

IMPACTO AMBIENTAL DE LA SALMONICULTURA EN CHILE: LA SITUACIÓN EN LA Xª REGION DE LOS LAGOS

INTRODUCCIÓN

Pese a la gran amplitud y magnitud de los efectos ambientales que distintas prácticas de la acuicultura tienen sobre el medio ambiente, el conocimiento que de ello tenemos en Chile, es vago, fragmentario y, en la mayoría de los casos, está basado en estudios que no cumplen con estándares técnicos que permitan dar cuenta real de la situación ambiental (Buschmann et al., 1996a; Buschmann, 2001). A pesar de esto, en el estudio "Impactos de la Acuicultura. El estado del conocimiento en Chile y el Mundo", publicado previamente, se ha establecido que la producción actual de peces genera desechos equivalentes a los de una población superior a 3 millones de habitantes, una muestra varias veces superior que la existente en la actualidad en la Décima Región. Además, se ha detectado el uso de compuestos peligrosos para la salud humana, por ejemplo verde de malaquita; uso creciente de antibióticos y mortalidad de lobos marinos, entre otros.

Todo esto hace imperativo que, después de más de 15 años de una actividad creciente y considerando que Chile ocupa el segundo lugar a nivel mundial en la producción de salmónidos con tendencia a diversificarse en los próximos años, se tenga una visión global de la situación ambiental existente en esta región que concentra sobre el 80% de la actividad.

De antemano se ha demostrado que esta actividad ya ha tenido un alto costo sobre el Capital Natural y que parece insoslayable la búsqueda de alternativas tecnológicas que la transformen en una industria ambientalmente sustentable (Buschmann et al., 1996a). Más aún, desde hace algún tiempo en Chile se han ejecutado proyectos tanto en aguas

continentales (Soto y Mena 1999) como en el mar (Buschmann et al., 1996b; Troell et al., 1997) tendientes a entregar alternativas tecnológicas para mejorar aspectos relacionados con la conservación de nuestro Patrimonio Natural.

El desarrollo de eco-tecnologías parece una vía para alcanzar un desarrollo sustentable (p. ej. Haamer, 1996; Troell et al., 1999). Más aún, recientemente se demuestra que esta vía, además de reducir significativamente los efectos ambientales, también puede ser económicamente interesante para la industria acuícola (Buschmann et al., 2001; Chopin et al., 2001). Es por ello que el desarrollo de marcos regulatorios que incentiven las "Mejores Prácticas Ambientales" es de importancia vital (Claude y Oporto 1999; Read, 2001).

En consecuencia, y tomando en cuenta los distintos efectos ambientales citados en la bibliografía (Buschmann, 2001), incluso para otras partes del mundo (ver Beveridge, 1996), parece imprescindible establecer una línea base que determine los efectos de esta actividad económica en el sur de Chile.

La investigación cuyos resultados se resumen en este documento, se llevó a cabo con el financiamiento por la Embajada Británica, entre otras instituciones. Su base de datos se puede encontrar en la página web de

Autor:

Dr. Alejandro Buschmann
Universidad de Los Lagos - Osorno, Chile

Editor:

Marcel Claude
Director Ejecutivo - Fundación Terram

Fundación Terram (www.terram, Impacto Ambiental de la Salmonicultura en la X región de Los Lagos en el Sur de Chile). En este estudio se dio cuenta de factores bióticos y abióticos de la salmonicultura, tanto en aguas continentales como costeras de la Décima Región en el sur de Chile, y sus conclusiones se resumen en la Tabla 1. Este estudio permite establecer, por primera vez en Chile, una visión global de la situación ambiental de las aguas costeras ya que se sustenta en un diseño de muestreo robusto, de tal forma que permite determinar los efectos ambientales asociados a esta actividad productiva en el sur de Chile.

BREVE ANÁLISIS DE RESULTADOS RELEVANTES Aspectos Generales

La salmonicultura produce una serie de efectos ambientales en la columna de agua. Esto se debe, principalmente, a que un 70% a 80 % del nitrógeno liberado por los peces queda disuelto en ella, además del fósforo que se deposita en los fondos de las cuencas (Figura 1). La presencia de estos nutrientes genera un proceso de eutrofización, esto quiere decir que la productividad primaria (fotosíntesis total en el ecosistema acuático) aumenta como consecuencia de una mayor disponibilidad de alimento para otros organismos como invertebrados y peces, pero también con la posibilidad de disminuciones estacionales de los niveles de oxígeno y de la biodiversidad propia del lugar (Beveridge, 1996).

Por otra parte, el cultivo de peces carnívoros como los salmónidos, le introduce al medio ambiente grandes cantidades de energía (alimento) exógena. Además, las prácticas de acuicultura contemplan el uso de una serie de productos químicos que requieren de una evaluación, necesidad que se reitera para los efectos ecológicos que el escape de peces cultivados puede tener sobre organismos nativos. Consecuentemente, es importante mantener la calidad de las aguas de lagos y zonas costeras y, por otra parte, también es necesario llevar a cabo acciones de investigación y de reglamentación que minimicen los efectos ambientales.

Salmonicultura en los lagos del sur de Chile

En lagos oligotróficos¹ continentales (Llanquihue y Rupanco) así como en los de Chiloé (Natri y Huillinco), se realizó un muestreo que contempló, en cada una

de las localidades, sitios impactados y sitios controles alejados de la zona de cultivo. Estas muestras consideraron variables abióticas² (nutrientes, metales, pH y otros) así como bióticas³ (coliformes, y biodiversidad de fitoplancton y macroinfauna). Para mayores detalles metodológicos ver www.terram.cl.

