

**Distribución Gratuita**  
**Consérvela** Año 19 N°34 2022

# revista

# versión<sup>®</sup>

## diferente

## Salmón-Acuícola

- Compendio de Toxicidad en Salmónidos
- Piojo de Mar
- Salmones Resilientes
- Sistemas de Alimentación de Salmones
- Cortinas de Microburbujas de Aire
- Uso de Florfenicol en Salmonicultura Chilena
- Innovación en Alimentos Algales
- Test rápido detección de Biotoxinas Marinas



# opción<sup>®</sup>

comunicaciones

## ¡Seguimos avanzando!

COMPROMETIDOS CON LA INDUSTRIA SALMON-ACUÍCOLA

CUADERNOS CORPORATIVOS - AGENDAS TÉCNICAS CORPORATIVAS  
CALENDARIOS DE ESCRITORIO - REVISTA TÉCNICA SEMESTRAL



revista  
version  
diferente

[www.opcioncomunicaciones.cl](http://www.opcioncomunicaciones.cl) 

CONTACTO: +56 9 9443 3504 +56 9 9443 3076 [publicidad@opcionaraya.cl](mailto:publicidad@opcionaraya.cl)



Año 19 - N° 34  
Edición Especial  
Primer 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

Verónica Etcheverry Riquelme  
verdisgraf@gmail.com

## FOTOGRAFÍAS PORTADA

Gentileza de:

- Asociación de Salmonicultores de Magallanes
- Mónica Imarai, Universidad de Santiago de Chile
- Johnny Blanc, Alimentos San Pablo
- David Cassis, AquaBC
- Marcelo Oliva, Universidad de Antofagasta

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

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

Una Producción de:

**opción**  
comunicaciones®

**SU MEJOR OPCION EN PUBLICIDAD**

**Porque somos diferentes,  
publique con nosotros**

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

# Avisadores

7 Plagas	100
AquaBC	45
Aquaservice	04/05
Copec	77
Ecogroup	102
Global Pacific	101
LO <sub>2</sub> W	27
Opción Comunicaciones	T2
OTAQ	36
Plásticos Austral	50
Resiter	67
TermoIndustrial	13
VeHiCe	07
Veterquímica	T4
Depto.de Acuicultura y Recursos Alimentarios Universidad de Los Lagos	T3

# Contenidos

Indice de Universidades	02
Editorial	03
Ferias Internacionales	04
Fases Lunares	05
Ferriados Internacionales	06
Compendio de Toxicidad por Metales en Salmónidos de Chile (2018-2021)	08
Salmón Magallánico, navegando hacia la sostenibilidad, Asociación de Salmonicultores de Magallanes A.G.	20
Desempeño en campo de BEKA-VAX® Una nueva vacuna contra <i>Renibacterium salmoninarum</i> en Magallanes	24
Evaluación Acústica Subacuática de pérdida de inserción en barreras de microburbujas de aire.	28
Salmonicultura en primera persona, SalmonChile	37
Detección de biotoxinas marinas con una técnica simple y rápida ahora producida desde Chile para el mundo	46
Manejo de recursos acuáticos con enfoque ecosistémico: Avances, Brechas y Perspectivas	71
Fin al tope de indemnización 11 años de servicio: Proyecto busca eliminar tope en las indemnizaciones	103

# Índice de Universidades

## SUS ESTUDIOS E INVESTIGACIONES

### UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

Repoblando con cabrillas en arrecifes artificiales: Marine Ranching, una realidad en la macrozona norte de Chile.

56

### UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA

Escuela de Postgrado.

59

Aportando desde el norte de Chile al desarrollo nacional Innovando y Formando talento humano avanzado Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Biológicos (FACIMAR)-Universidad de Antofagasta.

60

### UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

Macroalgas en la Alimentación Animal: Ingredientes funcionales para gallinas ponedoras como modelo de estudio.

51

### UNIVERSIDAD ANDRES BELLO

El uso de florfenicol en la salmonicultura chilena: Estado actual y perspectivas.

32

### UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Salmones Resilientes; Inmunidad entrenada, memoria y protección.

17

### UNIVERSIDAD DE CHILE

Desarrollo de una herramienta molecular para la identificación de especie en almejas de Chile: Implicancias en autenticidad, inocuidad y conservación.

63

### UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHILE

Aplicación de péptidos antimicrobianos para el control de patógenos bacterianos de salmónidos: Una mirada al contexto sanitario de la salmonicultura en Chile y Perú.

68

### UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Nutrimar Biobío: Innovación en alimentos algales.

78

### UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

XLI Congreso Ciencias del Mar.

83

Efecto de la normativa ambiental en la evaluación técnica y económica del cultivo de cochayuyo (*Durvillaea antarctica*) a nivel de Acuicultura de Pequeña Escala (APE).

84

Magíster en Medio Ambiente Universidad Católica de la Santísima Concepción; Un programa consolidado a nivel nacional.

88

### UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Factores que afectan la abundancia del Piojo de Mar.

14

Transporte Neumático de Pienso para Peces en Sistemas de Alimentación de Salmones Variable: Velocidades en Flujo Turbulento y Calibres.

40

Fototoxicidad: Cuando la radiación solar intensifica la nocividad de los contaminantes en ambientes acuáticos.

74

Ingeniería Ambiental.

91

Desafíos y potencialidades de la obtención y aplicación de los materiales Quitinosos.

92

MACROBENT y AMBI, Una plataforma multiusuario y un índice biótico Para una mejor gestión ambiental de ecosistemas de fondos blandos expuestos a actividades antropogénicas.

96

# Editorial

*P*ara el año 2022, ha habido una recuperación paulatina de la economía mundial y nacional lo que nos alienta a seguir esforzándonos pero aún en pandemia, a buscar contenidos relevantes en materia de histopatologías, veterinaria, patologías de peces, medio ambiental, nutrición, genética y proyectos de investigación para la acuicultura nacional

Continuamos manteniendo el cambio de fecha, dada las circunstancias de pandemia vigente que aún se mantienen en gran parte del país, sin embargo nos preocupamos de traerles temas de interés en materia de salmonicultura, mitilicultura y pesquería que son de gran interés para nuestros lectores. Sacando una Edición especial para Feria Internacional del Salmón, AQUASUR – PTO. MONTT del 2 al 4 de Marzo 2022, que será presencial donde obsequiaremos ejemplares a los asistentes al evento.

Esperamos que en esta edición especial 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 salmonero-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 salmón-acuícola, mitilicultora y pesquera de Chile. Siendo algunos de los temas a tratar como: "Compendio de Toxicidad en Salmónidos"; "Piojo de Mar"; "Salmones Resilientes"; "Vacuna contra BKD"; "Microburbujas"; "Salmón Magallánico"; "Uso de Florfenicol en Salmonicultura Chilena"; "Sistemas de Alimentación de Salmones"; "Test Rápido detección de Biotoxinas"; "Macroalgas"; "Postgrado – Magíster"; "Fototoxicidad"; "Innovación en alimentos Algales"; "Normativa ambiental en el cultivo de Cochayuyo"; entre otros.

Al igual que en ediciones anteriores, usted podrá encontrar materias de consulta diaria como son: Fases Lunares, Ferias Salmón-Acuícolas mundiales, Feriados Internacionales y novedades en servicios y productos de los principales proveedores de la industria.

Los invitamos a participar en próxima edición digital e impresa Julio 2022

Richard Araya Véliz  
Gerente VERSIÓN DIFERENTE

# Ferias Internacionales 1° Semestre 2022

## VIV ASIA 2022

12 al 14 Enero 2022 - Exhition Expo Tobi  
Bangkok - Thailand

## SIMEC AquaFish 2022

The Specialist in Fisheries, Aquaculture and  
First Seafood in The Kingdom  
30 Enero al 01 Febrero 2022 - Arabia Saudita

## China Fish 2022

China Fisheries & Seafood Expo  
01 Febrero 2022 - Beijing, China

## Aquaculture America 2022

San Antonio Marriott River center  
21 al 24 Febrero - San Antonio - USA

## 72 ND Pacific Fisheries

Technologists Conference  
20 al 23 Febrero 2022

## Subsea Expo 2022

22 al 24 Febrero 2022 - Aberden, Scotland

## Aquaculture America Expo

27 Febrero al 03 Marzo 2022  
San Diego, California, USA

## Aquasur 2022

02 al 04 Marzo 2022 Lado Poniente Km  
1018 Ruta Sur- Puerto Montt, Chile

## Seafood Expo North America 2022

13 al 15 Marzo 2022 - Boston, USA

## Expo Pesca & AcuíPerú 2022

Feria Internacional de Pesca y Acuicultura  
23 al 25 Marzo 2022 - Lima, Perú

## 16 International Conference on Aquatic Sciences and Fisheries

08 al 09 Abril 2022 - Sydney, Australia

## 28 Th Seafood Expo Global / Seafood Pro- cessing Global

26 al 28 Abril 2022 - Barcelona, España

## 10 Th European Algae Industry Summit Whitmore Group

27 al 28 Abril 2022 - Reykjavik, Iceland

## Aquaculture UK 2022

03 al 05 Mayo 2022 - Aviemore, Scotland, UK

## The 13 Th International Sealice Conference

9 al 13 Mayo 2022 - Torshavn, Forayar

## 2 Nd Edition of World Aquaculture and Fisheries Conference 2022

18 al 19 Mayo 2022 - Tokio, Japon

## World Aquaculture 2022

24 al 27 Mayo 2022 - Merida, México

## Polfish International Fair of Fish and Food Products

01 al 03 Junio 2022 - Gdansk, Poland

## Iceland Fisheries Exhibition & Awards 2022

08 al 10 Junio 2022 - Kopavogur, Iceland

## 16 Internantional Conference On Biote- chnology and Genetics In Fisheries And Aquaculture

14 al 15 Junio 2022 - Montreal, Cánada

## International Conference on The Biology Fish Home

28 Junio al 01 Julio 2022 - Montpellier,  
France



## Arriendo de maquinaria y equipos para la acuicultura

La mayor variedad de equipos e implementos para la producción acuícola, con el mejor servicio de respaldo.

**1 COMPRESORES DE TORNILLO**  
*Años Copco - Mod: Axs 185*

**2 CONTADOR DE PECES**

**3 NUEVA FISH PUMP AQUA 1080**  
*Bomba eléctrica para todo tipo de peces*

**4 BOMBAS PARA PECES**  
*Bombas hidráulicas y eléctricas para peces desde 1gr hasta 3 kg*

**5 SELECCIONADORAS**  
*Para peces desde 1gr hasta 10 kg*

**6 WINCHES**








  
Consulte por otros equipos

  
Instalación y puesta en marcha

  
Mantenimiento incluida

  
Por semanas o meses.

OFICINA CENTRAL: Ruta 5 Sur a Pargua Km 1029 • Casilla 1117 Puerto Montt, Chile • FONDO: 56-65-2220033 • EMAIL: info@aquaservice.cl

# Fases Lunares 1º Semestre 2022

	 NUEVA	 CRECIENTE	 LLENA	 MENGUANTE
<b>ENERO</b>	03	10	17	24
<b>FEBRERO</b>	01	08	16	23
<b>MARZO</b>	03	10	17	24
<b>ABRIL</b>	01	08	16	23
<b>MAYO</b>	30	08	16	22
<b>JUNIO</b>	29	06	14	21

\* Si necesita información de Mareas y Lunas solicitarlas directamente a [www.shoa.cl](http://www.shoa.cl) o [serviciosaterceros@shoa.cl](mailto:serviciosaterceros@shoa.cl)

## Bombas para Peces

AQUA 2020 · 4040 · 6060 · 1080 · 1210

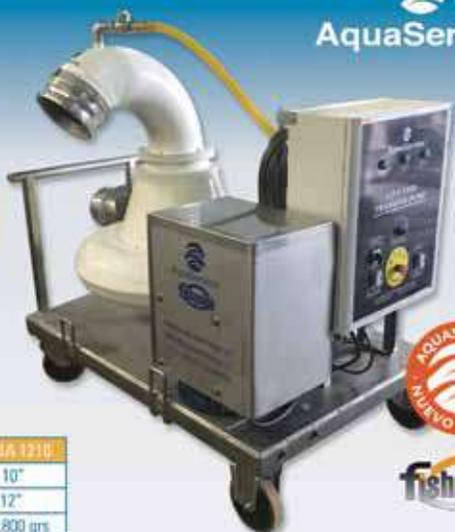




*Uso en agua dulce o salada sin sufrir daños*

*Construido en acero inoxidable y aleación de aluminio*

*Diseño ergonómico y amigable a los peces*



MODELOS	AQUA 2020-E	AQUA 4040-E	AQUA 6060-E	AQUA 1080	AQUA 1210
Diametro salida	2"	4"	6"	8"	10"
Diametro entrada	2"	4"	6"	10"	12"
Tamaño Pez	1-35 grs	1-185 grs	1-300 grs	1-500 grs	1-1.800 grs
Flojo de descarga	650 l/min	1800 l/min	1800 l/min	4500 l/min	5200 l/min
Peces por hora*	3,9 ton/hour	7,5 ton/hour	9,8 ton/hour	16 ton/hour	20 ton /hr
Altura de transferencia Max	6 mts	6 mts	6 mts	6 mts	6mts
Distancia de transferencia Max	200 mts	250 mts	250 mts	250 mts	250 mts
Motor Eléctrico	2 hp / 1,5 kw	3 hp / 2,2 kw	5 hp / 3,7 kw	20 hp / 15 kw	30 hp / 22kw
Suministro eléctrico	220 v 380 v ac	220 v 380 V AC	220 v 380 V AC	380 V AC	380 V AC
Bomba autocebante	0,75 hp / 1"	1 hp / 1,5"	1 hp / 1,5"	1 hp / 1,5"	1 hp / 1,5"
Peso Bomba	125 kg	135 kg	230 kg	560 kg	550kg

\*La cantidad de peces transferida dependerá de las condiciones y altura de las instalaciones. La información entregada es acorde al uso óptimo de las bombas.

### NUEVA FISH PUMP AQUA 1080

*Bombas para todo tipo de peces*

- Transferencia de peces vivos a camiones.
- Para cargar seleccionadoras y máquinas contadoras.
- Fish Friendly.
- Fácil uso en transferencia de smolt y alevines.
- Disminuye la mortalidad y tiempos usados en trasvase.

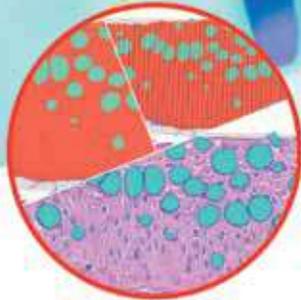
[www.aquaservice.cl](http://www.aquaservice.cl) · [www.fishpump.cl](http://www.fishpump.cl)

# Feriados 2022 Internacionales



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 caídos en la Guerra			●			
Lunes 30 Mayo	Día Festivo de Primavera						●
Domingo 19 Junio	Día del Padre					●	
Lunes 20 Junio	Día de la Emancipación			●			
Lunes 27 de 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					●	
Martes 9 Agosto	Día Nacional de los Pueblos Indígenas	●					
Lunes 15 Agosto	Día de la Ascensión de la Virgen	●					
Lunes 29 Agosto	Festivo en Gales						●
Lunes 5 Septiembre	Día del Trabajo			●			
Viernes 16 Septiembre	Día de la Independencia		●				
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 30 Septiembre	Día Nacional de la verdad y reconciliación		●				
Lunes 10 Octubre	Día del Encuentro de Dos Mundos	●		●			
Lunes 10 Octubre	Día de Acción de Gracias		●				
Lunes 10 de 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	●					
Viernes 11 Noviembre	Día del Recuerdo		●				
Viernes 11 Noviembre	Día de Los Veteranos de Guerra			●			
Jueves 24 Noviembre	Día de Acción de Gracias			●			
Jueves 8 Diciembre	Inmaculada Concepción	●					
Domingo 25 Diciembre	Navidad	●		●	●		
Lunes 26 Diciembre	Navidad		●				

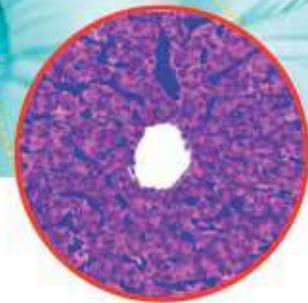
SOLICITA NUESTROS SERVICIOS  
**DATA Y SCORE**



ANÁLISIS DE CÉLULAS  
MUCOSAS EN PIEL



ANÁLISIS DE  
INFLAMACIÓN EN  
CORAZÓN



ANÁLISIS DE  
ALTERACIONES  
HEPÁTICAS

## ANÁLISIS CUANTITATIVO DE CÉLULAS Y TEJIDOS

*La patología digital ha permitido desarrollar herramientas avanzadas de imagen, patología cuantitativa y recientemente herramientas como el aprendizaje automático para aumentar la precisión, eficiencia y rapidez del diagnóstico en especies acuícolas.*



**CONTÁCTANOS**

 [www.vehice.com](http://www.vehice.com)

 [info@vehice.com](mailto:info@vehice.com)



# Compendio de Toxicidad por Metales en Salmónidos de Chile (2018-2021)



Universidad Austral de Chile  
Conocimiento y Naturaleza



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO

Carlos Sandoval <sup>1,2</sup>, Enrique Paredes Herbach <sup>3</sup>, Paulo Salinas <sup>4</sup>, Karina Carrasco <sup>2</sup>, Paulina Moreno <sup>2</sup>, Gabriela Squella <sup>2</sup>, Josefa Fuentes <sup>2</sup>, Javier Fuentealba <sup>2</sup>, Denis Cardenas <sup>2</sup>, Catalina Millar <sup>2</sup>, Karen Acuña <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> M.V., Escuela de Graduados, Fac. Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile.

<sup>2</sup> Investigación y Desarrollo Vehice, Área Técnica Vehice.

<sup>3</sup> M.V., Dr. Med.vet, Instituto de Patología Animal, Universidad Austral de Chile.

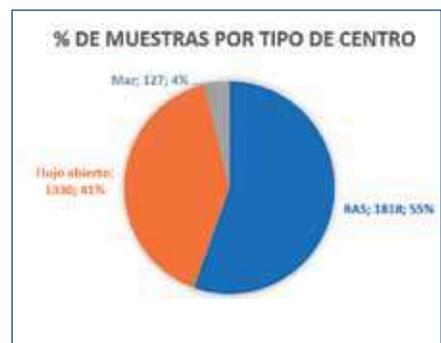
<sup>4</sup> M.V., MSc, PhD. Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

Para el siguiente compendio, se recopiló la información de 4 años de análisis de intoxicación por metales en salmónidos. Para la caracterización de la información se diagramaron los resultados de los peces con los cuales se poseía información trazable respecto a su origen. Estas muestras se obtuvieron de centros productivos de las regiones IX, X, XI y XII. En este estudio se congregó los resultados de 9.388 peces, a los cuales, se les realizó análisis para identificar intoxicación por Aluminio (Al), Cobre (Cu) y Hierro (Fe).

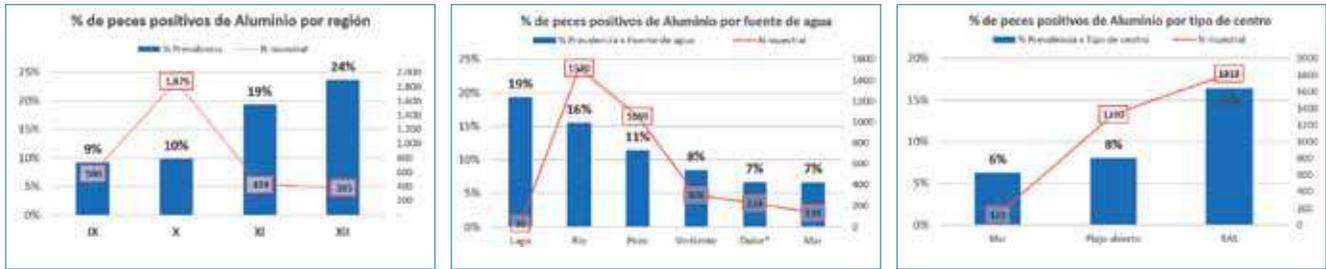
## Análisis de Prevalencia de Aluminio en Salmónidos por técnica histoquímica

Distribución muestral para compendio del análisis de positividad (+) de aluminio en tejidos Target de Salmónidos. Muestra total 3.275 peces.

Tipo Centro	Fuente.	IX	X	XI	XII
Mar	Mar		127		
Flujo abierto	Dulce*	56	140		5
	Lago		31		
	Pozo	43	176		
	Rio	268	410		
	Vertiente	97	104		
RAS	Mar		8		
	Dulce*		23		
	Pozo	17	823		
	Rio		33	429	380
	Vertiente	105			
<b>Total</b>		<b>586</b>	<b>1875</b>	<b>429</b>	<b>385</b>



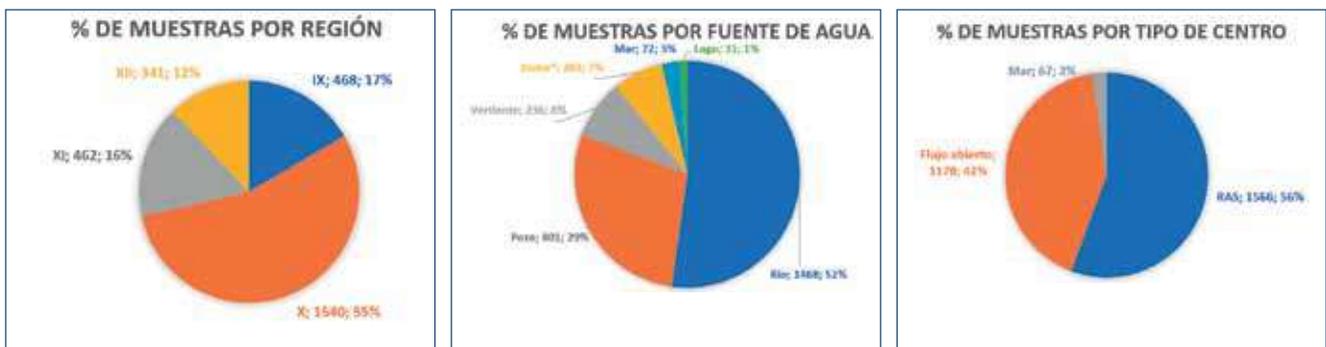
Análisis de positividad de aluminio por región, tipo de centro productivo y fuente de agua en el periodo (2018-2021).



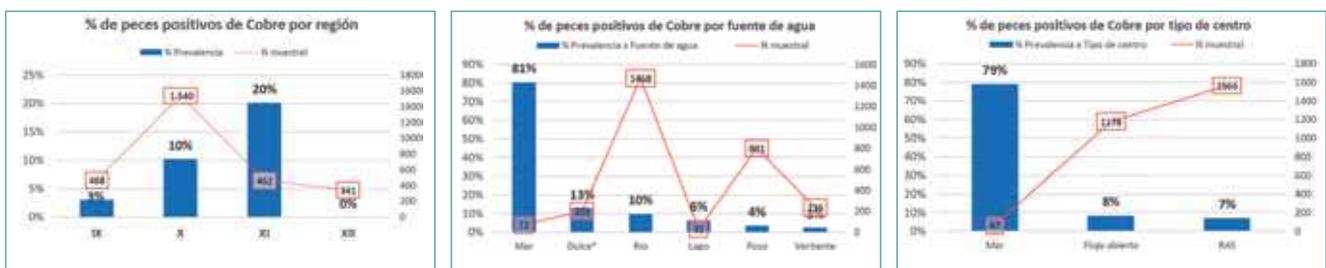
### Análisis de Prevalencia de Cobre en Salmónidos por técnica histoquímica

Distribución muestral para compendio del análisis de positividad (+) de cobre en tejidos Target de Salmónidos. Muestra total 2.811 peces.

Tipo Centro	Fuente.	IX	X	XI	XII
Mar	Mar		67		
Flujo abierto	Dulce*	46	129		5
	Lago		31		
	Pozo	10	181		
	Rio	217	420		
	Vertiente	81	58		
RAS	Mar		5		
	Dulce*		23		
	Pozo	17	593		
	Rio		33	462	336
	Vertiente	97			
<b>Total</b>		<b>468</b>	<b>1540</b>	<b>462</b>	<b>341</b>



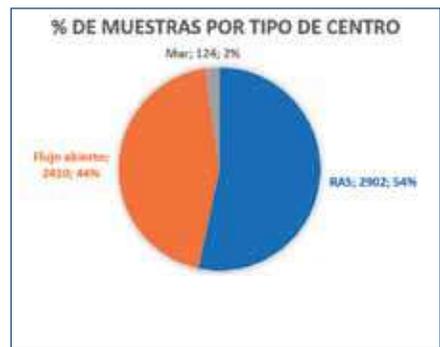
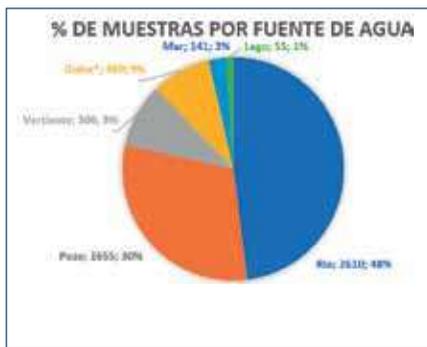
Análisis de positividad de cobre por región, tipo de centro productivo y fuente de agua en el periodo (2018-2021).



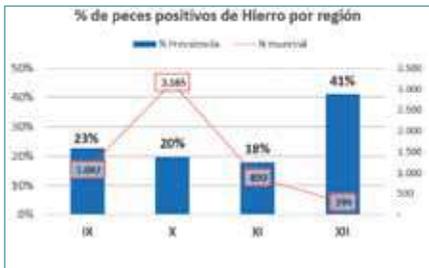
## Análisis de Prevalencia de Hierro en Salmónidos por técnica histoquímica

Distribución muestral para compendio del análisis de positividad (+) de hierro en tejidos Target de Salmónidos. Muestral tota 5.436 peces.

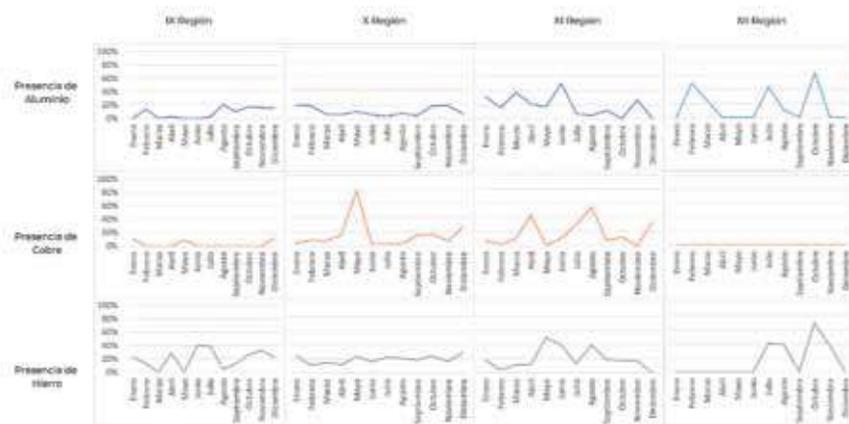
Tipo Centro	Fuente.	IX	X	XI	XII
Mar	Mar		124		
Flujo abierto	Dulce*	136	280		10
	Lago		55		
	Pozo		293		
	Rio	520	865		
	Vertiente	137	114		
RAS	Mar		17		
	Dulce*		43		
	Pozo	34	1328		
	Rio		46	890	289
	Vertiente	255			
<b>Total</b>		<b>1082</b>	<b>3165</b>	<b>890</b>	<b>299</b>



Análisis de positividad de cobre por región, tipo de centro productivo y fuente de agua en el periodo (2018-2021).



## Análisis de Estacionalidad promedio del periodo 2018-2021 de Intoxicación por metales (Al, Cu, Fe) en Salmónidos

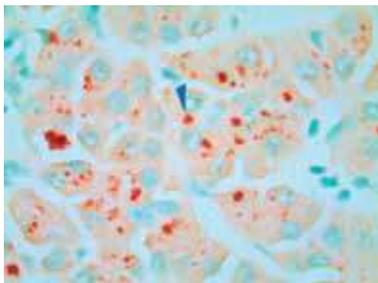


## Toxicidad por Cobre

El cobre (Cu) es un oligoelemento necesario para el crecimiento y metabolismo normal de los organismos vivos, aunque no es un metal que muy abundante en la corteza terrestre (0,12%). La presencia de Cu en el agua ocurre a través de las actividades mineras, la descarga de desechos industriales y agrícolas, limpieza de barcos, pintura y reparación de embarcaciones, etc.

En general, la toxicidad del Cu ocurre cuando el cobre ingresa a las células y se une a proteínas y ácidos nucleicos dentro de las células, interrumpiendo la función celular normal. El Cu puede cambiar entre los estados de oxidación de  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{1+}$  dentro de las células, y esta acción le permite precipitar en la reacción de Fenton para formar radicales libres como el radical hidroxilo altamente destructivo. La forma más tóxica del Cu es el ion cúprico ( $\text{Cu}^{2+}$ ). Se ha descubierto que los peces y los crustáceos son 10 a 100 veces más sensibles a la toxicidad del Cu que los mamíferos.

Las branquias son el primer órgano del pez en responder a la contaminación ambiental y también el primero en verse afectado por el Cu. El Cu acumulado se distribuye y se bioacumula en los principales órganos y sistemas corporales de los peces, incluidos el hígado, el bazo y los riñones a través de la sangre. También puede afectar el sistema cardiovascular y nervioso de los peces una vez que se acumula en las branquias, ya que tiene la capacidad de regular el transporte de sal ( $\text{NaCl}$ ) dentro y fuera de los peces. Además de alterar el equilibrio de sal en los peces, el Cu también puede reducir la producción de esperma y óvulos en muchas especies de peces, incluidos los peces pequeños. Adicionalmente, puede afectar el metabolismo de la glucosa y la estructura celular de los peces.



*S. salar*, Hígado. Se observa reacción positiva a cobre mediante técnica histoquímica especial (coloración marrón).

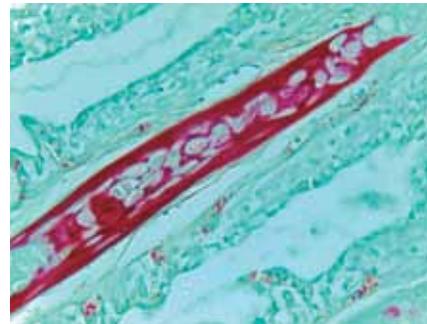
## Toxicidad por Aluminio

El aluminio (Al) es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre. Las fuentes de este metal pueden ser aguas subterráneas ácidas, aguas de alcantarillado que se han tratado con sulfato de aluminio como floculante, actividades de minería y desechos industriales. Así también, eventos como deshielos, fuertes lluvias, tormentas ricas en sales marinas pueden tener efectos profundos en la toxicidad debido al aumento en la acidez y a las concentraciones de Al en el agua.

La forma más tóxica de Al para los peces es el Al inorgánico, cuyo contenido en agua aumenta linealmente con la reducción del pH, ya que la acidez facilita la liberación de Al de los sedimentos del fondo. Si bien el Al puede acumularse en diferentes órganos del pez, tiene efectos importantes en las branquias. Se pueden describir tres principales efectos tóxicos:

- 1) Alteraciones respiratorias debido a la obstrucción por el exceso de mucus interlamelar, precipitación de Al y disminución de la fluidez de membrana.
- 2) Alteraciones osmoregulatorias debidas a la pérdida neta de absorción de iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) causada por la unión del Al a la superficie branquial, acumulación intracelular de aluminio, aumento de la permeabilidad de la membrana y daño epitelial.
- 3) Trastornos circulatorios caracterizados por altos niveles de hematocrito, debido a la disminución del volumen plasmáticos, tumefacción eritrocitaria y liberación desde el bazo.

La mortalidad en peces por exposición a Al se asocia a una respuesta inflamatoria a los hidróxidos de Al con excesiva producción de mucus y subsecuente disrupción de oxígeno y dióxido de carbono.



*S. salar*, Cartílago/hueso (branquia). Se observa reacción positiva a aluminio mediante técnica histoquímica especial (coloración roja).



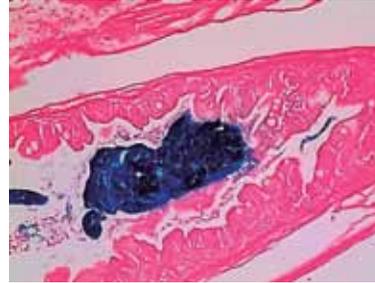
## Toxicidad por Hierro

El hierro (Fe) es un elemento esencial en muchos procesos fisiológicos como transporte de oxígeno, síntesis de ADN, transporte de electrones y cofactor enzimático para muchas proteínas como hemoglobina, transferrina y ferritina, entre otras. En los sistemas biológicos, el Fe se encuentra presente en tres estados de oxidación:  $\text{Fe}^{2+}$  (más estable a bajo pH),  $\text{Fe}^{3+}$  y, en mucho menor medida,  $\text{Fe}^{4+}$ . A pH fisiológico, el  $\text{Fe}^{3+}$  precipita como polímeros de oxihidróxido, mientras que  $\text{Fe}^{2+}$  es soluble. Por otro lado, el  $\text{Fe}^{2+}$  es inestable en medios acuosos y tiende a reaccionar con el oxígeno molecular para formar  $\text{Fe}^{3+}$  y superóxido.

El comportamiento del Fe en ecosistemas acuáticos es dinámico y está influenciado por un conjunto complejo de condiciones ambientales como pH del agua, luminosidad, potencial redox, temperatura, oxígeno y materia orgánica (sustancias húmicas). Muchos experimentos han demostrado una reducida toxicidad del Fe cuando la cantidad de humus es alta.

Cuando el  $\text{Fe}^{2+}$  se une a la superficie alcalina de las branquias, se oxida a  $\text{Fe}^{3+}$  insoluble. Estas sustancias insolubles cubren las laminillas branquiales e inducen daño epitelial e interrupción de la respiración y posterior muerte. De una forma similar, en aguas subterráneas con altas concentraciones de  $\text{Fe}^{2+}$  al estar en contacto con el aire, se produce una oxidación del  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ , que precipita a hidróxido de hierro ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), el cual se adhiere a las branquias, sofocando al pez por falta de oxígeno y causando la posterior muerte. El tiempo que demore esta adherencia ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) depende en gran medida del pH del agua, considerando

que a bajo pH la oxidación del Fe es muy lenta, en cambio, a un pH alto el proceso es muy rápido. El  $\text{Fe}^{2+}$  también puede afectar al pez inhibiendo la ingesta de calcio de la misma forma que el Al. Se ha reportado que el hierro y el aluminio tienen un efecto sinérgico, lo que significa que la suma de sus efectos tóxicos produce resultados aún más dañinos.



*S. salar*, Intestino. Se observa reacción positiva a hierro mediante técnica histoquímica especial (coloración azul).



Forma tóxica	Forma tóxica	Calcio Orgánico Total (TOC)	Temperatura	pH	Calcio	Oxígeno disuelto	Alcalinidad
Cobre	Ion Cúprico ( $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{CuSO}_4$ , $\text{Cu}(\text{OH})_2$ )	Menos tóxico a mayor TOC	Más tóxica a mayor temperatura	Más tóxico a bajo pH	Menos tóxico alta concentración de calcio	Más tóxico a bajo oxígeno disuelto	Incremento de la alcalinidad reduce su toxicidad
Aluminio	Aluminio Lábil (Al)	Menos tóxico a mayor TOC	Agua fría más tóxica	Más tóxico a pH ácido	Menos tóxico alta concentración de calcio (>2.5 mg/l)		
Aluminio	Fe Lábil (NL-4) (*)			Más tóxico a pH más básicos	Más tóxico a baja concentración de calcio		Incremento ácido o excesivo aumenta la toxicidad
Hierro	Ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) que precipita a hidróxido de hierro ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ )	Menos tóxico a mayor TOC	Agua fría menos tóxica	Más tóxico a mayor pH (precipita)	Menos tóxico alta concentración de calcio		
Hierro	Ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ), frecuente en aguas subterráneas (*)	Menos tóxico a mayor TOC		Mayor tiempo de vida a pH más ácidos	Menos tóxico alta concentración de calcio	La amoníaco promueve su oxidación	Incremento de la alcalinidad reduce su toxicidad

Tabla 1. Factores que influyen en la toxicidad de los metales. Fuente: Gutiérrez y col., 2003; Gutiérrez y Aguilera, 2012; Atland y Bjerknes, 2009.

## Referencias

Aghamirakimi, S. & Mashinchian, A., Sharifpour, I., Jamili, S. & Ghavam, P. 2017. Sublethal effects of copper nanoparticles on the histology of gill, liver and kidney of the Caspian roach, *Rutilus rutilus caspicus*. *Global Journal of Environmental Science and Management-GJESM*. 3. Alibraheemi, Abdulhadi. 2019. Histopathological changes in gills. *Atland, A. & V. Bjerknes*. 2009. Calidad de agua para el cultivo de smolts en Chile. Norwegian Institute for Water Research (NIVA) Chile S.A. *Exley, C., Chappell, J., & Birchall, J*. 1991. A mechanism for acute aluminium toxicity in fish. *Journal of Theoretical Biology*, 151: 417-428. *Havas, M., Rosseland, B*. 1995. Response of zooplankton, benthos, and fish to acidification: and overview. *Water, Air, and Soil Pollution* 85, 51-62. *Padrihah, S., Sabullah, M., Shukor, M., Yasid, N., Shamaan, N., Ahmad, S*. 2018. Toxicity effects of fish histopathology on copper accumu-

lation. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 41: 519-540. *Rosseland, B., Staurnes, M*. 1994. Physiological Mechanisms for Toxic Effects and Resistance to Acidic Water: an Ecophysiological and Ecotoxicological Approach. In: C.E.W. Steinberg and R.F. Wright (Eds.), *Acidification of Freshwater Ecosystems: Implications for the Future*, pp 227-246. John Wiley & Sons Ltd. *Shuhaimi-Othman, M., Yakub, N., Ramle, N., & Abas, A*. 2013. Comparative toxicity of eight metals on freshwater fish. *Toxicology and Industrial Health*, 31: 773-782. *Slaninova 1, J. Machova2, Z. Svobodova*. (2014). Fish kill caused by aluminium and iron contamination in a natural pond used for fish rearing: a case report. *Veterinari Medicina*, 59, 2014 (11): 573- 581 *Valko M, Morris H, Cronin MTD* (2005): Metals, toxicity and oxidative stress. *Current Medicinal Chemistry* 12, 1161- 1208

# SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS TERMOAISLANTES / FÁBRICA DE PANELES



## 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 2784 6400



www.termoindustrial.cl

# Factores que afectan la abundancia del Piojo de Mar



Sandra Bravo, Nike Ponce

Instituto de Acuicultura; Universidad Austral de Chile

El piojo de mar es la principal amenaza que afecta a la industria del salmón a nivel global y *Caligus rogercresseyi* es la especie que afecta al salmón de cultivo en Chile. En sus inicios, el control de esta parasitosis fue realizado a través de productos antiparasitarios, desarrollados para el control de plagas en la agricultura y adaptados para su uso en peces, pero estos piojos han desarrollado resistencia hacia la mayoría de los productos hoy disponibles en el mercado. Esto ha llevado a que se privilegie el uso de métodos de control no farmacológicos, los que tienen un efecto tóxico al actuar sobre los parásitos que están presentes en el pez al momento de realizar el tratamiento, y aunque la mayoría de estos han mostrado una efectividad sobre el 70%, dependiendo del método empleado, generan en mayor o menor grado un efecto negativo sobre el bienestar de los peces tratados. Frente a esta situación, han emergido tratamientos preventivos, cuya finalidad es impedir que los estadios de natación libre de estos piojos (nauplius y copepoditos) entren en contacto con los salmones en cautiverio. Es así, que el conocimiento de los factores que inciden en la abundancia del piojo de mar cobra mayor relevancia.

Bravo y col. (2014) reportaron que las diferencias en abundancia registradas entre sectores en la Región de Los Lagos, son principalmente consecuencia de las características geográficas y oceanográficas de cada lugar y que los valores de abundancia están significativamente influenciados por la salinidad, temperatura y transparencia del agua. Además, las densidades de peces en las jaulas (Kg/m<sup>3</sup>); estación del año; nivel de exposición del centro de cultivo; profundidad del sector (batimetría) y localización de las jaulas, son también importantes variables que inciden en la abundancia del piojo de mar.

## Efectos de la temperatura en el ciclo de vida de *Caligus*

De la temperatura del agua depende la duración del ciclo de vida del piojo de mar. El ciclo de vida del género *Caligus* presenta ocho estados de desarrollo, tres planctónicos y cinco estados de parasitismo. De acuerdo a lo reportado por González y Carvajal (2003), en condiciones de laboratorio, el ciclo completo de desarrollo de *Caligus rogercresseyi* tarda aproximadamente 45 días a 10,0°C (450 °D); 31 a 32 días a 12,0 °C ( 384°D) y 26 días a 15,0°C (390°D).

En estudios desarrollados bajo condiciones controladas en 2008, el desarrollo de huevo a copepodito fue de 10 días (103°D) a 10°C (Tabla 1). A 12°C el desarrollo de huevo a copepoditos fue de 6 días (60°D) en estudios realizados en 2009 (Tabla 2), registrándose una disminución en el tiempo de desarrollo de 40 % con el incremento de la temperatura a 12°C. A su vez, el tiempo de desarrollo desde huevo a adulto fue de 389°D (28 días) en 2008 y 325,1°D (23 días) en estudio realizado en 2009, registrándose una diferencia de 5 días entre ambos años. La diferencia está dada principalmente por la diferencia de los 2°C en la temperatura de incubación de los huevos hasta la generación de los copepoditos. Al comparar con el ciclo de vida reportado por González y Carvajal, se produce una diferencia de 17 días a 10°C y de 9 días a 12°C, lo que puede estar relacionado con la fluctuante temperatura ambiental a la cual probablemente fueron sometidos los estados de desarrollo en los peces hospedadores.

Tabla 1: Estado de desarrollo de *Caligus rogercresseyi* bajo condiciones de laboratorio (2008).

Estado de desarrollo	Longitud (um)	Días acumulados	Grados - Días (°D)	°D acumulados
Incubación (huevos)		0	0	0
Copepoditos	658	10	103	103
Chalimus I	830	14	62	165
Chalimus II	1.271	19	88	253
Chalimus III	2.146	21	31	284
Chalimus IV	4.201	23	30	315
Hembras y machos	4.380	25	30	345
Hembras c/ sacos	4.880	28	44	389

Por otro lado, Montory y col. (2020), reportaron que a 10°C el tiempo de desarrollo de nauplius-I fue de 66,7±20,7 horas (1,9-3,6 días; 19-36°D) y a 15°C de 50,7±17,2 horas (1,4-2,8 días; 21-42°D). Para nauplius-II reportaron a 10°C 129,3±13,1

Tabla 2: Estado de desarrollo de *Caligus rogercresseyi* bajo condiciones de laboratorio (2009)

Estado de desarrollo	Días	Días acumulados	Temperatura °C	°D acumulados
incubación (huevos)	0	0	12,0	12
Nauplius-II	2	2	12,0	24
Copepoditos	2	4	12,0	48
infestación Copepoditos	1	5	12,0	60
Chalimus I	4	9	13,5	114
Chalimus II	5	14	14,5	186,5
Chalimus III	2	16	14,8	216,1
Chalimus IV	2	18	15,0	246,1
adultos sin diferenciación	2	20	15,5	277,1
adultos sin diferenciación	1	21	16,0	293,1
hembras y machos	1	22	16,0	309,1
hembras c/sacos	1	23	16,0	325,1

horas (4,8-5,9 días; 48-59°D) y a 15°C 54,7±6,7 horas (2-2,6 días; 30-39°D). Lo que corrobora que los tiempos de desarrollo disminuyen con el incremento de la temperatura de incubación. En el caso de nauplius-I disminuye en 24% con el incremento de la temperatura de 10 a 15°C y en nauplius-II disminuye en 57,7%. Similar situación es reportada por Montory y col. en 2018, sobre el efecto de la temperatura en los tiempos de desarrollo de nauplius-I y nauplius-II.

Los mismos autores registraron diferencias en el tiempo de vida del copepodito sin hospedador, registrando un período de 426,6±71,7 horas a 10°C (14,8-20,7 días) y 329,3±24,8 horas a 15°C (12,7-13,8 días). Esto es mayor a los 6 días reportados por Bravo y colaboradores en 2008.

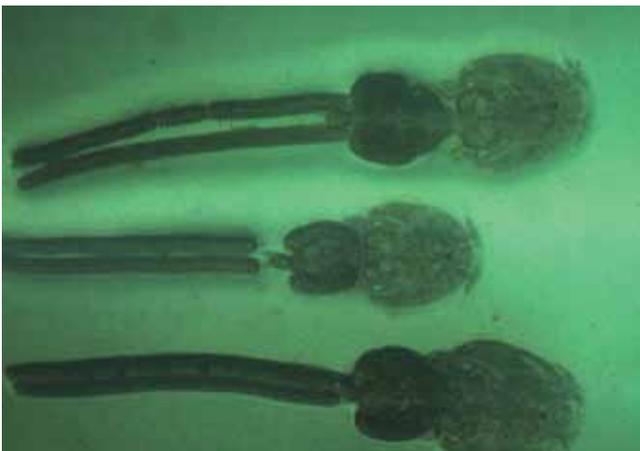


Figura 1: Hembras con sacos ovígeros. La hembra del centro libera los sacos.

De acuerdo a la información disponible, se puede señalar que en la medida que incrementa la temperatura del mar el ciclo de vida se reduce, siendo significativa la diferencia registrada entre los 10 y 12°C de incubación en la generación de copepoditos, la que es del orden del 50%. En tanto que para el estado adulto se registra una diferencia entre 18 y 23%. Sin embargo, en la época de verano la temperatura del mar se incrementa sobre los 15°C, lo que incide en ciclos de desarrollo más cortos, incrementando la abundancia del piojo de mar. Hay que tener presente además, que de acuerdo a estudios realizados por Bravo (2010), las hembras de *Caligus rogercresseyi* pueden generar hasta 11 generaciones de sacos ovígeros con la copula de un solo macho y que dependiendo de la temperatura del mar, estos sacos son generados cada cuatro días en verano y cada seis días en invierno (Fig. 1).

### Efectos de la salinidad en la supervivencia de *Caligus*:

La salinidad es un parámetro relevante para la supervivencia del piojo de mar. Ejemplares adultos de *C. rogercresseyi*, en condiciones de laboratorio, sin hospedador, no logran sobrevivir por más de 30 minutos en agua dulce (0‰). A 15‰ se ha registrado una supervivencia de 20% a las 24 horas de exposición en parásitos colectados de zonas con alta salinidad (>25‰), en comparación al 80% de supervivencia registrado en parásitos colectados de zonas altamente influenciadas por agua dulce, lo

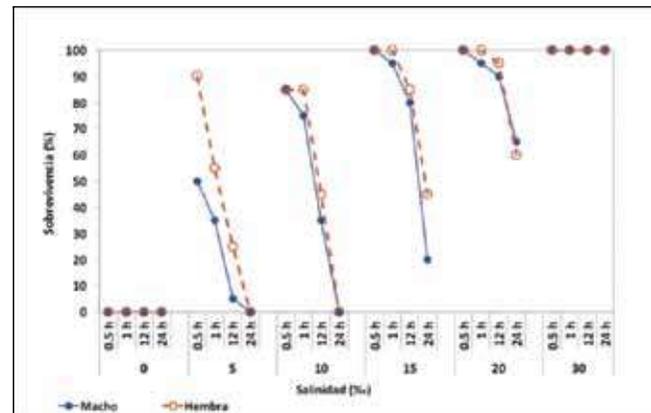


Figura 2: Tolerancia de hembras y machos de *Caligus rogercresseyi* a diferentes gradientes de salinidad.

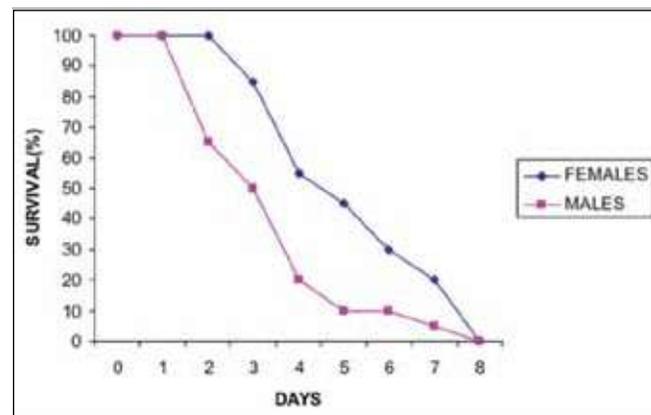


Figura 3: supervivencia de machos y hembras, libres en agua de mar, bajo condiciones de laboratorio.

que refleja una alta adaptabilidad de estos parásitos a condiciones adversas (Bravo y col., 2008). Por otro lado, las hembras muestran una mayor tolerancia a menor salinidad que los machos (Fig.2), lo que incide en la diseminación de estadios de natación libre (nauplius) más tolerantes a zonas con baja salinidad. Montory et al. (2018) por otro lado, reportaron que bajo condiciones de laboratorio, hembras grávidas sometidas a salinidad de 26 y 32 ‰ los huevos resultaron en un 100% de eclosión, en comparación con hembras sometidas a salinidad de 14 ‰ en que la tasa de eclosión fue 60%, corroborando que este parásito a través de generaciones se va adaptando a una menor salinidad.

