo, Biobío y Los Lagos. El PSMB nace como requisito del mercado Norteamericano y luego la Unión Europea, que exigen para la exportación de MB clasificar y monitorear las áreas de extracción en base a su condición microbiológica, incluyendo toxinas marinas y fitoplancton. Se clasifican las áreas en categoría A (exportación vivos o crudos) y B ó C (exportación de recursos a través de un proceso térmico o de depuración). El programa contempla medidas de contingencia cuando los niveles superan los valores permitidos y consisten en aumentar la frecuencia de muestreo y cierres

cautelares de áreas de extracción para la exportación, y el aviso a las seremis de Salud de la región correspondiente. En cuanto a los parámetros, cada área debe monitorear semanalmente toxinas marinas (toxinas paralizantes, amnésicas y lipofilicas) y fitoplancton, semanalmente para la Isla de Chiloé y quincenalmente para las regiones de Coquimbo, Biobío y Los Lagos continental. En el caso de los parámetros microbiológicos se cuantifica la presencia de *E. Coli*, *Salmonella spp.* y *Vibrio spp.*, y *Norovirus* para el caso específico de ostras. Además, se realizan análisis semestrales para metales pesados, pesticidas y algunos parámetros oceanográficos. Durante el año 2021 se analizaron 5.174 muestras para toxina amnésica, 4.198 para toxina paralizante y 2.500 para toxinas lipofilicas. Respecto del fitoplancton, se analizaron 3.906 muestras, detectándose principalmente *Protoceratium reticulatum* (productor de Yesotoxinas), pero en niveles inferiores a los límites permitidos. Sin embargo, los análisis de toxina amnésica sobrepasaron los límites permitidos en el verano de 2021, detectándose una mezcla de fitoplancton con presencia de *Pseudonitzschia australis* y *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*, lo que provocó el cierre de 19 áreas de extracción, todas en la X Región. El sistema de comercio establecido para estos productos permite hacer un cierre inmediato de zonas de extracción, cuando se superan los límites establecidos, en coordinación con las seremis de Salud locales, quienes emiten las resoluciones de cierre.

Desde la década de los 70 se ha descrito una mayor ocurrencia de los eventos de Floraciones Algales Nocivas, con producción de toxina paralizante de mariscos (TPM), a nivel mundial. Los impactos que competen al ministerio de salud son la morbilidad y mortalidad producto de intoxicaciones por consumo de alimentos contaminados por FAN. Para esto, uno de los mayores esfuerzos es la comunicación de riesgo, por ejemplo durante el mega evento de marea roja de 2016, la población fue adicionalmente informada de los productos que no habían sido afectados y que eran seguros para su consumo, para evitar el colapso del sector económico dedicado a la comercialización de productos del mar. Sin embargo, el público en general exhibe alta desconfianza en el consumo de pescados y mariscos a lo largo de todo el país ante eventos de marea roja.

Respecto de medidas de mitigación para prevenir problemas de salud pública, se limita y controla la extracción, el transporte, elaboración, comercialización y el consumos de productos del mar afectados por FAN. El control estricto es necesario pues: 1) No existe un antídoto para las toxinas y una vez intoxicado se debe esperar a que el cuerpo depure naturalmente la toxina, con apoyo vital dependiendo del nivel de intoxicación (concentración de la toxina); 2) No existen métodos para evitar o controlar la ocurrencia de floraciones en el ambiente, ni para eliminar rápidamente las toxinas desde los mariscos contaminados, los cuales no presentan ningún cambio en sus propiedades organolépticas (sabor, color y aroma); 3) El impacto social y económico es serio y relacionado con la duración de las FAN y la detoxificación natural de los cultivos de moluscos; y 4) Hay carencia de modelos que permitan predecir la aparición, duración y lugar de ocurrencia de estas floraciones. Frente a estas problemáticas surge en 1995 el Programa Nacional de Control y Prevención de intoxicaciones por Marea Roja o PNMR (Figura 2), en coordinación con Subpesca, Sernapesca, la Autoridad

Marítima y los sindicatos de pescadores y acuicultores. El PNMR constituye un conjunto mínimo de procedimientos comunes a las regiones del país afectadas o amagadas por FAN, en la forma de una "Guía de Buenas Prácticas", las cuales tiene como objetivo central la protección de la salud de las personas, incluyendo la aplicación de acciones sectoriales e intersectoriales para lograr el éxito de las medidas de prevención y control, así como mitigación. Las actividades de vigilancia y control del programa corresponden a control de desembarco (previo al consumo) en áreas de cultivo y en bancos naturales. En caso

Charla 3

Programa Nacional de Vigilancia y Control de las Intoxicaciones por Floraciones Algales Nocivas del Ministerio de Salud. Sra. Andrea Rivera (Profesional/Médico Veterinario), encargada a nivel nacional del programa de vigilancia y control de intoxicaciones por FAN. Subsecretaría de Salud Pública - Minsal.



Figura 2. Resumen de los principales puntos que aborda el Programa Nacional de Control y Prevención de Intoxicación por Marea Roja, del Ministerio de Salud.

que los productos sobrepasen la normativa (Figura 2) se dicta una resolución sanitaria que prohíbe la extracción, comercialización y consumo de los mismos. En caso de decomiso de productos contaminados, estos son destruidos para evitar su consumo. Lo anterior se basa en un trabajo intersectorial permanente para acciones coordinadas entre instituciones como Subpesca e IFOP, siendo este último la institución técnica-científica encargada del monitoreo permanente de microalgas en muestras de agua a lo largo de la costas centro sur, sur y sur austral. Otra de las actividades relevantes del programa es la difusión y comunicación de riesgo a niños, niñas, adolescentes y a la población en general, para transmitir las medidas de autocuidado sanitario frente a intoxicación por consumo de productos contaminados, esto a través de las recomendaciones de consumo en lugares establecidos y de productos extraídos desde zonas autorizadas por la autoridad sanitaria. Considerando que la toxina es termoestable y no puede ser eliminada por cocción de alimentos, el lavado o la utilización de desinfectantes químicos (e.g. cloro).

Charla 4

Floraciones algales nocivas: implicancias y desafíos para la industria mitilicultora. Srta. Camila. Barría, Bióloga Marina, Máster en acuicultura, Jefa de Estudios y Reportes del Instituto Tecnológico de Mitilicultura (INTEMIT).