Se ha establecido que los lagos del sur de Chile, de origen glacial, tienen una condición oligotrófica (según definición de Wetzel, 1975), aunque han demostrado una tendencia a aumentar las concentraciones de fósforo y nitrógeno⁴ disuelto en sus aguas (Soto y Campos, 1995; Soto 2002). Incluso, algunos de ellos están limitados por nitrógeno (Soto 2002). Ello indica que el cultivo de salmones, al liberar compuestos nitrogenados al medio, puede tener un importante efecto eutroficante⁵, al menos en las zonas costeras de nuestros lagos del sur de Chile. Más aún, al parecer las concentraciones de nutrientes en algunos lagos continentales han alcanzado valores más altos que aquellos señalados previamente en la literatura (ver Tabla 2). Ello sugiere que la salmonicultura tiene una influencia mayor a la señalada en los estudios citados anteriormente. Al comparar los valores reportados previamente el fósforo también presenta un aumento significativo en los lagos continentales del sur de Chile (ver Tabla 2).

Para alcanzar consensos sobre los efectos que se están produciendo en lagos y zonas costeras del sur de Chile es importante distinguir claramente métodos de medición así como de muestreo. Considerando esto, este estudio (ver www.terram.cl) muestra que el enriquecimiento de las aguas y sedimentos con fósforo está alcanzando niveles que dejarían de ser catalogados como oligotróficos en algunos puntos del Lago Llanquihue. Este resultado es aún más drástico para los lagos de Chiloé, donde se alcanzan niveles aún mayores (Tabla 2; ver www.terram.cl).

¹ Oligotrófico: Término para describir un lago en el que los nutrientes están en bajas concentraciones.

² Abiótico: sin vida

³ Perteneciente o relativo a la biota; p. ext., lo propio de la biología.

⁴ El nitrógeno y el fósforo son elementos químicos que se acumulan en el sistema acuático debido a la sobrecarga de alimento, heces y elementos de excreción de los animales en cultivo. Las altas concentraciones de estas sustancias disminuyen la disponibilidad de oxígeno y facilitan la eutrofización de las aguas.

⁵ Eutrofización: incremento de sustancias nutritivas en aguas de lagos, mares y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton.

Merecen nuestra atención las altas concentraciones de estos compuestos encontradas en las aguas intersticiales⁶ (Tabla 3), donde los niveles son varias veces superiores a las condiciones de hipereutrofia⁷ (según clasificación de Wetzel, 1975). Ello sugiere que los niveles de fosfato pueden seguir manteniéndose altos por un tiempo indeterminado, incluso con el cierre de los centros de cultivo. En otras palabras, esto indica que además de encontrarse efectos deletéreos⁸, éstos pueden ser crónicos, al menos por algún tiempo, hasta que los niveles en los fondos disminuyan sus concentraciones. Lamentablemente, no tenemos información sobre esto y por ello estas materias requieren ser estudiadas para comprender los efectos de la acuicultura y, además, para poder entregar normas de regulación técnicamente ajustadas, de lo contrario, nunca podremos avanzar hacia un desarrollo sustentable.

El aumento de las concentraciones de cobre es otro elemento que merece atención. El estudio realizado (ver www.terram.cl), señala claramente la acumulación de este metal tanto en la columna de agua como en los sedimentos en lagos continentales. Aunque este estudio no demuestra la procedencia del cobre encontrado, es altamente significativo que ella está ligada a la actividad de salmonicultura (ver www.terram.cl). La forma más probable de introducción de estas sustancias al sistema parece estar relacionada con el uso del verde de malaquita como fungicida. Este químico sigue siendo utilizado en el cultivo de salmones para el tratamiento de peces en las balsas de cultivo. Otras fuentes de ingreso de este elemento al medio acuático son dudosas, al menos que se pudiera determinar el uso de alimentos contaminados. El cobre en ciertas concentraciones es un elemento tóxico incluso para la salud humana. No obstante, las concentraciones a las cuales esta sustancia puede causar algún efecto nocivo dependen de la presencia de materia orgánica. La presencia de materia orgánica permite al cobre acomplejarse y disminuir su biodisponibilidad⁹. Ello señala la urgencia de estudiar los efectos e importancia de este compuesto en los lagos del sur de Chile. No obstante lo anterior, también parece inminente que la reglamentación al uso de ciertos compuestos sea reanalizada junto con la correspondiente fiscalización del uso intensivo de ellos.

Podemos concluir que algunos nutrientes y algunos metales están aumentando como consecuencia de la

actividad salmonera en cuerpos de agua dulce. Nuestros datos indican que aún estamos, en el continente, frente a lagos del tipo oligotrófico pero nuestras mediciones indican claros aumentos de los niveles de nutrientes y metales en el medio acuático.

Además indicamos que el fitoplancton está sufriendo cambios significativos debido a este tipo de actividad, implicando una notoria disminución de la diversidad de especies presentes. Todo ello lleva a señalar que la disminución de la abundancia y biodiversidad de especies (ver www.terram.cl) parece ligada a los procesos de eutrofización y a la presencia de compuestos tóxicos encontrados tanto en lagos continentales así como insulares. Un aumento de estos nutrientes (nitrógeno y fósforo) puede ir apareado con un aumento de la productividad primaria (mayor crecimiento de plantas acuáticas). En ocasiones se postula que esto permite un enriquecimiento de las aguas y con ello sustentar una mayor pesquería. Contrariamente, estos procesos están muchas veces ligados a una disminución de la biodiversidad, como el demostrado en este estudio, por lo cual este argumento no puede ser usado livianamente, sin previos estudios sobre el tema.