## Efectos de las corrientes en la diseminación de Caligus

Otro factor importante a considerar y sin dudas el más relevante, son las corrientes marinas, ya que dependiendo de la velocidad y dirección de las corrientes, será la distancia y dirección que recorrerán los estadios de natación libre y también los ejemplares adultos desprendidos desde el pez hospedador. De acuerdo a estudios realizados en laboratorios, los ejemplares adultos (machos y hembras) pueden sobrevivir hasta 7 días, libres en agua de mar (Fig. 3). Similar condición fue registrada con la supervivencia de los copepoditos que lograron sobrevivir hasta 6 días (Bravo, 2010). Debido a que el período de vida libre del copepodito es dependiente de sus reservas de energía endógenas, tiene un

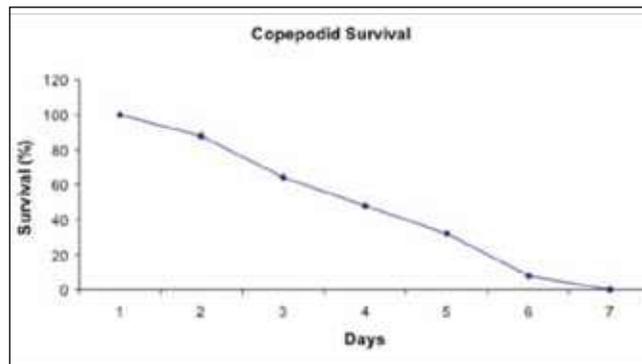


Figura 4: Supervivencia de copepoditos en agua de mar bajo condiciones de laboratorio.



Figura 5: Nauplius que emergen de los huevos eclosionados en los sacos ovígeros.

tiempo límite para encontrar un pez hospedador, de lo contrario morirá al agotar sus reservas de alimento (Fig. 4).

Los nauplius que emergen de los huevos eclosionados desde los sacos ovígeros (Fig. 5), son acarreados por las corrientes, por lo que dependiendo de las condiciones oceanográficas del sector, la infestación no se produce en el mismo centro de cultivo en el que se generaron los huevos. Lo mismo ocurre con los ejemplares adultos que sobreviven a un tratamiento por baño, los cuales durante el periodo que dura su inconsciencia son acarreados por las corrientes. Este es el principal mecanismo de diseminación de ejemplares que han desarrollado resistencia a los productos antiparasitarios y a condiciones adversas, como la baja salinidad.

## Conclusiones

Junto a los factores ambientales que imperan en los centros de cultivos, es importante tener en consideración el comportamiento de las corrientes en términos de velocidad y dirección. La alta concentración de centros de cultivos en las regiones de Los Lagos y Aysén propician la rápida dispersión del piojo de mar. Hay que tener en consideración que la actual regulación que rige al piojo de mar en Chile, señala que el número de hembras ovígeras por pez debe ser  $< 3$ . Si se estima un número promedio de 50 huevos por saco (100 huevos/hembra), el número de huevos generados en un centro de cultivos que contiene 1 millón de salmones será de 100 millones, los que serán arrastrados por la corriente del sector y diseminados a otros centros de cultivos que se encuentren en su ruta.

Considerando que el piojo de mar desarrolla resistencia contra los antiparasitarios usados para su control y que además, puede adaptarse a condiciones adversas, es importante la colecta de los piojos que sobreviven a los tratamientos por baño y a los métodos no farmacológicos actualmente en uso. Hay que tener presente que una hembra que sobrevive puede generar hasta 11 generaciones de saco.

## Referencias Bibliográficas

- Bravo S., Silva M.T., Treasurer J. 2014. Factors affecting the abundance of *Caligus rogercresseyi* (Boxshall and Bravo) on farmed salmonids in Chile in the period 2006-2007. *Aquaculture* 434: 456-461.
- Bravo, S. 2010. The reproductive output of sea lice *Caligus rogercresseyi* under controlled conditions. *Experimental Parasitology*, 125, 51-54.
- Bravo S., Pozo V., Silva M. 2008. The tolerance of *Caligus rogercresseyi* to salinity reduced in southern Chile. *Bulletin of the European Association of Fish pathologists*. 28:197-204.
- González L., Carvajal J. 2003. Life cycle of *Caligus rogercresseyi*, (Copepoda: Caligidae) parasite of Chilean reared salmonids. *Aquaculture* 220: 101-107.
- Montory JA, Cumillaf JP, Gebauer P, Urbina M, Cubillos VM, Navarro JM, et al. 2020. Early development and metabolic rate of the sea louse *Caligus rogercresseyi* under different scenarios of temperature and pCO<sub>2</sub>. *Mar Environ Res*. 162:105154. doi: 10.1016/j.marenres.2020.105154.
- Montory, J. A., Cumillaf, J. P., Cubillos, V. M., Paschke, K., Urbina, M. A., & Gebauer, P. 2018. Early development of the ectoparasite *Caligus rogercresseyi* under combined salinity and temperature gradients. *Aquaculture*, 486, 68-74.

# SALMONES RESILIENTES

## Inmunidad entrenada, memoria y protección



Dra. Mónica Imarai

Centro de Biotecnología Acuícola, Departamento de Biología,  
Facultad de Química y Biología. Universidad de Santiago de Chile.



### La inmunidad entrenada

Tradicionalmente, los mecanismos de defensa de un organismo contra los microorganismos patógenos se clasifican en innatos y adaptativos. Los **mecanismos innatos** involucran un sistema barreras físicas como la piel y las mucosas, factores humorales, como el complemento y citoquinas, y células especializadas del sistema inmunológico como los fagocitos (monocitos, macrófagos, neutrófilos), células linfoides innatas y células asesinas naturales. Las respuestas inmunes innatas son rápidas y se pueden activar en minutos ante una infección. Los **mecanismos de inmunidad adaptativa** dependen de la población de linfocitos T y linfocitos B que a través de receptores reconoce partes de un patógeno y desencadenan mecanismos de eliminación. A este tipo de respuesta es al que se le atribuye la memoria inmunológica, base de los procesos de vacunación y de la protección que permanece en un individuo que ha sido infectado y sobrevive. Esto en gran parte se debe a que cada vez que el organismo vuelve a exponerse al mismo patógeno o a las estructuras moleculares de éste, las células respondedores aumentan (células de memoria) y la respuesta siguiente que puede ser protectora, se hace más rápida y mayor en magnitud. Estos conceptos han evolucionado con el conocimiento y aunque tradicionalmente se han visto como dos sistemas de inmunidad diferentes, en realidad estos son mecanismos interconectados que juntos tienen el propósito de eliminar a los potenciales microorganismos patógenos que afectan a los individuos de una especie.

En este contexto, la **inmunidad entrenada** (*trained immunity*) es un concepto relativamente nuevo que involucra la reprogramación de la función de las células inmunes innatas (1,2). La inmunidad entrenada es inducida por el encuentro con el patógeno o sus estructuras y define un tipo de memoria inmune innata que se manifiesta en propiedades inflamatorias y antimicrobianas mejoradas en las células inmunes innatas (2). Esto produce una respuesta aumentada a infecciones posteriores y una mayor supervivencia del huésped (2,3). La inmunidad entrenada involucra **reprogramación epigenética**. Después de la activación, células como los monocitos recuperan la función homeostática pero mantienen la reprogramación epigenética y metabólica causada por la primera estimulación. Este estado funcional de memoria de las células inmunes innatas se mantiene durante semanas o meses después de la eliminación del estímulo inicial (2).

### Inmunidad entrenada con alimentos funcionales

Es imposible no pensar en las múltiples aplicaciones que puede tener inducir entrenamiento o memoria en las células innatas, especialmente si se considera que puede ayudar a proteger contra enfermedades infecciosas y a mejorar la inmunogenicidad de las vacunas. En este sentido, *Candida albicans* y beta-glucanos (componentes de la pared de estos hongos) son elementos muy relevantes que producen reprogramación de monocitos de ratones y humanos, lo que se evidencia por la aparición de modificaciones epigenéticas,

el aumento de la producción de citoquinas y el aumento de receptores en la membrana de los monocitos que son claves para responder a la presencia del microorganismo infeccioso (3).

Una aplicación muy relevante de hongos y sus derivados en el entrenamiento inmune es la que se puede hacer en especies que se producen en la acuicultura, ya que en este ámbito las enfermedades infecciosas siguen siendo un problema importante y las vacunas en muchos casos no tienen los resultados de eficacia necesarios para evitar grandes pérdidas económicas e impactos negativos en el bienestar animal. En este marco, un proyecto que ya tiene más de dos años de desarrollo y es liderado por la Dra. Margareth Overland del NMBU de Noruega, en colaboración con la industria y varias universidades (ver recuadro), está abordando y evaluando estrategias para inducir entrenamiento inmunológico que mejore la tolerancia al estrés y la salud, esto aplicado al salmón del Atlántico. La contribución de la Universidad de Santiago y de la P. Universidad Católica de Valparaíso, consiste en evaluar **alimentos funcionales** en ensayos que involucran infecciones experimentales, donde se espera poner en evidencia los efectos de nuevos compuestos derivados de levaduras en la inducción de inmunidad protectora potenciada por el **entrenamiento de la inmunidad innata**. El objetivo principal de esta parte del proyecto es evaluar si los componentes bioactivos pueden estimular el sistema inmunológico del salmón y disminuir la mortalidad por la infección. Con los experimentos planificados podremos determinar, si es posible entrenar la inmunidad innata y potenciar la memoria inmune desarrollando protección frente a un microorganismo infeccioso modelo. Con nuestras herramientas de análisis, identificaremos los cambios que la dieta produce en la inmunidad en mucosas, estableciendo además si hay efectos en el microbioma e inmunoma del salmón inducidos por la inclusión de los componentes bioactivos.

**Proyecto:** *Trained immunity and nutritional programming for resilient salmon* (RCN 294821).

Financiado por The Research Council of Norway

**Directora:**

**Dra. Margareth Øverland**

Norwegian University of Life Sciences (NMBU).

**Colaboradores:**

**Dra. Mónica Imarai**

Universidad de Santiago de Chile (USACH)

**Dr. Luis Mercado**

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)

University of Wisconsin-Madison

**Industrias participantes:**

- Borregaard A.S.
- Seaweed energy solutions A.S.
- Biomar A.S.
- AquaGen A.S.
- Danstar Ferment A.G. (part of the Lallemand group)

El equipo de trabajo de esta parte del proyecto pertenece a la NMBU-IHA, Biomar y Aquagen y a la P. Universidad Católica de Valparaíso y la Universidad de Santiago de Chile. El desarrollo de herramientas para evaluar inmunidad en el salmón del Atlántico y la comprensión de los mecanismos de inmunidad innata y adaptativa es la contribución más relevante de los grupos de las universidades en Chile. La prueba de alimentación se realizará en la Unidad Experimental de Peces de la Universidad de Santiago de Chile utilizando salmones de AquaGene.

## Mecanismos de inmunidad que protegen de microorganismos patógenos

En general, es difícil demostrar que un tratamiento, vacuna o infección induce protección en los vertebrados, en especial determinando cuáles son los mecanismos inmunes responsables de tales efectos. ¿Por qué es importante poner en evidencia los mecanismos celulares y moleculares de la protección? Porque si los conocemos, se puede buscar intervenciones, terapias o vacunas que desencadenen esos mecanismos particulares para inducir la protección en los individuos de una especie susceptible a la infección por un determinado microorganismo. La dificultad de identificar los mecanismos de protección frente a un patógeno, es más cierta aún en peces, donde las herramientas y métodos disponibles para evaluar la respuesta inmunológica son muchos menos que aquellos que se pueden usar en las especies más estudiadas como son los ratones y el ser humano. El desarrollo de nuevos anticuerpos, producción de citoquinas recombinantes, desarrollo de análisis ómicos y análisis funcionales han cambiado en buena parte esta situación. En este contexto, una tarea importante en desarrollo en el marco de nuestro proyecto Fondecyt (Fondecyt 1201664) es implementar **nuevos ensayos funcionales**, que complementen los estudios de expresión, para evaluar los mecanismos de inmunidad en salmón del Atlántico. En particular, buscamos identificar los **mecanismos inmunes responsables de la protección** contra la infección por un microorganismo patógeno muy relevante en la acuicultura chilena como es *Piscirickettsia salmonis*.

La posibilidad de separar los linfocitos T respondedores desde peces infectados *P. salmonis*, utilizando anticuerpos (4,5) y un equipo de separación de células (*cell sorting*, Fondecyt EQM 190130), permitirá determinar qué citoquinas expresan y secretan estas células inmunes y, por ende, qué tipo de respuesta inmune se asocia a la recuperación o protección frente a la septicemia piscirickettsial salmonídea (SRS) o piscirickettsiosis. Además, para este proyecto, contamos con citoquinas recombinantes bioactivas (como interferón gama), que utilizaremos para evaluar si la pronta activación de la respuesta tipo Th1 puede inducir protección contra *P. salmonis*. Por otro lado, también es probable que citoquinas reguladoras de la respuesta inmune y de la inflamación puedan jugar un papel esencial en la resolución de inflamación y la recuperación de la homeostasis, por ello estudiaremos también los efectos de interleuquina (IL)-10 en el modelo de infección experimental. Otro buen desafío en este proyecto es la estandarización de un ensayo para cuantificar la respuesta media-



da por linfocitos T citotóxicos, que requiere de cultivos isogénicos. Este método, que está actualmente en desarrollo, es fundamental para determinar el papel de este tipo de respuesta celular en la eliminación eficaz de un patógeno intracelular como *P. salmonis*.

En conjunto, el desarrollo de los dos proyectos aquí brevemente descritos, generará conocimiento respecto a los mecanismos de inmunidad (innata y adquirida) que generan protección contra infecciones en salmón del Atlántico. Además, conoceremos la manera de inducir ese tipo de respuesta, de tal modo que los resultados generarán las bases de aplicaciones profilácticas y/o terapéuticas para la acuicultura.

### Financiamiento

The Research Council of Norway 294821  
Fondecyt 1201664  
Fondequip EQM 190130

### Agradecimientos a:

Norwegian University of Life Sciences (NMBU)

- Professor Margareth Øverland
- Dr. Byron Morales
- Dra. Brankica Djordjevic

Laboratorio de Inmunología,  
Centro de Biotecnología Acuícola

- Valentina Wong, Bioquímica.
- Felipe Barraza, Ing. en Biotecnología.
- Daniela Espinoza, Bioquímica
- Dra. Natalia Valdés
- Dr. Marcos Cortés



### Proyecto:

Financiado por ANID Fondecyt 1201664

### Directora:

Dra. Mónica Imarai,  
Universidad de Santiago de Chile (USACH)

### Co-Investigadores:

Dra. Ana María Sandino,  
Universidad de Santiago de Chile  
Dr. Felipe Reyes-López,  
Universidad de Santiago de Chile  
Todos los investigadores pertenecen al  
Centro de Biotecnología Acuícola (CBA)

### Bibliografía

Mihai G. Netea, Jessica Quintin, and Jos W.M. van der Meer. Trained Immunity: A Memory for Innate Host Defense. (2011) Cell Host & Microbe 9, 355-361. <https://dx.doi.org/10.1016/j.chom.2011.04.006>.

Mihai G. Netea, Leo A. B. Joosten, Eicke Latz, Kingston H. G. Mills, Gioacchino Natoli, Hendrik G. Stunnenberg, Luke A. J. O'Neill, Ramnik J. Xavier. Trained immunity: A program of innate immune memory health and disease. Science 352, aaf1098 2016 352, 6284 (2016). <http://doi.org/10.1126/science.aaf1098>.

Jessica Quintin, Sadia Saeed, Joost H.A. Martens, Evangelos J. Giannellos-Bourboulis, Daniela C. Ifrim, Colin Logie, Liesbeth Jacobs, Trees Jansen, Bart-Jan Kullberg, Cisca Wijmenga, Leo A.B. Joosten, Ramnik J. Xavier, Jos W.M. van der Meer, Hendrik G. Stunnenberg, and Mihai G. Netea. Candida albicans Infection Affords Protection against Reinfection via Functional Reprogramming of Monocytes. Cell Host & Microbe 12, 223-232, August 16, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chom.2012.06.006>.

Kevin Maisey, Ruth Montero, Yolanda Corripio-Miyar, Daniela Toro-Ascuy, Beatriz Valenzuela, Sebastián Reyes-Cerpa, Ana María Sandino, Jun Zou, Tiehui Wang, Christopher J. Secombes and Mónica Imarai. Isolation and characterization of salmonid CD4+ T cells. J of Immunology. 2016. 196: 4150-4163. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1500439>.

Luis Mercado, Byron Morales-Lange, Felipe Ramírez, Paulina Schmitt, Fanny Guzmán, Leidy Lagos, Margareth Overland, Valentina Wong-Benito, Mónica Imarai, Derie Fuentes, Sebastian Boltaña, Javier Alcaíno and Carlos Soto. Interferon gamma induces the increase of cell-surface markers (CD80/86, CD83 and MHC-II) in splenocytes from Atlantic salmon. Frontiers in Immunology. 2021. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.666356>.



# 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.

# Desempeño en campo de BEKA-VAX® Una nueva vacuna contra *Renibacterium salmoninarum* en Magallanes



VETERQUÍMICA®  
CREANDO SALUD ANIMAL

Kurt Pohlhammer Serey, Tomás Cancino Díaz, Loreto Tapia Díaz e Iván Valdés Valdivia

## Introducción

*Renibacterium salmoninarum*, agente causal de la enfermedad bacteriana del riñón (BKD, por sus siglas en inglés), es una bacteria que generalmente se presenta en forma de diplobacilos y es de crecimiento lento y fastidioso, siendo este uno de los principales problemas del método de cultivo y un inconveniente para los programas de control de la salud (Benediktsdóttir, Helgason, & Gudmundsdóttir, 1991). Su tiempo de incubación suele variar entre 18 a 21 días hasta 6 a 9 semanas a 12–15°C, en medio definido (Austin, 1985; Daly & Stevenson, 1993).

BKD es una patología que causa mortalidad en los peces, tanto en su estado natural como en salmónidos de cultivo, afectando las etapas productivas en agua dulce y engorda en agua de mar, con infecciones lentas y progresivas, especialmente en aguas frías (Fyer & Sanders, 1981; Alcorn, Murray, Pascho, & Varney, 2005). Típicamente, *R. salmoninarum* al inicio de la enfermedad no presenta síntomas externos bien definidos en los peces, los que si se manifiestan en forma muy visible en las etapas avanzadas de la enfermedad, branquias pálidas, hemorragia en áreas cercanas a las aletas, decoloración de la piel y abdomen (Fyer & Sanders, 1981; Bruno, 1986; Hirvelä-Koski, Pohjanvirta, Koski, & Sukura, 2006), e incluso exoftalmia severa bilateral, hemorragia sub opercular, abultamientos y úlceras en casos agudos. Esto ocurre en forma más prevalente cuando los peces permanecen en agua dulce y a baja temperatura.

En cuanto a síntomas internos, la enfermedad se presenta mediante 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 (Bruno, 1986). Una de las preocupaciones más importantes para los productores de peces, es que esta enfermedad se transmite en forma horizontal y vertical, siendo la transmisión vertical una preocupación permanente de monitoreo en poblaciones de peces destinados a reproducción (Mitchum & Sherman, 1981). En general, las vacunas basadas en patógenos bacterianos inactivados han demostrado ser muy eficaces en peces (Sommerset, Krossøy, Biering, & Frost, 2005), sin embargo,

los tratamientos y enfoques convencionales de vacunas no son efectivos contra *R. salmoninarum*, ya que no está clara la relación entre la habilidad de producir anticuerpos y la protección contra el patógeno (Alcorn, Murray, Pascho, & Varney, 2005).

Para un eficaz control de esta enfermedad, Veterquímica trabajó por varios años en la investigación y desarrollo de antígenos capaces de desarrollar inmunidad protectora contra esta enfermedad. Esta vacuna contra *R. salmoninarum* (BEKA-VAX®) está elaborada con bacterias locales que contempla propiedades inmunogénicas específicas del patógeno en la región de Magallanes donde existe obligatoriedad de vacunación contra el patógeno causante de BKD (RESA SERNAPESCA N° 6246, 19 diciembre 2017), esto como parte del programa sanitario general de vigilancia y control para la región de Magallanes y Antártica chilena.

La metodología empleada en el desarrollo de este ensayo se ajustó a lo indicado por la autoridad para inocuidad y eficacia bajo condiciones productivas. Alrededor de 1.000.000 de peces fueron inmunizados contra *R. salmoninarum* en fase de agua dulce, con un peso promedio de 87 gramos, de los cuales aproximadamente 500.000 fueron vacunados con BEKA-VAX® y el resto se considera como grupo Control. Posteriormente se realizaron análisis de seguimientos serológicos a tiempo cero (T0) y distintas unidades térmicas; Respuesta inmune celular (marcadores moleculares) a T0 y tiempos tempranos y tardíos de la vacunación. Finalmente, análisis diario de mortalidad en el centro de cultivo por necropsia y recopilación de datos semanales.

## Resultados

### Expresión relativa de ARN mensajero de moléculas asociadas a la respuesta inmunológica

Para determinar la respuesta inmune celular, se muestrearon peces en dos tiempos, el primer grupo fueron peces con 1 a 3 días post vacunación (Respuesta temprana) y el segundo con más de 7 días post inmunización (Respuesta tardía). Para realizar el análisis se extrajo ARN de muestras de cabeza de riñón y bazo

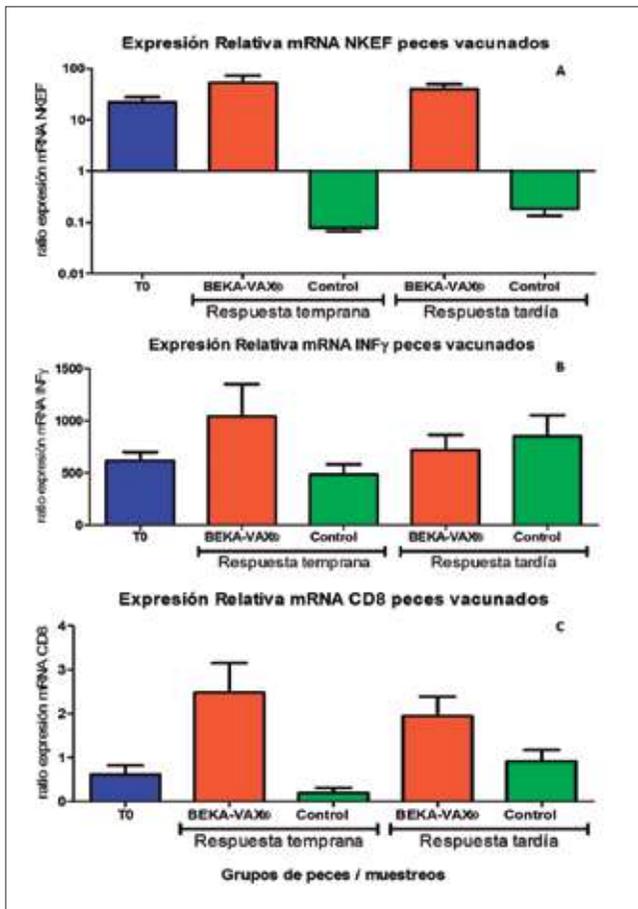


Figura 1. Expresión relativa de ARN mensajero de moléculas asociadas a la respuesta inmunológica. A) Factor de aumento de células Natural Killer (NKEF), B) Interferón- $\gamma$  (INF- $\gamma$ ), C) Población de linfocitos T CD8.

de los peces en estudio. Con esto, se evaluó la expresión relativa de ARN mensajero de los indicadores NKEF e INF- $\gamma$  además de la población celular de linfocitos T CD8, los cuales están asociados a la respuesta inmune citotóxica, la cual es requerida para proteger a los individuos de una infección intracelular, mecanismo utilizado por *R. salmoninarum*.

En la Figura 1A se observa la expresión relativa del factor de aumento de las células *Natural Killer*, el cual es secretado por los macrófagos como respuesta a una estimulación intracelular. En este caso se puede ver una sobrerregulación de la expresión de este factor en los peces vacunados con BEKA-VAX®, tanto en los estados tempranos como en los tardíos, a diferencia de los peces Control, en donde se observa una disminución de la expresión relativa de este factor.

La citoquina INF- $\gamma$  es expresada por las células linfocitarias para comunicar la existencia de una infección intracelular, con lo cual se activan los macrófagos para que eliminen los agentes intracelulares que tienen fagocitados. En la Figura 1B se observa que todos los peces vacunados presentan una sobrerregulación de INF- $\gamma$ . Para el caso de BEKA-VAX® se tiene que, tanto en la respuesta temprana como en la tardía, existe un aumento en la

expresión de este factor con respecto al T0, a diferencia del Control, en donde sólo en la respuesta tardía se ve este resultado, lo cual probablemente se debe a la naturaleza de esta vacuna. A pesar de que todas estas diferencias no son estadísticamente significativas, se observa una tendencia biológica.

Finalmente, los resultados de los análisis de la expresión relativa correspondiente a CD-8 demuestran una inducción de la expresión de los ARN mensajeros de los peces vacunados con BEKA-VAX®, tanto en períodos tempranos como en períodos tardíos (Figura 1C), lo que indica que estos peces vacunados presentaron estimulación de su sistema inmune celular. CD-8 se estudia porque es la población de células encargadas directamente de eliminar patógenos intracelulares, como *Renibacterium*. Por lo tanto, si una vacuna logra estimular la expresión de estas células, sugiere que está haciendo una presentación de antígenos cruzada, tanto por vía extracelular como intracelular, lo que ayudaría en la futura defensa del organismo contra el agente patogénico.

### Respuesta serológica, anticuerpos específicos contra *Renibacterium salmoninarum*.

El análisis de los títulos serológicos anti- *R. salmoninarum* se realizó mediante prueba de ELISA. Para esto se utilizaron sueros de peces inmunizados de los distintos grupos a distintos tiempos de muestreo (T0, pre-traslado a mar y post-traslado). La placa ELISA fue activada con un péptido específico, diseñado mediante bioinformática, que corresponde a una fracción de la proteína P57 de *Renibacterium salmoninarum*, lo cual permite obtener anticuerpos que otorgan especificidad a la prueba, y además garantiza el seguimiento de la respuesta serológica de los peces hacia el futuro.

Los títulos serológicos de ambos grupos vacunados resultaron ser mayores respecto del tiempo 0 a 900 UTA post vacunación, que corresponde al muestreo previo a traslado a mar, y en este punto se observó el máximo de respuesta serológica de los peces en estudio (Figura 2). Previo a traslado a mar, la diferencia en los títulos serológicos entre los grupos de BEKA-VAX® y el Control no difieren de forma estadísticamente significativa entre sí, pero si es posible observar una mayor homogeneidad en la secreción de anticuerpos (títulos serológicos) contra *R. salmoninarum* en el grupo vacunado con BEKA-VAX®, respecto de los peces Control. Adicionalmente, este fenómeno se repite a medi-

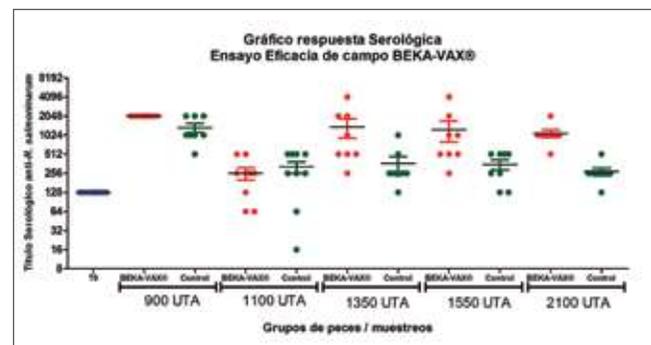


Figura 2. Respuesta serológica de peces vacunados con BEKA-VAX® y el Control en distintos tiempos de muestreo.

da que transcurre el tiempo de los peces en el mar, por lo tanto, se puede presumir que existe una memoria inmunológica contra el patógeno en los peces inmunizados, siendo los títulos serológicos de los peces vacunados con BEKA-VAX®, siempre mayores y más homogéneos que los peces Control, estas diferencias son estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis: 62,21;  $p$  value < 0,0001).

Es interesante mencionar que en la Figura 2 se aprecia una disminución en el título serológico de los peces a las 1100 UTAS (aproximadamente 45 días post-traslado a mar), sin embargo, en los siguientes muestreos el título serológico aumentó, lo cual coincide con observaciones del centro de cultivo en donde se presentó una mayor signología de la enfermedad (aumento mortalidad semanal por *R. salmoninarum*). Sin embargo, el grupo que aumentó de manera significativa el título serológico fue el de los peces vacunados con BEKA-VAX®, lo que permitiría reafirmar que los peces vacunados con esta formulación adquirirán memoria inmunológica.

### Análisis de mortalidad

La presencia del patógeno, o bien la manifestación clínica de la enfermedad se reduce en forma significativa en poblaciones vacunadas con BEKA-VAX®, siendo detectada la presencia del patógeno hasta 40 semanas post transferencia a agua de mar, pero con peces sin hallazgos de signos clínicos de la enfermedad. El análisis contempla las jaulas inmunizadas con BEKA-VAX® y jaulas Control.

En las jaulas vacunadas con BEKA-VAX®, las mortalidades semanales tienen una magnitud mucho menor respecto de las jaulas Control, tal como se observa en la Figura 3. Estas diferencias son estadísticamente significativas, considerando las 48 semanas de esta evaluación (Kruskal-Wallis: 62,21;  $p$  value = 0,0221). Además, al realizar un análisis de las áreas bajo la curva de los datos de porcentaje de mortalidad semanal en estas jaulas, se obtiene una razón entre el Control y BEKA-VAX® de 2,32, lo que se traduce en una protección 132% más efectiva al utilizar la vacuna de Veterquímica.

Finalmente, bajo condiciones productivas, BEKA-VAX® ha mostrado un desempeño equivalente de inmunoprotección en diferentes centros de cultivo vacunados durante el año 2021, siendo además significativa la disminución de morbilidad por la BKD en los peces vacunados.



Figura 3. Porcentaje de mortalidad semanal en función del total de peces a la siembra en las jaulas en estudio que no recibieron tratamiento con antibióticos.

### Conclusión

En relación a los análisis de la respuesta inmune de los peces en estudio, se realizó un análisis de marcadores moleculares celulares y una cinética de respuesta humoral específica contra el patógeno. Ambos ensayos mostraron que la vacuna BEKA-VAX® es capaz de estimular el sistema inmune al activar rutas celulares (aumento de CD8, NKEF e INF- $\gamma$ ) y aumentar el título de anticuerpos específicos contra *Renibacterium salmoninarum* en comparación al grupo control.

Respecto a la mortalidad de los peces se destaca que el grupo vacunado con BEKA-VAX® presenta mortalidades menores, estadísticamente significativas respecto al Control a la semana 48, lo que se relaciona con una protección mayor contra la enfermedad bacteriana del riñón.

Todos los resultados de las pruebas de eficacia indican que la vacuna BEKA-VAX® de la empresa Veterquímica S.A., es eficaz como ayuda en la prevención de la enfermedad bacteriana del riñón, demostrando una inmunidad de más de 1800 UTA en condiciones de campo en peces no sometidos a tratamientos con antibióticos.

### Referencias

- 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.
- Austin, B. (1985). Evaluation of antimicrobial compounds for the control of bacterial kidney disease in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Diseases*, 8, 209-220. doi:10.1111/j.1365-2761.1985.tb01216.x.
- Benediktsdóttir, E., Helgason, S., & Gudmundsdóttir, S. (1991). Incubation time for the cultivation of *Renibacterium salmoninarum* from Atlantic salmon, *Salmo salar* L., broodfish. *Journal of Fish Diseases*, 14 1 97-102, doi: 10.1111/j.1365-2761.1991.tb00580.x.
- Bruno, D. (1986). Histopathology of bacterial kidney disease in laboratory infected rainbow trout, *salmo gairdneri* Richardson, and atlantic salmo, *salmo salar*, with reference to naturally infected fish. *Journal of Fish Diseases*, 9(6):523 - 537, DOI:10.1111/j.1365-2761.1986.tb01049.x.
- Daly, J., & Stevenson, R. (1993). Nutrient Requirements of *Renibacterium salmoninarum* on Agar and in Broth Media. *Applied and environmental microbiology*, 59(7), 2178-2183. <https://doi.org/10.1128/aem.59.7.2178-2183.1993>.
- Fyer, J., & Sanders, J. (1981). bacterial kidney disease of salmonid fish. *Annual reviews Microbiology*, 35:273-98, DOI: 10.1146/annurev.mi.35.100181.001421.
- Hirvelä-Koski, V., Pohjanvirta, T., Koski, P., & Sukura, A. (2006). Atypical growth of *Renibacterium salmoninarum* in subclinical infections. *Journal of fish diseases*, 29(1), 21-29. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2005.00677.x>.
- 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.
- Sommerset, I., Krossøy, B., Biering, E., & Frost, P. (2005). Vaccines for fish in aquaculture. *Expert review of vaccines*, 4(1), 89-101. <https://doi.org/10.1586/14760584.4.1.89>.

# Toda compañía quisiera proteger su inversión en una **burbuja**... nosotros lo hacemos con **millones de ellas**

*Más de 5 años protegiendo los peces de cultivo. Ahora queremos agregar valor a la industria de la desalación*

Las **barreras de micro burbujas Low O<sub>2</sub>** protegen los intakes o torres de succión de agua de mar, permitiendo captar un agua más limpia para los procesos de desalación u otros.

- Líderes en barreras de micro burbujas a nivel mundial.
- 91% de efectividad contra el ingreso de fitoplancton y blooms de microalgas.
- 87% de efectividad contra el ingreso de zooplancton y medusas.
- Bloqueo de ruido submarino, derrames de hidrocarburos y basura flotante.
- Más de 160 proyectos en Chile y otros países.



## Beneficios Opex

- Menor incrustación de biofouling en tuberías.
- Menor consumo de energía eléctrica y de químicos.
- Menor recambio de membranas y filtros.
- Menores costos de mantenimiento y limpieza.
- Menores tiempos de paros no programadas.

lowo2.cl

info@lowo2.cl

**LOW**  
water aeration solutions

# Evaluación Acústica Subacuática de pérdida de inserción en barreras de microburbujas de aire



Daniel Nieto Díaz-Muñoz PhD, Bruno López Aedo y Alfio Yori PhD

## Introducción

El uso de cortinas de burbujas en actividades marinas y acuáticas en general es una práctica creciente en operaciones tan diversas como la mitigación del impacto causado por un bloom de microalgas en un cultivo de peces o la mitigación del ruido submarino creado durante el hincado de pilotes de muelles y plataformas marinas; este ruido afecta negativamente la interacción poblacional y reproductiva de ballenas y delfines incluso a cientos de kilómetros de distancia. Esta situación ha puesto el ruido submarino en la lente de investigadores, científicos, la industria constructora de obras marítimas, la opinión pública y las autoridades gubernamentales en la mayoría de los países (Figura 1). Se puede decir con toda propiedad que las cortinas de burbujas tienen su mayor relevancia en la protección de los ecosistemas marinos.

Las barreras de burbujas de aire bajo el agua pueden funcionar como barreras acústicas, empleadas en el aislamiento de fuentes de ruido subacuático y la reducción del impacto de este origen en el entorno marino. Si bien su eficiencia aún no ha sido estandarizada, éstas son frecuentemente empleadas a nivel mundial como medida de mitigación del impacto acústico subacuático en proyectos donde existen potenciales receptores que este impacto pueda afectar de las más diversas formas, no solo a mamíferos marinos sino también a peces, crustáceos y otros organismos.

La empresa PSP Soluciones solicitó al Instituto de Acústica de la UACH realizar una evaluación de la atenuación acústica proporcionada por sus barreras de burbujas de aire, la cual se realizó en el canal de pruebas de la Facultad de Ingeniería Naval de la Universidad Austral de Chile. El parámetro evaluado fue la Pérdida de Inserción (IL) que se estima a partir del nivel de presión sonora generado por una fuente sonora e incidiendo en un punto, con y sin la presencia del elemento atenuador a evaluar. Esta evaluación tiene carácter de inicial y será complementada próximamente con mediciones de campo. El Canal de Prueba permitió realizar mediciones en un ambiente controlado, el cual permitió probar la atenuación proporcionada por distintas configuraciones de barreras de burbujas. Con este trabajo se preten-

de aportar antecedentes objetivos a las modelaciones que para estos efectos realizan los profesionales del Ministerio del Medio Ambiente y las empresas cuyo rubro es la construcción en el mar y de esta forma contribuir a la salvaguarda de las especies y ecosistemas marinos.

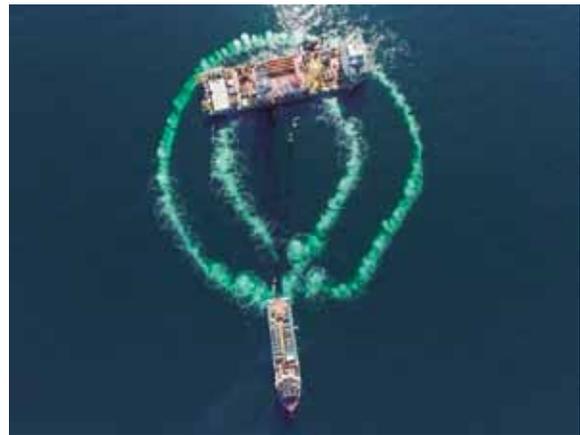


Figura 1: Foto aérea de cortina de burbujas alrededor de una operación marina.

## Objetivo del Estudio

### OBJETIVO GENERAL

Realizar evaluación bajo condiciones controladas de la atenuación o pérdida de inserción (IL) subacuática proporcionada por las barreras de burbujas de aire de la empresa PSP Soluciones.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Construir un sistema de medición estable y que minimice las limitantes acústicas del lugar de medición.

Calcular la pérdida de inserción para distintas configuraciones de barreras, en cuanto a su número y separación.

Calcular la pérdida de inserción en banda ancha y por bandas de frecuencia de tercio de octava para cada configuración de barrera evaluada.



Figura 2: Canal de Pruebas, UACH Valdivia.

## Materiales y Metodo

### EL CANAL DE ENSAYOS

El Canal es de acero, tiene una longitud de 45 metros junto a una sección transversal de 3m de ancho y 2m de profundidad, lo que permite realizar distintos tipos de ensayos con modelos a escala. Cuenta además con un carro de aluminio el que suele utilizarse para remolcar modelos de embarcaciones, no obstante, puede ser usado también como plataforma para el montaje de instrumentos de medición. El Canal, único en su tipo en Chile, también está provisto de un generador de olas irregulares (Figura 2).

El equipamiento empleado en la medición de la atenuación acústica subacuática proporcionada por las barreras de burbujas en evaluación fue el siguiente:

- Parlante piezoeléctrico submarino marca Lubell Labs, modelo LL916H.
- Amplificador marca Peavey, modelo 2600, 75 watt RMS.
- Sonómetro tipo 1 marca NTI, modelo XL2
- Hidrófono marca Cetacean Research Technology, modelo C55.
- Grabador 8 pistas marca Tascam, modelo DR680.
- Fuente de poder Cetacean Research Technology modelo 736.
- Fuente de ruido blanco.

El rango de frecuencia en que trabaja el parlante empleado en el estudio va desde los 200 Hz a los 23000 Hz. El rango de frecuencia de trabajo del hidrófono va desde los 15 Hz a los 44000 Hz.

## Metodología de los ensayos:

### MONTAJE

El montaje se realizó en el canal de pruebas ya mencionado. Teóricamente, la profundidad del agua nos entrega un rango de trabajo sobre los 200 Hz, ya que las frecuencias menores no se propagarán a lo largo del canal [1][2]. No obstante, la presencia de las paredes del canal sí permite propagación bajo esta frecuencia de corte [3].

Como muestra la Figura 3, la fuente sonora y el hidrófono se ubicaron con una distancia de separación de 20 m. Se evaluaron tres líneas dobles de burbujas, identificadas como Línea 1, Línea 2 y Línea 3, ubicadas a 5 m, 7 m y 10 m respectivamente desde la fuente sonora. La Línea 2' corresponde a la misma Línea 2 reubicada a una distancia de 15 m desde la fuente.

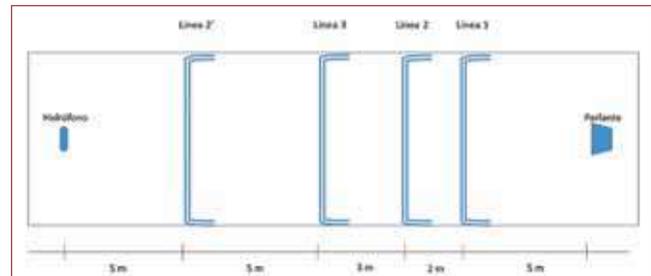


Figura 3: Instalación de las barreras de burbujas.

Para cada una de las mediciones, el hidrófono se ubicó en cuatro posiciones distintas, tal como lo muestra la Figura 4, con el objetivo de minimizar la posibilidad de coincidencia con algún modo normal al interior del canal. Los resultados obtenidos en estos cuatro puntos se promediaron, para así obtener un solo valor promediado espacialmente.

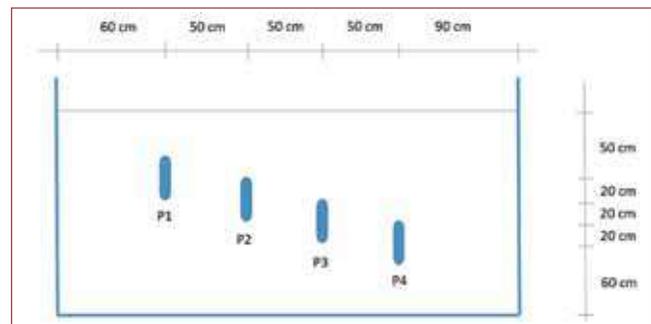


Figura 4: Puntos de mediciones con el hidrófono.

### METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

La fórmula empleada para la medición de la pérdida de inserción es la entregada por la Ecuación 1, dada por  $IL = Lps - Lpx.x$  dB (Ec.1), donde:

**Lps:** Nivel de presión sonora generado por el parlante en la posición del hidrófono y en ausencia de la barrera evaluada, dB re.1μPa. **Lpx.x :** Nivel de presión sonora generado por el parlante en la posición del hidrófono y en presencia de la barrera evaluada, dB re.1μPa.

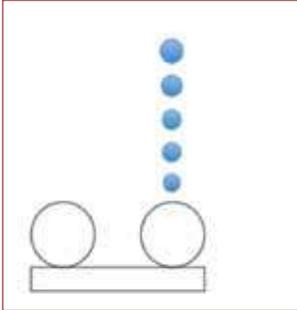


Figura 5: Lp 1.1

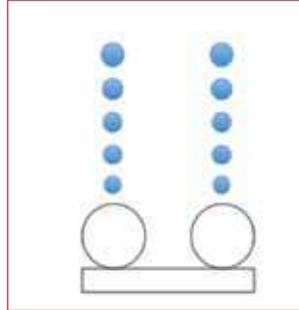


Figura 6: Lp 1.2

En el subíndice x.x, la primera x indica el número de la línea considerada, que puede ser 1, 2, 3 o 2'. La segunda x indica el número de barreras de burbujas por línea, que pueden ser una o dos. Por ejemplo, Lp1.1 corresponde al nivel de ruido medido en la posición del hidrófono, mientras la línea 1 trabaja con solo una de sus barreras burbujas (Figura 5). Lp1.2 se refiere a la línea 1 con las dos barreras de burbujas trabajando (Figura 6). Una representación gráfica del experimento se presenta en la Figura 7.



Trabajo, equipos e instrumentos de medición.

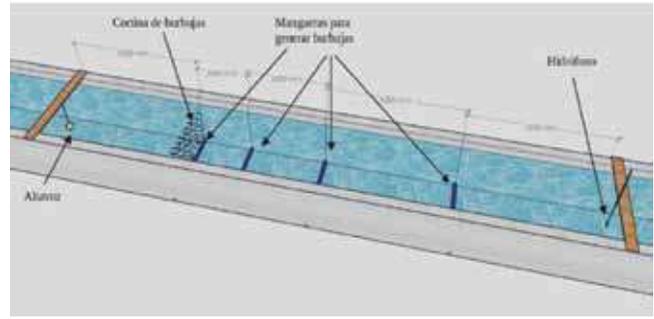


Figura 7: Instalación de las barreras de burbujas, parlante e hidrófono.

### Resultados y Discusión

El nivel de ruido de fondo con el sistema generador de burbujas funcionando alcanzó los 120.1 dB, y sin éste funcionando los 118 dB, ambos referidos a 1 micro pascal. El parlante empleado generó un nivel promedio de 161.8 dB en los puntos de medición, lo cual nos entrega una relación señal ruido de 41.7 dB, la cual es muy buena.

En cuanto a la atenuación entregada por las barreras evaluadas, las líneas 1, 2 y 3 entregan pérdidas de inserción en banda ancha similares, las que están en torno a los 11.4 dB.

Esto nos indica que la distancia a la cual se ubica la barrera desde la fuente no incide en la atenuación proporcionada por la barrera. Ahora, si se activan las dos barreras de burbujas de la línea, se observa un incremento de 0.3 dB en la pérdida de inserción, llegando ésta a los 11.7 dB.

### RESPECTO DE LOS DECIBELES Y SU SIGNIFICADO:

Atenuación dB	Disminución de energía acústica, %	Implica:	Percepción humana
-1	20	Reducción al 80%	No perceptible
-3	50	Reducción al 50%	Apenas perceptible
-6	75	Reducción al 25%	
-10	90	Reducción al 10%	Se percibe una disminución a la mitad del valor inicial
-12	94	Reducción al 6%	
-15	97	Reducción al 3%	

### Conclusión

Las barreras evaluadas entregan atenuaciones en banda ancha más que aceptables, estando éstas entre los 11 y 12 dB en su configuración más simple.

Estos valores son muy interesantes considerando las atenuaciones que se logran normalmente con barreras acústicas en problemas de transmisión aérea.



Trabajo, equipos e instrumentos de medición.

En configuraciones dobles se pueden obtener pérdidas de inserción en banda ancha de hasta 16 dB, lo cual es excelente, pero habría que evaluar su costo beneficio.

En términos de bandas de frecuencia, las barreras entregan atenuaciones que van desde los 10 dB hasta los 25 dB, lo cual es un muy buen resultado, ya que corrobora que la atenuación entregada por la barrera será siempre mayor o igual a los 10 dB.

### Bibliografía

- [1] W. J. Richardson, C. R. Greene Jr., C. I. Malme, D. H. Thomson: Marine mammals and noise. Academic Press Inc., New York, 1995.
- [2] Urlick R., "Principles of underwater sound", third edition, Peninsula Publishing, 2010.
- [3] Michael Möser, José Luis Barros. Ingeniería Acústica: Teoría y Aplicaciones. Springer, 2009.

### Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Ing. Gonzalo Tampier Brockhaus, Administrador del Canal de Ensayos Hidrodinámicos Instituto de Cs. Navales y Marítimas Universidad Austral de Chile y su equipo humano y especialmente al Dr. Alfio Yori y a José Luis Barrientos del Instituto de Acústica de la misma Universidad por su muy importante contribución a generar datos que orientan la vocación de mejora continua de PSP.

# El uso de florfenicol en la salmonicultura chilena: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS



Universidad  
Andrés Bello



Rubén Avendaño-Herrera<sup>1,2,3</sup>, Marcos Mancilla<sup>4</sup> y Claudio D. Miranda<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Patología de Organismos Acuáticos y Biotecnología Acuícola, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile

<sup>2</sup> Centro FONDAF, Interdisciplinary Center for Aquaculture Research (INCAR), Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile

<sup>3</sup> Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), Universidad Andrés Bello, Valparaíso, Chile

<sup>4</sup> Laboratorio de Diagnóstico y Biotecnología, ADL Diagnostic Chile, Puerto Montt, Chile

<sup>5</sup> Laboratorio de Patobiología Acuática, Departamento de Acuicultura, Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

Florfenicol, es un antimicrobiano sintético de amplio espectro aprobado para su uso exclusivo en patología veterinaria.

Este antimicrobiano presenta una acción preferentemente bacteriostática, inhibiendo la síntesis de proteínas al unirse reversiblemente a las subunidades ribosomales 50S de las bacterias susceptibles, deteniendo la actividad de la peptidil transferasa, y así consecuentemente prevenir la transferencia de los aminoácidos a las cadenas peptídicas crecientes y detener la formación de las proteínas. Cabe hacer notar que altas concentraciones de florfenicol pueden ejercer un efecto bactericida sobre algunas bacterias, siendo más activo que cloranfenicol y tianfenicol, compuestos que no se emplean en la acuicultura chilena.

Florfenicol es un análogo sintético fluorado de tianfenicol y cloranfenicol, pero con una actividad similar o mayor que aquellas de estos antimicrobianos. Florfenicol contiene un átomo de flúor en lugar del grupo hidroxilo localizado en el Carbono-3 en la estructura del cloranfenicol y tianfenicol (Figura 1), lo que le permite no ser susceptible a la desactivación enzimática, mediada por la acetilación del grupo hidroxilo del Carbono-3 en cloranfenicol y tianfenicol, y que previene su interacción con los ribosomas bacterianos. Por otra parte, florfenicol, carece del grupo nitro localizado en el anillo aromático del cloranfenicol, que ha sido asociado con la anemia aplásica inducida por cloranfenicol. Florfenicol, a diferencia de oxitetraciclina, el segundo antimicrobiano más utilizados en la salmonicultura chilena, presenta características farmacocinéticas muy buenas, siendo rápidamente metabolizado en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) a temperaturas acuáticas de 8,5 a 11,5°C, siendo el principal metabolito florfenicol amina (Horsberg et al., 1994). También es importante hacer notar que, comparativamente, florfenicol tiene una mejor

absorción plasmática que oxitetraciclina y flumequina, lo que significa que el principio activo llega más rápido y en mayor cantidad a los lugares donde debe ejercer su función. Al realizar un tratamiento con florfenicol administrando una dosis de 10 mg/kg de pez por un período de 10 días, se obtiene una apropiada absorción plasmática del florfenicol, observándose durante todo el período de tratamiento una concentración plasmática superior a 4.000 µg/L y un efecto residual de 2 días post-tratamiento. Por otra parte, cuando florfenicol es administrado por vía intraperitoneal en salmón del Atlántico, su período de eliminación es de 12,2 horas a una temperatura del agua de 10,8 ± 1,5 °C (Martinsen et al., 1993).

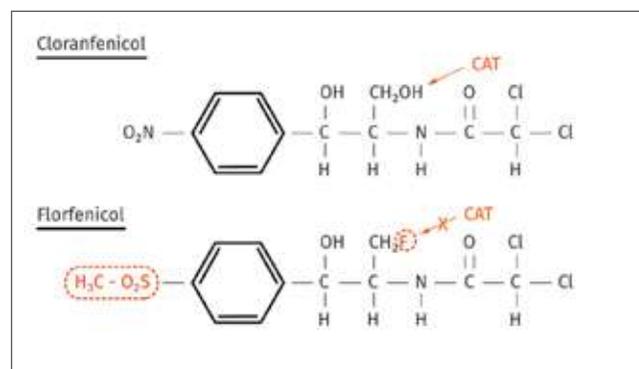


Figura 1. Estructura química de florfenicol y cloranfenicol. CAT: cloranfenicol acetil-transferasa.

