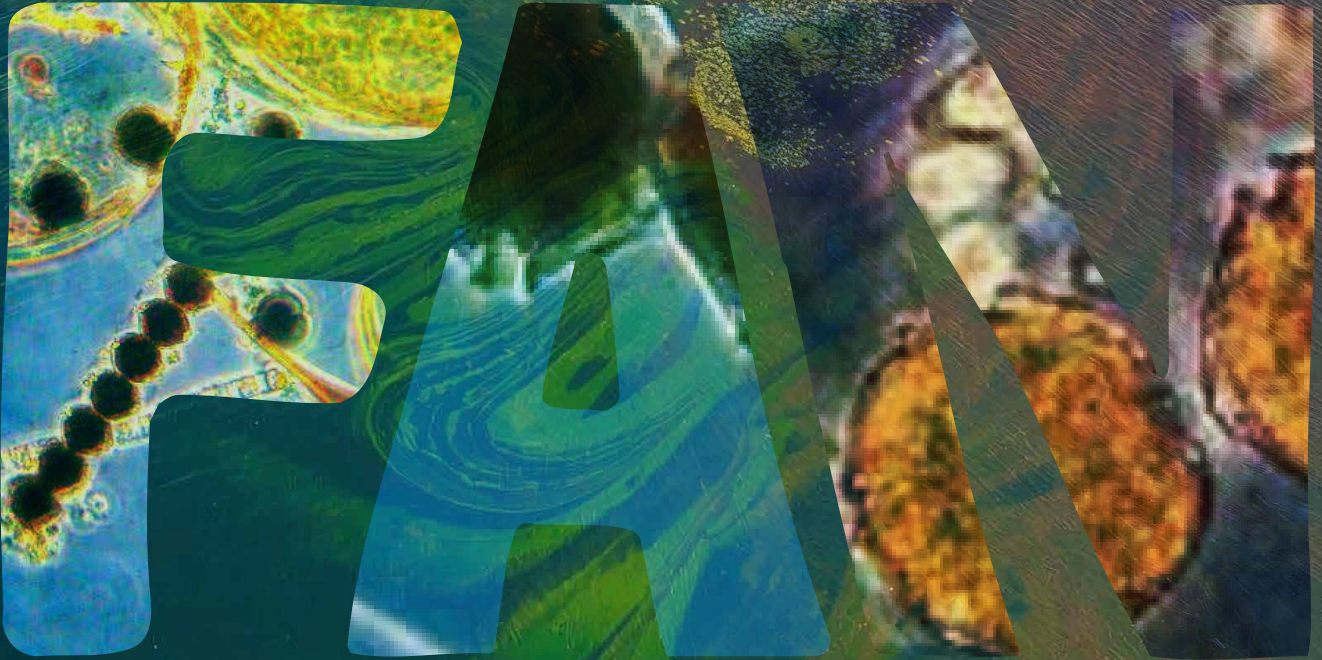




VERANO 2026 / Nº11

InfoSALMON



FAN, oxígeno y salud: *la mirada sanitaria que redefine la preparación frente a floraciones algales*

Mirada científica de las FANs en Chile: *lo que sabemos, lo que aún no y el desafío de anticiparse*

De la alerta temprana a la acción inmediata: *así se prepara la acuicultura frente a las FAN*

Ecós de una década: *de la tormenta de 2016 a la revolución tecnológica de las productoras*

Antes de la marea: *cómo el Estado articula datos, coordinación y comunicación frente al riesgo FAN*

Descarga la versión digital
escaneando este código





25 años de Experiencia, Compromiso e Innovación



Servicios: Análisis de laboratorio - Asistencia Técnica -
Servicios Medio Ambientales - Investigación y Desarrollo - Genómica -
Vigilancia Epidemiológica

www.adldiagnostic.cl

**Jueves, 23 de abril
Hotel Courtyard
PUERTO MONTT**



La ecuación del salmón
de la cosecha al mercado final

●
**¡Forma parte de
este encuentro!**

Showroom · Charlas técnicas · Charla magistral · Conversatorios y más

más información y contacto: marion@infosalmon.cl

03 ÍNDICE

05

Floraciones algales nocivas:

entender la complejidad para anticipar el futuro

Fernando Cáceres Bofill
CEO InfoMEDIA

EDITORIAL

06

FAN, oxígeno y salud: *la mirada sanitaria que redefine la preparación frente a floraciones algales*

Sebastián Cárdenas Benavente
Director de Contenidos InfoSALMON

REPORTAJES

08

Mirada científica de las FANs en Chile: *lo que sabemos, lo que aún no y el desafío de anticiparse*

Jocelyn Vargas Álvarez
Periodista InfoSALMON

12

De la alerta temprana a la acción inmediata: *así se prepara la acuicultura frente a las FAN*

Jorge Elgueta Catalán
Periodista InfoSALMON

20

Ecos de una década: *de la tormenta de 2016 a la revolución tecnológica de las productoras*

Felipe Soto Chace
Periodista InfoSALMON

24

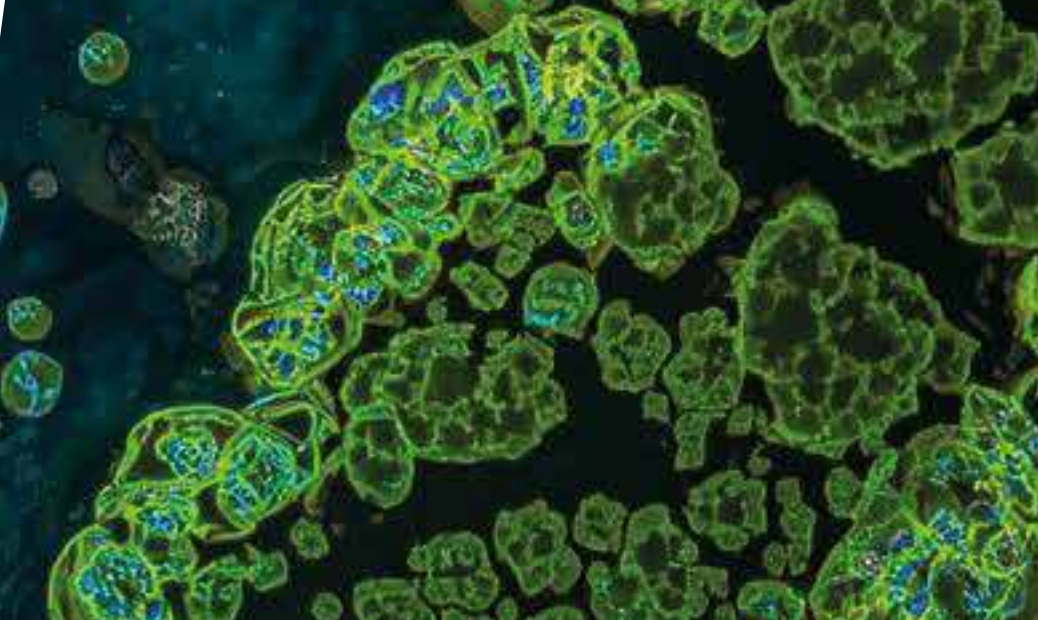
Antes de la marea: *cómo el Estado articula datos, coordinación y comunicación frente al riesgo FAN*

Sebastián Cárdenas Benavente
Director de Contenidos InfoSALMON

41

RAS toma el protagonismo: *alta asistencia y cierre exitoso de seminario organizado por InfoSALMON en Puerto Montt*

Equipo Editorial
InfoSALMON



Equipo InfoSALMON

Director Ejecutivo

Fernando Cáceres Bofill
fernando@infosalmon.cl

Director de Contenidos

Sebastián Cárdenas Benavente
sebastian@infosalmon.cl

Gerente de Nuevos Proyectos

Marion Gaete Alvarez
marion@infosalmon.cl

Periodistas

Jorge Elgueta Catalán
jorge@infosalmon.cl

Felipe Soto Chace
felipe@infosalmon.cl

Jocelyn Vargas Álvarez
jocelyn@infosalmon.cl

Key Account Manager

Amanda Milosevich Pepper
amanda@infosalmon.cl

Diseño

Argo Navis Estudio
argonavisestudio@gmail.com

Fotografía

Fotos con Gorro de Lana
@fotoscongorrodelana

ESTUDIOS

27

Aditivos funcionales mejoran inmunidad del salmón y reducen mortalidad durante FAN

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Universidad Noruega de Ciencias de la Vida
Salmones Camanchaca

29

FAN en la salmonicultura chilena: de las crisis históricas a la era de la vigilancia inteligente

Fabiola Villanueva
Arroba FAN SpA

35

De la microscopía a la inteligencia artificial: cómo Plancton Andino está cambiando la gestión del riesgo por FAN en Chile

Alejandro Clément, Francisca Muñoz & Alvaro Jorquera.
Plancton Andino

CONTENIDOS PATROCINADOS

18

COVEPA: COVEPA refuerza su liderazgo en soluciones de desinfección de alta gama para la industria acuícola

39

Aqua BC: Detección de veneno paralizante (y Alexandrium cetenella) rápida, eficiente y ahora producida desde Chile para el mundo

43

Inclusive Group: Tecnología que Protege el Presente y Transforma el Futuro

45

GTR FAN: Infraestructura digital para la comprensión, gestión y riesgo FAN

48

Indicadores Productivos

AquaBench

Suscríbete a nuestro Newsletter

<https://infosalmon.cl/suscribirse-a-in-fosalmon-cl/>

Floraciones algales nocivas: *entender la complejidad para anticipar el futuro*

Las floraciones algales nocivas (FAN) han dejado de ser un fenómeno esporádico para convertirse en una variable estructural dentro del escenario operativo de la salmicultura moderna. Lo que durante años fue abordado principalmente desde la contingencia hoy exige una mirada distinta: científica, sistémica y profundamente estratégica.



Fernando Cáceres Bofill
CEO InfoMEDIA

La industria salmicultora global opera en un contexto de creciente variabilidad ambiental, donde la interacción entre cambio climático, dinámicas oceanográficas locales, intensificación productiva y presión regulatoria redefine constantemente los límites operacionales. En ese escenario, las FAN representan uno de los desafíos más complejos porque combinan incertidumbre biológica, impacto económico inmediato y alta sensibilidad pública.

Sin embargo, reducir la discusión únicamente al riesgo productivo sería una simplificación peligrosa. Las FAN no solo ponen a prueba la resiliencia de los centros de cultivo; también tensionan la capacidad de la industria para integrar ciencia avanzada, monitoreo en tiempo real, innovación tecnológica y coordinación entre actores públicos y privados. En otras palabras, son un indicador de madurez sectorial.

Chile, como segundo productor mundial de salmón, enfrenta este desafío desde una posición singular. La combinación de condiciones oceanográficas únicas, alta concentración productiva y creciente escrutinio social convierte al país en un laboratorio natural para el desarrollo de soluciones que podrían definir el estándar internacional en gestión de eventos algales. La pregunta, entonces, no es si las FAN seguirán ocurriendo, sino qué tan preparados estaremos para anticiparlas, mitigarlas y aprender de ellas.

A nivel global, la conversación está evolucionando hacia enfoques integrados que cruzan modelamiento predictivo, inteligencia artificial, sensores oceanográficos

avanzados, manejo adaptativo y rediseño de estrategias productivas. La transición desde la reacción hacia la anticipación requiere no solo inversión tecnológica, sino también una transformación cultural dentro del sector: pasar de gestionar crisis aisladas a construir resiliencia estructural.

En este contexto, el rol de la información técnica adquiere una relevancia crítica. La industria necesita espacios editoriales capaces de traducir complejidad científica en conocimiento accionable, conectando investigación académica, experiencia productiva y visión estratégica. Esa es la convicción que guía esta edición de verano de InfoSALMON.

A través de reportajes, análisis técnicos y voces expertas nacionales e internacionales, buscamos aportar a una conversación más profunda sobre las FAN, entendiendo que el verdadero desafío no radica únicamente en enfrentar eventos específicos, sino en redefinir cómo la salmicultura se relaciona con su entorno ambiental y social en un escenario de cambio permanente.

La salmicultura del futuro no será aquella que logre evitar la incertidumbre, sino la que sea capaz de gestionarla con inteligencia, transparencia y visión de largo plazo.

Desde InfoSALMON continuaremos impulsando un periodismo técnico independiente, orientado a tomadores de decisión y comprometido con elevar el estándar de la discusión sectorial. Porque en una industria que evoluciona rápidamente, la calidad del análisis marca la diferencia.

FAN, oxígeno y salud: la mirada sanitaria que redefine la preparación frente a floraciones algales

Sebastián Cárdenas Benavente
Director de Contenidos InfoSALMON

Las Floraciones Algales Nocivas ya no se explican solo desde el ambiente. En esta entrevista, Alexander Jaramillo, coordinador de Salud e Inocuidad de Intesal (Instituto Tecnológico del Salmón), analiza cómo el oxígeno, la vigilancia temprana y la articulación ciencia-industria se han vuelto claves para enfrentar un riesgo sanitario cada vez más complejo.



Alexander Jaramillo, Coordinador de salud e inocuidad de Intesal.
Foto:InfoSALMON

Las Floraciones Algales Nocivas (FAN) se han consolidado como uno de los riesgos más complejos para la salmonicultura chilena. Su impacto no se explica únicamente por la presencia de microalgas, sino por una interacción crítica entre variables ambientales, fisiológicas y sanitarias. En ese escenario, el oxígeno aparece como un eje central para comprender por qué estos eventos pueden escalar rápidamente en términos de mortalidad y pérdida de bienestar animal.

Desde Intesal, esta lectura integrada ha ido tomando fuerza. Para Alexander Jaramillo, coordinador de Salud e Inocuidad, las FAN deben analizarse desde una lógica sanitaria ampliada, donde el ambiente condiciona directamente la salud de los peces.

FAN, oxígeno y susceptibilidad sanitaria

“El oxígeno es un factor ambiental clave en el bienestar y la productividad de los salmones, y también un indicador fundamental para la toma de decisiones productivas y

sanitarias”, afirma Jaramillo. Según explica, los análisis realizados por Intesal muestran una relación clara entre eventos FAN y un aumento posterior de la mortalidad infecciosa en los centros afectados.

“Datos de Intesal muestran que, tras eventos de Floraciones Algales Nocivas, los centros afectados se asocian a un aumento de la mortalidad infecciosa”, señala. Esta situación suele darse en contextos donde confluyen varios factores de riesgo: “Estos eventos generalmente coinciden con alzas de temperatura, que reducen el oxígeno disuelto y se asocian a una mayor prevalencia de enfermedades branquiales y de Piscirickettsia salmonis”.

Durante una FAN, el problema no es solo la disponibilidad de oxígeno en la columna de agua. “El oxígeno puede verse afectado por la alta carga de fitoplancton y por el daño mecánico en las branquias, reduciendo la eficiencia respiratoria”, explica Jaramillo. A ello se suma que “algunas microalgas también producen toxinas que generan daños en distintos tejidos”, comprometiendo la condición sanitaria y el bienestar general de los peces.



Centro de cultivo de Salmones de Chile en desembocadura del Río Maullín.
Foto: InfoSALMON

El oxígeno como variable sanitaria estratégica

Uno de los cambios más relevantes en la preparación de la industria ha sido el reposicionamiento del oxígeno como una variable sanitaria y no únicamente productiva. “Hoy existe una mayor comprensión del rol del oxígeno en el bienestar animal, la productividad y el riesgo sanitario”, plantea el coordinador de Salud e Inocuidad de Intesal.

Ese cambio de enfoque se ha traducido en acciones concretas. “Esto ha impulsado la implementación en Chile de sistemas de oxigenación no solo ante FAN, sino también frente a otros eventos ambientales, como bajas de oxígeno a lo largo del ciclo productivo”, explica. Según Jaramillo, el oxígeno se ha integrado de manera estructural en la gestión diaria de los centros: “Se ha incorporado de forma sistemática como parte de los protocolos sanitarios y productivos, tanto en agua dulce como en la fase de engorda en mar, como una herramienta clave para mitigar el estrés y proteger la salud de los peces”.

Vigilancia temprana y prevención operativa

Desde Intesal, la preparación frente a escenarios de riesgo comienza mucho antes de que un evento FAN se manifieste en los centros. Una de las herramientas centrales es el Programa de Monitoreo de Fitoplancton (PROMOFI), que Jaramillo describe como “un esfuerzo colaborativo, con un apoyo sistemático de las empresas, que aportan puntos de muestreo y un número significativo de muestras desde los centros de cultivo”.

Actualmente, el programa cuenta con más de 100 estaciones de muestreo distribuidas desde la Región de Los Lagos hacia el sur. “Esto mejora significativamente la detección temprana de eventos FAN con potencial impacto sanitario y productivo”, destaca. La información generada permite a Intesal “emitir alertas técnicas y recomendaciones preventivas para los centros de cultivo antes de que se desencadene un evento crítico”.

Además del monitoreo, Intesal participa activamente en el desarrollo de modelos predictivos. “Mantenemos colaboraciones con diferentes instituciones y empresas, aportando nuestras bases de datos para generar modelos que permitan la predicción de eventos FAN”, explica Jaramillo. En esa línea, destaca la reciente publicación asociada al proyecto SATREPS-MACH, financiado por JICA, “que evaluó tres modelos diferentes para la predicción de FAN, con participación de investigadores nacionales e internacionales”.

Aprendizajes desde eventos pasados

Los eventos históricos de mortalidad masiva han dejado aprendizajes relevantes para la industria. “La evidencia científica ha demostrado que las deficiencias de oxígeno no solo impactan la productividad, sino que también aumentan la susceptibilidad a diversas enfermedades, incluidas las de origen infeccioso”, subraya Jaramillo.

A partir de esos episodios, se ha fortalecido el trabajo conjunto entre industria, autoridades, proveedores e investigadores. “Este trabajo ha sido fundamental no solo para mitigar las consecuencias de eventos de mortalidad masiva asociados a FAN, sino también para avanzar hacia

medidas preventivas”, indica. Desde Intesal, ese enfoque se estructura en torno a cuatro principios: “vigilancia, mitigación de riesgos, investigación científica y colaboración público-privada”.

Ciencia, industria y autoridad: una coordinación clave La articulación entre distintos actores es otro eje del trabajo sanitario frente a FAN. “Intesal cumple un rol articulador, participando activamente en instancias de coordinación interinstitucional con autoridades, empresas productoras, proveedores y la academia”, explica Jaramillo.

Durante el último año, esta labor se ha reflejado en la participación en eventos científicos de alcance nacional e internacional, como LAPECO 2025. “Estos espacios permiten compartir antecedentes técnicos y coordinar acciones de prevención, control y mitigación frente a eventos de FAN y otros eventos con potencial de generar mortalidades masivas”, señala.

Mirada futura: anticiparse en un escenario de cambio climático

Mirando hacia adelante, Jaramillo es claro en identificar el principal desafío: la anticipación. “En escenarios de mayor variabilidad ambiental y eventos extremos, como las FAN, resulta clave fortalecer sistemas de vigilancia temprana integrados”, afirma. Estos sistemas, explica, deben combinar “información satelital, hidrodinámica, ambiental, productiva y sanitaria en tiempo casi real, para apoyar una toma de decisiones oportuna”.

Junto con ello, la investigación aplicada seguirá siendo un pilar. “Desde Intesal hemos impulsado un plan de ciencia orientado a caracterizar los territorios donde se desarrolla la producción”, señala, destacando como ejemplo el estudio de hidrodinámica avanzada del fiordo Comau. “Este tipo de trabajos permite mejorar la comprensión de la dinámica territorial y proyectar escenarios futuros asociados al cambio climático y al riesgo de eventos FAN”.

Proyecto SATREPS-MACH

Cooperación Chile-Japón para anticipar Floraciones Algas Nocivas

SATREPS-MACH es un proyecto científico binacional entre Chile y Japón, financiado por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA), orientado a comprender, monitorear y predecir las Floraciones Algas Nocivas (FAN) en el sur de Chile.

La iniciativa integra datos oceanográficos, ambientales y biológicos para desarrollar modelos de alerta temprana, con aplicaciones directas en acuicultura, gestión ambiental y reducción de riesgos sanitarios.

Conoce los objetivos, avances y equipos del proyecto en el sgte. enlace

https://mge.hiroshima-u.ac.jp/SATREPS_MACH/es/project/

Mirada científica de las FANs en Chile: lo que sabemos, lo que aún no y el desafío de anticiparse

Jocelyn Vargas Álvarez
Periodista InfoSALMON

Durante las últimas dos décadas, las Floraciones Algales Nocivas (FANs) han pasado de ser un fenómeno estudiado de manera fragmentada a convertirse en uno de los principales desafíos científicos, ambientales y productivos del país. Investigadores chilenos coinciden en que el conocimiento ha avanzado de forma sustantiva, pero también advierten que la complejidad del fenómeno —acentuada por el cambio climático— sigue superando muchas de nuestras capacidades de predicción y gestión.

De la descripción a la mirada multidisciplinaria

El salto más evidente ha sido metodológico y conceptual. Según el Dr. Patricio Díaz, investigador del Centro i~mar de la Universidad de Los Lagos, “el conocimiento sobre las floraciones algales nocivas en Chile ha experimentado un acelerado crecimiento en las últimas dos décadas”. Este avance se explica, en gran parte, porque el país dejó atrás estudios meramente descriptivos y comenzó a integrar múltiples disciplinas.

“Chile pasó de realizar estudios particularmente descriptivos enfocados en disciplinas específicas a buscar respuestas a estos eventos mediante una aproximación multidisciplinaria”, señala Díaz, destacando la integración de ecología, oceanografía, climatología, toxicología y biología molecular, entre otras áreas.

“Este significativo avance ha sido posible gracias al incremento en la formación de capital humano avanzado, sumado a la adquisición de tecnología avanzada para la realización de estudios de campo, así como de laboratorio”, reflexiona el experto.

Un hito simbólico de este progreso fue que Chile albergara en 2025 la principal cita científica mundial sobre el tema. Para Díaz, “un claro reflejo de este significativo avance en el estudio de las FAN es que la XXI Conferencia Internacional sobre Floraciones Algales Nocivas fue desarrollada en Punta Arenas”.

La Dra. Allisson Astuya Villalón, investigadora de COPAS COASTAL y profesora asociada del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción, coincide en este diagnóstico. A su juicio, “en las dos últimas décadas, el conocimiento científico sobre las Floraciones Algales Nocivas (FANs) en Chile ha avanzado significativamente gracias al desarrollo de estrategias de investigación y herramientas de análisis, así como a colaboraciones nacionales e internacionales”.

Esto ha permitido caracterizar mejor las especies de microalgas involucradas, sus toxinas y algunos de los factores ambientales asociados a las floraciones. Sin embargo, advierte que “pese a estos avances, el conocimiento sigue siendo insuficiente ante la complejidad del fenómeno y el impacto creciente de las FANs en los ecosistemas y en actividades productivas como la acuicultura”.

¿Más FANs o mejores ojos para verlas?

Una de las preguntas más recurrentes es si efectivamente están aumentando las FANs en Chile o si simplemente hoy contamos con mejores herramientas para detectarlas. Para el Dr. Díaz, el aumento no es tan lineal como suele percibirse. “El incremento en investigación y en el esfuerzo de monitoreo ha permitido sin duda detectar la ocurrencia de especies que no son habituales en el sistema de fiordos y canales patagónicos”, explica, añadiendo que las herramientas moleculares hoy permiten identificar especies que antes solo se clasificaban a nivel de género.