La sedimentación de materia orgánica y la introducción significativa de fósforo en los fondos de los lagos usados por prácticas de acuicultura (Tabla 3) permite sugerir que su acumulación puede ser prolongada. En consecuencia, estas materias requieren también de estudios que permitan validar, en forma objetiva y rigurosa, diferentes modelos de manejo y rotación de áreas de cultivo. La acumulación de materia orgánica, nutrientes y cobre, utilizados por la acuicultura está produciendo un incremento de estos compuestos en los fondos de dichos lagos. Ello puede explicar la disminución significativa de la biodiversidad en las zonas utilizadas por la acuicultura. La abundancia de fitoplancton disminuye, así como el número de especies en sitios de cultivo pese a existir más nutrientes.

⁶ Agua que escurre entre pedazos de tierra o entre las roca, usualmente entre lagos o lagunas.

⁷ Exceso de nutrientes acumulados en la columna de agua.

⁸ Mortíferos, venenosos, dañinos.

⁹ El cobre se adhiere a la materia orgánica y, por ende, los organismos acuáticos no lo pueden extraer ni del agua ni del suelo, es decir, no está disponible en el ecosistema.

Respecto a los invertebrados que habitualmente habitan estos ecosistemas, se ha podido demostrar que poblaciones de pequeños crustáceos están disminuyendo significativamente. Podemos concluir que, como consecuencia del sistema de cultivo de peces, la diversidad de la fauna está disminuyendo en los sitios de cultivo. Esto significa que esta actividad productiva está causando efectos adversos sobre la macroinfauna¹⁰ de los lagos del sur de Chile. Es altamente relevante destacar que en el lago Huillín en Chiloé la fauna en los fondos es prácticamente inexistente.

Además de los efectos directos de las actividades de acuicultura podemos señalar que la abundancia de aves omnívoras, carroñeras y buceadoras aumenta significativamente en las áreas de cultivo. Es probable que su mayor presencia se deba a una mayor disponibilidad de desechos en la zona, pero también puede tener repercusión ecológica sobre la fauna nativa si su mayor abundancia implica un aumento de la presión de depredación. El significado ecológico del aumento de aves en zonas lacustres con presencia de actividades de cultivo es desconocido y requiere de estudios urgentes dada su alta relevancia para la conservación de la vida silvestre en la zona.

Otras variables como coliformes fecales solo tienen efectos muy localizados y sus aumentos no pueden ser atribuidos a la salmonicultura. No obstante hay sitios específicos que requieren de estudios mucho más detallados para verificar las causas de elevados valores. A pesar de ello, la evidencia general señala fuertes efectos especialmente en los lagos de Chiloé, así como en algunas zonas del lago Llanquihue, las cuales han alcanzado niveles de nutrientes (fósforo y nitrógeno) que están poniendo en grave riesgo la biodiversidad de estas zonas. Otros lagos como el Rupanco parecen menos afectados lo cual podría ser explicado por su mayor tasa de recambio de agua (Soto y Campos, 1995) o a alguna otra condición hidrológica particular.

Salmonicultura en las zonas costeras del sur de Chile

En sistemas marinos costeros del sur de Chile también se realizó un estudio que contempló un muestreo en la zona del Seno de Reloncaví, desde Puerto Arenas por el Este hasta Abtao en el Oeste y por otra parte en

la costa este de la Isla de Chiloé desde la localidad de Linao por el Norte hasta San Pedro, al sur de Quellón.. En cada una de estas localidades se estudiaron sitios impactados y sitios controles alejados de la zona de cultivo y se determinaron las mismas variables medidas en los lagos, esto es variables abióticas (nutrientes, salinidad, pH¹¹ etc.) así como bióticas (coliformes, y biodiversidad de fitoplancton y macroinfauna). Para mayores detalles metodológicos ver www.terram.cl. Los nutrientes (fosfato y compuestos nitrogenados inorgánicos) disueltos en la columna de agua no mostraron un aumento asociado a la salmonicultura. No obstante, este estudio demostró que en general la zona de la costa este de la Isla de Chiloé presentó mayores concentraciones de compuestos nitrogenados¹² disueltos en el agua de la zona de Reloncaví (ver www.terram.cl).

Los niveles de nitrato y fosfato encontrados en este estudio se presentan en la Tabla 4, y podemos señalar que estos datos están dentro de los rangos señalados en estudios previamente publicados para esta misma región geográfica. Los escurrimientos costeros en estas zonas parecen ser altamente relevantes para explicar los aumentos de nitratos y fosfatos en fiordos y canales (Silva et al., 1997). A pesar de que no es fácil determinar un aumento significativo de nutrientes disueltos en el agua, experimentos con algas instalados en las proximidades de jaulas de cultivo de salmones indican que sus contenidos de nitrógeno aumentan significativamente (Troell et al., 1997). Ello claramente señala que las instalaciones de salmones son una fuente concreta de nutrientes para el medio.

Lo anterior, sugiere que los riesgos asociados a procesos de eutrofización (p. ej. presencia de mareas rojas) pueden ser mayores en esta zona geográfica que en la zona del Seno de Reloncaví toda vez que es

¹⁰ Organismos acuáticos, más grandes que 2 milímetros, que usualmente se alojan dentro de los sedimentos y que viven asociados al fondo marino o lacustre.

¹¹ Nivel de acidez del agua que se mide según una escala de referencia: ácido, 1 o 2; neutro, 7 y básico, 10 a 14. En el caso del agua de los ríos el pH debe ser levemente ácido (6), en los lagos es un poco más ácido (8) dependiendo del lago. Cuando el agua se vuelve ácida los nutrientes se acomplejan (tal como el cobre) y la vida no es posible.