A diferencia de oxitetraciclina, segundo antimicrobiano más usado en la salmonicultura nacional, el florfenicol es altamente lipofílico, lo que permite proporcionar concentraciones suficientemente altas para el tratamiento de patógenos intracelulares y

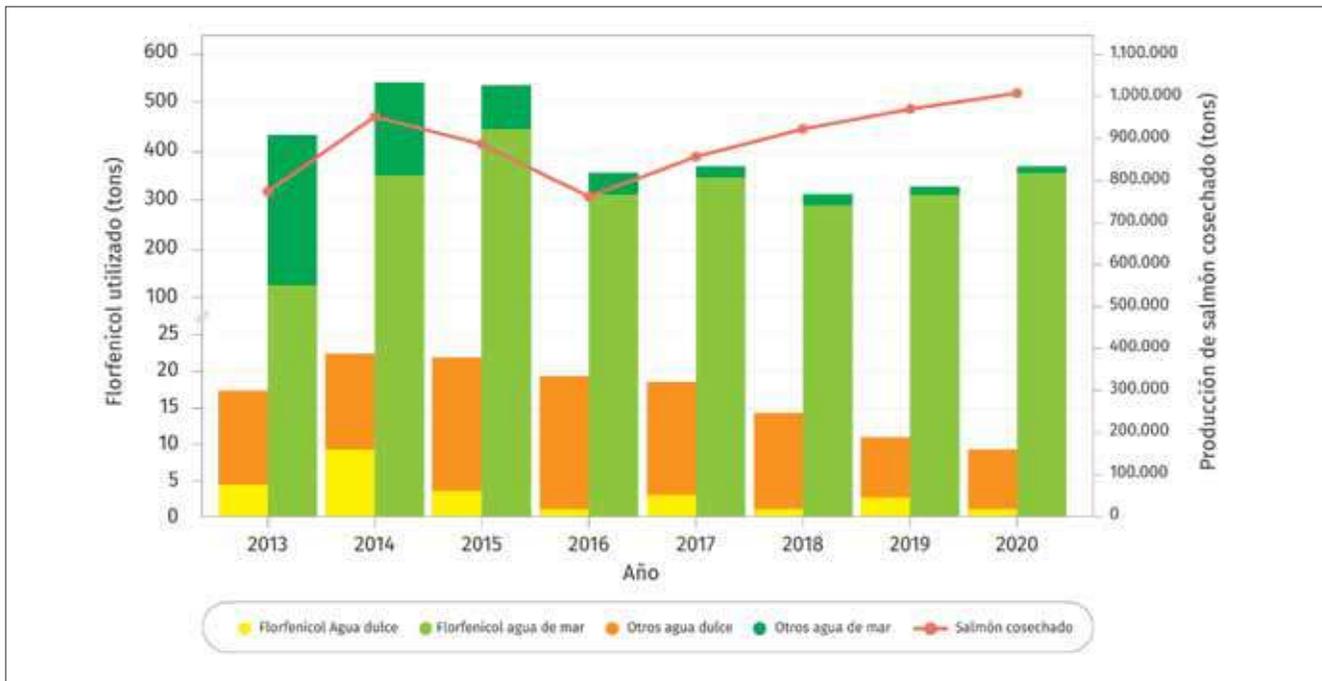


Figura 2. Producción anual de salmónidos cultivados y uso de florfenicol en Chile.

atravesar algunas barreras anatómicas de los peces, lo que sugiere una actividad más eficiente para el tratamiento del patógeno intracelular *Piscirickettsia salmonis*. Ello considerado a esta bacteria intracelular como la principal causa de uso de florfenicol en la industria salmicultora en Chile, reconociéndose un 54,4% de las mortalidades de salmón del Atlántico durante el cultivo en fase marina o engorda (Sernapesca 2021).

En términos comparativos, el uso de florfenicol en el medio dulceacuícola ha disminuido de manera consistente desde el año 2014 al 2020, desde 22,5 a 9,1 toneladas anuales, como se observa en la Figura 2. En contraposición, en el medio marino se han utilizado continuamente sobre 300 toneladas anuales en los últimos años, constituyendo más del 98% de los antimicrobianos utilizados en esta etapa del cultivo. Así, se puede observar una tendencia sostenida de aumento en su uso en los últimos años, con un uso anual de 291,8 toneladas en el 2018; 317,9 toneladas en el 2019 y 365,4 toneladas en el 2020 (Figura 2).

Una preocupación importante que se desprende del uso intensivo de florfenicol es si está relacionado a eventos de falla terapéutica y resistencia en los animales donde se suele administrar. Un buen indicador es el valor que da la prueba de susceptibilidad a esta droga sobre patógenos que afectan a dichos animales. Precisamente, con el fin de asegurar la efectividad de los tratamientos con florfenicol, la realización de la prueba de Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) es indispensable. Esta prueba se realiza sobre la bacteria causante del cuadro infeccioso o enfermedad para la cual se justifica la administración de la terapia. Por ello, se requiere primero recuperar el aislado de *P. salmonis* causante de la enfermedad en medios de cultivo apropiados. La posterior manipulación del aislado en condiciones *in vitro* per-

mitirá determinar un valor de concentración del fármaco al cual es susceptible, es decir, una concentración donde el crecimiento de la bacteria se ve notoriamente disminuido (valor CMI). Dicho valor sirve como referencia para el tratamiento de un aislado, incluso en la decisión de tratar o no bajo un escenario donde no se conocen datos farmacocinéticos y farmacodinámicos (PK/PD, en inglés). Cuando uno aplica la prueba de susceptibilidad a una población de aislados representativa, entendiendo como tal que tengan distintos años de aislamiento, hospederos, áreas geográficas, entre otras, es posible establecer un valor de corte (cut-off, en inglés) que representa una línea divisoria de esta población en dos categorías: los aislados completamente susceptibles o silvestres a la droga (*wild-type* o WT) de aquellos aislados de susceptibilidad reducida o no silvestres (*non-wild-type* o NWT).

El valor de corte de una población bacteriana es especie-específica y se denomina punto de corte epidemiológico o  $CO_{wt}$ . Dicho valor de concentración *in vitro* representa una buena estimación acerca de si un aislado de campo ha adquirido un mecanismo (gen, mutación) de resistencia a la droga en estudio. Aquellos aislados cuyo valor CMI está por sobre el  $CO_{wt}$  son aquellos no silvestres que, lo más probable, hayan adquirido un gen de resistencia (Figura 3). A menudo se tiende a confundir el  $CO_{wt}$  con el valor de corte clínico o  $CO_{cl}$ , el cual es un predictor de la tasa de éxito de un tratamiento farmacológico de un brote infeccioso. Por lo mismo, es importante aclarar que el valor  $CO_{wt}$  no tiene *per se* un valor clínico; solo sirve para pronunciarse sobre la posibilidad de adquisición de mecanismos de resistencia a los antibióticos por parte de un aislado bacteriano. Lo que ocurre es que, dependiendo del microorganismo, el  $CO_{wt}$  puede resultar cercano al valor de corte clínico. De aquí deriva la tendencia de darle una connotación clínica. Metodológicamente hablando, el

valor de corte clínico implica integrar información de una serie de parámetros, entre ellos el  $CO_{wt}$ . Por lo tanto, el utilizar el  $CO_{wt}$  como único indicador para aproximarse a una dosis terapéutica a recomendar es incorrecto. Esto es especialmente relevante cuando se está en presencia de enfermedades producidas por patógenos intracelulares. Estos últimos pueden encontrarse en el hospedero en lugares difíciles de acceder para los antibióticos, por lo que el valor CMI no refleja la concentración mínima necesaria de antibiótico a la cual deben llegar a ser expuestos para lograr inhibirlos o eliminarlos. Otro punto a considerar es que el  $CO_{wt}$  no es un valor estático y puede cambiar si año tras año se enriquece incorporando más aislados en su cálculo, siendo un valor dinámico y flexible. En este sentido, lo relevante es conocer la proporción de aislados no silvestres que pueden ir apareciendo por el uso rutinario de un antimicrobiano por sobre otro.

En el caso de los salmónidos, existen cuatro trabajos publicados por grupos de investigación nacionales que dan cuenta de un esfuerzo por determinar el nivel de susceptibilidad de *P. salmonis* al florfenicol. Un primer estudio, indica que el valor  $CO_{wt}$  para florfenicol calculado en una colección de 292 aislados de *P. salmonis* fue de  $\leq 2,0 \mu\text{g/mL}$  (Henríquez et al, 2016). El mismo grupo de investigación de ADL Diagnostic Chile extendió más tarde el estudio a 507 aislados, aunque no actualizó el valor de  $CO_{wt}$  (Saavedra et al, 2017). El Instituto de Fomento Pesquero, IFOP, publicó el mismo año un trabajo sobre 58 aislados de *P. salmonis*, proponiendo un  $CO_{wt} \leq 0,25 \mu\text{g/mL}$  (Contreras-Lynch et al, 2017). Mas recientemente, investigadores de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Chile, FAVET, establecieron un  $CO_{wt} \leq 0,25 \mu\text{g/mL}$  en base a resultados CMI sobre 87 aislados de *P. salmonis* (San Martín et al, 2019). En estos trabajos, la ejecución del protocolo CMI se realizó usando el método de micro-dilución como aconseja la normativa internacional, con la única diferencia en el medio de cultivo empleado por los distintos laboratorios. Si bien, el no haber utilizado un mismo medio de cultivo no permite comparar los resultados de dichos estudios, la Figura 3 muestra las distribuciones de valores CMI de las colecciones de aislados de *P. salmonis* analizadas y publicadas a la fecha. Se observan dos distribuciones normales o “gaussianas” que se superponen en el valor de  $0,5 \mu\text{g/mL}$ . Si asumimos un  $CO_{wt} \leq 0,5 \mu\text{g/mL}$ , entonces la proporción de aislados NWT es de 32,6 %.

Como se evidencia, el florfenicol es una herramienta terapéutica esencial para la salmicultura en Chile y su uso se enmarca en medidas normativas y buenas prácticas que deben ser implementadas por los mismos cultivadores, teniendo como premisa la disminución de las cantidades empleadas en el futuro. Esta situación permitirá mantener no solo la eficacia de campo del florfenicol, sino también prevenir el riesgo de la liberación de residuos en el ambiente acuático y su potencial impacto en la salud humana y sanidad animal. Hoy, la sociedad nos exige establecer un uso responsable y prudente del florfenicol en los sistemas de producción intensiva de salmónes, manifestándose en una serie de medidas y recomendaciones que se encuentran en la iniciati-

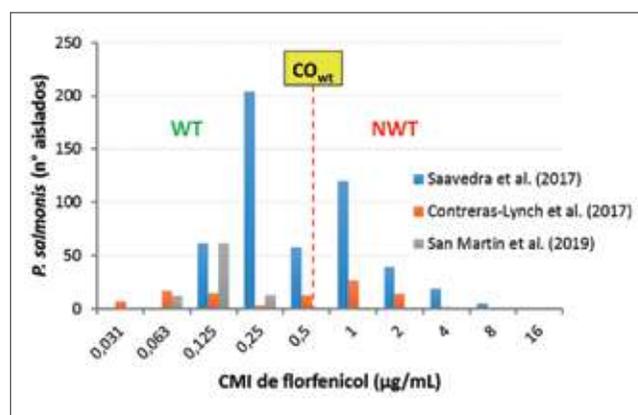


Figura 3. Distribución de valores de Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) de florfenicol de aislados de *P. salmonis* obtenidos de estudios realizados en Chile.  $CO_{wt}$  es el valor de corte epidemiológico aparente. WT y NWT hacen referencia a las subpoblaciones de aislados silvestres y no silvestres o de susceptibilidad reducida, respectivamente.

va de “Una sola salud” (One Health, en inglés) propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y apoyada por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). En este sentido, el fenómeno de la aparición y transmisión de resistencia a antimicrobianos amenaza el control de enfermedades a nivel mundial tanto para la salud humana como para la animal y el medio ambiente, lo que lo convierte en un tema clave y en un problema actual de “Una sola salud”.

“Una sola salud” es un enfoque para diseñar e implementar programas, políticas, legislación e investigación en el que múltiples sectores se comunican y trabajan juntos para lograr mejores resultados de salud pública. La lucha contra la resistencia a los antibióticos es un área de especial relevancia abordada por el enfoque de “Una sola salud”. En este sentido, bacterias resistentes a los antimicrobianos asociadas con la salmicultura podrían colonizar y transmitirse entre animales, seres humanos y el medio acuático. Por lo tanto, se requiere un enfoque bien coordinado para promover respuestas multisectoriales a las amenazas para la salud pública en la interfaz entre humanos, animales y ecosistemas y brindar orientación sobre la reducción de riesgos.

El objetivo del plan de acción global es asegurar que la prevención y el tratamiento exitosos de las enfermedades infecciosas continúen el mayor tiempo posible con medicamentos que sean efectivos, seguros, de calidad garantizada, utilizados de manera responsable y accesibles a todas las personas que lo necesiten. En julio de 2017, el Ministerio de Salud de Chile aprobó un plan nacional contra la resistencia a antimicrobianos, cuyos detalles se alinean con las conclusiones extraídas por la 68 Asamblea Mundial de la Salud. El plan nacional, que contempla acciones intersectoriales para reducir los riesgos de aparición y diseminación de resistencias, implica la coordinación y cooperación entre el Ministerio de Salud de Chile, la Subsecretaría de Agricultura y Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), como representante del sector acuícola. La premisa es establecer

y garantizar el cumplimiento de obligaciones éticas protegiendo el bienestar animal para lograr buenos rendimientos en la producción de alimentos manteniendo la armonía con el medio ambiente.

Según la Ley de Pesca y Acuicultura y el Decreto Supremo N° 319 de 2001, SERNAPESCA es la autoridad responsable de controlar el uso responsable y prudente de productos farmacéuticos, instituyéndose un Programa Sanitario General para el Uso de Antimicrobianos en la Salmonicultura y otros Peces de Cultivo (Resolución Exenta N° 8228 de 2015). Como primera acción del plan fue el prohibir el uso preventivo de antimicrobianos y requerir que los tratamientos estén respaldados por una prescripción veterinaria reportada a SERNAPESCA por la empresa salmonera. Las empresas salmoneras también están obligadas a mantener registros de cualquier tratamiento aplicado e informar dichos tratamientos dentro de los primeros 12 días de cada mes a través del Sistema de Información para la Fiscalización de la Acuicultura (SIFA), una plataforma digital administrada por SERNAPESCA. Desde 2007, SERNAPESCA también supervisa el Programa de Control de Residuos de Productos Farmacéuticos y Sustancias Contaminantes. Este programa permite una serie de inspecciones en la cadena productiva del salmón, asegurando el cumplimiento de los requisitos antimicrobianos establecidos por los mercados objetivo internacionales. Para ello, el Ministerio de Salud establece el Límite Máximo de Residuos (LMR) que los alimentos de origen animal pueden contener para ser aptos para el consumo humano, indicando para el florfenicol (es decir, la suma de florfenicol y florfenicol amina) un valor de 1.000 µg/kg de carne de pescado para Chile, la Unión Europea, Japón, la Unión Económica Euroasiática y China. Por tanto, el salmón chileno de cultivo adhiere a estas normas, lo que garantiza la seguridad para su consumo. Por tanto, el uso de antimicrobianos en la industria chilena de cultivo de salmónidos está bastante regulado en la etapa de engorda en mar, situación que está pendiente en pisciculturas. Así, es necesario medidas adicionales y programas de monitoreo activo para los patógenos que afectan durante el cultivo dulceacuícola y su tratamiento.

Sin embargo, la alta cantidad de florfenicol usada durante la etapa marina y en la mayoría de las ocasiones sin apoyarse en el estudio de CMI sigue siendo un tema por resolver. Una recomendación clara es incentivar el registro por parte de las compañías farmacéuticas de nuevos medicamentos de uso veterinario, específicamente para cada especie de salmónido. Además de un número limitado de terapias aprobadas, el uso de antimicro-

bianos en Chile también está limitado por el hecho de que los tratamientos administrados son solo de naturaleza metafiláctica. Sin embargo, asegurar la efectividad metafiláctica del florfenicol requerirá la implementación de: (1) el aislamiento de las bacterias causante de los brotes infecciosos; (2) la determinación de concentración mínima inhibitoria (CMI) para fundamentar la dosis y período de tratamiento; (3) monitoreo e informes científicos de los resultados de los tratamientos metafilácticos (actualmente no se aborda, lo que significa que se desconoce la eficacia en el campo); y (4) planes de mitigación o los ambientes y ecosistemas en los que se aplica el florfenicol.

Otro desafío urgente por resolver es la alta prevalencia de brotes de piscirickettsiosis en los centros de engorda, específicamente, se necesitan estrategias no terapéuticas y ecológicas para controlar *P. salmonis*. Todas estas medidas permitirán reducir el uso de florfenicol y sus efectos negativos que podrían impedir la sostenibilidad de la industria salmonera, incluyendo iniciativas aliadas con el enfoque de “Una sola salud” para avanzar en el cierre de las brechas identificadas.

**Agradecimientos:** FONDAP INCAR 15110027

## Referencias

- Contreras-Lynch S, Smith P, Olmos P, Loy ME, Finnegan W and Miranda CD (2017).** A novel and validated protocol for performing MIC tests to determine the susceptibility of *Piscirickettsia salmonis* isolates to florfenicol and oxytetracycline. *Front Microbiol* 8, 1255.
- Henríquez P, Kaiser M, Bohle H, Bustos P and Mancilla M (2016).** Comprehensive antibiotic susceptibility profiling of Chilean *Piscirickettsia salmonis* field isolates. *J Fish Dis* 39, 441–448.
- Horsberg TE, Martinsen B and Varma KJ.** The disposition of 14 Cflorfenicol in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 122, 97–106.
- Martinsen B, Horsberg TE, Varma KJ, et al.** Single dose pharmacokinetic study of florfenicol in Atlantic salmon (*Salmo salar*) in seawater at 11 °C. *Aquaculture* 112, 1–11.
- Saavedra J, Hernández, N, Osses A, Castillo A, Cancino A, Grothusen H, Navas E, Henríquez P, Bohle H, Bustamante F, Bustos P and Mancilla M (2017).** Prevalence, geographic distribution and phenotypic differences of *Piscirickettsia salmonis* EM-90-like isolates. *J Fish Dis* 40, 1055–1063.
- San Martin B, Fresno M, Cornejo J, Godoy M, Ibarra R, Vidal R, Aranedo M, Anadon A and Lapierre L (2019).** Optimization of florfenicol dose against *Piscirickettsia salmonis* in *Salmo salar* through PK/PD studies. *PLoS One* 14, e0215174.
- Sernapesca (2021).** Informe sanitario de la salmonicultura en centros marinos 1° semestre 2021. Departamento de salud animal, subdirección de acuicultura, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, agosto 2021, 37 pp.

# OTAQ

## AQUACULTURE

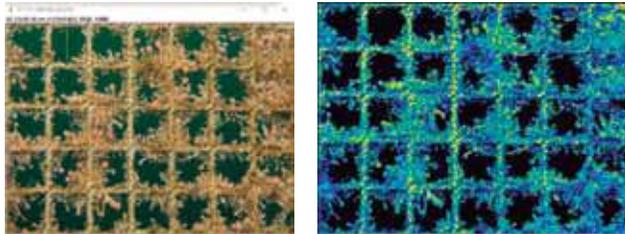
La tecnología de última generación de OTAQ se alinea con el bienestar animal optimizando la rentabilidad de tu negocio

**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.

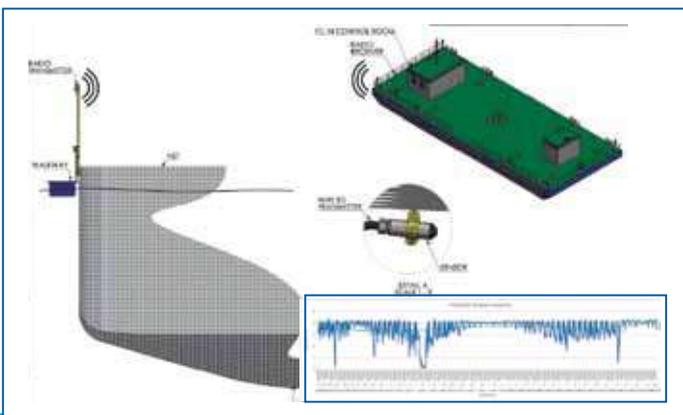
### CAMARA EAGLE IP

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](http://www.otaq.com)



# SalmonChile

## Salmonicultura en primera persona

La salmonicultura está desde hace más de 35 años en nuestro país. Durante este tiempo el sector salmonero ha tenido diversos hitos y proyectos que han enmarcado el camino que los ha llevado a ser una de las principales actividades del país, movilizando exportaciones desde la zona sur austral de Chile.

Donde terminaba el continente, se comenzó a producir una proteína animal saludable y con una baja huella de carbono para un mundo con cambio climático y escasez de alimentos saludables. Así comenzaron trabajando codo a codo con vecinos chilotes, puertomontinos y ayseninos que creyeron en este proyecto, y que han sido los protagonistas en la aventura de producir salmones de calidad superior en los fiordos y mares del sur austral. Hoy, cuando la salmonicultura es una actividad consolidada entre las regiones del Bío-Bío y Aysén, más de 71.000 personas trabajan en la salmonicultura chilena, y más de 4.000 pymes se han creado para las múltiples actividades que genera el rubro. Acá detallamos la historia de este sector próspero que ha generado una transformación silenciosa en el sur austral.

### Nacimiento de una familia salmonera

La salmonicultura comenzó cuando no había internet, cuando la telefonía móvil era una rareza, cuando pasar noches en vela sobre una balsa para cuidar a los salmones era usual, cuando el ingreso per cápita promedio en la zona sur austral era muy bajo y el desempleo muy alto. Ni hablar de la conectividad en Puerto Aguirre, Quellón, Melinka, Hornopirén o Puerto Chacabuco, por nombrar solo algunas ciudades con las que nos vinculamos hasta hoy. La conectividad era intermitente y dependía de que la lluvia, el viento y las olas nos ofrecieran una tregua.

El desafío fue complejo, pues además de ganarle al clima y a la adversidad propia de todo emprendimiento, debíamos cultivar

salmones en zonas extremas y aisladas. En este proceso ha sido vital la experiencia de miles de hombres y mujeres de mar que han permitido llevar este producto desde la patagonia chilena hasta Estados Unidos, Brasil, Asia y Europa.

En esos inicios, no fue fácil explicar lo que hacíamos, y aún no lo es. Sabemos que allí hemos fallado. Tampoco lo era conseguir profesionales y colaboradores que garantizaran la salud de nuestros salmones y la calidad del proceso productivo.

Hoy, 35 años después, podemos decir con mucho orgullo que tenemos una familia salmonera. Que los hijos y nietos de hombres y mujeres de mar son actualmente médicos veterinarios, biólogos marinos, ingenieros, técnicos en acuicultura, expertos en genética, profesionales de la prevención; y que existe una infinita y variada oferta de servicios que se prestan a través de las 4.000 pequeñas y medianas empresas que han surgido en nuestro querido sur. Y también hay cientos de chilenos que emigraron de sus ciudades natales en el norte para probar suerte, con éxito. Para todos ellos, la acuicultura ha sido una oportunidad para progresar y lograr una mejor calidad de vida para sus familias.

### La transformación silenciosa

Con la apertura de los centros de cultivo de salmón y las plantas de procesamiento surgió mucho más que un inédito y próspero polo de desarrollo en la zona sur austral de Chile. Todos juntos, comunidades, colaboradores, empresarios y la gente que se ha vinculado con la industria, comenzamos una transformación silenciosa: las banderas de la movilidad social, de la descentralización, de la innovación y, sobre todo, de la incorporación de la mujer y los jóvenes a la fuerza de trabajo, hoy flamean con fuerza en estas tierras.

Muchas veces no supimos escuchar las sugerencias y dudas de nuestros vecinos, lo que nos hizo ver como soberbios. Tampoco estuvimos exentos de cometer errores operacionales, por lo que nos ganamos fama de poco comprometidos con la naturaleza y el medioambiente. Y, en ocasiones, nos ha costado, y lo reconocemos humildemente, entender que todo el progreso de esta transformación trajo consigo cambios culturales que a muchos les costó aceptar o, derechamente, no les gustaron.

### Somos parte de la solución y no del problema

Como salmoneeros, sabemos que muchas veces nos hemos equivocado, sin embargo somos parte de la solución y no del problema. Junto a nuestros colaboradores hemos llevado bienestar al sur de Chile, y producimos con cariño y dedicación una proteína animal saludable y necesaria para alimentar al mundo, sobre todo en este escenario de escasez alimentaria y crecimiento de la población. En 2050, la acuicultura deberá encargarse de la seguridad alimentaria de los casi 10.000 millones de personas que habitarán el planeta para ese entonces.

Hoy, el mundo enfrenta las consecuencias de un escenario de cambio climático que impone importantes desafíos. En este sentido, el salmón es una de las proteínas animales con la huella de carbono más baja, con menor consumo de agua y la más eficiente en materia de rendimiento de consumo al compararla con otras proteínas cultivadas en condiciones de crianza. Por esto, la salmonicultura se levanta como una solución para asegurar la disposición de alimentos saludables con bajo impacto ambiental.

En estos 35 años, hemos actuado con buena fe. Juntos, con esas miles de mujeres y hombres que confiaron en esta innovación, hemos logrado grandes avances sociales y económicos. La convicción de la gente que nos rodea y el tesón de los sureños convirtió a esta actividad en un buen socio para miles de chilenos, pero también entendemos que aún queda mucho por

mejorar, por aprender y por escuchar. Y en eso estamos. Llevamos cuatro años trabajando silenciosa, pero decididamente, en fundar las bases de una nueva acuicultura, para establecer un nuevo trato con nuestro entorno.

Una acuicultura con una nueva forma de relacionarse con vecinos, trabajadores y proveedores. Una salmonicultura con un potente enfoque ambiental. Y un sector productivo diferente en materia de transparencia y entrega de información. Hoy, la Ética Ambiental, el Diálogo Constructivo, la Transparencia y el Compromiso Regional son los pilares que nos mueven.

### Nuevo trato ambiental

Muchos critican nuestro desempeño ambiental y sanitario. Si bien no compartimos varios de esos ataques, por infundados y sesgados, sí sabemos que debemos mejorar nuestra forma de interactuar con el medioambiente. Y en eso estamos trabajando duro, enfocados en la innovación y en la incorporación de nuevas tecnologías.

En estos últimos años, nuestros programas de limpieza de playas han recolectado cientos de toneladas de plásticos, plumavit, fierros y residuos domiciliarios que se han acumulado en playas, islas y fiordos cercanos a nuestros centros de operación. Eso es algo que estamos remediando seriamente y sin cuestionarnos si algunos de esos desechos nos pertenecen, porque es lo que corresponde hacer y lo estamos haciendo con un enfoque sistémico: educando ambientalmente a nuestros colaboradores y vecinos; promoviendo el reciclaje y la reutilización; prefiriendo a proveedores que comercializan productos reciclados y asociándonos con diferentes organizaciones, para avanzar conjuntamente en la búsqueda de soluciones creativas y que fomenten la economía circular. En 2020 nuestras empresas socias gestionaron el reciclaje de 72 mil toneladas de residuos.



En estos últimos años, nuestros programas de limpieza de playas han recolectado 25.000 metros cúbicos de residuos en más de 4.900 kilómetros de borde costero. Foto: Limpieza playas

A este esfuerzo, se suman otras iniciativas amigables con nuestro medioambiente. En 2018, certificamos internacionalmente el 84% de la biomasa, cifra que en 2020 subió al 94%, es decir, más de 980 mil toneladas de salmón chileno fueron producidas con metodologías que reducen el impacto ambiental y social de la acuicultura y que promueven las buenas prácticas. Y logramos que un 50% de nuestras pisciculturas cuenten con modelos de recirculación de agua, lo que les permite devolver el 100% del agua que utilizan a los ríos y lagos en las mismas condiciones en las que la recibieron.

También nos hemos hecho cargo de reducir drásticamente el uso de antibióticos, medicina regulada y necesaria en la producción de proteínas animales y que no queda presente en la carne del salmón. Si en 2014 usamos 558,1 gramos de antibiótico por cada 1.000 kilos de salmón cosechado, en 2018 sólo usamos 381 gramos, cifra que en 2020 bajó a 298 gramos por cada tonelada cosechada. En materia de fondos marinos, llevamos años trabajando con tecnología de punta que disminuye la acumulación de alimento para salmones en el lecho bajo de las jaulas y seguimos explorando avances que nos permitan mejorar. Asimismo, estamos buscando alternativas viables para retirar del fondo marino el material inorgánico que se encuentra sumergido fruto de temporales y accidentes que hundieron balsas u otras estructuras.

Por otro lado, hemos logrado desarrollar una nueva forma de alimentar a los salmones que es más amigable con el medioambiente y donde la agricultura ha jugado un importante rol. Gracias a la innovación agrícola en la zona de La Araucanía, la salmonicultura ha logrado pasar de un 80% de presencia de subproductos de pescado en los alimentos a sólo un 12%, incorporando granos y otros elementos de proteína vegetal en la alimentación de los salmones. Este hecho está estimulando el desarrollo agrícola de la IX Región, con un potencial de crecimiento de 200.000 hectáreas para el cultivo de estas materias primas.

Algunas de estas iniciativas y avances están reflejados en los seis Informes de Sustentabilidad entregados por SalmonChile a la opinión pública. En ellos, se encuentra el desempeño social, laboral, ambiental y sanitario de las empresas asociadas al gremio, desde 2015 hasta la fecha. Y muchas de estas acciones también están señaladas en los Reportes de Sustentabilidad de las empresas productoras socias de SalmonChile, de las cuales el 70% reporta bajo el exigente estándar internacional GRI.

## Mirando el futuro

Como sector productivo clave para la alimentación sustentable del mundo y en nuestra calidad de habitantes del sur de Chile, estamos preocupados por el cambio climático y sus efectos ambientales y sociales. La salmonicultura tiene la huella de carbono más baja entre los productores de proteína animal y nuestros cultivos evitan la deforestación masiva, ofreciendo un producto saludable y eficiente que será clave en la alimentación de las

futuras generaciones. Sin embargo, el compromiso país de alcanzar la carbono neutralidad nos exige ir más allá.

Nuestro rumbo es claro. Junto a cada uno de nuestros colaboradores estamos avanzando en el camino correcto para desarrollar la acuicultura de los próximos 35 años. Una acuicultura más amigable, más sustentable y más cercana.

En eso estamos, escuchando a nuestros vecinos, explorando soluciones creativas, dialogando con la ciencia y pensando en la salmonicultura del futuro. Ya llevamos cinco años promoviendo la transparencia, el trato horizontal y el trabajo con el foco puesto en las personas y el medioambiente.

El resultado en materia de antibióticos es el reflejo de un trabajo decidido en innovación y sustentabilidad. Para esas acciones ha sido clave el desarrollo del Instituto Tecnológico del Salmón de SalmonChile (Intesal), que actúa como un brazo científico y técnico que permite acercar la ciencia y la tecnología al quehacer de la industria. Bajo esta mirada hemos podido retirar casi 17.000 m<sup>3</sup> de residuos de la costa y estamos fortaleciendo programas de educación ambiental que permitan promover el cuidado decidido de los océanos.

Estamos en pleno desarrollo de una alianza piloto y escalable con pescadores artesanales de Aysén, que consiste en que ellos usen la infraestructura de nuestros centros de mar en descanso y cultiven ahí diferentes tipos de algas, lo que genera nuevos ingresos para ellos y externalidades positivas para el medioambiente. Las algas, en un sistema de cultivo de acuicultura multitrofica, pueden ser una vía para la regeneración natural del ecosistema. Y este año 23 empresas socias de SalmonChile firmaron voluntariamente un Acuerdo de Producción Limpia (APL) con la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático de Corfo, para disminuir las huellas de carbono e hídrica y para promover la economía circular.

## Somos mucho más que salmoneros

Tras más de tres décadas presentes en el territorio de nuestro querido sur austral, somos parte de la historia de miles de familias que permitieron el desarrollo de este sector productivo gracias a su esfuerzo y dedicación. Somos parte del sur de Chile. Somos parte del emprendimiento y de la innovación que han desarrollado miles de pymes locales. Somos parte del presente y del futuro. Somos parte de la movilidad social y de la incorporación de la mujer a la fuerza laboral.

Hoy reiteramos nuestro compromiso para seguir mejorando, para escuchar más, para ser más empáticos y continuar vinculándonos decididamente con las comunidades; comunidades de las que somos parte hace más de 30 años y con las cuales esperamos acercarnos aún más para juntos seguir desarrollando una nueva acuicultura para Chile.

# Transporte Neumático de Piensos para Peces en Sistemas de Alimentación de Salmones Variable: Velocidades en Flujo Turbulento y Calibres



Universidad Austral de Chile  
Conocimiento y Naturaleza

**Autor:** Dr. J. Max Blanc<sup>1,2,3,4</sup>

**Co autores:** Mg. Tomás Leyton<sup>2,5</sup>, Ing. Diego Olavarría<sup>3</sup>, Ing. Ricardo Yañez<sup>5</sup>

<sup>1:</sup> Instituto de Gestión e Industria, Universidad Austral de Chile

<sup>2:</sup> Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile

<sup>3:</sup> Escuela Ing. Civil Industrial, Universidad Austral de Chile

<sup>4:</sup> Alimentos San Pablo Ltda.

<sup>5:</sup> VITAPRO Chile SA



Figura 1: Sistema de Alimentación Automático de Peces. Atención AKVA Group Chile.

## Introducción

Alimentos San Pablo Ltda. ha estado presente desde hace más de dos décadas en la actividad acuícola Chilena, desarrollando y proveyendo almidones de trigo, específicos para alcanzar los más altos estándares reológicos en la estructura de las partículas -extrusos- que constituyen los piensos para peces. Esta estructura es esencial para garantizar que la alimentación en salmones se logre con mínima pérdida por destrucción mecánica de los piensos y respete todas las condiciones nutricionales de aquellos insumos con que son formulados y extruidos.

De esta manera y a través de la Gerencia I&D Alimentos San Pablo Ltda., en esta ocasión con la fundamental colaboración de las empresas AKVA Group y VITAPRO Chile; hemos logrado sacar a edición un avance del estado del arte (Enero-Julio 2021)

para optimizar las condiciones de operación de los equipos de alimentación automática en centros de cultivo de salmón.



Figura 2: Esquema de la configuración mecánica utilizada en alimentación automática de peces Por transporte neumático (alta presión de aire).



Figura 3: Pontón de Almacenamiento de piensos y ductos del Sistema de Transporte Neumático. Gentileza de Salmones Camanchaca S.A.

Así mismo, evidenciar que algunas de las propiedades mecánicas -normales de la ciencia de materiales- expresan muy bien su desempeño de modo que es posible cuantificar los efectos de iniciativas tecnológicas realizadas en los subprocesos de formulación y elaboración -por extrusión- de estos piensos. Este es un ejercicio científico de integración tecnológica vertical.

**Sistema de alimentación:** Los piensos utilizados para la alimentación de salmones en jaula son provistos en los Centros de Cultivos (Figuras 1 y 2) por sistemas que los almacenan en pontones a una prudente distancia del tren de Jaulas (Figuras 3 y 4). Desde estos artefactos navales son distribuidos los piensos hacia cada jaula mediante un dispositivo que administra la dirección del flujo neumático portador de piensos (destino a Jaula específica) acorde a un programa de alimentación que es controlado automáticamente con control *in situ* y/o a través de sistemas centralizados y remotos, por ejemplo, con control en Puerto Montt sobre Centros de Cultivos emplazados en otras regiones de Chile.



Figura 4: Sistema de distribución de piensos a un tren de jaulas. Centro Pilpilehue. Gentileza de Salmones Camanchaca S.A.

Los piensos se transportan por el interior de ductos arrastrados por aire pre enfriado en compresión, a una velocidad que permite llevarlos hasta su salida aérea sobre cada jaula. El flujo es desarrollado en rango de turbulencia en acuerdo a criterio Reynolds ( $>>20.000$  [u]). Eso significa que las pérdidas de energías de presión y cinética aumentan en tanto las longitudes de los ductos de transporte y velocidades son más altas en acuerdo con el primer principio de termodinámica y cuantificadas por la mecánica de fluidos. Las partículas que viajan por las zonas cercanas al centro de los ductos lo hacen a mayor velocidad que las que viajan -estadísticamente- cercanas a la superficie interna de los ductos. Esto sucede por que el contacto de los extrusos con esa superficie provoca colisiones y estas disminuyen la cantidad de energía cinética ( $1/2 m \times V^2$ ) de las partículas ( $m$ : masa [kg];  $V$ : velocidad [ $\text{ms}^{-1}$ ]). En la medida que la superficie interna de los ductos posee un índice de rugosidad (épsilon  $\epsilon$  [mm]) mayor, más elevada será la energía cinética que le cederán los extrusos. Es fácil de imaginar un flujo turbulento en que las partículas (longitudes el doble de sus diámetros) consecuencia de las colisiones con las paredes internas de los ductos giran sobre si mismas, impactando entre si, desplazándose desde las zonas de sección transversal de baja velocidad (cercanas a la superficie interna del ducto) a la zona de alta velocidad (centro del ducto), lo que provoca transferencias de energía cinética entre ellas. Adicional a lo anterior, dichos ductos y con las jornadas de operación pueden adherir fracciones de extrusos y grasa haciendo que el valor de "épsilon" suba.

Con todo lo anterior podemos visibilizar algunas vías de transferencia de energías que operan desde los extrusos hacia el resto del flujo y que son preferentemente de naturaleza mecánica, así como a la superficie de los ductos preferentemente como energía térmica que es disipada por estos en el agua oceánica que los soporta por diferencia de densidad (Figuras 3 y 4).

La energía mecánica es absorbida por los extrusos y lo puede hacer ascendiendo su temperatura (menor fracción) y por deformaciones mecánicas elásticas y plásticas (mayor fracción) que denominamos Trabajo.



Figura 5: Laboratorio I&D VITAPRO Chile. Unidad TVT 6700. Gentileza Ing. Ricardo Yañez.

### ¿Que provocan estas transferencias de energía en los extrusos?

Debilitamiento de propiedades que producen rompimientos. Esto, aun cuando en una longitud de 100 metros de tubería y a 20 [ms<sup>-1</sup>] equivalente a 72 [km h<sup>-1</sup>], solo llevaría 5 segundos de transporte. Pero, a esa misma velocidad impactan con la superficie interna y entre ellos a algo inferiores, cientos de veces... por que es flujo altamente turbulento.

Imagine lo que sucede en una carretera de 25 pistas completas con vehículos separados por 1 metro entre ellos en cada pista, que se desplazan en promedio a 70 [km h<sup>-1</sup>], que se pasan siempre e inesperadamente desde las pistas lentas a las rápidas (las del centro).

A lo anterior, apuntar que los extrusos de mayor masa son más lentos dado que poseen mayor inercia toda vez que demandan mayor cantidad de movimiento ( $m \times V$ ) del flujo de aire que les arrastra -sin privilegios- en el inicio de su transporte. Y entonces descubrimos que extrusos de 12 mm de diámetro y 24 mm de largo necesitan absorber mayor cantidad de energía que más pequeños. Por ende, estos más grandes y sobre todo cuando son más densos, son “atropellados” por los más rápidos (inferior masa) y entonces sucede que la transferencia de energía no es democrática entre todos los que comparten el flujo. Se debilitan aquellos de mayor densidad, aquellos que portan mayor cantidad de lípidos, grasas, combustible para el crecimiento de los peces. Es vital observar la regularidad en los tamaños y densidades de extrusos para un mismo calibre transportado, y eso invita considerar parámetros específicos en la elaboración de los piensos. Todo el escenario expuesto fue necesario tenerlo a la vista y en consideración para cuando se construyó el diseño experimental en este estudio, lo que demandó un dominio multidisciplinario.

Y esto, ofrece una oportunidad de una mayor rentabilización de una actividad industrial exitosa y de la cual somos parte del selecto grupo de países líderes, que como Chile, cuidan del medio ambien-

te y de sus economías en equilibrio honesto y responsable, atendiendo un ítem que suele alcanzar el 50 por ciento de los costes. En este avance solo se ha considerado energía Trabajo.

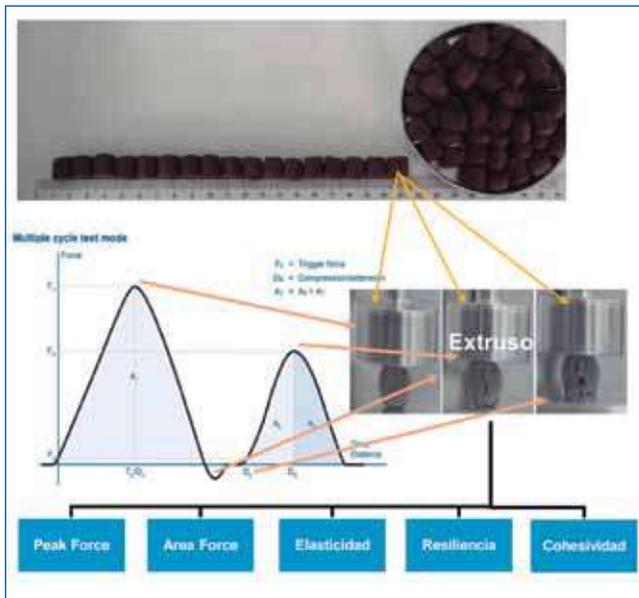
### Metodología

Como lo que se aconseja en este tipo de ensayos en ingeniería, se realizó una corrida exploratoria de todos los dispositivos en el Laboratorio de Pruebas de Transporte Neumático AKVA Group - Puerto Montt, utilizando 5 [kg] de piensos por muestra para tres calibres de consumo intensivo (6, 9, 12 mm de diámetro) y tres velocidades elegidas en el rango de uso de la industria (40, 20 y 10 [m s<sup>-1</sup>]). Así, fueron verificados todos los parámetros operacionales previo al tratamiento con masas de idénticas características a las de los ensayos. El Balance de Masas que hace evidencia de la diferencia entre lo que “sale” respecto de lo que “entra” al sistema, arrojó un delta inferior a 0.1%. Con ello, la experiencia exploratoria validó la metodología y procedimientos para los desafíos. Las muestras para ensayos fueron tamizadas previo a los tratamientos de transporte neumático, en adelante “los tratamientos”, para evitar el ingreso de partículas finas y extrusos quebrantados y focalizar el estudio en aquellas partículas que ingresan íntegras al sistema de transporte neumático.

Fueron colectadas muestras desde los tratamientos (5 Réplicas  $R_{i=1 \text{ a } 5}$ ) y controles (500 g/muestra) y desde ellas, al azar 30 extrusos ( $n=30$ ) (Figuras 8 y 9) de cada Réplica  $R_i$  y de cada Control respectivo, para analizarles sus propiedades mecánicas (Tensión Mecánica Máxima en Límite Elástico, Energía Acumu-



Figura 6: Equipo de Extrusión Andritz. VITAPRO CHILE.



**Figura 7:** Detalle de los registros de parámetros mecánicos obtenidos desde ensayos de resistencia mecánica por compresión a doble ciclo. Ing. Diego Olavarría, Tesis Ing. C. Industrial UACH 2021.

lada en la Zona de Deformación Elástica, Tensión Máxima en la Zona de Deformación Plástica, Energía Acumulada en la Zona de Deformación Plástica, Elasticidad, Resiliencia y Cohesividad) en la unidad PerkinElmer TVT 6700 del Laboratorio de Control de Calidad de VITAPRO CHILE (Figura 5). Ensayo exploratorio previo, de sensibilidad y repetibilidad de la unidad TVT 6700 mostró una dispersión máxima ilustrada por la Desviación Estándar v/s número de extrusos ensayados en cada variable mecánica, no superior a 18% del valor de la Mediana. De esta manera se determinó el “n” de muestra para cada ensayo mecánico. Los productos extruidos y ensayados fueron elaborados y facilitados por la empresa VITAPRO Chile SA.

Esta metodología ofrece la sensibilidad y repetibilidad estadística suficiente para cuantificar los efectos sobre propiedades cuando las partículas han absorbido energía mecánica. Medidos esos efectos, es posible reconocer que variables constitutivas en la reología de las partículas deben ser atendidas en los procesos de extrusión (Figura 6) de piensos y que velocidades de transporte deben aplicarse para minimizar el daño físico y evitar sean pul-

verizadas en los ductos y evacuadas al medio ambiente con las consecuentes pérdidas económicas. Se ilustran en la Figura 7, algunos detalles de la descripción de los parámetros registrados en los ensayos mecánicos.

Análisis de las Distribuciones de Frecuencias de los resultados (pruebas KS, D’Agostino y Shapiro-Wilk) determinaron aplicar Estadística No Paramétrica en tanto no todas las poblaciones de extrusos en las muestras arrojaron perfiles de Distribución de Frecuencias del tipo Gaussiano. Por lo anterior, se aplicaron pruebas estadísticas de comparación No Paramétricas Mann-Whitney No Pareadas entre Tratamientos y Controles a diferentes velocidades y calibres (nivel de confianza > 95%,  $\alpha = 0,05$ ) y pruebas de correlaciones No Paramétricas de Spearman.

## Resultados

Los resultados muestran que la velocidad ensayada (de tres comparadas) óptima en transporte neumático fue 20 [m s<sup>-1</sup>] tanto para calibres de diámetros 6, 9 y 12 mm de diámetro en formulaciones de Alta Energía y que constituyen la mayor fracción de utilización en la industria.

Las propiedades mecánicas que mejor expresan el efecto del tratamiento en acuerdo a la Prueba de Comparación No Pareada Mann-Whitney, se muestran en la Figura 10. Los criterios que se muestran a continuación corresponden a valores ponderados de aquellos registrados en la Figura 10.

- Energía Acumulada asociada a la Deformación Elástica alcanzada en el Módulo de Young, “Area Force A” (p-valor < 0,032) Calibres 6, 9 y 12 mm diámetro.
- Cohesividad (p-valor < 0,003) Calibres 6, 9 y 12 mm diámetro.
- Máxima Tensión en Zona de Deformación Plástica “Peak Force B” (p-valor < 0,035) Calibres 6 y 12 mm diámetro.
- Energía Acumulada asociada a la Deformación Plástica “Area Force B” (p-valor < 0,002) Calibres 6 y 12 mm diámetro.



**Figura 8:** Extrusos ensayados en calibres 6, 9 y 12 mm de diámetro. Alta Energía. VITAPRO Chile.



**Figura 9:** Esquema de muestreo en el Desarrollo Experimental. Ing. Diego Olavarría, Tesis Ing. C. Industrial UACH 2021.

Propiedad Mecánica	Calibre 12 mm			Calibre 9 mm			Calibre 6 mm		
	¿Dif. Significativas?	Entre Muestras	P- Valor	¿Dif. Significativas?	Entre Muestras	P- Valor	¿Dif. Significativas?	Entre Muestras	P- Valor
Peak Force A	No	-		No	-		No	-	
Area Force A	Si	M1 - Control M6 - Control M12 - Control	0,0232 0,0068 0,0089	Si	M16 - Control M21 - Control M29 - Control	0,0003 <0,0001 0,0003	Si	M34 - Control M37 - Control M41 - Control	<0,0001 0,0005 0,0008
Peak Force B	Si	M1 - Control M6 - Control M12 - Control	0,0147 0,0005 0,0115	No	-		Si	M34 - Control M37 - Control M41 - Control	0,0355 0,0039 0,0115
Area Force B	Si	M6 - Control	0,0089	No	-		Si	M37 - Control M41 - Control	0,0089 0,0232
Elasticidad	No	-		No	-		Si	M34 - Control M37 - Control M41 - Control M37 - M41	0,0036 0,0028 0,0288 0,0492
Resiliencia	No	-		No	-		No	-	
Cohesividad	Si	M1 - Control M6 - Control M12 - Control	0,0003 0,0002 0,0008	Si	M16 - Control M21 - Control M29 - Control	0,0002 0,0003 0,0155	Si	M34 - Control M37 - Control M41 - Control	0,0003 0,0002 0,0002

Figura 10: Prueba de Comparación Estadística No Paramétrica No Pareada Mann-Whitney entre piensos sometidos a Desafío de Transporte Neumático y Control.

No fueron propiedades mecánicas que expresen adecuadamente el efecto de los tratamientos:

- Máxima Tensión Zona Elástica en el Módulo de Young "Peak Force A" (p-valor > 0,52)
- Elasticidad (p-valor > 0,241)
- Resiliencia (p-valor > 0,058)

Existe diferencia estadística significativa de los tratamientos en los efectos sobre propiedades mecánicas respecto de la variable "calibre" a igual velocidad de transporte (p-valor < 0,0021).

Existe diferencia estadística significativa de los efectos de los tratamientos en los efectos sobre propiedades mecánicas respecto de la variable "velocidad de transporte" a igual calibre.

Lo anterior revela que es necesario operar a diferentes condiciones de transporte para diferentes calibres; aun, para una misma formulación o Dieta de piensos.

Se recomienda utilizar la tecnología PerkinElmerTVT 6700 y Ensayos de Tensión Mecánica con Carga en Compresión a Doble Ciclo para hacer seguimiento a aquellas variables que promuevan el aumento y/o disminución de las eficiencias comercial, nutricional, y ambiental; operando sobre las variables de diseño de formulas y procesos de extrusión en fábrica de piensos. Asimismo, operar los sistemas de transporte neumáticos a flujos adecuados a calibre y tasa de alimentación.

Los efectos de transferencias de energía térmica serán motivo de otras experiencias y estudios futuros, y lo será de interés por cuanto el aumento de la temperatura funde - en los extrusos - los lípidos, haciendo que escurran desde éstos, se adhieran a los ductos y finalmente no ingresen a la ingesta de los peces. Las consideraciones económicas son obvias.

