

ANÁLISIS SOBRE LOS EFECTOS DE LA SALMONICULTURA, Y SU RELACIÓN CON LA MAREA ROJA EN EL SUR DE CHILE

ANALYSIS ON THE EFFECTS OF SALMON FARMING, AND ITS RELATIONSHIP WITH THE RED TIDE IN SOUTHERN CHILE

Dufftin Moreno • Rodrigo Núñez • Felipe Guaquin • Felipe Levicoy
 Profesores Guías: María José Vargas • Carlos Duque
 Liceo Salesiano San José • Punta Arenas
 maria.vargas@liceosanjose.cl

Resumen

Esta investigación es parte de la preparación del concurso de debate científico Explora bajo la siguiente hipótesis: ¿Es posible que la industria del salmón haya causado la marea roja en el sur de Chile en 2016? Sobre la base de la evidencia científica, estudiamos la posible relación entre la actividad de la industria del salmón y el fenómeno de la marea roja. La evidencia obtenida de la investigación bibliográfica indica que la acumulación de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo en el fondo marino, las condiciones de las corrientes marinas y el control limitado sobre la acumulación de los desechos industriales de esta industria fueron factores determinantes que afectaron el medio ambiente de la zona sur de Chile. Por lo tanto, las alteraciones ambientales producidas por la industria del salmón constituyen una base sólida para futuros estudios tendientes a demostrar que la magnitud de los cambios ambientales podría desencadenar o facilitar la generación de la marea roja.

Palabras claves: Salmonicultura; Marea roja; Florecimiento de algas nocivas; Sur de Chile.

Abstract

This research is part of the preparation of the Explora scientific debate contest under the following hypothesis: Is it possible that the salmon industry has caused the red tide in southern Chile in 2016? Based on the scientific evidence, we studied the possible relationship between the activity of the salmon industry and the phenomenon of the red tide. The evidence obtained from the literature research indicates that the accumulation of nutrients, such as nitrogen and phosphorus in the seabed, the conditions of marine currents, and the limited control over the accumulation of the industrial waste of this industry were determining factors affecting the environmental in the southern zone of Chile. Therefore, the environmental alterations produced by the salmon industry constitute a solid base for future studies aimed at demonstrating that the magnitude of environmental changes could trigger or facilitate the generation of red tide.

Keywords: Salmon farming; Red tide; Noxious algal bloom; Southern Chile.

El proyecto fue presentado en:

- I Torneo de Debate en Ciencia y Tecnología. Magallanes 2017.



Introducción

Esta investigación surge bajo el contexto de la preparación para el torneo regional de Explora Magallanes bajo la siguiente Hipótesis: ¿Es posible que la salmonicultura haya causado la marea roja en el sur de Chile?

Es sabido que la industria de salmónidos en Chile ha experimentado un crecimiento en su productividad de manera acelerada, lo cual lo ha convertido en el segundo productor mundial del salmón. Sin embargo, a medida que aumentan los ingresos y las nuevas posibilidades de desarrollo del sector, también lo hacen las dudas respecto a sus impactos en el medio ambiente. Los acuicultores de salmónidos aseguran que su actividad se ajusta amigablemente a los ecosistemas de los que se abastece de insumos, mientras sus competidores internacionales insisten en amenazarlos de dumping ambiental.

Actualmente, las aguas costeras de la región de los Lagos están en el centro de las miradas de ambientalistas, biólogos marinos, científicos y personas debido al vertimiento de miles de toneladas de salmones muertos y en descomposición en el mar causando un daño ambiental, social y económico en la zona debido a la marea roja. Si bien la marea roja o las floraciones de algas nocivas (FANs) son un fenómeno natural que ocurre en la mayoría de los océanos del mundo, su recurrente aparición en los mares interiores del sur de Chile nos hace pensar que la floración de estas microalgas y el impacto que causó últimamente no se debe únicamente a factores medioambientales naturales.

Un aspecto interesante que surge de esta investigación vinculado al debate, es la opinión de los ciudadanos

afectados de por la marea roja a través de una encuesta de percepción ciudadana realizada por la Universidad de los Lagos. En esta se obtuvo que el 49,8% de los consultados considera a la industria salmonicultora como la responsable de la crisis ambiental en el mar, y hay otro 50,2% que no lo hizo (Schmidt, 2016).

A partir de los resultados, Oscar Garay vicepresidente de la Asociación de Salmonicultores de Magallanes, dijo no sentirse extrañado por estos resultados, especialmente porque *“se mezclan temas como la operación de la industria, la desconfianza en las autoridades, en políticos, en las empresas en general y el fenómeno de la marea roja. Si a eso se suma el nivel de desconocimiento que existe sobre la actividad, la desinformación que los detractores ponen a circular en las redes y lo mal que lo hemos hecho comunicacionalmente para dar a conocer el aporte e impacto de la actividad, se tiene el cóctel perfecto para una pésima imagen de la salmonicultura”*, argumentó (El Llanquihue, 2016).

Mientras que Jorge Weil, doctor en Ciencias Económicas de la Universidad de París, consideró bajo ese 49,8%. *“La razón por la que se produjo el bloom de algas y la marea roja es responsabilidad de las salmonicultoras”*, expuso en forma categórica (El Llanquihue, 2016).

Es por esto que mediante este trabajo nos proponemos como objetivo general el siguiente: Demostrar a partir de distintos estudios que la salmonicultura fue un factor detonante en los efectos ambientales producidos por la marea roja en la zona de la Región de Los Lagos.



Para responder a este objetivo general, planteamos los siguientes objetivos específicos:

- A) Describir la teoría asociada al efecto medio ambiental de los desechos y nutrientes de la actividad de la industria del salmón, a partir de distintos autores y distintas áreas.
- B) Relacionar la teoría descrita en el objetivo anterior con la problemática en Chile.
- C) Analizar casos representativos de la marea roja en el sur de Chile.

Estado del arte

Los impactos medioambientales vinculados a la eutrofización del mar producto de los alimentos y desechos utilizados en el cultivo de peces.

Las prácticas habituales que se utilizan para el cultivo de peces impactan en el medio ambiente a través de distintas formas. Una de ellas es la alimentación de los salmones, la que interviene, tanto en la columna de agua como al fondo marino: a través del alimento no consumido que es altamente proteico y a través de los desechos de los peces. Las investigaciones que se recopilan en este estudio han detectado que este último fenómeno afecta aumentando la cantidad de nitrógeno y fósforo de los sistemas acuáticos, disminuyendo el oxígeno disponible, generando eutrofización, estimulando la aparición de algunos organismos y la ausencia de otros, y alterando gravemente los ecosistemas acuáticos (Buschmann y Fortt, 2005).