¹² Son compuestos que contienen nitrógeno pero que no tienen carbono, como por ejemplo NH₄ (amonía) o NO₃ (nitrato).

el nitrógeno es el elemento que más probablemente limita la producción primaria¹³ en las zonas marinas temperadas como las del sur de Chile (Thurman y Burton, 2001) y es sabido que la frecuencia de mareas rojas está presentando un aumento en el tiempo (Muñoz y Avaria, 1997).

A pesar de que este estudio no determinó efectos significativos sobre la abundancia y biodiversidad del fitoplancton¹⁴, Vergara (2001) encontró que la presencia de balsas jaula incrementa la abundancia, en pulsos, de dinoflagelados¹⁵. Es quizás por esta razón que al tomar un muestreo único, fotográfico, como el realizado en este estudio, no podemos detectar efectos sobre el fitoplancton. Esta evidencia está señalando claramente que un monitoreo consistente y bien planteado debería ayudar a encontrar los efectos que los procesos de eutrofización en esta zona están teniendo sobre la abundancia de fitoplancton y la aparición de florecimientos de microalgas algunas de las cuales pueden ser nocivas para el propio desarrollo de la acuicultura, así como con la salud humana.

En cuanto a los valores de metales en la columna de agua tampoco indicaron, al igual que los nutrientes disueltos, efectos significativos por estar asociados a las actividades de acuicultura, sin embargo, los niveles encontrados en la columna de agua fueron altos. La materia orgánica aumenta significativamente bajo los sistemas de cultivo de peces hasta valores superiores al 5%, pero además se determinó un aumento significativo del cobre, especialmente en el Seno de Reloncaví, alcanzándose valores promedio de hasta 110 µg g⁻¹ en sitios utilizados por prácticas de salmonicultura. Este valor es superior a aquellos encontrados en estudios realizados en la zona de fiordos y bahía de Concepción a la altura de los Campos de Hielo donde se determinaron valores entre 6,3 y 18 µg g⁻¹ (Ahumada y Contreras, 1999; Ver Tabla 5). Las altas concentraciones encontradas bajo balsas jaula sugieren algún tipo de efecto ecológico de este metal. No obstante, hay que señalar que la presencia de materia orgánica, la cual sucede cuando hay actividad de salmonicultura, permite al cobre acomplejarse y disminuir su biodisponibilidad.

En consecuencia, emerge como un aspecto de alta relevancia, el estudio de los efectos e importancia de este compuesto en la costa del sur de Chile. En zonas

costeras el uso de pinturas "antifouling" que tienen una base de cobre, son utilizadas para prevenir la fijación de fauna y flora incrustantes a las estructuras de cultivo, y parece ser la explicación más lógica para explicar este aumento. Por ello, también se requiere que sea reanalizada la reglamentación del uso de este tipo de compuestos y comprometer una fiscalización más rigurosa sobre su uso.

En la macroinfauna bentónica presente en las zonas de cultivo, fue altamente significativo el aumento del invertebrado *Capitella*¹⁶ y la disminución de varias de otras especies de invertebrados marinos (ver www.terram.cl). No obstante, la gran variabilidad existente entre sitios no permitió verificar un efecto significativo de la disminución de la biodiversidad en los sistemas marinos costeros (www.terram.cl). Por otra parte, después de un seguimiento de más de cinco años de un sitio de cultivo no se pudo constatar efectos aditivos en el tiempo. Ello sugiere que los procesos de difusión por corrientes pueden ser relevantes para mantener la calidad de los fondos en algunos lugares y así establecer si los procesos de sedimentación asociados al cultivo de salmones en balsas jaulas tienen una capacidad de recuperación. Estos aspectos son altamente relevantes y requieren ser estudiados a la brevedad para establecer si los efectos ambientales pueden ser calificados como crónicos o no. La reglamentación en trámite sostiene que un área con sustratos anóxicos¹⁷ deberá reducir progresivamente su producción y si ello no ocurre, deberá cambiar de concesión para el cultivo. En este contexto la capacidad de recuperación de estos sectores es un elemento básico para poder sostener esta futura reglamentación.

¹³ Es la cantidad de materia viva producida por el primer nivel trófico o eslabón en la cadena alimenticia. En el caso de los ecosistemas terrestres este nivel está constituido por las plantas y, en el caso de los lagos y mares, por el fitoplancton.

¹⁴ Parte vegetal del plancton. Está constituido por organismos fotosintetizadores, los que corresponden en su mayoría al primer eslabón de la cadena trófica de los océanos, los productores primarios.

¹⁵ Organismos unicelulares que poseen dos flagelos orientados perpendicularmente. Hay formas tanto acorazadas, con paredes celulares compuestas de placas celulósicas, así como no acorazadas. Muchos dinoflagelados son además de autótrofos, heterótrofos, se alimentan de zooplancton o incluso parásitos y algunos de ellos producen las mareas rojas.

¹⁶ Anélido perteneciente a la clase de los poliquetos.

¹⁷ Sin oxígeno.

Además de los efectos directos de las actividades de acuicultura podemos señalar que la abundancia de aves omnívoras, carroñeras y buceadoras aumenta significativamente en las áreas de cultivo de las zonas costeras, tal como ya fue descrito para el caso de los lagos. Es probable que una mayor presencia de aves se deba a una también mayor disponibilidad de desechos en la zona. Sin embargo, ello también puede tener implicancias ecológicas sobre la fauna nativa si su concentración aumenta la presión de depredación. El significado ecológico del aumento de aves en zonas costeras con presencia de actividades de cultivo es desconocido y requiere estudios en forma rápida dada su alta relevancia para la conservación de la vida silvestre en la zona.