## Agradecimientos

A las empresas VITAPRO Chile SA y a AKVA Group por los apoyos recibidos en la disposición de la información. A Salmones Camanchaca por la excelente ilustración facilitada y permanente disposición a colaborar en desarrollos tecnológicos. Al Ing. Diego Olavarría por su destacada labor en el desarrollo de este tema en su Seminario de Tesis para optar a Ing. Civil Industrial (UACH 2021). Y en especial a Alimentos San Pablo Ltda. a través de su Gerente General Sr. Francisco Otondo Zugarramurdi, por financiar íntegramente este artículo, con el que suma seis en sus veinte y dos años de aporte a la industria acuícola nacional; haciendo -una vez más- elección en la Revista Versión Diferente que recoge el quehacer acuícola y lo ofrece con eficiencia y pertinencia.



## Tests rápidos para detección de biotoxinas

**INNOVACIÓN TECNOLÓGICA CANADIENSE HECHA EN CHILE**



- ✓ Tests para Venenos Paralizante, Amnésico y Diarréico de Mariscos.
- ✓ Detectan las toxinas en 45 minutos en mariscos y fitoplancton.
- ✓ Fáciles y seguros de usar en terreno y plantas de proceso.
- ✓ Aumenta la seguridad alimentaria.
- ✓ Previene pérdidas en cosecha y entrada a planta.
- ✓ Autorizados para uso regulatorio por el ISSC en USA y un complemento ideal al PSMB.



**NUESTROS SERVICIOS:** Consultoría, Capacitaciones y Venta de Insumos y Equipos para el monitoreo ambiental en salmonicultura y mitilicultura.  
25 años de experiencia en Floraciones Algales Nocivas (mareas rojas) y Acuicultura

Walker Martínez 430, Ofic 31, Puerto Varas +56 9 8131 5374 [www.aquabc.cl](http://www.aquabc.cl)

# DetECCIÓN DE BIOTOXINAS MARINAS CON UNA TÉCNICA SIMPLE Y RÁPIDA AHORA PRODUCIDA DESDE CHILE PARA EL MUNDO



**David Cassis:** Director Ejecutivo, PhD y MSc en oceanografía, dcassis@aquabcconsulting.com  
**Sylvana Galaz:** Lab Manager, Bióloga marina, sgalaz.aquabcchile@outlook.com



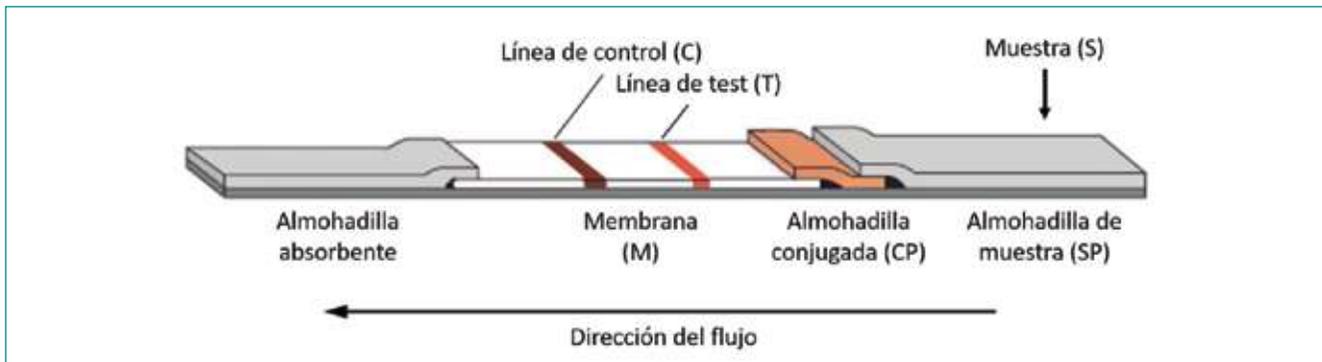
Luego de una semana de trabajar de sol a sol a merced del viento, el frío y las olas australes, los pescadores estaban a punto de completar el día de navegación que por fin los traería a puerto. Sabían que en el muelle los esperaba personal sanitario para recoger una muestra de sus cholgas frescas y todavía con sabor a mar patagónico. Sabían también que, dependiendo de los resultados, podrían ir al mercado a vender el producto de su esfuerzo, o si tendrían que ir un poco más lejos, al vertedero, si el laboratorio determinaba que estaban contaminadas con la temida “marea roja”. Si hubiera una forma simple y rápida de sa-

ber si los mariscos están libres de toxinas ANTES de cosecharlos desde el medio natural.

Los pisos de cerámica recién lavados respondían con ecos claros y tintineantes a cada paso de los operadores; estaban esperando la llegada del primer camión con choritos frescos recién cosechados, los que iban a ser limpiados, seleccionados, cocidos y congelados antes de iniciar su viaje a Europa. Pero primero, los choritos debían ser inspeccionados para determinar su calidad, ya que se sabía que procedían de un área cercana a otra ya cerrada por el Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB), luego de detectar la presencia de toxinas. Si choritos contaminados llegasen a entrar a los procesos de la planta, crearían un gran problema, tanto que la producción de hasta dos semanas anteriores podría tener que ser eliminada por seguridad. Los problemas que podría generar una alerta de esta naturaleza podrían incluir, además de cuantiosas pérdidas económicas, una disminución en la confianza de los clientes, incluso podría generar despidos y cierres de líneas de proceso. Si hubiera una forma simple y rápida de saber si los mariscos están libres de toxinas ANTES de admitirlos en las plantas de proceso.

Estos dos escenarios reales, junto al deseo de reducir el uso de animales de laboratorio en pruebas de seguridad alimentaria, ilustran el pensamiento que desde 1990 hasta 1995 impulsó al Dr. Maurice Laycock, en asociación con National Research Council Canada (NRCC), para dirigir a un equipo de investigadores en el desarrollo de una prueba rápida para detectar veneno paralizante de mariscos (VPM en español y PSP en inglés). Tuviron éxito en la producción de anticuerpos contra saxitoxina y sus congéneres, así como participar en la creación de estándares de estas toxinas que todavía están disponibles en NRCC. Éstas son las bases para métodos de detección de toxinas y otros basados en anticuerpos (ELISA).

Los sistemas de detección basados en ELISA pueden ser muy sensibles y específicos, pero tienen la desventaja de no ser fá-



ciles de aplicar a bordo de un bote pesquero u otros ambientes fuera de un laboratorio. Una solución práctica y simple fue utilizar una forma sólida de ELISA llamada inmunocromatografía de flujo lateral (LFI). La misma tecnología simple, en un cassette resistente de fácil uso, que utilizan los tests de embarazo y los tests que detectan la presencia de inmunoglobulinas (IgG) para detección rápida de Covid-19.

Estos tests no siempre tuvieron el formato que conocemos hoy, ya que se intentaron varias formas de ELISA y LFI, pero finalmente en 1998 el Dr. Laycock completó el desarrollo de una prueba rápida y fácil de usar para detección de VPM/PSP con esta técnica, la cuál se comenzó a fabricar y vender comercialmente desde 1999 bajo los nombres de “Mist Alert”, luego “Jellett Rapid Test”, y finalmente “Scotia Rapid Test”. Además, la experiencia ganada durante la investigación y desarrollo que aplicó la tecnología LFI para la detección rápida y simple de VPM/PSP condujo al desarrollo de las pruebas rápidas para veneno amnésico de mariscos (VAM/ASP) y veneno diarreico de mariscos (VDM/DSP). También durante este tiempo se desarrollaron diferentes formas de extracción, la Rapid utilizando simplemente vinagre y alcohol para situaciones de terreno, la AOAC más exacta para laboratorios, y la Phyto para detección de toxinas amnésicas y paralizantes directamente desde muestras de fitoplancton.

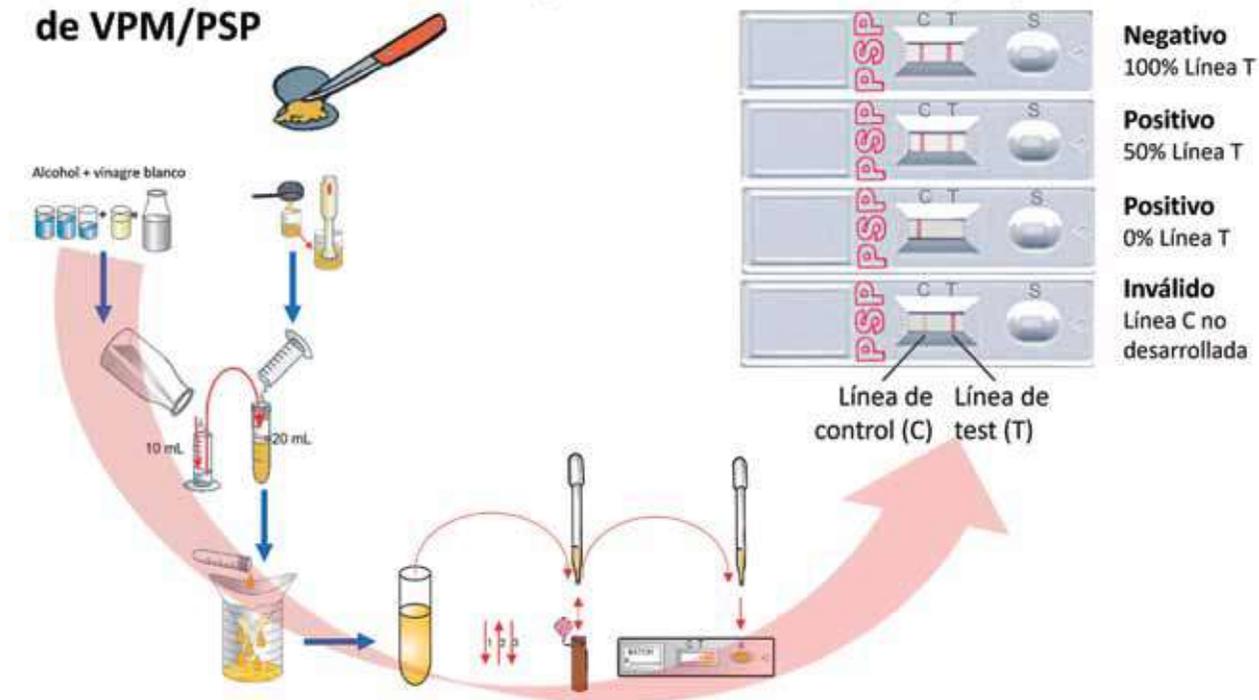
Los LFI están constituidos por una cinta de materiales de diferente porosidad que han sido impregnados con bandas de químicos que reaccionan con la muestra a medida que fluye sobre ella. En cierta forma se asemeja a una cinta transportadora o línea de proceso donde la muestra se somete a diferentes procesos químicos a pequeña escala hasta llegar a la detección de las toxinas, teniendo cada sección de esta cinta un propósito específico. Para usar el test, una muestra de extracto de la carne de los mariscos a testear se combina con un medio líquido específico para cada tipo de toxina (buffer); y una cantidad de esta mezcla se introduce en la ranura oval del test (S), donde es recibida por la almohadilla de muestra (SP) y es tratada para hacerla compatible con el resto del test. Luego, la muestra tratada migra a través de la siguiente sección, que contiene la almohadilla conjugada (CP), donde el anticuerpo específico ha sido inmovilizado; la muestra vuelve a movilizar el anticuerpo seco, y si hay toxinas en la muestra éstas interactúan con el anticuerpo. Ambos migran a la siguiente sección, que es la matriz de reacción (M), que corresponde a una membrana porosa sobre la cuál se han inmo-

vilizado proteínas en bandas en áreas específicas, donde sirven para capturar la toxina y el conjugado a medida que migran por las líneas de captura (líneas T y C). Los resultados se interpretan en la matriz de reacción, como ausencia o presencia de líneas del conjugado capturado, las cuales se pueden ver a simple vista, o utilizando otros métodos de lectura (scanners). En todos estos tests, la línea C o de control, se encuentra presente como prueba de la viabilidad del test, es decir, que éste se encuentra en condiciones óptimas para su utilización, y que por tanto el resultado obtenido es confiable.

Existen dos formatos de LFI que difieren en cómo se presentan los resultados. El primero, llamado directo y comúnmente utilizado en tests que se requiere una detección cualitativa, es decir, presencia (positiva) o ausencia (negativa) del analito en cuestión. El ejemplo más conocido de este formato corresponde a los tests de embarazo, donde un resultado positivo es indicado por la presencia de dos líneas observables (línea C y T); y el negativo, por la ausencia de la línea T. En el segundo formato, llamado competitivo y al cual corresponden los test rápidos para detección de toxinas marinas de AquaBC, la línea T se forma cuando el analito que se quiere detectar, en este caso la biotoxina, no se encuentra en la muestra (resultado negativo); esto permite que el conjugado inmovilizado en el test reaccione en la zona de captura de la línea T. Si por el contrario, la biotoxina se encuentra presente en la muestra, entonces se adherirá a la zona de captura de la línea T impidiendo que el conjugado inmovilizado lo pueda hacer, y por tanto la línea T no se desarrollará, o lo hará con una intensidad menor dependiendo de la cantidad de toxina presente en la muestra.

Correctamente calibrados y con ayuda de un scanner, estos tests pueden ser utilizados como una forma de cuantificación rápida en toxinas químicamente simples, como al ácido domoico causante de VAM/ASP, donde una decoloración de la línea T cercana al 50% (en comparación a la línea C) indica una presencia de toxina cercana al 50% del límite normativo; y una decoloración casi completa corresponde al 100%. Así, en los tests de VAM/ASP un resultado positivo se puede comenzar a observar desde alrededor de 5 mg DA/kg, y llegar al 50% de decoloración a los 10. En el caso de VPM/PSP el gran número de derivados de la saxitoxina, su diferente toxicidad sobre los animales de prueba y reactividad diferencial con el anticuerpo utilizado en los tests, han hecho difícil la homologación de los resultados cuantitativos; sin embargo, se ha determinado que la sensibilidad del test es

## Procedimiento de análisis rápido con extracción Rapid para detección de VPM/PSP



suficiente para asegurar que al 50% de intensidad de la línea T corresponde aproximadamente al 50% del límite normativo.

En 2004, la prueba rápida de VPM/PSP con extracción AOAC obtuvo el reconocimiento oficial del Comité Interestatal de Sanidad de Mariscos (ISSC), que es una rama de la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA). Este alto nivel de aprobación permite que las pruebas de VPM/PSP se utilicen como un método de cribado inicial en el monitoreo regulatorio de mariscos del gobierno de los EE.UU., evitando que hasta un 40% de muestras sean analizadas con métodos cuantitativos más costosos. Asimismo, desde su invención, nuestras pruebas de VPM/PSP se han utilizado en numerosos estudios en laboratorios de todo el mundo y han sido objeto de muchas publicaciones científicas.

En 2014, el nombre de la empresa cambió a Scotia Rapid Testing Ltd. (SRT), principalmente para aclarar la propiedad de la empresa y su propiedad intelectual, y en 2021 fue adquirida por AquaBC Chile SpA, y sus activos fueron trasladados a Puerto Varas. Durante la mayor parte de este año realizamos la puesta en marcha del laboratorio y estuvimos aprendiendo las técnicas con ayuda directa del personal de SRT en Canadá. Este tiempo no estuvo libre de dificultades, como las derivadas de la pandemia, y también al estar compitiendo por materiales con las pruebas rápidas para detección de COVID-19, que acapararon gran parte del mercado de los insumos para sistemas LFI. Finalmente, en octubre de 2021 completamos las pruebas necesarias y logramos producir el primer lote de tests rápidos para VPM/PSP hecho en Chile bajo nuestra nueva marca AquaBC Rapid Testing. Esperamos poner en marcha la producción de tests para detección de

### Nuestro enfoque para los próximos dos años estará centrado en varios ejes:

- Completar la implementación productiva de todas las extracciones y variedades de los tests que disponemos: extracción AOAC para laboratorio, Rapid para terreno y Phyto para detección temprana en fitoplancton.
- Renovar, mantener y aumentar las certificaciones internacionales, e incrementar la cartera de clientes internacionales, principalmente mediante la apertura de nuevos mercados en Latinoamérica y Asia.
- Establecer y mejorar relaciones comerciales con los usuarios nacionales como productores y procesadores de choritos y mariscos en general, así como organizaciones como AmiChile e Intemit, y desarrollar capacidades de análisis remoto mediante la cooperación con instituciones de la Industria y Academia.
- Participar en I+D para llevar las pruebas a un nuevo nivel tecnológico mediante innovaciones como lectores digitales calibrables y sistemas autónomos de monitoreo que permitan dar un aviso temprano para acuicultores, pescadores y reguladores. También queremos utilizar la tecnología LFI ahora a nuestro alcance para diversificar los analitos objetivo con nuevos tests para toxinas de agua dulce, enfermedades de salmónidos y estresantes ambientales, entre otros.



VAM/ASP durante enero y febrero del 2022, y los de VDM/DSP durante mayo a junio.

Con esta importante adquisición, AquaBC Chile no solo aumentó su cartera de productos y servicios para monitoreo ambiental en forma importante, con una nueva línea de tests para seguridad alimentaria y de productos, sino también ha reforzado y multiplicado las capacidades y opciones de monitoreo de toxinas en el ambiente con los únicos y exclusivos tests para fitoplancton.

Nuestro propósito al ofrecer los tests rápidos para detección de biotoxinas es ayudar a nuestros clientes que desarrollan actividades relacionadas con el mar, mediante una herramienta simple, rápida y efectiva en situaciones como las descritas al inicio de esta crónica. Esta forma de detección de toxinas se puede usar in situ y les otorga información rápida y certera para poder tomar decisiones productivas inmediatas que previenen pérdidas económicas significativas. Las aplicaciones que posibilitan estos tests se unen a nuestra vasta experiencia en monitoreo ambiental, especialmente en manejo de los efectos de floraciones algales nocivas y sus toxinas en la acuicultura y otras actividades humanas.

Las tres situaciones relatadas al inicio son verídicas y ocurrieron en Chile, y nuestros tests rápidos ya han ayudado a pescadores en zonas aisladas del sur de nuestro país. Incluso se han incorporado a los protocolos internos de seguridad alimentaria en plantas de proceso, y han ayudado a exploradores e investigadores en la detección de biotoxinas en lugares remotos y en situaciones extremas. Otras experiencias a nivel internacional, incluyen al sistema de monitoreo de California, donde estos tests rápidos conforman la primera barrera sanitaria, donde sólo las muestras que arrojan un resultado positivo en los tests continúan el proceso de análisis regulatorio más costoso, y por tanto ayudan a optimizar los recursos destinados a la seguridad alimentaria.

En AquaBC Chile partimos corriendo incluso antes de caminar, y ya nos encontramos innovando en el extranjero en áreas como control de sustancias en fronteras y bioseguridad en plantas desalinizadoras. Esperamos que los resultados de estos desarrollos puedan ser aplicados también a nivel nacional para complementar y reforzar las medidas de control de calidad y bioseguridad.

### Información adicional en los siguientes links:

- **Referencias e información adicional**  
[https://www.researchgate.net/publication/281212481\\_Mist\\_Alert\\_A\\_Rapid\\_Assay\\_for\\_Paralytic\\_Shellfish\\_Poisoning\\_Toxins](https://www.researchgate.net/publication/281212481_Mist_Alert_A_Rapid_Assay_for_Paralytic_Shellfish_Poisoning_Toxins)
- **Uso en paralelo al sistema regulatorio**  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12083255/>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041010102001538>
- **Informe del ISSC sobre el uso de nuestros tests rápidos en el sistema regulatorio Americano**  
<https://www.issc.org/Data/Sites/1/media/2009%20summaryofactions/05-109.pdf>
- **Métodos rápidos comparados**  
<https://mlml.sjsu.edu/ebl/wp-content/uploads/sites/38/2017/10/Dorantes-Aranda-et-al.-PSP-testing.pdf>
- **Usos de los tests en investigaciones científicas**  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6055221/>  
 Tests usados para detectar PSP en contenido estomacal de ballenas varadas en el Golfo de Penas como posible causa de la mortalidad más grande reportada de ballenas.
- **Detección de floraciones algales nocivas, sus causas e impactos**  
[https://www.researchgate.net/publication/10630897\\_Harmful\\_algal\\_blooms\\_Causes\\_impacts\\_and\\_detection](https://www.researchgate.net/publication/10630897_Harmful_algal_blooms_Causes_impacts_and_detection)



- **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  
 MCARDENAS@PLASTICOSAUSTRAL.CL WWW.PLASTICOSAUSTRAL.CL

# Macroalgas en la Alimentación Animal: Ingredientes funcionales para gallinas ponedoras como modelo de estudio



Fadia Tala<sup>1,2,3</sup>, Pedro Toledo<sup>2,4</sup>, Michael Araya<sup>2</sup>, Francisco Álvarez<sup>2</sup>, Karina Véliz<sup>2</sup>, María Fernanda Gómez<sup>2</sup>, Edgardo Cortés<sup>5</sup>, Giannella Leonelli<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología Marina, Universidad Católica del Norte

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Algas y otros Recursos Biológicos (CIDTA), Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte

<sup>3</sup>Instituto Milenio en Socio-Ecología Costera (SECOS)

<sup>4</sup>Departamento de Acuicultura, Universidad Católica del Norte

<sup>5</sup>Departamento de Salud Pública, Universidad Católica del Norte

<sup>6</sup>Departamento de Clínica, Universidad Católica del Norte

ftala@ucn.cl / www.cidta-ucn.cl

Proyecto FIC-R COQUIMBO COD. BIP 40014383-0

## ANTECEDENTES

La importancia que Chile ha dado a la producción de alimento, radica en una política pública que define al país como potencia alimentaria. Lo anterior, afecta los ámbitos del quehacer productivo terrestre y acuático, generando aportes de insumos para ambos sectores, optimizando la producción y mejorando la calidad del producto final. Entre los insumos requeridos en la avicultura, están aquellos relacionados con la alimentación de aves ponedoras cuyo fin es optimizar la producción y la calidad de los huevos, sin descuidar el mantenimiento óptimo de las gallinas (bienestar animal). La demanda de materias primas convencionales, como maíz, trigo y soya, como insumos alimenticios aumenta cada día, compitiendo con las demandas para la población humana y la alimentación animal. Esta competencia junto a la fluctuación de mercado en la producción de ingredientes conduce a un incremento del precio, generando una oportunidad para la búsqueda de fuentes alternativas de nutrientes esenciales en otros recursos marinos y/o terrestres.

Diversas investigaciones han demostrado que es factible incorporar ingredientes no tradicionales en la dieta animal, y modular nutricionalmente carne y huevos. Esto permitiría aportar al producto final un alto valor agregado desde el punto de vista nutricional y/o visual. Por ejemplo, actualmente se producen huevos con ácidos grasos de la serie omega-3 provenientes de insumos alimenticios vegetales terrestre (ej. linaza). En la región de Coquimbo es posible encontrar macroalgas y derivados, sin un uso industrial provenientes de la recolecta del pelillo, de la producción de chips de huiros y de macroalgas varadas en playas. Estos insumos terminan en vertederos o en la costa sin un uso racional y sustentable, afectando el ambiente. El proyecto Bienes Públicos Estratégicos Regionales para la Competitividad – INNOVA CORFO “Algas de la macrozona norte como recurso generador de Bioproductos con valor agregado y oportunidad

comercial para el mercado local y mundial” (Código 16BPER-66977), de CORFO y liderado por el CIDTA-UCN, ha generado una línea base sobre características químicas de estas macroalgas, en compuestos descritos por la literatura científica con funcionalidades benéficas en la salud humana, animal y vegetal. Esta línea de investigación asociada al grupo de investigadoras e investigadores de la Universidad Católica del Norte (UCN) permite potenciar la utilización de estos recursos biológicos entregando valor adicional. La composición química de las macroalgas en compuestos con funcionalidad como antioxidantes, inmunostimulantes, entre otros indican que las macroalgas tienen un potencial para ser incorporadas en formulaciones alimenticias como un ingrediente funcional, aportando nutrientes y compuestos químicos orgánicos altamente activos, saludables e innovadores para la población humana y animal.

En base a los resultados detectados surge la iniciativa “Investigación macroalgas como ingrediente funcional para avicultura” del Fondo de Innovación para la Competitividad Región de Coquimbo (Cod. BIP 40014383-0). El proyecto plantea *validar el uso de macroalgas marinas de la región de Coquimbo como un ingrediente funcional para la formulación de pruebas de concepto de dietas para aves ponedoras y determinar su puesta en valor como innovación*. Bajo una mirada de cadena de valor se espera impactar en la industria productora de las macroalgas, la diversificación y agregación de valor a la biomasa macroalgal como insumo para alimentación animal; en la industria alimentaria, el desarrollo e introducción al mercado de un nuevo ingrediente funcional de macroalgas marinas para la inclusión en las dietas; y en la industria productora de huevos, la obtención de un producto de alto valor nutricional, además de un aumento en los niveles de producción de huevos funcionales modificados por los nutrientes esenciales contenidos en las macroalgas marinas. También se considera una disminución del costo de producción

por concepto de alimentación, asociado al menor costo de las macroalgas marinas respecto de otras materias primas vegetales terrestres; así como una reducción en la pérdida por ruptura de huevos, asociado al aporte de minerales de las macroalgas y su incorporación en la cáscara de los huevos. Como proyección se plantea la incorporación de macroalgas en formulaciones de otros animales que se producen en la macrozona norte, siendo el sector avícola un modelo inicial de validación.

### MACROALGAS COMO RECURSO ECONÓMICO

Diversas fuentes de biomasa y subproductos de las actividades pesqueras y acuícolas son considerados como potenciales insumos para la generación de bioproductos con un alto impacto en distintas industrias, que intervienen en la producción vegetal y animal y en el bienestar humano. Esto ha llevado, en los últimos años, a un creciente interés en investigar, detectar, desarrollar y aplicar insumos de origen marino en áreas tan diversas como la alimentación, nutraceutica, cosmetología, farmacología, agronomía, energía y mitigación ambiental (Freitas et al. 2012). Las macroalgas son una importante fuente de alimento en su estado natural y/o semi-procesado mayormente en países asiáticos y en los últimos años están siendo incorporadas al mundo occidental. Constituyentes, como pigmentos, fenoles y ácidos grasos esenciales también han sido identificados como importantes bioproductos de las macroalgas con potencialidades para ser incorporados en el mercado de los bioproductos, ingredientes funcionales y/o aditivos (Hafting et al. 2015). De esta manera, las macroalgas pueden contribuir a innovaciones y emprendimientos dado su aporte nutricional y funcional diverso (Figura 1).

Chile es importante en el mercado mundial de los recursos algales (Buschmann et al. 2017). De ser el primer país que contribuye con la producción de biomasa de macroalgas extraídas de praderas naturales y/o zonas de varazón, pasa a ser el número 15 en la producción de macroalgas por acuicultura. A nivel mundial, la producción de macroalgas es destinada por sobre el 85% al consumo humano, como alimento directo o para la generación de polímeros (ficoloides) incluidos en múltiples industrias como alimentos procesados y bebidas, y el resto es utilizado por la industria de fertilizantes, aditivos para alimento de animales, usos médicos y biotecnológicos. Sólo 14 especies de macroalgas son explotadas comercialmente en Chile de manera frecuente, con una segregación espacial de algas pardas en la zona norte y algas rojas en la zona sur del país (SERNAPESCA 2020). De éstas, sólo una especie (*Agarophyton chilense* - pelillo) se cultiva a nivel comercial con producciones anuales del orden de las 15.000 ton, correspondiente al 25% del desembarque total nacional. El resto de los recursos algales, principalmente grandes macroalgas pardas (huiros, cochayuyo) y algas rojas del tipo lugas sustenta su explotación desde poblaciones naturales del país.

### MACROALGAS – POTENCIALIDADES EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Las algas marinas son consideradas potenciales fuente de nutrientes en base a sus aportes en proteínas, aminoácidos esenciales, carbohidratos, lípidos, ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales, antioxidantes y sustancias antimicrobianas (Al-Harathi & ElDeek 2012), los cuales tienen un impacto importante en las ganancias económicas productivas (FAO 2003). Entre la diversidad de grupos

algales, las algas rojas (Rhodophytas) contienen ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) pudiendo llegar a valores de un 74%, principalmente omega-3 y en menor proporción contienen ácidos grasos saturados (SFA), alrededor de 26%, principalmente ácido palmítico. También contienen, en general, altos niveles de minerales como calcio, magnesio e hierro (Mohd et al. 2000). Las algas pardas contienen aproximadamente entre un 8-14% de proteína bruta, 25-37% de cenizas, 5-7% fibra bruta, 0,4-1,0% de extracto de éter (EE) y 46-59% de extracto libre de nitrógeno. Los niveles de estos componentes dependen de la temporalidad, la ubicación geográfica y la especie (Serviere-Zaragoza et al. 2002). Mientras que las algas verdes son ricas en vitamina A, vitaminas del complejo B (B1, B2, B3, B12), vitamina C, encontrándose alrededor del 0.03-10 mg en ellas, y ácido fólico con valores cercanos a 12 mg (Al-Harathi & ElDeek 2012).

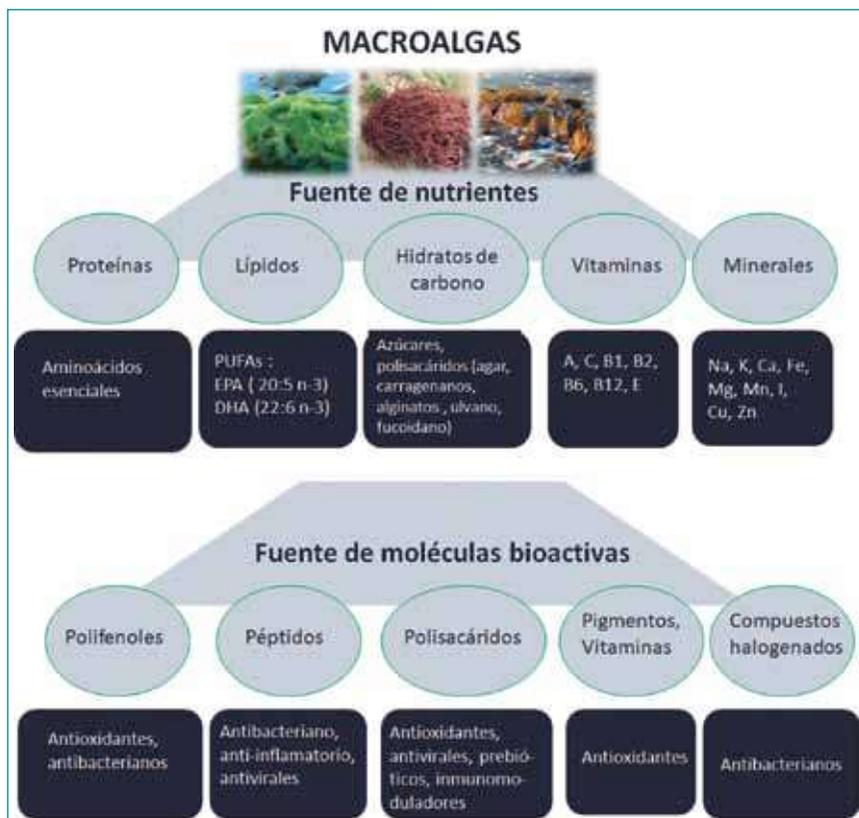


Figura 1. Principales contribuciones nutricionales y funcionales de macroalgas marinas.

La incorporación de algas en alimentación animal tiene larga data, generalmente obedeciendo a la escasez de grano y forraje. Si bien la biodiversidad local de macroalgas condiciona su uso en alimentación, los géneros *Ulva*, *Chondrus*, *Palmaria*, *Ascophyllum*, *Sargassum*, *Laminaria* y *Macrocystis* son comúnmente sugeridos como ingredientes para alimento animal (revisado por Makkar et al. 2016). Los animales en que se ha evaluado la inclusión de algas en las dietas es variado, incluyendo: Bovinos, Caprinos, Porcinos, Equinos, Aves y Peces (Makkar et al. 2016); representando mercados potenciales de interés. El sector que se encuentra más avanzado en la incorporación de algas para la alimentación animal es la acuicultura. La incorporación de algas en la alimentación de ganado caprino y bovino es sugerido como una alternativa frente a la escasez de forraje en zonas áridas (Casas-Valdez et al. 2006, Vega-Villasante et al. 2006) e intensificado por el efecto del cambio climático.

Estudios *in vivo* en Rumiantes, Cerdos, Aves y Conejos revelan que algunas algas marinas tienen el potencial de contribuir como aporte de proteína y energía, mientras que otras contienen una diversidad de compuestos bioactivos, actuando como prebióticos para mejorar la producción y el estado de salud de animales monogástricos y ganado rumiante. La incorporación de macroalgas en la alimentación animal requiere de un control regular de minerales para evitar los efectos tóxicos debido a la presencia de metales pesados que pudieran presentar en altas concentraciones. Un aspecto sensible a considerar es el porcentaje de algas utilizado en las dietas, ya que se han identificado efectos nocivos en dietas con un porcentaje de inclusión cercano al 20%. Se ha sugerido su incorporación en la alimentación como ingrediente funcional en proporciones de 2-3%, sin efecto adverso por ejemplo en rasgos de calidad de la producción de huevos o el rendimiento de los pollos de engorde (Al-Harathi & El-Deek 2012). Además, se ha descrito que la incorporación de algas puede mejorar significativamente el perfil lipídico de estos animales (Schivavone et al. 2007). Por otro lado, Carrillo et al. (2002), considera que al utilizar algas marinas como un ingrediente en la dieta de las gallinas ponedoras, es importante evitar el uso de niveles superiores al 10%, ya que esto podría afectar la aceptación del alimento, disminuir la producción de huevos o causar heces acuosas en las aves, debido al alto contenido de minerales y fibra en las algas. Agregar entre 4 a 8% del alga parca *Sargassum* spp. en la dieta de gallinas ponedoras se reduce el contenido de colesterol en huevos, sin afectar las variables productivas y la calidad física del huevo (Carrillo et al. 2012). La suplementación dietética con inclusiones de macroalgas rojas puede actuar como un prebiótico potencial para mejorar el rendimiento, la calidad del huevo y la salud intestinal general en las gallinas ponedoras (Kulshreshtha et al. 2014).

Diversos estudios verifican el efecto que producen las algas en el estado inmunológico, disminuir la carga microbiana en el tracto digestivo y por su efecto beneficioso sobre la calidad de la carne y los huevos, concluyendo que la inclusión de macroalgas en la dieta de pollos y gallinas es una alternativa factible para

mejorar parámetros asociados a la salud animal. Sin embargo, el efecto de la inclusión de algas puede depender de la edad del animal (ciclo productivo), la especie de alga utilizada así como del porcentaje de inclusión en las dietas (e.g. Wang et al. 2013; Kulshreshtha et al. 2014; Choi et al. 2018). Entre los beneficios detectados en gallinas ponedoras, se destaca:

- Aumento en la producción y tamaño de los huevos, así como en la coloración de la yema
- Disminución del colesterol en los huevos
- Modulación en el microbioma al promover el desarrollo de bacterias benéficas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, así como la disminución de bacterias patogénicas como *Salmonella enteritidis* y *Clostridium perfringens*
- Aumento en los ácidos grasos de cadena corta, lo cual indicaría la actividad prebiótica de las algas
- Aumento de inmunoglobulinas e interleuquinas en plasma sanguíneo de aves alimentadas con algas, asociándose a una mayor resistencia a infecciones bacterianas

## INDUSTRIA AVICOLA NACIONAL

En la producción avícola, el adecuado manejo nutricional de las gallinas ponedoras es una estrategia que incide sobre la salud de las aves y la calidad de los huevos, lo cual es un requisito indispensable para mejorar la productividad de la granja. Además, se garantiza a los consumidores una fuente de alimento confiable, de alta calidad y perfil nutricional, como lo es el huevo. La producción de huevos de una gallina dura aproximadamente veinte meses. Su periodo de postura se inicia en la semana 18-20 de edad, con una postura de huevos que supera el 90%, hasta las 50 semanas de edad, donde alcanza un 86% y disminuye constantemente hasta un 74% a medida que se acercan a la semana 90.

China lidera ampliamente la producción de huevos a nivel mundial, con 661 mil millones de huevos al año. Más atrás, se encuentran Estados Unidos, Indonesia e India, aunque con una participación significativamente menor. A nivel latinoamericano, México y Brasil destacan como los principales productores, con cerca de 55 mil millones de huevos anuales (IALE 2021). La producción de huevos en Chile creció un 46% en la última década, pasando de 3.316 millones de unidades en 2011 a 4.848 millones en 2021. Esto representa un crecimiento anual de 3,92% en promedio (IALE 2021). El consumo per cápita de huevos ha crecido fuertemente en la última década, pasando de 186 unidades anuales en 2011 a 246 unidades en 2021.

La producción de huevos en Chile se concentra principalmente en huevos blancos, representando actualmente el 71% de la producción total, mientras que los huevos de color representan el 29% restante. La producción de huevos ricos en omega-3 representa cerca del 0,5% de la producción total de huevos, incluyendo huevos blancos y de color. Esto corresponde a una producción levemente superior a los 25 millones de huevos anuales. Empresas destacadas en la producción de huevos ricos en omega-3 son: Agrícola Omega 3 (Región Metropolitana), Huevos Santa Marta (Región Metropolitana) y Avícola Huichahue (Araucanía) (IALE 2021).

En Chile, existen cerca de 15 millones de gallinas ponedoras. En 2020, se experimentó una leve baja cercana al 10%, hasta las 14,4 millones de gallinas, sin embargo, en 2021 se recupera la tendencia de la última década, alcanzando 14,98 millones. A nivel regional, el 38% de la existencia de gallinas se encuentran en la región Metropolitana, el 16,4% en la región de Valparaíso y el 15,7% en la región del Biobío. La región de Coquimbo participa con un 8,6% de la existencia de gallinas a nivel nacional (IALE 2021).

En el ciclo productivo de gallinas ponedoras se logra una tasa de postura diaria entre el 80 a 90%, con requerimientos diarios de alimento que van entre 100 a 150 g alimento/día/gallina. De esta manera, un plantel de 1.000.000 gallinas tendrá un requerimiento diario máximo de 150 ton de alimento.

El alimento de las gallinas ponedoras consiste básicamente en una mezcla de:

- Cereales (maíz, trigo, cebada y avena)
- Fuente de proteína (harina de soja, de girasol, otros)
- Aceites vegetales, vitaminas y minerales
- Otros (complementos, antioxidantes, enzimas, prebióticos, probióticos, aminoácidos, pigmentos, etc.)

En general, las materias primas mencionadas (ingredientes) se mezclan en una proporción determinada que depende de la composición química del ingrediente, la variedad y edad de las gallinas, y otras condiciones operacionales, formando un pienso. Este pienso, se presenta en formato de harina gruesa, granulado o migaja, con una consistencia más bien gruesa, ya que las gallinas rechazan el alimento en formato de partículas finas.

Durante la ejecución del proyecto FIC-R BIP 40014383-0, se ha evaluado la inclusión de macroalgas de la Región de Coquimbo en pruebas *in vivo* con inclusiones menores al 10%, utilizando macroalgas verdes, rojas y pardas propias de la región (Figura 2). Las mezclas se han generado en base a las principales características químicas de las macroalgas, que permitan reemplazar y/o disminuir la inclusión de ingredientes tradicionales. Durante los experimentos se han incluido diferentes indicadores buscando diferenciar y/o no impactar la productividad de la granja de acuerdo al tipo de macroalga aportado (Tabla 1). Como resultados previos cabe destacar el incremento de pigmentos en huevos de provenientes de tratamientos con macroalgas, y la positiva aceptación de estos en las evaluaciones de sabor (Figura 2).

## MERCADO DE LAS MACROALGAS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Se estima que la producción de alimento animal e ingredientes basados en algas crecerá a una tasa del 6% entre el 2021 y 2025, con un incremento esperado de US\$750 millones durante el periodo indicado (Technavio 2021). En este mercado interviene tanto la producción de microalgas, macroalgas como sus derivados. Es un mercado que está en constante búsqueda de nuevos ingredientes y aditivos que contribuyan con la salud animal, mantener los niveles de producción, disminuir los costos en alimentación y contribuir a una sustentabilidad medioambiental. En la industria avícola de gallinas ponedoras, cerca de un 65% de los costos de producción de huevos corresponden a la ali-

**Tabla 1.** Variables químicas y funcionales evaluadas para validar y diferenciar el uso de macroalgas como ingrediente en la alimentación animal.

Indicador	Muestra	Análisis
Químico	Algas y Formulaciones	Bromatológico Perfil Aminoácidos Perfil Ácidos grasos Perfil Minerales y metales
	Huevos (albumina + yema)	Bromatológico
	Huevos (albumina + yema)	Perfil Aminoácidos
	Huevos (albumina + yema)	Perfil Ácidos grasos
	Huevos (albumina + yema)	Capacidad antioxidante
	Huevos (albumina + yema)	Carotenoides totales
	Huevos (albumina + yema; cáscaras)	Perfil Minerales y metales
	Huevos (albumina + yema)	Colesterol
Calidad	Huevos (albumina + yema)	Tamaño, ruptura, frescura
	Huevos (albumina)	Peso fresco
	Huevos (yema)	Peso fresco
Organoléptico	Huevos (albumina + yema)	Sabor, textura, color
Salud animal	Gallina (sangre)	Perfil bioquímico Electrolitos en sangre (Na, Ca, Cl)
	Gallina	Crecimiento (peso) Sobrevivencia N° postura/día N° Huevos con fecas

mentación de las gallinas. Además, el costo de producción de huevos, corresponde a un 46% de los costos totales incluyendo su distribución y puesta en tienda (IALE 2021).

A partir de los escenarios nacionales y de las existencias de gallinas actuales y proyectadas, se estima que se podrían destinar entre 21 mil a 57 mil toneladas de macroalgas como ingredientes considerando una tasa de reemplazo que va entre 3% y 8%. En el escenario más conservador, con tasa de reemplazo de 3%, se estima que para alimentar las existencias de gallinas ponedoras proyectadas hacia el año 2025 se podrían destinar 21,5 mil toneladas de macroalgas, y 57 mil toneladas de macroalgas en un escenario con tasa de reemplazo de 8%. Estos totales corresponden al total de macroalgas que se demandaría por parte de la industria productora de huevos anualmente (IALE 2021).

A nivel comercial, la disponibilidad de alimentos para gallinas ponedoras y broiler que contengan ingredientes de macroalgas es escasa. Si bien se identificaron algunos productos disponibles en el mercado, estos corresponden más bien a productos de nicho y de baja escala. Algunos alimentos en base a macroalgas detectados en el mercado corresponden a:

- Acadian Kelp™, Canadá (*Ascophyllum nodosum*).
- Nettex Poultry Seaweed, Reino Unido (sin información tipo de alga).
- Coop Kelp Organic Supplement, Estados Unidos (*Ascophyllum nodosum*).
- Seaweed Meal (Kelp) Happy Hens, Australia (sin información tipo de alga).

Esta línea de investigación aplicada y desarrollada en la UCN, que tiene como fin poner en valor las potencialidades de las macroalgas chilenas como fuente de bioproductos, utilizando como modelo las gallinas ponedoras, ha resultado exitosa y se requiere seguir trabajando para buscar nuevos nichos de innovación en la salud y bienestar humano y animal. Por otra parte, se debe considerar que este es un mercado nuevo para Chile, por lo que no existen hoy en día los eslabones asociados al negocio de las macroalgas en la cadena de valor de la alimentación de gallinas ponedoras y broiler. Por esta razón, se deberá incorporar a diversos actores en esta cadena, como los algueros, empresas productoras de macroalgas seca y empresas transformadoras que produzcan y distribuyan los ingredientes de macroalgas a los productores de huevos y pollos de engorde, así como también empresas productoras de ingredientes alimentarios, que compren la materia prima a los algueros y generen los productos como alga picada o harina envasada para incorporarlas en la alimentación animal. El eslabón intermedio de la cadena de valor hoy en día no existe, es decir, los actores productores de ingredientes para dietas animales a partir de algas, por lo que se deberán desarrollar los acuerdos y negociaciones con potenciales interesados en participar de este sector. Esta situación genera

desafíos que deben apuntar a la diversificación en el mercado de las macroalgas y de ingredientes para la alimentación animal, estimulando el emprendimiento e innovación local y nacional.

## ENTIDADES ASOCIADAS

Asociación Gremial de Cultivadores y Productores de Algas de Chile (APROAL A.G); Pacific Seaweed Bioproducts; Avícola Sta. Elvira; Avícola Elqui; MÁSMAR Transforma Fuente de Agregación de Valor y Bioproductos Marinos.

## REFERENCIAS

- Al-Harhi MA, El-Deek AA. 2012. Effect of different dietary concentrations of brown marine algae (*Sargassum dentifolium*) prepared by different methods on plasma and yolk lipid profiles, yolk total carotene and lutein plus zeaxanthin of laying hens. *Ital J Anim Sci* 11: 347–353.
- Buschmann AH, Camus C, Infante J, et al. (2017) Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *Eur. J. Phycol.* 52: 391 - 406.
- Carrillo, Silvia; Bahena, A.; Casas, M.; Carranco, M.E.; Calvo, C.C.; Ávila, E.; Pérez-Gil, F. 2012. El alga *Sargassum* spp. como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 46, núm. 2, 2012, pp. 181-186.
- Carrillo S, Ríos V, Calvo C, et al. 2012. N-3 Fatty acid content in eggs laid by hens fed with marine algae and sardine oil and stored at different times and temperaturas. *J Phycol* 24: 593-599.
- Casas-Valdez, M, Hernández-Contreras, H, Marín-Álvarez, A, et al. (2006). El alga marina *Sargassum* (Sargassaceae): una alternativa tropical para la alimentación de ganado caprino. *Revista de Biología Tropical*, 54(1), 83-92.
- Choi Y, Lee E, Na Y, Lee S. 2018. Effects of dietary supplementation with fermented and non-fermented brown algae by-products on laying performance, egg quality, and blood profile in laying hens. *Asian-Australasian J Anim Sci* 31: 1654–1659.
- FAO. 2003. A guide to the seaweed industry. [www.fao.org/DOCREP/006/Y4765E/y4765e00.htm](http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4765E/y4765e00.htm).
- Freitas AC, Rodrigues D, Rocha-Santos TAP, Gomes AMP, Duarte AC (2012) Marine biotechnology advances towards applications in new functional foods. *Biotechnology Advances* 30: 1506-1515.
- Hafting JT, Craigie JS, Stengel DB, et al. (2015) Prospects and challenges for industrial production of seaweed bioactives. *J. Phycol.* 51: 821-837.

- IALE 2021. Estudio del Mercado de Algas como Ingrediente en Alimentación Animal. [www.ialetecnologia.com](http://www.ialetecnologia.com).
- Kulshreshtha G, Rathgebe B, Stratton G, et al. (2014) Feed supplementation with red seaweeds, *Chondrus crispus* and *Sarcodictyon gaudichaudii*, affects performance, egg quality, and gut microbiota of layer hens. *Poultry Science* 93(12): 2991-3001.
- Makkar, H.P.S., Tran G, Heuzé V, et al. 2016 Seaweeds for livestock diets: A review. *Anim. Feed Sci. Tech.* 212:1-17
- Mohd H, Yen C, Ching C. 2000. Nutritional composition of edible seaweed *Gracilaria changgi*. *Food Chem* 68: 69-76.
- Rajauria G (2015) Seaweeds: a sustainable feed source for livestock and aquaculture. *En: Seaweed Sustainability*. 15: 389-420.
- Schiavone A, Chiarini R, Marzoni M, et al. 2007. Breast meat traits of Muscovy ducks fed on a microalgae *Cryptocodinium cohnii* meal supplemented diet. *Brit Poultry Sci* 48: 573 - 579.
- Serviere-Zaragoza E, Gómez D, Díaz G. 2002. Gross chemical composition of three common macroalgae and a sea grass on the Pacific coast of Baja California, México. *Hidrobiología* 12:113-118.
- SERNAPESCA (2021) Anuario estadístico de pesca. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Chile.
- Technavio 2021. Global Algae-based Animal Feed and Ingredients Market 2021-2025. [www. https://www.technavio.com/](https://www.technavio.com/).
- Vega-Villasante, F.; Cupul-Magaña, A.; Nolasco-Soria, H.; Carrillo-Farnés, O. Las algas marinas *Sargassum* spp. y *Macrocystis pyrifera*: ¿una alternativa para el forraje del ganado bovino en la península de Baja California? *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 40, núm. 4, 2006, pp. 439-448.
- Wang S, Jia Y, Wang L, Zhu F, Lin Y. 2013. *Enteromorpha prolifera* supplemental level: effects on laying performance, egg quality, immune function and microflora in feces of laying hens. *Chin J Anim Nutr* 25: 1346–1352.



Figura 2. Etapas para la validación de macroalgas como ingredientes en la alimentación de gallinas ponedoras. A-C. Tratamiento de algas; D-E. Preparación de pruebas de conceptos experimentales con macroalgas; F-G. Área experimental; H-J. Evaluación sensorial (organoléptico).

# Repoblando con cabrillas en arrecifes artificiales: Marine Ranching, una realidad en la macrozona norte de Chile



German Bueno, Juan Pablo Díaz, Masatoshi Futagawa & Jessica Pizarro  
Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile  
Corresponding author: German Bueno (gbueno@unap.cl)

PROYECTO FONDEF-ANID ID 16I10437 - ID 16I20437

## Introducción

El problema de escasez de peces nativos de roca como por ejemplo acha, mulata, pejeperro, apañado, cabrilla y cherlo, se origina como consecuencia de una incapacidad del recurso de llegar a la sustentabilidad a largo plazo por medios naturales, y de un aumento en la demanda por parte del mercado, lo que ha significado una caída sostenida en los volúmenes de extracción del sector pesquero artesanal (SERNAPESCA, 2014).

En particular, la cabrilla común (*Paralabrax humeralis*) presenta en la actualidad en su estado natural una abundancia relativa, que nos permite obtener del medio natural individuos reproductores para conformar el stock parental. En cautiverio este pez es de fácil manejo, tolera bajas de oxígeno prolongadas y bajo ciertas condiciones de alimentación puede desovar prácticamente durante todo el año.