El uso de recursos y el proceso de producción de la actividad acuícola tienen diversos efectos sobre el medio ambiente (Figura N° 1) (Buschmann y Fortt, 2005). Por una parte los desechos de la salmonicultura u otra actividad acuícola producen efectos tanto en la columna de agua como en el fondo de las instalaciones de cultivo. Los productos de la excreción de los organismos en cultivo son dispersados por las corrientes, en tanto que los sólidos, como el alimento no ingerido y heces, se depositan en el fondo de lagos y zonas costeras (Folke y Kaultky, 1989; Buschmann y Fortt, 2005). Durante el proceso de sedimentación, las partículas pueden ser consumidas por peces silvestres descompuestas en unas aún más finas. La actividad microbiana permite que los diferentes nutrientes se solubilicen. La cantidad y velocidad de descomposición y solubilización depende de factores como la velocidad de corrientes, temperatura del agua y propiedades físico-químicas de las partículas, entre otros. Además, en sitios con depósitos de materia orgánica se generan nutrientes disueltos hacia la columna de agua.

Al alimentar a los salmones en cultivo, alrededor de un 75% de nitrógeno, fósforo y carbono ingresado al sistema por medio del alimento, se pierde como alimento no capturado, fecas no digeridas y otros productos de excreción. Solo un 25% se recupera al cosechar los peces (Figura N° 2) (Folke y Kaultky, 1989; Buschmann y Fortt, 2005). De estos elementos, el fósforo se acumula principalmente en los sedimentos que se encuentran bajo las balsas jaulas, por lo que se utiliza como indicador de contaminación (Buschmann y Fortt, 2005).

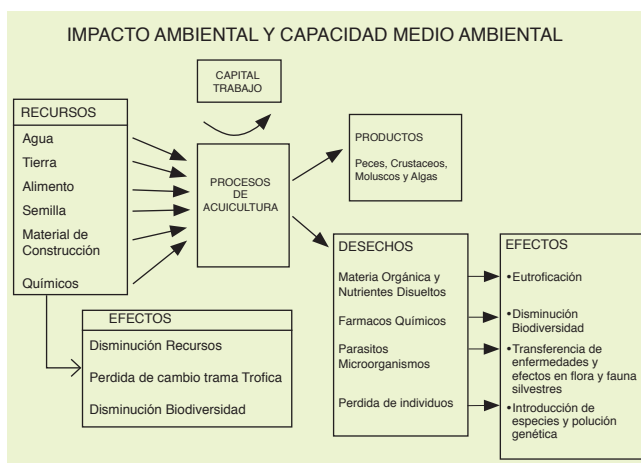


Figura N° 1. Uso de recursos y efectos sobre el medio ambiente.

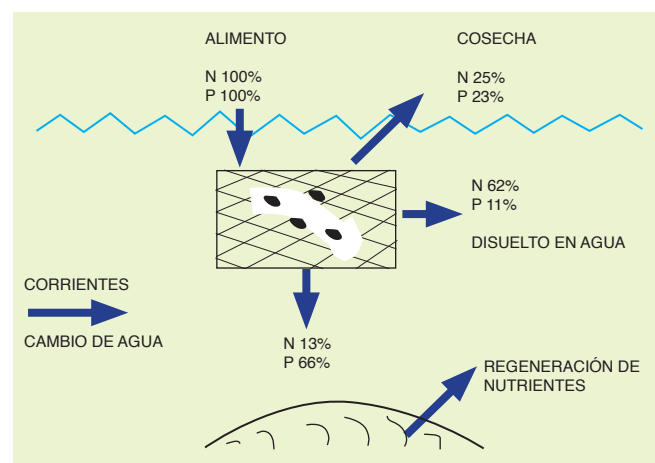


Figura N° 2. Flujo de nitrógeno (N) y fósforo (P) en términos porcentuales en un centro de cultivo de salmonídeos (con aporte exógeno de alimento) (Folke y Kautky, 1989).



Por otra parte Buschmann *et al.*, (1997) establece que la instalación de centros de cultivo de invertebrados o peces produce un aumento de la materia orgánica formada por los restos de alimentos y por las mismas materias fecales de los organismos en cultivo. El aumento de materia orgánica bajo los sistemas de cultivo ha sido constatado tanto en aguas continentales como en zonas costeras. Además, la acumulación de materia orgánica depende de varios factores, como la especie en cultivo, la calidad del alimento, el tipo de manejo, las corrientes y la profundidad. Las heces y restos de alimento tienen mayores contenidos de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) que los sedimentos naturales, esto produce que los fondos, bajo los sistemas de cultivo, puedan tener muy alto el contenido de materia orgánica y nutrientes. La materia orgánica acumulada estimula la producción bacteriana, cambiando la composición química, la estructura y funciones de los sedimentos. Algunos efectos del aumento de la carga de materia orgánica y de los nutrientes en los sedimentos son: disminución de las concentraciones de oxígeno y aumento de la demanda biológica de oxígeno (los sedimentos aumentan su condición anaeróbica y reductora); se producen alteraciones en los ciclos normales de nutrientes, incrementando el ingreso de nitrógeno (N) y fósforo (P) desde los sedimentos hacia la columna de agua. Suárez y Guzmán (1999) señalan que el cultivo intensivo de peces en espacios confinados, como jaulas, ha causado floraciones de especies de microalgas tóxicas que pueden llegar a ser altamente nocivas y hasta letales por acumularse en lugares de donde los peces cultivados no pueden escapar.

A partir de lo anterior, Buschmann y Fortt (2005) han demostrado que el aumento de las concentraciones de amonio (compuesto nitrogenado producto de la excreción de los peces) en las proximidades de las balsas jaulas se traduce en un mayor crecimiento de microalgas (Troell *et al.*, 1997). Estudios realizados en otras latitudes han correlacionado la abundancia de fitoplancton tóxico con la presencia de sistemas de cultivo (Graneli *et al.*, 1989, Hallegraeff 1993, Smayda *et al.*,

2002, Sellner *et al.*, 2003). Por otra parte, en Chile se ha demostrado que existe una relación directa entre el aumento de pulsos de dinoflagelados y la presencia de centros de cultivo de peces (Tabla N° 1). En consecuencia, los antecedentes indican que la incorporación de nutrientes al medio y la producción del fenómeno de eutrofización causan cambios en la diversidad; desequilibrio de las relaciones tróficas en el medio ambiente.

Distribución y descripción del cultivo de salmónidos en Chile en ambientes marinos

El cultivo de salmónidos en Chile se da en las regiones X, XI y XII (Figura N° 2), desde Puerto Montt hacia el sur del país. El crecimiento más importante del sector se dio en la X región hasta principios del año 2000, desplazándose desde ese momento el cultivo en jaulas más al sur (XI región).

Región	Granjas de agua marina	Granjas de agua dulce	Distribución de la producción total
X	375	70	80%
XI	143	20	19%
XII	15	11	1%

Tabla N° 2: Descripción y distribución del cultivo de salmónidos.