Chile es el primer exportador de mitílicos a nivel mundial, con una industria que se desarrolla principalmente en la región de Los Lagos y se basa en el cultivo de choritos o mejillón chileno (*Mytilus chilensis*), obtenidos del ambiente acuático a través del sistema de captación de semillas. La actividad mitilicultora ha aumentado en forma sostenida desde el año 2000, representando a la fecha ~ 29% de la actividad acuícola nacional, con una cosecha anual de *M. chilensis* de 425.000 toneladas en el año 2021, representando el 80% de la producción de moluscos a nivel nacional, situando a Chile como segundo productor y el principal exportador de mejillones a nivel mundial, por lo tanto una parte importante del Producto Geográfico Bruto (PGB) de la economía chilena depende del ecosistema marino y sus recursos. Sin embargo, esta industria no ha estado exenta de problemas, como son la crisis de semillas, residuos y los eventos de Floraciones Algales Nocivas (FAN) o Mareas Rojas. De los tipos de FAN (Figura 3), aquellas tóxicas son las que más impactan a la industria mitilicultora, por ser los moluscos bivalvos organismos filtradores que acumulan estas toxinas y

actúan como transvectores en los casos de intoxicación en seres humanos (Figura 3). De esta forma, durante cada evento FAN se disminuye el desembarque o cosecha de los moluscos. Dentro de los planes de monitoreo, los centros de cultivo deben seguir las normativas del PSMB, como requisito de la legislación Europea para la exportación de moluscos bivalvos. En este contexto, desde INTEMIT se generó una plataforma de gestión tecnológica para el rubro mitilicultor denominada "BiblioMit" (<https://www.bibliomit.cl/>), herramienta creada a través de un proyecto de la Asociación Gremial de Mitilicultores de Chile (AmiChile), financiado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y enmarcado en el nodo de ciencia y tecnología para la industria mitilicultora. Dentro de las herramientas de BiblioMit se encuentra le "Ambiental PSMB", que refleja los esfuerzos de INTEMIT por darle valor agregado a la información ambiental que históricamente se registra en el programa PSMB, permitiendo al usuario explorar gráficamente la variabilidad ambiental histórica que modela las actividades productivas de sus sistemas de cultivo y le permite realizar comparaciones entre zonas y cuencas PSMB, sobre las variables de fitoplancton, salinidad, oxígeno y pH entre otros.

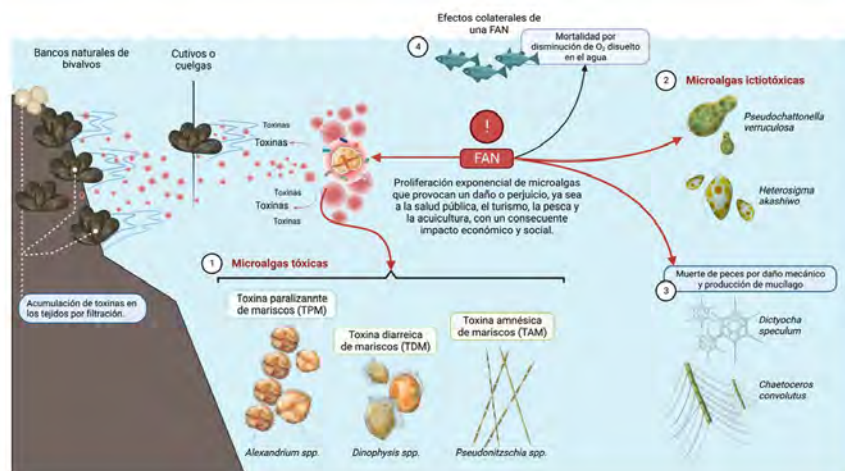


Figura 3: Tipos de Floraciones Algales Nocivas (FAN). 1) Muestra las FAN de tipo tóxicas y que pueden afectar a la salud humana a través de organismos transvectores como mariscos filtradores e incluso carnívoros. Los principales géneros de microalgas productoras de toxinas y que generan floraciones se indican en la figura. 2) Otro tipo de FAN son las que pueden afectar directamente a peces en el ambiente o en cultivo, estas son generadas por microalgas que producen distintos tipos de ictiotoxinas, especies reactivas de oxígeno (ROS) y/o ácidos grasos poliinsaturados (PUFAS), las que pueden producir irritación, daño y/o oclusión principalmente de las branquias. 3) Muestra las FAN producidas por microalgas que no son tóxicas, pero que por su forma y estructura (generalmente de sílice) pueden causar daño mecánico a órganos como las branquias. Finalmente, 4) muestra un efecto secundario de las FAN, pero que también causa mortalidad y varazones de distintos componentes de la fauna marina. La alta carga de materia orgánica generada por las FAN es posteriormente descompuesta por microorganismos como bacterias, haciendo uso del oxígeno disuelto, lo que genera una fuerte disminución de la concentración de este elemento en el agua de mar, lo que genera, en ciertas floraciones nocivas, mortalidad por asfixia en algunos organismos.

Por otra parte, INTEMIT está interesado en abordar cuáles son los efectos que las toxinas pueden tener en el ciclo de vida del chorito, basándose como primera aproximación en estudios realizados con otros moluscos bivalvos, donde se ha estudiado en *Alexandrium catenella* la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y una activación de los genes relacionados con apoptosis (muerte celular programada) en ostras expuestas a *A. catenella*. Con respecto a la fecundación y desarrollo larval, Banno y colaboradores (2018) reportaron que la exposición de ostras adultas a diferentes microalgas nocivas, incluidas especies del género *Alexandrium*, disminuye la velocidad de nado de espermios, la viabilidad de los ovocitos y la eclosión de los embriones fecundados. Estudios nacionales del efecto de *A. catenella* sobre el chorito *Mytilus chilensis* (J. Navarro y col. en la Universidad Austral), mostraron en adultos y juveniles una disminución de la tasa de aclaramiento y de ingestión de materia orgánica, con un aumento en la tasa de excreción y acumulación de toxinas. Específicamente en juveniles se observó un aumento rápido y sostenido en la cantidad de toxina acumulada en los tejidos y una disminución de la ingesta energética.

Otras toxinas relevantes por su influencia en los moluscos bivalvos son las Yesotoxinas, que corresponden a poliésteres policíclicos disulfatados, inicialmente incluidos como toxinas diarreas, pero recientemente reclasificados pues no producen diarrea en humanos. En Chile se ha confirmado que las Yesotoxinas son producidas por *Protoceratium reticulatum* y *Gonyaulax taylorii*, con una amplia distribución latitudinal en las costas de Arica a Magallanes. Algunos casos en Chile, asociados a la presencia de esta toxina, corresponden al varamiento de algunas especies marinas durante el verano de 2021, con mortandad de estrellas de mar, erizo rojo y almejas en la zona del Pabellón de Pica en la Región de Tarapacá. El mecanismo de acción de esta toxina no es del todo claro, pero algunos estudios inmunológicos indican que la toxina afecta el sistema inmunológico, la función digestiva y la homeostasis de calcio. En resumen, se requieren más estudios que generen las bases científicas para entender el efecto de las toxinas marinas en los moluscos bivalvos, considerando que la industria mitilicultora se concentra en la Isla de Chiloé y que depende de la captación de semillas en el medio natural, siendo este el insumo clave para la etapa de engorda, en una zona donde se ha visto incrementada la ocurrencia de eventos FAN.

Algunos de los desafíos que se consideran relevantes para la industria mitilicultora son: 1) Generar una alerta temprana de eventos FAN, en base a la integración de la información de los distintos programas de monitoreo; 2) Desarrollar investigación básica sobre el efecto de las toxinas marinas en el ciclo de vida de *M. chilensis*; y 3) Realizar monitoreos y análisis de toxinas emergentes en Chile, tales como pinatoxinas y espirirólidos, e implementar nuevas metodologías de análisis que pudiesen ser requeridas por los mercados de exportación.