Dr. Patricio A. Díaz, investigador del Centro i-mar Universidad de Los Lagos
Créditos Dr. Patricio Díaz

Sin embargo, matiza: “el aparente incremento de FAN en Chile no es tan real”, ya que algunos estudios recientes que han analizado series de tiempo de largo término (~30 años) de algunas especies tóxicas presentes en el sistema de fiordos no muestran una tendencia clara al incremento”. Un estudio reciente realizado a nivel global con las principales especies productoras de las FANs da cuenta de ello. A su juicio, “posiblemente, nuestra visión se ha visto algo sesgada debido a que en la última década hemos sido testigos de eventos muy intensos y con impactos severos”.

Desde otra mirada, la Dra. Catharina Alves-de-Souza, también investigadora de COPAS COASTAL y profesora asociada del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción, plantea que ambas interacciones coexisten. “Si bien contamos con sistemas de monitoreo más robustos y sensibles, que nos permiten detectar eventos que antes podían pasar inadvertidos,



Dra. Catharina Alves-de-Souza, investigadora de COPAS COASTAL y Profesora Asociada del Departamento de Oceanografía de la UdeC
Créditos: COPAS COASTAL

existe evidencia científica sólida que indica un aumento real en la frecuencia, la magnitud y la extensión geográfica de las FANs, tanto en Chile como a nivel global. Es decir, no se trata solo de una mejor detección, sino también de un fenómeno que efectivamente se está intensificando”, explica.

Cambio climático: el telón de fondo inevitable

El vínculo entre cambio climático y FANs aparece como uno de los consensos más claros. Para Díaz, “es innegable que los efectos del cambio climático están afectando la ocurrencia, intensidad y duración de las FANs a nivel global y Chile no es la excepción”.

“La Patagonia norte (regiones de Los Lagos y Aysén) ha sido catalogada como un centinela global del cambio climático, debido a que algunos cambios están ocurriendo a una velocidad más elevada. De forma similar, esta zona se ha transformado en un “punto caliente” de ocurrencia de eventos de alta intensidad de FAN”, afirma.

Así, “la reducción en la precipitación (~100 mm/década; Figura 1) y en los caudales de los ríos, sumado a la ocurrencia de sistemas anticiclónicos cada vez más permanentes en esta zona, está generando condiciones cada vez más propicias para el desarrollo de muchas especies tóxicas”, explica.

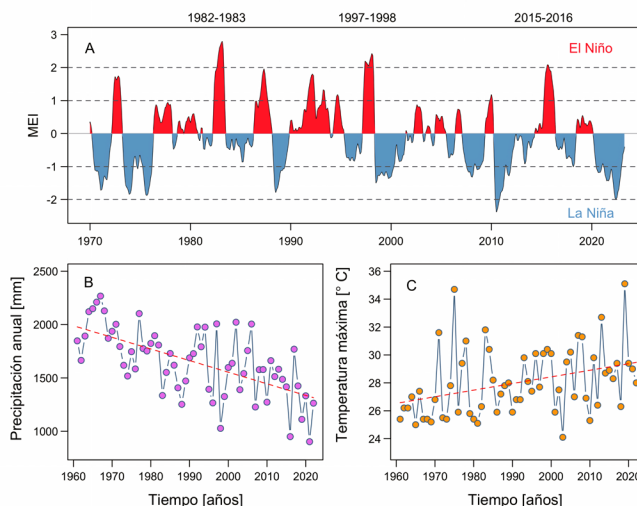


Fig. 1 Impactos del cambio climático en Puerto Montt
Créditos Dr. Patricio Díaz

Alves-de-Souza refuerza esta idea señalando que “existe abundante evidencia científica que vincula el cambio climático con el aumento de las FANs. Estudios basados en series históricas, programas de monitoreo de largo plazo y modelos predictivos muestran que variables como el aumento de la temperatura del mar, cambios en la estratificación de la columna de agua y alteraciones en los patrones de circulación oceánica pueden favorecer condiciones más propicias para estas floraciones, incrementando su frecuencia, duración e intensidad”.

Detonantes, especies “beneficiadas” y puntos críticos. Identificar detonantes claros sigue siendo un desafío. Díaz explica que “el cambio en las condiciones ambientales locales producto del cambio climático afecta a todas las especies fitoplanctónicas. Sin embargo, la respuesta individual es diferente. Así, muchas especies de microalgas se están viendo beneficiadas, mientras otras muestran una respuesta adversa”.

“Dentro de las especies “beneficiadas” por este cambio en las condiciones se encuentran algunas especies que han generado FAN muy intensas y con severos impactos en la acuicultura nacional y en la salud pública como son *Heterosigma akashiwo*, *Pseudochattonella verruculosa* o *Alexandrium catenella*. Estos cambios están asociados a incremento de algunas variables como salinidad, temperatura y en algunos casos nutrientes”, describe.

Para Alves-de-Souza, depende en gran medida de la especie involucrada. “En algunos casos, ciertos factores abióticos (como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes o la estabilidad de la columna de agua) pueden actuar como detonantes clave. En otros casos, la capacidad de una especie para mantenerse dentro de su nicho ecológico, competir eficazmente o interactuar con otras microalgas y microorganismos resulta determinante. No existe un único “punto de no retorno”, sino una combinación de condiciones específicas para cada tipo de FAN”, explica.

FAN y toxinas emergentes: lo que recién estamos descubriendo

Respecto al avance tecnológico, este ha abierto una nueva ventana: la detección de especies y toxinas antes invisibles. Díaz destaca que “la utilización de tecnología avanzada en la recolección y análisis de muestras está permitiendo la detección tanto de especies fitoplanctónicas como toxinas nuevas”.

“El cambio en la regulación internacional sobre el análisis de toxinas lipofílicas (antiguamente todas clasificadas como diarreas) desde el biensayo de ratón al método químico mediante HPCL MS ha permitido descubrir una gran diversidad de este grupo de toxinas en nuestras costas”, ejemplifica.

“Algunas de estas con efectos en la salud pública y otras con efectos ecosistémicos, como por ejemplo mortalidad de estadios tempranos y adultos de invertebrados. Una situación similar ocurre con la utilización de herramientas moleculares para la detección de microalgas, que por métodos tradicionales son muy difíciles de pesquisar”, añade.

Astuya complementa señalando que hoy se habla derechamente de FANs y toxinas emergentes, “donde se describe la presencia de microalgas antes no descritas en un lugar o de toxinas que no se habían detectado y, por tanto, no están reguladas en los programas de monitoreo. Pero también existe la evidencia que en algunos casos podrían ser cepas autóctonas no estudiadas capaces de producir toxinas para las cuales en muchos casos no son detectadas por falta de herramientas analíticas e instrumentales para detectarlas o no existen estándares comerciales para compararlas”, asevera.

Las grandes “cajas negras”

Pese a los avances, muchas preguntas siguen sin respuesta. Para Díaz, “algunos procesos e interacciones biológicas siguen siendo una “caja negra” para entender completamente este tipo de fenómenos. En muchas ocasiones las condiciones hidroclimáticas son óptimas para la proliferación de muchas especies formadoras de FAN, sin embargo, esto no siempre ocurre”.

“Existen procesos intrínsecos que determinan que una



Dra. Allisson Astuya Villalón, investigadora de COPAS COASTAL y Profesora Asociada del Departamento de Oceanografía de la UdeC
Créditos: COPAS COASTAL

especie prolifere adecuadamente o no. Este tipo de procesos, sumado a las interacciones físico-biológicas de muchas especies aún presenta importantes lagunas de conocimiento”, indica.



Cultivos celulares
Créditos: COPAS COASTAL

Astuya manifiesta que son múltiples procesos que aún constituyen verdaderas “cajas negras”. “Específicamente en el caso de las microalgas ictiotóxicas (que matan específicamente a los peces), todavía no tenemos una idea completa de todas las especies de microalgas y de los tipos de toxinas involucradas”, afirma.

En este escenario, “uno de los grandes desafíos sigue siendo entender qué gatilla la producción de toxinas y por qué esta puede variar tanto entre especies de microalgas como incluso entre cepas de una misma especie. También persisten interrogantes sobre por qué, en algunos casos, se requieren densidades celulares muy altas para generar efectos nocivos, mientras que en otros los impactos no están directamente relacionados con la abundancia de las microalgas causadoras. Además, persisten grandes vacíos en la comprensión de las interacciones biológicas, como la alelopatía entre microalgas, y en el desarrollo de bioensayos que permitan evaluar efectos subletales relevantes para

la salud de los peces”, profundiza.

¿Podemos anticiparnos?

La predicción es, quizás, el gran anhelo. Díaz es caute-
losamente optimista: “en Chile existen todas las capaci-
dades técnicas para generar pronósticos asertivos de la
ocurrencia y evolución de FAN. La utilización de modelos
hidrodinámicos de alta resolución del sistema de fiordos
patagónicos ha permitido dar un salto de calidad en este
aspecto”.

Sin embargo, advierte que “hay que ser muy conscientes
y realistas cuando nos referimos a modelos predictivos de
FAN. No existe un modelo “único” y válido para todas las
especies. No se trata únicamente de modelar partículas
inertes, muchas de las microalgas que generan FAN tienen
la capacidad de migrar verticalmente y requerimientos
fisiológicos diferentes, lo que complejiza su modelación”.
Sumado a esto, “la heterogeneidad espacial existente en nuestro
sistema de fiordos es tan grande, que un modelo adecuado para un
fiordo no necesariamente es válido para otro. En resumen, las
capacidades existen y las alianzas público-privadas avanzan en
pronósticos cada vez más precisos”, asegura.

Por su parte, Alves-de-Souza expresa que “aún estamos relativa-
mente lejos de lograr predicciones confiables con días o semanas
de anticipación. Esto se debe a que las FANs no dependen
únicamente del aumento de la abundancia de microalgas, sino
también de una compleja interacción entre factores abióticos
(como la temperatura, la salinidad y la luz) y factores bióticos,
como la competencia entre las especies de microalgas, la alelopa-
tía y otras interacciones ecológicas. En esta dimensión biológica,
el nivel de incertidumbre sigue siendo alto”.

Gestión y políticas: de reaccionar a anticipar

Finalmente, la ciencia apunta a la necesidad de políticas de
largo plazo. Díaz recuerda que luego del gran evento FAN de
2016, que provocó unos de los mayores impactos socio-econó-
micos a nivel mundial (mortalidad de 40.000 toneladas de
salmón, entre otras) una comisión compuesta por científicos
de diferentes universidades nacionales sugirió 12 recomenda-
ciones para abordar de mejor forma este tipo de fenómenos y
así reducir los impactos.

“Muchas de estas recomendaciones fueron tomadas en cuenta y
actualmente se encuentran implementadas, ya sea con financia-
miento público o bien privado. Por ejemplo, una de ellas es la
implementación de una red de monitoreo ambiental y climático en
el sur de Chile, que permita generar series de observaciones
sistemáticas y sostenidas en el tiempo”, recuerda.

Por ello, afirma que “es clave mantener el financiamiento para
este tipo de programas como política de estado, sobre todo en una
zona altamente sensible al cambio climático y no ser únicamente
reactivos cuando enfrentamos episodios severos de FAN”.

Astuya coincide y enfatiza que “desde el punto de vista de la
gestión, sería prioritario fortalecer y ampliar los programas de
monitoreo, aumentando tanto la cobertura espacial como la
frecuencia de muestreo. También es clave incorporar nuevas
herramientas analíticas, actualizar los marcos regulatorios para
incluir toxinas emergentes y promover una mayor integración entre
ciencia, gestión pública y sector productivo. Todo esto permitiría
una respuesta más temprana y efectiva frente a eventos de FANs”.

En conjunto, las voces científicas dibujan un panorama claro:
Chile sabe hoy mucho más sobre las FANs que hace 20 años,
pero enfrenta un fenómeno dinámico, amplificado por el
cambio climático, que exige ciencia sostenida, políticas
estables y una mirada cada vez más anticipatoria.


badinotti
Group | Since 1910

TU OBJETIVO

Integramos
soluciones de
contención para
llegar a **tu meta.**



65 2 223 800



Ruta El Tepual Km. 9.2, Puerto Montt, Chile



www.badinotti.com



Dr. Claude Li Jianping
Créditos Cedida



Alejandro Clément, gerente general de Plancton Andino
Créditos InfoSALMON

De la alerta temprana a la acción inmediata: *así se prepara la acuicultura frente a las FAN*

Jorge Elgueta Catalán
Periodista InfoSALMON

Frente a las crecientes amenazas de las Floraciones de Algas Nocivas (FAN), la acuicultura moderna ha comenzado a construir una nueva caja de herramientas tecnológica que combina detección, monitoreo, predicción y mitigación operativa. Desde sistemas de sensado en tiempo real y plataformas de análisis con inteligencia artificial, hasta barreras físicas, microburbujas y aireación estratégica, estas metodologías permiten a productores y científicos anticiparse a los eventos críticos, reducir impactos ambientales y proteger la salud de los peces. La innovación no solo proviene de laboratorios internacionales, sino también de proveedores locales, que están adaptando tecnologías de vanguardia a las condiciones específicas de los centros de cultivo en Chile y otros países acuícolas.

La acuicultura frente a los desafíos ambientales

La industria acuícola enfrenta fenómenos naturales cada vez más complejos, como las Floraciones de Algas Nocivas (FAN), que afectan tanto la salud de los ecosistemas marinos como la productividad de los centros de cultivo. Para hacer frente a estos desafíos, la combinación de ciencia, tecnología e innovación se perfila como la vía más eficaz para proteger los peces y garantizar la sostenibilidad de la producción.

Soluciones tecnológicas para monitoreo y mitigación
En los últimos años, diversas empresas han desarrolla-

do herramientas avanzadas para anticipar y mitigar los efectos de las FAN. Entre ellas destacan:

- Sistemas de aireación y surgencia, que facilitan el recambio de agua dentro de las jaulas, disminuyendo la concentración de microalgas nocivas y aumentando el oxígeno disponible.
- Microburbujas y barreras físicas, que funcionan como filtros activos para proteger las zonas críticas de cultivo.
- Plataformas de monitoreo con inteligencia artificial, capaces de analizar partículas y algas en tiempo real, generando alertas tempranas y permitiendo decisiones rápidas y precisas para la gestión de riesgos ambientales.



Plancton Andino es una empresa líder en calidad de agua y estudios ambientales



El POAS (Programa Oceanográfico y Ambiental en Salmónidos) es un servicio de monitoreo, estudio y seguimiento del fitoplancton y algas nocivas
Créditos: Placton Andino

Estas soluciones reflejan un enfoque integral donde la tecnología se combina con la ciencia para proteger la salud de los peces y la productividad de los centros de cultivo.

Aportes científicos internacionales

Uno de los avances más relevantes proviene de la investigación de Claude Li Jianping, científico de China, quien ha desarrollado sistemas avanzados de análisis de partículas en el agua en tiempo real, utilizando inteligencia artificial para mejorar la resolución de las imágenes y detectar floraciones algales de manera temprana.

Alejandro Clément, gerente general de Plancton Andino, destaca la importancia de este tipo de innovación: *“La capacidad de analizar y anticipar los eventos de manera automática permite a los productores tomar decisiones más rápidas y proteger mejor la salud de los peces. Los aportes de científicos como Claude Li Jianping son un ejemplo de cómo la investigación global puede integrarse en soluciones locales.”*

Uno de los avances más relevantes en la lucha contra las Floraciones de Algas Nocivas proviene del trabajo del científico Claude Li Jianping, de China, quien ha desarrollado sistemas de monitoreo capaces de analizar partículas y microalgas en tiempo real mediante inteligencia artificial y técnicas ópticas de alta resolución. Esta innovación permite identificar rápidamente especies nocivas, generar alertas tempranas y tomar decisiones operativas más precisas en centros de cultivo, transformando la investigación científica en herramientas prácticas que ayudan a la acuicultura a anticiparse a eventos críticos y proteger tanto la salud de los peces como la sostenibilidad de los ecosistemas.

Chile fortalece la acuicultura: tecnología y soluciones innovadoras contra las FAN

En Chile, la industria acuícola tampoco se ha quedado atrás y por el contrario, suma distintas alternativas para el combate de este fenómeno natural, con un portafolio creciente de tecnologías y proveedores enfocados en enfrentar las FAN. Entre las herramientas disponibles se encuentran sistemas de monitoreo en tiempo real, sensores ópticos y plataformas con inteligencia artificial, además de barreras físicas, microburbujas y soluciones de aireación que permiten mitigar los efectos de las floraciones algales. Estas metodolo-



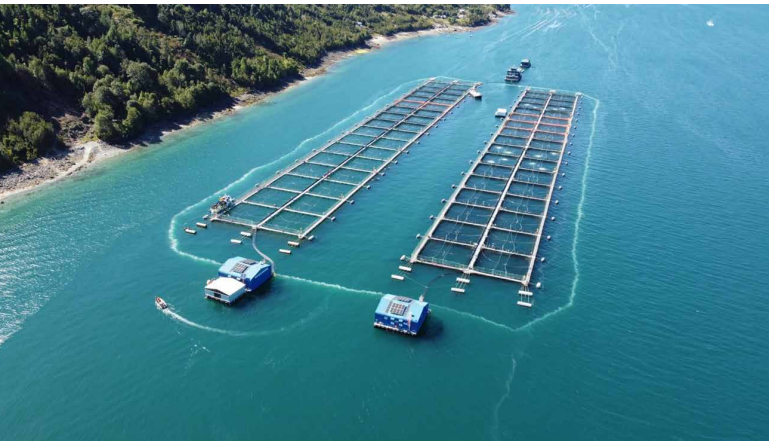
Matías Rodríguez,
gerente comercial
de PSP Chile
Créditos InfoSALMON

gías, desarrolladas tanto por empresas locales como por alianzas con innovación internacional, ofrecen a los centros de cultivo capacidades de detección temprana, predicción de eventos críticos y gestión operativa eficiente, consolidando a Chile como un país con recursos tecnológicos sólidos para proteger la acuicultura y los ecosistemas costeros.

El “triple escudo” de PSP Chile contra las Floraciones Algales Nocivas

La salmonicultura chilena enfrenta cada temporada el desafío de las Floraciones Algales Nocivas (FAN), fenómenos que pueden comprometer la continuidad operacional y provocar pérdidas millonarias en biomasa. En este escenario, PSP Chile ha desarrollado un enfoque integral de mitigación que combina tecnología, validación científica y capacidad de respuesta inmediata.

Matías Rodríguez, gerente comercial de la compañía, explica que la gestión del riesgo no se limita a la detección temprana: *“Si bien la detección y predicción son los ojos del sistema, nuestra especialidad en PSP Chile, mediante nuestras tecnologías PCM y soluciones de surgencia, representan el triple escudo y la capacidad de acción inmediata para proteger la biomasa. Los sistemas, desde que se prenden, tardan menos de un minuto en estar funcionando al 100%”*.



PSP Chile realiza distintas operaciones para la industria
Créditos: PSP Chile

Detección y respuesta en menos de un minuto

Las Pantallas Compactas de Microburbujas (PCM) y los sistemas de surgencia de PSP están diseñados para operar de manera integrada con sensores en tiempo real (oxígeno, turbidez, clorofila). La clave, según Rodríguez, es la velocidad de reacción: *“Nuestras soluciones permiten pasar de una operación pasiva a una mitigación activa en menos de un minuto tras una alerta, garantizando una barrera física inmediata contra el ingreso de microalgas a las jaulas”*.

Además, PSP promueve la protección activa manteniendo los sistemas operativos 24/7, lo que asegura una mejor calidad de vida para los peces y reduce la probabilidad de ingreso de elementos nocivos.

Ingeniería preventiva y anticipación

La compañía también apuesta por la anticipación estratégica. Antes de instalar un sistema PCM, modela la columna de agua considerando corrientes, batimetría y vientos. *“Más que predecir el bloom, nuestra capacidad de anticipación radica en la ingeniería preventiva. Entregamos una infraestructura probada en condiciones de campo, que elimina el tiempo de despliegue de emergencia, porque los sistemas ya están instalados y sólo deben encenderse”*, detalla Rodríguez.

Este enfoque permite que cada centro de cultivo cuente con una defensa adaptada a sus condiciones únicas, generando una triple barrera contra algas y medusas.

Validación científica y experiencia en terreno

La efectividad de las PCM se respalda en más de 350 proyectos ejecutados en la industria salmonera chilena y estudios de dinámica de fluidos. En terreno, las cortinas de microburbujas han demostrado bloquear el ingreso de material particulado y microalgas en porcentajes superiores al 80-90%, desviando las masas de agua contaminada alrededor de los centros de cultivo.

Continuidad operacional: el indicador clave

El impacto más relevante de estas soluciones es la continuidad operacional. Mientras otras estrategias se

enfocan en detener la alimentación o cosechar anticipadamente, PSP busca mantener las condiciones ambientales dentro de la jaula para evitar mortalidades masivas.

Los beneficios se traducen en:

- Reducción drástica de mortalidad.
- Costos evitados asociados a la logística de mortalidad masiva y pérdida de biomasa.
- Estabilidad ambiental dentro de la jaula, protegiendo el activo biológico hasta que el evento FAN se disipe.

Un escudo para la industria

La propuesta de PSP Chile se presenta como un triple escudo que combina detección, anticipación y mitigación activa. En palabras de Rodríguez, el objetivo es claro: *“Mantener la continuidad operacional y proteger la biomasa, incluso en los escenarios más complejos”*.

Con esta estrategia, la compañía busca consolidar un estándar de protección que permita a la salmonicultura chilena enfrentar con mayor resiliencia uno de sus riesgos más críticos.



Tecnología antifouling con proposito, eficiencia, sostenibilidad y cuidado del mar
Foto: VESO

VESO Chile: La ingeniería que desafía las amenazas del mar

De igual forma, VESO Chile ha consolidado su presencia aportando soluciones que, aunque no están dirigidas directamente a la mitigación de las FAN, forman parte del esfuerzo tecnológico integral para fortalecer la salud y la eficiencia operativa de los centros de cultivo. La compañía, que se estableció como representante local de productos de la noruega *Brynsløkken AS*, se ha destacado por ofrecer soluciones antifouling como Notorius, que ayudan a mantener la integridad y rendimiento de redes y estructuras sumergidas, permitiendo condiciones más favorables para el bienestar de los peces y la sostenibilidad del sistema productivo.

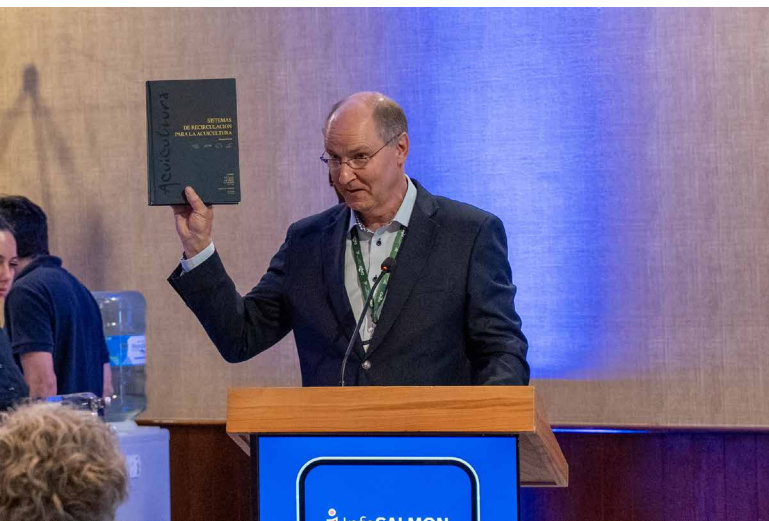
Gonzalo Venegas, gerente general de VESO Chile, ha señalado que el soporte técnico permanente y la adaptación de sus tecnologías a las condiciones locales han



Gonzalo Venegas, gerente general de VESO Chile
Créditos infoSALMON

sido pilares para construir relaciones de largo plazo con los centros de cultivo, aportando al manejo operativo diario y a la productividad de la industria.