Podemos indicar que al menos un lobo marino muere por asfixia, cercano a un centro de cultivo, cada dos meses. Considerando el número de centros de cultivo existentes en la actualidad, se puede indicar preliminarmente que la mortalidad por la presencia de sistemas de cultivo de peces es de varios miles de ejemplares por año. La mayoría de las muertes corresponden a machos. Esta evidencia nos señala la importancia de estudios ecológicos sobre estos mamíferos así como sobre otros organismos que no han sido estudiados con el rigor que se merecen (p. ej. peces nativos).

Otras variables como coliformes fecales y totales, pH y salinidad sólo tienen efectos muy localizados y sus variaciones no pueden ser atribuidas a la salmonicultura. Se detectó una gran variabilidad sitio específico, lo cual no permite sacar mayores conclusiones considerando la escala empleada en este estudio. Por otra parte aunque existen algunos estudios puntuales sobre los efectos de la acuicultura en los lagos y zonas costeras del sur de Chile (p. ej. López et al., 1988; Mühlhauser et al., 1993; Soto, 2002) es claro que el nivel de desconocimiento de eventuales efectos de compuestos químicos utilizados en diferentes procesos productivos en la acuicultura, efectos bacteriológicos, modificación genética de poblaciones asilvestradas¹⁸ de salmonídeos, depredación de peces escapados en lagos y zonas costeras, introducción de especies genéticamente modificadas, por nombrar algunos elementos, son prácticamente desconocidos. El mantener un crecimiento sustentable de esta actividad, claramente demanda de un mayor nivel de conocimiento.

CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS FINALES

La Tabla 1 resume las conclusiones más relevantes encontradas en este estudio. Claramente indican una serie de efectos deletéreos de la acuicultura sobre el medio ambiente. Paradójicamente este estudio técnico (ver www.terram.cl) es el primero que da una visión global de la situación ambiental en lagos y zonas costeras tras 15 años de iniciadas las prácticas de cultivos intensivos en Chile. La situación ambiental es especialmente relevante en los lagos, aunque las zonas costeras también muestran algunas alteraciones significativas.

Restos de alimento pueden ser encontrados bajo balsas jaula en muchas ocasiones generando sitios con un alto grado de lodos carentes de oxígeno (Figura 2).

La implementación de un sistema de verificación ambiental ubicado en un lugar específico no es suficiente para verificar globalmente los complejos e importantes efectos ambientales que la acuicultura está teniendo sobre el sistema acuático del sur de Chile. En consecuencia, parece relevante replantear los sistemas de evaluación ambiental que, con respecto a esta actividad, actualmente se realizan en Chile y buscar alternativas más prácticas y eficientes para fiscalizar los efectos ambientales de la acuicultura en este país (Buschmann et al. 1996). En este contexto, el presente estudio entrega las siguientes conclusiones derivadas, de carácter general, que requieren atención para alcanzar un desarrollo ambientalmente sustentable de esta actividad productiva en el sur de Chile (ver Tabla 6):

- Queda de manifiesto que existe, para la mayoría de las variables analizadas en este estudio, una alta variabilidad geográfica que se reitera incluso entre sitios de muestreo muchas veces no muy distantes entre sí. Ello establece que un análisis por sitios no es determinante y se requiere avanzar en la comprensión de los resultados señalados en este estudio toda vez que este trabajo es sólo una "fotografía" de lo que realmente está sucediendo en los cuerpos de agua del sur de Chile. Incluso, muchas veces por uso de metodologías de muestreo

¹⁸ Animales que, no siendo autóctonos, se han extendido por un territorio y se han naturalizado en un medio silvestre

y tipo de instrumentación utilizada, los resultados de diferentes grupos de investigación pueden ser también diferentes aún cuando presentan características similares. Todo ello indica de la necesidad de cooperación entre los interesados en preservar un recurso como el agua. Más aún muchas veces se requiere de aproximaciones multidisciplinarias y por ello, para abordar seriamente estas problemáticas ambientales, se requiere también de diferentes tipos de expertos dispuestos a interactuar.

- A pesar de que es indiscutible que la acuicultura está generando diferentes tipos de efectos ambientales, se debe reconocer que los agentes involucrados en el uso de los cuerpos de aguas continentales y costeros son variados (forestales agrícola, urbanos industriales, turismo y otros). Por esta razón es imposible pensar en una solución global, sin que todos los actores estén convencidos de los efectos que sus respectivas actividades están teniendo a la fecha. De ello depende realmente de que los cuerpos de agua puedan proveer de diferentes servicios al hombre durante los próximos años. En este sentido hay que comprender que cuando se trata de bienes de uso común, como es el recurso agua, es altamente relevante diferenciar los análisis financieros de los económicos (Burbridge et al., 2001). El primero está asociado al análisis de los costos y ganancias de empresas individuales y en este contexto su visión es el de maximizar la rentabilidad. En contraste, un análisis económico debe incorporar factores ignorados por las empresas en forma individual y debe internalizar los costos sociales y ambientales todas las actividad en su conjunto (Claude y Oporto, 1999; Burbridge, et al., 2001)
- El estudio presentado (ver www.terram.cl) no describe todas las variables que realmente deberían ser consideradas. Otras como las consecuencias

del escape de peces en cultivo han comenzado a estudiarse (Soto et al. 2001), y hay aún un número importante de aspectos que requieren ser analizados. Tal es el caso del uso de antibióticos, así como de otros compuestos químicos, que pueden tener importantes efectos ambientales y riesgos adicionales para la salud humana (ver Buschmann et al., 2001 y Costello et al., 2001). Este estudio demuestra que algunos de ellos dejan una huella en el ambiente. Está claro que deben introducirse cambios en la forma de operar en las empresas, partiendo por contar con datos estadísticos reales y abiertos para dimensionar la situación. Por otra parte se requiere con gran premura identificar los efectos que el uso de estos compuestos pueden haber causado y estar causando en la actualidad en los medios acuáticos del sur de Chile.