Charla 5

"FAN" un desafío que continúa. Sr. Estebán Ramirez, Gerente general en Instituto Tecnológico del Salmón (INTESAL).

El impacto de las FAN en la industria salmicultora es principalmente la mortalidad de peces por microalgas ictiotóxicas, o en forma indirecta por el efecto colateral de la disminución de oxígeno en el agua, afectación de branqueas u otros impactos. Debido a la recurrencia de FAN, principalmente en primavera-verano, todos los años se registra mortalidad de peces en los centros de cultivo. Si se observa la estadística desde 2012 a 2021 destaca el evento de 2016, que sin duda fue totalmente anómalo en su intensidad, pasando de un promedio de ~ 5.000 toneladas de pérdidas anuales a causa de las FAN a una mortalidad de más de 35.000 toneladas solo en el evento de 2016. Sin embargo, si ponemos las cifras de mortalidad en contexto del total de las causas de muerte en salmónes, las FAN solo representan en promedio el ~ 6%, a excepción del año 2016, donde causó el ~ 50% de las pérdidas. Por lo tanto, al no ser la primera causa de mortalidad, el problema en cuanto al manejo de las pérdidas, se genera en periodos del año definidos y con casos extremos repentinos. Otra preocupación de la industria es el impacto que tiene la comunicación sobre estos eventos nocivos y la percepción que hay sobre la actividad acuícola, ya que son eventos naturales que ocurren en ecosistemas costeros de todo el mundo y cuya ocurrencia, recurrencia y expansión se deben a múltiples factores, como el aumento en la capacidad espacial y temporal de detectar e identificar las microalgas nocivas, el avance en las tecnologías para pesquisar a las microalgas productoras de FAN, el aumento de actividades en el mar que genera mayores posibilidades de interacción, el proceso de eutrofización de zonas costeras por la acción del hombre y finalmente el cambio climático y sus múltiples consecuencias. Sin embargo, existe una asociación negativa en el público en general, de que es la actividad acuícola la responsable de generar estos eventos y no una afectada por los mismos producto de como se comunican los casos, con foco en la mortalidad de los peces y cómo se realiza el manejo de estos residuos en el ambiente. La industria reconoce que toda actividad humana tiene cierto impacto en los ecosistemas, pero debido a la complejidad y múltiples variables que influyen en las FAN aún faltan estudios para entender cabalmente el fenómeno y para saber cuál es el impacto real de esta actividad productiva en estos eventos. Un ejemplo de la asociación negativa instalada en la opinión pública, son los conflictos socio-ambientales derivados del FAN extremo del 2016, en donde el foco estuvo en la actividad acuícola. Por ello la industria está interesada en avanzar en soluciones y mejores prácticas en colaboración con los distintos grupos de interés. Una de las mejoras, entre varias medidas que está implementando la industria, es la respuesta frente a mortalidades masivas por FAN, a través del monitoreo y pronóstico con nuevos indicadores (IFAN [IFOP] y FAN INDEX [Plancton Andino]) y mejoras en el programa de monitoreo de INTESAL (PROMOFI). Para este punto se ha triplicado la

cantidad de muestras analizadas (> 10.000 por año), consolidando estaciones permanentes de vigilancia, duplicando los puntos de muestreo en temporada de FAN y mejorando la regulación en colaboración con SERNAPESCA, que puede activar el monitoreo en cualquier centro de cultivo con presencia o riesgo de FAN. Además, se han creado mapas e indicadores de riesgo de acceso público (<http://mapas.intesal.cl/riesgofan/>). Los avances más recientes en colaboración con el mundo científico son la automatización en la detección de microalgas, el uso de monitoreo satelital, la correlación de información de variables ambientales tomadas por centros de investigación independientes (centro (CR)²), la utilización de cámaras espectrales a baja altura, la implementación de nuevos algoritmos de pronóstico/predicción, la evaluación de sistemas de mitigación (cortina de burbujas) y la colaboración con proyectos científicos como MACH. En el ámbito público-privado se ha avanzado en la cooperación sobre temas regulatorios para la respuesta y mitigación, mejorando así los tiempos de respuesta y aumentando la capacidad de manejo de la mortalidad de peces. Por último, los desafíos que se reconocen en la industria son mejorar la comunicación entre todos los actores del sistema, más investigación científica para entender los fenómenos, mejorar la prevención, predicción y mitigación, y comunicar de mejor forma sus impactos y alcances.

Charla 6

Complejidades asociadas a las floraciones de algas nocivas y el por qué e importancia de los programas de monitoreos. Dr. Leonardo Guzmán, jefe de la División de Acuicultura Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

Las FAN son eventos complejos, que pueden ser producidas por alrededor de una centena de microalgas diferentes, lo que ya genera una complejidad en el análisis. Adicionalmente, hay una diversidad de variables ambientales interactuando con las microalgas, interacciones que generalmente no son consideradas cuando se habla de FAN. La cantidad, cualidad y temporalidad de estas interacciones determinan las características particulares de las comunidades biológicas en los sistemas acuáticos. Por lo tanto, entender esta complejidad, a distintos niveles de la organización de los ecosistemas (organismo ' población ' comunidad ' ecosistema) es clave. Por otra parte, la concepción de FAN como eventos "nocivos" se basa en una mirada antropocéntrica del problema, y son definidas por el programa "Global Ecology and Oceanography on Harmful Algal Blooms" (GEOHAB) de la Comisión Oceanográfica

Intergubernamental (COI UNESCO) son definidas como: "Una proliferación en ambientes acuáticos, de algas microscópicas que pueden causar la muerte masiva de peces y una gran variedad de otros organismos, contaminar los mariscos con toxinas, y alterar los ecosistemas, de manera que los seres humanos las perciban como dañinas o nocivas", donde está implícito que ocurren impactos sobre el sistema social y económico. Además, se deben considerar los distintos tipos de FAN, y dentro de cada categoría, los diferentes tipos de microalgas involucradas (Figura 3). Las formas de abordar este escenario son dos, mediante la investigación científica y mediante las acciones operacionales, estas últimas involucran los monitoreos, la difusión, la capacitación y la educación. Estas acciones deben ser abordadas por cuanto han ocurrido 1) Cambios en el comportamiento del fenómeno (nuevas microalgas, nuevos sectores geográficos, nuevas toxinas, recurrencia, etc), 2) Carencia de antecedentes fidedignos, respecto de los lugares de procedencia de mariscos tóxico, 3) Realidad