Si bien las soluciones de VESO se inscriben en un portafolio más amplio de tecnologías que incluye sensores, monitoreo con inteligencia artificial, sistemas de aireación y barreras físicas —herramientas directamente enfocadas en el combate de las FAN— su enfoque en mejorar las condiciones operativas y de salud de los sistemas de cultivo constituye un aporte importante para que las empresas acuícolas enfrenten, de manera más robusta, los eventos ambientales adversos que afectan al sector.



Martin Hevia, gerente de Innovación y Desarrollo de Imenco
Créditos infoSALMON

Imenco impulsa soluciones tecnológicas para mejorar la resiliencia acuícola frente a eventos ambientales

En la industria acuícola chilena, *Imenco Aqua Chile* ha consolidado su apuesta por la innovación tecnológica con desarrollos que, si bien no se centran exclusivamente en combatir las Floraciones Algaes Nocivas (FAN), aportan soluciones clave para fortalecer la salud de los peces y la eficiencia operativa de los centros de cultivo. La compañía ha participado activamente en espacios de difusión técnica, destacando su enfoque en oxigenación acuícola y bienestar animal, pilares esen-

ciales para enfrentar condiciones adversas asociadas a episodios ambientales.



El difusor de oxígeno VitaDi™ es muy adecuado para mantener condiciones óptimas de oxígeno para los peces
Créditos: Imenco

Martin Hevia, gerente de Innovación y Desarrollo de Imenco, ha subrayado la importancia de basar el desarrollo de soluciones tecnológicas en datos experimentales sólidos y rigurosos. En una de las charlas técnicas de InfoSALMON, Hevia explicó que en los últimos años la empresa ha realizado centenares de ensayos de oxigenación, lo que ha permitido mejorar significativamente la eficiencia de sus difusores microperforados tanto en agua dulce como salada, contribuyendo al bienestar de los peces y a la estabilidad de las jaulas durante episodios que pueden acompañar a las FAN.

Además, Imenco ha promovido la ciencia colaborativa como herramienta para avanzar en soluciones más integrales. En seminarios internacionales organizados por la compañía, expertos y empresas del sector se han reunido para intercambiar conocimientos sobre tecnologías de surgencia para la mitigación de FAN, donde se ha destacado el potencial de sistemas que movilizan masas de agua desde las profundidades hasta la superficie, diluyendo las concentraciones de microalgas nocivas y mejorando las condiciones ambientales dentro de las jaulas de cultivo.

El trabajo de Imenco refleja una tendencia más amplia dentro del sector: integrar soluciones tecnológicas avanzadas, colaboración científica y adaptaciones operativas para enfrentar los desafíos ambientales crecientes, como las floraciones algales nocivas, que afectan tanto la producción como el bienestar de los peces y la sustentabilidad de los ecosistemas marinos en los que se desarrolla la acuicultura chilena.

Garware Technical Fibres y el Skirt X12: protección preventiva frente a las FAN

Otra experiencia es la que dispone la compañía de origen indio con presencia en Chile, Garware Technical Fibres, la que ha desarrollado el Skirt X12 Anti Bloom, una solución basada en una barrera física de alta precisión, diseñada para mitigar el ingreso de microalgas nocivas a las jaulas de cultivo. Con experiencia comprobada en mercados internacionales como Canadá y Noruega, este sistema se posiciona como una herramienta preventiva eficaz, que contribuye a reducir riesgos sanitarios, evitar mortalidades y disminuir

costos operacionales durante eventos críticos, alineándose además con los objetivos de sostenibilidad de la salmonicultura moderna.

Barrera física contra las FAN

Los Skirt X12 anti bloom de Garware Technical Fibres son faldones que protegen a los centros de cultivos acuícolas de las floraciones algales nocivas, que mecánicamente bloquea su paso debido a su pequeñísima porosidad, posee eficacia comprobada de bloqueo al 100% de Heterosigma Akashiwo y de Alexandrium Catenella, y de todas las microalgas mayores a una micra.

El Skirt es un método de control preventivo y se instala cuando la probabilidad de floración de algas es alta. Si bien puede ser usado permanente, recomendamos desplegarlo en casos de emergencia, ya que su uso implica complementar con adición de O₂ en el interior de las jaulas. Asimismo, es fundamental que el sistema de fondeo disponga de la holgura suficiente para soportar la mayor exigencia provocada por el efecto de vela, se recomienda modelar el centro. Es capaz de bloquear las células de algas nocivas, protegiendo a los peces; posee una buena resistencia al desgaste. Es fácil de instalar y de limpiar y además es amistoso con el medio ambiente.

Así, el Skirt X12 de Garware Technical Fibres es una barrera física, que mejora la seguridad de los peces en los centros de cultivos.

Desempeño bajo presión de FAN

En cuanto, a los indicadores que se utilizan para medir el desempeño técnico del Skirt en escenarios con alta presión de FAN, desde Garware, indican que la mera presencia de una microalga nociva en un centro de cultivo no provoca mortalidad. Lo relevante es la cantidad de células por mililitro presente, ya que la letalidad es función de la concentración y es específica de cada especie de microalga.

“El Skirt X12 AB bloquea todo lo que se encuentra en su trayectoria, ayudando a disminuir la concentración de células por mililitro que puede ingresar a la jaula. Adicionalmente, a diferencia de otros métodos preventivos que al ser dinámicos, pueden romper las células de las microalgas por ejemplo Pseudochattonella, tras lo cual ellas liberan sus toxinas; en el caso del faldón X12 AB de Garware,

al ser una tela estática no genera un estrés particular sobre la microalga. El performance del Skirt X12 se evalúa en función de la mortalidad que previene; y adicionalmente, también los baños anti caligus que pueden evitarse”, comenta Francisco Serra, gerente comercial de Garware Technical Fibres Chile.



Francisco Serra, gerente comercial de Garware Technical Fibres Chile
Créditos: InfoSALMON

Skirt X12 Garware AC en terreno Chile
Foto: Garware

Resultados validados a nivel internacional

“Sobre pruebas en terreno o benchmarks internacionales que demuestren el comportamiento de los SKIRT durante eventos FAN, se puede mencionar que Garware Technical Fibres cuenta con skirt en terreno, en mercados con recurrencia de blooms algales, como Noruega y Canadá, donde los skirts han sido utilizados como barrera preventiva. Hay una relación directamente proporcional entre mayor profundidad de instalación y mayor eficiencia de exclusión algal. Así, los Skirt X12 AB de Garware han mostrado un buen desempeño en continuidad operativa durante eventos FAN en Canadá.

Donde contamos con resultados exitosos desarrollados en estrecha colaboración con la salmonicultura canadiense. Se utilizan como medida preventiva de mitigación, ya sea por períodos específicos o durante todo el ciclo, en empresas como Mowi West y Grieg Seafood”, comenta Gopakumar Menon, vicepresidente de ventas internacionales para América de Garware Technical Fibres Limited.

Impacto productivo y económico frente a las FAN

Desde la perspectiva del productor, el uso del Skirt X12 AB de Garware Technical Fibres se traduce en impactos concretos tanto operativos como económicos durante episodios de Floraciones Algales Nocivas. Desde el punto de vista productivo y económico, los principales impactos incluyen: reducción en los baños contra caligus. Continuidad productiva, evitando detenciones o cosechas anticipadas durante episodios FAN. Y disminución de riesgos sanitarios, al reducir el estrés ambiental y la exposición a condiciones adversas. Costos evitados, asociados a mortalidades, logística extraordinaria, horas hombre.

En conjunto, estos beneficios posicionan al Skirt X12 AB de Garware Technical Fibres como una herramienta preventiva clave, dentro de la estrategia de gestión de riesgos ambientales en la salmónica cultura “La sostenibilidad ocupa un lugar crucial en la estrategia de Garware. Por esta razón se ha desarrollado una nueva generación de skirt o faldones 100 % reciclable, y creemos que esa tendencia seguirá expandiéndose”, destaca Francisco Serra.

I~FAN: LA APP QUE ALERTA A LA ACUICULTURA CHILENA SOBRE LAS ALGAS PELIGROSAS

La aplicación móvil i~FAN, desarrollada por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), funciona como una herramienta de monitoreo y alerta temprana para las Floraciones Algales Nocivas (FAN) en las regiones costeras del Biobío a Magallanes. La plataforma permite a acuicultores, investigadores y autoridades acceder en tiempo real a información sobre la presencia y concentración de microalgas nocivas en zonas específicas de cultivo y áreas de interés.

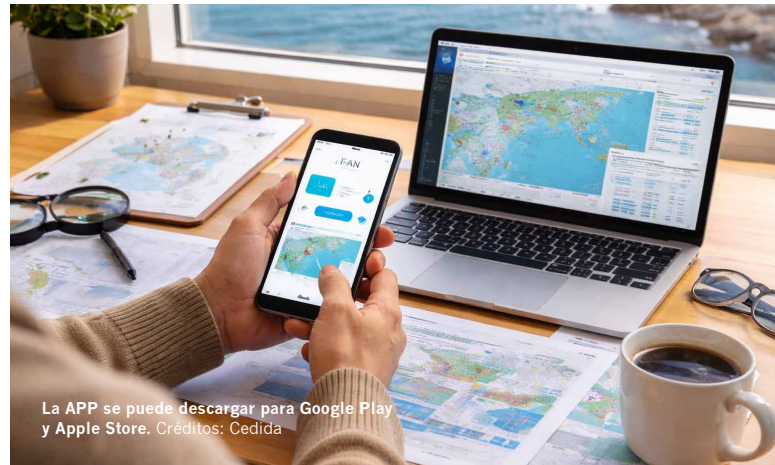
El sistema recopila datos de muestreos periódicos en el mar, combinándolos con información hidrográfica y ambiental, para generar mapas interactivos y reportes de alerta. Los usuarios pueden consultar:

- Localización exacta de floraciones activas.
- Tipos de microalgas presentes y sus niveles de concentración.
- Historial de observaciones en cada sitio de monitoreo.

Además, i~FAN emite notificaciones automáticas cuando se detectan condiciones que podrían derivar en episodios críticos de FAN, permitiendo a los productores anticipar decisiones operativas, ajustar la alimenta-

ción de los peces o activar protocolos de protección, como surgencia de agua y sistemas de oxigenación.

En resumen, la aplicación acorta el tiempo de reacción frente a la FAN, centraliza información científica y facilita una gestión más eficiente y preventiva de la acuicultura frente a este fenómeno natural.



La APP se puede descargar para Google Play y Apple Store. Créditos: Cedida



la aplicación acorta el tiempo de reacción frente a la FAN, centraliza información científica y facilita una gestión más eficiente y preventiva. Créditos: IFOP

INCLUSIVE

GROUP

Tecnología que Protege el Presente y Transforma el Futuro

Soluciones de seguridad inteligente, automatización industrial e infraestructura solar con IA y monitoreo 24/7 en cualquier parte del mundo.

Transforma tu Empresa. Contáctanos Hoy



Soluciones para Salmonicultura



- Detección térmica de intrusos
- Monitoreo submarino en tiempo real
- Control de EPP y biomasa
- Vigilancia remota 24/7
- Conteo de Peces

COVEPA refuerza su liderazgo en soluciones de desinfección de alta gama para la industria acuícola

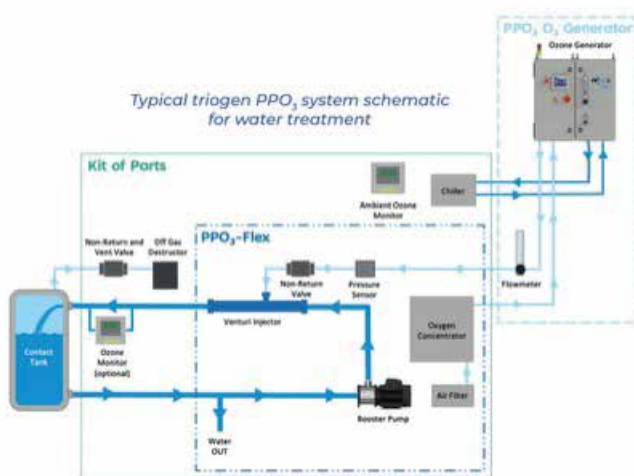
Covepa, referente en el mercado acuícola nacional y representante de marcas internacionales de alto estándar, reafirma su alianza estratégica con BIO-UV Group, líder mundial en tecnologías de desinfección. Gracias a esta colaboración, la compañía ofrece al mercado chileno un portafolio integral de soluciones basadas en radiación ultravioleta (UV) y ozono, diseñadas para responder a las más altas exigencias sanitarias, operacionales y ambientales de la industria acuícola, tanto en sistemas en tierra como en operaciones marítimas.

Soluciones integrales en ozono y UV para la acuicultura

En el ámbito de la desinfección mediante ozono, Covepa destaca la consolidación de su oferta a través de los equipos de la gama PPO3, de los cuales ya se han entregado cinco unidades en Chile. La propuesta de la compañía va más allá de la venta de generadores de ozono, al integrar una solución completa que incluye sistemas de inyección Venturi, bombas de agua, monitoreo en línea mediante sensores ORP y sistemas de enfriamiento (chiller), todos articulados en un mismo esquema operativo. Estas soluciones cuentan con experiencias concretas de implementación en el país y se encuentran representadas gráficamente en el siguiente esquema, donde el generador de ozono es presentado como un componente más dentro de un sistema integral orientado a asegurar eficiencia, control y confiabilidad en los procesos de desinfección.



Reactor de UV Integra
Créditos: COVEPA



Oferta integral de los sistemas de ozono
Créditos: COVEPA

En paralelo, Covepa ha fortalecido su oferta en tecnologías de desinfección por radiación ultravioleta, disponiendo de una amplia gama de reactores UV capaces de cubrir la totalidad de los requerimientos de la acuicultura en tierra, especialmente en pisciculturas. Asimismo, la compañía ha consolidado su presencia en el segmento de transporte marítimo de peces, mediante la implementación de sistemas UV en wellboats, donde destacan las gamas de equipos Integra y SMP, reconocidas por su robustez, eficiencia y adaptabilidad a distintos entornos operativos.

Control de algas y mejora de la calidad del agua

Dentro de las aplicaciones específicas del ozono, Covepa subraya su aporte al control del crecimiento de algas en sistemas acuícolas. La proliferación de algas puede interrumpir operaciones, deteriorar la calidad del agua y poner en riesgo la salud de los peces. El tratamiento con ozono permite prevenir y remover algas al destruir el material orgánico que favorece su desarrollo, mejorando la calidad del agua y reduciendo la necesidad de controles mecánicos o químicos, lo que se traduce en ambientes más saludables y sostenibles.

Gregorio Jofré, ingeniero de desarrollo de Covepa y uno de los impulsores del área de desinfección en la empresa, explica que una de las aplicaciones más demandadas por los clientes es el tratamiento de agua de cola en pisciculturas. *“El interés está en mejorar la calidad del agua en términos de color y olor, pero también en reducir fósforo y nitrógeno, elementos directamente relacionados con la proliferación de algas. Si bien un tratamiento integral de estos compuestos requiere etapas adicionales, los estudios de laboratorio realizados por nuestros clientes, comparando muestras antes y después de la inyección de ozono, muestran reducciones significativas y cuantificables”*, señala.

Soporte técnico, alianzas estratégicas y experiencia de clientes

El alcance de Covepa en soluciones de desinfección se ha ampliado progresivamente hacia el segmento de wellboats, donde la empresa actúa como soporte local para equipos de UV y ozono instalados originalmente durante la fase de construcción y equipamiento de embarcaciones en países como Noruega y Turquía. En este rol, Covepa provee insumos originales y soporte técnico especializado cuando es requerido. La eficiencia de estos equipos en Europa está respaldada por Redox, integrador noruego de alto prestigio, responsable de la instalación de sistemas en numerosas embarcaciones que hoy operan en Chile.

Con el objetivo de fortalecer su servicio postventa, Covepa suscribió en febrero de 2025 un acuerdo estratégico con Redox, permitiendo que el soporte técnico de primera línea llegue directamente a los clientes locales. *“La experiencia de campo de Redox es muy significativa. Su apoyo complementa nuestro respaldo de fábrica y nos entrega soluciones prácticas que optimizan nuestros tiempos de respuesta. Este flujo de conocimiento con*



Don Georg Wammes, gerente general de Covepa y Helge Bullgård, fundador de Redox durante firma de acuerdo de representación en febrero del 2025.
Créditos: COVEPA



PPO3 instalado por Covepa en instalaciones de Cargill
Créditos: COVEPA

Noruega potencia la capacidad de nuestro servicio técnico y nos permite enfrentar problemas complejos con soluciones ya probadas”, destaca Jofré.

Otro pilar fundamental de la propuesta de valor de Covepa es su estrecha relación con los especialistas de fábrica de BIO-UV Group, quienes participan activamente en las puestas en marcha de los proyectos. Esta sinergia ha permitido que BIO-UV Group valide oficialmente el trabajo de Covepa en Chile, habilitándola para ofrecer la modalidad *“Warranty for Life”*, un esquema de mantenimiento y seguimiento técnico periódico que otorga garantía indefinida a los clientes, siempre que se cumplan las visitas recomendadas y se utilicen insumos originales.

La confianza del mercado se refleja en experiencias concretas de clientes como Cargill, que ha instalado dos generadores de ozono PPO3 en su Centro de Innovación (CIC) ubicado en Colaco. Según comenta Ethel Hakansson, gerente del centro, estos equipos han sido clave en su plan de renovación y optimización de instalaciones, destacando su alto desempeño, eficiencia energética, calidad constructiva y el sólido acompañamiento técnico entregado por Covepa. *“El desempeño ha sido óptimo y nos ha permitido asegurar una barrera sanitaria robusta. Además, valoramos enormemente su capacidad de respuesta ante contingencias, con un equipo técnico que actúa con rapidez y eficacia”*, señala.

Con esta propuesta integral, Covepa consolida su posicionamiento como un socio estratégico para la industria acuícola chilena, combinando tecnología de clase mundial, soporte técnico especializado y una visión de largo plazo orientada a la eficiencia operativa, la bioseguridad y la sostenibilidad.

Ecós de una década: de la tormenta de 2016 a la revolución tecnológica de las productoras

Felipe Soto Chace
Periodista InfoSALMON

Diez años después de la crisis de 2016, cuando la floración de algas nocivas golpeó con fuerza a la industria del salmón, esta emergió más fuerte. En una batalla donde la marea roja ya no es un enemigo invencible, las productoras la enfrentan a la vanguardia con precisión, innovación y colaboración. El desafío del cambio climático y otras adversidades se convirtieron en un impulso imparable de acción.

Pasaron diez años desde ese otoño que marcó un antes y un después. Era un día de aparente calma en los fiordos de la Patagonia cuando la marea roja se desató, tan impredecible como devastadora. Las aguas frías del mar del sur de Chile se convirtieron repentinamente en un escenario de crisis para la industria del salmón. La floración de algas nocivas (FAN), ese shock invisible de microalgas tóxicas, arrasó con lo que hasta ese momento parecía una estructura productiva blindada.

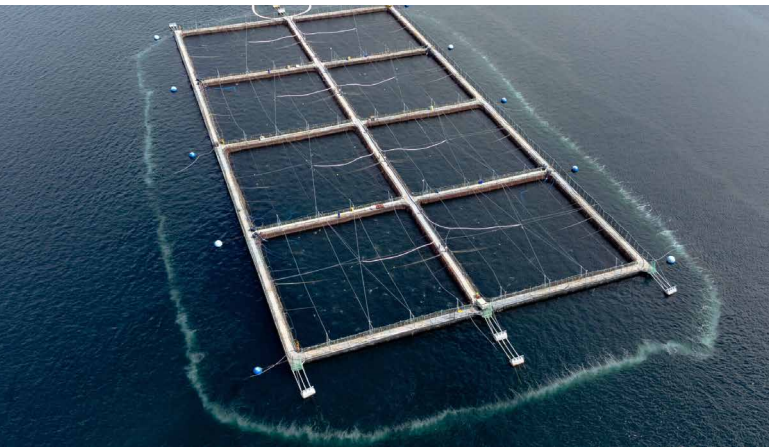
En los días posteriores al estallido, el sector estaba en el suelo, golpeado por la pérdida masiva de stocks y la desaparición de más de 39.000 toneladas de biomasa, según documentos como el Informe Final de la Comisión Marea Roja que publicaron universidades en conjunto en noviembre de 2016. Los protagonistas de ese episodio recuerdan, además de la muerte de los peces, cómo la confianza de los mercados internacionales caía a la misma velocidad con la que subían los números rojos.

La crisis de 2016 fue un evento sin precedentes que dejó cicatrices profundas. Las pérdidas económicas fueron millonarias y las imágenes de jaulas flotando sin vida recorrieron el mundo. Los ecos de la tragedia, además de poner en duda la viabilidad del negocio a largo plazo, también evidenciaron la vulnerabilidad de la salmonicultura chilena frente a fenómenos naturales. Las pérdidas fueron catastróficas, pero el renacer, como siempre, empezó desde la oscuridad. La crisis que parecía desbordar a la industria, lejos de hundirla, hizo que comenzara a gestarse una nueva resiliencia.

No hubo tiempo para lamentarse; lo único que quedaba era adaptarse, aprender y avanzar. Así, se cimentó la convicción de que la ciencia, la tecnología y las prácticas sostenibles debían ser los ejes inquebrantables para el futuro de la industria salmonera. 2016 marcó la tormenta perfecta que transformó la industria para siempre.

Comprender al enemigo invisible

Estos *blooms* son fenómenos naturales, aunque su frecuencia y magnitud se han visto exacerbadas por el cambio climático y la disponibilidad de nutrientes. En este proceso, son determinantes factores como el aumento de la temperatura superficial del mar, la estratificación de la columna de agua debido a la baja intensidad de vientos y la alta radiación solar, así como la eutrofización (enriquecimiento de nutrientes como nitrógeno y fósforo), condiciones que inciden en el crecimiento exponencial de microalgas.



Barreras de microburbujas en acción para blindar los centros de cultivo ante la amenaza de algas nocivas. Créditos: PSP Chile

Con cada evento de floración, las lecciones se volvieron más fuertes: la industria no podía depender del azar. Esto impulsó a las principales productoras nacionales a iniciar una revisión exhaustiva de sus protocolos de bioseguridad y contingencia. El sector debió redefinir sus estrategias y posicionar a la innovación tecnológica como el pilar fundamental para la sostenibilidad operativa.

Durante la última década, las compañías intensificaron su inversión en I+D. Así, tecnologías de vanguardia comenzaron a adaptarse a la compleja geografía de los fiordos australes. Los sistemas de mitigación por surgencia (como las cortinas de burbujas) y de aireación de soporte, integrados con modelos predictivos basados en inteligencia artificial y monitoreo satelital, se consolidaron como herramientas esenciales para la gestión preventiva de las FAN.