La cabrilla común pertenece a la familia serranidae a la que también pertenece el mero, endémico del océano Pacífico Sur-oriental (Ojeda *et al.*, 2000), es una especie bentopelágica que habita en áreas costeras rocoso-arenosas asociada principalmente a bosques de macroalgas pardas (Cisternas & Sielfeld, 2008). Se caracteriza por ser carnívora con hábitos carcinófagos e ictiófagos (Medina *et al.*, 2004), hermafrodita y con fecundidad parcial (Bórquez *et al.*, 1988).

En Chile la cabrilla común por la calidad de su carne blanca representa un recurso pesquero artesanal y también de la pesca deportiva, y su extracción ha mostrado una tendencia decreciente desde los años ochenta (SERNAPESCA, 2014). En la zona norte de Chile está categorizada en estado de plena explotación y de vulnerabilidad de no amenazada (Araya *et al.*, 2015), y a nivel global la unión internacional para la conservación de la naturaleza (IUCN) la ha clasificado con “datos insuficientes” (Smith-Vaniz *et al.*, 2015).

Para contribuir a resolver la problemática de la disminución de los peces de roca en su ambiente natural, se requiere de restricciones

a las capturas y una política de repoblamiento continuo y a largo plazo de especies nativas que actualmente están en riesgo. Es así que el presente proyecto Fondef IDEa, tiene como objetivos en una primera etapa la reproducción en cautiverio de peces de roca hasta la obtención de juveniles, y en una segunda etapa abordar el repoblamiento de éstos en arrecifes artificiales.

## Metodología

Inicialmente el proyecto evaluó las especies de roca mulata (*Graus nigra*) y apañado (*Hemilutjanus macrophthalmus*); sin embargo, no fue posible conformar planteles de reproductores de estas especies; debido a su escasez y a lo delicado de la piel de apañado. Luego se trabajó con cabrilla común (*Paralabrax humeralis*), que permitió conformar un plantel de reproductores.

Los ejemplares silvestres de cabrilla común (*Paralabrax humeralis*) fueron capturados con nasas y línea de mano, en diferentes localidades de la costa de Iquique en el norte de Chile (20°- 20°50' S). De los peces capturados, 21 eran hembras con un peso corporal entre 294-1794 g (825 ± 408 g) (media ± desviación estándar) y 17 machos con un peso corporal entre 256-1396 g (710 ± 250 g), los que luego fueron aclimatados en cautiverio. Inicialmente fueron inducidos al desove mediante uso de hormonas para luego optar por desoves naturales y espontáneos con termo y fotoperiodo natural (Figura 1).



Figura 1. Reproductores de cabrilla común (*Paralabrax humeralis*) en cautiverio.

Para la producción de juveniles se usó la metodología del mesocosmos o también llamada semi-intensiva (SISP: Semi Intensive Seed Production), en vez de la técnica intensiva de los hatcheries comerciales. El mesocosmos utiliza estanques  $> 1 \text{ m}^3$  y  $\leq 10.000 \text{ m}^3$  (Øiestad, 1990), proporcionando una solución tecnológica eficiente de bajo costo para la producción de juveniles de alta calidad; sin embargo, los resultados son variados en relación a la sobrevivencia de éstos, ya que depende esencialmente de los cambios provenientes del microambiente. Esta técnica se ha utilizado en varias especies de peces en el mundo, como por ejemplo para la producción de bacalao, fletán, rodaballo, lubina y dorada (Van der Meeren *et al.*, 1997; Engell-Sørensen *et al.*, 2004 y Papandroulakis *et al.*, 2004).

En específico, en esta investigación se empleó para la producción de juveniles estanques de tipo australianos de  $69 \text{ m}^3$  (6,3 metro de diámetro y 2.2 metro de profundidad). Este proceso se inició con la siembra de larvas de cabrilla recién eclosionadas, desarrollando el cultivo larval hasta la metamorfosis (Figura 2); previamente los estanques fueron acondicionados para la producción de plancton mediante la utilización de fertilizantes inorgánicos. Luego los alevines o juveniles aquí producidos fueron cosechados y transferidos a estanques de flujo abierto de (2 x 2 x 0.7 m.) en donde fueron alimentados con alimento artificial hasta su liberación.



Figura 2. Estanque de tipo australiano.

Para el repoblamiento, correspondiente a la segunda etapa de nuestra experiencia, se construyeron arrecifes de forma piramidal para albergar a los peces juveniles y arrecifes en forma de cubo para los adultos (Figura 3). Estos arrecifes fueron diseñados por el investigador Masatoshi Futagawa y construidos en la caleta de Río Seco, comuna de Iquique, región de Tarapacá, con la colaboración de sus pescadores artesanales.



Figura 3. Arrecifes artificiales (Forma piramidal y de cubo).

## Avances del Proyecto

Los desoves masivos naturales y espontáneos comenzaron el 9 de Noviembre del año 2018 y hasta finales del 2021 había un número acumulado de 80.8 millones de huevos. La sobrevivencia larval fue de 52.4%.

Se constató que existe una relación positiva entre la temperatura y el número de huevos colectados, que ocurren básicamente entre los  $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $19 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 4).

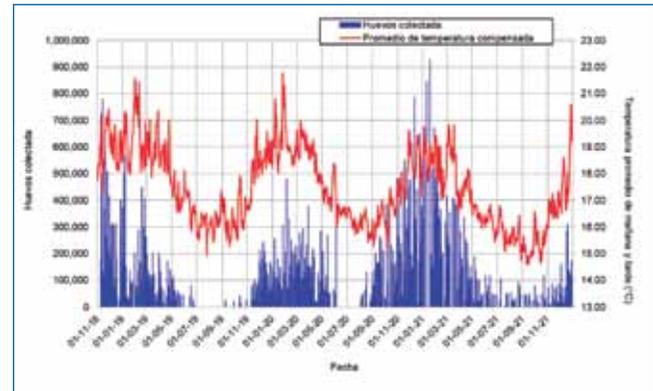


Figura 4. Huevos colectados y temperatura diaria promedio (noviembre 2018 a diciembre 2021).

La larvicultura utilizando el sistema SISP ha permitido obtener una sobrevivencia desde la larva recién eclosionada hasta juvenil de 0.94 %. Las larvas alcanzaron la metamorfosis con la aleta caudal desarrollada a los 50 días desde la eclosión (DDE) (Figura 5).



Figura 5. Juveniles de cabrilla común que alcanzaron la metamorfosis.

Tres meses antes del repoblamiento de alevines, los arrecifes artificiales fueron desplazados hasta el muelle con grúas y depositados en el mar y posteriormente trasladados a su área definitiva ubicada en la AMERB de la caleta utilizando globos de levante (Figura 6).



Figura 6. Instalación de arrecifes artificiales.

Los juveniles producidos en sistema SISP son sembrados en arrecifes artificiales dispuestos en un área escogida del área de manejo AMERB de Caleta Río Seco. Previamente estos fueron marcados con marcas de elastómeros (Figura 7).

Considerando los resultados del mejor batch obtenido, ha sido posible estimar que se pueden alcanzar los 505 gramos del pez en 670 días (1.83 años); además, sería posible mejorar estos resultados dependiendo de la calidad del agua y selección genética de largo plazo; pudiendo disminuir en un 14 % el tiempo para alcanzar los mismos 505 gramos del pez en 575 días (1.58 años) (Figura 8).



Figura 7. Juveniles de cabrilla común (Izquierda) y juvenil marcado (derecha).

Entre los logros de este estudio podemos indicar que se ha contribuido al estado actual del conocimiento de la biología de la cabrilla común, que es clave para planificar las iniciativas de cultivo y/o posible repoblamiento; específicamente, se ha aportado con los primeros antecedentes sobre su desove natural y espontáneo, conocer el desarrollo embrionario, período de incubación, morfo-

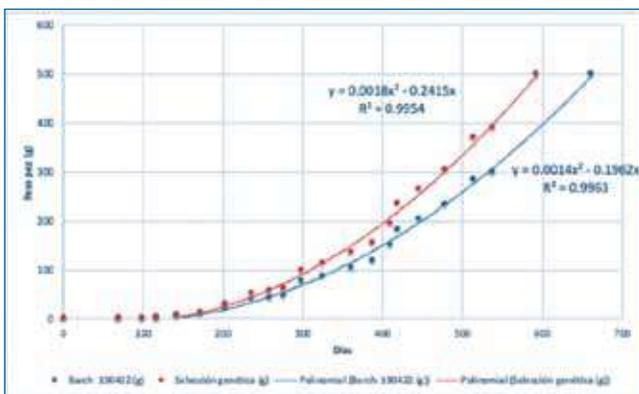


Figura 8. Crecimiento del mejor batch de juveniles de cabrillas (*Paralabrax humeralis*).

logía del huevo y larva; además, se ha logrado completar el ciclo de vida de la cabrilla obteniendo los primeros desoves a partir de reproductores nacidos en cautiverio. Otro aspecto significativo de este estudio es que permitiría independizarse de la obtención de reproductores del medio ambiente, posibilitando a futuro desarrollar una selección y/o mejoramiento gené-

tico de los individuos con características específicas como crecimiento rápido, rendimiento carneo y resistencia a enfermedades, entre otras de interés para la acuicultura.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto FONDEF-ANID ID-16110437 por permitir llevar a cabo el presente estudio, al Sindicato de Trabajadores Independientes de Caleta Río Seco y Chanavaya entidades asociadas al proyecto y a don Luis Rodríguez Cuello buzo comercial de Caleta Cavanca por la provisión de ejemplares reproductores de la especie cabrilla común.

## Referencias

- Araya, M., Azocar, C., Claramunt, G., Medina, M., Moreno, P., Oliva, M., & Vargas, A. 2015. Diagnóstico y propuesta de manejo sustentable de pesquerías costeras de peces litorales en la XV, I y II Regiones. Iquique, Chile: Proyecto FIP No 2013-20. Universidad Arturo Prat.
- Bórquez, A., Olivares, A., & Tapia, L. 1988. Estructura gonadal e inversión sexual de la cabrilla común *Paralabrax humeralis* Valenciennes, 1828 (Pisces: Serranidae). *Estudios Oceanológicos* 7, 51–58.
- Cisternas, F., & Sielfeld, W. 2008. *Hemilutjanus macrophthalmos* (Tschudi, 1845), and *Acanthistius pictus* (Tschudi, 1845) (Pisces; Serranidae) in the rocky subtidal south of Iquique, Chile *Hemilutjanus macrophthalmos* (Tschudi, 1845) y *Acanthistius pictus* (Tschudi, 1845) ( Pis, 36(2), 153–158.
- Engell-Sørensen, K., Støttrup, J. G., and Holmstrup, M. 2004. Rearing of flounder (*Platichthys flesus*) juveniles in semiextensive systems. *Aquaculture* 230: 475–491.
- Medina, M., Araya, M., & Vega, C. 2004. Alimentación y relaciones tróficas de peces costeros de la zona norte de Chile. *Invest. Mar.*, 32(1), 33–47.
- Øiestad, V. 1990. Specific application of meso- and macrocosms for solving problems in fisheries research. Pp. 136–153 in: Lalli C.M (ed.): *Enclosed experimental marine ecosystems: a review and recommendations*. Springer-Verlag, New York.
- Ojeda, P., Labra, F., & Muñoz, A. 2000. Biogeographic patterns of Chilean littoral fishes. *Revista chilena de historia natural*.
- Papandroulakis, N., Kentouri, M., Maingot, E., and Divanach, P. 2004. Mesocosm: a reliable technology for larval rearing of *Diplodus puntazzo* and *Diplodus sargus sargus*. *Aquaculture Int.* 12: 345–355.
- SERNAPESCA. 2014. Anuario. Series 1975–2013, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.
- Smith-Vaniz, B., Robertson, R., Dominici-Arosemena, A., Molina, H., Salas, E., Guzman-Mora, A. G., & Bearez, P. 2015. *Paralabrax humeralis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010. (IUCN, Ed.). UK: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Van der Meer, T., and Naas, K. E. 1997. Development of rearing techniques using large enclosed ecosystems in the mass production of marine fish fry. *Rev. Fish. Sci.* 5: 367–380.



Escuela de  
**POSTGRADO**

## DOCTORADOS

- **Doctorado en Ingeniería de Procesos de Minerales \***  
Director: Dr. Luis Cisternas Arapió / [luis.cisternas@uantof.cl](mailto:luis.cisternas@uantof.cl) - [magister@uantof.cl](mailto:magister@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2637322
- **Doctorado en Ciencias Aplicadas Mención Sistemas Acuáticos \***  
Director: Dr. Marcelo Oliva Moreno / [marcelo.oliva@uantof.cl](mailto:marcelo.oliva@uantof.cl) - [katherine.maureira@uantof.cl](mailto:katherine.maureira@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2513648
- **Doctorado en Energía Solar \***  
Director: Dr. Carlos Portillo Silva / [carlos.portillo@uantof.cl](mailto:carlos.portillo@uantof.cl) - [lucila.pasten@uantof.cl](mailto:lucila.pasten@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2513646
- **Doctorado en Física mención Física Matemática \***  
Director: Dr. Jorge Bellorin Romero / [jorge.bellorin@uantof.cl](mailto:jorge.bellorin@uantof.cl) - [anay.herrera@uantof.cl](mailto:anay.herrera@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2513645

## MAGÍSTERES

- **Magíster en Ciencias de la Ingeniería Mención Ingeniería de Procesos de Minerales \***  
Director: Dr. Yecid Jiménez Bellott / [yecid.jimenez@uantof.cl](mailto:yecid.jimenez@uantof.cl) - [magister@uantof.cl](mailto:magister@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2637322
- **Magíster en Ecología de Sistemas Acuáticos \***  
Director: Dr. Rodrigo Orrego Fuentealba / [rodrigo.orrego@uantof.cl](mailto:rodrigo.orrego@uantof.cl) - [katherine.maureira@uantof.cl](mailto:katherine.maureira@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2513648
- **Magíster en Ciencias Mención Matemática Aplicada y Mención Estadística Industrial \***  
Director: Dr. Héctor Gómez Geraldo / [hector.gomez@uantof.cl](mailto:hector.gomez@uantof.cl) - [lucila.pasten@uantof.cl](mailto:lucila.pasten@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2513646
- **Magíster en Astronomía con Menciones \***  
Directora: Dra. Penélope Longa Peña / [penelope.longa@uantof.cl](mailto:penelope.longa@uantof.cl) - [anay.herrera@uantof.cl](mailto:anay.herrera@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2513645
- **Magíster en Educación: Práctica Reflexiva en Contextos Diversos \*\***  
Director: Dr. María Tapia Henríquez / [mario.tapia@uantof.cl](mailto:mario.tapia@uantof.cl) - [eva.figueroa@uantof.cl](mailto:eva.figueroa@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2 513 647
- **Magíster en Ingeniería Aplicada en conjunto con la Universidad Católica del Norte \*\***  
Director: Dr. Luis Cáceres Villanueva / [luis.caceres@uantof.cl](mailto:luis.caceres@uantof.cl) - [lucila.pasten@uantof.cl](mailto:lucila.pasten@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2513646

## ESPECIALIDADES MÉDICAS

- **Programa de Formación de Especialistas en Pediatría \***  
Director: Dr. Antonio Cárdenas Tadich / [ximena.sanchez@uantof.cl](mailto:ximena.sanchez@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2637558
- **Programa de Formación de Especialistas en Radiología / Imagenología \*\***  
Director: Dr. Marcelo Ávila Jaramillo / [ximena.sanchez@uantof.cl](mailto:ximena.sanchez@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2637558
- **Programa de Formación de Especialistas en Psiquiatría Adultos \*\***  
Director: Dr. Luis Barra Alumada / [ximena.sanchez@uantof.cl](mailto:ximena.sanchez@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2637558
- **Programa de Formación de Especialistas en Obstetricia y Ginecología \*\***  
Director: Dr. Eric Fritz Jara / [ximena.sanchez@uantof.cl](mailto:ximena.sanchez@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2637558
- **Programa de Formación de Especialistas en Cirugía General \*\***  
Director: Dr. Marcelo Zamorano Díaz / [ximena.sanchez@uantof.cl](mailto:ximena.sanchez@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2637558
- **Programa de Formación de Especialistas en Medicina Interna \*\***  
Director: Dr. Antonio Zapata Pizarro / [ximena.sanchez@uantof.cl](mailto:ximena.sanchez@uantof.cl) / Fono: (56) 55 2637558

Para mayor información de acreditación de Programas de Postgrado visitar [www.cnachile.cl](http://www.cnachile.cl) y <http://postgrados.uantof.cl>

\* Acreditado  
\*\* No Acreditado

Av. Angamos 601, 2° Piso  
Antofagasta - Chile  
 +56 55 2637713  
[sec.postgrado@uantof.cl](mailto:sec.postgrado@uantof.cl)  
 @PostgradoUA

Visitarnos en  
[www.uantof.cl](http://www.uantof.cl)

# Aportando desde el norte de Chile al desarrollo nacional Innovando y Formando talento humano avanzado

Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Biológicos (FACIMAR)- Universidad de Antofagasta



DOCTORADO EN CIENCIAS  
APLICADAS MENCIÓN  
SISTEMAS ACUÁTICOS



MAGÍSTER EN ECOLOGÍA  
DE SISTEMAS ACUÁTICOS



**FACIMAR**  
Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos  
Universidad de Antofagasta · Chile



Figura 1. Facilidades de cultivo de abalón rojo *Haliotis rufescens* en la Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos de la Universidad de Antofagasta.

La Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Biológicos (FACIMAR) de la Universidad de Antofagasta, establece su ámbito de acción como un ente estatal de referencia científica y asesora de cualquier iniciativa de desarrollo económico, productivo, social, ético y cultural que atañe a los ecosistemas natural de zonas áridas y desérticas de la Región de Antofagasta, con énfasis en aquellos asociados al mar, debe ser desde sistemas acuáticos altiplánicos hasta el ambiente HAdal de la Fosa de Atacama. Su oferta académica aborda como objeto la generación de conocimiento de los ecosistemas marinos y terrestres de la Región de Antofagasta y la Macrozona Norte. Para esto, la FACIMAR, concentra un recurso humano altamente calificado que contribuye a la creación de conocimiento básico y aplicado, con énfasis en la sustentabilidad de los ecosistemas y sus recursos biológicos acuáticos y terrestres. En este sentido nuestra dedicación se orienta a formar profesionales y científicos que aporten con saberes, bienes y servicios hacia la sociedad a partir de soluciones creativas a las necesidades del entorno.

Nuestra oferta de pregrado actualmente incluye las carreras de Ingeniería en Biotecnología y Biología Marina, las cuales se articulan con nuestros programas de postgrado Magister en Ecología de Sistemas Acuáticos y el Doctorado en Ciencias Aplicadas mención Sistemas Acuáticos, ambos acreditados por la Comisión Nacional de Acreditación (CNA). En el corto plazo nuestra oferta de postgrado se ampliará al ámbito de la Ecología Microbiana y la Bioinnovación. Adicionalmente y cómo nueva área del conocimiento de la FACIMAR, nuestra investigación se está fortaleciendo, a través de la incorporación de investigadores jóvenes, en el desarrollo de actividades de I+D+i en inmunoterapia y vacunas. De esta manera y en concordancia con la misión de nuestra Universidad, nuestra Facultad contribuye con una parte importante del desarrollo científico, lo que nos permite mantener y proyectar nuestro quehacer hacia el ámbito de la complejidad del desarrollo del conocimiento.

El compromiso de nuestra Facultad con la creación y difusión del conocimiento científico, se refleja en sus dos Programas de Postgrado, referidos a sistemas acuáticos, abarcando como sujeto de estudio estos sistemas, sus componentes, así como servicios ecosistémicos que proveen a la Sociedad. En ese sentido, nuestro aporte al conocimiento abarca desde las grandes profundidades de la Fosa de Atacama a los ambientes acuáticos altiplánicos.

Entre las actividades de investigación que desarrollan nuestros Académicos y que están directamente asociadas a nuestro Programa de Postgrado y que enfocan problemas en el campo de la Acuicultura y Pesquerías pero también alternativas innovadoras destacan:

### 1. Desarrollo de Perlicultura de Abalón

Desde el año 2012, el equipo de investigación liderado por el Dr. Rubén Araya Valencia, inició los primeros ensayos de lo que se ha transformado actualmente en un programa de I+D orientado a la producción de perlas en abalón rojo (*Haliotis rufescens*) (Figura 1), que se encuentra en un nivel de desarrollo de la tecnología superando el nivel 7, dada la validación de nuestro proceso bajo condiciones de cultivo comercial. Este nuevo producto que se enmarca en un proyecto institucional para la validación del programa de I+D "Abalone Pearls Technology", como alternativa de la industria abalonera, tanto nacional como internacional, ha permitido, bajo el financiamiento de distintas fuentes como ANID, CORFO y FIC-R Región de Antofagasta, obtener la aceptación de Propiedad Intelectual tanto en Chile, como en Australia, Sudáfrica y Taiwán, como parte de la estrategia de protección de nuestra tecnología en los principales países productores de abalón en el mundo.

Nuestra mayor diferenciación del actual mercado de perlas en el mundo, se sustenta en que somos el único equipo de investigación, a nivel global, que produce perlas de abalón (Figura 2 A), las cuales se caracterizan por ser exóticas y con tonos verde azulados (Figura 2 B), las cuales son muy diferentes a las perlas que saturan el mercado a partir de las especies *Pinctada fucata*



Figura 2A. Abalón rojo cultivado en las dependencias de la FACIMAR.



Figura 2B. Perlas generadas desde esta especie.



Figura 3. Actividades de muestreo de peces en el Altiplano, Lago Chungará. A la izquierda Karina González, Estudiante del programa de Doctorado en Ciencias Aplicadas mención Sistemas Acuáticos.

de Japón, *P. margaritifera* del Pacífico sur y *P. maxima* del Indo Pacífico, cuyos colores son blancos, grisáceos, rosáceos, negros, plateados y dorados. Por tanto nuestro próximo desafío apunta a establecer las alianzas necesarias para licenciar nuestra propiedad intelectual y contribuir como institución universitaria en el desarrollo de tecnología para una acuicultura innovadora.

Este proyecto no solo está aportando a la diversificación productiva sino también está permitiendo la formación de talento humano avanzado, a través de la incorporación de una estudiante de Postgrado, la Srta. Camila Sáez, que realiza su Tesis de Doctorado en este innovativo campo de desarrollo científico-tecnológico.

### 2. INVASAL

El Dr. Chris Harrod, Director del Instituto de Ciencias Naturales Alexander von Humboldt de nuestra Facultad, es Investigador Asociado y Director Suplente de INVASAL - Núcleo Milenio sobre Salmónidos Invasores Australes, que se centra en el estudio de las consecuencias de la introducción de salmónidos en Chile. En este proyecto participan colegas y estudiantes de varias universidades chilenas como la Universidad de Concepción, Universidad de Chile, Universidad de Los Lagos, Universidad de Magallanes, Universidad de Valparaíso y Universidad de Playa Ancha.

INVASAL está enfocado a estudiar las consecuencias de la introducción de salmónidos en Chile, desde los cuerpos de agua altiplánicos (Figura 3) hasta los ambientes subantárticos del sur, centrándose en las relaciones generadas entre los salmónidos invasores y los peces nativos, las interacciones generadas por los salmónidos en los sistemas socio ecológicos, las medidas y mecanismos de manejo y control de los salmónidos, así como sus relaciones ecológicas y su rol ecosistémico. El Núcleo Milenio INVASAL acaba de recibir financiamiento para una nueva fase que incluye un enfoque especial en la cuenca del lago Chungará, hábitat de dos especies nativas endémicas: *Trichomycterus chungarensis* que habita en el río Chungará y *Orestias chungarensis* que históricamente se encontraba tanto en el Río como en el Lago Chungará. La trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (una de las 100 peores especies invasoras del mundo) fue introducida ilegalmente en la cuenca del lago Chungará (4520 msnm) en el norte de Chile a finales del siglo XX para proporcionar alimento y recreación (figura 4). Des-



Figura 4. Trucha de más de 6 kilogramos capturada en el Lago Chungará.

afortunadamente, también consumen un gran número de *Orestias* endémicas, que ahora están extinguidas en el río. Karina González está realizando su tesis doctoral caracterizando el papel de la trucha arco iris en las redes tróficas de la cuenca del lago Chungará y cuenta con el apoyo de INVASAL.

### 3. Cultivo del Dorado *Seriola lalandi*: potencial impacto de parásitos metazoos.

El Dorado *Seriola lalandi* es una de las especies definidas como objetivo en el Programa Tecnológico Estratégico de *Seriola*, impulsado por Corfo, el que busca desarrollar la industria de cultivo de *Seriola lalandi*, particularmente en el norte Chile y diversificando la acuicultura nacional con esta especie, la que goza de alta aceptación en el mercado internacional, particularmente el asiático, por la calidad de su carne. El equipo liderado por la Dra. María Teresa González, con el financiamiento del Programa Innova Corfo, así como de Proyectos Fondecyt Regular, ha desarrollado una serie de investigaciones sobre los parásitos metazoos patógenos que pueden constituirse en un factor negativo en el cultivo de esta especie, de no tenerse la información biológica necesaria para la prevención de estas patologías parasitarias o minimizar sus efectos. En el marco de esta investigación, la Dra. Fabiola Sepúlveda desarrolló su tesis doctoral "Patrones Genéticos en una escala espacio-temporal de la relación Hospedador-Parásito en Poblaciones Naturales De *Seriola Lalandi*: Implicancias para la Acuicultura en las costas Del Pacífico Sur-Oriental". Entre los principales resultados, destaca el que el parásito de la superficie corporal *Benedenia seriolae* (monogeneo) no es una especie, sino en realidad un complejo de especies de amplia distribución y recientemente se describieron dos nuevas especies del género *Paradeontacylix*, (Figura 5A y 5B) un parásito digeneo del sistema circulatorio del dorado, que ha sido caracterizado como un patógeno que impacta el cultivo de especies del género *Seriola*. La caracterización de los patrones de variabilidad genética del parásito branquial *Zeuxapta seriolae*, y su potencial impacto en el cultivo del dorado es otro de los logros del Laboratorio que dirige la Dra. González.

Los proyectos en actual desarrollo refieren a: 1) estudio de parásitos en organismos marinos y sus aplicaciones como bioindicadores de contaminación; 2) taxonomía, genética poblacional y dinámica de infestación de parásitos asociados al dorado, *Seriola lalandi* y salmones; 3) Biodiversidad de parásitos en larvas de peces; 4) Parásitos castradores en crustáceos de importancia comercial.



Figura 5. *Paradeontacylix humboldti* (A) parásito de las arterias branquiales aferentes del dorado y *Paradeontacylix olivai* (B) parásito del corazón del dorado.



# Desarrollo de una herramienta molecular para la identificación de especie en almejas de Chile: Implicancias en autenticidad, inocuidad y conservación



Carlos Vargas Manriquez<sup>1,2</sup>, Sundry Vásquez García<sup>1</sup>, María Angélica Larráin Barth<sup>1,3</sup> y Cristián Araneda Tolosa<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Food Quality Reserch Center, Universidad de Chile.

<sup>2</sup> Programa Cooperativo de Doctorado en Acuicultura, Escuela de Postgrado, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.

<sup>4</sup> Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Chile es un importante exportador de recursos hidrobiológicos provenientes tanto de pesquerías como de la acuicultura. Los moluscos contribuyen con el 15,6% del total de desembarques. Entre éstos, las almejas se encuentra en el tercer lugar de la producción con 21.932 toneladas (3,9%), después de los mejillones o choritos (*Mytilus chilensis*) con 69,8% y la jibia (*Dosidicus gigas*) con 27,4% (Subpesca, 2021).

En las costas chilenas se han descrito nueve especies de almejas de importancia comercial (Osorio, 2002). Éstas provienen de capturas realizadas desde Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y de bancos naturales por pescadores artesanales. Las principales especies, por su importancia comercial como producto de exportación, son *Ameginomya antiqua* (Almeja reticulada) en el sur y *Prothaca thaca* (almeja Taca) en el norte, ambas pesquerías en estado de plena explotación, seguidas por *Tawera gayi* (almeja Juliana) (Subpesca, 2021). Otras especies de importancia comercial a nivel local y con potencial para el mercado de exportación son *Mulinia edulis* (Taquilla), *Semele solida* (Tumbao), *Gari solida* (Culengue), y tres especies de almejas blancas del género *Eurhomalea* (ex *Retrotrapes*): *E. rufa*, *E. lenticularis* y *E. exalbida*.

Dada la semeja en sus características morfológicas, estas especies resultan indistinguibles para personas no entrenadas (Figura 1). Según la nómina de especies del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), bajo el nombre común de Almeja, también se desembarcan recursos de los géneros *Ameginomya* y *Prothotaca*, que no son individualizados a nivel de especie en los anuarios de pesca (SERNAPESCA, 2021). El género *Eurhomalea*, no está incluido en esta nómina, por lo que probablemente los individuos de éste también son clasificados como almejas. Este inconveniente ha limitado la exportación de este tipo de recursos a la Unión Europea, debido a las exigencias existentes en ese mercado respecto al etiquetado de productos de la pesca y acuicultura. El reglamento vigente UE 1379/2013, obliga a declarar la denominación comercial de la especie (nombre común) junto con su nombre científico, entre otra información. A partir del año 2015, cuando ésta regulación entra en vigencia, se encontraron no conformidades relacionadas con la declaración de la especie en la rotulación de conservas de almejas exportadas



Figura 1. Morfología de las conchas de ejemplares representativos de las nueve almejas de importancia comercial presentes en las costas Chilenas.

desde Chile. Situación que hasta la fecha ha reducido la exportación de almejas a la UE, desde 1.340 toneladas en el año 2009 (8,5 millones de USD) a cero en el 2020 (Banco Central, 2021).

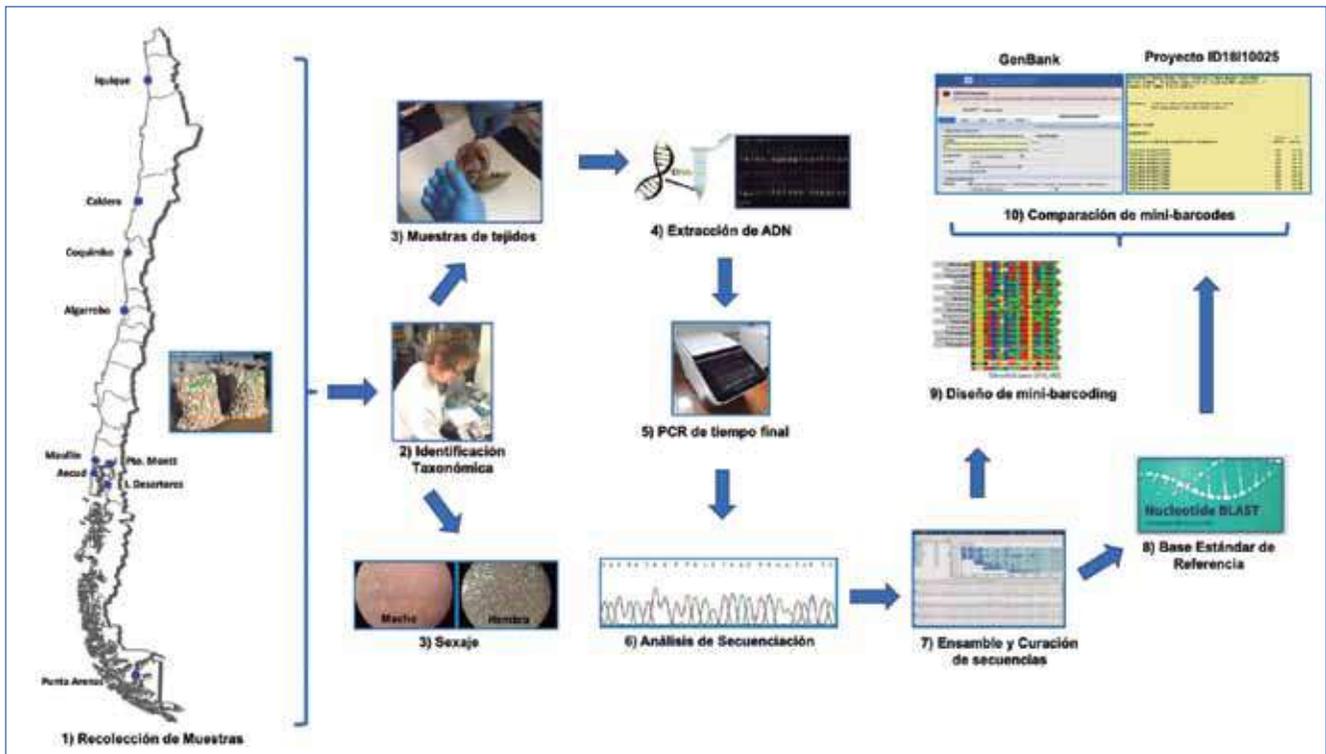


Figura 2. Esquema de actividades realizadas para la construcción de la base de datos de secuencias de referencia taxonómicamente curada y el desarrollo de marcadores “mini-barcodes” de almejas de Chile.

El problema antes descrito, evidencia la brecha creada por los requisitos de trazabilidad establecidos en la UE y la falta de métodos analíticos para identificar de forma confiable las especies de almeja, lo que ha reducido las exportaciones chilenas de este tipo de producto, disminuyendo los beneficios económicos a nivel artesanal (proveedores) e industrial (procesadores). Las exigencias sobre trazabilidad de los productos de la pesca y acuicultura establecidas en estas regulaciones, tienen como propósito: i) lograr la seguridad e inocuidad alimentaria; ii) aplicación de impuestos; iii) sostenibilidad de la actividad pesquera y la conservación de las poblaciones naturales; y iv) el combate de la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (INDNR) (Stawitz et al., 2017).

La incorrecta identificación de la especie en productos pesqueros, además de fraude y daño económico, puede tener consecuencias en la inocuidad del alimento, al incluir potenciales alérgenos no declarados en la etiqueta. También tiene consecuencias en conservación, al no permitir establecer y fiscalizar medidas de administración pesquera para cada recurso.

Las almejas en general son exportadas en conserva con el fin de prolongar su vida útil, removiendo sus caracteres taxonómicos diagnósticos, como la concha. En estos productos es prácticamente imposible identificar la especie basándose en la morfología externa (Schröder, 2008). Actualmente los análisis de ADN son los más utilizados en laboratorios de ensayo para la identificación de las especies marinas contenidas en un alimento. Estas técnicas se basan en identificar polimorfismos en el ADN nuclear o mitocondrial a nivel intra e inter específico (Rasmussen and

Morrissey, 2009). Una de las metodologías más utilizadas por laboratorios oficiales para analizar alimentos marinos es el “DNA Barcoding” o código de barras de ADN (Handy et al., 2011). Técnica que se basa en comparar la secuencia de un gen estandarizado (de aprox. 550 a 650 pares de bases o pb) de una muestra problema con secuencias del mismo gen obtenidas previamente para un amplio rango de organismos y almacenadas en una base de datos (Meusnier et al., 2008). La muestra se considera correctamente identificada si la similitud de su secuencia es de un 98% o superior con alguna de la secuencias almacenadas en la base de datos (Barbutto et al., 2010). Las bases de datos más consultadas para aplicar esta metodología son de acceso público (GenBank, BOLD System y MytoFish). Sin embargo sus principales inconvenientes son: una baja cobertura taxonómica para algunos grupos de organismos (no están incluidas todas las especies), la presencia de inexactitudes taxonómicas (secuencias obtenidas desde especies mal identificadas) y la desactualización de la taxonomía (la especie cambió de nombre y éste no fue actualizado). Estos inconvenientes han motivado iniciativas para construir bases de datos taxonomicamente curadas para grupos particulares de organismos (Oliveira et al., 2016).

En alimentos altamente procesados, como ocurre con las conservas, el ADN se encuentra fragmentado en tamaños menores a 300 pb (Rasmussen and Morrissey, 2009). Considerando que las secuencias “barcode”, presentan un tamaño aproximado de 600 pb, no pueden ser analizadas en este tipo de productos. Para superar esta dificultad, se han usado las secuencias llamadas “mini-barcode”, ubicadas en los mismos genes “barcode” pero de menor



partidores con los que se amplificaron secuencias “mini-barcode” en los cinco genes seleccionados, en nuevos individuos de las especies estudiadas. Con las secuencias obtenidas se interrogó la base de datos estándar de referencia anteriormente mencionada y se comparó su desempeño con la base de datos de GenBank (Figura 2). Este análisis demostró las inexactitudes taxonómicas presentes en las bases de datos públicas y al mismo tiempo pone de manifiesto la importancia de usar bases de datos taxonómicamente curadas para realizar la identificación de especímenes con estándares forenses. Por ejemplo, uno de los “mini-barcode» que identifica correctamente a la especie de almeja Juliana (*Tawera gayi*) en nuestra base de datos, identificó las muestras de Juliana como *Eurhomalea leticularis* en GenBank. Sin embargo, la morfología de la concha del ejemplar cuya secuencia fue depositada en esta última base de datos claramente muestra que corresponde a una almeja Juliana (Figura 3).

El desempeño del método desarrollado en base a los cinco “mini-barcode» fue satisfactorio. La capacidad de identificar correctamente la especie de las almejas estudiadas fue máxima (Sensibilidad = 1.0). Por otro lado, la capacidad del método para excluir de la especie a individuos que pertenecen a otras especies (Especificidad = 1.0) también fue máxima.

Este positivo resultado es la primera etapa del desarrollo de un método confiable para la identificación de las nueve almejas de interés comercial de Chile, con estándares forenses.

La identificación molecular de almejas se ha realizado mediante el método del FINS (“Forensically Informative Nucleotide Sequencing”) basado en la secuenciación del gen *18S rDNA*, pudiendo identificar solo *A. antiqua* y *P. thaca* de entre otras especies de bivalvos (Españeira et al., 2009). Cabe mencionar que, tanto el “DNA barcoding” clásico como el FINS, identifican la especie analizando un solo gen (método mono-locus). Sin embargo, basar la identificación de la especie en un solo gen resulta poco confiable y susceptible a errores, por eso el método desarrollado en este proyecto analiza cinco “mini-barcode» para realizar una identificación más confiable de los especímenes de almejas (aproximación multi-locus). Este método constituye una herramienta innovadora y efectiva para la determinación de especie en almejas de importancia en Chile. Permite resolver los problemas de trazabilidad existentes en la actualidad, aportando a superar las barreras a las exportaciones nacionales. Este desarrollo también permitirá mejoras en la cuantificación de los recursos extraídos y en la fiscalización de las medidas de administración pesquera. Es el primer paso para el establecimiento de métodos oficiales para identificar las almejas de importancia comercial que se extraen desde el mar chileno y contribuir así a la calidad, autenticidad, inocuidad y explotación sostenible de este valorado alimento.

Actualmente, el método tiene un nivel de madurez tecnológica TRL 4, es decir que ha sido validado en entorno de laboratorio y en una etapa posterior, se espera llevarlo a TRL 7, es decir tecnología probada en ambiente operacional, una vez que sea validado bajo estándares internacionales. El proyecto FONDEF ID18110025 fue

apoyado en su desarrollo por Pesquera Transantártica Ltda., el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, el Centro de Innovación Acuicultura Aquapacífico y el Laboratorio Aquagestión S.A.

#### Bases de datos online:

GenBank - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>  
 BOLDSYSTEMS - <http://www.boldsystems.org/index.php>  
 MitoFish - <http://mitofish.aori.u-tokyo.ac.jp/>



#### Referencias

- Armani, A., Guardone, L., Castigliano, L., D'Amico, P., Messina, A., Malandra, R., Gianfaldoni, D., Guidi, A., 2015. DNA and Mini-DNA barcoding for the identification of Porgies species (family Sparidae) of commercial interest on the international market. *Food Control* 50, 589–596. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.09.025>
- Banco Central, 2021. Indicadores de Comercio Exterior primer trimestre 2020 [WWW Document]. URL <https://www.bcentral.cl/es/web/banco-central/contenido/-/details/indicadores-de-comercio-exterior-primer-trimestre-2020> (accessed 9.28.21).
- Barbuti, M., Galimberti, A., Ferri, E., Labra, M., Malandra, R., Galli, P., Casiraghi, M., 2010. DNA barcoding reveals fraudulent substitutions in shark seafood products: The Italian case of “palombo” (*Mustelus* spp.). *Food Res. Int.* 43, 376–381. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.009>
- Españeira, M., González-Lavín, N., Vieites, J.M., Santaclara, F.J., 2009. Development of a Method for the Genetic Identification of Commercial Bivalve Species Based on Mitochondrial 18S rRNA Sequences. *J. Agric. Food Chem.* 57, 495–502. <https://doi.org/10.1021/jf802787d>
- Handy, S.M., Deeds, J.R., Ivanova, N. V, Hebert, P.D.N., Hanner, R.H., Oromos, A., Weigt, L.A., Moore, M.M., Yancy, H.F., 2011. A single-laboratory validated method for the generation of DNA barcodes for the identification of fish for regulatory compliance. *J. AOAC Int.* 94, 201–210.
- Meunier, I., Singer, G.A.C., Landry, J.-F., Hickey, D.A., Hebert, P.D.N., Hajibabaei, M., 2008. A universal DNA mini-barcode for biodiversity analysis. *BMC Genomics* 9, 214. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-214>
- Oliveira, L.M., Kneibelsberger, T., Landi, M., Soares, P., Raupach, M.J., Costa, F.O., 2016. Assembling and auditing a comprehensive DNA barcode reference library for European marine fishes. *J. Fish Biol.* 89, 2741–2754. <https://doi.org/10.1111/jfb.13169>
- Osorio, C., 2002. Moluscos marinos en Chile. Especies de importancia económica: Guía para su identificación., Primera. ed. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Rasmussen, R.S., Morrissey, M.T., 2009. Application of DNA-based methods to identify fish and seafood substitution on the commercial market. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 8, 118–154. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00073.x>
- Schröder, U., 2008. Challenges in the Traceability of Seafood. *J. für Verbraucherschutz und Leb.* 3, 45–48. <https://doi.org/10.1007/s00003-007-0302-8>
- SERNAPESCA, 2021. Anuario Estadístico de Pesca 2020 [WWW Document]. URL <http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura> (accessed 9.28.21).
- Stawitz, C.C., Siple, M.C., Munsch, S.H., Lee, Q., Derby, S.R., 2017. Financial and Ecological Implications of Global Seafood Mislabeling. *Conserv. Lett.* n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/conl.12328>
- Subpesca, 2021. Estado de situación de las principales pesquerías chilenas, año 2020 [WWW Document]. URL [https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-110503\\_recurso\\_1.pdf](https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-110503_recurso_1.pdf) (accessed 9.28.21).

**RESITER**  
Economía Circular

Entregamos más de 130 servicios a miles de empresas en Latinoamérica.

**Llegamos a México** haciendo realidad la Economía Circular.

RESITER México

RESITER Colombia

RESITER Perú

RESITER Chile

RESITER Uruguay

Nuestras filiales:

**resiter.com**

**greenspot.**  
Somos Resiter

**CALAGRO**  
Somos Resiter

**VERDECORP**  
Somos Resiter

**ECCOFEED**  
Somos Resiter

**AFRECOR**  
Somos Resiter

# Aplicación de péptidos antimicrobianos para el control de patógenos bacterianos de salmónidos: UNA MIRADA AL CONTEXTO SANITARIO DE LA SALMONICULTURA EN CHILE Y PERÚ



Paula Santana<sup>a</sup>, Claudio Álvarez<sup>b</sup>, Nancy Alvarado<sup>a</sup>, Fanny Guzmán<sup>c</sup>, Nieves Sandoval<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas, Facultad de Ingeniería,

Universidad Autónoma de Chile, Santiago, Chile / paula.santana@uautonoma.cl; nancy.alvarado@uautonoma.cl

<sup>b</sup>Laboratorio de Fisiología y Genética Marina, Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas, Coquimbo, Chile

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica Del Norte, Coquimbo, Chile / claudio.alvarez@ceaza.cl

<sup>c</sup>Núcleo Biotecnología Curauma, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile / fanny.guzman@pucv.cl

<sup>d</sup>Lab. Histología, Embriología y Patología Veterinaria, Facultad de Medicina Veterinaria,

Universidad Nacional Mayor de San Marcos / nsandovalc@unmsm.edu.pe

De acuerdo al Informe Sanitario de la Salmonicultura, Chile llegó a su máxima producción en el año 2020 con 1.075.896 toneladas, donde el 17,6% de las mortalidades de trucha arcoíris y el 19,3 % de salmón del Atlántico fueron asociadas a agentes infecciosos, de los cuales un porcentaje superior al 30 y 50%, respectivamente, fueron producidos por patógenos de origen bacteriano [1,2].

En el Perú la producción nacional de trucha arcoíris (principal salmónido producido en dicho país) ha ido incrementándose de manera exponencial, reportando en el año 2020 una producción de 54.187 toneladas [3]. Acompañado de este cultivo intensivo, las enfermedades de origen bacteriano han sido cada vez más prevalentes, junto con ampliar su distribución en el país. En la realidad peruana, se describe que los patógenos bacterianos causan mortalidades que oscilan entre el 25 y 50% [4].

Tanto en Chile como en Perú, infecciones recurrentes en el cultivo de trucha arcoíris son producidas principalmente por bacterias Gram-negativas, tales como *Yersinia ruckeri*, *Flavobacterium psychrophilum* y *Aeromonas salmonicida* [5-7]. La constante presencia de ese tipo de patógenos ha obligado a la industria de salmónidos de ambos países a incrementar el uso de antibióticos, llegando en Chile a las 379,6 toneladas de antibióticos en el año 2020. Los esfuerzos de la autoridad nacional han permitido frenar el incremento en el uso de estos compuestos [1]. Por contraparte, en Perú no existen datos oficiales que permitan

conocer la cantidad de antibióticos que se utilizan en la industria truchícola. Sin embargo, en un estudio realizado a 50 truchas de aproximadamente 200 a 250 g se detectaron en el tejido muscular de éstas cinco antibióticos (tetraciclina, 2 sulfonamidas y 2 fluoroquinolonas) [8]. Este problema es aún más preocupante, debido a los recientes reportes de cepas resistentes a los antibióticos, problema que en parte es responsabilidad de esta industria por el uso no regulado de estos compuestos [9,10]. Es, por lo tanto, una necesidad para este sector estudiar alternativas de control para patógenos bacterianos recurrentes que permitan frenar la proliferación de microorganismos en las jaulas de cultivo y a la vez reducir el uso de antibióticos.

En el Perú, la industria acuícola recientemente está integrando el área sanitaria en sus actividades productivas y comenzando a investigar medidas de prevención. Al respecto, el grupo de investigación de Sanidad Acuícola (GRISANAC), ha logrado obtener un cepario de los principales patógenos bacterianos del cultivo de trucha en Perú, identificando una variabilidad fenotípica en el caso de *Y. ruckeri* entre cepas obtenidas de diferentes regiones (Huaraz, Junin y Huancavelica), así mismo, se ha determinado la presencia de tanto el biotipo 1 y biotipo 2 así como el serotipo presente en la zona de Junin, y como en otras regiones estudiadas es el serotipo O1a. Además, estudios de patogenicidad de diversas cepas de *Y. ruckeri*, *A. salmonicida* y *F. psychrophilum* han determinado que las cepas de Huaraz, Puno y cepa de Huancavelica son las más patogénicas. Esta información ha

permitido desarrollar los primeros estudios para el desarrollo de una vacuna contra *Y. ruckeri* y otra polivalente contra las tres bacterias con mayor prevalencia en el país.

En Chile, por más de una década, la industria salmonera ha probado el uso de vacunas como un método costo-efectivo para controlar ciertas enfermedades infecciosas. El consenso general es que las vacunas profilácticas actuales proporcionan cierta protección, aunque todavía hay una limitada documentación de su eficacia en campo para ciertos patógenos bacterianos recurrentes, tales como *Piscirickettsia salmonis* [11]. Por lo tanto, la vacunación debe considerarse como parte de un esquema integral de gestión de la salud de los peces, y no la única solución. Una de las soluciones para combatir las enfermedades infecciosas bacterianas en salmicultura podría encontrarse en los propios peces. El estudio de péptidos antimicrobianos (AMPs, por su sigla en inglés) en los salmónidos, a través de investigaciones de la red AcuPep Chile-Perú, podría ayudar a comprender los mecanismos de defensa de estas especies acuícolas, junto con promover a los AMP como moléculas candidatas para la generación de compuestos antibacterianos. Quienes forman parte de esta red en Chile son el grupo de péptidos bioactivos terapéuticos del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas (ICQA-UA), dirigido por la Dra. Paula Santana, en conjunto con el grupo de síntesis de péptidos (PUCV-NBC), dirigido por la Dra. Fanny Guzmán y el grupo de Fisiología y Genética Marina (FIGEMA-CEAZA-UCN), a cargo del Dr. Claudio Álvarez. Fruto de este trabajo colaborativo se han identificado y caracterizado AMP en trucha y salmón del atlántico. Asimismo, se ha logrado avanzar en comprender el mecanismo de acción de este tipo de compuestos (Figura 1).

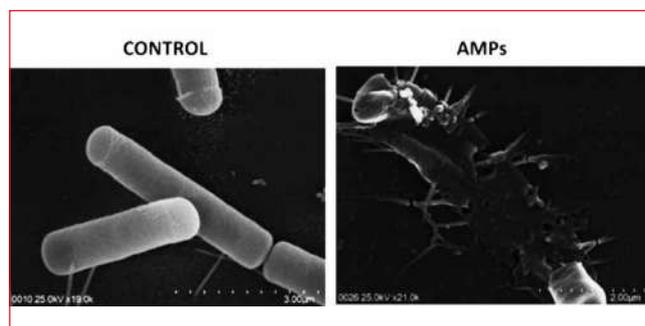


Figura 1. Microscopía electrónica de barrido de *Flavobacterium psychrophilum*. Micrografía que muestra la integridad de la membrana de *F. psychrophilum* sin péptido (control, izquierda) tratadas con un péptido derivado de salmón (AMPs, derecha). Imagen capturada por el Dr. Claudio Álvarez.

Los AMPs, se caracterizan por tener un bajo peso molecular, usualmente menores de 10 kDa. En su mayoría, son moléculas catiónicas debido a su alto contenido de lisina y arginina además de poseer una proporción de alrededor del 50% de residuos hidrofóbicos. Asimismo, exhiben múltiples mecanismos de acción, entre ellos se ha descrito la interacción con membranas celulares, inhibición de la síntesis proteica y de ácidos nucleicos, estimulación de producción de peróxido de hidrógeno, entre otras. Además, poseen un amplio espectro de acción que incluye ac-

tividades antifúngicas, antibacterianas, antivirales e inmunomoduladoras. Son considerados efectores de la respuesta inmune innata de peces, expresándose en diferentes tejidos asociados a la defensa frente a bacterias patógenas. Y además al ser biodegradables tienen la ventaja de ser compatibles con el medio ambiente [12-16].