Debido a la disponibilidad de sitios poco desarrollados, cualquier expansión posterior de la industria ocurrirá predominantemente en las regiones XI y XII. Sin embargo, será necesario desarrollar extensivamente la infraestructura para que estas áreas alcancen su pleno potencial de producción. Sólo un volumen relativamente pequeño de biomasa se produce en agua dulce antes de transferirla a sitios de agua de mar para el engorde. Por lo general, los peces se transfieren de las jaulas en agua dulce cuando pesan menos de 100 g, y pueden cosecharse de las jaulas en agua de mar cuando el peso individual supera los 5 kg. La legislación existente limita la engorda de salmónidos a su fase de agua de mar.

OBSERVACIÓN	REFERENCIA
Aumento de compuestos nitrogenados en las cercanías de balsas en Chiloé y Calbuco.	Buschmann <i>et al.</i> , 2006a.
El uso de algas como organismos centinelas en el mar, demuestra que balsas jaulas de salmones incrementan la disponibilidad de nitrógeno para ellas, permitiendo un mayor crecimiento.	Troell <i>et al.</i> , 1997.
El uso de efluentes de salmones promueve el florecimiento de microalgas y cambia la composición del fitoplancton.	Buschmann <i>et al.</i> , 2006a.
El seguimiento de la abundancia de dinoflagelados previo y posterior a la instalación de salmoniculturas indica que estos organismos ven promovido su crecimiento en la forma de pulsos.	Vergara 2001. Buschmann <i>et al.</i> , 2006a.

Tabla N° 1. Resumen de los efectos medioambientales producidos por la salmonicultura en Chile.



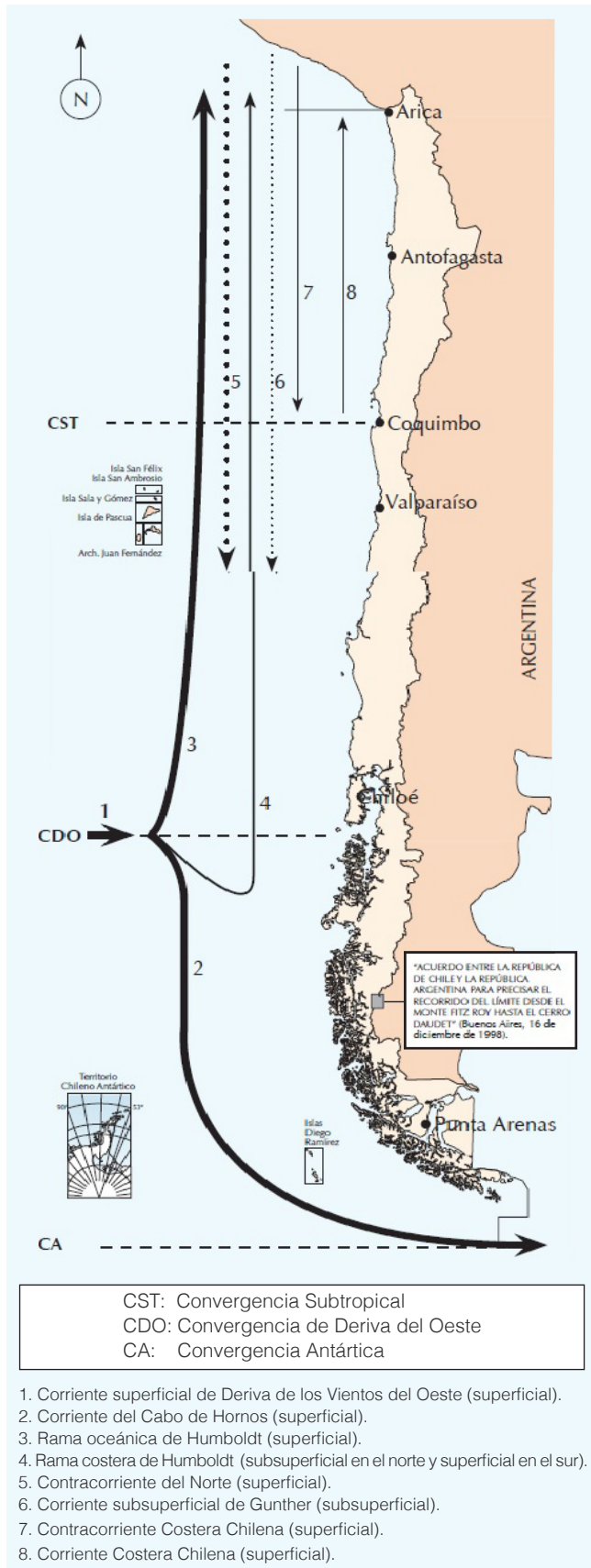


Figura N° 3. Descripción de las corrientes de Chile.

Sistemas de cultivo en jaulas

El sistema de cultivo en jaulas flotantes es la tecnología más utilizada para cultivar salmónidos en Chile. Estos sistemas consisten en estructuras circulares de plástico o estructuras cuadradas de metal con redes suspendidas de estas. Las jaulas individuales, se agrupan en diferentes números, para conformar un centro de cultivo acuícola. Las jaulas se conectan al fondo marino a través de una estructura enrejada estática que utiliza bloques de concreto y anclas especializadas (Beveridge, 2004). La instalación requiere de información detallada sobre las condiciones ambientales y la composición del suelo marino. Las jaulas de metal son estructuras más sólidas y, en comparación con las jaulas circulares de plástico, su manipulación suele ser más sencilla. Esto permite un mejor acceso físico y condiciones de trabajo más estables para las operaciones marinas rutinarias como son el cambio de redes dañadas por organismos incrustantes, la extracción de ejemplares muertos, la clasificación y la cosecha. Las desventajas de las jaulas de metal es que son más susceptibles a la fatiga metálica, corrosión (en ambiente de agua salada) y son menos resistentes en los sitios de alta energía (Willoughby, 1999). Como las jaulas metálicas están unidas entre sí, el intercambio de agua se reduce en algunas jaulas. Durante los períodos de baja cantidad de oxígeno en el agua, el escaso intercambio de agua puede agravar sus efectos negativos especialmente en términos de la tasa de crecimiento, incrementando la variabilidad entre las jaulas.

Descripción de la zona oceanográfica en Chile v/s la Noruega

Fariña *et al.*, (2006) han sintetizado diversas investigaciones que describen las principales corrientes que ocurren en la costa de nuestro país (Castilla *et al.*, 1993, Ahumada *et al.* 2000; Montecino *et al.*, 2005). En el mapa (Figura N° 3) se entrega una síntesis de dichas descripciones reconociéndose ocho corrientes principales:

- 1) la rama oceánica de Humboldt (superficial).
- 2) la contracorriente del Norte (parcialmente subsuperficial).
- 3) la rama costera de Humboldt (subsuficial en su porción norte).
- 4) la corriente de Gunther (subsuficial).
- 5) la contracorriente Chilena (superficial).
- 6) sólo durante algunos períodos la corriente de El Niño (superficial).
- 7) la corriente Costera Chilena (exclusiva de la zona norte y superficial).