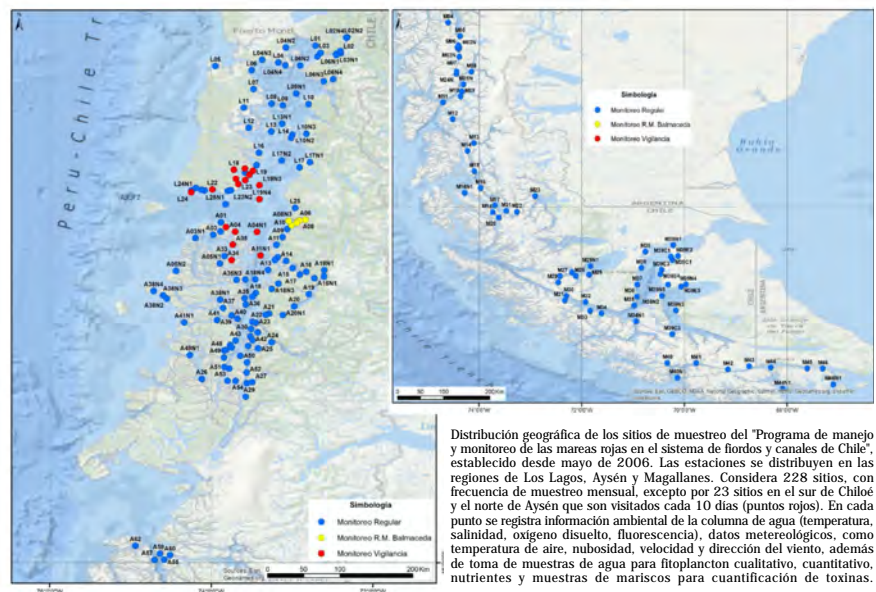


Figura 4: Distribución geográfica de los sitios de muestreo del Programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en el sistema de fiordos y canales de Chile. Además de la toma de datos mencionados, se toman muestras de sedimentos para la identificación y cuantificación de quistes de dinoflagelados. Todas las figuras fueron creadas con BioRender.com.

geográfica compleja en fiordos y canales, 4) Magnitud de los impactos socio-económicos, 5) Existencia de grupos particulares: pescadores artesanales, pequeños acuicultores, 6) Falta de información y conocimiento en la comunidad, y 7) La no inclusión del tema en el proceso formativo. Específicamente a través de los monitoreos se busca conocer el estado en el que se encuentra el ambiente, estas actividades de monitoreo son necesarias porque, como se ha mencionado anteriormente, no hay capacidades predictivas para estos eventos ni medidas de mitigación definidas, no se dispone de tecnología para controlar

una FAN en el ambiente, no existen antidotos que contrarresten el efecto de las toxinas, y existe tecnología limitada para eliminar las toxinas de los mariscos contaminados. Por lo tanto, se debe fortalecer la prevención, con información confiable y oportuna que lleven a conductas responsables de las personas. Estas medidas de prevención apuntan a la protección de la salud pública, la toma de decisiones en temas ambientales relacionados con plagas, minimizar los impactos en el sector productivo (pesca, acuicultura y turismo), y minimizar los trastornos en áreas de esparcimiento (aspectos recreacionales). En este contexto, un programa de monitoreo consiste en un conjunto de acciones sistemáticas en el espacio-tiempo, orientadas a conocer las variaciones naturales de las variables claves para disponer de una alerta temprana y adoptar las decisiones pertinentes. Estas variables claves son: la concentración de toxina(s) en organismos transvectores, la densidad de las especies de microalgas nocivas y su abundancia relativa. Además, según las necesidades y medios disponibles se pueden incluir registros de los parámetros físicos, químicos y biológicos del ambiente (desde técnicas moleculares a imágenes satelitales). En este sentido, la implementación y mantención de los programas de monitoreo son un desafío constante, sobre todo considerando la tremenda extensión de línea de costa que conforman los fiordos y canales en la región de Los Lagos (48.583 Km²), la región de Aysén (109.444 Km²) y la región de Magallanes (132.033 Km²), donde IFOP mantiene 228 sitios permanentes de monitoreo, con una frecuencia mensual excepto por 23 sitios en el sur de Chiloé y norte de Aysén que son monitoreados cada 10 días (Figura 4). Esta extensa serie de tiempo, que se extiende desde 2007, evidencia la alta variabilidad latitudinal en los parámetros oceanográficos, como temperatura y salinidad, junto con la ocurrencia de FAN en zonas localizadas de las distintas regiones, información muy relevante para la toma de decisiones en cuanto a la inocuidad de productos y el cierre de áreas afectadas, por la autoridad competente. Es necesario enfrentar las FAN según sus características particulares (especie de microalga, ubicación geográfica, extensión e intensidad, etc.), con acciones operacionales definidas, siendo el monitoreo un pilar clave. Estas acciones deben ser adaptativas según los resultados que se obtengan. Para ello, no se debe perder de vista que para realizar este tipo de acciones se requiere capital humano avanzado, equipamiento, infraestructura y financiamiento adecuado, conformación e integración de equipos, que funcionen de manera coordinada dentro de la institución y entre instituciones, que entreguen los resultados necesarios para proteger la salud pública y disminuir los riesgos sobre la actividad productiva

Charla 7

Impacto de floraciones de algas en plantas desaladoras del norte de Chile. Dr. Carlos Riquelme, Director del Centro de Bioinnovación de Antofagasta, dependiente de la Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Biológicos de la Universidad de Antofagasta.

La expansión y ocurrencia de FAN esta afectando también a la costa de la zona norte del país, y así como la pesca, acuicultura y mitilicultura son las principales actividades productivas en el sur y sur austral, en el norte la minería sigue siendo la actividad más importante, dividida en minería metálica como la del cobre y no metálica como el litio. En esta zona tanto las comunidades costeras y del interior del país dependen en gran medida de esta actividad, lo que genera un problema en la demanda de agua potable para consumo humano, ya que la gran minería utiliza gran parte de los recursos hídricos que provienen de los Andes y el agua que llega a las zonas urbanas contiene sales, metales pesados y residuos de la actividad minera, por lo que la desalación de agua de mar se presenta como una solución efectiva para el suministro de agua potable en la península de Mejillones (100%) y Antofagasta (> 80%), posicionando a Chile como líder en la región en estas tecnologías. Debido a la mega-sequía que afecta al país hace más de una década, se han incrementado los proyectos de desalación de agua contando actualmente con 22 plantas en la macro zona norte del país y con proyección de construir 2 plantas más en los próximos años. El pasado mes de julio, la minera estatal Codelco anunció la construcción de una planta desalinizadora con un costo de US\$1.000 millones, para sus operaciones en el norte de Chile, que abastecerá a las minas de Chuquicamata, Radomiro Tomic y Ministro Hales en la Región de Antofagasta. Esta planta entraría en operaciones en 2025, denotando la relevancia de esta industria para el futuro de la región. El proceso que realiza una planta desaladora, a grandes rasgos, es tomar el agua de mar y realizar un proceso de ósmosis inversa, lo que separa las sales del agua para un posterior tratamiento de potabilización para el consumo humano. La planta instalada en la bahía de Antofagasta tiene una producción de 800-900 litros/s y se está ampliando a una capacidad de 1.000 litros/s, pero una de las problemáticas para su funcionamiento son las floraciones algales, que se dan tanto en la Bahía de Antofagasta (boca sur) y en la Bahía de Mejillones, y en 2019 presentaron una alta densidad (datos satelitales clorofila-a). Este es un problema que se presenta a nivel global y ha afectado también la industria desalinizadora en zonas con escasas hídrica como en Arabia Saudita y el golfo de Omán. A través del centro de Bioinnovación se ha seguido con imágenes satelitales la variabilidad anual de clorofila superficial en los últimos 18 años para la Bahía de Antofagasta y Mejillones, esto ha permitido seguir la evolución de estos procesos y describir eventos más intensos como el de 2019, donde la floración se extendió desde Caldera hasta el sur de Perú, produciendo muertes y varamientos de organismos marinos, probablemente asociado a bajas en el oxígeno disuelto como efecto colateral de las floraciones. Además, en colaboración con el centro CREAN de