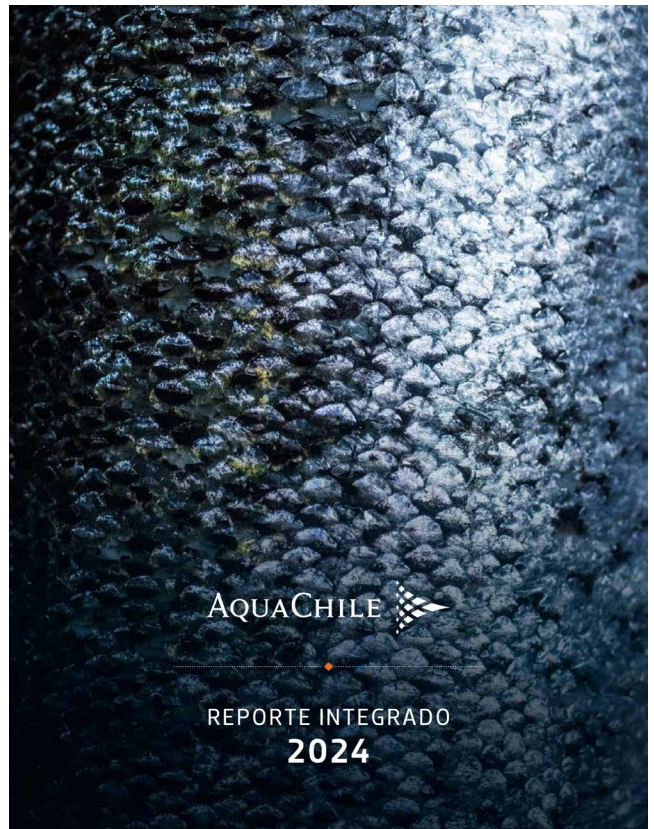
Barreras de burbujas y datos

Los sistemas de surgencia se extendieron rápidamente como parte del estándar operativo. Estos sistemas, basados en cortinas de burbujas, se diseñaron para desplazar o bloquear las algas nocivas antes de que ingresen a las jaulas de cultivo, protegiendo así a los salmones.

El sistema inyecta microburbujas de aire en las aguas cercanas a los centros de engorda. Estas burbujas se liberan mediante mangueras subacuáticas ubicadas estratégicamente alrededor del perímetro del cultivo. A medida que las microburbujas ascienden, crean una corriente vertical que eleva las aguas más profundas (generalmente con menor concentración de algas) hacia la superficie. Esto desplaza las masas de agua superficiales que contienen las FAN.

Asimismo, se utiliza tecnología satelital para monitorear las condiciones oceanográficas en tiempo real, como la temperatura superficial del mar, la concentración de clorofila y otros factores que favorecen la proliferación de microalgas. Las herramientas satelitales pueden, por ejemplo, identificar zonas de riesgo donde las algas nocivas se acumulan, predecir su movimiento y anticiparse a los brotes.

Lo anterior va de la mano con la implementación de inteligencia artificial (IA) para procesar grandes volúmenes de datos sobre las condiciones ambientales que se obtienen tanto de los satélites como de los sensores en el mar. La IA permite identificar patrones y correlaciones entre variables como temperatura del agua, corrientes marinas, niveles de nutrientes y movimiento de algas. Los modelos predicen cuándo y dónde pueden ocurrir blooms nocivos, lo que les entrega a las productoras la capacidad de prevenir o mitigar los efectos, permitiendo adelantar cosechas, trasladar peces o activar los sistemas de surgencia para dispersar las algas.



Reporte Integrado 2024 AquaChile

AquaChile: navegando la marea roja con tecnología y precisión

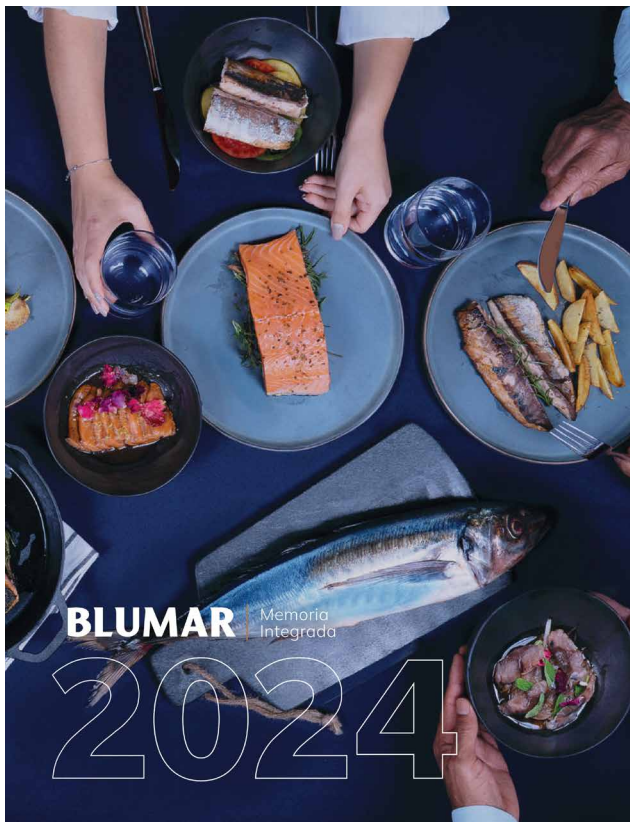
En su esfuerzo por enfrentar la marea roja, *AquaChile* impulsó la implementación de sistemas de monitoreo avanzado y tecnologías de detección temprana. Se adoptó una estrategia activa mediante el uso de sensores en sus centros de cultivo, lo que le permite identificar cualquier anomalía en la columna de agua antes de que se convierta en una amenaza.

Según su Reporte de Sostenibilidad más reciente, la compañía implementó estaciones de monitoreo de

fitoplancton (microalgas, entre las cuales algunas pueden ser nocivas y causar FAN) en sus centros de agua marina para la detección temprana de floraciones. Esto les permitió alcanzar un 100% de cumplimiento en su meta de detección temprana.

Estas estaciones, además de permitir tomar decisiones críticas sobre el movimiento de los peces o la cosecha anticipada, también consolidan la capacidad de la empresa para reaccionar rápidamente frente a riesgos biológicos. A esto se suman los programas de monitoreo fitoplanctónico, lo que resulta esencial.

Estos sistemas, además de identificar la distribución de especies nocivas, también permiten un seguimiento en tiempo real, lo que facilita una respuesta rápida y coordinada para intervenir de manera eficiente frente a los brotes de FAN.



Memoria Integrada 2024 Blumar

Blumar: La prueba de fuego y resiliencia operativa en Aysén

Aunque ya habían implementado la tecnología para enfrentar las FAN, no fue hasta inicios de 2024 cuando Blumar tuvo que poner a prueba la efectividad real de sus nuevos protocolos ante una amenaza concreta. En enero de ese año, una nueva floración de *Pseudochattonella*, una de las especies más peligrosas para los salmones, volvió a desafiar la capacidad operativa de la industria. Esta vez la historia fue diferente: Blumar sí estaba blindada.

Así figura en la Memoria Integrada 2024 de la compañía, donde se señala que en Aysén, específicamente el centro de engorda Ninualac 2, con una importante biomasa en crecimiento, fue el principal afectado. El evento, que años atrás habría sido una catástrofe sin

capacidad de maniobra, se convirtió en una demostración de eficiencia logística.

La respuesta fue rápida y coordinada. La productora desplegó barcos pesqueros adaptados, barcasas de apoyo y dos *wellboats* para cosechar los peces vivos y retirar la mortalidad. Se utilizaron robots submarinos (ROV) y equipos de succión especializados para extraer la biomasa afectada de manera eficiente. Solo seis días después de que se detectara el bloom, *Blumar* había logrado retirar el 100% de la biomasa afectada, con lo que cumplió cabalmente con la normativa ambiental vigente y los plazos de Sernapesca.

Si bien hubo un costo financiero, con un impacto directo cercano a los USD 8,5 millones, la compañía demostró que aprendió a adaptarse. Gerardo Balbontín, gerente general de la firma, destacó que, a pesar de los efectos negativos, la firma logró mantener su solidez; destacó, asimismo, la agilidad del equipo frente a la crisis.



Reporte Integrado 2023 Mowi

La Revolución Azul de Mowi: adaptarse a las adversidades con tecnología avanzada

Tal como otras compañías, *Mowi* adoptó una postura proactiva frente a las FAN mediante la implementación de tecnologías predictivas y monitoreo satelital. Como parte de su estrategia global y el concepto de "Revolución Azul", la firma utiliza inteligencia artificial para medir variables clave del mar, lo que les permite reducir riesgos y mejorar su capacidad de anticipación ante estos eventos.

Según su Reporte Integrado Anual 2023, *Mowi* logró identificar zonas de riesgo y predecir el movimiento de las algas nocivas. Esto les permite tomar decisiones preventivas, como reubicar los peces o activar sistemas de aireación y surgencia para dispersar las algas. Además, la compañía implementó estaciones de monitoreo fitoplanctónico, lo que les ha permitido cumplir con un 100% de su meta de detección temprana y mejorar su capacidad de respuesta ante los brotes de FAN.

El documento también señala que *Mowi* invierte en sistemas para monitorear la salud de sus peces, garantizando su bienestar y minimizando el impacto de las FAN. Este enfoque integrado, además de abordar los desafíos biológicos inmediatos, también busca reducir la huella ambiental de la salmonicultura. Si bien la firma reconoce el cambio climático como un riesgo, también lo considera una oportunidad para mejorar sus prácticas de sostenibilidad.

Cooperación en un Esfuerzo Intergremial

Algo que quedó claro en esta última década es que la cooperación sectorial es la base esencial para la evolución y resiliencia de nuestra industria salmonera. Tanto el Consejo del Salmón como *SalmonChile*, a través de su instituto tecnológico *Intesal*, han impulsado la creación de plataformas donde los datos sobre fitoplancton se comparten y se eliminan los antiguos "silos" de información, esos sistemas aislados donde cada empresa manejaba sus datos de forma independiente. Este esquema colaborativo ha permitido actuar de manera más rápida y coordinada frente a cualquier alerta, lo que dio paso a un blindaje sectorial unido.

La colaboración con autoridades como *Sernapesca* también ha sido clave. De hecho, durante la contingencia que enfrentó

Blumar en 2024, el organismo fiscalizador trabajó codo a codo con la empresa para asegurar el retiro correcto de la mortalidad y evitar que el incidente escalara a una crisis ambiental. Como han destacado los gremios en varias oportunidades, y como lo expresó *Joanna Davidovich*, quien fuera directora ejecutiva del Consejo del Salmón entre 2020 y 2022: "La industria avanza hoy en varios ejes, en coordinación con las autoridades, para poder enfrentar de mejor forma las floraciones de microalgas y evitar que generen mortalidades masivas e impacto en el medio ambiente."

La batalla ganada: la marea roja ya no es un enemigo invencible

Para la salmonicultura chilena, la adversidad extrema se puede convertir en una oportunidad de mejora continua. La crisis de 2016 marcó un punto de inflexión que, aunque doloroso, fue probablemente necesario. Despertó una voluntad de superación que hoy caracteriza a nuestra industria en varios frentes. De la mano de la innovación tecnológica, la cooperación gremial y la resiliencia operativa, diez años después, la industria del salmón está mucho mejor preparada frente a emergencias como las floraciones de algas nocivas y otras eventuales "tormentas perfectas".

Mientras nuestra salmonicultura sigue enfrentando las adversidades del cambio climático, fortalece su posición de vanguardia, donde la marea roja ya no es un enemigo invencible, como lo fue en 2016, sino una batalla ganable.

LÍNEA AQUA

Comprometidos con la producción acuícola sustentable

DUPLALIM® AQUA

TONALIM® AQUA

VIRUCLIN® AQUA

www.veterquimica.cl

Síguenos   

 VETERQUIMICA®



CIIA Aysén
Foto: SERNAPESCA

Antes de la marea: cómo el Estado articula datos, coordinación y comunicación frente al riesgo FAN

Sebastián Cárdenas Benavente
Director de Contenidos InfoSALMON

Monitoreo ambiental en tiempo real, comités interinstitucionales y protocolos de información compartida marcan el nuevo enfoque preventivo frente a las floraciones algales nocivas. Autoridades técnicas, económicas y políticas explican cómo se busca anticipar impactos ambientales, productivos y sociales antes de que la crisis se instale.

Las **floraciones algales nocivas (FAN)** se han consolidado como uno de los principales factores de riesgo ambiental y productivo para la acuicultura y la pesca en el sur de Chile. Su recurrencia —asociada a condiciones oceanográficas, climáticas y de carga productiva— obligó al Estado a **revisar profundamente su forma de enfrentar estos eventos**, transitando desde respuestas fragmentadas hacia un **modelo preventivo basado en anticipación, coordinación y comunicación temprana**. Durante el verano 2026, este enfoque se ha reforzado en regiones como **Región de Los Lagos, Región de Aysén y Región de Magallanes**, donde distintos servicios públicos han activado protocolos, plataformas de información y mesas interinstitucionales frente a escenarios de riesgo FAN.

Del monitoreo a la anticipación: datos que permiten actuar antes

Uno de los pilares de este nuevo enfoque ha sido la sistematización de la información ambiental. En el caso de la salmonicultura, los centros de cultivo están

obligados a reportar diariamente la concentración de fitoplancton cuando se supera el umbral de prealerta acuícola, junto con variables ambientales, oceanográficas y el comportamiento de los peces.

Según explica **Cristián Hudson, director regional de Sernapesca en Los Lagos**, este sistema permitió dejar atrás la observación aislada y avanzar hacia un seguimiento continuo del riesgo:

“Hoy contamos con la plataforma Yo Informo, donde los titulares de los centros de cultivo entregan información diaria de los monitoreos de fitoplancton cuando se supera el límite de prealerta, además de variables ambientales y del comportamiento de los peces. Esta información nos permite detectar tendencias y anticipar riesgos antes de que se transformen en una crisis”. Este monitoreo se complementa con los muestreos permanentes en áreas del **Programa Sanitario de Moluscos Bivalvos (PSMB)** y con información oceanográfica y meteorológica proveniente de la Armada y del **Instituto de Fomento Pesquero**.



CIICA Los Lagos
Foto: SERNAPESCA

La conducción del sistema: coordinación antes que reacción

Sin embargo, la experiencia dejó claro que **los datos por sí solos no bastan**. La crisis de FAN de 2016 evidenció que la ausencia de una conducción integrada podía amplificar los impactos ambientales, sociales y productivos.

Desde esa experiencia surge un cambio de enfoque que

clara orientada a robustecer la prevención y anticiparnos a través de información técnica y científica”.

Según la delegada, hoy existe una **conducción integrada del Estado** que permite anticiparse a escenarios de riesgo y responder de manera coordinada, algo que no estaba plenamente consolidado en crisis pasadas.

“Gracias a la voluntad de las autoridades y de diversos representantes, hoy podemos anticiparnos a escenarios y responder de manera coordinada ante un eventual episodio de FAN”.

CIICA: el eje estructural de la prevención

Ese liderazgo se materializa operativamente en el **Comité Interinstitucional de Contingencias Ambientales (CIICA)**, creado en 2018 tras las lecciones dejadas por la crisis de 2016. El comité reúne a delegaciones presidenciales, seremías sectoriales, Sernapesca, la Autoridad Marítima, la Superintendencia del Medio Ambiente, IFOP y SENAPRED.

Su función es **anticipar escenarios, definir directrices**



CIICA Magallanes
Foto: SERNAPESCA

hoy es destacado desde la **Delegación Presidencial Regional de Los Lagos**, donde se reconoce que la prevención exige **liderazgo político, articulación territorial y toma de decisiones coordinadas**.

Así lo explica **Paulina Muñoz Molina, Delegada Presidencial de Los Lagos**, al evaluar las diferencias entre el escenario actual y episodios anteriores:

“Durante estos cuatro años de gobierno hemos sostenido un trabajo articulado con las distintas instituciones del Estado que son parte del Comité Interinstitucional de Contingencias Ambientales, consolidando una estrategia

y coordinar acciones preventivas y de respuesta, evitando que cada servicio actúe de forma aislada.

“La creación del CIICA permitió mejorar sustantivamente la coordinación entre servicios públicos. Hoy existe un trabajo permanente de intercambio de información y toma de decisiones conjuntas”, señala Hudson.

Comunicación asertiva: informar sin alarmar

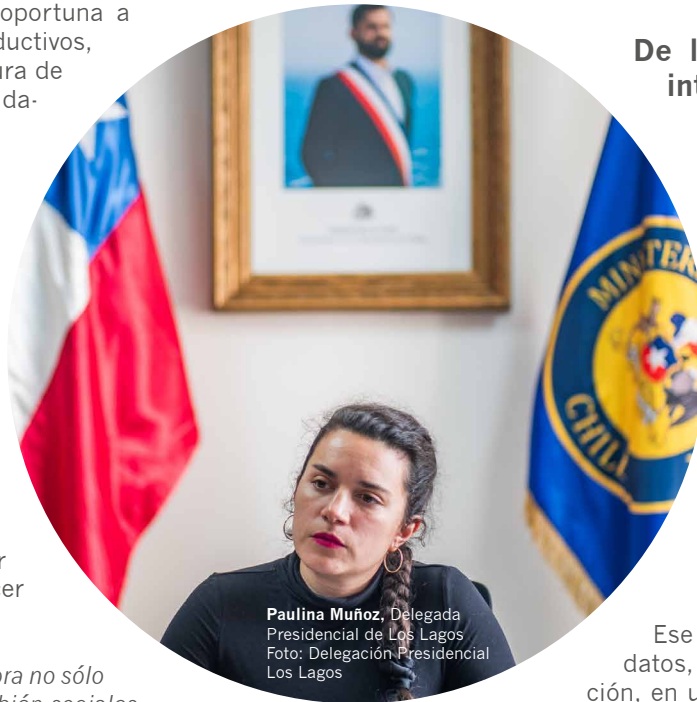
Uno de los aprendizajes más relevantes ha sido la importancia de **cómo se comunica el riesgo FAN**. La estrategia actual apunta a que la información técnica

llegue de forma clara y oportuna a municipios, sectores productivos, pesca artesanal, acuicultura de pequeña escala y comunidades costeras.

“Nuestro objetivo es que quienes toman decisiones a nivel local cuenten con información oficial y de primera fuente, especialmente cuando existen alertas oceanográficas o atmosféricas”, enfatiza Hudson.

Para la Delegación Presidencial, este componente comunicacional es clave para evitar incertidumbre y fortalecer la confianza territorial.

“La preparación hoy incorpora no sólo criterios técnicos, sino también sociales, productivos y territoriales, entregando mayor certeza a las actividades económicas”, subraya Muñoz.



Paulina Muñoz, Delegada Presidencial de Los Lagos
Foto: Delegación Presidencial Los Lagos

De la crisis a la gestión integral

La huella de 2016 atraviesa todo el diseño actual. Para la delegada presidencial, esa experiencia marcó un punto de inflexión definitivo:

“El Estado entendió que no basta con fiscalizar o monitorear. Es necesario anticipar, coordinar y comunicar de forma oportuna. Pasamos de una respuesta reactiva a una de gestión integral”.

Ese es hoy el eje que articula datos, gobernanza y comunicación, en un escenario donde las FAN dejaron de ser eventos excepcionales para transformarse en un **riesgo estructural que exige preparación permanente.**

Impacto económico: una amenaza sistémica

Desde la mirada productiva, las FAN representan un **riesgo sistémico** que trasciende lo ambiental. Así lo plantea **Luis Cárdenas, seremi de Economía de la Región de Los Lagos**, quien advierte que un evento FAN severo genera efectos en cascada.

“En acuicultura, las FAN pueden provocar mortalidades masivas, restricciones de cosecha y aumentos significativos en los costos logísticos. En la pesca artesanal, los cierres preventivos por marea roja afectan directamente los ingresos de pescadores y recolectoras”.

Los simulacros realizados entre 2023 y 2024 evidenciaron brechas persistentes en **capacidad logística**, disposición de biomasa e infraestructura habilitante, aspectos que también son reconocidos desde la Delegación Presidencial como desafíos aún pendientes.

Las primeras 24 horas: protocolos claros y roles definidos

Ante la detección de una FAN severa, el protocolo establece acciones inmediatas: sesión extraordinaria del CIICA, activación de planes de contingencia empresariales y seguimiento diario por parte de Sernapesca, incluyendo fiscalización en terreno.

La **prealerta acuícola** faculta al Estado para instruir desde el retiro coordinado de mortalidades hasta restricciones operativas y paralización de actividades, si el riesgo lo amerita.



Cristian Hudson, Director Sernapesca Los Lagos y Soledad Tapia, directora Nacional de Sernapesca.
Foto: Sernapesca



Luis Cárdenas, SEREMI de Economía Los Lagos.
Foto: Economía Los Lagos

Aditivos funcionales mejoran inmunidad del salmón y reducen mortalidad durante FAN

*Investigadores chilenos de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, la Universidad Noruega de Ciencias de la Vida y Salmones Camanchaca demostraron que ciertos aditivos en la alimentación del salmón del Atlántico (*Salmo salar*) pueden modular la inmunidad y reducir la mortalidad frente a amenazas ambientales, como proliferaciones de algas, en condiciones reales de cultivo en agua de mar.*

La salmonicultura chilena enfrenta pérdidas económicas significativas debido a enfermedades infecciosas y problemas ambientales. Entre las principales amenazas se encuentran la Septicemia Rickettsial del Salmón (SRS), causada por *Piscirickettsia salmonis* —responsable de más de la mitad de las mortalidades en fase de mar— y las proliferaciones de algas nocivas, vinculadas al aumento de la temperatura y la eutrofización de los fiordos del sur de Chile.

La estrategia predominante frente a infecciones bacterianas ha sido el uso de antibióticos, lo que ha generado preocupación por la resistencia antimicrobiana en el ecosistema marino. Frente a este panorama, las estrategias nutricionales basadas en aditivos bioactivos emergen como alternativas prometedoras para reforzar la salud de los peces sin comprometer la productividad. El estudio: aditivos bajo prueba en condiciones reales. Un equipo de científicos de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y la empresa Salmones Camanchaca publicó un estudio en *Fish & Shellfish Immunology* donde evaluó los efectos inmunomoduladores de dos aditivos comerciales —Pack Salud (PS) y Futerpenol® (FT)— en *post-smolts* de salmón Atlántico cultivados en agua de mar.

Los peces (~1,5 kg) fueron alimentados durante 90 días con dietas experimentales suplementadas (PS: 0,25 %; FT: 0,1 %) o con una dieta comercial de control (CD). Posteriormente, se registraron tanto parámetros de salud como respuestas inmunológicas en órganos clave (riñón cefálico, bazo y branquias).

Hallazgos clave

- Respuesta temprana: después de 34 días de alimentación, genes relacionados con inmunidad innata y adaptativa (como *ifng*, *il-10*, *inos*, *il-12*, *cath2*, *hepcidin*, *igm* e *igt*) se expresaron al alza en los grupos con aditivos, en comparación con los controles, es decir, se regularon positivamente en peces alimentados con PS o FT.
- Evento ambiental crítico: entre los días 90 y 132 del ensayo, ocurrió una proliferación natural de algas en las instalaciones. Durante este período, la mortalidad se redujo en un 10 % en el grupo PS y en un notable 61 % en el grupo FT, en comparación con el control.
- Inmunidad sostenida: incluso seis semanas después de finalizar la dieta funcional, los peces que recibieron FT mantuvieron una respuesta inmune innata más fuerte, evidenciada por la regulación positiva de genes como *inos*, *hepcidin* y *cath2*, coordinados por citoquinas y marcadores de superficie celular (*cd86*, *mhci* y *mhcii*).

Lo que significan los resultados

Los investigadores concluyen que los aditivos evaluados no comprometen el crecimiento del salmón y sí potencian la inmunidad en condiciones de cultivo comercial. En particular, Futerpenol® mostró un efecto protector prolongado frente a un evento ambiental crítico, sugiriendo que este tipo de compuestos bioactivos podrían ayudar a reducir la mortalidad en la industria.