8) la surgencia costera (presente a lo largo de toda la costa pero más acentuada en algunos “centros de surgencia”).

Las corrientes marinas transportan masas de agua con distintas características físico-químicas, de manera tal que en ciertos puntos de confluencia de dichas masas se producen las denominadas convergencias oceánicas. Usualmente entre las convergencias oceánicas es posible definir “zonas oceanográficas” o verdaderas “regiones” que presentan características particulares de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno.

En la imagen existen varias corrientes que están entre la zona de austral de la región, sin embargo su comportamiento es muy irregular en comparación con las corrientes profundas que vienen del atlántico llamadas corrientes de densidad o termohalinas presentes en el atlántico (Figura N° 4).

Estas son producidas cuando las aguas de los océanos muy frías y densas de latitudes altas, son impulsadas hacia latitudes más meridionales por los vientos reinantes. Al llegar a áreas con aguas más cálidas, menos densas, se hunden, dando lugar a desplazamientos verticales, que al mismo tiempo originan corrientes horizontales. La evaporación en las zonas tropicales, de grandes magnitudes, da lugar también a movimientos horizontales en las masas de agua, generando al mismo tiempo corrientes verticales de compensación por dicha evaporación.

La corriente más grande de éste tipo está en el norte del Atlántico. La corriente del Golfo mueve 500 veces más agua que el Amazonas. Es calentada por el sol caribeño, fluye hacia el norte hasta las aguas polares donde los vientos árticos entre Groenlandia y Noruega,

enfrian sus masas de agua, de alta salinidad, el agua se vuelve tan pesada que se hunde en la profundidad; en invierno se hunden aproximadamente 17 millones de m³/s, la corriente lleva 20 veces más agua que los ríos en la Tierra.

Marco regulatorio e institucional chileno v/s el noruego

En la tesis de Abud, Bofill y Fernández (2009) de la Facultad de Negocios de la Universidad de Chile se hace un trabajo sobre la industria del salmón y el recurso agua. En el trabajo se realiza una comparativa entre el marco regulatorio chileno formado por Sernapesca y la CONAMA con el caso de Noruega, conformado por distintas instituciones que trabajan en conjunto como la Administración Nacional Costera, el Instituto de Investigación Marina y el Instituto Nacional de Nutrición e Investigación de Mariscos.

En su trabajo dan cuenta que a nivel de normas no existen grandes diferencias. Ambos consideran los mismos puntos relevantes para la conservación del medio ambiente y las normas sanitarias que deben cumplirse para el adecuado funcionamiento de la industria. Sin embargo, el tener el mismo cuadro regulatorio no dice nada acerca de la capacidad de monitoreo del cumplimiento de la ley. A pesar de que a nivel normativo legal no existen grandes diferencias, estas sí existen en la cotidianidad de los cultivos, prácticas acuícolas, las condiciones de higiene, la fiscalización por parte del sector público, etc. Esto se puede evidenciar por medio de la existencia de los decretos supremos 319 y 320, los cuales son los reglamentos actuales de sanidad ambiental (RESA) y medio ambiente (RAMA). Estos reglamentos no han podido evitar la crisis sani-

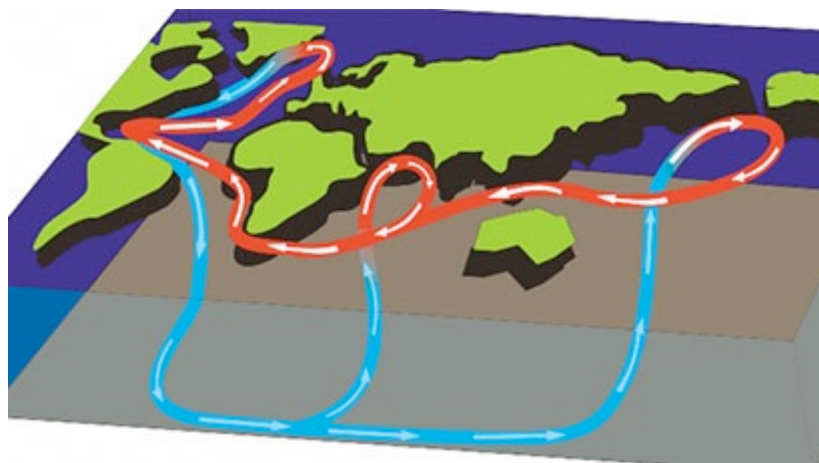


Figura N° 4. Corrientes profundas o termohalinas.



taria que aqueja la industria chilena. A medida que la industria del cultivo del salmón en Chile se fue desarrollando, todos los ojos se pusieron en los beneficios y la oportunidad que esta significaba para el país. El empleo y calidad de vida en la zona austral fue mejorando año a año. El sector público por su parte tenía como prioridad el potenciar esta industria y lógicamente entregar un marco regulatorio adecuado. Sin embargo la implementación de las normas fue pobre y por ende las fiscalizaciones escasas. En otras palabras, no hubo un problema de no considerar puntos importantes a nivel medio ambiental y sanitario, si no que las normas estaban incompletas a nivel de implementación. Un ejemplo concreto puede ser la fiscalización. Dos normas pueden decir lo mismo con respecto a las sanciones por incumplir normas sanitarias, sin embargo, si existe instituciones con recursos necesarios para cumplir la ley y fiscalizar es muy diferente al escenario donde es imposible en términos prácticos que la institución cumpla el objetivo de la ley. De hecho en Chile en el caso de que se pruebe que existe incumplimiento de la ley, primero hay advertencia, segundo una multa y por último caducidad de la concesión. Todo esto hace que el procedimiento de fiscalización y penalización sea lento e ineficiente. Esto nos indicaría que a pesar que es necesaria una mejora en la reglamentación mediante la creación y modificación de normas y leyes, también es fundamental mejorar los canales mediante los cuales se aplican las diversas normas. La eficacia por los cuales se logra regularizar las normas depende de los recursos y la implementación de estas. Por otro lado, y no menos importante es la importancia de la colaboración y participación entre empresarios, investigadores y el Estado. Con esto último nos referimos a lo fundamental que es la generación de capital social para que emerja la solidaridad y confianza entre los agentes de la industria. Pueden existir recursos y las instituciones necesarias, pero si no se cuenta de una activa colaboración y participación dentro de la industria, se desencadenará comportamiento oportunistas para aprovechar altos beneficios de corto plazo que ponen el riesgo la sustentabilidad del sector.