IFOP, como parte del proyecto MACH, se detectaron los primeros registros de Pectenotoxinas y Yesotoxinas en la Macrozona Norte. También, en el contexto del proyecto MACH, se están realizando análisis moleculares para caracterizar a la comunidad de microalgas presente en esta zona, a través de su abundancia relativa, detectándose entre otras al dinoflagelado *Akashiwo sanguinea*, que en estricto rigor no afecta a los seres humanos o la producción acuícola en esta zona, pero si produce problemas en la producción de agua potable. Dentro del monitoreo que se realiza para el proyecto MACH (4, 5 y 9 metros), se han detectado además microalgas del género *Prorocentrum* y *Gonyaulax*. El impacto de las microalgas en las plantas desaladoras se debe a la mala calidad del agua, la alta concentración de materia orgánica y bajos niveles de oxígeno, lo que requiere el uso de más químicos para el tratamiento de la misma, más costos de energía y un colapso de los sistemas de osmosis inversa debido a las biopelículas que se pueden generar y adherir. Algunos ejemplos de estos problemas han ocurrido en la planta de Antofagasta. (ADASA) en 2011, donde una floración por *Prorocentrum* spp. produjo la paralización de la planta por una semana. El evento más reciente de 2019 afectó en forma importante al sistema de agua de la minera Escondida por el colapso de los sistemas de osmosis. Aún sin floración, estudios genéticos han detectado una diversidad de diatomeas que se incrustan y colonizan los filtros. En el centro de Bioinnovación también se realizan estudios con bacterias que sean antagonistas de estas microalgas y se ha avanzado identificando microorganismos del género *Alteromonas*, que tienen una actividad anti-colonización y permite una mejor permeabilidad de las membranas en los filtros. Finalmente, algunos de los desafíos para responder a estos problemas es contar con medidas preventivas tempranas para hacer frente a estas floraciones algales y contar con medidas efectivas de remediación.

Charla 8

Complejidad litoral: oportunidades y desafíos de las comunidades de pescadores artesanales ante las floraciones de algas nocivas. Dr. Francisco Ther (ULagos), Profesor Titular Departamento de Arquitectura y docente de la carrera de Antropología en la Universidad de Los Lagos.

Desde las Ciencias Sociales, y con un carácter interdisciplinar, lo que nos interesa es vincular a los distintos actores o partes interesadas. La visión de los científicos, incluso aquellos que provienen de distintas disciplinas, no son suficientes para responder al problema de las FAN, que son un problema complejo, que no es lo mismo que un problema complicado. Algo es complicado cuando no podemos encontrar posibles soluciones, o cuando usamos lenguaje sofisticado que no permite comunicarse entre distintos actores, o cuando hiper-especializamos los conocimientos, dificultando la visión integral del problema. La complejidad tiene que ver con la conectividad, con el entramado, y no solo con el número de variables reconocibles, sino que con la interacción entre estas variables, por lo que de un tiempo a

esta parte, desde la Ciencia de la Complejidad, se está hablando de los "Wicked Problems" o problemas perversos (Recuadro 3); probablemente las FAN caen en esta categoría. ¿Por qué las FAN son un problema perverso? Porque aparte de incluir múltiples componentes de las Ciencias Biológicas o las Ciencias de la Naturaleza que incluyen aspectos moleculares, genéticos, químicos, físicos, la biodiversidad, y el ecosistema, las FAN también incluyen varios otros aspectos, lo cual a complicado y complejizado su estudio. Si bien las FAN son eventos naturales, el ser humano que vive con estos problemas, es también parte de este problema. Por tanto, conviene que las Ciencias de la Naturaleza se interrelacionen con condiciones sociales como la demografía, los niveles educacionales de las poblaciones litorales, los aspectos productivos, también políticos y organizacionales, como con aspectos culturales, ya que las FAN no se experimentan igual en todos los territorios. Es decir, esta complejidad obliga a tener visiones diferenciadas según los territorios donde están ocurriendo los eventos. En este contexto, ¿Qué pasa con la pesca artesanal en el mundo?

Frente a cualquier evento disruptivo lo que ha primado ha sido un enfoque de intervención centralizada, por ejemplo a través de un ministerio o subsecretaría, que tiende a homogeneizar a los pescadores, como es el caso de Chile de norte a sur. Sin embargo, no hay pescadores o un solo tipo de pescador, hay pescadores y pescadoras lo que está en directa relación con los tipos de pesquerías, la organización que presentan, sindicatos o asociaciones, asentamientos o caletas, etc. En Chile, hay una institucionalidad y políticas públicas, que siendo muy importantes, no son del todo pertinentes en cuanto olvidan estas diversas interacciones que existen en el sistema pesquero-artesanal. A nivel mundial, existe como desafío, diseñar y desarrollar modelos de regulación e intervención que fomenten la sustentabilidad de los sistemas pesquero-artesanales; en esta línea se ha propuesto, por ejemplo, avanzar en una nueva epistemología territorial, basada en estudios en el Archipiélago de Chiloé, que posibilite imaginar cómo podemos modificar las normas, las prácticas y las ideas que hemos tenido sobre lo que significa el territorio, cómo es Chiloé, que concentra el ~30% de los pescadores a nivel nacional ("*Others Ruralities / Understanding Archipelago. Proposals for a recomposition based on a new model of territorial epistemology*"); <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.06.032>). Algunas de las soluciones innovadoras a nivel mundial se han desarrollado, por ejemplo, en Italia donde el Departamento de Electrónica e Informática viene trabajando con un modelamiento participativo para la toma de decisiones, lo mismo pasa en la Universidad de la Coruña (España) con los trabajos de Antonio García-Allut, donde se ha modelado el Conocimiento Ecológico Local (LEK) utilizando inteligencia artificial. También, destacar el trabajo del Prof. Sato en Japón, quien ha utilizado las nociones de "Translator" (traductor), que propuso a comienzos de los 80 el biólogo Michael Crosby, señalando que hay investigadores "Visitors" (visitantes), que van y toman datos, pero también están los investigadores "Translators" que van y se quedan viviendo en el lugar que estudian siendo capaces de llevar la Ciencia hacia las comunidades locales, y llevar hacia la Ciencia el conocimiento

local de las comunidades. Pero esto significa tiempo, esfuerzos y recursos. Este modelo fue recogido por el Prof. Sato, para posibilitar la sustentabilidad de los recursos pesqueros artesanales. En resumen, a nivel mundial existen propuestas de solución, con un carácter interdisciplinario que están generando, incluso, conocimiento transdisciplinario, es decir, conocimiento científico en vínculo con otros conocimientos, los que no se enseñan en las universidades.