En salmónidos, se han descrito 6 clases de AMPs principalmente derivadas de las familias de las piscidinas, catelicidinas, defensinas y hepcidinas [16,17], y actualmente el grupo de péptidos bioactivos terapéuticos ha identificado AMPs derivados del extremo C-terminal de la quimioquina IL-8 de salmónidos, los cuales poseen acción antibacteriana frente a bacterias Gram negativas [18].

Si bien los AMPs tienen un potencial terapéutico, hasta ahora el método de aplicación es mediante inyección intraperitoneal, estrategia que provoca estrés. Además, al igual que las vacunas inyectables, podría ocasionar efectos secundarios locales, tales como inflamación, adhesión y necrosis tisular [19]. Por estas razones, es necesario explorar nuevos sistemas de liberación de biofármacos, con el objetivo de poder incorporarlos durante la formulación de los alimentos para peces. Los dos sistemas que se han aplicado con mayor éxito son: PEGilación y microencapsulación (liposomas o polímeros) [20-22]. Esta última estrategia permite recubrir moléculas con una capa de material biocompatible, la cual tiene las ventajas de aumentar el poder terapéutico y disminuir la frecuencia de administración, además de reducir la dosis total requerida y disminuir los efectos adversos [23,24]. De esta manera, la microencapsulación es una estrategia que permite proteger y facilitar la administración oral tanto de antígenos para vacunas y péptidos en peces [25-29]. Al respecto, la Dra. Nancy Alvarado, investigadora de ICQA y parte de la red AcuPep, ha iniciado el estudio de los mejores polímeros encapsulantes para este tipo de moléculas.

**Agradecimientos:** Proyecto Redes de investigación en Biotecnología Chile Perú Concurso Año 2019 “Implementación de una Red de colaboración Chile-Perú para el control patógenos bacterianos de salmónidos a través de la aplicación de péptidos antimicrobianos”. CONICYT-CONCYTEC REDBIO0009.

## Referencias

- [1] Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), 2021 a. Informe sobre uso de antimicrobianos en la salmicultura nacional, Primer Semestre - Año 2021.
- [2] Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), 2021 b. Informe sanitario de la salmicultura en centros marinos 1° semestre 2021
- [3] Ministerio de la Producción PRODUCE. (2021). Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola 2020.
- [4] Jeasen A. Montesinos (2018). Diagnóstico situacional de la crianza de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en centros de cultivo del lago Titicaca. Tesis de maestría. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima. Perú.
- [5] Dina Mamani (2016). Evidencia de piscirickettsia salmonis y yersinia ruckeri en truchas arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en cultivo de balsa jaula en el lago Titicaca en el distrito de pomata departamento de puno

(Perú). Tesis de magister. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

[6] Carlos E. Távara (2019). Expresión de genes de la respuesta inmune local y sistémica frente a la infección por *flavobacterium psychrophilum* en trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* en la provincia de Puno-Perú. Tesis de maestría. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima. Perú

[7] Mundo acuícola, (2019). Perú y su esfuerzo actual por aprovechar el potencial acuícola del país

[8] Franz Zirena Vilca, F. Zirena Vilca, Nestor Cahui Galarza, N. Cahui Galarza, Juan R. Tejedo, J. R. Tejedo, Walter Alejandro Zamalloa Cuba, W. Alejandro Zamalloa Cuba, Clara Nely Campos Quiróz, C. Nely Campos Quiróz, & Valdemar Luiz Tornisielo, V. Luiz Tornisielo. (2021). Occurrence of residues of veterinary antibiotics in water, sediment and trout tissue (*Oncorhynchus mykiss*) in the southern area of Lake Titicaca, Perú. Journal of Great Lakes research, 47, 1219-1227.

[9] Shah, S.Q.A., Cabello, F.C., L'Abée-Lund, T.M., Tomova, A., Godfrey, H.P., Buschmann, A.H., Sørum, H., 2014. Antimicrobial resistance and antimicrobial resistance genes in marine bacteria from salmon aquaculture and non-aquaculture sites. Environ. Microbiol. 16, 1310–1320.

[10] F.C. Cabello, H.P. Godfrey, L. Ivanova, S.Q.A. Shah, H. Sørum, A. Tomova, Freshwater salmon aquaculture in Chile and transferable antimicrobial resistance. Environ. Microbiol. 22 (2020) 559–563.

[11] Maisey, K., Montero, R., Christodoulides, M., 2017. Vaccines for piscirickettsiosis (salmonid rickettsial septicaemia, SRS): the Chile perspective. Expert Rev. Vaccines 16, 215–228.

[12] Nguyen L.T., Haney E. F., Vogel H. J. The expanding scope of antimicrobial peptide structures and their modes of action. Trends in Biotechnology. Vol. 29, N°9 (2011), 464-472.

[13] Riegera A. M., Barreda D. R. Antimicrobial mechanisms of fish leukocytes. Developmental and Comparative Immunology 35 (2011), 1238–1245.

[14] N. Mookherjee, M.A. Anderson, H.P. Haagsman, D.J. Davidson, Antimicrobial host defence peptides: functions and clinical potential. Nat. Rev. Drug Discov. 19 (2020) 311–332.

[15] P. Chaturvedi, R.A.H. Bhat, A. Pande, Antimicrobial peptides of fish: innocuous alternatives to antibiotics. Rev. Aquac. 12 (2020) 85–106.

[16] Y. Valero, M. Saraiva-Fraga, B. Costas, F.A. Guardiola, Antimicrobial peptides from fish: beyond the fight against pathogens. Rev. Aquac. 12 (2020) 224–253.

[17] B.A. Katzenback, Antimicrobial peptides as mediators of innate immunity in teleosts. Biology (Basel). 4 (2015) 607–639.

[18] Paula A. Santana, Nicolás Salinas, Claudio A. Álvarez, Luis A. Mercado, Fanny Guzmán (2018). Alpha-helical domain from IL-8 of salmonids: Mechanism of action and identification of a novel antimicrobial function. Biochemical and Biophysical Research Communications, Vol 498, 4:803-809.

[19] Embregts, C.W.E., Forlenza, M., 2016. Oral vaccination of fish: Lessons from humans and veterinary species. Dev. Comp. Immunol. 64, 118–137.

[20] Giteau, A., Venier-Julienne, M.C., Aubert-Pouëssel, A., Benoit, J.P., 2008. How to achieve sustained and complete protein release from PLGA-based microparticles? Int. J. Pharm. 350, 14–26.

[21] Pisal, D.S., Kosloski, M.P., Balu-Iyer, S. V., 2010. Delivery of Therapeutic Proteins. J. Pharm. Sci. 99, 2557–2575.

[22] Van der Walle, C.F., Sharma, G., Ravi Kumar, M., 2009. Current approaches to stabilising and analysing proteins during microencapsulation in PLGA. Expert Opin. Drug Deliv. 6, 177–186.

[23] Freiberg, S., Zhu, X.X., 2004. Polymer microspheres for controlled drug release. Int. J. Pharm. 282, 1–18.

[24] Li, M., Rouaud, O., Poncelet, D., 2008. Microencapsulation by solvent evaporation: State of the art for process engineering approaches. Int. J. Pharm. 363, 26–39.

[25] Cruz, J., Flórez, J., Torres, R., Urquiza, M., Gutiérrez, J.A., Guzmán, F., Ortiz, C.C., 2017. Antimicrobial activity of a new synthetic peptide loaded in polylactic acid or poly(lactic-co-glycolic) acid nanoparticles against *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* O157:H7 and methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). Nanotechnology 28, 135102.

[26] Schoenhammer, K., Boisclair, J., Schuetz, H., Petersen, H., Goepferich, A., 2010. Biocompatibility of an Injectable In Situ Forming Depot for Peptide Delivery. J. Pharm. Sci. 99, 4390–4399.

[27] Thanou, M., Verhoef, J.C., Junginger, H.E., 2001. Oral drug absorption enhancement by chitosan and its derivatives. Adv. Drug Deliv. Rev. 52, 117–26.

[28] Kong, M., Chen, X.G., Xing, K., Park, H.J., 2010. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. Int. J. Food Microbiol. 144, 51–63.

[29] Piras, A.M., Maisetta, G., Sandreschi, S., Gazzarri, M., Bartoli, C., Grassi, L., Esin, S., Chiellini, F., Batoni, G., 2015. Chitosan nanoparticles loaded with the antimicrobial peptide temporin B exert a long-term antibacterial activity in vitro against clinical isolates of *Staphylococcus epidermidis*. Front. Microbiol. 6, 372.



Figura 2. Investigadores de la RED AQUPEP que participaron en el primer seminario internacional realizado en Lima Perú en diciembre de 2019. Izq-der: Dra. Nancy Alvarado (UA), Dra. Paula Santana (UA), Fanny Guzman (PUCV), Mg. Nieves Sandoval (UNMSM), Dr. Claudio Alvarez (CEAZA), Dr. Alberto Manchego (UNMSM).

# Manejo de recursos acuáticos con enfoque ecosistémico: AVANCES, BRECHAS Y PERSPECTIVAS



Eleuterio Yáñez<sup>1</sup>, Carolina Lang<sup>2</sup>, María Angela Barbieri<sup>1</sup>, Carlos Montenegro<sup>2</sup> & Claudia Andrade<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prof. Titular Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

<sup>2</sup>Instituto de Fomento Pesquero

<sup>3</sup>Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes

La Sociedad Chilena de Ciencias del Mar (SCHCM) y el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) organizaron el “Seminario Internacional sobre Manejo de Recursos Acuáticos con Enfoque Ecosistémico: Avances, Brechas y Perspectivas”. El Seminario tuvo como principal objetivo reunir a científicos nacionales e internacionales para compartir experiencias y conocimientos sobre el enfoque ecosistémico aplicado a sistemas pesqueros y de acuicultura, y con ello acercar nuestra mirada a este enfoque integrador, comprender sus componentes e identificar brechas y avances a través de aplicaciones actualmente en operación. El seminario se realizó entre el 1 y 3 de diciembre 2020 vía remota, asistiendo científicos nacionales e internacionales y autoridades encargadas de investigación y manejo

de recursos acuáticos. En este Seminario se desarrollaron 5 módulos, cada uno compuesto por 4-5 presentaciones, seguidas de un foro de preguntas y discusiones. Los dos últimos días invitados internacionales de reconocida trayectoria (de Canadá, USA, Australia y Perú) expusieron sobre el tema central del seminario, a quienes se agrega un experto de FAO. Las presentaciones proporcionaron distintas perspectivas sobre el marco regulatorio, el estado actual del enfoque ecosistémico, avances en acuicultura, aproximaciones recurso-hábitat y aplicaciones en pesquerías. A continuación se presenta una síntesis de dicho seminario, toda vez que un documento de mayor extensión se encuentra en preparación.

**E**n Chile, desde el 2013 el marco legal de la pesca y la acuicultura establece el objetivo de la conservación, implicando el uso sustentable de los recursos hidrobiológicos y el cuidado del ecosistema con la aplicación de los enfoques ecosistémico y precautorio; además de una administración transparente, responsable e inclusiva. El enfoque ecosistémico promueve el desarrollo sostenible, el bienestar humano y ecológico, mediante una adecuada gobernabilidad y gobernanza. A fines de la década del 2000 la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y el Instituto de Fomento Pesquero inician en forma conjunta programas de investigación sobre el conocimiento científico necesario para avanzar hacia el manejo con enfoque ecosistémico. En paralelo, importantes centros de investigación y universidades chilenas han hecho importantes contribuciones para avanzar en la investigación orientada a comprender la dinámica integral de los sistemas socio-ecológicos asociados a las actividades de pesca y acuicultura.

El enfoque ecosistémico exige un enorme esfuerzo y cooperación entre científicos, pescadores, ambientalistas y autoridades y no se sostendrá simplemente en el principio sancionatorio de la autoridad, sino en la colaboración de todos los actores involucrados. Por su parte el IFOP, responsable de asesorar al Estado de Chile, se encamina a modificar su estructura interna y desarrollar una cultura proclive a estimular la colaboración entre sus investigadores, facilitando la integración de experiencias y miradas diversas sobre los recursos que comparten un ecosistema determinado.

La implementación del manejo con enfoque ecosistémico en el país ha avanzado en varias líneas; por ejemplo, implementando la ley del descarte, con su cuantificación y reducción de éste. Así, desde el 2020 se instalan cámaras a bordo de naves de la flota industrial y desde el 2024 se extenderán a la flota artesanal. También se elabora un plan de devolución al mar de la pesca incidental (tiburones, quimeras, condrictios, aves, tortugas, otros); se declaran áreas marinas protegidas para conservar o preservar áreas específicas y delimitadas; se apoya la diversificación productiva de la pesca artesanal; se promueve el consumo humano; se postulan Espacios Costeros Marinos para Pueblos Originarios; se crea el Instituto Nacional de Desarrollo Sustentable de la Pesca y la Acuicultura de Pequeña Escala; entre otros.

En la práctica se han desarrollado diversas acciones orientadas hacia la aplicación del manejo con enfoque ecosistémico, incorporando mecanismos de participación y transparencia, estableciendo normas que favorecen la diversificación productiva, la ampliación del conocimiento científico en que se basan las medidas de administración y estableciendo normas que permiten fiscalizar su cumplimiento. Sin embargo, se debe reforzar la incorporación de aspectos de la dimensión humana asociados, como son las variables sociales y económicas. No obstante las diversas iniciativas en torno al enfoque integrador, que incluye grupos de investigación que han desarrollado estudios sobre las relaciones interespecíficas y el efecto de la variabilidad ambiental, queda bastante

por avanzar para alcanzar un manejo basado en consideraciones ecosistémicas. Por tal motivo es importante considerar programas más avanzados en el tema, como el Restore Science de la NOAA con aplicaciones en México (Dr. D. Chagaris, USA, expositor en el seminario), las múltiples aplicaciones de Ecopath con Ecosim (EwE) (Prof. V. Christensen, Canadá, expositor en el seminario), que dentro de las más notables está el monitoreo del ecosistema a nivel multisectorial, y el uso de indicadores del estado ambiental en la Unión Europea. También se pueden mencionar los avances en el manejo basado en ecosistemas en pesca en pequeña escala a través de un enfoque de múltiples especies (Dra. K. Karr, USA, expositora en el seminario) y la implementación de indicadores y modelos en el manejo de recursos pesqueros con enfoque ecosistémico del Norte del Ecosistema de la Corriente de Humboldt (Dr. J. Tam, Perú, expositor en el seminario).

Otras iniciativas de en Chile se relacionan con la creación de instancias de participación que favorecen la gobernanza, como los Comités Científico-Técnico, los Comités de Manejo, los Consejos Zonales y el Consejo Nacional de Pesca y Acuicultura. Actualmente también se desarrollan proyectos relacionados con la “Implementación del enfoque ecosistémico en la pesquería de sardina austral” (Dr. S. Neira, Chile, expositor en el seminario), la modelación ecosistémica de la pesquería de anchoveta entre Atacama y Coquimbo (Dr. C. Montenegro, Chile, expositor en el seminario) y la implementación del modelo Atlantis en el ecosistema de Juan Fernández (Dr. J. Porobic, Australia, expositor en el seminario). Además, se inició en colaboración con Perú la segunda etapa del proyecto GEF-PNUD Humboldt “Hacia un manejo con enfoque ecosistémico del gran ecosistema marino de la corriente de Humboldt”. También se ha avanzado en el análisis de los impactos y proyecciones de pesquerías y acuicultura en relación con el cambio climático.

No obstante, es claro que ante estas iniciativas es necesaria la formación de un grupo interdisciplinario que analice la situación y proponga un camino para avanzar con celeridad en este tema. En tanto que la comunidad académica necesita establecer una estrategia científica de mediano y largo plazo para mejorar su capacidad de proporcionar competencias adecuadas para el manejo con enfoque ecosistémico de los recursos acuáticos. Por su parte, la institucionalidad debe precisar en la Ley General de Pesca y Acuicultura el significado del manejo con enfoque ecosistémico y la forma de promocionarlo; así como definir una política pesquera que persiga claros objetivos.

En particular, el Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA) debe ser administrado por especialistas debidamente seleccionados y pasar a financiar programas de investigación de mediano y largo plazo, considerando todas las especies explotadas y no solo algunas especies objetivos. En tanto que el programa básico de investigación para la asesoría integral en pesquerías y acuicultura (ASIPA), que contempla la ejecución de proyectos en forma continua a través del IFOP, debe definir una estrategia y estructura que permita una revisión de la información científica disponible, generar información como inputs de los modelos ecosistémicos, proponer potenciales indicadores

de estado del ecosistema y una base de datos consolidada que dé cuenta de los cambios de régimen, biomasa y distribución de especies que se espera puedan tener un impacto en la estructura de los ecosistemas. Por último, contribuir activamente con la comunidad científica actualizando la información de sitios webs y bases de datos nacionales e internacionales de uso público en referencia a los aspectos biológicos y ecológicos de las especies.

Respecto de la acuicultura en Chile, ésta enfrenta brechas y desafíos en el plano productivo, ambiental, económico y social. El acortar estas brechas y desafíos también requiere de la generación de conocimiento científico con una perspectiva multidimensional de la realidad. La naturaleza de los desafíos que enfrenta la acuicultura deriva de una actividad que forma parte de sistemas socio-ecológicos de alta complejidad, al igual que en las pesquerías. Como ha planteado la FAO, el enfoque ecosistémico en la acuicultura (EEA) es la estrategia que permite la integración óptima de la actividad acuícola en el ecosistema, favoreciendo el desarrollo sostenible y la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos; así, existe un vínculo indisoluble entre el EEA y la investigación interdisciplinaria (Dr. José Aguilar, Oficial de Acuicultura FAO, expositor en el seminario).

La acuicultura no es un caso apartado y por tanto tiene mucha similitud con las pesquerías respecto del enfoque ecosistémico. La investigación interdisciplinaria es clave para avanzar en la comprensión de estos sistemas y resolver problemas que van más allá de una única disciplina o área de investigación. Para aplicar el EEA es fundamental lograr que quienes toman las decisiones en los procesos de gobernanza tengan una perspectiva interdisciplinaria de la acuicultura y sus desafíos. Esto requiere que las instituciones sectoriales diversifiquen sus equipos de trabajo y de análisis con profesionales que provengan de diversas áreas, de tal manera de lograr una aproximación integral de la realidad natural, social y económica.

Las limitaciones más relevantes que enfrentan los gobiernos para la implementación del EEA son: la mala o limitada gobernanza y regulación; falta de integración y coordinación interinstitucional; falta o limitada capacidad técnica; restricciones financieras; y la ambigüedad de los beneficios percibidos por administradores y productores.

El énfasis en la planificación espacial que se ha desarrollado como parte de los esfuerzos de implementación del EEA y los vínculos estrechos con iniciativas como el “Crecimiento Azul”, constituyen oportunidades significativas para el futuro, aunque su capacidad para abordar problemas de gobernanza - cada vez más complejos - puede ser limitado. Por lo tanto, se estima oportuno reconsiderar la razón de ser del EEA, teniendo en cuenta los desarrollos en curso dentro y fuera del sector de la acuicultura.

Actualmente la gestión ambiental de la acuicultura en los ecosistemas de fiordos está basada en la determinación de riesgos. Los fiordos son áreas complejas, con alta variabilidad ambiental, que tienen diversas características hidrodinámicas y biogeoquímicas. En el último decenio, preferentemente en la Patagonia Norte, se

desarrollan diversas líneas de investigación, como la modelación ambiental, la descripción de los procesos locales y de mayor escala considerando componentes físicos, químicos y biológicos en el ecosistema marino. Los modelos han permitido la representación numérica de los fiordos, con detalles de la compleja geometría topográfica. Esta investigación es complementaria a la observacional que genera series de tiempo en diversos sitios y puntos de muestreo. Los estudios de dinámica y procesos ecológicos en Chile son escasos y parciales (Dr. A. Sepúlveda, Chile, expositor en el seminario).

Para transitar de manera concreta hacia el manejo con enfoque ecosistémico de la acuicultura, se debiera avanzar en investigación, innovación tecnológica, productiva e institucionalidad, de modo independiente pero complementario (Dra. Doris Soto, Chile, expositora en el seminario). Se debe determinar cuanta materia y energía ingresa al ecosistema, y cuanta sale por acción de la acuicultura. Se debe encontrar la manera de aprovechar la materia que queda en el ecosistema, recuperar los nutrientes y transitar hacia cultivos integrados multitroféicos para hacer uso de los nutrientes de diversos orígenes. Se podría integrar por ejemplo el cultivo de salmones, macroalgas e invertebrados. La idea principal que probablemente definirá más de una acción futura en este ámbito es encontrar balances, no perder el carbono en la respiración bacteriana, recuperar esos nutrientes y explorar la posibilidad de desarrollar cultivos integrados.

En el caso del cultivo de salmones off-shore y del cerrado en tierra se deben evaluar los impactos en el ambiente. Los costos de la producción de éstos van a ser superiores a los del método de cultivo actual y en ambos casos la cantidad de materia orgánica que se va a generar es la misma, con una mayor difusión en el medio en el cultivo off-shore. El cultivo cerrado es más eficiente en el uso del agua, pero en ambos tipos de cultivo los diferentes elementos van a quedar en alguna parte del ecosistema, y se presentan problemas de escala y escalamiento. Entonces estas problemáticas refuerzan la idea de cultivos integrados, que desde el punto de vista ambiental son más eficientes.

En Chile se reconoce que, a diferencia de lo que ocurre a nivel mundial, la pesca sigue siendo en volumen más que la acuicultura, reflejando una deficiencia a nivel país; ejemplo, las capturas de pesca silvestre alcanzaron su límite en la década de los '80s, estabilizándose desde ese momento. En contraste, la acuicultura presenta la mayor tasa de crecimiento en el planeta, donde la mayor producción está asociada al cultivo de peces dulceacuícolas. Sin embargo, mientras que los salmónidos siguen al alza, esta actividad también se ha diversificado hacia la producción de mitílidos y producción de algas.

No se conoce el impacto de la acuicultura en poblaciones de recursos pesqueros como la merluza austral, la sardina y otras especies hidrobiológicas del ecosistema de canales y fiordos al sur de Chile. Existe un escaso nivel de conocimiento sobre el impacto de las respuestas de las especies en los cambios en el ecosistema. Uno de los desafíos fundamentales es recuperar de manera efec-

tiva los ecosistemas impactados por la acuicultura. Se reconoce que en el último tiempo se ha incrementado la investigación, se han formado nuevos equipos, institutos y centros de excelencia. Pero, si bien se ha fortalecido la investigación, para avanzar en ciencia es muy importante la libertad para elegir los temas de investigación. También hay que fortalecer el trabajo de investigación multidisciplinario y transdisciplinario. En ciencia siempre se generan más preguntas, pero se deben tomar decisiones con la mejor información disponible. Entonces se deben separar la toma de decisiones y la ciencia, porque no siempre caminan juntas.

Para aplicar un manejo basado en el ecosistema también se debiera considerar otras actividades antropogénicas, como la agricultura, la minería, los vertimientos de agua, además de la variabilidad ambiental y escenarios del cambio climático que podrían impactar la resiliencia de los ecosistemas. Además de una mirada de la zona costera y del ambiente marino, con la integración de los diferentes usuarios y diversos impactos que van más allá de los límites de los sitios de acuicultura. Debe modificarse el modo de ocupar los espacios, las especies hidrobiológicas y el uso del ambiente. Se señala que la dicotomía entre lo social y lo ecológico no es aceptable, ya que todos somos parte del ecosistema. En consecuencia, debe aplicarse un enfoque que permita asumir los costos de ocupar los recursos de la naturaleza, determinar las externalidades de la acuicultura y no diezmar las poblaciones de especies hidrobiológicas. Se debe construir una relación distinta entre el ambiente y la sociedad; se considera que la nueva constitución puede ser una oportunidad para abrir un espacio de cambio.

Por último, la institucionalidad cumple un rol importante en la articulación de los actores y componentes del sistema para lo cual se plantean distintas posiciones sobre el tipo de institucionalidad. Por lo pronto se propone que en una primera etapa a lo menos se incorpore una norma secundaria para los cuerpos de agua en los mares interiores y en su elaboración debieran interactuar coordinadamente el Ministerio del Medio Ambiente, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, y la Comisión del Bordo Costero; actualmente parecen unidades independientes.

Se ha mostrado que hay elementos para avanzar hacia el manejo con enfoque ecosistémico en acuicultura, que existe un avance sustantivo en el conocimiento en los últimos decenios y que la ciencia debe ser considerada en la administración de la acuicultura y la pesca. Se deben determinar cuáles son las brechas ecológicas, sociales, productivas y normativas, para avanzar en la toma de decisiones y lograr que la acuicultura y la pesca sean sostenibles en el tiempo.

Se reconoce que se está interviniendo el ecosistema, a diferentes niveles, produciendo diversos efectos. Se necesita entonces información e investigación para conocer los impactos en el ecosistema, establecer e implementar políticas públicas que permitan sostener la producción acuícola y reducir los impactos abordando los problemas ambientales y desarrollando tecnología para hacer mitigaciones.

# FOTOTOXICIDAD:

## Cuando la radiación solar intensifica la nocividad de los contaminantes en ambientes acuáticos



Pirjo Huovinen<sup>1,2</sup> & Iván Gómez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia

<sup>2</sup>Centro Fonmap de Investigación en Dinámica de Altas Latitudes (IDEAL)

e-mail: pirjo.huovinen@uach.cl

La luz solar es fundamental para sostener la vida en el planeta, sin embargo, no todos sus componentes son beneficiosos. La radiación ultravioleta (UV; 280-400 nm), aunque necesaria para ciertos procesos (ej. en la síntesis de vitamina D), puede causar daño molecular y celular, debido a su alta energía cuántica. Un ejemplo conocido del efecto dañino directo de la UV es la dimerización del ADN. La susceptibilidad del ADN hacia la radiación UV-B (280-315 nm) radica en que su espectro de absorción es mayor en las longitudes de onda corta. La radiación UV puede también causar daño biológico indirectamente vía la producción de especies reactivas de oxígeno (EROS). Sin embargo, los seres vivos poseen la capacidad de mitigar el daño, especialmente mecanismos de protección tales como compuestos fotoprotectores o defensas antioxidantes. Incluso, mecanismos tales como la fotoreactivación enzimática, pueden reparar y revertir el daño de ADN (ver revisión de Huovinen & Gómez 2020). Además de los efectos dañinos directos a las moléculas biológicas, la radiación UV puede causar efectos adversos sobre los organismos indirectamente induciendo o aumentando la toxicidad de algunos compuestos químicos que poseen características compatibles con la fototoxicidad.

### ¿Qué es Fototoxicidad?

La fototoxicidad se refiere a la inducción o aumento de la toxicidad de un compuesto, ya sea xenobiótico o natural, por la acción de luz. En reacciones de fotosensibilización la absorción de la radiación solar resulta en la transformación de la molécula a un estado excitado con un nivel de energía elevado y la transferencia de esta energía triplete a otra molécula. En el caso de transferencia al oxígeno molecular, se produce la formación de oxígeno singlete que puede ser altamente dañino para las moléculas biológicas (Fig. 1). Este mecanismo se conoce como fototoxicidad de tipo II. Otro tipo de mecanismo que puede resultar en fototoxicidad ocurre cuando una

molécula en estado excitado interactúa directamente con algunos componentes celulares importantes o desencadena la formación de radicales libres. Además, se puede mencionar que la fotodegradación o fotólisis del compuesto original puede ocasionar la formación de fotoproductos (Fig. 1) que potencialmente pueden ser más tóxicos (ver revisión de Björn & Huovinen 2015).

Cabe destacar que solamente la luz absorbida puede provocar una reacción química (de acuerdo a la primera ley de la fotoquímica). Por lo tanto, el potencial para generar reacciones de fotosensibilización depende de las características de absorción de las moléculas (Fig. 2). Compuestos que pueden transferir eficientemente su energía triplete a otras moléculas se denominan fotosensibilizantes. Este tipo de moléculas en general tienen es-

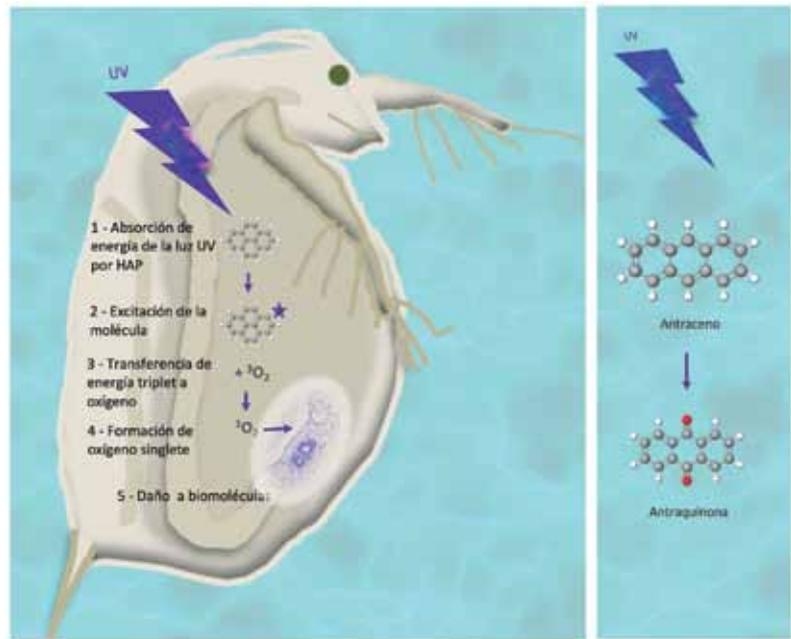


Figura 1. Mecanismo de fototoxicidad vía reacciones de fotosensibilización de pireno (HAP) después de su bioacumulación en un crustáceo planctónico *Daphnia magna*. Ejemplo de fotomodificación de HAP (antraceno) a un fotoproducto final propuesto. Imágenes de fórmulas estructurales desde: <http://molview.org>.

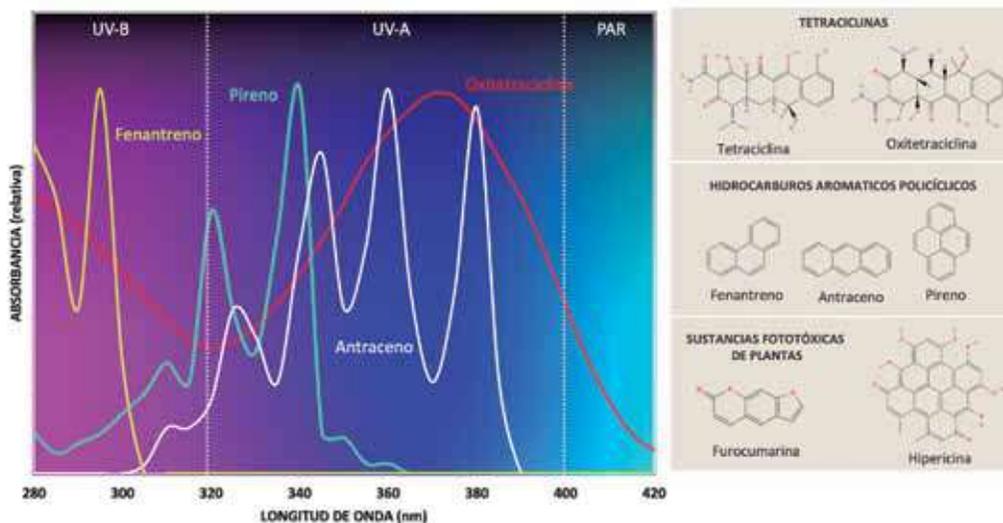


Figura 2. Espectros generales de absorción y estructura química de algunos tipos de compuestos potencialmente fototóxicos. Las absorbancias representan valores normalizados a unidad (adaptadas de Huovinen et al. (2001), Peroti et al. (2021)), por lo tanto el grado de absorción entre los compuestos no puede ser comparado. Las imágenes de fórmulas estructurales desde: <http://molview.org>.

estructura aromática policíclica con múltiples enlaces dobles. Por su estructura química, presentan un espectro de absorción típico. En muchos casos la fototoxicidad se puede asociar con la región espectral de la radiación UV-A (315-400 nm) (Fig. 2) (ver Björn & Huovinen 2015).

El fenómeno de la fototoxicidad como tal se conoce desde hace mucho tiempo. Algunas plantas poseen mecanismos de defensa basados en fotoreacciones de ciertas sustancias químicas naturales. Algunas de ellas se usan en medicina como terapia fotodinámica, por ejemplo, el psoralen (furanocumarina) se conoce en este contexto desde hace 2.000 años AD. Por otro lado, productos cosméticos, por ejemplo, perfumes, que contienen sustancias fotosensibilizantes de extractos vegetales, pueden interactuar con la luz solar. La decoloración de la piel relacionada con el uso de productos con aceite de bergamota fue descrita ya hace cien años, aunque el rol de la radiación solar aún no era claro. La radiación UV también puede desencadenar reacciones de ciertos medicamentos, ej. tetraciclinas (Fig. 2). La activación de las propiedades insecticidas de algunas tintas vía la acción de la luz fue ya reportado a principios del siglo XX (ver Björn & Huovinen 2015).

### Fototoxicidad de Contaminantes Ambientales

A principios de la década de 1980, un grupo de investigación norteamericano desarrollaba un modelo para entender el impacto ambiental de contaminantes orgánicos derivados del petróleo, específicamente hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) (ver Giesy et al. 2013). Basado en estudios de laboratorio, ellos definieron concentraciones no letales del HAP antraceno en un sistema de mesocosmos de gran escala utilizando peces. Inesperadamente, los peces en el sistema experimental comenzaron a morir rápidamente después de agregar dicho compuesto. Al tratar de explicar las razones de este experimento “fallido”, los investigadores se dieron cuenta que la radiación solar era la responsable, cambiando así el enfoque original de la investigación. La primera hipótesis, que planteaba que la toxicidad fue causada

por algún producto de fotodegradación del antraceno, tuvo que ser descartada. Finalmente, se pudo confirmar que la mortalidad de peces ocurrida a los pocos minutos de estar en contacto con la radiación solar, se debió a la fototoxicidad del compuesto original. Estudios adicionales apuntaron al rol de las longitudes de onda de la radiación UV-A y como mecanismo de fototoxicidad al estrés oxidativo mediado por oxígeno singlete. Si bien el fenómeno de la fototoxicidad ya era conocido, estos estudios han sido considerados pioneros, cuyos descubrimientos representan una referencia en el contexto de fototoxicidad de contaminación ambiental acuática (Giesy et al. 2013).

El caso de los HAPs es interesante ya que su fotosensibilidad en un principio fue asociada más bien con sus productos de degradación. De hecho, para evitar la fotodegradación de HAPs, fue una práctica común realizar estudios de laboratorio bajo luz amarilla. En la actualidad la fototoxicidad de varios HAPs está reconocida y descrita para una amplia gama de organismos, y se ha desarrollado modelos predictivos basados en sus características y estructuras químicas (ver Giesy et al. 2013, Björn & Huovinen 2015).

Si bien los HAPs siguen siendo contaminantes de alta preocupación, existen nuevos desafíos en relación con nuevos contaminantes emergentes cuya presencia en los ecosistemas ha sido identificada como una creciente amenaza. Por ejemplo, productos farmacéuticos (ej. antibióticos) en el medio ambiente se consideran ahora dentro de dichos contaminantes emergentes. Uno de los antibióticos más ampliamente utilizados en salmonicultura es la oxitetraciclina (OTC), la cual de acuerdo con sus niveles observados en el medio acuático y su toxicidad basado en estudios de laboratorio ha sido clasificada como un compuesto de “riesgo aceptable” (Isidori et al. 2005), sin embargo, dicha evaluación de riesgo no considera su potencial fototóxico. Un estudio reciente de nuestro laboratorio reveló el potencial de fototoxicidad de OTC, aumentando su riesgo potencial para los organismos acuáticos (Peroti et al. 2021). De hecho, las reac-

ciones de fotosensibilidad asociadas al uso de ciertos antibióticos, como por ejemplo tetraciclina, son conocidas en el área de medicina como mencionado anteriormente. La proposición de fotodegradación de OTC bajo radiación solar como método para eliminarla de efluentes de acuicultura (Leal et al. 2016) no considera el potencial efecto de fototoxicidad. Hay que enfatizar que, en el contexto de evaluación de riesgo medioambiental, la fototoxicidad de antibióticos no ha sido abordada íntegramente y es aún un tema emergente.

## El riesgo de Fototoxicidad en Ambientes Acuáticos

La fotosensibilización de un compuesto bioacumulado en los organismos, y que son expuestos posteriormente a la radiación UV, ha sido identificada como la principal acción fototóxica de los HAPs (Huovinen et al. 2001) (Fig. 1). Además, la fotomodificación del compuesto original a fotoproductos puede contribuir en la toxicidad. En esta línea, la fotosensibilización de OTC también ha sido demostrada recientemente (Peroti et al. 2021). La magnitud del efecto fototóxico depende de a) la concentración biodisponible del compuesto y su potencial de bioacumulación en los organismos, y b) de los niveles de la exposición a la radiación UV. Dado que los HAPs en general son lipofílicos, tienen el potencial de bioacumularse dentro de los organismos, sin embargo, ellos muestran baja solubilidad en agua, y se acumulan con más facilidad en los sedimentos. Por otro lado, OTC muestra mayor solubilidad en agua (Huovinen et al. 2001, Peroti et al. 2021).

El riesgo de exposición a la radiación UV en ambientes acuáticos depende de las características bio-ópticas de agua. En aguas claras, la radiación UV puede penetrar decenas de metros, mientras en lagos pequeños con alto contenido de sustancias húmicas, este tipo de radiación se atenúa rápidamente en los primeros centímetros de la columna de agua (Huovinen et al. 2003, 2016). Aquí, la materia orgánica disuelta juega un rol importante ya que por un lado atenúa fuertemente las longitudes de onda de la radiación UV, pero por otro lado exhibe las propiedades de un compuesto fotosensibilizante (ver Huovinen & Gómez 2020).

Cabe mencionar que si bien los experimentos de laboratorio confirman la capacidad fototóxica de varios HAPs y OTC, las concentraciones utilizadas en general son mayores a las que se encuentran en el medio ambiente. Pese a ello, sus resultados son útiles para conocer los mecanismos y el potencial de un compuesto para generar fototoxicidad. Sin embargo, estos ensayos no consideran las múltiples interacciones con otros factores ambientales que están presentes en condiciones naturales y que puedan modificar las respuestas. Por lo tanto, los bioensayos de toxicidad realizados en condiciones de laboratorio (sin la presencia de la luz UV), pueden entregar a veces estimaciones erróneas de la toxicidad de sustancias fotosensibilizantes, como es el caso de varios HAPs y tetraciclinas.

## Fototoxicidad en el contexto de Cambio Global

El fenómeno de la fototoxicidad adquiere cada vez mayor importancia ya que durante los episodios de “agujero de ozono” (dis-

minución del grosor de la capa de ozono estratosférico) aumentan los niveles de la radiación UV-B. Además, el aumento de las temperaturas en las zonas polares tiende a disminuir el grosor y duración del hielo marino y de las masas de hielo continentales, exacerbando así la exposición de los ecosistemas acuáticos a la radiación solar. Por otro lado, el calentamiento global ha traído como consecuencia el derretimiento acelerado de los glaciares lo cual puede ocasionar mayor turbidez de las aguas costeras, atenuando la penetración de la luz. Otra consecuencia de la pérdida de glaciares es la liberación de contaminantes preservados en las capas de hielo, aumentando así la exposición de los organismos y ecosistemas a la polución (ver revisión de Huovinen & Gómez 2020).

La Península Antártica es una de las regiones donde se ha registrado el aumento de temperatura más acelerado y además es donde se concentra el “agujero de ozono” durante primavera austral. Por otro lado, hay creciente evidencia de contaminación antropogénica en esta zona debido al aumento de actividades humanas en la Antártica y también por el transporte de sustancias desde otras regiones del planeta (ver revisión de Huovinen & Gómez 2020). Por lo tanto, si consideramos estas múltiples amenazas y sus interacciones, es sumamente complejo pronosticar el impacto de la fototoxicidad de contaminantes sobre estos ecosistemas altamente vulnerables al cambio climático. En el marco de nuestro proyecto FONDECYT 1201053 (*Maritime Antarctic lakes: sentinels of emerging environmental threats*) actualmente se están abordando estos temas a través de diferentes aproximaciones que van desde la fisiología, la metagenómica, hasta detección remota.

**Financiamiento:** Proyecto FONDECYT 1201053 y 1201069, Centro Fondap-IDEAL (Grant 15150003) CONICYT.

## Referencias

- Björn LO, Huovinen P (2015) Phototoxicity. En: Björn LO (ed), *Photobiology: The Science of Light and Life*. Springer, New York. pp. 335-345.
- Giesy JP, Newsted JL, Oris JT (2013) Photo-enhanced toxicity: Serendipity of a prepared mind and flexible program management. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32: 969-971.
- Huovinen P, Soimasuo MR, Oikari AOJ (2001) Photoinduced toxicity of retene to *Daphnia magna* under enhanced UV-B radiation. *Chemosphere* 45: 683-691.
- Huovinen P, Penttilä H, Soimasuo MR (2003) Spectral attenuation of solar ultraviolet radiation in humic lakes in Central Finland. *Chemosphere* 51: 205-214.
- Huovinen P, Ramírez J, Gómez I (2016) Underwater optics in sub-Antarctic and Antarctic coastal ecosystems. *PLoS ONE* 11(5):e0154887.
- Huovinen P, Gómez I (2020) Underwater Light Environment of Antarctic Seaweeds. In: Gómez I, Huovinen P (Eds), *Antarctic Seaweeds: Diversity, Adaptation and Ecosystem Services*. Springer.
- Isidori M, Lavorgna M, Nardelli A, Pascarella L, Parrella A (2005) Toxic and genotoxic evaluation of six antibiotics on non-target organisms. *Science of the Total Environment* 346: 87-98.
- Leal JF, Esteves VI, Santos EBH (2016) Use of sunlight to degrade oxytetracycline in marine aquaculture's waters. *Environmental Pollution* 213: 932-939.
- Peroti L, Huovinen P, Orellana S, Muñoz M, Fuentes R, Gómez I (2021) Uptake of microalgae as sublethal biomarker reveals phototoxicity of oxytetracycline to the crustacean *Daphnia magna*. *Water Research* 188: 116556.

## EN MATERIA ENERGÉTICA OFRECEMOS UN MAR DE SOLUCIONES

Entrega de combustible vía barcos, suministro de energía eléctrica, paneles solares, lubricantes y sistemas de monitoreo en línea, son algunas de las soluciones que dentro de la industria acuícola nos permiten ser la **Primera en Servicio**.



**Mobil**™

**COPEC**  
Primera en servicio

# NUTRIMAR BIOBIO: Innovación en alimentos algales



*Iniciativa financiada por el Gobierno Regional del Biobío, a través del Fondo de Innovación para la Competitividad de Asignación Regional*

Cristian Agurto Muñoz<sup>1,2</sup>, Nicolás Troncoso León<sup>1</sup>, Andrea Donoso<sup>1</sup>, Andrés Agurto Muñoz<sup>1</sup>, Cristian Rogel Castillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Marina GIBMAR del Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción, Concepción, Región del Bío Bío, Chile

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

Contacto: Cristian Agurto Muñoz, Encargado, cagurto@udec.cl; Cristian Rogel Castillo, Coordinador: crogel@udec.cl



El proyecto “Nutrimar BioBio: Innovación en Alimentos Algales” (BIP 40026757-0) financiado por el Gobierno Regional del Biobío, a través del Fondo de Innovación para la Competitividad de Asignación Regional, ejecutado por la Universidad de Concepción a través de un enfoque multidisciplinario donde participan el Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Marina GIBMAR del Centro de Biotecnología; el Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, el Departamento de Nutrición y Dietética, y el Departamento de Farmacia de la Facultad de Farmacia; Facultad de Agronomía; Facultad de Ciencias Químicas y Facultad de Ingeniería, tiene por objetivo implementar una plataforma de innovación para la diversificación, valorización y comercialización de recursos algales de la Región del Bío Bío integrados en alimentos saludables y productos nutracéuticos, fomentando la creación de nuevos productos, negocios y mercados a nivel regional, nacional e internacional, para reducir el riesgo de enfermedades crónicas no transmisibles, asociadas al sobrepeso y obesidad.

## Macroalgas como alimentos funcionales y beneficios a la salud

En los últimos años, el estudio de los alimentos y la nutrición ha pasado de corregir deficiencias y excesos nutricionales, a diseñar nuevos alimentos que promuevan una salud óptima, para reducir el riesgo de enfermedades y promover la salud, los que hoy conocemos como **alimentos funcionales**. Dependiendo de los compuestos bioactivos incluidos en estos, **los alimentos funcionales pueden, por ejemplo, proporcionar beneficios para la salud al reducir el riesgo de una serie de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), mejorando la calidad de vida de quienes los consumen**. La obesidad y las ECNT asociadas a esta son un tema prioritario en nuestro país, donde el 74.2% de los adultos presenta algún grado de sobrepeso u obesidad y más de la mitad de los chilenos tienen una o dos ECNT. Adicionalmente, Chile es considerado como un país líder en obesidad infantil en la OCDE. Hoy, el MINSAL busca constantemente iniciativas que



Figura 1. Se presenta de manera esquemática la cadena de valor y los actores necesarios (beneficiarios directos del proyecto) para el desarrollo de alimentos y productos nutraceuticos en base a recursos algales, así como las problemáticas específicas a abordar durante la ejecución de la iniciativa.

promuevan estilos de vida más saludables, incluyendo el cambio de hábitos alimentarios. En este contexto, el consumo de algas posee numerosos y demostrados beneficios para la salud. El ambiente marino alberga un gran potencial de fuentes de compuestos funcionales bioactivos, tales como aceites altos en omega-3, minerales y vitaminas, antioxidantes, péptidos y enzimas.

### Región del Biobío como un referente en el cultivo y extracción de macroalgas

Si bien el mercado de alimentos algales presenta un gran potencial a nivel internacional, este ha sido pobremente explotado en Chile, limitando el mercado de las algas principalmente a la extracción de hidrocoloides (agar, colagar, carregina y alginato) y a un alto volumen de exportación de biomasa seca para consumo humano y animal. La Región del Bío Bío presenta una gran actividad comercial de algas comestibles, además de los actores necesarios para transformar y comercializar productos alimentarios saludables y nutraceuticos de origen algal con mayor valor agregado. Sin embargo, no existen iniciativas que integren el conocimiento y desarrollo tecnológico con el sector productivo regional.

### Nutrimar Biobío como una plataforma que conecta la investigación y difusión en el tema de las macroalgas

La presente iniciativa se sustenta en la riqueza de compuestos bioactivos y la gran disponibilidad de algas comestibles pre-

sentes en las costas chilenas, específicamente en la Región del Bío Bío, entre las cuales destacan especies como *Durvillaea antarctica*, *D. incurvata* (cochayuyo), *Ulva sp.* (lechuga de mar), *Chondracanthus chamissoi* (chicoria de mar), *Pyropia sp.* y *Porphyra columbina* (Luche), entre otras, proponiendo implementar una **plataforma de innovación que permita diversificar, valorizar y comercializar estos recursos mediante su integración en alimentos saludables y productos nutraceuticos**, con el fin de fomentar el consumo masivo de algas en la población, y de esta manera reducir el riesgo de ECNT, especialmente aquellas asociadas al sobrepeso y obesidad, tanto en niños como en adultos. Si embargo, es necesario acortar una serie de brechas y problemáticas (figura 1) específicas a las cuales apunta la implementación de Nutrimar BíoBío, entre las que se destacan:

- Falta de posicionamiento de las algas (macro y microalgas) como superfoods para la prevención de ECNT asociadas al sobrepeso y obesidad en consumidores, y la consecuente necesidad de reforzar estrategias de marketing y educación en este ámbito.
- Bajo nivel tecnológico para el secado de algas que asegure la calidad de la materia prima ofrecida por recolectores de la Región del Bío Bío
- Bajo desarrollo de una industria regional en torno a la elaboración de alimentos funcionales y productos nutraceuticos con inclusión de algas.



Figura 2: Visita del equipo de Nutrimar Biobío a organizaciones recolectoras de algas de Caleta Coliumo, Tomé.

- Ausencia de sistemas de pilotaje para la producción de alimentos y nutraceuticos en la industria regional, actividad considerada fundamental para la realización de I+D en procesos y productos.
- Escasas tecnologías productivas que permiten reducir los altos costos asociados a la extracción de compuestos bioactivos de alto valor nutricional en la industria regional.
- Escasas instancias de diálogo y encuentro entre el sector científico dedicado a la I+D+i en recursos algales y los actores involucrados en el sector productivo regional.

con una estrategia de transferencia tecnológica que permitirá crear puentes entre la comunidad científico-tecnológica y la industria, facilitando la transferencia de conocimientos y tecnologías necesarias para que recolectores de algas (figura 2) y empresas interesadas puedan implementar estas innovaciones dentro de su cadena productiva, mejorando su competitividad y sustentabilidad socioeconómica.

### Innovación en alimentos algales

Como parte de la solución, durante la ejecución del proyecto se desarrollarán prototipos de alimentos funcionales en formatos de alta demanda, tales como pastas, snacks, galletas y pan, en colaboración con empresas de la región. Adicionalmente, esta iniciativa permitirá la generación de prototipos de productos nutraceuticos basados en algas, tales como suplementos alimentarios encapsulados. Los beneficiarios directos e indirectos de la iniciativa tendrán acceso a un sitio de difusión y venta en línea del tipo “market place” que permitirá acercar aún más los productos de origen algal a los consumidores finales. De esta manera, Nutrimar BíoBío actuará como un sistema masificador del valor y de las capacidades existentes en el Bío-Bío, al divulgar, crear redes y facilitar la innovación con recursos algales en la industria alimentaria y farmacéutica. La figura 3 resume el impacto que generará Nutrimar BíoBío en la Región en función de las principales actividades a desarrollar, productos y/o entregables comprometidos.