- Finalmente, queda claro la extremada falta de información técnica existente siendo éste el primer estudio global sobre la materia abierto a la opinión pública. No obstante, se pueden reconocer algunos avances en cuanto a la alimentación de los salmones que disminuyen los efectos ambientales de esta actividad productiva sobre el medio ambiente (ver Buschmann, 2001), también es cierto que la introducción de cobre es un aspecto relevante que debe ser introducido en la discusión. Por otra parte, este trabajo reconoce cambios en la biodiversidad o en la estructura comunitaria. Todos estos aspectos requieren estudios específicos para poder determinar soluciones y recomendaciones específicas. Por ello se indica que, en forma determinante, se requiere aumento de estudios ambientales públicos para alcanzar mayores grados de sustentabilidad de esta actividad y del uso de las zonas costeras. La sensibilidad pública sobre temas ambientales y de seguridad en el consumo de alimentos es un aspecto que exigirá tanto al sector público como al privado.

ANEXOS: Tablas y Figuras

Tabla 1

Conclusiones encontradas en este estudio sobre los efectos ambientales de la acuicultura en el sur de Chile (ver www.terram.cl), tanto en sistemas de aguas continentales (A) como marinas (B).

(A) Sistemas de aguas continentales.

- La acuicultura, y en especial la salmonicultura, ha tenido y tendrá un creciente desarrollo no libre de riesgos ambientales.
- En los lagos de Chile se ha podido constatar un aumento significativo del nitrógeno en la columna de agua asociado a balsa-jaula, especialmente en los lagos insulares de Chiloé.
- El cobre en cuerpos de agua continentales ha incrementado significativamente como consecuencia de actividades de acuicultura.
- La abundancia de fitoplancton (especialmente diatomeas) disminuye significativamente en sitios asociados a balsa-jaula y la abundancia de fitoplancton es mayor en los lagos continentales que en los insulares.
- La biodiversidad de la riqueza de especies de fitoplancton disminuye significativamente asociada a balsas-jaula.
- Los lagos insulares presentan una significativa carga mayor de materia orgánica que los continentales y el fosfato de las aguas intersticiales del fondo aumenta significativamente asociado a sitios con presencia de sistemas de cultivo.
- El cobre en los sedimentos aumenta significativamente en sitios utilizados por la salmonicultura, siendo este efecto mayor en los lagos continentales que aquellos localizados en la isla de Chiloé.
- La macroinfauna bentónica también presentó disminuciones significativas en su biodiversidad siendo este efecto dramático en los lagos insulares de Chiloé.
- La presencia de aves omnívoras, buceadoras y carroñeras, aumenta significativamente en sitios con actividades de acuicultura.

(B) Sistemas marinos costeros

- No se detectaron efectos significativos sobre la concentración de nutrientes y metales asociados a sistemas de cultivo.
- Tampoco se encontraron efectos sobre la abundancia y biodiversidad del fitoplancton entre sitios con y sin cultivo, no obstante, las zonas de Chiloé presentan mayor biodiversidad que las zonas del Seno de Reloncaví.
- El depósito de materia orgánica es significativa cuando existe una presencia de sistemas de cultivo.
- El amonio intersticial aumenta significativamente en la zona de Chiloé con respecto al Seno de Reloncaví, sin embargo, en el Seno de Reloncaví se observa un aumento significativo de fosfato asociado a sistemas de cultivo.
- El cobre en los sedimentos incrementa significativamente en sitios usados para la salmonicultura.
- El cadmio y mercurio aumentan tanto en sitios con o sin actividades de acuicultura en las isla de Chiloé respecto al Seno de Reloncaví.
- La macroinfauna bentónica no presentó cambios significativos en su biodiversidad, sin embargo, se observó tanto en el Seno de Reloncaví como en la costa de Chiloé, un cambio en la composición relativa de especies.
- La presencia de sistemas de cultivo de salmones produce en promedio una mortalidad de un lobo marino cada dos meses.
- La presencia de aves omnívoras, buceadoras y carroñeras aumenta significativamente en sitios con actividades de acuicultura.

Tabla 2

Concentración de macronutrientes (Fosfato y Nitrógeno inorgánico disuelto; $\mu\text{g L}^{-1}$) en lagos continentales y lagos insulares de Chiloé. Datos de este estudio (ver www.terram.cl) se comparan con estudios realizados durante la década de los noventa (Soto 2002).

Lago	Nutriente	Soto, 2002	Este estudio	Condición Oligtrófica*
Llanquihue	Fosfato	2,1	4,5	< 5
	Nitrógeno	12,4	33,0	< 400
Rupanco	Fosfato	2,1	N.D.**	Condición Mesoeutrófica*
	Nitrógeno	23,5	15,8	
Natri	Fosfato	-----	33,0	> 10
Huillinco	Nitrógeno	-----	424,0	> 400

Fuente: Buschmann (2002); Soto (2002)

*Según Wetzel (1975); **N.D.=No detectable

Tabla 3

Concentración de macronutrientes (Fosfato y Nitrógeno inorgánico disuelto; $\mu\text{g L}^{-1}$) en el lago Llanquihue y Chiloé. Datos de (A) Soto (2002) y (B) este estudio (ver www.terram.cl).