La marea roja en Chile y su relación con la salmonicultura

Las mortandades y varazones de diversas especies de organismos marinos en diferentes localidades de la costa oeste de Chiloé han generado diversos cuestionamientos e incertidumbres desde la ciudadanía y la comunidad científica. Los organismos gubernamentales han señala-

do de manera categórica que la muerte de organismos pertenecientes a diferentes especies que habitan en el ecosistema marino es sólo producto de la marea roja, descartándose a priori la posibilidad de que exista alguna relación entre dichos eventos y el vertimiento de salmones en estado de descomposición al mar.

Frente a lo anterior se debe señalar que no existe registro de grandes mortandades y/o varazones de invertebrados marinos por acción de marea roja en Chile. Si bien la marea roja es un fenómeno natural, en nuestro país se asocia a dos especies tóxicas de importancia que pertenecen a los géneros *Alexandrium* y *Dinophysis*.

El primer registro de una floración tóxica en Chile para 1972, en la Región de Magallanes (50° a 54°S), causado por el dinoflagelado *Alexandrium catenella*, (Whedon & Kofoid) Balech, 1985, agente biológico productor del Veneno Paralizante de Mariscos (VPM) (Guzmán *et al.*, 1975b), principalmente derivados de saxitoxinas (Seguel *et al.*, 2006). Posteriormente, la especie ha sido detectada en la Región de Aysén (42° a 50°S) (Muñoz *et al.*, 1992) y observada por primera vez en muestras cualitativas en el extremo sur del Archipiélago de Chiloé (43°S) en 1998 (Lembeye *et al.*, 1998). Clément *et al.*, (2002) registran una intensa floración de *A. catenella* de alta toxicidad (789 células mL⁻¹), confirmando la distribución de floraciones de esta especie en el norte, desde los 42°10'S hasta los 45°47'S, en la Región de Los Lagos. Fuentes *et al.*, (2006) reportan la ocurrencia de una floración en el mar interior de la Región de Aysén en el verano del periodo 2005 y 2006, con abundancia máximas de 961 células mL⁻¹, causando intoxicaciones humanas y una muerte, afectando además, la producción de salmónidos con mortalidades y daños a nivel de las agallas de los peces cultivados.

Las condiciones ambientales que favorecen las floraciones de algas nocivas son altos niveles de temperatura, radiación y nutrientes, como también la ausencia de vientos. Características ambientales como las anteriormente descritas se pueden asociar al evento de "El Niño" que durante los años 2015-2016 se está presentando.

Es importante señalar también que las nuevas condiciones ambientales son parte de la acción humana moderna que se superponen desde hace pocos decenios a los ciclos climáticos globales naturales, lo que puede estar causando un aumento significativo en la frecuencia, intensidad y extensión geográfica de los florecimientos algales.



Resultados

En este apartado asociaremos estudios vinculados con los florecimientos de algas nocivas en las aguas costeras de Chiloé y en general en la zona austral en relación a las siguientes ideas:

- El florecimiento de algas nocivas (FANs) ocurrido en Chiloé está relacionada con los alimentos ricos en fósforo y nitrógeno utilizados en la industria salmonera que no son consumidos por los peces, como también de los desechos de materia orgánica proveniente de la salmonicultura.
- Existe una regulación deficiente sobre los desechos y la materia orgánica depositada utilizados en las salmoniculturas por parte de las instituciones gubernamentales de Chile, lo que produjo la marea roja.
- Finalmente, las corrientes de Chile y los equipos utilizados en la salmonicultura no hacen posible que tanto los nutrientes como los desechos producto de la salmonicultura produzca un poco intercambio de aguas y favoreciera las FANs.

En primer lugar, relacionaremos las ideas desarrolladas por Buschmann y Fortt (2005) y Buschmann *et al.*, (1996) sobre el aumento de la concentración de nitrógeno y fósforo en las zonas costeras producto de la actividad salmonera con la investigación de Ávila *et al.*, (2015), que trata sobre la especie *Alexandrium catenella*, la principal causante de las floraciones algales nocivas además de presentar una alta toxicidad. Esta investigación relaciona tanto los factores de la cantidad de nutrientes ricos en fósforos y nitrógeno, como la temperatura, salinidad y el fotoperíodo. Estos últimos tres factores están relacionados con el fenómeno del niño, como el calentamiento global, como el principal causante de los miles de toneladas de salmones muertos y en descomposición en el mar.

En este estudio los autores, iniciaron cultivos vegetativos de una cepa policlonal de *A. catenella* (cepa AC090610 QUE-Q) obtenidos de quistes de sedimentos (Quellón, Chile). La cepa fue utilizada en experimentos, montados en triplicado y contabilizados mediante el método Utermöhl cada 2 días durante 56 días. Al finalizar el estudio concluyen que la especie *Alexandrium catenella* responde positivamente factores de temperatura, fotoperíodo y cantidad de nutrientes como responsables del florecimiento de algas nocivas obteniéndose los siguientes resultados:

- La cepa creció en todo el rango de las salinidades probadas, teniendo mayor crecimiento a 30 de salinidad (3788 células mL⁻¹ el día 26; $\mu\text{m} = 0,18 \text{ div d}^{-1}$).
- A la temperatura de 20°C disminuye el crecimiento (<1500 células mL⁻¹; $\mu\text{m} = 0,11 \text{ div d}^{-1}$) mientras 10°C y 15°C favorecen el crecimiento (>3000 células mL⁻¹; $\mu\text{m} = 0,12 \text{ div d}^{-1}$).
- El medio de cultivo sin nitrato ni fosfato inhibe el crecimiento (<1000 células mL⁻¹), mientras que L1 y L1/2 (tipos de nutrientes) favorecen el crecimiento ($\mu\text{m} = 0,08$ y $0,06 \text{ div d}^{-1}$, respectivamente) (>2800 células mL⁻¹).
- Los tratamientos de fotoperíodo tienen comportamiento similar ($\mu\text{m} = 0,05, 0,07$ y $0,08 \text{ div d}^{-1}$) alcanzando las 2000 células mL⁻¹ al final del experimento.

A partir de estos resultados los autores establecen las siguientes conclusiones:

- Aunque la especie tiene un amplio rango de tolerancia en temperatura (Navarro *et al.*, 2006), el incremento de temperatura no sería un factor determinante en un florecimiento.
- Los fotoperíodos probados no muestran grandes diferencias en crecimiento y al parecer no es un factor relevante en el crecimiento de la cepa de estudio, pues las floraciones naturales ocurren justamente en verano, que corresponden a períodos de fotoperíodo largo. Otros estudios señalan que el rango adecuado para este parámetro es 14:10 y 16:08 (luz: oscuridad) (Gavin *et al.*, 1997; Navarro *et al.*, 2006).
- De acuerdo a lo señalado por Collas *et al.*, (2004) y Garrido *et al.*, (2012), *A. catenella* tendría una estrategia de incorporación de nitrógeno (N) como urea, amonio, nitrato o nitrito, demostrando que estos nutrientes pueden gatillar una floración y que la especie preferentemente tendría la capacidad de almacenar grandes cantidades de N antes de iniciar la división celular, explicando de esta manera la ocurrencia de floraciones algales nocivas (FAN).