Contar con un registro detallado de los compuestos funcionales presentes en los recursos algales de nuestra región, que son susceptibles de incorporar en alimentos saludables y/o productos nutraceuticos, es una actividad clave dentro de la propuesta. Resulta crucial divulgar esta información tanto a la población general como a los actores involucrados en el mercado de macroalgas, alimentos saludables y productos nutraceuticos, fomentando la innovación en empresas de todos los tamaños dispuestas a agregar valor a los recursos algales que comercializan, diversificando su cartera de productos al incorporar ingredientes de origen algal. Dado esto, Nutrimar BíoBío contempla un fuerte componente de difusión y espacios de encuentro para la concientización sobre el potencial de las algas presentes en la Región y la factibilidad de su integración al mercado de los alimentos funcionales y productos nutraceuticos. La iniciativa cuenta



Figura 3. Principales resultados e impactos de la implementación de Nutrimar BíoBío en el mercado regional de recursos algales, alimentos, productos nutraceuticos y consumidores finales.

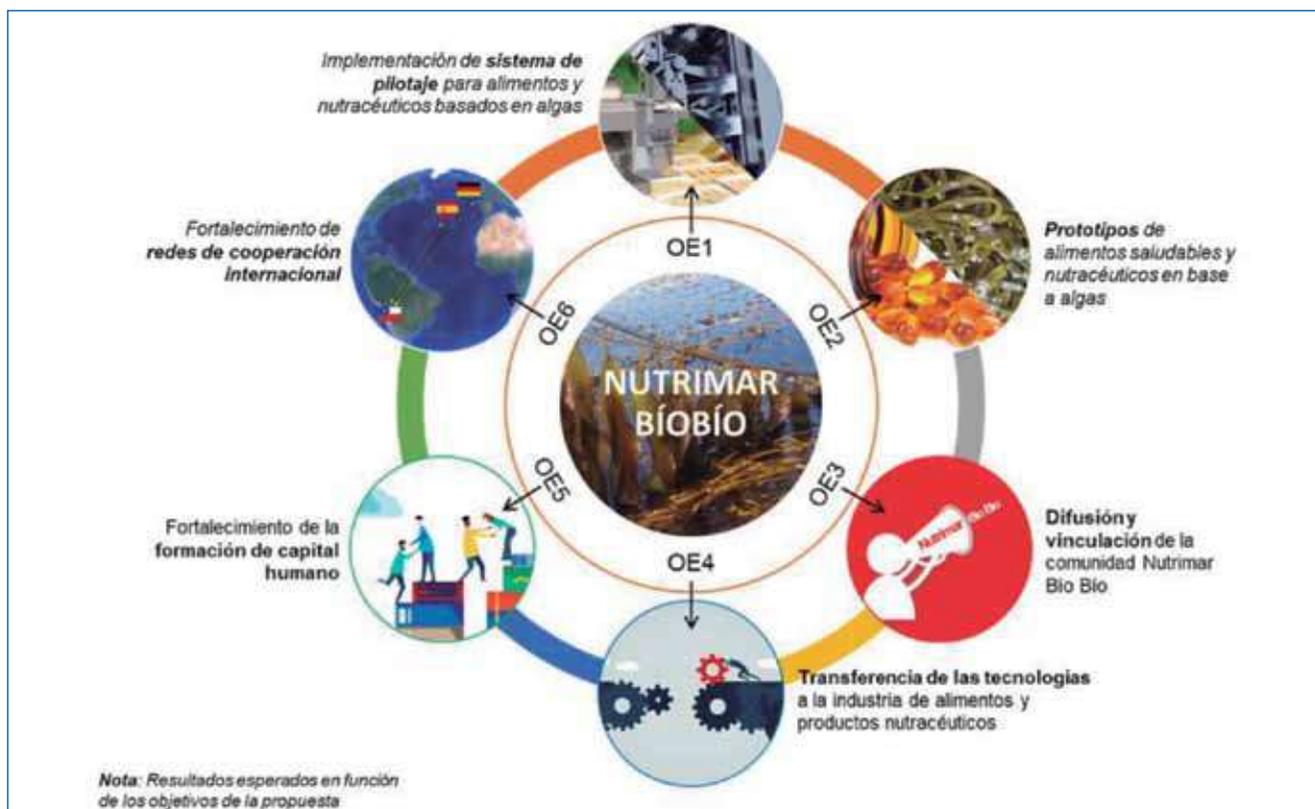


Figura 4. Principales impactos esperados tras la implementación de Nutrimar BíoBío

## Beneficiarios directos e indirectos

Los grupos objetivo identificados como **beneficiarios directos** al ejecutar la iniciativa propuesta fueron seleccionados en base a la cadena productiva y actores del mercado que deben ser involucrados para lograr los objetivos del mismo, desde pequeños **recolectores de algas**, quienes son los principales abastecedores de materia prima para las **empresas procesadoras y comercializadoras de algas** (quienes eventualmente podrían actuar como transformadoras de las mismas), hasta las **empresas dedicadas a la comercialización directa de productos saludables**.

### A. Pescadores artesanales y recolectores de orilla (algueros) de la Región del Bío Bío.

De acuerdo con información del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), dentro del registro de pescadores artesanales, existen en la Región del Bío Bío cerca de 19.300 (7.488 mujeres y 11.855 hombres) personas inscritas en la categoría de “recolectores de orilla, algueros o buzo apnea”, quienes se dedican principalmente a la recolección de 9 especies de macroalgas con fines comerciales: luga paño, luga cuchara, luga luga, chicoria de mar, pelillo, luce, cochayuyo, huiro negro y huiro palo. Entre estas, las que mayormente se extraen son la luga paño, luga cuchara y el cochayuyo. Existen, además, 73 áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos en la Región con una superficie aproximada de 26.073 ha. De acuerdo a un informe generado por GIBMAR y Nutrimar BioBio de la Universidad de Concepción, “**prácticamente la totalidad del abastecimiento de plantas procesadoras de algas de la Región del Bío**

**Bío** proviene de caletas, entendiéndose este como extracciones de algas desde praderas naturales”, la mayoría realizadas por **grupos recolectores o algueros**. Una de las principales brechas detectadas son los problemas de calidad de la materia prima que venden a empresas comercializadoras, entre los que destacan altos niveles de humedad, daño por herbívoros, presencia de epífitos y arena residual, todos factores que afectan negativamente el precio de venta. La ejecución de la presente iniciativa permitirá capacitar y concientizar a recolectores en el manejo correcto de praderas naturales, además de prestar el apoyo técnico necesario que permita mejorar la calidad de su materia prima, favoreciendo además la conservación de las propiedades bioactivas que estos presentan. De esta manera, se valorizan los recursos algales desde las primeras etapas de la cadena productiva.

### B. Empresas procesadoras y comercializadoras de algas de la Región del Bío Bío.

De acuerdo con las estadísticas informadas por SERNAPESCA, en la Región del Bío Bío se identifican cerca de 23 plantas dedicadas a la producción, procesamiento y/o comercialización, principalmente de algas secas para la extracción de hidrocoloides, del cual se derivan productos como Alginatos, Carrageninas y Agares, a partir de una variedad de especies como chicorea de mar, cochayuyo, luga cuchara, luga negra, luga roja y pelillo. De acuerdo con un levantamiento de información reciente realizado por GIBMAR y Nutrimar BioBio, las **empresas procesadoras y comercializadoras de algas** han presentado un crecimiento sustancial en los últimos 10 años, tanto en número como en volúmenes de materia prima y producción, principalmente en la

Región del Bío Bío, en la cual se evidencia una consolidación de la industria de transformación de algas. Sin embargo, **se evidencia una baja calidad de la materia prima algal, falta de continuidad de cosechas durante el año (estacionalidad), una baja diversificación productiva y un reducido número de mercados de destino.** Por lo tanto, es fundamental reconocer esta brecha e incluir a las empresas procesadoras y comercializadoras de algas de la Región, presentando a ellas oportunidades de innovación para la diversificación y valorización de los productos que comercializan, abriendo nuevas oportunidades de mercado en la línea de ingredientes, alimentos saludables y nutraceuticos, considerando que actualmente la mayor parte de su producción es destinada a la exportación directa de alga seca picada para la extracción de hidrocoloides y consumo directo como verdura en países como China y Taiwán.

### C. Empresas dedicadas al desarrollo y comercialización de alimentos saludables y productos nutraceuticos en la Región del Bío Bío

La pertinencia de este grupo radica en que será el principal receptor de las innovaciones desarrolladas durante la ejecución del proyecto. La estrategia de transferencia tecnológica considerada en la propuesta permitirá conectar a los recolectores y comercializadores de algas con estas empresas, las que finalmente podrán transformar la materia prima en productos finales (pastas, snacks saludables, productos “ready-to-cook”, suplementos alimentarios en formato encapsulado, entre otros) que podrán ser prototipados y comercializados gracias a las capacidades técnicas y el equipamiento adquirido durante la ejecución de la propuesta y posterior puesta en marcha del sistema de pilotaje y la plataforma de venta *marketplace*, respectivamente. Es importante destacar que, además de contar con una baja tasa de innovación a nivel empresarial, entre los principales problemas identificados en este grupo se encuentran el desconocimiento de los consumidores finales respecto a los múltiples beneficios que presentan las algas en la salud humana, además de una baja aceptación de ciertos productos alimentarios debido a características sensoriales como color, olor o sabor poco apetecidos por el consumidor nacional. Ambos problemas

serán abordados durante la propuesta gracias a las estrategias de difusión y las capacidades científico-tecnológicas del equipo de investigadores que lideran el proyecto, respectivamente.

Con relación a los **beneficiarios indirectos** corresponden a entidades y asociaciones públicas del rubro de recursos algales y empresas consumidoras. Las entidades y asociaciones deben tener un interés estratégico en al menos:

1. Capacitar, formar o incorporar profesionales asociados al estudio de cadena de valor de los recursos algales.
2. Conceptualizar la denominación o etiquetado de nuevos productos de mayor margen, asociados a recursos algales no convencionales (algas presentes en las costas del Bío Bío pero con desconocimiento sobre su valor nutricional).
3. Asistir al desarrollo de tecnologías demostrativas de escalamiento de producción en cultivos controlados, con una visión integral hacia la exportación.

### Nutrimar Biobío: Innovación en alimentos algales

Nutrimar BíoBío permitirá diversificar, valorizar y comercializar diversos recursos algales de la Región del Bío Bío, al integrar los como ingredientes en alimentos saludables y productos nutraceuticos. Los espacios de encuentro, estrategias de difusión, sensibilización, pilotaje y transferencia tecnológica considerados en el proyecto impactarán directamente a todos los actores de la cadena productiva, desde pequeños recolectores hasta empresas transformadoras y comercializadoras, quienes tendrán la oportunidad de crear redes, capacitarse, valorizar sus productos e implementar tecnologías innovadoras gracias al sistema de pilotaje a desarrollar. Adicionalmente, la plataforma de difusión y venta *marketplace* contemplada permitirá posicionar los productos desarrollados, llegando a consumidores finales que se verán beneficiados al prevenir diferentes ECNT, especialmente aquellas asociadas al sobrepeso y obesidad. Por lo tanto, la ejecución de **Nutrimar BíoBío** generará impactos positivos (**figura 4**) y sentará las bases para el desarrollo de una industria regional, innovando y adicionando valor en torno a la comercialización y transformación de recursos algales de la Región del Bío Bío al mundo.





**UCSC**



Sociedad  
Chilena de  
Ciencias del Mar

Las **Ciencias del Mar**  
en tiempos  
de cambio

# **XLI** Congreso de Ciencias del Mar

**23 al 27 de mayo 2022**

**Universidad Católica de la Santísima Concepción  
Campus San Andrés - Concepción - Chile**

**INFORMACIÓN**

<https://congresocienciasdelmar.cl/>

# Efecto de la normativa ambiental en la evaluación técnica y económica del cultivo de cochayuyo (*Durvillaea antarctica*) a nivel de Acuicultura de Pequeña Escala (APE)



**UCSC**



Christian Díaz Peralta<sup>1,3</sup> y Catterina Sobenes Vennekool<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción.

<sup>3</sup>Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Universidad Católica de la Santísima Concepción.



## Introducción

Entre los años 2015 y 2020 el crecimiento sostenido de la acuicultura en Chile fue 124,6% (Subpesca, 2015, 2020), acompañado de un incremento de consumo anual per cápita de productos del mar en Chile (IFOP, 2021, FAO, 2013), exige una mayor oferta de los productos del mar y una diversificación de la acuicultura. Esto incluye la promoción de una acuicultura de pequeña escala (APE), y de nuevas especies y zonas costeras u oceánicas (FIPA, 2019), como las macroalgas comestibles.

Una de estas algas comestibles importantes por su consumo histórico y tradicional en las zonas costeras del país es el cochayuyo (*Durvillaea antarctica*). Esta es un alga parda laminariales que se distribuye desde la Región de Coquimbo (29°58' LS) al Cabo de Hornos (55°LS), y habita hasta los 15 m de profundidad. Se explota en áreas de libre acceso como en Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos (AMERB), mediante recolección manual de orilla y buzos apnea o hooka (Díaz et al., 2017). Es una especie con potencial de cultivo cuya producción de juveniles es posible en hatchery, siendo la etapa de crecimiento en mar la que aún no es desarrollado, cuyas condiciones son necesarias de investigar (Saavedra et al., 2019).

En el año 2022 el Centro de investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS) de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, en conjunto con el Laboratorio de Ingeniería en Acuicultura y Medio Ambiente iniciará las primeras pruebas de crecimiento de cochayuyo en sistemas de longline en la Región del Biobío, con el objetivo de evaluar las condiciones y tecnología más apropiada para el crecimiento del cochayuyo. Dentro de este estudio, se inició la exploración de las factibilidades técnicas y económicas del cultivo de cochayuyo, considerando el marco normativo que la regula:

- Ley General de Pesca y Acuicultura de Chile (Ley N° 18.892/1989; Ley N° 21.370/2021)) define las posibles zonas para su funcionamiento: Permiso de Escasa Importancia (PEI), Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), Espacios Marinos Costeros de Pueblos Originarios (ECMPO) y Concesiones de Acuicultura.
- Según los volúmenes de producción estimados y la superficie requerida, el D.S. N° 40/2012 señala los niveles para que un proyecto de acuicultura ingrese al Sistema de

Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) mediante una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), ya que no generan efectos, características o circunstancias del Art. 11 de la Ley N° 19.300/1994. Para macroalgas, la letra n1 del decreto establece que ingresan al SEIA si la extensión del cultivo extensivo de macroalgas es de una superficie  $\geq 10$  há o una producción  $\geq 500$  toneladas anuales.

- Requisitos de operación estipulados en el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (D.S. N° 320/2001) y los contenidos y metodologías de análisis para la Caracterización Preliminar de Sitio y de la Información Ambiental estipulados en Res. Ex. N° 3612/2009.

Bajo este marco regulatorio se evaluó a nivel de pre-factibilidad técnica y económica el cultivo extensivo de cochayuyo (*D. antarctica*) sin y con ingreso al SEIA.

## Metodología

Basados en experiencias previas (Díaz et al., 2017) y conocimiento in situ de la actividad, se establecieron condiciones operacionales para la evaluación (ver Tabla 1).

**Tabla 1:** Condiciones técnicas y operativas bases para la evaluación del cultivo de cochayuyo (*Durvillaea antarctica*).

ITEM	
Tecnología de cultivo	Longline triple
Unidad de crecimiento	Línea
Densidad de siembra (plántulas/m lineal)	5
Longitud línea (m)	100
Número de longlines por hectárea	2
Mortalidad (%)	10
Peso estimado/cochayuyo húmedo (kg)	9
Profundidad máxima sitio (m)	20
Velocidad corriente (nudos)	1

Para evaluar el efecto de la normativa, se consideró una evaluación basada en el límite de la normativa, es decir que se deberá ingresar al SEIA (con ingreso al SEIA) en una condición de uso de una superficie de 10 há, lo que implica una producción estimada de 243 ton según los supuestos de la evaluación. La misma evaluación se realizó para una superficie de cultivo de 9 há (sin ingreso al SEIA), reduciendo la producción a 218,7 ton. El ingreso al SEIA implica la elaboración de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), cuyo costo es parte de la inversión del proyecto, y que incluye el supuesto de exigencia de compromisos voluntarios como un costo fijo anual. Además, la normativa exige para ambos casos (sin y con ingreso al SEIA) la Caracterización Preliminar del Sitio para categoría 1 según Res. Ex. 3612/2009, al inicio del proyecto, y el Informe Ambiental (INFA) anual.

Los ítems de inversiones, costos fijos y variables se presentan en Tabla 2. En la contratación de personal es a plazo indefinido de :

**Tabla 2:** Inversiones, costos fijos y variables contemplados en la evaluación de prefactibilidad de un proyecto de cultivo de cochayuyo (*Durvillaea antarctica*) con y sin ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Inversiones	Costos fijos	Costos variables
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de fondeo</li> <li>• Sistemas de flotación</li> <li>• Sistemas de crecimiento</li> <li>• Armado instalación</li> <li>• Galpón</li> <li>• Plataforma de trabajo</li> <li>• Bote</li> <li>• Motor 30 HP</li> <li>• Compresor</li> <li>• Equipamiento bote</li> <li>• Equipamiento buceo</li> <li>• Semillas</li> <li>• Caracterización Preliminar del Sitio</li> <li>• Declaración de Impacto Ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal anual</li> <li>• Mantenimiento sistemas de cultivo</li> <li>• Patente de acuicultura</li> <li>• Seguros de activo</li> <li>• Administración y venta</li> <li>• Compromisos voluntarios</li> <li>• Informe Ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cosecha</li> <li>• Mantenimiento de unidades de crecimiento</li> <li>• Seguros de biomasa</li> <li>• Siembra anual</li> </ul>

un encargado de centro, un buzo, vigilante, y operario (personal permanente). Se asume que estas contrataciones cumplen con la actual normativa de leyes sociales y de mutualidad.

Para asegurar la operación del proyecto, se utilizó la metodología del Déficit Acumulado Máximo modificada (Sapag, 2011), para lo cual se calculó mensualmente durante el primer año, los flujos de ingresos y egresos proyectados y se determinó su cuantía como el equivalente al déficit acumulado máximo adicionando el costo total de operación del mes siguiente. Se aplicó esta modificación al método como una forma de acercarse a la realidad la que, por la experiencia de los autores en trabajo de campo, se buscó minimizar los riesgos en imprevistos operacionales, propio de este tipo de actividades productivas, que conllevan a la falta de liquidez durante la operación.



Se estimó la vida útil en 5 años para los sistemas de flotación y fondeo, embarcación y compresor, y 10 años para el galpón y motor, acorde al Servicio de Impuestos Internos de Chile. Se evaluó el impuesto a las utilidades con una tasa de impuesto de primera categoría del 27,0% para el periodo de evaluación según la norma tributaria. La tasa de costo del capital fue asumida en base a la tasa de riesgo sistemático, equivalente a 12,0% (Zuñiga y Soria, 2009).

Se estimaron tres indicadores económicos:

- Valor Actual Neto (VAN): Corresponde a la actualización de los flujos futuros estimados a cinco años.
- Tasa Interna de Retorno (TIR): Corresponde a la tasa de descuento cuando el VAN se hace cero.
- Ingreso Mensual per Cápita (IMPC): A partir del VAN se estimó el ingreso mensual, y se dividió por los diferentes números de socios que la organización o empresa la componen, representado mediante un gráfico de dispersión.

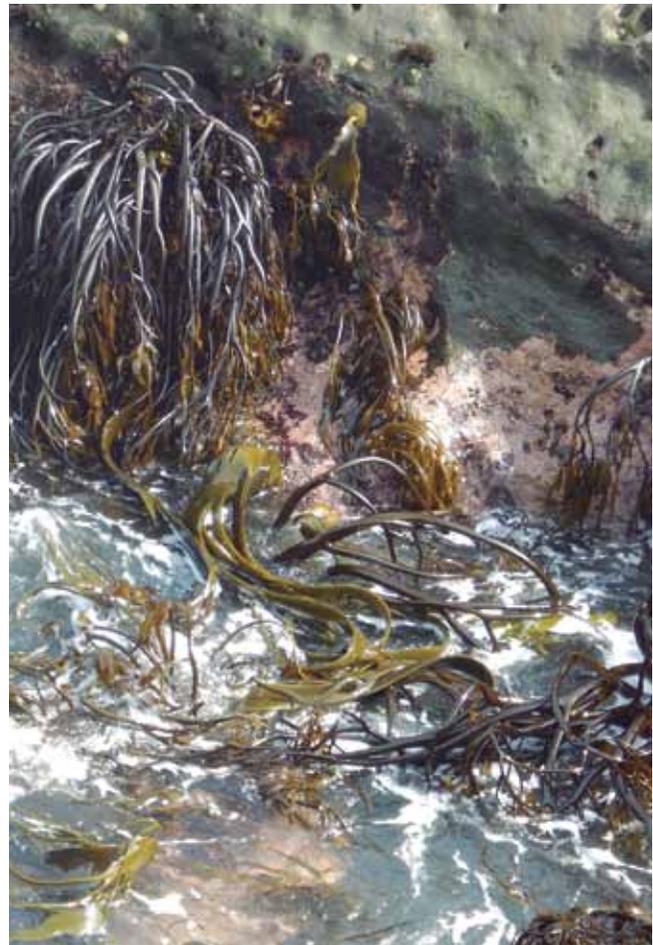
Las evaluaciones fueron realizadas en unidades de fomento al 28 de enero de 2022.

### Resultados

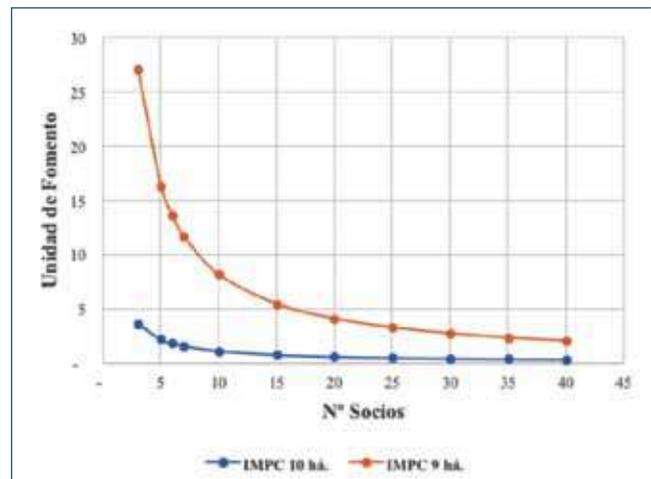
Una síntesis de las inversiones, costos fijos y variables, e indicadores económicos con y sin el ingreso al SEIA se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 3:** Detalle de indicadores económicos de la evaluación del cultivo a nivel de prefactibilidad, de cochayuyo cultivado en 9 há (sin ingreso al SEIA) y 10 há (con ingreso al SEIA).

Ingreso al SEA (10 há)	Valor (UF)
<b>Inversiones</b>	
Sistemas de cultivos	60
Infraestructura	106
Equipamiento	252
Primera siembra	17
Capital de trabajo	1013
Declaración de Impacto Ambiental	1284
<b>Costos Fijos</b>	1309
<b>Costos Variables</b>	42
<b>Depreciación anual</b>	41
<b>Precio por kilo</b>	0,01
<b>VAN (12%)</b>	<b>128,5</b>
<b>TIR (%)</b>	<b>13</b>
<b>Sin ingreso al SEA (9 há)</b>	
Capital de trabajo	977
Costos fijos	1261
<b>VAN (12%)</b>	<b>975</b>
<b>TIR (%)</b>	<b>22,6</b>



La aplicación de la normativa (Res. Ex. N° 3612/2009 y el D.S. N° 40/2014), generan una disminución del Valor Actual Neto de 86,8% y en la TIR en 42,5% respecto a la situación sin normativa ambiental aplicada. Los costos fijos incrementan en un 4% y el capital de trabajo aumenta en 34%. Estos cambios afectan directamente al ingreso mensual per capital de los posibles socios de una organización que desarrolla el cultivo (ver figura1).



**Figura 1.** Ingreso Mensual per Cápita (Unidad de fomento) para el cultivo extensivo de Durvillaea antarctica con y sin aplicación ingreso al SEIA (10 y 9 há), según el número de socios de la organización que participan en el ingreso.

## Conclusiones

El funcionamiento y desarrollo de la acuicultura en Chile posee un marco normativo de dos principales leyes, dos decretos y una resolución que permiten regular el funcionamiento, de forma de asegurar que se ejecute una actividad ambientalmente sostenible.

Los resultados muestran que al ingresar al SEIA el proyecto se ve considerablemente afectado en su factibilidad, reduciendo los posibles ingresos de quienes participan en la distribución de los ingresos actualizados netos.

Sin embargo, este análisis permite considerar la posibilidad de desarrollar proyectos hasta 9 há con volúmenes totales menores a 500 toneladas, los que son proyectos factibles técnica y económicamente.

Lo anterior, demuestra que el cultivo de cochayuyo es viable económicamente para la APE en Chile para organizaciones que sean de hasta 10 socios, asegurando la sostenibilidad ambiental y económica de la actividad.

Para su real desarrollo, se debe investigar en las condiciones técnicas y operativas para la etapa de crecimiento en el mar.

## Referencias

- Díaz C. & Sobenes C. 2022.** Growth of *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) cultivated in different cultivation devices deployed in sheltered and non-sheltered sites of central Chile. *Aquaculture Research*. 00:1-13. DOI: 10.1111/are.15751.
- Díaz, C., C. Sobenes, J.C. Macías, J. Teixeira. 2017.** Evaluación de la viabilidad de apertura del mercado de la Unión Europea para productos derivados de macroalgas extraídas en Chile destinados al consumo humano, como alternativa de diversificación productiva para la pesca artesanal, considerando las barreras impuestas por la UE para “novel food”. Caso de Estudio: (*Durvillaea antarctica*). [https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-99354\\_documento.pdf](https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-99354_documento.pdf)
- Decreto N°40/2012.** Reglamento del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental. Ministerio del Medio Ambiente, República de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053563>
- Decreto Supremo N° 320/2001.** Reglamento Ambiental para la Acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, República de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=192512>
- FIPA, 2019.** Diseño de un plan de acción para la implementación de la Política Nacional de Acuicultura para las próximas

dos décadas. Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA), Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Código FIPA 2017-17. [https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-96205\\_informe\\_final.pdf](https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-96205_informe_final.pdf)

**IFOP, 2021.** Monitoreo económico de la industria pesquera y acuícola chilena. Resultados 2019. Boletín de Difusión del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). [https://www.ifop.cl/wp-content/uploads/boletines/boletines\\_difusion/2020/IFOP%20Boletin%20Monitoreo%20Econ%C3%B3mico%202019.pdf](https://www.ifop.cl/wp-content/uploads/boletines/boletines_difusion/2020/IFOP%20Boletin%20Monitoreo%20Econ%C3%B3mico%202019.pdf)

**Ley N° 18.892/1989.** Ley General de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, República de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30265>

**Ley N° 18.892/1989.** Ley General de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, República de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30265>

**Ley N° 21.370/2021.** Modifica la Ley General de Pesca y Acuicultura en Materia de Acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. República de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1012014>

**Resolución Exenta N° 3612/2009,** establece metodologías para la elaboración de la Caracterización Preliminar de Sitio y de la Información Ambiental. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. República de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1007817>

**Saavedra, S., L. Henríquez, P. Leal, F. galleguillos, S. Cook, & F. Cárcamo. 2019.** Cultivo de Macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile. Convenio de Desempeño, Subsecretaría de Economía y Fomento Menor Tamaño. Instituto de Fomento Pesquero, 106 pp. [https://www.ifop.cl/wp-content/uploads/biblioteca/libros\\_digitales/cultivo\\_de\\_macroalgas.pdf](https://www.ifop.cl/wp-content/uploads/biblioteca/libros_digitales/cultivo_de_macroalgas.pdf)

**Sapag, N., 2011.** Proyectos de inversión, Formulación y Evaluación. Segunda edición. Edit. Pearson Educación. 544 pp.

**Subpesca, 2021.** Nuevo estudio: chilenos consumen anualmente casi 15 kilos de productos del mar. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. <https://www.subpesca.cl/portal/617/w3-article-110587.html>

**Subpesca, 2020.** Informe sectorial de pesca y acuicultura, diciembre de 2020. Depto. Análisis Sectorial. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. 20 pp. [https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-109626\\_documento.pdf](https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-109626_documento.pdf)

**Subpesca, 2015.** Informe sectorial de pesca y acuicultura, diciembre de 2015. Depto. Análisis Sectorial. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. 19 pp. [https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-92002\\_documento.pdf](https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-92002_documento.pdf).

**Zúñiga, S. y Soria, K., 2009.** Costo del capital en el sector pesquero-acuícola chileno. *Interciencia*, 34(8), pp. 543-550.

# Magíster en Medio Ambiente de la Universidad Católica de la Santísima Concepción

## PROGRAMA DE POSTGRADO DE CARÁCTER PROFESIONAL MULTIDISCIPLINAR

Catterina Sobenes Vennekool<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Jefe de Programa Magíster en Medio Ambiente, Facultad de Ciencias y Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción.

<sup>3</sup>Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Universidad Católica de la Santísima Concepción.



El programa de carácter profesional Magíster en Medio Ambiente (MMA) se ha dictado de manera continua desde el año 2015, impartido en conjunto por la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción. Es un programa de estudios avanzados orientado al perfeccionamiento del ejercicio profesional, dirigido a licenciados y profesionales de las áreas de las ciencias naturales, ingeniería, ciencias sociales o equivalentes.

El MMA espera que sus graduados sean profesionales especializados en el área del medio ambiente, con las capacidades de:

- **Identificar** impactos ambientales por la acción antrópica, proponer medidas de remediación, y prevenir o mitigar conflictos de carácter ambiental
- **Coordinar** estudios de evaluación de impacto ambiental con un enfoque multidisciplinar, y según las normativas nacionales e internacionales
- **Organizar y dirigir** grupos de trabajo interdisciplinarios
- **Responder** a los desafíos que impone la conservación del medio ambiente y sus recursos naturales, mostrando una conducta ética y socialmente responsable, basada en el respeto a la persona humana, la sociedad y la naturaleza.

El MMA ha graduado a 50 profesionales de distintas profesiones (biólogos, químicos, ingenieros, sociólogos, abogados, geógrafos, profesores, entre otros) quienes se han especializado en la gestión ambiental o en procesos químicos, de manera de integrar

en su quehacer laboral iniciativas que permitan el desarrollo de las actividades antrópicas de manera sostenible con el ambiente. Las clases son dictadas por académicos de las Facultad de Ciencias y de la Facultad de Ingeniería, con una infraestructura de laboratorios ambientales que favorecen en la formación práctica, como toma de muestras ambientales, análisis e interpretación de datos ambientales entre otros. El programa durante la pandemia realizó actividades de laboratorio, y también vía remota, retornando a las actividades presenciales en el año 2022.

Para integrar los distintos aspectos de un problema ambiental, el programa abarca 3 áreas de desarrollo:

- **Fuentes contaminantes y tecnologías limpias:** identificación de fuentes antrópicas, según sus características, origen y efectos en los ecosistemas naturales. Basado en este conocimiento, se estudian alternativas de tecnologías para el tratamiento de contaminantes en distintos elementos (agua, suelo, atmósfera).
- **Conservación y remediación:** área que considera la evaluación del estado de conservación de ecosistemas como especies, así como el diseño de propuestas o medidas para la conservación y remediación según las actuales normativas y conocimiento.
- **Evaluación de impactos y gestión ambiental para la empresa:** en el marco de problemas de instituciones públicas o privadas, se estiman impactos ambientales, así como la propuesta de medidas de gestión para la reducción de efectos negativos antrópicos.

## Certificación Intermedia de Diplomado

Al finalizar el segundo semestre del Primer año, el programa posee dos certificaciones intermedias: Diplomado en Gestión Ambiental y Diplomado en Medio Ambiente y Procesos Químicos. El requisito para su obtención es aprobar los créditos de las asignaturas mínimas del primer (18) y segundo semestre (6) equivalente a 24 créditos, y adicionalmente debe cursar y aprobar 2 asignaturas optativas de profundización específicas del diploma a optar por alguna de las que se ofrecen:

Asignaturas optativas por cada certificación

Diplomado en Gestión Ambiental	Diplomado en Medio Ambiente y Procesos Químicos
Evaluación de Impacto Ambiental	Ecofisiología y Ecotoxicología
Planificación Territorial	Diseño de Muestreo y Análisis de Laboratorio
Sistema de Gestión Ambiental	Sistemas Naturales y Línea Base
Economía y Valoración Ambiental	

## Proyecto de Habilitación de Grado: Propuestas de soluciones ambientales, innovación tecnológica, guías y revisiones de conocimiento ambiental.

En el último semestre del segundo año, los profesionales deben cursar la última asignatura de Proyecto de Habilitación de Grado. En ésta desarrollan un tema para obtener el grado, el cual puede ser propuesto por el estudiante, según el propio interés de cada profesional, o bien son temas ofrecidos por los Profesores de Núcleo, quienes están habilitados para dirigir a los estudiantes. El objetivo de este proyecto es abordar un problema real del área ambiental, demostrando dominio de las herramientas adquiridas en la formación a través del análisis, evaluación y proposición de solución del problema abordado.

Los proyectos de habilitación de grado, para el carácter profesional del Magíster en Medio Ambiente, no corresponden al formato de tesis, sino a estudios que buscan proponer acciones que ayuden a solucionar alguna situación ambiental. El estudiante optará por aquella que más le acomode según la idea seleccionada o propuesta.

- *Proyecto basado en el diagnóstico para un caso ambiental y propuesta de soluciones*
- *Proyecto bases para el diseño de una tecnología o proceso*
- *Proyecto guías o revisiones bibliográficas*



## Seminario del Programa Magíster en Medio Ambiente

Como una forma de difundir los proyectos de grado finalizados, anualmente se realiza un seminario donde los graduados exponen a la comunidad sus proyectos. El año 2021 por primera vez se realizó de manera híbrida, donde participaron cuatro graduados y un expositor invitado internacional Mg. Javier Naranjo de la Universidad Católica de Manizales, Colombia.

Los temas abordados el año 2021 fueron:

- “Percepción ciudadana del valor de tres humedales urbanos, Los Batros, Boca Maule, Paicaví Tucapel en la Región del Biobío, Chile” – Mg. Yoselin Pedreros
- “Propuesta de diseño de restauración ecológica en zonas de protección de cuerpos de agua afectadas por incendios” – Mg. Boris Fica
- “Estimación cuantitativa de productos químicos, utilizados para tratamientos de enfermedades de salmónidos, evacuados desde los efluentes de pisciculturas ubicadas en la cuenca del Río Biobío, Región del Biobío” – Mg. Viviana Rosales
- “Degradación de Contaminante Emergente, en el tratamiento de Aguas Residuales a través de Nanopartículas” – Mg. Olga López
- “Economía Circular: Cambio de paradigma frente a la Crisis Ambiental Global” – Mg. Javier Naranjo (Universidad Católica de Manizales, Colombia).



### Becas de Estadía Exploratoria

Para apoyar en el desarrollo de los proyectos de habilitación de grado con un sentido global y aplicación real, el programa cuenta con una beca dirigida a sus estudiantes regulares de los dos últimos semestres académicos. La beca cubre los gastos para realizar una estadía a nivel nacional o internacional de hasta 2 semanas.

Objetivo: promover la vinculación de los estudiantes del programa Magister en Medio Ambiente con instituciones que aborden el área de la gestión ambiental o el desarrollo de investigación en el área ambiental ya sea a nivel nacional o internacional. Por medio de una estadía temporal, el estudiante podrá conocer los enfoques de gestión o el desarrollo de líneas de investigación en problemas ambientales.

Becas otorgadas desde el año 2016 al 2021.

Año	Destino	Becario
2016	Universidad de Antioquía, Colombia.	Manuel Henríquez Figueroa
2018	Universidad de Educación a Distancia, Costa Rica.	Juan Fuentes Muñoz
2021	Universidad de Santiago de Compostela, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria España.	Fernando Veloso Contreras

El año 2021 con las condiciones conocidas por pandemia, el candidato Mg(c) Fernando Veloso realizó su estadía entre el 15 al 29 de noviembre en instituciones que han desarrollado investigaciones en temáticas de gestión de la Interfaz Urbano Rural

(IUR), evaluación de características socioeconómicas relacionadas con incendios forestales, acciones de restauración ambiental post-incendios forestales y metodologías de trabajo participativo con la comunidad para su prevención. Al consultar al candidato su testimonio sobre esta oportunidad señaló que *“la beca exploratoria que otorga el programa de Magíster en Medio Ambiente de la UCSC es sin duda una oportunidad que debe ser aprovechada. La posibilidad de conocer nuevas experiencias, nuevos profesionales y avances en temas ambientales complejos es un gran aporte a la formación de profesionales y estudiantes del programa. La red de colaboradores factible de generar producto de las visitas y estadía es una excelente oportunidad para incrementar las relaciones internacionales de la universidad y los postgraduados del programa, lo que permite formar lazos de investigación y transferencia de conocimiento y experiencias donde todos obtienen beneficios.”*

Además, agregó que *“la visita a los diversos centros de investigación y universidades donde se desarrolla investigación en torno a los incendios forestales fue de gran utilidad para ilustrarse sobre las investigaciones más recientes que se llevan a cabo en torno al tema, reforzar conocimientos desde el punto de vista teórico-práctico sobre las complejidades de los desastres naturales y recabar antecedentes para el desarrollo de mi proyecto de habilitación de grado. Sin duda lo más relevante de la experiencia adquirida en la pasantía fue en el ámbito personal, la estadía en España marca un punto de inflexión en mi proyección futura como investigador y docente en esta área”.*



Fernando Veloso en su visita a la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Santiago de Compostela junto con el Profesor Titular Dr. Agustín Merino G.

Más información visita la página web <http://mma.ucsc.cl/> o escríbenos al email: [mma@ucsc.cl](mailto:mma@ucsc.cl) y en nuestras redes sociales.



Ingeniería Ambiental

# Generando y Transmitiendo Conocimiento

Formando profesionales para la sustentabilidad ambiental

Instituto de Acuicultura de la Universidad Austral de Chile.

Contribuyendo al desarrollo de capital humano avanzado para el desarrollo y fortalecimiento de la acuicultura nacional.

## INGENIERIA AMBIENTAL



NEM	RANKING	COMPRESIÓN LECTORA	MATEMÁTICAS	CIENCIAS
10%	30%	20%	30%	10%

La carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Austral de Chile, sede Puerto Montt, comenzó a regir con la primera generación en el año 2019, con la llegada de estudiantes de diferentes ciudades de Chile. Consta con una duración de diez semestres lectivos y con grados académicos como Bachiller en Ciencias Ambientales y Licenciado(a) en Ciencias Ambientales.

El enfoque de la carrera, es tener la capacidad de aplicar instrumentos de modo normativo y sanitario para la resolución de problemas, entrega de soluciones, formular y fiscalizar proyectos que interactúen tanto positiva como negativamente con el medio ambiente. Además de tener la facultad de analizar problemas asociados a los diferentes eventos que se generan, como físicos, sociales y culturales, que impacten sobre el medio natural, y sus implicancias sobre el medio social, ya sea a nivel local como global. También justificar las necesidades específicas en el desarrollo de la evaluación de impacto ambiental, moderando y liderando equipos de trabajo interdisciplinarios.

Cada profesional de la carrera, aporta en diferentes áreas como de ingeniería y gestión de empresas o ejerciendo libremente su profesión, en el sector público en los ámbitos de administración y gestión, fiscalización, y desarrollo de políticas. En el sector académico puede desarrollarse en las áreas de investigación, desarrollo e innovación y docencia de pre y postgrado.

# iacui



CONTACTO  
+ 56 65 2277142  
diego.reyes.espinosa@uach.cl

<http://iambientalpm.uach.cl/>

# Desafíos y potencialidades de la obtención y aplicación de los materiales Quitinosos



Universidad Austral de Chile

Conocimiento y Naturaleza

Por: Dr. Juan D. Giraldo y Msc. Diego F. Reyes

Escuela de Ingeniería Ambiental, Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile, Sede Puerto Montt

## Historia de la quitina y el quitosano

La historia de la quitina comienza en 1811, cuando el profesor *Henri Braconnot*, publicó su artículo titulado “*Sur la nature des champignons*” (la naturaleza de los hongos). En este manuscrito se detallan las reacciones de álcali caliente llevadas a cabo con diferentes especies de hongos, las cuales, dan como resultado un material al que se le asigna el nombre de “*fongine*”. También se describe que al someter este nuevo material a destilación seca se obtiene un líquido, el cual, al ser mezclado con hidróxido de potasio y luego puesto en destilación liberaba amoníaco, hecho que demostraría la presencia de nitrógeno. Por otro lado, igualmente se señala que al poner en contacto el material (*fongine*) con ácido sulfúrico concentrado, había liberación de ácido acético, lo que es indicativo de la presencia de fracciones con funciones acetilo [1,2].

Luego en 1823, *Antoine Odier*, reporta en una de sus publicaciones haber encontrado el mismo material que forma las plantas (celulosa) en los exoesqueletos de escarabajos, acuñándole el nombre de “*chitine*”, palabra que se deriva del griego “*chiton*”, que traduce túnica o envoltura. Lamentablemente, su apreciación es errada, dado que falla en la detección de nitrógeno en la estructura de la quitina. Más tarde, en 1938, *Anselme Payen*, 27 años después de que el profesor *Braconnot* hiciera alusión a la quitina, halla la celulosa. Este acontecimiento provocaría una serie de discusiones entre académicos de la época, quienes no lograban dilucidar una diferencia plausible entre la quitina y la celulosa. No fue sino hasta 1943, cuando *Lassaigne*, señala que al someter quitina (aislada de partes de insectos con potasa caliente) a carbonización con potasio, se obtiene cianuro de potasio, indicativo inequívoco de nitrógeno en la quitina. Inmediatamente, *Payen*, corrobora estos descubrimientos y suma los suyos propios, demostrando las diferencias químicas entre los tejidos celulares de las plantas y el de los exoesqueletos de los artrópodos [3].

Un tiempo después, el más conocido derivado de la quitina, el quitosano, es descubierto por *C. Rouget* (1859), luego de observar que, al calentar quitina en una solución altamente concentrada de hidróxido de potasio, ésta se convertía en un material soluble en presencia de ácidos orgánicos. El nombre de quitosano se lo daría luego *Hoppe-Seyler* en 1894 [2,4,5].

## Importancia de la quitina y el quitosano como subproductos a valorizar

Los materiales quitinosos, llamados así, como un intento de aglutinar todas las configuraciones estructurales que se enmarcan en los términos quitina, quitosano y sus oligómeros, están, tal vez, dentro de los materiales más estudiados y con mayor potencial de desarrollo del siglo XXI. Existen reportes del uso de estos materiales en prácticamente cada uno de los segmentos significativos de la economía, tales como: farmacéutica, alimentos, textiles, agricultura, tratamiento de aguas, biotecnología, entre otros [6–8]. Los beneficios aportados por estos materiales en los productos desarrollados en cada uno de los segmentos mencionados son; biodegradabilidad, no toxicidad y biocompatibilidad.

Una palabra que recoge todos estos beneficios es «bioproductos». El uso de estos materiales en la elaboración de productos es intrínsecamente un hecho que se enmarca en los conceptos de desarrollo sostenible y/o economía circular. El prefijo bio- que les entrega estos materiales a los productos desarrollados a base de ellos, es consecuencia de que tanto la quitina como el quitosano y sus oligómeros, son macromoléculas sintetizadas naturalmente por diversos seres vivos, lo que en el caso de los dos primeros les vale para que sean llamados «biopolímeros». Por su parte, la quitina está presente en artrópodos, moluscos, hongos, levaduras y algas, generalmente se encuentra en estructuras como exoesqueletos, membranas y paredes celulares, las cuales, proveen a estos organismos vivos de soporte mecánico, protección contra predadores y agentes patógenos, además de movilidad y otras funciones esenciales. Con solo una excepción conocida hasta el momento, las algas unicelulares microscópicas *diatomeas*, la quitina en la naturaleza se encuentra vinculada a otros componentes estructurales como proteínas, glicoproteínas, proteoglicanos y otros azúcares. En las paredes celulares de los hongos, se encuentra covalentemente enlazada a glucanos directamente o por medio de puentes peptídicos. Por otra parte, en los insectos y otros invertebrados, la quitina está siempre asociada con proteínas específicas, mediante enlaces tanto covalentes como no covalentes, dando lugar a estructuras ordenadas que luego sufren mineralizaciones con partículas inorgánicas [9].

Desde un punto de vista netamente industrial, la principal fuente

de quitina son los exoesqueletos (cutículas) de crustáceos tales como cangrejos, langostas y camarones, por lo que es transcendente entender cómo este polisacárido se encuentra presente en estas especies. La cutícula de los artrópodos es una estructura jerárquica, donde el monómero N-acetilglucosamina (ver Figura 1) representa el más bajo nivel jerárquico. A partir de éste, se forman las cadenas de quitina, las cuales a su vez se ordenan en formas cristalinas que representan el segundo nivel jerárquico. En la  $\alpha$ -quitina las cadenas están dispuestas de forma anti-paralela unas con otras, lo que da lugar a la estructura ortorrómbica más cristalina. En la  $\beta$ -quitina las cadenas se alinean paralelamente generándose una simetría de cristal monoclinico. Por último, la  $\gamma$ -quitina es una mezcla tanto de la  $\alpha$ - como la  $\beta$ -quitina, con dos cadenas paralelas seguidas de una anti-paralela. Aunque todas estas tres formas polimórficas se pueden encontrar en partes del mismo organismo, en la cutícula de los artrópodos, la  $\alpha$ -quitina cristalina predomina [10].

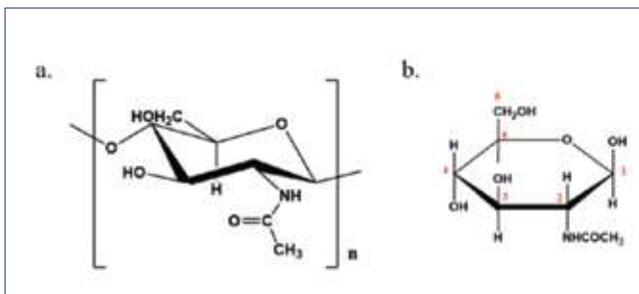


Figura 1. Estructura química ideal de la quitina: a. Unidad repetitiva, y b. monómero (N-acetilglucosamina). Fuente: Propia.

Como se puede ver en la Figura 2, típicamente 18 a 25 cadenas de quitina se disponen anti-paralelamente formando secciones de cristallitos de  $\alpha$ -quitina. Estos conjuntos de moléculas son luego envueltos periféricamente por proteínas dispuestas helicoidalmente, creándose así, nano-fibras con diámetros de entre 2 y 5 nm. Estas nano-fibrillas de quitina-proteína luego se agregan entre sí para formar fibras más gruesas de 50 a 250 nm de diámetro, lo que representa el cuarto nivel jerárquico. En el siguiente nivel, estas fibras más gruesas se organizan paralelamente creando matrices planas (laminas), las cuales, se sobreponen una tras otra, formando pilas donde cada lamina esta rotada en un ángulo constante, dando lugar a una estructura contrachapada o de *Bouligand*. Este arreglo estructural helicoidal forma las tres principales capas de la cutícula, en las cuales, su altura de pila varía entre sí [10].

Por otra parte, el material orgánico entre la exo- y endo-cutícula esta combinado con nanopartículas inorgánicas dispuestas de acuerdo con la organización jerárquica de las fibras de quitina-proteína. Esta fase inorgánica consiste principalmente de carbonato de calcio, fosfato de calcio y Mg-calcita. De aquí que la cutícula se considere como un material compuesto jerárquico que combina alta fuerza mecánica y versatilidad funcional [10].

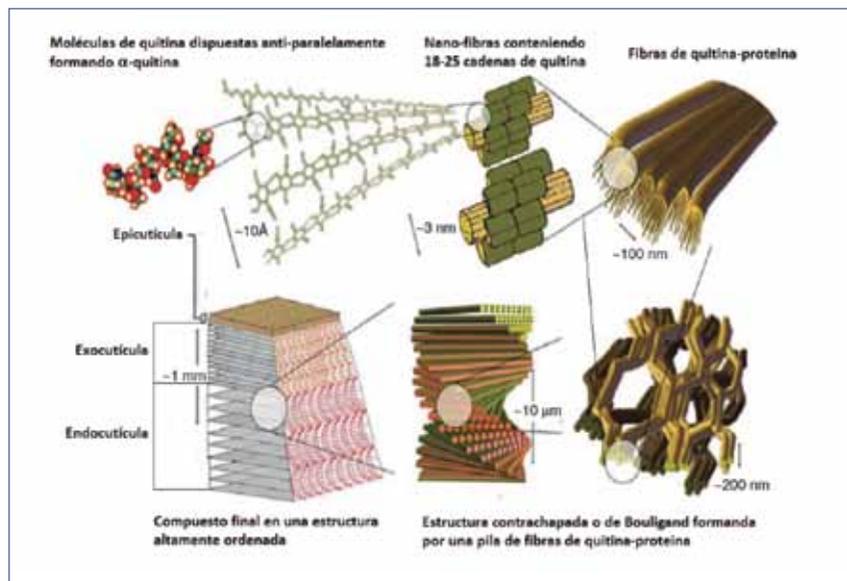


Figura 2. Microestructura jerárquica de la cutícula de langosta *H. americanus*. Fuente: Tomada de Muzzarelli y col. [10].

## Desafíos y potencialidades en la obtención de los materiales quitinosos

La explotación de mariscos ha sido por largo tiempo una importante fuente de alimento y de generación de riqueza para los seres humanos. Según el departamento de pesquería y acuicultura de la FAO, la producción acuícola mundial de crustáceos alcanzó los 6.9 millones de toneladas anuales en el año 2014 (US\$ 36.2 miles de millones) [11], lo que en promedio representa alrededor de 2.4 millones de toneladas de desechos anuales (principalmente exoesqueletos y cefalotórax)[12], que en su gran mayoría terminan dispuestos en botaderos (en el mejor de los casos en rellenos sanitarios) o en el mar[13]. El cargo por disponer de estos residuos ronda los US\$150/tonelada, lo cual es incluso más oneroso que el precio monetario (US\$100-120/tonelada) de estos despojos ya molidos y secos [14,15]. Estos exoesqueletos y cefalotórax desechados están principalmente compuestos por pigmentos (p. ej. astaxantina) o lípidos (5-10 % masa seca), proteína (20-40 % masa seca), minerales (20-50 % masa seca) y quitina (15-40 % masa seca) [16,17]. Siendo este último componente el principal compuesto extraído.