¿Qué oportunidades tenemos? Inspirado en el libro del diseñador italiano Ezio Manzini, titulado "Cuando todos diseñan" (2015), podemos decir que existe la posibilidad que el diseño de los territorios, de políticas públicas, incluso de modelos de investigación, no estén sólo en las manos de los expertos. Todos tenemos la posibilidad de diseñar, por tanto, co-diseñar para dar soluciones públicas a los problemas perversos, como las FAN. Es característico del co-diseño buscar soluciones CON las personas y ya no PARA las personas, lo que permite el desarrollo de modelos sustentables, co-creando sociedades ya no únicamente con la lógica de la eficiencia y la ganancia, sino con la lógica de buscar mejorar la calidad de vida de quienes habitan un territorio determinado. Un ejemplo de co-diseño y trabajo colaborativo, contiene el artículo "Complejidad territorial en caletas de pescadores artesanales de Chiloé: aportes para el manejo costero" (<http://dx.doi.org/10.22199/issn.0718-1043-2020-0035>), que contempla la construcción de un índice de complejidad para caletas de pescadores en la Isla de Chiloé. Para esto, se trabajó con análisis multi-criterio, lo que permitió relacionar variables cualitativas y cuantitativas, y a través de la experiencia del equipo y en contraste con la literatura internacional, se reconocieron cuatro grandes ámbitos y 16 variables, determinándose la complejidad territorial para 6 caletas, donde a mayor complejidad habría mayor posibilidad de sustentabilidad. Un segundo ejemplo corresponde al Proyecto FONDEF (IT16|10039) que permitió generar un prototipo de un recurso informático, denominado MiMapa (<http://mimapa.ulagos.cl/>): Monitoreo Interactivo para el Manejo Participativo de las caletas de Pescadores Artesanales. Esto significó co-diseñar este recurso con pescadores de la Comuna de Dalcahue, Chiloé, pudiendo evaluar, simular y registrar condiciones locales.

Por último, comentar algunos desafíos. Es importante revisar cómo se construye el problema sobre las FAN, haciéndose las preguntas correctas y aplicando las herramientas adecuadas. Por ejemplo: ¿Cuáles son los vacíos de conocimiento sobre las FAN? ¿Qué bases de datos se utilizarán? ¿Están las diversas bases de datos integradas? etc. También es importante evaluar las formas en que se están representando los resultados, ya que esto depende a quiénes van dirigidos. La visualización de datos para todo público es un desafío interdisciplinario. Otros desafíos son avanzar con grupos de trabajo colaborativos conformados por científicos, pescadores, Estado y las empresas, para co-diseñar programas de alfabetización tecnológica para Pescadores Artesanales (PA), e implementar programas de sensibilidad sociocultural destinado a científicos y técnicos sobre el conocimiento local de los PA. En definitiva, el co-diseño de

soluciones para las FAN, involucra una visión técnico-política que debe estar en constante adecuación y adaptación.

Charla 9

Desafíos científicos para la integración de técnicas de estudio y monitoreo de las floraciones de algas nocivas en aguas costeras de Chile. Dr. Milko Jorquera (UFRO), Profesor Titular en el Departamento de Ciencias Químicas y Recursos Naturales de la Universidad de La Frontera.

El objetivo del proyecto MACH es aportar con estudios complementarios que puedan ser integrados para un mejor entendimiento de las FAN como procesos naturales, considerando la complejidad del ecosistema marino, donde interactúan un gran número de variables y las cuales tratamos de medir, entender, reproducir en laboratorio y modelar a través de aproximaciones matemáticas (Figura recuadro 2). Específicamente, MACH estudia la comunidad microbiana asociada a las FAN, a la luz del concepto de "Holobioma", intentando entender las interacciones dentro de esta comunidad y ponerlas en un contexto ecosistémico (Recuadro 2). Para esto, se utiliza una aproximación molecular, que es parte de las técnicas "Ómicas". En las últimas décadas la ecología microbiana ha explorado distintos niveles de organización de la vida, desde los genomas a los biomas, como una forma de integrar los datos genético-moleculares a las ya establecidas teorías ecológicas. En el campo de la genética se ha desarrollado la metagenómica, metatranscriptómica, metaproteómica y metabolómica, para estudiar el conjunto de los genomas, transcritos (ARNm), proteínas y metabolismos de una muestra comunitaria, respectivamente. Cada una de estas técnicas ómicas entrega información diferente sobre la comunidad, lo que permite hacer inferencias sobre su composición (¿Quiénes forman la comunidad?), su potencial metabólico, su rol en los ciclos biogeoquímicos y las regulaciones e interacciones que pueden ocurrir entre organismos de esta comunidad. Estas diferentes aproximaciones tienen como objetivo acercarnos a entender la composición y función de los organismos, las comunidades y su relación con el ecosistema, y son especialmente relevantes para el análisis de organismos en la naturaleza, especialmente de aquellos no cultivables en laboratorio. De ahí que estas técnicas moleculares se conozcan como "técnicas independientes de cultivo". A pesar de su múltiple beneficio y avances, existe el desafío de integrar estos datos y analizarlos de forma adecuada, disminuyendo los sesgos que pueden generar hipótesis erróneas de cómo funcionan las comunidades. De esta forma, existen desafíos experimentales respecto del diseño del estudio, su reproducibilidad y su aporte al conocimiento pre-existente (estado del arte). Los datos ómicos requieren normalización y transformación, integración, reducción y escalamiento, la generación de nuevas herramientas estadísticas y la correlación de datos provenientes del uso de distintas técnicas ómicas. Finalmente, la interpretación de los resultados y su validez en términos de ser una buena representación de la realidad. Para esto, la tecnología de secuenciación y los programas informáticos y estadísticos para análisis de datos han mejorado

enormemente desde la secuenciación del genoma humano (1990-2003), haciendo la tecnología más asequible e incluso portátil, para análisis en terreno, ofreciendo un diverso número de técnicas de secuenciación para abordar distintas preguntas biológicas. Estos avances técnicos han permitido que un laboratorio "promedio" pueda acceder a servicios de secuenciación masiva de alto rendimiento, que entregan del orden de millones de secuencias por muestra de material genético. Cuando el análisis del material genético se refiere a toda la comunidad microbiana presente en una muestra, hablamos de análisis Metagenómico y cuando se secuencia y analiza un gen específico, como los genes ribosomales 16S (procariontes, como las bacterias y arqueas) o 18S (eucariontes, como las especies FAN), que se utilizan como marcadores taxonómicos, estamos frente a un análisis de Metabarcoding, que nos entrega un análisis en profundidad de la composición taxonómica de la muestra problema (identificación de la diversidad de especies en la comunidad). En el proyecto SATREPS-MACH se está utilizando este último tipo de análisis para caracterizar el Holobioma de las FAN (Recuadro 2), que representa una aproximación novedosa para el estudio de floraciones algales y que no ha sido incorporada por otros programas de monitoreo en el mundo. Lo anterior nos ha permitido analizar hasta el momento 2.237 muestras de material genético