Por lo tanto el autor basándose en otras investigaciones como (Taroncher *et al.*, 1999; Maestrini *et al.*, 1999; Guisande *et al.*, 2002; Murata *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006; Garrido *et al.*, 2012) establece que dentro de los principales factores ambientales que controlan el de-



sarrollo de las poblaciones de dinoflagelados, los nutrientes juegan un rol clave, sobretodo en la generación de floraciones tóxicas que pueden ocurrir en diferentes tipos de hábitats, desde ambientes oligotróficos a hipernutricados. El mismo autor también menciona que de existir en el medio un abastecimiento continuo y alto de Nitrógeno y Fósforo, se esperaría que las células presenten mayores tasas de crecimiento y acumulen más toxinas.

En segundo lugar, al comparar el marco regulatorio chileno con el noruego se podría decir que a nivel normativo legal no existen grandes diferencias, pero sin duda estas existen en la cotidianidad de los cultivos, prácticas acuícolas, las condiciones de higiene y la fiscalización por parte del sector público. Sernapesca no ha contado con un sistema de recursos humanos de la calidad y dedicación que exhibe el aparato regulatorio noruego. En todos los años que se ha desarrollado la industria salmonera chilena, el sector público ha focalizado sus esfuerzos en que el sector crezca sin considerar la relevancia de las distorsiones que se producen al medio. Un desafío futuro para poder regular adecuadamente, es que el sector público sea capaz de generar una base de información propia de la industria y de esta manera no sólo regule mejor, sino que también sepa guiar los esfuerzos de los agentes en pos de la industria. Todo lo anteriormente analizado, nos lleva a concluir que en cada ámbito de esta industria aún falta mucho por mejorar y considerar para el futuro para evitar el aumento de concentraciones de nitrógeno y fósforo en el ecosistema marino que a nuestro parecer es un factor importante y gatillante en la formación de la marea roja. Tanto a nivel de investigación y desarrollo de las aguas costeras de Chile, como de sistema regulatorio existen falencias que deben ser modificadas, para así poder lograr en alguna medida una industria en óptimas condiciones. Es imprescindible alinear intereses de producción y maximización de beneficios con mantener la sustentabilidad del ecosistema, ya que esta será la única manera de que la industria vuelva a experimentar el crecimiento sostenido que tuvo en el pasado.

Finalmente, vincularemos un informe de la CONAMA realizado el año 2013 en el cual analiza el tipo de corrientes óptimas para la salmonicultura y nuestro marco teórico que describe el tipo de corrientes que tiene Chile y lo analizaremos también con el tipo de instalación que se utiliza frecuentemente en la industria salmonera. En este informe se describe que la Corriente de Humboldt, que se divide en dos formando las ramas costera y oceánica, transporta hacia el norte, entre los 40°S y 45°S aproximadamente, masas de agua más frías, de

baja salinidad y alto contenido de oxígeno disuelto, características que la hacen poseer las mejores condiciones para soportar la vida marina (CONAMA, 2013). Pero estas condiciones no son estables, pues se presentan cada cierto tiempo alteraciones a las condiciones de temperatura, salinidad y oxígeno, el más importante es el fenómeno del Niño, que equivale a un virtual desastre ecológico al afectar a la cadena alimenticia del océano.

La dirección y fuerza de las corrientes marinas son parámetros extremadamente importantes a medir. Estas corrientes transportan agua fresca y rica en oxígeno hacia las jaulas, y arrastran consigo los desechos de los peces (dióxido de carbono y amoníaco) lejos de las jaulas. En el caso de Noruega (Skutvik, 2016) se realizan varios estudios en el cual se utilizan corrientes profundas provenientes del mar Atlántico y Báltico para la viabilidad de la instalación de un centro de acuicultura.

Por otra parte, Skutvik (2016) establece que las algas que pueden producirse en un centro dependen de la luz solar para producir oxígeno y durante períodos de poca luz, lo consumen para respirar, generando pobres condiciones de oxígeno. Altas concentraciones de algas observadas en una localidad pueden ser, por lo tanto, un indicador de corrientes de agua débiles y bajo recambio de agua o de alto nivel de nutrientes en el área. Por lo tanto, al observar que Chile tiene corrientes superficiales y con características irregulares que puede ser un factor entre tantos de otros como causante de la marea roja por la falta de recambio en los nutrientes y desechos y las concentraciones de oxígeno en el agua como las que tienen otras potencias en acuicultura como noruega. Cabe señalar que esto sumado a que el principal método utilizado para la salmonicultura son el sistema de jaulas metálicas que están unidas entre sí, el intercambio de agua se reduce en algunas jaulas (Willoughby, 1999). Durante los períodos de baja cantidad de oxígeno en el agua, el escaso intercambio de agua puede agravar sus efectos negativos especialmente en términos de la tasa de crecimiento, incrementando la variabilidad entre las jaulas e impidiendo que los desechos y la materia orgánica se recambien favoreciendo el Bloom de microalgas tóxicas como las del tipo Alexandrium.

Por otra parte, los sistemas para cultivo de salmones o centros de engorda de salmones en agua de mar, que se utilizan actualmente en la industria son las Balsas Jaula, por tanto los desechos producto de la salmonicultura se confinan en un espacio relativamente pequeño.



Retomando las ideas de Suárez y Guzmán (1998) y revisando las dos primeras observaciones de Buschmann y Forett (2005) en la siguiente imagen tomada del estado del arte:

Consideramos que el cultivo intensivo de peces en espacios confinados, como jaulas y el comportamiento

irregular de las corrientes en la localidades del sur de Chile, contribuyen al proceso de eutrofización del agua de las aguas que ha causado floraciones de especies de microalgas tóxicas que pueden llegar a ser altamente nocivas y hasta letales por acumularse en lugares de donde los peces cultivados no pueden escapar y afectando a moluscos y al ecosistema marino en general.