	Soto, 2002		Puerto Fonck		Ensenada		Chiloé*	
	PO ⁴	N	PO ⁴	N	PO ⁴	N	PO ⁴	N
Controles	1,5	17,4	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Bahías con salmones	2,26	23,57	N.D.**	N.D.**	9,0	66,0	553,3	424,0
Bajo balsas jaulas	-----	-----	10,0	65,0	15,0	35,6	286,0	414,0
Agua intersticial fondo bajo balsas jaula	-----	-----	1666,3	-----	953,3	-----	4703,3	-----

Fuente: Buschmann (2002); Soto (2002)

*Promedio Lagos Natri y Huillinco; **N.D.=bajo el rango de detección

Tabla 4

Concentración de macronutrientes (Fosfato y Nitrito disuelto; mg L^{-1}) en el Seno de Reloncaví y Chiloé. (A) Datos este estudio (ver www.terram.cl).

	Este estudio		Salinas et al. 1997		Basten y Clement 1999	
	PO ⁴	NO ³	PO ⁴	NO ³	PO ⁴	NO ³
Controles	0,04-0,06	0,1-1,0	0,04-0,15	0,073-0,89	-----	0,88-8,6
Bajo balsas jaulas	0,06-0,07	0,1-1,4	10,0	-----	-----	-----
Agua intersticial fondo bajo balsas jaula	0,1-0,4	0,1-1,2	-----	-----	-----	-----

Fuente: Buschmann (2002); Salinas (1997); Basten y Clement (1999)

Tabla 5

Concentración de Cobre en los sedimentos (mg kg⁻¹) en el Seno de Reloncaví y Chiloé procedentes de este estudio y en la zona de Campos de Hielo (datos de Ahumada y Contreras, 1999).

	A. Este Estudio		B. Ahumada y Contreras	
	Reloncaví	Chiloé	Zona Fiordos	Bahía de Concepción
Controles	15,0	10,0	18,0	6,3
Bajo Balsas Jaulas	110,0	50,0	+++	+++

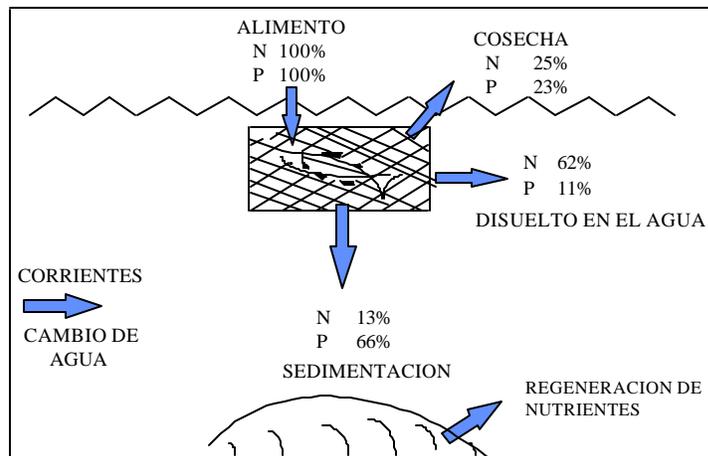
Tabla 6.

Resumen de las conclusiones generales que se derivan del presente estudio

Conclusiones Derivadas	
1)	Debido a la alta variabilidad entre sitios tanto lacustres como marinos, es necesario diseñar metodologías de monitoreo suficientemente robustas, donde se incorpore diferentes tipos de mediciones y aproximaciones multidisciplinarias.
2)	Los usuarios de cuerpos hidrológicos son múltiples y en consecuencia un desarrollo sustentable pasa por acuerdos de todas las partes interesadas.
3)	Existen diferentes variables que no han sido analizadas en Chile y requieren ser estudiadas (por ejemplo, antibióticos y compuestos químicos.)
4)	La falta de información técnica abierta es uno de los principales escollos para una producción sustentable de la acuicultura en Chile.
5)	La información transparente de prácticas productivas a los consumidores es un requerimiento necesario para el futuro desarrollo de esta actividad en Chile.
6)	Parece necesario buscar formulas de incentivo para el desarrollo de una producción limpia en Chile.

Figura 1.

Flujos porcentuales de nitrógeno (N) y fósforo (P) en una jaula de cultivo de peces con una fuente de alimento exógeno.