(ADN), pudiendo identificar en una muestra decenas de géneros de microalgas (fitoplancton), algunos no reportados previamente para algunas regiones del país, y decenas de géneros de bacterias asociadas a estos géneros de fitoplancton. Esto representa una mejora en la resolución del análisis, considerando que la microscopía convencional puede identificar géneros de microalgas significativamente menores en número. Estos datos permitirán distintos tipos de análisis ecológicos y comunitarios, que den luces sobre la dinámica del holobioma de las FAN, lo cual podría ser incorporado en un futuro a las plataformas de monitoreo y modelamiento que ya existen, por ejemplo la plataforma CHONOS (<http://chonos.ifop.cl/>) de IFOP. En la misma línea de la presentación anterior, el proyecto SATREPS-MACH busca integrar las miradas y conocimientos de todas las partes interesadas, tanto las comunidades locales expuestas a eventos de FAN, como los pescadores, acuicultores y mitilicultores artesanales, las empresas privadas en el área de la acuicultura y mitilicultura y las instituciones estatales que están en la toma de decisiones y acciones frente a los eventos de FAN (Minsal, Subpesca y Sernapesca). De esta forma crear una red interdisciplinaria que permita abordar de una forma distinta, novedosa y colaborativa todas las aristas de las floraciones algales que se han presentado en este artículo.

Mesa redonda,

coordinada por el Dr. Gonzalo Gajardo, investigador MACH y director del Laboratorio de Genética, Acuicultura & Biodiversidad, Depto. Ciencias Biológicas y Biodiversidad. Universidad de Los Lagos (ULAGOS), Osorno.

1. Las FAN son un problema complejo, multifactorial, que afecta a múltiples stakeholders (gobierno, empresas, pescadores artesanales) con diversos intereses, como lo demostró la crisis de la marea roja del 2016. Si bien es un problema no resuelto, ofrece oportunidades y desafíos, aspectos que motivaron el Taller.
2. Las FANs son un evento impredecible hasta ahora y se requieren nuevas miradas, como la del proyecto MACH. Cada evento FAN es un fenómeno espaciotemporal único por las interacciones biológico-ambientales involucradas, por ello no existe un único criterio o mirada para abordarlos. La eventual capacidad predictiva no es la solución per se para los componentes biológicos del ecosistema y sus interacciones, si no hay posibilidades de mitigación.
3. Las entidades de gobierno que participan en el proyecto MACH demostraron en sus presentaciones que el país cuenta con una sólida institucionalidad para la marea roja y manejo de pestes (*A. catenella*). Aunque las diferentes instancias vinculadas al problema residen en varios ministerios, están
4. Las empresas salmoneeras (INTESAL) consideran importantes el monitoreo, la predicción, pronóstico, la regulación y mitigación, destacando las oportunidades y desafíos que el problema plantea, como lograr modelos cooperativos, explicativos y de negocios que funcionen, así como la necesidad de tecnologías, incluyendo inteligencia artificial.
5. Para los mitilicultores la alerta temprana, la información, los análisis y la predicción representan igualmente oportunidades y desafíos esenciales, así como conocer el efecto de FAN tóxicas en el ciclo de vida del chorito *Mytilus chilensis*, incluyendo toxinas marinas emergentes. Un desafío adicional es la difusión de antecedentes de eventos FAN entre los mitilicultores y generar áreas aptas para la captación de semillas.
6. Curiosamente la marea roja no es sólo un problema concentrado en el sur y de impacto exclusivo en la acuicultura, sino que es un problema creciente en Antofagasta donde afecta las plantas desaladoras que las empresas mineras utilizan para el suministro de agua potable.



7. Aunque no son parte del proyecto MACH, pero han participado en varias actividades, los pescadores artesanales deben incorporarse a la compleja ecuación del problema FAN. El desafío es construir una visión técnica-política sobre la FAN que involucre a las comunidades pescadores artesanales en calidad de co-diseñadores de una eventual solución. Las FAN serían un “problema perverso” que involucra variables de distinta naturaleza, entre las cuales no pueden obviarse las condiciones sociales, económicas, políticas y culturales de los territorios. Es decir, se trata de un fenómeno complejo que no puede resolverse de manera simple, lineal y de forma determinista.
8. El proyecto MACH es una nueva forma de pensar la investigación de la marea roja (concepto de Holobioma), con énfasis las relaciones co-evolutivas de tipo simbióticas y

antagónicas entre algas y bacterias a nivel molecular y, probablemente, un camino para la mitigación (bacterias algicidas). Es una mirada ecosistémica centrada en las interacciones biológicas y entre los organismos y su ambiente, pero igualmente tiene limitaciones, pues hay otros organismos e interacciones no consideradas (virus, hongos, ciliados, predadores, etc.). Las herramientas propuestas representan un avance de conocimiento científico y tecnológico que la empresa desearía transformar en realidad para la mitigación y predicción.

El taller terminó con una interesante serie de preguntas de los asistentes que pueden ser revisadas en el canal de YouTube del proyecto MACH:

<https://www.youtube.com/watch?v=LCeriyXgdXc>

¹ Laboratorio de Genética, Acuicultura & Biodiversidad, Depto. Ciencias Biológicas y Biodiversidad, Universidad de Los Lagos (ULAGOS), Osorno. ggajardo@ulagos.cl | fther@ulagos.cl

² Laboratorio de Ecología Microbiana Aplicada (EMALAB), Núcleo Científico Tecnológico en Biorrecursos (BIOREN), Universidad de La Frontera (UFRO), Temuco. milko.jorquera@ufrontera.cl | jacqueline.acuna@ufrontera.cl

³ Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN), Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Puerto Montt. leonardo.guzman@ifop.cl | oscar.espinosa@ifop.cl | alejandra.murillo@ifop.cl

⁴ Centro de Bioinnovación, Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos, Universidad de Antofagasta (UA), Antofagasta. ceriquelme@gmail.com

⁵ Centro de Modelación y Computación Científica, Universidad de La Frontera, Temuco. andres.avila@ufrontera.cl

⁶ Ministerio de Salud (MINSAL). andrea.rivera@minsal.cl

⁷ Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Subpesca), Valparaíso. abarrientos@subpesca.cl

⁸ Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Semapesca). rdougnac@semapesca.cl

⁹ Instituto Tecnológico de Miticultura (INTEMIT). estudiosyreportes@intemit.cl

¹⁰ Instituto Tecnológico del Salmón (INTESAL). eramirez@intesal.cl

¹¹ Coordinador del proyecto SATREPS-MACH Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), Japón www.mach-satreps.org/es

¿Qué son las FAN?

Las Floraciones Algas Nocivas (FAN), comúnmente llamadas Mareas Rojas, corresponden a un crecimiento explosivo de microorganismos fitoplanctónicos, que pueden producir alteraciones a la vida marina, la salud humana o la economía del área afectada.