OBSERVACIÓN	REFERENCIA
Aumento de compuestos nitrogenados en las cercnías de balsas en Chiloé y Calbuco.	Buschmann <i>et al.</i> , 2006a.
El uso de algas como organismos centinelas en el mar, demuestra que balsas jaulas de salmónes incrementan la disponibilidad de nitrógeno para ellas, permitiendo un mayor crecimiento.	Troell <i>et al.</i> , 1997.
El uso de efluentes de salmónes promueve el florecimiento de microalgas y cambia la composición del fitoplancton.	Buschmann <i>et al.</i> , 2006a.
El seguimiento de la abundancia de dinoflagelados previo y posterior a la instalación de salmoniculturas indica que estos organismos ven promovido su crecimiento en la forma de pulsos.	Vergara 2001. Buschmann <i>et al.</i> , 2006a.

Conclusiones

En esta sección damos cuenta de los aportes de esta investigación a favor de la pregunta: ¿Es posible que la salmonicultura haya causado la marea roja en el sur de Chile? Esta se concretó en los siguientes argumentos:

- El florecimiento de algas nocivas (FANs) ocurrido en el sur de Chile está relacionado con los alimentos ricos en fósforo y nitrógeno utilizados en la industria salmonera que no son consumidos por los peces, como también de los desechos de materia orgánica proveniente de la salmonicultura también contribuyen al florecimiento de algas nocivas en gran medida y al suceso ocurrido en Chiloé.
- Existe una regulación deficiente sobre los desechos utilizados en las salmoniculturas por parte de las instituciones gubernamentales de Chile, lo que produjo la marea roja.
- Finalmente la oceanografía de Chile y los equipos utilizados en la salmonicultura impiden que tanto los nutrientes como los desechos, producidos por la misma, generen un intercambio de aguas.

A continuación, recuperamos cada uno de estos argumentos y los vinculamos con los objetivos de nuestra investigación para responderlos individualmente. Por último enumeramos algunas reflexiones que surgen de este trabajo de investigación.

Respecto al primer argumento: El florecimiento de algas nocivas (FANs) ocurrido en el sur de Chile está relacionado con los alimentos ricos en fósforo y nitrógeno utilizados en la industria salmonera que no son consumidos por los peces, como también de los desechos de materia orgánica proveniente de la salmonicultura también contribuyen al florecimiento de algas nocivas en gran medida y al suceso ocurrido en Chiloé.



La teoría descrita en nuestro estado del arte da cuenta de que la salmonicultura tiene efectos negativos sobre el ecosistema marino producto de la materia orgánica proveniente de los desechos (heces) y del alimento ingresado al sistema acuicultor que se pierde (60%). Lo anterior lo consideramos como un factor clave para el florecimiento de algas nocivas que originan la marea roja debido a altas concentraciones de nitrógeno y fósforo. Estas altas concentraciones causan la eutrofización de las aguas, la disminución de las concentraciones de oxígeno, produciendo muerte de toneladas de salmones.

Por otra parte, el estudio realizado por Ávila *et al.*, (2015) sobre una especie de alga tóxica causante de la marea roja (*Alexandrium catenella*), concluye que la temperatura y el fotoperíodo no son un factor relevante para el florecimiento de algas nocivas, sosteniendo que las cantidades de nitrógeno presentes en el mar son responsables del florecimiento de algas nocivas. Dentro de sus conclusiones rescatamos que de existir un medio un abastecimiento continuo y alto de Nitrógeno y Fósforo, se esperaría que las células presenten mayores tasas de crecimiento y acumulen más toxinas, reforzando nuestro argumento en que dentro de los factores que favorecen la marea roja, la cantidad de fosforo y nitrógeno juega un rol fundamental.

Respecto al segundo argumento: Existe una regulación deficiente sobre los desechos utilizados en las salmoniculturas por parte de las instituciones gubernamentales de Chile, lo que produjo la marea roja.

Al evidenciar el marco regulador de Chile la tesis de Abud *et al.*, (2009) explica que existe gran dificultad para realizar fiscalizaciones a nivel ambiental y sanitario en relación a la eutrofización de las aguas (acumulación de fósforo y nitrógeno en el agua). Lo anterior se debe a que existe un pago por parte de las empresas sin considerar el deterioro progresivo del recurso, que ha afectado en la productividad de la industria del salmón debido a las altas mortalidades (alrededor de un 25%) en comparación a otras industrias como por ejemplo la noruega (alrededor de un 3,5%).

Esta tesis la podemos relacionar con el argumento anterior, ya que el gran aumento de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las aguas, más la falta de fiscalización por los entes gubernamentales de Chile permitió que la marea roja fuera de mayor magnitud últimamente en el sur de Chile.

Respecto al tercer argumento: La geografía de Chile y los equipos utilizados en la salmonicultura impiden que tanto los nutrientes como los desechos, producidos por la misma, generen un intercambio de aguas.

El tipo de cultivo que utiliza la industria salmonera no es óptimo para el desarrollo de la industria, ya que los desechos se acumulan en espacios reducidos favoreciendo el florecimiento de algas nocivas (FAN) que ocasionan la marea roja principalmente porque no favorecen el recambio de aguas. Lo anterior sumado a que el tipo de corrientes que posee Chile son de carácter superficial, este tipo recambio se hace cada vez menor.

En el sur de Chile existen varias corrientes, sin embargo al ser superficiales tienen un comportamiento irregular, permitiendo que en determinadas ocasiones los desechos y el alimento no consumido se depositen en el fondo marino causando la eutrofización y el florecimiento de las algas nocivas que producen la marea roja.



Como reflexión final, podemos afirmar que esta investigación ha contribuido a responder la pregunta de investigación relacionando tanto la teoría como aspectos aplicados al contexto chileno, vinculado a los impactos ambientales que favorecen la aparición de la marea roja o (FANs). En este trabajo tanto la acumulación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo en el fondo marino, las condiciones de las corrientes y la poca fiscalización en torno a esta acumulación han sido gatillantes en los efectos medioambientales ocurridos en la zona sur de Chile.

Un desafío futuro para la industria de la salmicultura es la necesidad de una regulación adecuada, a nivel del sector público, como en el desarrollo de investigaciones que promuevan un estudio de las corrientes de Chile para mantener la sustentabilidad del ecosistema y la viabilidad del desarrollo de esta industria a lo largo del tiempo.

Bibliografía

Abud M, Bofill M, Stefani F. 2009. La industria del salmón y el recurso natural agua, Tesis de grado. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Ahumada RB, Pinto LA, Camus PA. 2000. The Chilean coast. In Sheppard CRC Ed. Seas at the millennium: an environmental evaluation, vol. I Regional Chapters: Europe, The America and West Africa. Pergamon, Amsterdam, The Netherlands.

Avila M, De Zarate C, Clement A. 2015. Efecto de factores abióticos en el crecimiento vegetativo de *Alexandrium canetella* proveniente de quistes de laboratorio. Revista de Biología Marina y Oceanografía 50: 177-185.

Beveridge M. 2004. Cage aquaculture, Blackwell Publishing. Iowa, USA.