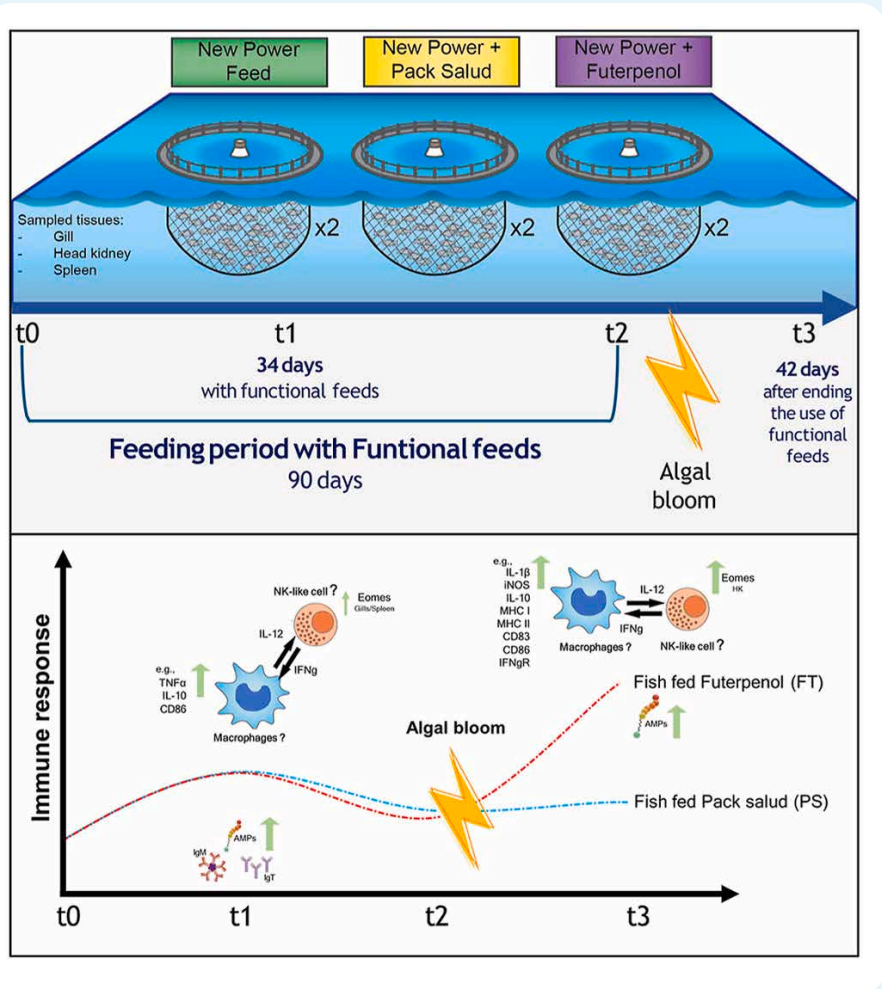
Sin embargo, el estudio subraya que, aunque alentadores, estos resultados deben validarse a mayor escala en sistemas productivos reales.

Más allá de la dieta: un cambio de paradigma

Este trabajo se suma a una tendencia creciente en la acuicultura global: la búsqueda de estrategias de manejo basadas en nutrición funcional y modulación inmune, como alternativas al uso intensivo de antibióticos. Experiencias previas con extractos de microalgas, productos derivados de levaduras y péptidos antimicrobianos han mostrado resultados similares en salmónidos y otras especies.

La inclusión de aditivos como Pack Salud y Futerpenol® en las dietas del salmón del Atlántico representa una estrategia prometedora para enfrentar los desafíos sanitarios y ambientales de la salmonicultura chilena. Sin duda, estos resultados abren la puerta a un manejo más sostenible de la salud de los peces, con un impacto potencial directo en la productividad y en la reducción de pérdidas por mortalidad masiva.

Revisa el estudio completo en este enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050464825004000>



Esquema del diseño experimental y de la respuesta inmune propuesta en salmón Atlántico alimentado con dietas funcionales en fase de mar

Alexandrium catenella (Marea Roja)

De Chile para el Mundo

AquaBC
Rapid Testing

Detección In Situ, en solo 30 minutos, Fácil y Certera

FAN en la salmonicultura chilena: de las crisis históricas a la era de la vigilancia inteligente

Fabiola Villanueva Sanhueza
Biólogo marino y directora
ejecutiva de @FAN Spa

1 Floraciones Algales Nocivas en la industria del salmón, Chile

La salmonicultura es una actividad importante en términos económicos y productivos, caracterizándose por la alta relevancia para la matriz exportadora de Chile, y se concentra principalmente en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, generando actividad económica y un importante encadenamiento productivo. Esta importancia radica en que el salmón es el segundo producto más exportado en Chile, después del cobre (Arce *et al*, 2016).

Durante el primer trimestre del año 2025, las exportaciones de salmón mantuvieron su consistencia histórica representando el 7% del total de las exportaciones nacionales con 1.847 millones de dólares, aumentando un 5% respecto al mismo periodo del año anterior (SalmonChile, 2025).

La forma como se ha ido desarrollando la salmonicultura en Chile, ha sido sin precedentes, debido básicamente, a su dinamismo y asociatividad presente en la industria. Esta actividad de mercado ha sido uno de los principales motores del sostenido y exitoso crecimiento exportador de los últimos 20 años en Chile (Marine Harvest, 2018).

El desarrollo del cultivo de salmón ha sido exitoso, principalmente debido a las excelentes condiciones ambientales, geográficas, y climáticas de nuestro país, ya que reúne las condiciones ambientales necesarias para la salmonicultura, las que incluyen 1700 kilómetros de islas, fiordos y bahías ideales para el cultivo del pez, desde Puerto Montt hasta Punta Arenas.

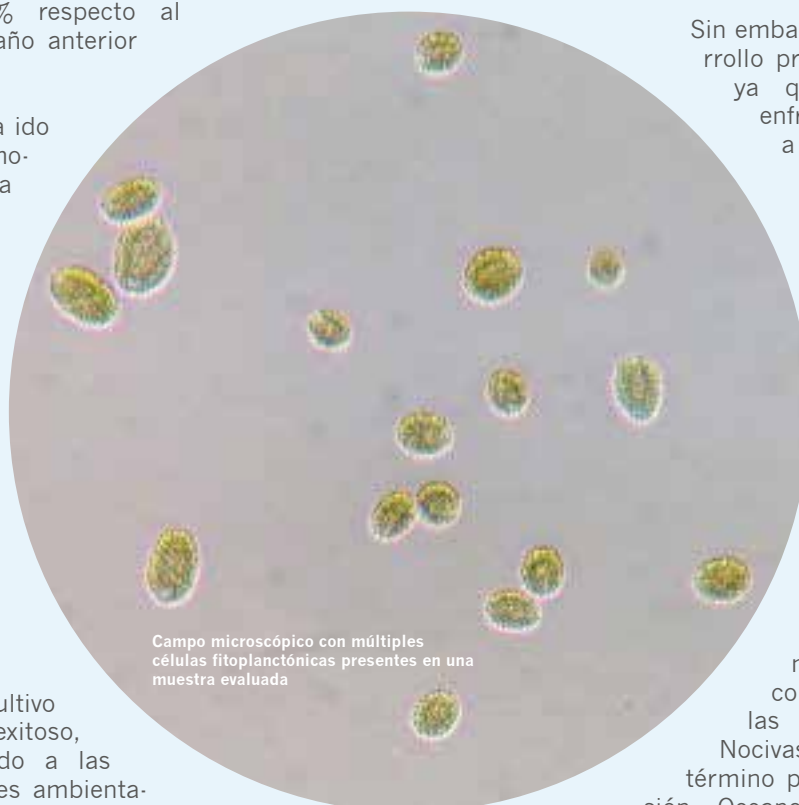
La extensa costa de Chile y la abundancia de fiordos con temperaturas y condiciones hidrográficas adecuadas (en particular, en la zona sur del país) representan importantes ventajas comparativas naturales para el

desarrollo de la salmonicultura en Chile (Marine Harvest, 2018). Cerda (2019) menciona que estas condiciones son las ventajas competitivas que posee nuestro país en la industria salmonicultora mundial, además de los bajos costos por concepto de alimentación.

La historia de la industria salmonicultora comienza a comienzos del siglo XX, cuando se habían introducido salmones para el desarrollo de una producción acuícola local, pero es solo desde la década del 80' en que comienza su producción y comercialización a gran escala (Achurra, 1995), aunque el "boom" se produjo en 1986, cuando los proyectos de factibilidad económica demostraban cifras impresionantes con relación a las tasas internas de retorno ante una eventual exportación del producto (Cerda, 2019).

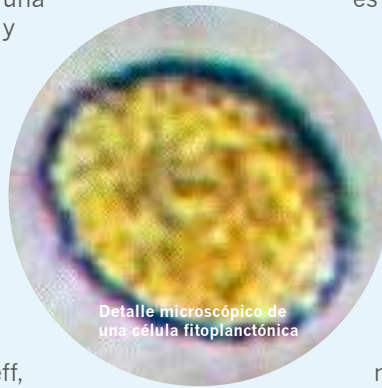
Sin embargo, no todo este desarrollo productivo ha sido fácil, ya que la industria, ha enfrentado diversas crisis a lo largo de su desarrollo. Algunos de los casos más emblemáticos son Florecimientos de Algas Nocivas en 1988, 2009 y 2016, siendo los ventos más recordados por el impacto generado tanto en términos productivos como sociales, y la crisis del virus ISA entre 2007 y 2010.

Dentro de los problemas ambientales más complejos se encuentran las Floraciones Algales Nocivas (FAN en adelante), término propuesto por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO para describir cualquier proliferación de microalgas, independientemente de su concentración, percibida como un daño por su impacto socioeconómico (daños a la salud pública, bienes y servicios costeros) (Díaz *et al.*, 2019). Actualmente, se reconoce la existencia de tres tipos de FAN: i) las producidas por especies que no son tóxicas y que afectan el valor recreacional del lugar donde proliferan, ya sea porque causa descoloración en el agua o forma grandes cantidades de espuma o causan altas tasas de mortalidad de peces debido a la drástica



Campo microscópico con múltiples células fitoplanctónicas presentes en una muestra evaluada

disminución del oxígeno disuelto en el agua producido por un incremento explosivo en la densidad celular de microalgas; ii) las producidas por especies productoras de toxinas que a través de su consumo en la cadena alimenticia pueden generar una variedad de desórdenes neurológicos y gastrointestinales en humanos, incluyendo los venenos paralizante (VPM), amnésico (VAM) y diarreico (VDM), entre otros, por lo tanto, representan una importante amenaza para la salud pública y explotación de mariscos; iii) las producidas por especies que no son tóxicas para humanos pero afectan a peces de cultivo por daño físico (por ejemplo, obstrucción branquial) y/o producción de sustancias ictiotóxicas) (Hallegraeff, 2003).



Detalle microscópico de una célula fitoplanctónica

Se ha observado a escala global un incremento tanto en la frecuencia como en la intensidad de eventos tóxicos provocado por diversas especies de microalgas. Según mencionó Hallegraeff (1993; 2010) este incremento se puede explicar de manera parcial por el crecimiento progresivo en la explotación de recursos costeros (acuicultura, industria turística), el crecimiento exponencial de programas de monitoreo, y quizás, una razón aún más relevante, es el incremento del crecimiento de las microalgas y la dispersión debido a factores principalmente antropogénicos (Anderson *et al.* 2012; Anderson 2014), particularmente, la eutroficación del agua y el cambio climático (Heisler *et al.* 2008; Gilbert *et al.* 2014; Gobler *et al.* 2017).

Dentro de todo este escenario, la industria salmonera cada año es impactada por diversas especies productoras de FAN. Estos eventos tienen la capacidad de amenazar la viabilidad de los peces de cultivo a través de diversos mecanismos: i) producen disfunción respiratoria debido al daño mecánico generado en el epitelio branquial causado por la propia microalga (Díaz *et al.*, 2019; Jones & Rhodes, 1994), efecto ya conocido y producido principalmente por especies del grupo diatomeas que se caracterizan por presentar estructuras rígidas compuestas principalmente por sílice; ii) la toxicidad de neurotoxinas producidas por dinoflagelados (Van Deventer *et al.*, 2012); iii) la oxidación de la membrana celular por ROS o PUFAs producidos por las microalgas (Marshall *et al.*, 2003; Mardones *et al.*, 2015) probablemente como respuesta ante el estrés al que son sometidas las microalgas (Cho *et al.*, 2022); iv) la alteración en la capacidad osmo-regulatoria mediada por toxinas (Aguilera *et al.*, 2016) como *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella spp.*, *Pseudochattonella spp.*, *Alexandrium catenella* y *Karenia sp.*, entre otras. Es importante considerar, además, que la mayoría de las especies de fitoplancton al proliferar producen un aumento en el nivel de oxígeno disuelto en el agua durante el día y una depleción o disminución del oxígeno disuelto en la columna de agua durante la noche y que es probable que esta diferencia genere estrés, lo que finalmente afecta a los peces, provocando mortalidades producidas de manera indirecta por microalgas, y como efecto secundario, el nivel de oxígeno permanezca bajo los niveles óptimos para el cultivo de peces principalmente por degradación bacteriana.

En el sur de Chile el problema de las FAN ha tenido serios efectos en la industria del salmón, actividad

acuícola localizada principalmente en los canales y fiordos de las Regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. La historia de las FAN en la industria salmonicultora en Chile y sus consecuencias e impactos no es nueva. Lembeye & Campodónico (1984) atribuyeron al dinoflagelado *Prorocentrum micans* la mortalidad de peces de cultivo, evento que quedó registrado en la memoria de la industria debido a la magnitud. Sin embargo, el primer evento FAN del tipo marea café con consecuencias negativas para la industria producto de su toxicidad ocurrió entre fines de agosto y principios de septiembre de 1988 en la Región de Los Lagos, el que comenzó en lo que actualmente conocemos como ACS17A, y fue causado por la presencia de la microalga *Heterosigma akashiwo* (*Raphidophyceae*) (Parra *et al.*, 1991; Avaria *et al.*, 1999). Desde entonces, y cada vez con más frecuencia, varios eventos FAN han sido registrados afectando a la industria en distintos grados, ya que estos eventos se repitieron en 2000, 2002, 2004, 2005, 2009 y 2011, aunque con menor notoriedad e impacto que el de 1988 (Mardones *et al.*, 2012). De los eventos mencionados, la marea café ocurrida en 2004, fue más extensa geográficamente y abarcó la zona más al Norte del mar interior de Chiloé, el Centro-Sur de la isla, la zona de Calbuco, el Seno de Reloncaví y hasta el Seno de Quintupeu y provocó una severa intoxicación de salmones en cultivo en dichas áreas. Además, en el evento de 2011, se detectó co-ocurrencia de los fitoflagelados *H. akashiwo* y *Pseudochattonella verruculosa* (Mardones *et al.*, 2012).

Durante el verano del año 2002, se registró una floración de *A. catenella* en la Región de Aysén que causó grandes pérdidas en la industria salmonera (Clément *et al.* 2002; Molinet *et al.* 2003; Fuentes *et al.* 2008), aunque el evento más intenso de esta especie en términos de abundancia celular y cobertura geográfica fue el año 2009, registrándose concentraciones de 6.000 células/ mL y abarcó desde la región de Aysén (46°S) hasta el sur de la Isla de Chiloé en la región de Los Lagos (Mardones *et al.* 2010).

El verano del 2016 ocurrió una intensa floración de *Pseudochattonella cf. verruculosa* (*Dictyochophyceae*), que provocó importantes pérdidas económicas en 45 centros de cultivo de salmones (Villanueva *et al.*, 2016; Paredes *et al.* 2016), con una mortalidad de 39.942 toneladas de peces (27 millones de peces) (Clément *et al.* 2016). La concentración más alta de *P. verruculosa* fue registrada en el fiordo Reloncaví (Región de Los Lagos), llegando a concentraciones de 29.9 x 10⁶ células L⁻¹, y se observó en marzo de 2016 (Clément *et al.*, 2016; Villanueva *et al.*, 2016; León-Muñoz *et al.*, 2018).

Posteriormente, Villanueva *et al.*, (2017) reportaron un aumento inusual en la mortalidad de salmones dentro de *wellboats* en tránsito en el área del Golfo de Penas (47°S) producida por una floración multiespecífica del género *Karenia*.

Si bien otros eventos FAN han ocurrido en años posteriores, estos no han sido registrados, principalmente, porque la magnitud de ellos no ha generado grandes impactos en la industria o en la salud pública.

En el mes de marzo de 2021 un importante evento FAN fue registrado en la zona norte del Fiordo Comau, Región de Los Lagos (boca del fiordo). En los análisis rutinarios de los centros de distintas empresas ubicadas en ese sector (conocido como ACS17 A), se comenzó a registrar la presencia de la microalga ictiotóxica *Heterosigma akashiwo*, y en un análisis de los datos y registros obtenidos se logró evidenciar que en dicho evento la temperatura fue la única que mostró una relación directa con la presencia de *H. akashiwo*, aportando a la teoría de que al estar ante un escenario de cambio climático en el cual tanto la temperatura ambiental como otras variables han mostrado variaciones, se podría esperar un aumento en la frecuencia de este tipo de fenómenos FAN (Villanueva, 2021).

Cada año tenemos eventos relacionados con especies de microalgas nocivas, comenzando en primavera con una floración de *diatomeas* y a medida que van pasando las semanas, la comunidad fitoplanctónica va variando, tomando protagonismo otros grupos, como *dinoflagelados*, *raphidofíceas*, *dictiochophiceas*, entre otras, que dependen en gran parte de las condiciones del ambiente y de los requerimientos de cada grupo o especie.

2 Ciencia e investigación en FAN

Han sido varios los esfuerzos por comprender la dinámica asociada al problema de las FAN, desde estudios amplios y muy relevantes como la composición fitoplanctónica de diversos lugares, que nos han permitido conocer las especies predominantes de los sectores donde se emplazan los centros de cultivo, series de tiempo que han sido útiles para elaborar programas de vigilancia en ciertos lugares.

La investigación sobre las FAN en la salmicultura chilena ha transitado desde la observación aislada realizada por los laboratorios especializados y profesionales que se han formado en taxonomía en microalgas, hasta convertirse en un pilar estratégico de la industria salmicultora a partir de los diversos esfuerzos tanto de los productores como de los organismos encargados de las normativas y fiscalizaciones.

Si bien el estudio de las microalgas nocivas en Chile inicia de manera reactiva en 1972 en la región de Magallanes, debido a registros de mortalidad humana por toxinas asociados a *Alexandrium catenella*, la ciencia e investigación relacionada a salmicultura emerge con la expansión de la industria en la década de los 80. Lo que inicialmente se percibía como eventos esporádicos, evolucionó hacia un desafío ecosistémico permanente, exacerbado por el cambio climático y el desarrollo del cultivo del salmón hacia diferentes áreas geográficas del sur de Chile. Sin embargo, la intersección entre la ciencia y la industria acuícola no se consolidó hasta finales de los 80.

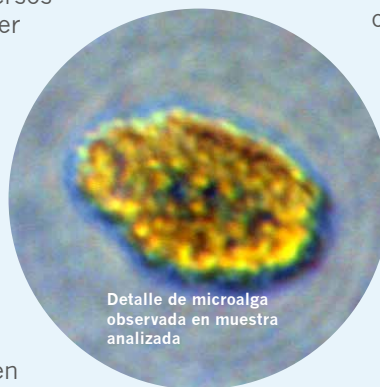
El primer hito crítico para la industria ocurrió en

septiembre de 1988, con la presencia de altas concentraciones de *Heterosigma akashiwo*, una especie ictiotóxica que provocó mortalidades masivas y obligó a los científicos a diferenciar entre especies tóxicas para el consumo humano y aquellas letales para los peces (Parra *et al.*, 1991; Avaria *et al.*, 1999). Durante este periodo, la investigación fue liderada por instituciones como el IFOP y la academia (Universidad Austral de Chile, Universidad de Valparaíso, Universidad de Concepción, entre otras), centrada en la taxonomía, la descripción de ciclos de vida básicos y su distribución geográfica, y las condiciones físicas y oceanográficas de la zona de canales y fiordos, todo esto con la intención de generar conocimiento.

Por otra parte, el Programa de Monitoreo de Marea Roja del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), que comenzó en la región de Magallanes en 1994, con el objetivo de detectar el veneno paralizante de mariscos (VPM) y el alga *Alexandrium catenella*, se consolidó en las zonas australes ampliando la región de monitoreo desde 2006, y que abarca actualmente las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, incluyendo estaciones en fiordos y canales marcando el paso de la ciencia descriptiva a la vigilancia operativa. La investigación científica comenzó a integrar variables oceanográficas y meteorológicas para comprender los mecanismos de transporte de las floraciones en los complejos sistemas de fiordos y canales del sur de Chile.

Otro de los grandes aportes de la ciencia en esta área fue la ejecución de las expediciones CIMAR Fiordo, coordinadas y ejecutadas por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA) en conjunto con el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y que tienen su origen en 1995. Estos cruceros científicos han permitido conocer un área extensa, que abarca la zona de fiordos y canales desde Puerto Montt hasta la Boca del Guafo, con un total de 100 estaciones oceanográficas. Fue diseñado para obtener una línea de base multidisciplinaria sobre aspectos oceanográficos, biológicos, meteorológicos y químicos de áreas que, hasta ese momento, habían sido poco exploradas científicamente de forma integrada y además han permitido recolectar datos críticos para entender la dinámica de las Floraciones Algales Nocivas (FAN) en la zona de fiordos, al estudiar variables como la temperatura, salinidad y disponibilidad de nutrientes que favorecen estos eventos. Desde su lanzamiento en 1995, el programa ha realizado más de 25 campañas, consolidando el conocimiento necesario para enfrentar las crisis ambientales que afectan a la industria del salmón.

Pasaron varios años en los que las investigaciones se centraron en estudio de ciclos de vida, distribución de especies y efecto en peces de cultivo, hasta que el año 2016 ocurrió una floración sin precedentes provocada por *Pseudochattonella spp.*, que provocó pérdidas importantes para la industria salmionera, seguida de *Alexandrium catenella*, que gatilló una crisis social y ambiental profunda. Esto inició diversos proyectos y mesas de trabajo que incluyeron tanto a la industria salmionera como a las autoridades, centros de investigación, universidades, entre otros.



Detalle de microalga observada en muestra analizada

El 2017 ocurrió la creación del CREAN perteneciente al IFOP cuyo foco principal es centralizar la vigilancia biotecnológica, generar alertas tempranas y comprender las dinámicas asociadas al tema FAN en Chile.

Actualmente, la ciencia relacionada a las FAN en Chile se caracteriza por la hiper-tecnologización. Los pilares actuales incluyen:

1 Teledetección y modelación de partículas: con el uso de satélites y modelos hidrodinámicos para proyectar el movimiento de partículas, esto con el fin de prevenir y activar los sistemas de monitoreo disponibles en cada centro.

2 Monitoreo *in situ* de bajo costo: cuyo objetivo es la implementación de sistemas de alerta temprana basados

sensores autónomos dispuestos en los centros de cultivo. Otras propuestas incluyen el desarrollo de aplicaciones entrenadas para la identificación de especies.

3 Transparencia de datos: la creación y difusión de boletines elaborados por Intesal que integran datos en tiempo real para la toma de decisiones. La importancia de este tipo de programas es que permite la comunicación entre los diversos actores de la industria y la realización de esfuerzos conjuntos ante un evento FAN.

4 Plataformas dinámicas con información en tiempo real: servicios donde se puede visualizar en tiempo real las concentraciones de todas las especies fitoplanctónicas registradas en los distintos barrios (ACS). Esta información es valiosa y útil cuando se debe dimensionar el impacto de especies nocivas en puntos determinados.