Nuestros objetivos

- Identificar a nivel genético los constituyentes del holobioma de la FAN.
- Identificar grupos microbianos determinantes de la dinámica de la FAN
- Detectar y predecir de algunas especies de algas nocivas y bacterias patógenas asociadas a las FAN
- Establecer un consorcio de contramedidas, conformado por la Academia-Público-Privado, para enfrentar episodios de FAN en Chile.

Nuestros avances

Estamos generando una base de datos pública de información genética de microorganismos fitoplanctónicos y bacterias asociadas de las costas de Chile.

Estamos estudiando las interacciones entre los microorganismos fitoplanctónicos y las bacterias asociadas en el litoral de Chile.

Hemos desarrollado un sistema portátil que incluye un equipo (“kit”) de fácil uso para la detección y monitoreo *in situ* de algunas especies productoras de FAN.

Hemos implementado un laboratorio móvil para el estudio, educación y difusión de las FAN en Chile.



¿Qué esperamos?

- Comprender mejor las FAN en el litoral de Chile.
- Desarrollar, mejorar y/o complementar los sistemas de monitoreo y predicción de algunas especies de FAN en Chile.
- Sustentar el diseño, mejoramiento y/o complemento de políticas públicas respecto de las FAN en Chile.
- Mitigar las alteraciones a la vida marina, la salud humana o la economía del área afectada por FAN.
- Dar a conocer y educar a comunidades y grupos selectos sobre los alcances e implicancias de las FAN a nivel global, y preferentemente, en las costas chilenas.
- Fortalecer los vínculos de cooperación científica entre Chile y Japón.

MODIFICACION TRIBUTARIA TODOS LOS SERVICIOS SE AFECTARÁN CON IVA



La nueva Ley 21.420 publicada en el Diario Oficial con fecha 04/02/2021 modificó diversos cuerpos normativos para efectos de reducir o eliminar exenciones tributarias que se encontraba vigente, generando que se deba pagar un mayor valor para los usuarios finales de cada servicio que estará afecto desde el 01 de enero del 2023, con esta modificación se genera la afectación con IVA a todos los servicios que preste un contribuyente independientemente de la actividad que éste desarrolle.

La normativa, rige a partir de los servicios que se presten desde el 1° de enero del año 2023, una medida que resultaría ser el cambio más significativo en materia de recaudación fiscal, recaudación que se obtiene de los usuarios finales de estos servicios, que verán incrementado estos valores en un 19% del valor que hoy están pagando, el que vendrá en afectar principalmente aquellos servicios calificados como de Ingeniería, Consultorías, Asesorías Legales y Otras Asesorías en general. Era frecuente encontrar resoluciones u opiniones en que el Servicio de Impuestos Internos encasillaba muchas de estas prestaciones en el N°5 del Artículo 20 de la Ley sobre Impuesto a la Renta, disposición que permitía no afectar con IVA.

Respecto de una de las actividades más frecuentes en la zona sur de nuestro país, este cambio obligará también a afectarse con este impuesto a los servicios agrícolas que presten los contribuyentes que sean agricultores, cuyas actividades se clasifican en el N°1 del Artículo 20 de la Ley de la Renta, esto generará una nueva presión al flujo de caja a la actividad de este rubro. Los gastos fijos de un prestador de servicios por lo general se caracterizan por ser muy inferiores a sus ingresos por tanto el acceso al crédito fiscal para rebajar del IVA Débito será mínimo. Si bien es cierto, quién soporta el impuesto es el consumidor final y entre contribuyentes se compensa el impuesto. En los primeros meses de implementación se verá afectado el flujo de caja de los prestadores de servicios debido que el dinero esperado podría no percibirse oportunamente, pero si o si deberá pagar el impuesto mensual hasta el día 20 de cada mes, o postergar si cumple con los requisitos de tener un buen comportamiento tributario. Ello generará pérdida de eficiencia financiera para los negocios, hecho que no es menor en los tiempos que se están viviendo hoy cuando la morosidad de los negocios han aumentado sosteniblemente debido a las manifestaciones sociales y la pandemia,

LEY 21420 | REDUCE O ELIMINA EXENCIONES
TRIBUTARIAS QUE INDICA.
MINISTERIO DE HACIENDA

que han dejado a las pymes en situaciones poco favorables, según algunos estudios se ha aumentado en un 31% la morosidad durante los

primeros 5 meses de este año.

Esta norma sobre la afectación de IVA a los servicios tiene una excepción; todas las exenciones dispuestas en los Artículo 12 y 13 de la Ley sobre Impuesto a las Ventas y Servicios, como son, los servicios calificados como de exportación y los servicios prestados por personas naturales o a través de sociedades de profesionales clasificados en el N°2, del Artículo 42 de la Ley de la Renta, tomado este último caso se debe considerar que la sociedad se cree como una sociedad de profesionales y no que esta sea producto de una transformación de una sociedad generada bajo primera categoría para cambiar a sociedad de profesionales, para esto se debe tener las siguientes características básicas como, que todos sus socios resulten ser personas naturales y se dediquen exclusivamente a la prestación de servicios o asesorías profesionales, deben tratarse de profesionales afines, debe tratarse únicamente rentas de servicios profesionales provenientes de una ocupación lucrativa.

Además se agregó al listado de exenciones;

los servicios, prestaciones y procedimientos de salud ambulatorios que se proporcionen sin alojamiento, alimentación o tratamientos médicos para recuperar la salud propios de prestadores institucionales de salud, tales como hospitales, clínicas o maternidades. Exención que incluye, el suministro de los insumos y medicamentos, efectuados en la ejecución del servicio ambulatorio, siempre que sean utilizados y consumidos en dicho procedimiento e incluidos en el precio cobrado por la prestación.

En este caso se está tratando de generar ingresos fiscales a través de un impuesto que es general, lo cual es regresivo para quienes tienen menores ingresos, no ayuda redistribuir correctamente los ingresos, ya que se está considerando cobrar estos impuesto sin definir quienes tienen mayores ingresos, a diferencia de lo que ocurre con los impuestos a la renta donde mediante una tabla progresiva se puede afectar en mayor medida a quienes tienen efectivamente un mayor ingreso.



 O'Higgins 685 of 204, Osorno
 asesoriaygestionspa@gmail.com
 + 56 9 6627 2569
 www.asesoria-gestion.cl

opción[®]

comunicaciones

! Seguimos avanzando !

COMPROMETIDOS CON LA INDUSTRIA SALMON-ACUÍCOLA

CUADERNOS CORPORATIVOS

AGENDAS TÉCNICAS CORPORATIVAS

CALENDARIOS DE ESCRITORIO

REVISTA TÉCNICA SEMESTRAL



CONTACTO: +569 9443 3504 +569 9443 3076 PUBLICIDAD@OPCIONARAYA.CL

WWW.OPCIONCOMUNICACIONES.CL

LÍNEA AQUA

Soluciones de higiene de alta eficacia que refuerzan nuestro compromiso con el medio ambiente, y que contribuyen a consolidar una actividad acuícola sustentable.



www.veterquimica.cl

Síguenos   

 **VETERQUIMICA®**
CREANDO SALUD ANIMAL