Lamentablemente, si bien a la fecha el aprovechamiento de estos residuos permite una disminución de su impacto negativo hacia el medioambiente, además de la obtención de subproductos como la quitina y el quitosano —los cuales generan un alto valor agregado y una mayor diversificación de la industria pesquera— el proceso de extracción de estos subproductos tiene lugar a través del método químico tradicional, el cual, usa ácidos y bases fuertes en solución (p. ej. HCl, NaOH) que impiden beneficiarse de las proteínas, lípidos y carotenoides (pigmentos) contenidos en tales desechos [16,18]. Adicionalmente, este proceso químico tradicional genera efluentes contaminantes dado el carácter altamente ácido u alcalino de estos [8]. Por último, y no menos importante, este proceso imposibilita la obtención de quitina y/o quitosano con altas masas

molares y una baja dispersidad en su patrón de acetilación, grado de acetilación y masa molar [19,20].

Con el fin de superar los problemas que trae consigo el método químico tradicional, se han planteado procedimientos alternativos a este, los cuales se pueden dividir en dos categorías: extracción por solvente y métodos biológicos. En la primera categoría se emplean solventes específicos (p. ej. acetato de 1-etil-3-metilimidazolio) para bien sea extraer directamente quitina (disolviéndola y luego recristalizándola) o remover selectivamente los otros componentes contenidos en los desechos [21]. Por otro lado, en la segunda categoría se emplean enzimas y/o microorganismos (p. ej. proteasa) para digerir y/o fermentar cierta(s) fracción(es) de los residuos y obtener los compuestos deseados (principalmente proteínas parcialmente hidrolizadas y quitina) [22,23]. Sin embargo, si bien estos nuevos procesos han demostrado ser ambientalmente más amigables y eficientes en la obtención de los demás componentes aprovechables en los desechos, también presentan desventajas importantes que todavía no han sido superadas. En el caso de la extracción por solvente existen dificultades principalmente en la recuperación de los solventes utilizados (de alto costo) y, en el manejo técnico de las soluciones, dada su alta viscosidad. Por otra parte, los principales inconvenientes en los métodos biológicos son la baja pureza (~80 %) de la quitina extraída y, los tiempos de procesamiento muy largos (2-15 días) [14,15,24–26].

Es en este contexto que los académicos e investigadores de la Escuela de Ingeniería Ambiental adscrita al Instituto de Acuicultura de la Universidad Austral de Chile, sede Puerto Montt, trabajan bajo los preceptos de la «Química Verde» [17,27], proponiendo procesos alternativos a los ya mencionados, capaces de aprovechar los componentes proteicos, lipídicos (y carotenoides), minerales y quitinosos de los desechos provenientes de la explotación de crustáceos. Estos procesos constan del uso, en conjunto, de dos tecnologías de procesamiento novedosas y de muy bajo impacto ambiental para la extracción y/o transformación de componentes de alto valor presentes en la biomasa residual proveniente de la industria pesquera: el método electroquímico [28–32] y el mecanoquímico [33–35]. En el primero, en esencia, se polarizan, cargan y ceden los componentes de los desechos en suspensión acuosa por la acción de la fuerza de un campo magnético inducido por una corriente directa, lo cual, resulta en una aceleración de los procesos de transferencia de masa que permite una rápida extracción de proteína (parcialmente hidrolizada), lípidos (y carotenoides), minerales y quitina (al 90-94 % pureza) en una sola etapa [28]. En el segundo, se emplea la energía mecánica para la amorfización y/o transformación de materiales parcial o totalmente puros (desechos, quitina grado técnico y pura) en estado sólido, para la obtención principalmente de quitina, quitosano y sus oligómeros [33–38].

La combinación de ambos métodos —nunca antes planteada— se estima permita que las cantidades consumidas de reactivos (NaOH y HCl), energía y agua, en el método químico tradicional, se reduzcan a una 1/10, 1/4 y 1/3 parte respectivamente

[28,35]. Se espera que una amorfización de los desechos previo a la extracción electroquímica facilite los procesos de desproteínización, decoloración y desmineralización. Por otro lado, se tiene la expectativa, sustentada en trabajos previos [33–35], que la despolimerización y/o deacetilación de la quitina a través del método mecanoquímico, resulte en quitinas y/o quitosanos con una mayor monodispersidad en su patrón de acetilación, grado de acetilación y masa molar. Esto último posibilitaría la obtención de macromoléculas u oligómeros con actividades biológicas definidas u modos conocidos de acción en las células, en función de su estructura química [19,20,39–41], en suma, la obtención de materiales (de tercera generación) [42] altamente definidos en términos de sus propiedades y funcionalidades, que permitan, un refinamiento de los productos ya existentes a nivel comercial y que creen nuevas oportunidades de mercado.

### Desafíos y potencialidades en la aplicación de los materiales quitinosos

Como se mencionó anteriormente, los materiales quitinosos han mostrado ser útiles en prácticamente cada uno de los segmentos significativos de la economía. Sin embargo, si bien existen pruebas fehacientes de que estos polisacáridos actúan de forma beneficiosa en múltiples aplicaciones como; apósitos para heridas, floculantes, adsorbentes de metales pesados, bioestimulantes vegetales, entre muchas otras [3], estos biopolímeros han sido aclamados, con demasiada frecuencia, como macromoléculas milagrosas que lo curan todo. No es sorprendente entonces, que esto haya generado algunas expectativas poco realistas que han conducido a la decepción tras el fracaso, o al escepticismo que lleva a la incredulidad y a el rechazo, cuando usuarios finales ponen a prueba algún producto a base de materiales quitinosos [43]. Es necesario tener claro que existen diferentes configuraciones estructurales englobadas en las palabras comunes quitina o quitosano, es decir, no existe una quitina o quitosano que lo cura todo, en su lugar, hay diferentes clases de quitinas y quitosanos, que exhiben diferentes propiedades biológicas, químicas y físicas cuando son aplicados bien sea en un ser vivo, agua, suelo, frutas, etc.

Es por ello por lo que solo después de casi 220 años de investigación relacionada a estos biopolímeros [2], se han logrado algunos consensos con relación a como varían sus propiedades fisicoquímicas en función de tres parámetros de caracterización; grado de polimerización, fracción molar de acetilación y patrón de acetilación [44]. La variación en estos tres parámetros repercute en su actividad biológica, física y química, es por ello por lo que es mandatorio siempre reportar al menos el grado de polimerización y la fracción molar de acetilación del material quitinoso usado en alguna aplicación. La evolución en el desarrollo de estos materiales se puede resumir en una primera generación; «fueron una pobremente definida mezcla de polímeros de pureza y composición variable, en su mayoría no aptos para el desarrollo de productos comerciales con éxito, estos materiales estuvieron dominando el mercado por décadas y todavía son muy usados en la actualidad» [42], en una segunda generación; «están bien definidos en términos de sus grados de polimeri-



zación y fracción molar de acetilación, más adecuados para el desarrollo de productos confiables gracias a que se conoce su estructura molecular, estos materiales están ahora apareciendo en el mercado» [42] y, una futura tercera generación; « serán menos poli dispersos, o incluso más mono-dispersos en el caso de oligómeros, con patrones de acetilación no aleatorio, actividades biológicas definidas y modos conocidos de acción en las células, estos quitosanos crearán nuevas oportunidades de mercado» [42]. Estos materiales mono-dispersos permitirán desarrollar bioproductos específicos que no darán lugar a dudas respecto a su eficacia, lo que se espera de lugar a nuevas oportunidades tanto de mercado como de solución de ciertas problemáticas clínicas y medioambientales.

## REFERENCIAS

- [1] R.A. Muzzarelli, Chitin, in: Chitin, 1977: p. 105.
- [2] G. Crini, Historical Landmarks in the Discovery of Chitin, in: 2019: pp. 1–47. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16538-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16538-3_1).
- [3] F. Khoushab, M. Yamabhai, Chitin research revisited, *Mar. Drugs*. 8 (2010) 1988–2012. <https://doi.org/10.3390/md8071988>.
- [4] R.A. Muzzarelli, Chitin, in: Chitin, 1977: pp. 1–4. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-020367-6.50006-4>.
- [5] R. a a Muzzarelli, J. Boudrant, D. Meyer, N. Manno, M. Demarchis, M.G. Paoletti, Current views on fungal chitin/chitosan, human chitinases, food preservation, glucans, pectins and inulin: A tribute to Henri Braconnot, precursor of the carbohydrate polymers science, on the chitin bivalent, *Carbohydr. Polym.* 87 (2012) 995–1012. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.063>.
- [6] B. Duan, Y. Huang, A. Lu, L. Zhang, Recent advances in chitin based materials constructed via physical methods, *Prog. Polym. Sci.* 82 (2018) 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2018.04.001>.
- [7] I. Hamed, F. Özogul, J.M. Regenstein, Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitoooligosaccharides): A review, *Trends Food Sci. Technol.* 48 (2016) 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.007>.
- [8] I. Younes, M. Rinaudo, Chitin and Chitosan Preparation from Marine Sources. Structure, Properties and Applications, *Mar. Drugs*. 13 (2015) 1133–1174. <https://doi.org/10.3390/md13031133>.
- [9] A. Einbu, Characterisation of Chitin and a Study of its Acid-Catalysed Hydrolysis, Norwegian University of Science and Technology, 2007.
- [10] M.F. Riccardo A.A. Muzzarelli, H. Fabritius, C. Sachs, D. Raabe, S. Nikolov, P.E.S. and J. Neugebauer, Jennifer A. Tripp and Thomas F.G. Higham, Arndt Schimmelmann, Darren R. Gröcke, Maarten van Hardenbroek, N.S.G. and R.E.S. Elias, and Scott A., Neal S. Gupta and George D. Cody, Chitin, Springer Netherlands, Dordrecht, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9684-5>.
- [11] The state of world fisheries and aquaculture 2016, FAO, Rome, 2016.
- [12] C.A. Cardona, W.A. Sarache, eds., Green supply chains: application in agroindustries, Universida, Manizales, 2014.
- [13] G. Lorentzen, G. Voldnes, R.D. Whitaker, I. Kvalvik, B. Vang, R. Gjerp Solstad, M.R. Thomassen, S.I. Siikavuopio, Current Status of the Red King Crab (Paralithodes camtschaticus) and Snow Crab (Chionoecetes opilio) Industries in Norway, *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 26 (2018) 42–54. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1335284>.
- [14] X. Chen, H. Yang, N. Yan, Shell Biorefinery: Dream or Reality?, *Chem. - A Eur. J.* 22 (2016) 13402–13421. <https://doi.org/10.1002/chem.201602389>.
- [15] H. Yang, N. Yan, Transformation of Seafood Wastes into Chemicals and Materials, *Encycl. Sustain. Sci. Technol.* (2018) 1–23. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6\\_1012-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_1012-1).
- [16] N. Suryawanshi, S.E. Jujavarapu, S. Ayothiraman, Marine shell industrial wastes—an abundant source of chitin and its derivatives: constituents, pretreatment, fermentation, and pleiotropic applications—a revisit, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16 (2019) 3877–3898. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-02204-3>.
- [17] F.M. Kerton, Y. Liu, K.W. Omari, K. Hawboldt, Green chemistry and the ocean-based biorefinery, *Green Chem.* 15 (2013) 860–871. <https://doi.org/10.1039/c3gc36994c>.
- [18] Schmitz, Auza, Koberidze, Rasche, Fischer, Bortesi, Conversion of Chitin to Defined Chitosan Oligomers: Current Status and Future Prospects, *Mar. Drugs*. 17 (2019) 452. <https://doi.org/10.3390/md17080452>.
- [19] J. Wattjes, S. Sreekumar, C. Richter, S. Cord-Landwehr, R. Singh, N.E. El Gueddari, B.M. Moerschbacher, Patterns matter part 1: Chitosan polymers with non-random patterns of acetylation, *React. Funct. Polym.* 151 (2020) 104583. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2020.104583>.
- [20] S. Cord-Landwehr, C. Richter, J. Wattjes, S. Sreekumar, R. Singh, S. Basa, N.E. El Gueddari, B.M. Moerschbacher, Patterns matter part 2: Chitosan oligomers with defined patterns of acetylation, *React. Funct. Polym.* 151 (2020) 104577. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2020.104577>.
- [21] J.L. Shamshina, Chitin in ionic liquids: historical insights into the polymer's dissolution and isolation. A review, *Green Chem.* 21 (2019) 3974–3993. <https://doi.org/10.1039/C9GC01830A>.
- [22] W. Arbia, L. Arbia, L. Adour, A. Amrane, Chitin Extraction from Crustacean Shells Using Biological Methods – A Review, *Food Technol. Biotechnol.* 51 (2013) 12–25.
- [23] S. Kaur, G.S. Dhillon, Recent trends in biological extraction of chitin from marine shell wastes: a review, *Crit. Rev. Biotechnol.* 35 (2015) 44–61. <https://doi.org/10.3109/07388551.2013.798256>.
- [24] H. Yang, G. Gözaydın, R.R. Nasaruddin, J.R.G. Har, X. Chen, X. Wang, N. Yan, Toward the Shell Biorefinery: Processing Crustacean Shell Waste Using Hot Water and Carbonic Acid, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 7 (2019) 5532–5542. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b06853>.
- [25] M.J. Hülsley, Shell biorefinery: A comprehensive introduction, *Green Energy Environ.* 3 (2018) 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2018.07.007>.
- [26] A. Jardine, S. Sayed, Challenges in the valorisation of chitinous biomass within the biorefinery concept, *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 2 (2016) 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2016.09.007>.
- [27] M. del C. Doria Serrano, Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente, *Educ. Química*. 20 (2009) 412–420. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30044-2](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30044-2).
- [28] E.E. Kuprina, K.G. Timofeeva, S. V. Vodolazhskaya, Electrochemical preparation of chitin materials, *Russ. J. Appl. Chem.* 75 (2002) 822–828. <https://doi.org/10.1023/A:1020383117777>.
- [29] M.R. Vysotskaya, G. V. Maslova, V.A. Petrova, L.A. Nud'Ga, Electrochemical recovery of chitin-glucan complex from *Pleurostium ostreatus* basidial fungus and properties of the product, *Russ. J. Appl. Chem.* 82 (2009) 1390–1395. <https://doi.org/10.1134/S1070427209080138>.
- [30] E.E. Kuprina, S. V. Vodolazhskaya, G.G. Nyanikova, Destruction and Hydrolysis of Proteins in Their Electrochemical Extraction, *Russ. J. Appl. Chem.* 76 (2003) 639–642. <https://doi.org/10.1023/A:1025711925757>.
- [31] E.E. Kuprina, V.S. Bobylev, A.I. Kirillov, Electrochemical methods for the preservation of crustacean wastes from shellfish processing, *Prog. Chem. Appl. Chitin Its Deriv.* 18 (2013) 5–12.
- [32] G.G. Nyanikova, E.E. Kuprina, S. V. Vodolazhskaya, Protein Hydrolysates Extracted Electrochemically from Crustaceans as Major Components of Nutrient Media, *Appl. Biochem. Microbiol.* 39 (2003) 431–434. <https://doi.org/10.1023/A:1024589006093>.
- [33] G. Margoutidis, V.H. Parsons, C.S. Bottaro, N. Yan, F.M. Kerton, Mechanochemical Amorphization of  $\alpha$ -Chitin and Conversion into Oligomers of N-Acetyl- d -glucosamine, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 6 (2018) 1662–1669. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02870>.
- [34] T. Di Nardo, A. Moores, Mechanochemical amorphization of chitin: Impact of apparatus material on performance and contamination, *Beilstein J. Org. Chem.* 15 (2019) 1217–1225. <https://doi.org/10.3762/bjoc.15.119>.
- [35] T. Di Nardo, C. Hadad, A. Nguyen Van Nhien, A. Moores, Synthesis of high molecular weight chitosan from chitin by mechanochemistry and aging, *Green Chem.* 21 (2019) 3276–3285. <https://doi.org/10.1039/c9gc00304e>.
- [36] X. Chen, Y. Gao, L. Wang, H. Chen, N. Yan, Effect of Treatment Methods on Chitin Structure and Its Transformation into Nitrogen-Containing Chemicals, *Chempluschem*. 80 (2015) 1565–1572. <https://doi.org/10.1002/cplu.201500326>.
- [37] M. Yabushita, H. Kobayashi, K. Kuroki, S. Ito, A. Fukuoaka, Catalytic Depolymerization of Chitin with Retention of N-Acetyl Group, *ChemSusChem*. 8 (2015) 3760–3763. <https://doi.org/10.1002/cssc.2015011224>.
- [38] X. Chen, H. Yang, Z. Zhong, N. Yan, Base-catalysed, one-step mechanochemical conversion of chitin and shrimp shells into low molecular weight chitosan, *Green Chem.* 19 (2017) 2783–2792. <https://doi.org/10.1039/c7gc00089h>.
- [39] J. Wattjes, A. Niehues, S. Cord-Landwehr, J. Hoßbach, L. David, T. Delair, B.M. Moerschbacher, Enzymatic Production and Enzymatic-Mass Spectrometric Fingerprinting Analysis of Chitosan Polymers with Different Nonrandom Patterns of Acetylation, *J. Am. Chem. Soc.* 141 (2019) 3137–3145. <https://doi.org/10.1021/jacs.8b12561>.
- [40] K.K. Dey, M. Ghosh, Understanding the effect of deacetylation on chitin by measuring chemical shift anisotropy tensor and spin lattice relaxation time, *Chem. Phys. Lett.* 738 (2020) 136782. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136782>.
- [41] S. Basa, M. Nampally, T. Honorato, S.N. Das, A.R. Podile, N.E. El Gueddari, B.M. Moerschbacher, The Pattern of Acetylation Defines the Priming Activity of Chitosan Tetramers, *J. Am. Chem. Soc.* 142 (2020) 1975–1986. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b11466>.
- [42] Nano3Bio, (2017). <http://www.nano3bio.eu/about/the-3-bios/> (accessed June 9, 2020).
- [43] S. Cord-Landwehr, A. Niehues, J. Wattjes, B.M. Moerschbacher, New Developments in the Analysis of Partially Acetylated Chitosan Polymers and Oligomers, in: Chitin and Chitosan, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2019: pp. 81–95. <https://doi.org/10.1002/9781119450467.ch4>.
- [44] A. Domard, A perspective on 30 years research on chitin and chitosan, *Carbohydr. Polym.* 84 (2011) 696–703. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.083>.

# MACROBENT y AMBI

## Una plataforma multiusuario y un índice biótico Para una mejor gestión ambiental de ecosistemas de fondos blandos expuestos a actividades antropogénicas



Universidad Austral de Chile  
Instituto de Acuicultura



Sandra L. Marín<sup>1,2</sup>, Daniela R. Farías<sup>1</sup>, Estrella Hernández<sup>3</sup>, Claudia Zil<sup>4</sup>, Rosa Núñez<sup>1</sup>, Iñigo Muxika<sup>5</sup>, Ángel Borja<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile, Puerto Montt

<sup>2</sup>Centro de Investigación Dinámica de Ecosistemas Marinos de Altas Latitudes IDEAL, Universidad Austral, Valdivia

<sup>3</sup>EducaPro Asesorías Ltda. Puerto Montt

<sup>4</sup>Instituto de Gestión e Industria, Universidad Austral de Chile, Puerto Montt

<sup>5</sup>AZTI, Investigación Marina, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Herrera Kaia, Portualdea s/n, 20110 Pasaia, España

<sup>6</sup>King Abdulaziz University, Faculty of Marine Sciences, Jeddah, Saudi Arabia

### Antecedentes

Actualmente en Chile existen variados instrumentos de gestión para evaluar proyectos y monitorear su desempeño ambiental: Caracterización Preliminar de Sitio (CPS), Informe Ambiental (INFA), Programa de Vigilancia Ambiental (PVA), contenidos en las resoluciones de calificación ambiental (RCA) y, por otra parte, el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), de DIRECTEMAR, que monitorea la costa. Sin embargo, los objetivos y las metodologías de la evaluación de estos difieren entre sí, lo que hace difícil establecer el nivel de impacto originado por determinados proyectos.

El sistema bentónico es donde mejor se puede observar el impacto de actividades antropogénicas en costa (Dauer, 1993) debido a la diversidad de especies que viven en él, la poca movilidad y variedad de estrategias adaptativas, lo que permite que estas especies respondan relativamente rápido al estrés natural y antropogénico (Pearson y Rosenberg, 1978; Hyland et al., 2005). Actualmente, ningún instrumento de gestión en Chile tiene asociado una caracterización del estado ecológico del sistema bentónico usando índices, aun cuando se solicita en ellos muestreos de macrofauna bentónica cuando se trata de actividades emplazadas en ecosistemas de fondos blandos.

AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) es un índice basado en la composición de especies de la macrofauna bentónica, que se clasifican en grupos ecológicos (GE) según su sensibilidad a la

contaminación y perturbación (Borja et al., 2000). Para su estimación es necesario identificar la macrofauna al nivel de especie y asignarlas a un GE siendo 3,3 el valor límite de aceptabilidad de impacto, en un rango de 0 a 7, valores mayores a éste indican impacto en el sistema bentónico (Borja et al., 2000).

A la fecha hemos ejecutado una serie de proyectos de investigación que estuvieron enfocados en: i) generar conocimiento sobre la respuesta del sistema bentónico a la presencia de la acuicultura usando el índice AMBI, ii) buscar evidencias bibliográficas de la amplitud geográfica y presiones ambientales que pueden ser evaluadas usando este índice, iii) levantar brechas para implementar AMBI en la normativa nacional, y iv) evaluar su potencial uso en el monitoreo de los sistemas bentónicos expuestos a distintas presiones. Adicionalmente, se ha ido avanzando en generar una base de datos (BD) y sistemas de información con el objetivo último de implementar un modelo de gestión propiamente validado, que incorpore los instrumentos de la gestión pública y con una funcionalidad adecuada para la integración de objetivos, datos y actores, y la generación de información útil para la toma de decisiones en materia de evaluación ambiental, con un foco en el uso del índice biótico AMBI.

El objetivo de este artículo es presentar avances en el desarrollo de este modelo de gestión enfocado en la funcionalidad de la plataforma multiusuario que incorpora una BD de macrofauna bentónica. Estos avances forman parte de los resultados com-

prometidos en el proyecto FONDEF IT19I0059 denominado “Validación de un modelo de gestión ambiental público - privado para la incorporación del índice biótico AMBI (AZTI Marine Biotic Index) en la evaluación y monitoreo de proyectos acuícolas en ecosistemas submareales de fondos blandos en Chile” (2020-2022).

## Metodología

A continuación, se presenta una síntesis de la metodología que nos ha llevado a la construcción de un sistema de gestión ambiental de sistemas submareales de fondos blandos que integra información ecológica y especies de estos ecosistemas enfocado en el uso y aplicación del AMBI y actores relevantes en la gestión ambiental a través de la plataforma digital MACROBENT. Esta síntesis se ha estructurado en 3 etapas desarrolladas a través de proyectos financiados por diversos instrumentos públicos, INNOVA CORFO; FIC – R Los Lagos; SUBPESCA; y Fondo de Investigación Pesquera y Acuícola (FIPA), los que fueron ejecutadas entre los años 2007-2018, para finalmente postular al proyecto FONDEF IT con el cual se desarrolla MACROBENT. Estas iniciativas han sido desarrolladas con la colaboración de AZTI y la participación de empresas salmoneras, empresas productoras de mitilidos, laboratorios de análisis ambientales e instituciones públicas como SUBPESCA, SERNAPESCA y DIRECTEMAR.

### a) Consolidación de la información

Se consideró un conjunto de fuentes de información que incluyen Tesis, Publicaciones científicas, 6 Proyectos de investigación entre 2005 y 2018, 423 Informes Ambientales (INFA) para el periodo 2010-2013 y 114 informes del Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA) para el periodo 2007-2013. La información permitió la consolidación de una BD con parámetros físicos y químicos del sedimento de los sitios de estudio (p. ej: granulometría, pH, Redox), macrofauna bentónica identificada a distintos niveles de resolución taxonómica, sus atributos ecológicos (p. ej: AMBI, GE, Individuos totales, Riqueza, Diversidad, Dominancia y Uniformidad), localizaciones, profundidad y fechas de muestreo. Adicionalmente, se incorporará información relativa a macrofauna de sectores afectados por industrias, minería, urbanización, u otras. A esta base de datos se le realizó una serie de consultas para indagar sobre posibles brechas de información y plantear algunas acciones para abordar dichas brechas.

### b) Instrumentos Ambientales

Conjuntamente se trabajó con SUBPESCA, SERNAPESCA, y DIRECTEMAR para identificar falencias en el sistema actual de monitoreo a través de CPS e INFA, y el programa POAL. Para ello se realizaron reuniones en las que también participaron laboratorios de análisis ambiental para la identificación de brechas, problemas y buscar posibles mejoras para las funcionalidades que se requerían por parte de los usuarios finales (agentes públicos, consultoras ambientales y empresas acuícolas).

### c) Plataforma tecnológica MACROBENT

MACROBENT es un sistema informático multiusuario tipo pla-

taforma web, que se está ejecutando bajo la metodología ágil SCRUM, con entorno de programación Visual Studio, lenguaje de programación C#, sistema operativo Windows Server y motor de base de datos SQL Server. En este sistema se encontrará información de macrofauna bentónica que se consolidó en la DB. Para mantener la BD actualizada se permitirá el ingreso de nueva información que se vaya generando a través de proyectos, CPS e INFA, luego de ser validada y para lo cual se levantó los requerimientos de las instituciones que administran instrumentos ambientales de manera de que el proceso de actualización sea automatizado. Además, se podrá consultar el catálogo de especies que estén disponibles junto a información de atributos ecológicos y geolocalización nacional de donde se han identificado. Con esta información se podrá mejorar la identificación de especies, contando con un espacio de interacción asincrónica con expertos que puedan apoyar a los usuarios.

## Resultados

La información contenida a la fecha en la BD incluye 2326 especies, donde se pudo observar una inconsistencia en la data obtenida en la evaluación de la macrofauna bentónica de fondos blandos. Si bien se identificaron individuos a nivel de especie, estos presentaron errores de escritura del nombre científico de la especie y su clasificación. De los proyectos e instrumentos de gestión registrados, se observó que las INFAS presentan un 47,8% (n= 120) de errores de escrituras respecto de todos los registros que reportan (Fig. 1). Así, por ejemplo, la especie *Tripylaster philippii* aparece escrita de 10 formas diferentes, *Aphelochaeta longisetosa* 6 formas diferentes, *Spiophanes duplex* 5 veces, entre otras. Otras fuentes de información también registraron errores de escritura de las especies identificadas (Fig. 1).

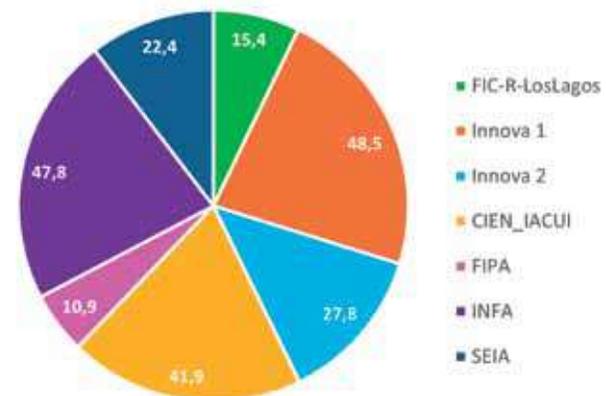


Figura 1. Porcentajes de errores observados en base de datos de macrofauna bentónica incorporada en la plataforma digital MACROBENT.

Se identificaron 235 especies sin GE, de las cuales 104 corresponden a Crustáceos, 35 Moluscos, 71 Poliquetos, y 16 a otros grupos taxonómicos. La asignación de GE a estas especies se encuentra en análisis por parte de los expertos en taxonomía y ecología que forman parte del equipo del proyecto.

Al estimar AMBI es necesario tener en cuenta y reportar el por-

centaje de individuos de la muestra que no tiene asignado un GE debido a que esto influye en la interpretación de los resultados. Con un porcentaje de individuos no asignados en una muestra de entre el 20 y el 50%, el resultado debe ser interpretado con cautela y cuando este porcentaje es  $>50\%$  entonces se sugiere no usar este índice (Borja y Muxika, 2005).

La Figura 2 muestra que, aunque el valor de AMBI por sobre 3,3 se observa en todas las estaciones de muestreo, el alto porcentaje de individuos no asignados dificulta concluir con certeza el nivel de perturbación que presentan estos sitios.

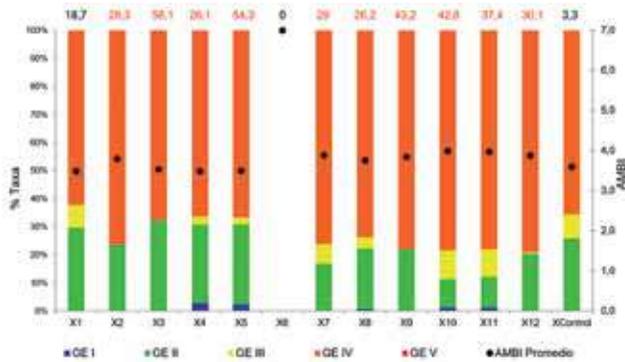


Figura 2. Valores de AMBI, porcentaje de individuos por GE para un sitio de estudio y el porcentaje de individuos no asignado a grupo ecológico (Número sobre barra, valores en rojo indican porcentaje sobre 20%).

Con la generación de la plataforma digital MACROBENT (Fig. 3) se ha logrado la consolidación de una BD compuesta por los parámetros propuestos previamente y que estarán disponibles para los usuarios de esta plataforma. Algunas de las funcionalidades que se están desarrollando en la plataforma MACROBENT son:

- Permitir el acceso público con un perfil específico a distintos tipos de usuarios.
- Importar informes INFA y CPS ya validados por las Instituciones correspondientes, para que con esta información se puedan complementar índices e indicadores asociados a macrofauna bentónica.
- Consultar el catálogo de especies, accediendo a una ficha por cada especie mostrando la información disponible.
- Visualizar mapas con geolocalización asociada a índices e indicadores de macrofauna bentónica.
- Extraer reportes de índices e indicadores de macrofauna bentónica, mediante exportación de archivos pdf o xls.
- Acceder a un sistema interno de comunicación con expertos para el apoyo en identificación de especies.
- Ingresar especies que no existan en el catálogo, previa validación de un Coordinador Técnico.
- Acceso a un archivo Excel en formato para el ingreso a software AMBI para usuarios que requieren incluirlo en sus informes.

Como parte de las actividades de los proyectos mencionados se identificó una brecha de capacidades respecto de la identificación de la macrofauna a nivel de especie, la cual ha sido abordada mediante un Diplomado que además de capacitar en análisis taxonómico permitirá a analistas de macrofauna y a funcionarios públicos a usar y aplicar AMBI y MACROBENT. En el ámbito científico la información generada sobre la biodiversidad bentónica de ecosistemas de fondos blandos será transferida al Ministerio del Medio Ambiente mediante el sistema de información de biodiversidad *Global Biodiversity Information Facility-GBIF Chile*, siguiendo el estándar internacional de datos de acceso libre (open-access).

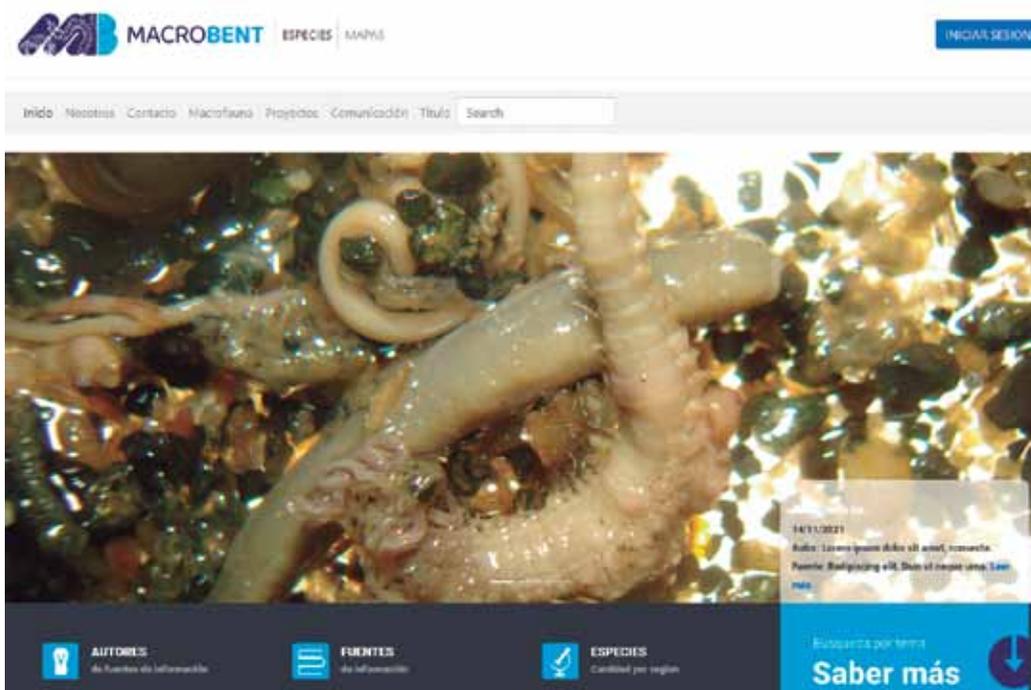


Figura 3. Vista de pantalla de inicio plataforma digital de gestión MACROBENT.

## Conclusiones y desafíos futuros

El objetivo último de los proyectos que el equipo de trabajo ha venido desarrollando es la incorporación del índice AMBI en la normativa que regula el desempeño ambiental de la acuicultura a través del cierre de diferentes brechas que se fueron identificando. Podría pensarse en otros índices para mejorar la normativa, sin embargo, AMBI es uno de los indicadores capaz de encapsular el conocimiento de expertos en un valor, lo que permite que las evaluaciones del sistema bentónico sean comparables a través de distintas áreas geográficas (Borja et al., 2019). Esto ocurre porque tanto los criterios y el ranking de importancia que los expertos le dan a estos criterios son los mismos, independiente del origen del experto (Borja et al., 2014). Adicionalmente, el gradiente de impacto que se genera representa cambios en la composición de la comunidad bentónica de fondos blandos que refleja cambios en la funcionalidad del ecosistema. Áreas donde predominan especies del GE IV (oportunistas de segundo orden, Fig. 4), y especialmente V (oportunistas de primer orden), son comunidades mucho más eficientes en procesar el exceso de materia orgánica, pero como consecuencia son comunidades menos diversas y perturbadas (Marín et al., 2021). A través del uso de este índice también contribuimos al conocimiento del patrimonio nacional respecto de la biodiversidad de los sistemas bentónicos de fondos blandos.

Otro aporte significativo que se espera es al entendimiento de las modificaciones que ocurren en los sistemas bentónicos de fondos blandos en aquellos ambientes impactados por diversas actividades antropogénicas, como la desalinización, minería, o



**Figura 4.** Especie *Schistomeringos longicornis*, poliqueto perteneciente al grupo ecológico (GE) IV. Crédito imagen: Sandra Marín, Proyecto FIC-Los Lagos: "Propuesta de monitoreo ambiental para la industria mitilicultora (2011-2012)". Universidad Austral de Chile.

urbanización, entre otras. Además, se espera constituir una red de expertos en taxonomía y ecología, que asesore a la autoridad acuícola en la toma de decisiones, donde se trabajará en conjunto con AZTI, y de una oferta de capacitación en identificación taxonómica, uso de AMBI y la plataforma MACROBENT.

Al finalizar el proyecto se espera validar un modelo de gestión público privado que incluya el indicador propuesto y el consenso respecto de la condición ecológica de los fondos blandos submareales entre las distintas instituciones con competencia en el área ambiental. Luego de esta validación se espera haber generado todas las condiciones necesarias para avanzar hacia una evaluación ambiental de ecosistemas submareales de fondos blandos con un enfoque ecosistémico, eficiente, y acorde a estándares internacionales.

Desde el ámbito científico la información que se generará mejorará el catastro de especies aumentando el conocimiento sobre la biodiversidad marina y esperamos poder transferir esta información a las bases de datos que tiene el Ministerio del Medio Ambiente mediante el sistema de información de biodiversidad open-access GBIF Chile.

## Referencias

- Borja A, Franco J, Perez V (2000)** A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments, *Marine Pollution Bulletin* 40:15.
- Borja A, Muxika I (2005)** Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine Pollution Bulletin* 50: 787-789.
- Borja Á, Marín S, Núñez R, Muxika I (2014)** Is there a significant relationship between the benthic status of an area, determined by two broadly-used indices, and best professional judgment? *Ecological Indicators* 45, 308–312.
- Borja A, Chust G, Muxika I (2019)** Chapter Three - Forever young: The successful story of a marine biotic index. *Advances in Marine Biology* 82: 93-127.
- Dauer DM (1993).** Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Marine Pollution Bulletin* 26: 249-257
- Hyland J, Balthis L, Karakassis I, Magni P, Petrov A, Shine J, Vestergaard O, Warwick R (2005)** Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos. *Marine Ecology Progress Series* 295: 91-103.
- Marín SL, Borja A, Soto D, Farias DR (2021)** Salmon farming: Is it possible to relate its impact to the waste remediation ecosystem service? En *Ecosystem Services in Patagonia*. Springer, Cham Peri P, Martínez G, Nahuelhual L (Eds). 249-269.
- Pearson TH, Rosenberg R (1978)** Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and marine biology: an annual review* 16, 229– 311.



*Matamos por encargo...*

**NUESTROS SERVICIOS**



**CONTROL DE AVES**  
WWW.7PLAGAS.CL PEST-CONTROL

**SANITIZACIONES**  
WWW.7PLAGAS.CL PEST-CONTROL

**DES RATIZACIONES**  
WWW.7PLAGAS.CL PEST-CONTROL

**CAPTURA ANIMAL**  
WWW.7PLAGAS.CL PEST-CONTROL

**TERMO NIEBLA**  
WWW.7PLAGAS.CL PEST-CONTROL

**EQUIPOS ATRAPA INSECTOS**  
WWW.7PLAGAS.CL PEST-CONTROL

**NUESTRO EQUIPO**



**CONSULTAS:** [info@7plagas.cl](mailto: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





**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

# Apoyo en la lucha contra la caligidosis

Con un mejoramiento continuo y que se adapta a cada cliente en particular, según sus procedimientos e infraestructuras.



## PRODUCTOS

- Faldones para baño de caligus
- Lona cerrada para baño de caligus
- Toldos y cubre alimentos
- Ropa de Agua
- Telas Industriales
- Redes de Cultivo

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Resistencia a la tracción y al desgarró.
- Estructuraciones resistentes para cada cliente en particular.
- Herméticamente desarrolladas.
- Peso ideal para un fácil manejo.
- Flotabilidad Neutra muy fácil de operar.
- Sistemas de lastre de acuerdo a las características de cada centro.
- Velocidad de entrega.
- Servicios de reparaciones.
- Servicios de modificaciones de lonas.
- Porta BioLonas.
- Durabilidad garantizada mínima un ciclo de cultivo.
- Para cultivos de agua mar y dulce.

Fono: (65) 2 277 601

Celular: +56 9 9696122

Contacto: EdoTrujillo@biolona.com

www.biolonas.cl

# Fin al tope de indemnización 11 años de servicio: Proyecto busca eliminar tope en las indemnizaciones



www.asesoria-gestion.cl / asesoriaygestionspa@gmail.com

*La comisión de Trabajo de la Cámara de Diputadas y Diputados continuó la tramitación del proyecto de ley que busca eliminar el tope de años de servicios en las indemnizaciones de los trabajadores.*

El presente proyecto de ley tiene por objeto suprimir el límite máximo de trescientos treinta días de remuneración, que consagra el inciso 2° del artículo 163 del Código del Trabajo, equivalente a 11 años de servicios.

Esta propuesta beneficiaría a los trabajadores que superen 11 años de servicios, en consecuencia, el empleador debería pagar una indemnización equivalente a 30 días de la última remuneración mensual devengada por cada año de servicio y fracción superior a seis meses, sin límite de años.

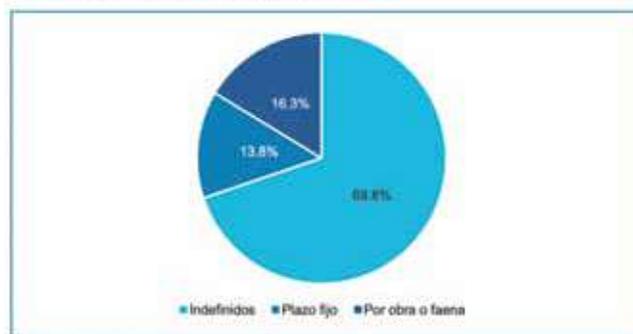
## Dentro de los fundamentos del proyecto

- “Las indemnizaciones a que tienen derecho los trabajadores pueden tener su origen en la ley o en el contrato de trabajo, ya sea individual o colectivo.”
- “En específico, la indemnización por años de servicio, regulada en el artículo 163 del Código del Trabajo, ha sido caracterizada dentro de tres categorías según su naturaleza.”
- De la lectura de los incisos 2° y 3° del artículo 73, del inciso 4° del artículo 162 y de los artículos 163 al 167, todos del Código del Trabajo, podemos distinguir y enumerar las siguientes indemnizaciones por término del Contrato de Trabajo:
  1. Indemnización sustitutiva del aviso anticipado de 30 días.
  2. Indemnización legal por años de servicios.
  3. Indemnización contractual o convencional por años de servicios.
  4. Indemnización convencional sustitutiva a todo evento desde el 7° año.
  5. Indemnización legal a todo evento para trabajadores de casa particular.
  6. Indemnización legal por feriado anual compensable en dinero.
  7. Indemnización legal por feriado proporcional.
  8. Indemnización a todo evento para los trabajadores contratados por obra o faena (de reciente creación mediante la ley número 21.122).

## Formas de contratación

De acuerdo a los resultados obtenidos por la encuesta laboral ENCLA 2019

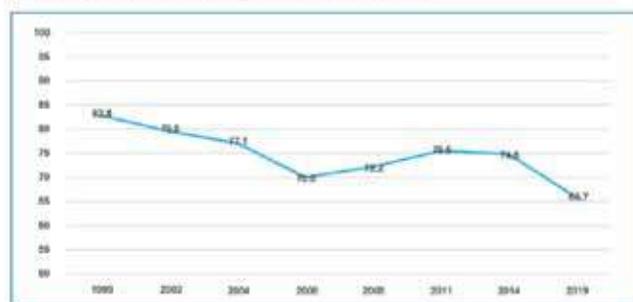
Distribución porcentual de trabajadores por tipo de contrato



Fuente: Encle 2019 Empleados, cuestionario adaptado.

“La mayoría de los trabajadores que cuentan con contrato de trabajo en Chile lo está bajo la modalidad indefinida. En efecto, el 69,8% de los trabajadores cuenta con dicho tipo de contrato laboral, lo que suele asociarse a condiciones de trabajo de mayor estabilidad y de mayor protección. Por su parte, las modalidades de contratos temporales constituyen el porcentaje restante, siendo los contratos por obra o faena más numerosos que los de plazo fijo”.

Gráfico 2: Porcentaje de trabajadores con contratos indefinidos 1999-2019



Fuente: Encle 2019 Empleados, cuestionario adaptado.

“A lo largo de las dos décadas de medición de la Encla, se ha observado una tendencia a la disminución de los contratos indefinidos, entre 1999 y 2006, y un leve aumento entre los años 2006 y 2011.”

#### Porcentaje de trabajadores por tipo de contrato, según tamaño de empresa

	Indefinido	Plazo fijo	Por obra o faena	Total
Gran empresa	63,4%	15,7%	20,6%	100%
Mediana empresa	72,4%	12,6%	14,9%	100%
Pequeña empresa	82,7%	10,2%	7,0%	100%
Microempresa	92,0%	6,7%	1,1%	100%
<b>Total</b>	<b>69,8%</b>	<b>13,8%</b>	<b>16,3%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Encla 2019. Empleadores, cuestionario autoaplicado.

En esta lámina se puede apreciar que el contrato indefinido es el que predomina en todos los tamaños de empresas, los contratos por obra y faena están mayormente localizados en la gran y mediana empresa.

#### Antigüedad de los trabajadores con contrato indefinido, según tamaño de empresa

Tamaño de empresa	Hasta un año	1-3 años	3-5 años	5-10 años	10 años y más	Total
Gran empresa	22,1%	26,7%	14,7%	18,2%	18,4%	100%
Mediana empresa	21,9%	27,8%	15,4%	16,4%	18,4%	100%
Pequeña empresa	18,9%	29,1%	16,9%	18,9%	16,3%	100%
Microempresa	11,9%	22,6%	21,3%	23,3%	20,8%	100%
<b>Total de empresas</b>	<b>21,0%</b>	<b>27,3%</b>	<b>15,6%</b>	<b>18,2%</b>	<b>18,0%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Encla 2019. Empleadores, cuestionario autoaplicado.

El indicador de estabilidad, se puede apreciar que no existe gran diferencia en la antigüedad de los contratos de 10 o más años en los distintos tamaños de empresas, bordeando un quinto del total.

## NIC 19

La norma contable vigente en CHILE NIIF, en la NIC 19 establece el método de beneficios acumulados, lo cual permite reconocer progresivamente la obligación por concepto de beneficios a sus empleados por el tiempo que han prestado servicios a la empresa en cada periodo contable.

De esta manera la empresa reconoce un pasivo por los servicios prestados a pagar en el futuro.

Para la medición supone los siguientes pasos : ( NIC 19 párrafo 57)

- “Utilizar técnicas actuariales, el método de la unidad de crédito proyectada para hacer una estimación fiable del costo final para la entidad del beneficio que los empleados tienen acumulado (devengado) a cambio de sus servicios en los periodos presente y anteriores .”
- Esto requiere que una entidad determine la cuantía de los beneficios que resultan atribuibles al periodo presente y a los anteriores y que realice las estimaciones (suposiciones actuariales) :
  - A. respecto a las variables demográficas (tales como rotación de los empleados y mortalidad) y
  - B. financieras (tales como incrementos futuros en los salarios y en los costos de asistencia médica) que influyen en el costo de los beneficios
  - C. descontar ese beneficio para determinar el valor presente de la obligación por beneficios definidos y el costo de los servicios presentes
  - D. deducir el valor razonable de los activos del plan del valor presente de la obligación por beneficios definidos.

- “En algunos casos, la utilización de estimaciones, promedios o métodos abreviados de cálculo pueden suministrar una aproximación fiable de los procedimientos ilustrados en esta Norma” ( NIC 19 párrafo 60).

## SINTESIS

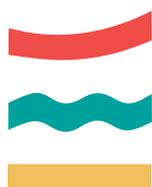
De acuerdo al índice de estabilidad alrededor de un 20% de las empresas en sus distintos tamaños poseen trabajadores con 10 o más años de prestación de servicios. La grande, mediana y pequeña empresa que revela su información financiera mediante NIIF hace una estimación del gasto utilizando técnicas actuariales considerando distintas probabilidades y no un cálculo lineal a todo evento. En el momento que se publique la nueva Ley se deberá actualizar la estimación.

Si bien la normativa permite reflejar una estimación del gasto, sería conveniente que las empresas puedan materializar el financiamiento a través de un fondo, (sobre todo la microempresa que mayoritariamente utilizan la contabilidad principalmente para determinar sus impuestos) y así evitar problemas de liquidez por la salida de trabajadores.

Como demuestra la medición de ENCLA, un 69,8% de los trabajadores cuentan con contrato indefinido en Chile, si bien se observa una tendencia a la disminución de este tipo de contrato, la microempresa tiene mayor porcentaje de contratos indefinidos y si no cuentan con un fondo real de ahorro podría colocar en riesgo la continuidad de muchos emprendimientos.

# DEPARTAMENTO DE ACUICULTURA Y RECURSOS AGROALIMENTARIOS

PECES - MOLUSCOS - ALGAS - PESCA RECREATIVA - AMBIENTE - ALIMENTOS



UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS

- **INVESTIGACIÓN I+D+i**
- **DOCENCIA**
- **TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

- **DESARROLLO**
- **DIVERSIFICACIÓN**
- **INNOVACIÓN**
- **AJUSTES DE TECNOLOGÍAS**
- **OPTIMIZACIÓN**
- **ACUICULTURA Y AGRICULTURA**
- **ACUICULTURA DE PEQUEÑA ESCALA**
- **REPOBLAMIENTO PARA LA PESCA ARTESANAL**



FONDEF  
Fondo de Fomento al Desarrollo  
Científico y Tecnológico



Subsecretaría  
de pesca



**EL SOCIO LÍDER DE LA ACUICULTURA, CON MÁS DE 40 AÑOS DE EXPERIENCIA**

Alberto Medina A. • e-mail: [amedina@ulagos.cl](mailto:amedina@ulagos.cl); [respinoza@ulagos.cl](mailto:respinoza@ulagos.cl); [jcuribe@ulagos.cl](mailto:jcuribe@ulagos.cl) • (56-64) 2333303-18-19  
Campus Chuyaca • Avda. Fuchslocher N° 1305 • Pabellón Lago Riñihue • Osorno • Región Los Lagos

HOMÓLOGA



A PARTIR DE  
AISLADOS NACIONALES

PRODUCTO 100% NACIONAL

# BEKA-VAX®

Vacuna inactivada contra  
*Renibacterium salmoninarum*  
Emulsión Inyectable

- ✓ Única vacuna inactivada homóloga.
- ✓ Elaborada a partir de antígeno de aislados nacionales de *Renibacterium salmoninarum*.
- ✓ Alta eficacia: Fracción prevenible superior al 75%.
- ✓ Estimula la inmunidad y disminuye la susceptibilidad a otras enfermedades.
- ✓ Menor prevalencia de BKD.

Experiencia que da confianza.