5 FAN Index: indicador diario que permite medir el estado de las FAN y sirve como un instrumento de análisis de riesgo, además de tener una capacidad de pronóstico estocástico de corto plazo (menos 48 horas) y que permite a las empresas acuícolas y a las autoridades poner en marcha con antelación sus planes de mitigación y contingencia, con el fin de disminuir el riesgo asociado a una FAN.

6 Mitigaciones: La gestión de crisis frente a las FAN en la salmonicultura ha evolucionado desde una respuesta reactiva hacia una estrategia de mitigación multidimensional, más proactiva. Actualmente, los centros de cultivo emplean tecnologías de mitigación que van desde el uso de cortinas de microburbujas hasta sistemas de surgencia (*airlifting*), los cuales generan una barrera de presión y movimiento de agua que impide el

ingreso de parches de microalgas a las balsas-jaula.

3 Protocolo de acción

El protocolo de acción ante evento FAN en Chile está estrictamente regulado por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA) cuya labor es fiscalizar para mitigar impactos ambientales y sanitarios que se generan como consecuencia de estos eventos impredecibles, pero que cada año afectan a los peces de cultivo.

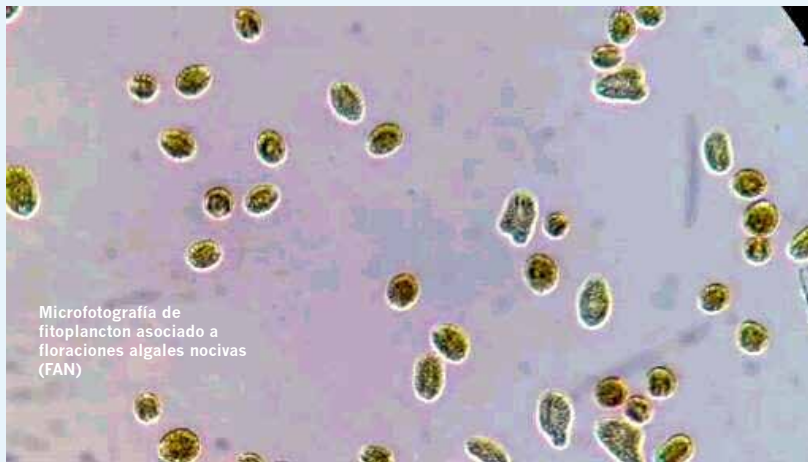
Actualmente, la industria debe operar bajo Al 2026, las empresas deben operar bajo planes de contingencia actualizados que integran la vigilancia activa y respuesta rápida para la toma de decisiones ante contingencias.

La Res. Ex. N° 3264-2019 Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, 2019) establece la metodología y frecuencia para monitorear situaciones o variables que

deben considerar los Planes de Acción ante una contingencia, y en ella se detallan los pasos a seguir ante un evento FAN. Como complemento y de manera más específica, la Res. Exe N° DN-02200-2024, indica las especies nocivas de fitoplancton más relevantes para la industria.

Si bien existen normativas vigentes que permiten que la industria salmonicultora funcione bajo las mismas directrices, cada empresa tiene su propio protocolo interno, adaptado a la realidad y necesidad de cada una de ellas.

Es importante señalar que un buen plan de manejo ante estos eventos está constituido por i) un buen y efectivo monitoreo del fitoplancton, lo que incluye personal capacitado y equipamiento necesario para llevar a cabo el monitoreo interno; ii) un plan de monitoreo a gran escala, que se llevan a cabo de manera privada o colectiva a través de sobrevuelos por los sectores afectados, uso de drones y muestreos en sectores aledaños, todo esto sumado al uso de modelo de dispersión de partículas, que permiten proyectar el movimiento de una FAN al menos durante los primeros días; iii) el uso de sistemas de mitigación disponibles y el conocimiento acerca de la activación de éstos; iv) el trabajo conjunto entre las empresas (comunicación estratégica) que se encuentran operando en un sector, lo que permite realizar modelaciones y prevenir problemas mayores.



4 Comentarios finales

La historia de la salmicultura en Chile es un testimonio de resiliencia y capacidad de adaptación. Si bien comenzó como una actividad incipiente en la década de los 80, hoy se reconoce como una industria consolidada que además de ser la fuente laboral y sustento directo o indirecto de muchas familias, es un referente global en la integración de ciencia y tecnología en sus procesos.

Es importante destacar cómo la industria ha pasado de una respuesta reactiva ante las crisis provocadas por las FAN a una actitud más proactiva, donde la colaboración multisectorial entre Intesal, la academia, los laboratorios especializados y los Grupos de Trabajo Regional (GTR) ha permitido el desarrollo de una comunicación sin precedentes. Esta nueva forma de trabajo permite que hoy se comparta información con una transparencia que antes era impensable, transformando la competencia en colaboración estratégica para proteger y comprender tanto el patrimonio productivo como el ecosistema marino.

Este espíritu de vanguardia se refleja fielmente en la apertura hacia el uso de nuevas tecnologías. La industria ha acogido con éxito aquellas ideas innovadoras que se basan en el uso de satélites de última genera-

ción, sistemas de Inteligencia Artificial y aplicaciones móviles de identificación temprana, entre otros proyectos, lo que permite pasar de simples reacciones a proyecciones de alta fidelidad.

Es importante comprender que, aunque la naturaleza estocástica de los fiordos no nos permite hablar de una "predicción" absoluta de una FAN, el uso de herramientas digitales nos permiten hoy anticipar escenarios y actuar con una antelación que puede disminuir el riesgo de mortalidad asegurando la producción y los empleos, nos permite "proyectar" a través de la historia FAN de cada sector, a través de los registros que se van obteniendo año tras año.

La modernización de la industria hacia el uso de nuevas tecnologías, como la incorporación de sistemas de mitigación, mediante cortinas de microburbujas y surgencia, demuestra que la ingeniería está a la altura de los desafíos climáticos más exigentes y que cada día hay más empresas que se atreven a innovar en esta área.

la creación y difusión de boletines elaborados por Intesal que integran datos en tiempo real para la toma de decisiones. La importancia de este tipo de programas es que permite la comunicación entre los diversos actores de la industria y la realización de esfuerzos conjuntos ante un evento FAN.

5 Referencias

Achurra, M. (1995). La experiencia de un nuevo producto de exportación: Los salmones. En P. Meller y R. E. Sáez (Eds.), *Auge exportador chileno* (pp. 43–71). Dolmen Ediciones.

Aguilera, A., Gutiérrez, X., Mayorga, J., Villanueva, F., y Varela, D. (2016). *Effects of Alexandrium catenella on Atlantic salmon post smolt*. 17th International Conference on Harmful Algae, Brasil.

Anderson, D. M., Cembella, A. D., y Hallegraef, G. M. (2012). Progress in understanding harmful algal blooms: Paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. *Annual Review of Marine Science*, 4, 143–176.

Anderson, D. M., Couture, D. A., Kleindinst, J. L., Keafer, B. A., McGillicuddy, D. J., Jr., Martin, J. L., Richlen, M. L., Hickey, J. M., y Solow, A. R. (2014). Understanding interannual, decadal level variability in paralytic shellfish poisoning toxicity in the Gulf of Maine: The HAB Index. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 103, 264–276. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.018>

Arce, D., Lizana, J., y Tagle, P. (2016). *Salmonicultura chilena: Análisis de la industria, propuestas de política y estabilización*.

Avaria, S., Cáceres, M., Muñoz, P., Palma, S., y Vera, P. (1999). *Plan nacional sobre floraciones de algas nocivas en Chile*.

Cerda, E. (2019). *Productividad y competitividad en la industria del salmón en Chile*. Corporación de Estudios para Latinoamérica (Cieplan). www.cieplan.org

Cho, K., Ueno, M., Liang, Y., Kim, D. y Oda, T. (2022). Generation of Reactive Oxygen Species (ROS) by Harmful Algal Bloom (HAB)-Forming Phytoplankton and Their Potential Impact on Surrounding Living Organisms. *Antioxidants*, 11(2), Artículo 206. <https://doi.org/10.3390/antiox11020206>

Clément, A., Lincoqueo, L., Saldivia, M., Brito, C. G., Muñoz, F., Fernández, C., Pérez, Clément, A., Aguilera, A., y Fuentes, C. (2002). *Análisis de la Marea Roja en el Archipiélago de Chiloé*, Contingencia verano 2002. Universidad Austral de Chile.

Díaz, P. A., Álvarez, A., Varela, D., Pérez-Santos, I., Díaz, M., Molinet, C., Seguel, M., Aguilera-Belmonte, A., Guzmán, L., Uribe, E., Rengel, J.,

Hernández, C., Segura, C., y Figueroa, R. I. (2019). Impacts of harmful algal blooms on the aquaculture industry: Chile as a case study. *Perspectives in Phycology*, 6(1-2), 39–50. DOI: [10.1127/pip/2019/008](https://doi.org/10.1127/pip/2019/008).

Fuentes, C., Clement, A., y Aguilera, A. (2008). Summer Alexandrium catenella bloom and the impact on fish farming, in the XI Aysén region, Chile. En O. Moestrup et al. (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference on Harmful Algae* (pp. 183–186). International Society for the Study of Harmful Algae and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.

Glibert, P. M., Allen, J. I., Artioli, Y., Beusen, A., Bouwman, L., Harle, J., Holmes, R., y Holt, J. (2014). Vulnerability of coastal ecosystems to changes in harmful algal blooms distribution in response to climate change: Projections based on model analysis. *Global Change Biology*, 20(12), 3845–3858.

Gobler, C. J., Doherty, O. M., Hattenrath-Lehmann, T. K., Griffith, A. W., Kang, Y., y Litaker, R. W. (2017). Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(19), 4975–4980.

Hallegraef, G. M. (1993). A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, 32(2), 79–99.

Hallegraef, G. M. (2003). Harmful algal blooms: A global overview. En G. M. Hallegraef, D. M. Anderson, y A. D. Cembella (Eds.), *Manual on harmful marine microalgae* (pp. 25–49). UNESCO Publishing.

Hallegraef, G. M. (2010). Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: A formidable predictive challenge. *Journal of Phycology*, 46(2), 220–235.

Heisler, J., Glibert, P. M., Burkholder, J. M., Anderson, D. M., Cochlan, W., Dennison, W. C., Dortch, Q., Gobler, C. J., Heil, C. A., Humphries, E., Lewitus, A., Magnien, R., Marshall, H. G., Sellner, K., Stockwell, D. A., Stoecker, D. K., y Suddleson, M. (2008). Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae*, 8(1), 3–13.

Jones, J. B., y Rhodes, L. L. (1994). Suffocation of pilchards (*Sardinops sagax*) by a green microalgal bloom in Wellington Harbour, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 28(4), 379–383.

Lembeye, G., y Campodónico, I. (1984). First record bloom of the dinoflagellate *Prorocentrum micans* Ehr. in South-Central Chile. *Botanica Marina*, 27(11), 491-493.

León-Muñoz, J., Urbina, M. A., Garreaud, R., e Iriarte, J. L. (2018). Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Scientific Reports*, 8, Artículo 1330.

Mardones, J. I., Dorantes-Aranda, J. J., Nichols, P. D., y Hallegraeff, G. M. (2015). Fish gill damage by the dinoflagellate *Alexandrium catenella* from Chilean fjords: Synergistic action of ROS and PUFA. *Harmful Algae*, 49, 40-49.

Mardones, J., Clément, A., Rojas, X., y Aparicio, C. (2010). *Alexandrium catenella* during 2009 in Chilean waters, and recent expansion to coastal ocean. *Harmful Algae News*, (41), 8-9. www.eoc.unesco.org

Mardones, J., Clément, A., y Rojas, X. (2012). Monitoring potentially ichthyotoxic phytoplankton in southern fjords of Chile. *Harmful Algae News*, (45), 6-7.

Marine Harvest. (2018). *Salmon Farming Industry Handbook 2018*. Mowi ASA. mowi.com

Marshall, J., Nichols, P., Hamilton, B., Lewis, R., y Hallegraeff, G. (2003). Ichthyotoxicity of *Chattonella marina* (*Raphidophyceae*) to damselfish (*Acanthochromis polycanthus*): The synergistic role of reactive oxygen species and free fatty acids. *Harmful Algae*, 2(4), 273-281.

Molinet, C., Lafón, A., Lembeye, G., y Moreno, C. A. (2003). Patrones de distribución espacial y temporal de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech 1985, en aguas interiores de la Patagonia noroccidental de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(4), 681-698.

Paredes, J., Aguilera-Belmonte, A., Olivares, B., Uribe, C., Urrutia, G., Seguel, M., Villanueva, F., Vargas, M., y Varela, D. (2016, octubre). Morphological variability and genetic identification of ichthyotoxic species *Pseudochattonella* sp. isolated from severe outbreak in 2016 at the Northern Patagonian Fjord, southern Chile [Póster de conferencia]. 17th International Conference on Harmful Algae, Brasil.

Parra, O., Rivera, P., Floyd, G. L., y Wilcox, L. W. (1991). Cultivo, morfología, ultraestructura y taxonomía de un fitoflagelado asociado a mareas rojas en Chile: *Heterosigma akashiwo* (Hada) Hada. *Gayana Botánica*, 48(1-4), 101-110.

SalmonChile. (2025). *Boletín Trimestral de Exportaciones: Industria del Salmón de Chile* (Edición N°05). https://www.salmonchile.cl/boletin-exportaciones/BoletinTrimestralExportacionesSalmon_Edicion05.pdf.

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. (2024). Resolución Exenta N° DN-02200-2024: *Declara prealerta acuícola y fija medidas que indica, en los términos del Decreto Supremo número 320 de 2001*. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. https://www.subpesca.cl/portal/615/articles-123163_documento.pdf

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. (2019). Propuesta: *Programa Sanitario Específico de Vigilancia y Control de Plagas* - Programa Vigilancia FAN (Informe Técnico). Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. www.subpesca.cl

Van Deventer, M., Atwood, K., Vargo, G. A., Flewelling, L. J., Landsberg, J. H., Naar, J. P., y Stanek, D. (2012). *Karenia brevis* red tides and brevetoxin-contaminated fish: A high risk factor for Florida's scavenging shorebirds? *Botanica Marina*, 55(1), 31-37.

Villanueva, F., Cortez, H., Uribe, C., Peña, P., y Cassis, D. (2017). Mortality of Chilean farmed salmon in wellboats in transit through a *Karenia* bloom. *Harmful Algae News*, (57), 4-5. www.eoc.unesco.org

Villanueva, F., Urrutia, G., Uribe, C., Seguel, M., Aguilera-Belmonte, A., Olivares, B., Varela, D., y Paredes, J. (2016). *Harmful algal bloom of Pseudochattonella verruculosa (Dictyochophyceae, Florenciellales) associated with salmon farm mortalities in the south of Chile* [Póster de conferencia]. 17th International Conference on Harmful Algae, Brasil.

Villanueva Sanhueza, F. A. (2021). Impacto y distribución de *Heterosigma akashiwo* (Y. Hada) Y. Hada ex Y. Hara & M. Chihara (1987) en el Fierdo Comau, zona austral de Chile [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]



GARWARE
TECHNICAL FIBRES



FALDÓN X12 AB

- ✓ Método de control preventivo.
- ✓ Protege los centros de cultivos de Bloom de microalgas.
- ✓ Eficacia de bloqueo del 100% de *Heterosigma Akashiwo* y *Alexandrium Catenella*.
- ✓ Complementa la estrategia de seguridad de los peces.

Francisco J. Serra F.
Gerente Comercial

Marcos Jofré Speares
Business Associate



De la microscopía a la inteligencia artificial: cómo Plancton Andino está cambiando la gestión del riesgo por FAN en Chile

Autores:

Alejandro Clément, Francisca Muñoz & Alvaro Jorquera.
Puerto Varas, enero 15, 2026

Detección temprana y monitoreo continuo

Plancton Andino lidera el monitoreo del fitoplancton en Chile desde hace más de 26 años, a través de su programa POAS, con presencia continua en sistemas marinos y continentales del sur del país.

Nuestra aproximación combina experiencia, capital humano, tecnologías, conocimiento, metodologías clásicas, acreditadas por INN, y nos sometemos a controles de calidad por entidades extranjeras, además aplicamos tecnologías avanzadas bio-ópticas, y uso de plataformas digitales, permitiendo un diagnóstico adecuado y un seguimiento continuo de las Floraciones Algales Nocivas (FANs).

- **Metodologías clásicas:** Análisis de muestras de agua con células vivas o frescas, provenientes de centros de cultivo salmoneros y estaciones centinelas de monitoreo, mediante microscopía óptica, con identificación taxonómica y cuantificación celular. Series de tiempo de largo plazo que permiten contextualizar cada evento dentro de su variabilidad histórica.

- **Tecnologías avanzadas:** FlowCam: citómetros de flujos asociado con un láser que permite caracterizar automáticamente los morfotipos celulares con clorofila a, midiendo dimensiones y rasgos morfológicos esenciales para identificar especies nocivas. Detecta atributos biológicos que suelen pasar desapercibidos en la microscopía fotónica.

Fluorimetría de Alta Tasa de Repetición (FRRF3), Tecnología que entrega resultados de fluorescencia de la clorofila a activa (células vivas), es decir, parámetros fotoquímicos de la actividad fotosintética, tales como; eficiencia del fotosistema II, actividad y estado fisiológico de las células en bloom, permitiendo distinguir entre bloom activos y aquellos en declinación. El sistema se



Figura 1. Fluorómetro de Altas Tasas de Repetición (FRRF3)

puede montar en línea y en tiempo real como lo muestra la figura 1.

Plataforma ADICFito, que proporciona imágenes de células del fitoplancton en la web, facilitando que el personal de los centros de cultivo identifique rápidamente las células dominantes del plancton marino y comprendan el

riesgo asociado. Ver imágenes en www.ADICFito.cl

- ADICFito es una plataforma de apoyo para el estudio e identificación de las células del plancton. Únete a la red colaborativa más avanzada para el intercambio de imágenes del plancton. Contribuye con tus descubrimientos a la comunidad científica y accede a una biblioteca digital especializada en constante crecimiento.

- Colecciones Especializadas: Plancton Andino comparte su experiencia y conocimiento mediante la creación de colecciones digitales de microalgas en la web. Además, existe una interacción con expertos que validan tus contribuciones con expertos de la comunidad. Encuentra referencias técnicas y metodologías actualizadas.

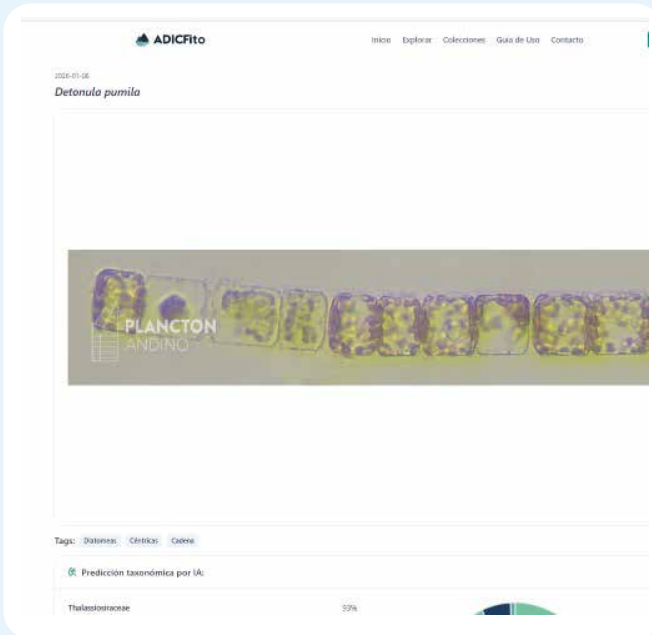


Figura 2. Descripción de ADICFito y uso de Inteligencia Artificial en el reconocimiento de Imágenes de fitoplancton y predicción taxonómica.

Microscopía electrónica de barrido (MEB): Aprovechando los servicios e infraestructura de la Universidad Austral de Chile, Valdivia, hemos efectuado en diferentes ocasiones análisis de células de pequeño tamaño, usando microscopía electrónica. En un caso en particular con microscopio fotónico se identificó como *Thalassiosira pseudonana*, pero después con imágenes del MEB se aclaró que corresponde a otras especies de diatomeas. En dicha ocasión los peces tuvieron conductas normales. Esto disminuye las incertidumbres.

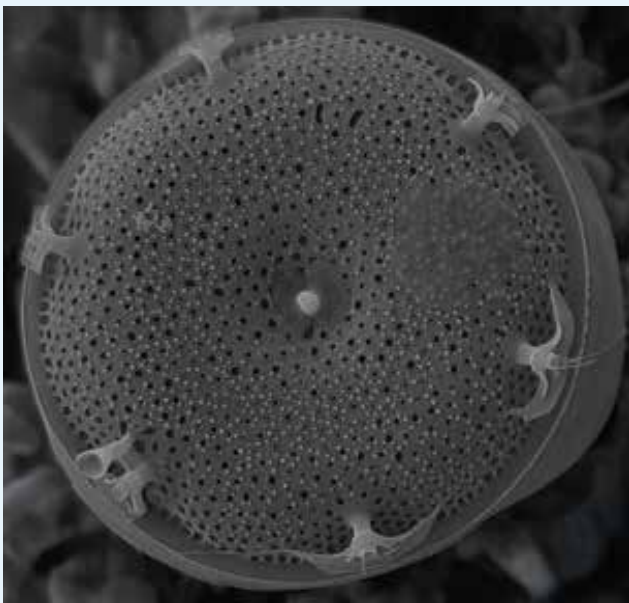


Figura 3. Imagen de una diatomea de pequeño tamaño (10 μm) confundidas con *Thalassiosira pseudonana*. Colectadas en cercanías de Isla Tac, julio 2025.

Perfiles con CTDO-F Efectuamos perfiles en columna de agua con CTDO calibrado en fábrica en *Seabird Scientific* en USA., y obtenemos datos continuos de temperatura, salinidad, oxígeno, densidad y fluorescencia de clorofila. Además, se puede calcular *Apparent Oxygen Utilization* (AOU), frecuencia de *Brunt-Väisälä*

(N^2 o N), entre otras variables oceanográficas, que contribuyen a caracterizar el ambiente marino donde crecen las algas nocivas.