Buschmann AH, Troell M, Kautsky N, Kautsky K. (1996a) Integrated tank cultivation of salmonids and gracilaria chilensis (Rhodophyta). Hydrobiologia 326/327: 75-82.

Buschmann AH, López DA, Troell M, Kautsky N. 1997) El caso de la acuicultura en Chile: Evaluación de la internalización de los costos ambientales. Ambiente y Desarrollo 13: 79-83.

Buschmann A, Fortt A. 2005. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. Ambiente y Desarrollo de CIPMA 21: 58-64.

Castilla JC, Navarrete SA, Lubchenco J. 1993. Southeastern Pacific coastal environments: main features, large-scale perturbations, and global climate change. – In: Mooney HA, Fuentes ER, Kronberg BI (eds), Earth system responses to global change. Contrasts between North and South America. Academic Press, USA.

Clément A, Aguilera A, Fuentes C. 2002. Análisis de marea roja en Archipiélago de Chiloé, contingencia, verano 2002. Libro Resúmenes XXII, Congreso de Ciencias del Mar, 28-30 de mayo, Valdivia, Chile.

CONAMA. 2013. Principales ecosistemas naturales de la V Región y su Estado, Quinta Región de Valparaíso, Chile.

Folke C, Kautsky N. 1989. The role of ecosystems for sustainable development of aquaculture. Ambio 18: 234-243.



- Fuentes C, Clément A, Aguilera A. 2006. Summer *Alexandrium catenella* bloom and the impact on fish farming, in the XI Aysén Region, Chile. In: International Society for the Study of Harmful Algae (ISSHA), XIIth International Conference on Harmful Algae, Copenhagen, Denmark.
- Garrido C, Frangópulos M, Varela D. 2012. Effect of different nitrogen/phosphorus nutrient ratios on growth and toxin content of *Alexandrium catenella* (Dinoflagellata). *Anales del Instituto de la Patagonia* 40: 113-123.
- Gavin K, Siu Y, Young MLC, Chan DKO. 1997. Environmental and nutritional factors which regulate population dynamics and toxin production in the dinoflagellate, *Alexandrium catenella*. *Hydrobiology* 352: 117-140.
- Graneli E, Carlsson P, Olsson P, Sundstrom S, Granelli W, Lindahl O. 1989. From anoxia to fish poisoning: the last ten years of phytoplankton blooms in Swedish marine waters. En: Coper EM, Bricelj VM, Carpenter EJ (eds.). *Novel phytoplankton blooms-causes and impacts of recurrent brown tides and other unusual blooms*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Guisande C, Frangópulos M, Maneiro I, Vergara AR, Riveiro I. 2002. Ecological advantages of toxin production by the dinoflagellate *Alexandrium minutum* under phosphorus limitation. *Marine Ecology Progress Series* 225: 169-176.
- Guzmán L, Campodónico I, Antunovic M. 1975. Estudios sobre un florecimiento toxico causado por *Gonyaulax catenella* en Magallanes. IV. Distribución y niveles de toxicidad del veneno paralizante de los mariscos (Noviembre de 1972-Noviembre de 1973). *Anales del Instituto de la Patagonia* 6: 209-217.
- Hallegraeff GM. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32: 79-99.
- Fariña JM, Ossa PG, Castilla JC. 2006. Diversidad de ecosistemas, Ecosistemas marinos. Ecosistemas marinos, Ministerio de Medio Ambiente, Santiago, Chile.
- Lembeye G, Marcos N, Sfeir A, Molinet C, Jara C, Clément A, Rojas X. 1998. Seguimiento de la toxicidad en recursos pesqueros de importancia comercial en la X y XI región. Informe Final, Universidad Austral de Chile. Fondo de Investigación Pesquera. Proyecto FIP IT/97-49: 1-86.
- Maestrini S, Bechemin C, Grzebyk D, Hummert C. 1999. Phosphorus limitation might promote more toxin content in the marine invader dinoflagellate *Alexandrium minutum*. *Plankton Biol Ecol* 47: 7-11.
- Montecino V, Strub PT, Chávez F, Thomas AC, Tarazona J, Baumgartner TR. 2005. Bio-physical interactions off western South America. In: *The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary regional studies and syntheses*. The Sea, Robinson AR, Brink KH. eds., Harvard University Press, USA.
- Muñoz P, Avaria S, Sievers H, Prado R. 1992. Presencia de dinoflagelados tóxicos del género *Dinophysis* en el seno de Aysén, Chile. *Revista Chilena Historia Natural* 27: 187-212.
- Murata A, Chee S, Leong Y, Nagashima Y, Taguchi S. 2006. Nitrogen: phosphorus supply ratio may control the protein and total toxin of dinoflagellate *Alexandrium tamarense*. *Toxicon* 48: 683-689.



Troell M, Halling C, Nilsson A, Buschmann AH, Kautsky N, Kautsky L. 1997. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture* 156: 45-61.

Skutvik A. 2014. Aprendiendo acuicultura, cultivo de salmón atlántico, Chile.

Sellner KG, Doucette GJ, Kirkpatrick GJ. 2003. Harmful algal blooms: causes, impacts and detection. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 30: 383-409.

Smayda TJ. 2002. Adaptive ecology, growth strategies and the global bloom expansion of dinoflagellates. *Journal of Oceanography* 58: 281-294.

Soto D, Norambuena F. 2004. Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mensurative experiment. *Journal of Applied Ichthyology* 20: 493-501.

Suárez B, Guzmán L. 1999. Mareas rojas y toxinas marinas. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

Taroncher G, Kulis D, Anderson DM. 1999. Coupling of saxitoxin biosynthesis to the G1 phase of the cell cycle in the Dinoflagellate *Alexandrium fundyense*: Temperature and nutrient effects. *Natural Toxins*. 7: 207-219.

Diario Llanquihue. 2016. Marea Roja: la mitad de puertomontinos cree que salmoneros son responsables. 2016, de Revista marítimo portuario Sitio web: <http://www.maritimoportuario.cl/mp/marea-roja-la-mitad-de-puertomontinos-cree-que-salmoneros-son-responsables/>

Vergara PA. 2001. Efectos ambientales de la salmonicultura: el caso de Bahía Metri, Chile. Tesis de Grado de Magister, Universidad de Los Lagos, Osorno, Chile.

Uribe JC, Oyarzún S, Latorre V. 2010. *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech, 1985, in magellan waters, Chile. *Anales Instituto de la Patagonia* 38: 103-110..

Wang DZ, Zhang S, Gu H, Chan L, Hong H. 2006. Paralytic shellfish toxin profiles and toxin variability of the genus *Alexandrium* (Dinophyceae) isolated from the Southeast China Sea. *Toxicon* 48: 138-151.

Willoughby S. 1999. Salmon farming technology. In Willoughby S. ed. *Manual of salmon farming*, Fishing News Book, Oxford, UK.