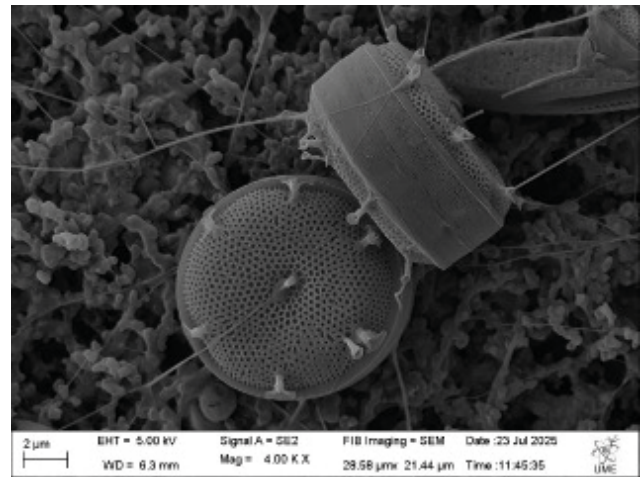
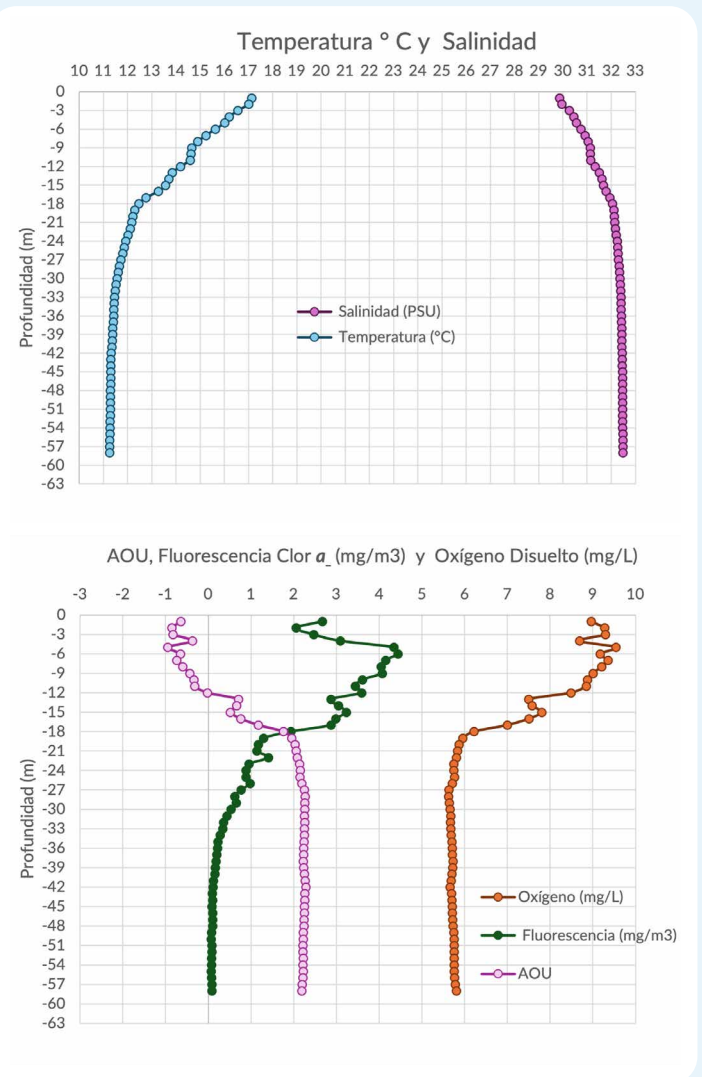


Figura 4. Un par de células de diatomeas céntricas de pequeño tamaño con filamentos

La frecuencia de *Brunt-Väisälä* (N^2 o N) es una medida de la estabilidad de la columna de agua. Indica qué tan difícil o fácil es que una porción de agua se desplace verticalmente debido a diferencias de densidad.



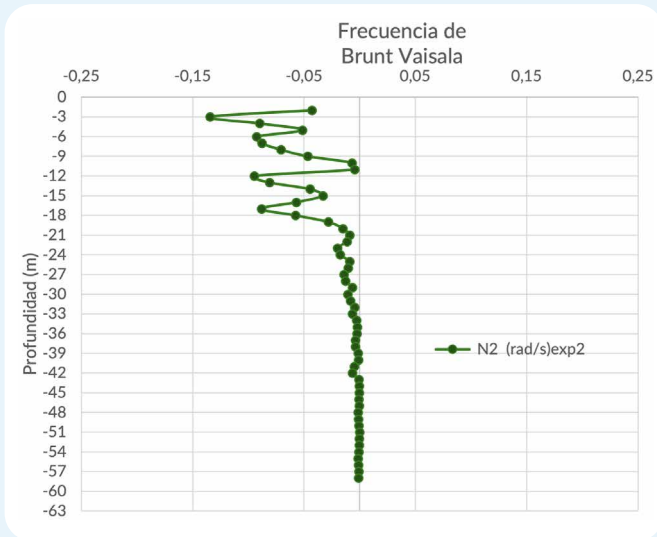


Figura 5. Perfiles oceanográficos del Seno Reloncaví, enero 9 2026, con variables obtenidas y calculadas; Temperatura y Salinidad, AOU, Fluorescencia de Clor a, y Oxígeno Disuelto y el ultimo grafico de Frecuencia de Brunt-Väisälä.

- N baja; agua muy estratificada, Capas bien diferenciadas en densidad. Implica estabilidad vertical, poca mezcla y alta probabilidad de retención de microalgas.
- N alto: agua mezclada o inestable. La densidad cambia poco con la profundidad y las masas de agua se mezclan más fácilmente.

- Integración de datos: Toda esta información se integra en línea con datos meteorológicos, oceanográficos y modelos, alimentando un sistema de inteligencia artificial entrenado para pronosticar blooms en barrios productivos específicos (2, 10, 17 y 32). Esta integración permite pasar del monitoreo descriptivo a un sistema de alerta temprana operacional.

- Colaboraciones: Desde hace más de dos años, trabajamos junto a la empresa emergente RetinaLab en el desarrollo de sistemas de monitoreo remoto y análisis automatizado, en una estrategia de innovación abierta orientada a encontrar soluciones aplicables a las condiciones reales de la acuicultura chilena.

- Biología Molecular. Con el objeto de utilizar técnicas moleculares para la identificación de las especies nos apoyamos con la institución de UK, llamada CEFAS y con la empresa chilena Codebreaker.

- Harbor Branch Oceanographic Institution: Tenemos un programa colaborativo con esta institución perteneciente a la Florida Atlantic University, en Fort Pierce, Florida, para investigar aplicaciones de tecnologías en el monitoreo en tiempo real de las FANs; a modo de ejemplo; usando imágenes multispectrales satelitales del color del mar, técnicas holográficas in situ e instrumentación bio-óptica aplicado en la acuicultura.

Predicción y capacidad de anticipación

La predicción de las FANs se basa en la integración de datos oceanográficos, biológicos y ambientales, los cuales son consolidados en tiempo real en la plataforma Azure de Microsoft. Esta infraestructura nos permite procesar grandes volúmenes de datos, entrenar modelos predictivos y generar alertas tempranas.

Nuestro modelo de *machine learning* BloomPredictor ha demostrado alguna capacidad de anticipación en escenarios reales. Por ejemplo:

- En 2022, logró anticipar con aproximadamente 48 horas de antelación una floración de *Pseudochattonella verruculosa*, permitiendo activar protocolos preventivos.
- En el bloom de *Heterosigma* ocurrido en el Archipiélago de Chiloé el mismo año, el sistema levantó una alerta naranja cuando el evento estaba en situación más crítica, en alerta roja. Este caso evidenció la importancia de combinar los modelos predictivos con interpretación experta, y refuerza nuestro enfoque de mejora continua de las metodologías, especialmente aumentando la frecuencia en espacio y tiempo.

En términos operativos, nuestras herramientas buscan entregar ventanas de anticipación de entre 24 y 72 horas, dependiendo de la especie y del régimen oceanográfico local, lo que es crítico para la planificación de medidas de mitigación y resguardo productivo.

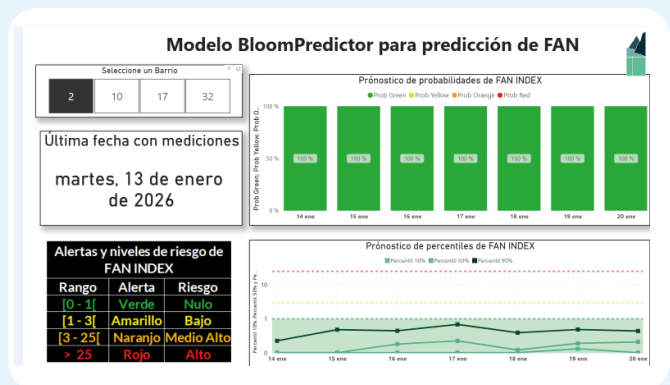


Figura 6. Resultados del modelo de Pronóstico del FAN INDEX para algunos barrios del sur de Chile.

Validación científica y operacional

Plancton Andino respalda sus soluciones con evidencia científica, técnica y operacional. Recientemente, presentamos cinco trabajos en la conferencia internacional ICHA 2025, abordando:

1 Saez S. *et al.* 2025. ADICFito: A Platform for Public Engagement and AI-Supported Taxonomic Awareness in HAB Monitoring. Clasificación de imágenes de fitoplancton mediante inteligencia artificial y de apoyo al monitoreo de algas nocivas.

2 Latorre L. *et al.* 2025. *Identification of Pseudo-nitzschia species using rRNA (Nanopore technology) in Southern Chile.* Aplicación de análisis de ARNr para identificación precisa de especies nocivas del género *Pseudo-nitzschia*, diatomeas productoras de VAM.

3 Clément A. *et al.* 2025. Evaluating 37 Years of Harmful Algal Blooms in Southern Chile. Un completo estudio de series de tiempo sobre la dinámica de las FANs, analizando aspectos de sesgo estadístico y percepciones de las personas de los blooms.

4 Correa N. *et al.* 2025. Real-Time Monitoring of Harmful Algae: SAMS Validation Against Optical Microscopy and FlowCam Technologies. Este trabajo realizado en conjunto con los inventores del SAMS (= *Self-driven Algae Monitoring System*) de Retina Lab y los profesionales expertos de Plancton Andino, con el fin de demostrar de las bondades de este sistema robótico y automático de monitoreo en tiempo real de fitoplancton.

5 Jorquera A. *et al.* 2025 *BloomPredictor: Integrating AI and Ecological Data for Harmful Algal Bloom Risk Prediction*. Validaciones del modelo *BloomPredictor* en escenarios reales. Estos resultados respaldan científicamente el desempeño de nuestras soluciones y su impacto en la toma de decisiones operativas.

Estos estudios demuestran que nuestras herramientas no solo funcionan en condiciones de laboratorio, sino que son aplicables en entornos operativos reales, apoyando la toma de decisiones en contextos de alta incertidumbre.

El impacto se ha medido en la toma de decisiones operativas, con el *feedback* de los clientes y métricas de análisis.

Impacto en la gestión del riesgo

Hemos desarrollado el FAN INDEX, un algoritmo e indicador de riesgo que calcula el valor integrado en la columna de agua, considerando efectos sinérgicos y la abundancia de algas nocivas, además utiliza la proporción de valores críticos de las especies nocivas, con factores de ponderación, abundancia del fitoplancton total y de las algas nocivas (Clément *et al* 2018). Este índice apoya a gerencias y equipos productivos en:

- Comparar niveles de riesgo en base a un valor estándar que incluye efectos sinérgicos.
- Priorización de acciones en los distintos centros con mapas temáticos en línea.
- Escalas de alertas; verde, amarillas y rojas. Activación de protocolos de contingencia.

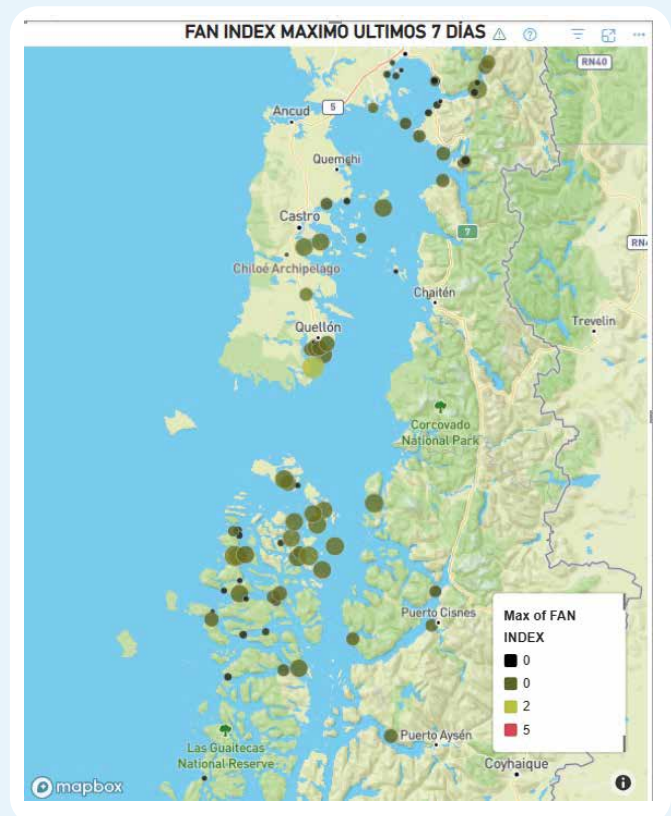
Los principales atributos de Plancton Andino son la experiencia, conocimiento científico y técnico del problema biológico, entregando calidad y confiabilidad de la información, especialmente en escenarios críticos, a través del POAS, Programa Oceanográfico y Ambiental en Salmónidos. Este programa informa de la distribución espacio temporal de las abundancias de algas nocivas, de unos 60 centros semanales, en la marco región sur. Sus resultados son compartidos en portales específicos, usando inteligencia de negocios y en una aplicación para *Smartphones*. Los informes periódicos permiten informar a los clientes de aquellos lugares con más riesgos. Lo anterior está conectado a métricas de análisis e indicadores

Se han llevado a cabo diversas experiencias tanto con proveedores de ingeniería enfocados en medidas de mitigación como con empresas salmoneras. Consideramos que una gestión de riesgos efectiva requiere optimizar estas actividades a través de múltiples ensayos en el mar para validar las medidas de mitigación, especialmente desde el enfoque ingenieril, así como

incorporar estrategias para proteger las branquias mediante alimentos especializados. Es importante destacar que cada centro de cultivo presenta características particulares, debido a variaciones en cohortes, biomasa y condiciones logísticas u operativas; por ello, resulta fundamental disponer de planes de mitigación adaptados específicamente a cada centro.

Los principales atributos de Plancton Andino son la experiencia, conocimiento científico y técnico del problema biológico, entregando calidad y confiabilidad de la información, especialmente en escenarios críticos, a través del POAS, Programa Oceanográfico y Ambiental en Salmónidos. Este programa informa de la distribución espacio temporal de las abundancias de algas nocivas, de unos 60 centros semanales, en la marco región sur. Sus resultados son compartidos en portales específicos, usando inteligencia de negocios y en una aplicación para *Smartphones*. Los informes periódicos permiten informar a los clientes de aquellos lugares con más riesgos. Lo anterior está conectado a métricas de análisis e indicadores

Se han llevado a cabo diversas experiencias tanto con proveedores de ingeniería enfocados en medidas de mitigación como con empresas salmoneras. Consideramos que una gestión de riesgos efectiva requiere optimizar estas actividades a través de múltiples ensayos en el mar para validar las medidas de mitigación, especialmente desde el enfoque ingenieril, así como incorporar estrategias para proteger las branquias mediante alimentos especializados. Es importante destacar que cada centro de cultivo presenta características particulares, debido a variaciones en cohortes, biomasa y condiciones logísticas u operativas; por ello, resulta fundamental disponer de planes de mitigación adaptados específicamente a cada centro.



Detección de veneno paralizante (y *Alexandrium catenella*) rápida, eficiente y ahora producida desde Chile para el mundo

Autores:

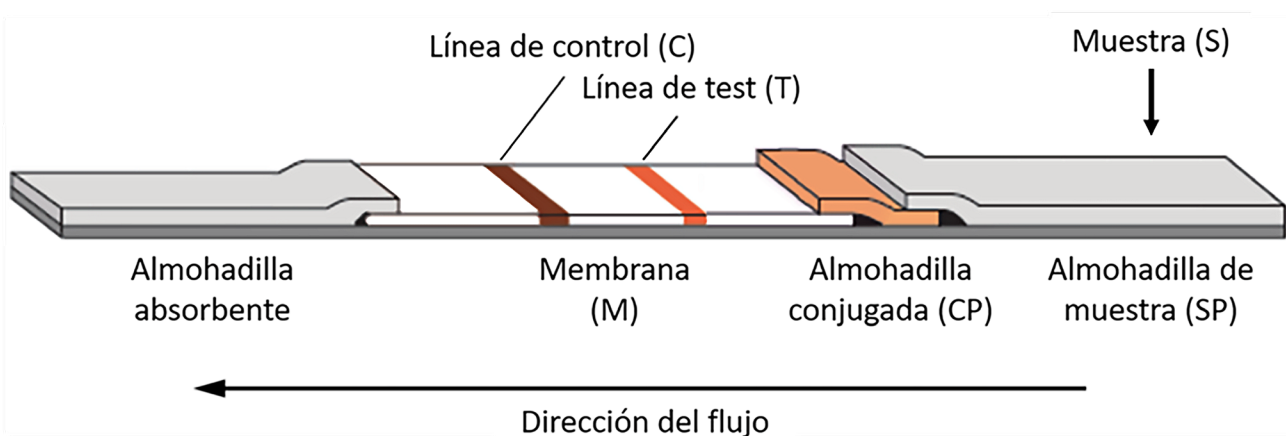
David Cassis: Director Ejecutivo, PhD y MSc en oceanografía, davidcassis@aquabc.cl

Sylvana Galaz: Lab Manager, Bióloga marina, sylvanagalaz@aquabc.cl

En las frías y revueltas aguas al sur de Quellón se mece un buque construido especialmente para una tarea inusual, no transporta autos o containers de fruta refrigerada, sino que peces vivos en piscinas gigantes. Es un wellboat, uno de los muchos que en la actualidad surcan las aguas entre las pisciculturas y plantas de proceso de la Región de Los Lagos y los centros de cultivo en Aysén y Magallanes, transportando pequeños salmones que serán introducidos al cultivo en mar o los grandes adultos de cosecha. El capitán mira preocupado como un pequeño grupo trabaja en cubierta, primero sacando una muestra desde una bodega y luego de otra. Esta actividad es seguida por una tensa espera en la pequeña sala donde se guarda el microscopio... encontrarán Alexandrium? Si se detecta esa pequeña microalga que puede generar graves problemas para regiones completas, el wellboat tendrá que alargar su viaje en varias horas a algunos días, lo que puede aumentar fuertemente los costos de transporte y generar más estrés a los peces.

Para mantener a los peces vivos durante este transporte que puede durar hasta una semana, estos buques cuentan con sistemas de captación de agua de mar, así como de aireación y filtración interna que les permiten reutilizar esta agua por períodos cortos de tiempo. Dado que estas grandes piscinas son llenadas con agua marina se corre el riesgo que puedan contener y transportar células de *Alexandrium catenella*, la temida “marea roja” que produce veneno paralizante que es acumulado por mariscos, y también puede producir toxinas y especies reactivas de oxígeno que pueden afectar a los peces. Esta especie de microalgas ha sido denominada una plaga hidrobiológica por la **Subsecretaría de Pesca y Acuicultura**, por lo que su transporte se encuentra prohibido.

Por estas regulaciones se efectúa un monitoreo preventivo en las aguas al sur de Quellón, con lo que se busca evitar la entrada de esta “plaga” en aguas de la Región de Los Lagos. Para efectuar este monitoreo, personal especializado debe abordar el wellboat y obtener muestras de agua desde las bodegas, las que son concentradas en redes para fitoplancton y luego analizadas bajo el microscopio a bordo o en oficinas en Quellón. Si las muestras son negativas el wellboat puede continuar sin reparos, pero si las muestras contienen células de *Alexandrium*, el wellboat deberá ir a una zona declarada libre de esta microalga y efectuar recambios de agua antes de volver al punto de control.



Estos recambios pueden aumentar el tiempo de navegación significativamente, lo que además de aumentar el costo operativo de estas naves, puede también producir un mayor stress en los peces siendo transportados y generar mortalidades y bajas en la calidad del producto final.

Muchos de estos costos se podrían evitar si hubiera una forma simple y rápida de saber si existe *Alexandrium* en las bodegas antes de llegar al punto de control. Un sistema que no necesite observación especializada mediante microscopio en las aguas agitadas de Aysén. Una herramienta sencilla que siga los lineamientos de muestreo de **Sernapesca** y que tenga la misma sensibilidad que el análisis por microscopía.

En **AquaBC** estamos desarrollando la respuesta! Desde 2014 hemos estado trabajando con tests rápidos que producía la compañía canadiense **Scotia Rapid Testing** (ex Jellett Rapid Testing), la cual adquirimos hace 5 años y ahora contamos con la tecnología para producir tests rápidos para la detección simple y fiable de biotoxinas en mariscos y en agua hecha en Chile. Con el afán de mejorar nuestros tests en 2018 y 2021 hicimos pruebas iniciales a bordo de *wellboats* y el 2024 participamos con resultados sobresalientes en una comparación internacional de tests rápidos conducida por **Cefas** en Inglaterra, desarrollando ese mismo año los tests para detección de VDM (ácido okadaico), completando nuestra cartera de tests para las toxinas marinas más comunes.

La gran mayoría de tests rápidos están basados en técnicas que utilizan anticuerpos (ELISA) las que pueden ser muy sensibles y específicas pero requieren técnicas y materiales de laboratorio ya que no son fáciles de utilizar. Por esto la solución práctica y simple que utilizamos en **AquaBC** es una forma sólida de ELISA llamada inmunocromatografía de flujo lateral (LFI). Ésta es la misma tecnología simple, fácil de usar y muy confiable que utilizan los tests de embarazo y Covid.

Los dispositivos de flujo lateral (LFI) funcionan como línea de transporte donde la muestra, tras ser mezclada con una solución reguladora (buffer), se desplaza de forma autónoma a través de distintas secciones diseñadas para activar reacciones químicas específicas.

Durante este trayecto la muestra interactúa con anticuerpos y el resultado se manifiesta visualmente mediante dos señales: la línea de prueba (T), que indica la detección de las toxinas, y la línea de control (C) que confirma que el test es viable y que el resultado obtenido es técnicamente confiable.

Los dispositivos LFI se dividen principalmente en dos formatos. El más común es el directo (empleado en pruebas de antígenos), donde la aparición de la línea de prueba (T) confirma la presencia del analito. En contraste, los tests de **AquaBC** para biotoxinas marinas operan bajo un formato competitivo. En este modelo, la línea T se

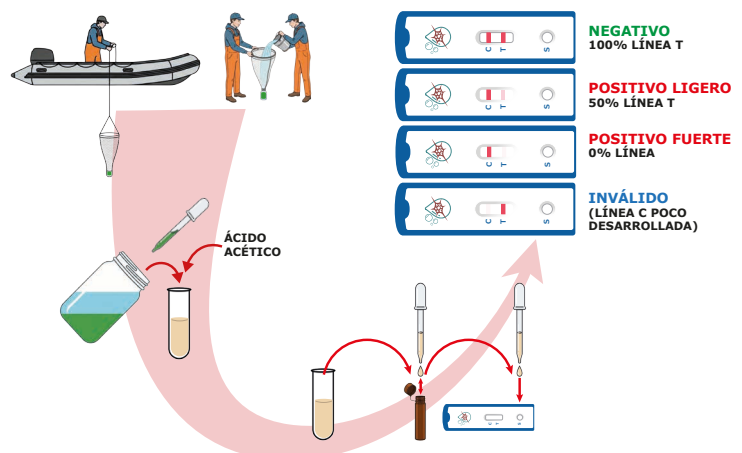
desarrolla solo cuando la toxina está ausente; si ésta está presente entonces bloquea la señal de color. Así, la ausencia o baja intensidad de la línea T indica un resultado positivo, permitiendo una estimación semicuantitativa según la fuerza de la señal visual.

AquaBC ha optado por el formato competitivo debido a su capacidad para ofrecer una respuesta gradual, ideal para la cuantificación precisa mediante lectores digitales. Esta tecnología permite implementar un sistema de alertas estratificado (tipo semáforo), facilitando la toma de decisiones críticas. Además, este formato ofrece una flexibilidad superior para incrementar la sensibilidad según los requerimientos operativos a bordo de *wellboats*. Actualmente, desarrollamos protocolos y programas de lectura de alta sensibilidad con el objetivo de detectar trazas de toxinas equivalentes a una concentración de tan solo una célula por mililitro.

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.

Nuestro enfoque para los próximos dos años estará centrado en dos ejes: innovaciones basadas en la tecnología LFI para diversificar los analitos objetivo con nuevos tests para toxinas de agua dulce, enfermedades de salmónidos y estresantes ambientales, entre otros, y el desarrollo de sistemas autónomos de monitoreo para alerta temprana.

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.





Fernando Cáceres, CEO de InfoSALMON
Foto: InfoSALMON

RAS toma el protagonismo: *alta asistencia y cierre exitoso de seminario organizado por InfoSALMON en Puerto Montt*

Equipo Editorial
InfoSALMON

Con exposiciones de alto nivel, amplia convocatoria de autoridades, empresas y academia, y un fuerte enfoque en sostenibilidad y tecnología, el Seminario RAS en Chile y el Mundo —organizado por InfoSALMON— cerró con un balance extraordinariamente positivo, reafirmandose como el principal punto de encuentro para la acuicultura recirculada en el país.

InfoSALMON cerró el año con un evento que marcó pauta en la industria acuícola. Con más de 200 personas, 14 expositores, 10 panelistas y un showroom con alrededor de 15 empresas, el Hotel Courtyard se convirtió en el epicentro de la tecnología RAS, captando la atención de autoridades, empresas y profesionales del sector.

Con positivo balance culmina Seminario RAS

Al finalizar la jornada los organizadores y participantes al evento, evaluaron positivamente el encuentro entorno al RAS. Fernando Cáceres, CEO de InfoSALMON, realizó un balance muy positivo del Seminario RAS en Chile y el



Panel RAS el futuro de la salmonicultura cerró la jornada.
Foto: InfoSALMON

Mundo, señalando que “este evento reafirma nuestro compromiso de generar instancias de conocimiento, intercambio y difusión de innovación para la industria del salmón, mostrando cómo Chile se posiciona a la vanguardia en el desarrollo de sistemas RAS y acuicultura sostenible”.

Según Cáceres, la alta concurrencia y la calidad de las exposiciones confirman que el seminario se ha consolidado como un espacio clave para la industria.

“Ver a representantes del sector público, empresas y académicos reunidos en torno a la innovación en RAS demuestra que Chile está avanzando hacia una acuicultura más sostenible, tecnológica y resiliente, y nos motiva a continuar generando espacios de transferencia de conocimiento que impulsen toda la industria”, destacó Cáceres.

RAS: Una Visión Compartida para el Futuro de la Acuicultura

Sergio Bustamante, gerente de FARMING INVERMAR, quien además fue expositor, se refirió al resultado del encuentro RAS “son pocas las oportunidades en que distintos actores podemos reunirnos y escuchar una mirada integral de lo que está ocurriendo, y eso es muy valioso. Para nosotros, contar nuestra historia desde la perspectiva del productor nos permite poner en valor lo que hacemos, y que las personas se informen directamente por nuestra voz y no por otras vías. Eso se agradece mucho. Además, es grato escuchar que los demás actores comparten una visión bastante similar; eso indica que no podemos estar

todos equivocados. El RAS es el camino. En nuestro caso, ya tenemos el cien por ciento de la producción de Atlántico en RAS, y ahora avanzamos hacia el Coho en este mismo sistema.”

A su vez, desde el espacio público, Mónica Rojas, subdirectora de Acuicultura en el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Sernapesca, destacó el valor y oportunidad de la jornada, «el nexo y vinculación entre organismos públicos como Sernapesca y la industria, es fundamental para que podamos avanzar en regulaciones que se hagan cargo del desarrollo apropiado de este tipo de innovación. Asimismo, agregó que el RAS es una alternativa fundamental para el desarrollo sostenible futuro de la acuicultura».

InfoSALMON mira el 2026

Luego de esta experiencia, InfoSALMON, ya ha anunciado sus proyectos para el 2026 en el campo de los eventos técnicos, que consideran la presencia en Santiago y otras regiones del país.



Sergio Bustamante, gerente de FARMING INVERMAR.
Foto: InfoSALMON

Tecnología que Protege el Presente y Transforma el Futuro

Soluciones y Servicios 2025

Somos Inclusive Group

Protegemos, conectamos y automatizamos sectores estratégicos como la industria agrícola, solar y acuícola.

Inclusive Group es líder en soluciones de seguridad, energía e inteligencia artificial, integrando tecnologías de vanguardia con un enfoque 100% operativo e innovador para entornos críticos y de alta exigencia.

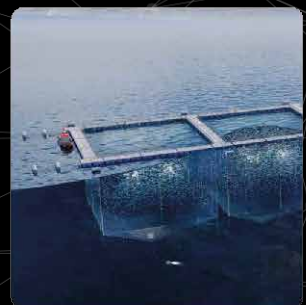
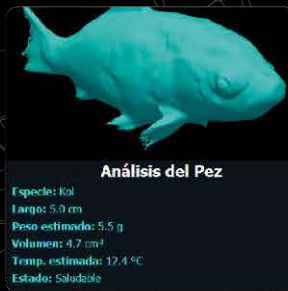
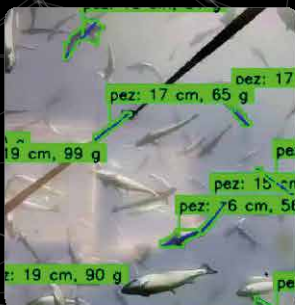
Tecnología avanzada para la industria acuícola

Implementamos sistemas de visión térmica, modelamiento 3D y análisis inteligente para controlar y optimizar operaciones en centros de cultivo.

Desde detección de intrusos hasta estimación en tiempo real de biomasa.

Desarrollamos IVI, un sistema de visión inteligente adaptado al entorno acuícola:

más control, menos incertidumbre, cero improvisación.



Compromiso certificado con la calidad, el medioambiente y la seguridad

Contamos con certificaciones internacionales que respaldan la excelencia en cada etapa de nuestros servicios. Nuestra operación cumple con los más altos estándares de gestión, seguridad y sostenibilidad, verificados por auditorías externas.

Nuestras Certificaciones



ISO 9001:2015 Gestión de la Calidad

Diseño, construcción y mantenimiento de sistemas de vigilancia remota para plantas solares y sistemas de alarma.



ISO 14001:2015 Gestión Ambiental

Operación sustentable con enfoque en el cuidado del entorno y eficiencia energética.



ISO 45001:2018 Seguridad y Salud en el Trabajo

Entornos de trabajo seguros, protocolos OSH y prevención activa de riesgos.

Monitoreo 24/7 de última generación:

Nuestra central está equipada con CCTV inteligente e IA avanzada, permitiendo una detección instantánea, precisa y remota de amenazas en tiempo real. Tecnología pensada para anticiparse al delito.

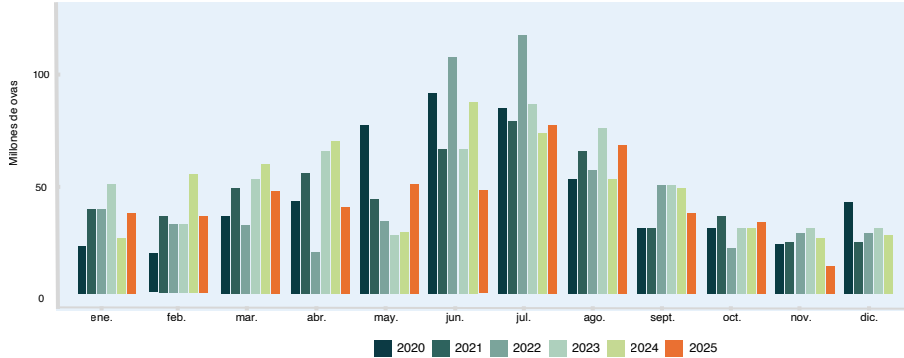


Indicadores Productivos

Este informe está elaborado en colaboración con **Aquabench**.
Corresponde a un balance productivo actualizado a septiembre de 2025.

Número de ovas totales producidas. Total especies

Comparación anual. Fuente: Sernapesca

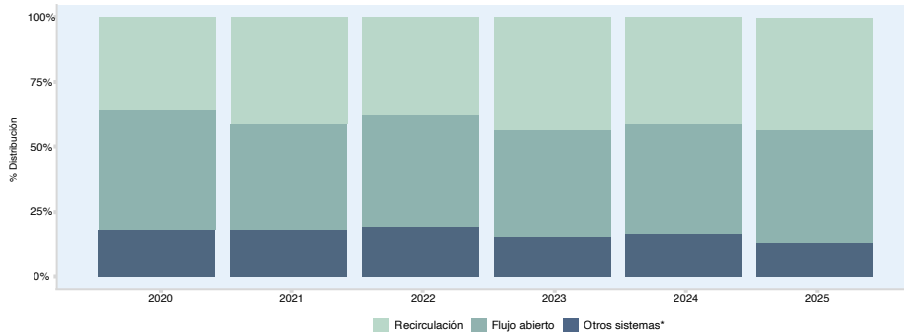


Ovas totales por año

2020: 596.89 Millones
2021: 588.12 Millones
2022: 606.08 Millones
2023: 642.84 Millones
2024: 629.83 Millones
2025: 534.72 Millones

% Distribución ingresos por tipo tecnología. Total especies

Periodo 2020 - noviembre 2025. Fuente SD Salmobench



Otros sistemas*: Reuso, Estuario, Lago y Mix

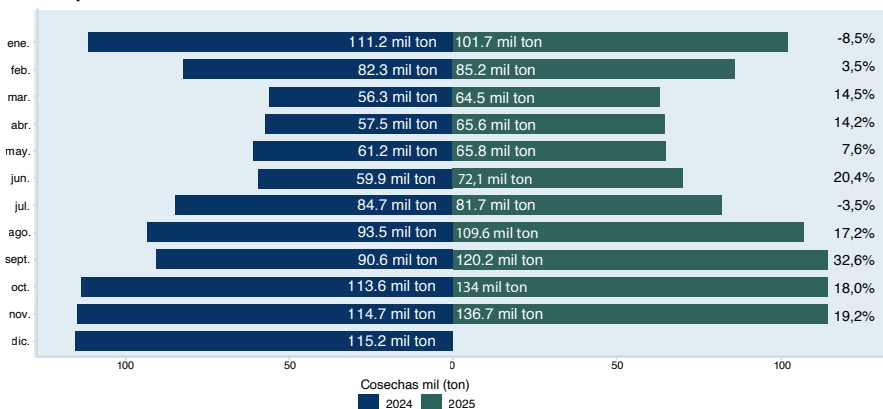
Smolt ingresados por especie a noviembre 2025

Coho: 68.01 Millones
Salar: 161.61 Millones
Trucha: 16.53 Millones

Total: 246.15 Millones

Toneladas cosechadas

Comparación anual. Periodo 2024 - noviembre 2025. Fuente: SD Salmobench



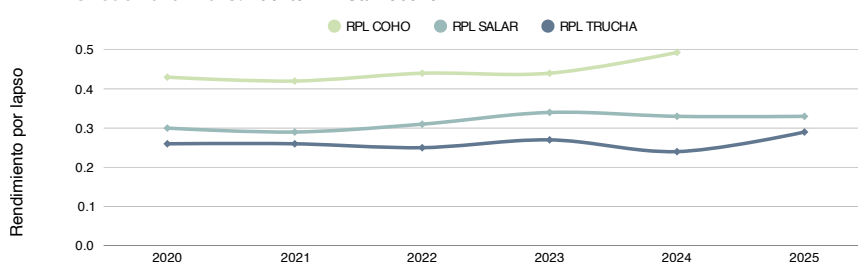
Cosecha total por año

2020: 1,069,8 Miles
2021: 989,1 Miles
2022: 1,069,7 Miles
2023: 1,112,4 Miles
2024: 1,040,6 Miles
2025: 1,036,9 Miles

Dif ene-nov 24/25: 12,1%

Rendimiento por Lapso por Especie (RPL)

Periodo 2020 - 2025. Fuente: BD Salmobench



Rendimiento por Lapso por Especie 2025

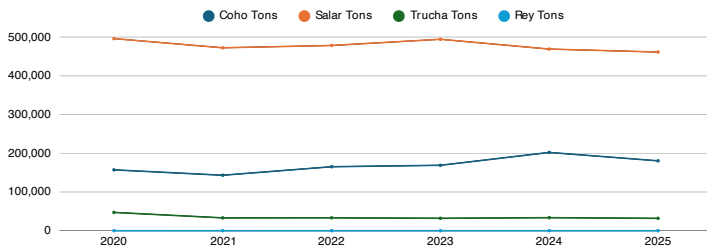
Coho: Sin ciclos cerrados
Salar: 0,33
Trucha: 0,29

Este informe está elaborado en colaboración con **Aquabench**.
Corresponde a un balance productivo actualizado a septiembre de 2025.

Exportaciones de Salmón por Especie.

Fuente: Aduanas

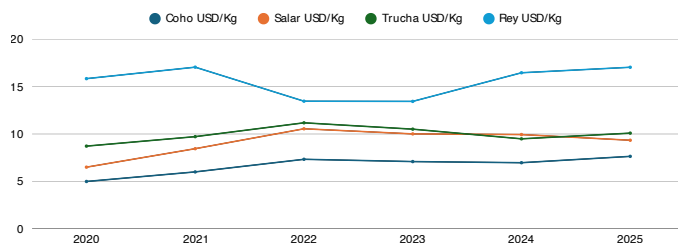
Toneladas Exportadas



Año	Coho Tons	Salar Tons	Trucha Tons	Rey Tons	Total Tons*
2020	157.146	495.987	47.255	63	700.452
2021	143.241	472.299	33.169	45	648.754
2022	165.215	478.409	33.340	14	676.978
2023	168.933	494.285	32.052	11	695.280
2024	202.098	468.999	33.709	26	704.832
2025	180.436	461.321	31.943	35	673.735

*Toneladas Netas. Datos a noviembre 2025

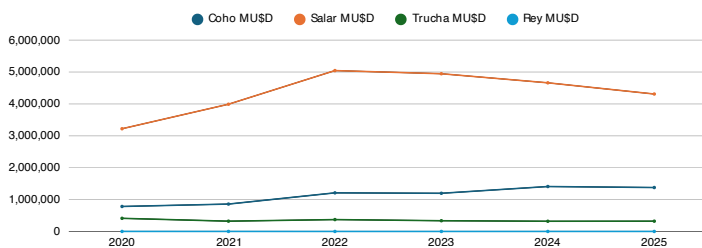
Precio Promedio



Año	Coho USD/Kg	Salar USD/Kg	Trucha USD/Kg	Rey USD/Kg
2020	4,99	6,50	8,72	15,84
2021	6,00	8,45	9,72	17,05
2022	7,33	10,55	11,18	13,46
2023	7,09	10,01	10,51	13,44
2024	6,97	9,94	9,49	16,46
2025	7,64	9,34	10,09	17,04

*Datos a noviembre 2025

Valor Exportado



Año	Coho MUSD	Salar MUSD	Trucha MUSD	Rey MUSD	Total MUSD
2020	783,684	3,221,514	412,030	996	4,418,224
2021	859,040	3,990,449	322,546	767	5,172,802
2022	1,211,025	5,045,843	372,713	191	6,629,772
2023	1,197,238	4,946,654	336,744	145	6,480,781
2024	1,409,469	4,662,122	319,912	425	6,391,928
2025	1,377,959	4,310,584	322,351	600	6,011,494

*Datos a noviembre 2025

Comparativo acumulado 24 v/s 25

Año	Coho			Salar			Trucha			Rey			Total		
	Tons	USD	USD/Kg	Tons	USD	USD/Kg	Tons	USD	USD/Kg	Tons	USD	USD/Kg	Tons	USD	USD/Kg
2024	176.343	1,219,413	6,92	430.172	4,276,032	10,07	31.269	294,067	9,40	23.7	389	16,40	637.807	5,789,900	9,08
2025	180.436	1,377,959	7,64	461.321	4,310,584	9,68	31.943	322,351	10,09	35.2	600	17,04	673.735	6,011,494	8,92
Dif (%)	2,3%	13,0%	10,4%	7,2%	0,8%	-6,0%	2,2%	9,6%	7,3%	48,5%	54,3%	3,9%	5,6%	3,8%	-1,7%

Este informe está elaborado en colaboración con **Aquabench**.
Corresponde a un balance productivo actualizado a septiembre de 2025.

Ranking de Exportadores

Ranking	Razón Social	Net Tons	(%)
1	Empresas Aquachile S.A	89.554	19,41%
2	Salmones Multiexport S.A.	44.395	9,62%
3	Marine Harvest Chile S.A.	37.607	8,15%
4	C.M Chiloé Ltda.	37.505	8,13%
5	Salmones Blumar S.A.	35.799	7,76%
6	Salmones Camanchaca S.A.	30.841	6,69%
7	Australis Mar S.A.	21.733	4,71%
8	Trusal S.A.	17.286	3,75%
9	Cultivos Yadrán S.A.	17.280	3,75%
10	Pesquera Los Fiordos Ltda.	17.008	3,69%
11	Ventisqueros S.A.	12.485	2,71%
12	Granja Marina Tornagaleones S.A.	11.951	2,59%
13	Invertec S.A.	8.789	1,91%
14	Salmones Cupquelan S.A.	8.333	1,81%
15	Servicios de Acuicultura Acuimag S.A.	254	0,05%
	Otras compañías	70.501	15,28%
	Salmon Atlántico por Razón Social	461.321	100%

AQUABENCH®
Análisis & Asesorías



Salmobench



Proyectos



Auditorías



Applied Research



Data Analytics

Más de 18 años entregando valor a los datos

Somos una empresa que brinda soporte para el desarrollo de la salmonicultura. Contamos con datos productivos y con la capacidad para realizar análisis relevantes para nuestros clientes.

+10

Proyectos

+60

Empresas
Clientes

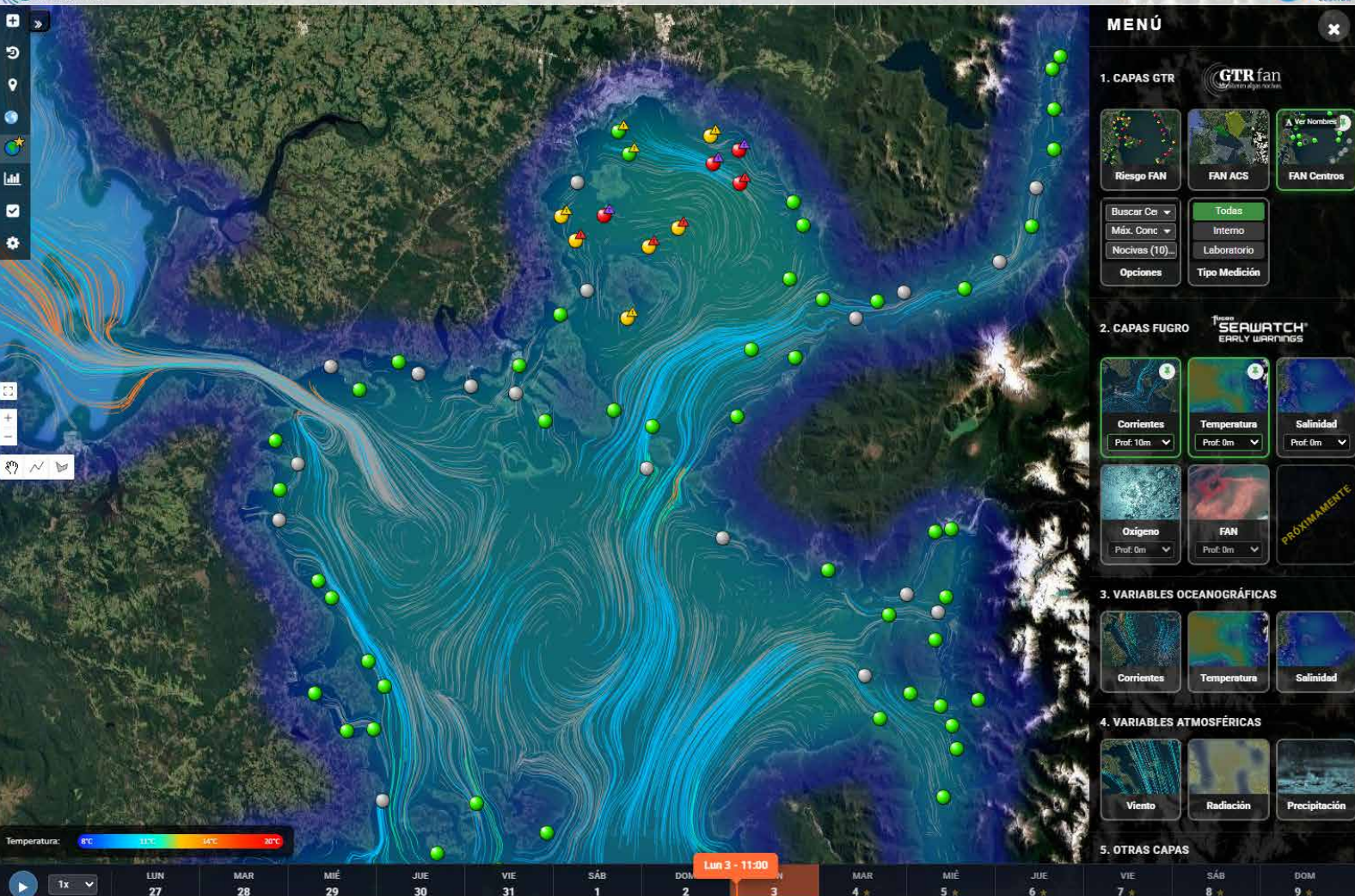
+15

Años experiencia
Aquabench®

+28

Equipo
Aquabench®

www.aquabench.com



GTR FAN: Infraestructura digital para la comprensión, gestión y riesgo FAN

La necesidad de comprender el entorno productivo más allá de cada CES ha cobrado creciente relevancia en la acuicultura. En este contexto, GTR FAN se posiciona como una herramienta digital que integra información ambiental, operacional y oceanográfica en un entorno único de visualización, facilitando el control, gestión y análisis para la toma de decisiones.

GTR FAN permite a los usuarios acceder de manera simple y oportuna a información relevante de su ACS, fortaleciendo la comprensión de lo que ocurre en su entorno cercano y ampliando, de forma colaborativa y privada, la red de observación ambiental. Esto contribuye a evaluaciones de riesgo más precisas y a proyecciones ajustadas mediante parámetros definidos por cada cliente, incluso a nivel de centro.

En su evolución más reciente, la plataforma incorpora nuevas capas de riesgo, modelos y capacidades de análisis avanzadas, orientadas a fortalecer una gestión anticipatoria en escenarios ambientales dinámicos. Como parte de un portafolio más amplio de soluciones tecnológicas, esta versión refuerza su posición como herramienta estratégica para la gestión FAN.

www.gtrgestion.com
 Contacto @veterfish.com
 Santa Augusta 30
 PUERTO VARAS



AQUASUR

24_26 marzo 2026
Región de Los Lagos, Chile

El evento acuícola más importante del hemisferio sur

90%
Espacios
Vendidos

EXHIBICIÓN + NETWORKING + CONGRESO INTERNACIONAL

Asegura tu visita hoy y conecta
con **la industria acuícola del mañana**



CONSIGUE TU
TICKET AQUÍ



Para más información:
+56 9 4481 6922 / info@aqua-sur.cl
www.aqua-sur.cl

[aquasur](#) [aquasurchile](#)

MAJESTAD
cmpe

FEDEPESCA
SalmonChile

endeavor

ORGANIZA Y PROMUEVE
Fisa

SALMOFOOD 



RECOVER

Ofrece a los peces una protección avanzada, activando mecanismos naturales de defensa y reparación frente a las agresiones de amebas, microalgas e infecciones.

Cuida la salud de tus peces y optimiza tu producción con este innovador producto.