Referencias Bibliográficas

- Ahumada, R. y Contreras, S. 1999. Contenido de metales (Ba, Cd., Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, y Zn) en sedimentos de los fiordos y canales adyacentes a Campos de Hielo Sur. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 22: 47-58.
- Bastén, J. y Clement, A. 1999. Oceanografía del estuario de Reloncaví, X Región de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 22: 31-46.
- Beveridge, M.C.M. 1996. *Cage Aquaculture*, Second Edition. Fishing News Book, Oxford, 346 pp.
- Burbridge, P., Hendrick, V., Roth., E. y Rosenthal, H. 2001. Social and economic policy issues relevant to marine aquaculture. *Journal of applied Ichthyology*, 17: 194-206.
- Buschmann A. H. 2001. Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el mundo. Terram Publicaciones, Santiago, 63 pp.
- Buschmann A. H., López, D. A. y Medina, A. 1996a. A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine Aquaculture in Chile. *Aquacultural Engineering*, 15: 397-421.
- Buschmann, A.H., Troell, M., Kautsky, N. y Kautsky, L. 1996b. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta). *Hydrobiologia*, 326/327: 75-82.
- Buschmann, A.H., Troell, y Kautsky, N. 2001. Integrated algal farming: a review. *Cahiers de Biologie Marine*, 42: 83-90.
- Chopin, T., Buschmann, A.H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G.P., Zertuche-González, J.A., Yarish, C. y Neefus, C. 2001. Integrating seaweeds into aquaculture systems: a key towards sustainability. *Journal of Phycology*, 37: 975-986.
- Claude, M. y Oporto, J. 2000. La ineficiencia de la salmonicultura en Chile. Terram Publicaciones, Santiago, 68 pp.
- Costello, M.J., Grant., A., Davies, I.M., Cecchini, S., Papoutsoglou, S., Quigley, D. y Saroglia, M. 2001. The control of chemicals used in aquaculture in Europe. *Journal of applied Ichthyology*, 17: 173-180.
- Haamer, J. 1996. Improving water quality in a eutrophied fjord system with mussel farming. *Ambio*, 25: 356-362.
- López, D.A., Buschmann, A.H. & González, M.L. (1988). Efectos del uso de las zonas costeras por prácticas de acuicultura. *Medio Ambiente*, 9: 42-54.
- Mühlhauser, H.A., Peñaloza, R., Castro, H., Díaz, P. & Muñoz, J. (1993). Producción bacteriana relacionada con cultivo de salmón en jaula en ambiente marino y lacustre de la Isla de Chiloé, X Región, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 28, 287-300.
- Muñoz, P. y Avaria, S. 1997. fenómenos de mareas rojas y otras floraciones algales en Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 20: 175-192.
- Prado-Fiedler, R. 2000. Distribución espacial del amonio en fiordos y canales comprendidos entre Puerto Montt y laguna San Rafael en período de primavera. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 23: 15-24.
- Read, P.A. 2001. Foreword. *Journal of applied Ichthyology*, 17: 145
- Silva, N., Calvete, C. y Sievers, H. 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de Canales Australes Chilenos entre Puerto Montt y Laguna San Rafael (Crucero Cimar-Fiordo I). *Ciencia y Tecnología del Mar*, 20: 23-106.
- Soto, D. 2002. Oligotrophic patterns in southern Chilean lakes: the relevance of nutrient and mixing depth. *Revista Chilena Historia Natural*, 75: 377-393.
- Soto, D. y Mena, G. 1999. Filter feeding by the freshwater mussel *Diplodon chilensis* as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture*, 171: 65-81.
- Soto, D. y Campos, H. 1995. Los lagos oligotróficos asociados al bosque templado húmedo del sur de Chile. En: Armesto, J.J., Kalin-Arroyo, M. y Villagrán, C. (eds.), *Ecología de los Bosques Nativos del Sur de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, pp. 134-148.
- Soto, D., Jara, F. y Moreno, C. 2001. Escaped salmon in the inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. *Ecological Applications*, 11: 1750-1762.
- Troell, M., Rönnback, P., Halling, C., Kautsky, N. & Buschmann, A. 1999. Ecological engineering in aqua-culture: use of seaweeds for removing nutrients from in-tense mariculture. *Journal of applied Phycology*, 11: 89-97.
- Troell, M., P., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A., 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.
- Turman, H.V. y Burton, E.A. 2001. *Introductory Oceanography*. Ninth Edition. Prentice-Hall, Inc., N.J., 554 pp.
- Vergara, P.A. 2001. Efectos ambientales de la salmonicultura: el caso de bahía Metri, Chile. Tesis Magister
- Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. W.B. Saunders Company, USA.

Otras Publicaciones de Fundación Terram

- APP-1 Distribución del Ingreso y Reforma Tributaria, 07-2001
- APP-2 La Norma ISO 14001 y su Aplicación en Chile, 07-2001
- APP-3 Contaminación Atmosférica de la Región Metropolitana, 09-2001
- APP-4 Evaluación de los Impactos de la Producción de Celulosa, 11-2001
- APP-5 El Costo Ambiental de la Salmonicultura en Chile, 11-2001
- APP-6 El Tratado de Libre Comercio entre Chile y Estados Unidos: Mitos y Realidades, 02-2002
- APP-7 El Aluminio en el Mundo, 04-2002
- APP-8 MegaProyecto Alumysa, 04-2002
- APP-9 El Fracaso de la Política Fiscal de la Concertación, 04-2002
- APP-10 De Pescadores a Cultivadores del Mar: Salmonicultura en Chile, 06-2002
- APP-11 La Privatización de los Recursos del Mar, 08-2002
- APP-12 Crecimiento Infinito: el mito de la salmonicultura en Chile, 08-2002
- APP-13 Informe Zaldívar: El Conflicto de Interés en la Ley de Pesca, 12-2002
- APP-14 Minera Disputada de Las Condes: El Despojo a un País de sus Riquezas Básicas, 12-2002
- APP-15 TLC con Estados Unidos: Neoliberalismo din Retorno, 03-2003
- APP-16 Impacto Ambiental de la Salmonicultura en Chile: La Situación en la Xª Región de Los Lagos, 06-2002
- APP-17 Antibióticos y Acuicultura: Un Análisis de sus Potenciales Impactos para el Medio Ambiente, la Salud Humana y Animal en Chile, 04-2003
- EDS-1 Del Bosque a la Ciudad: ¿Progreso?, 03-2002
- EDS-2 Domar el capitalismo extremo no es tarea fácil, 11-2002
- ICS-3 ¿Qué Pasa con la Inversión?, 02-2002
- ICS-4 Desde la Perspectiva de la Sustentabilidad: Superávit Estructural, Regla para la Recesión 05-2002
- IPE-1 Una Arteria sobre un Parque, 03-2002
- IPE-2 Dónde habrá más basura: ¿En los Rellenos Sanitarios o en su Proceso de Licitación?, 06-2002
- IR-2000 Informe de Recursos 2000
- IR-2001 Informe de Recursos 2001
- RPP-3 Salmonicultura en Chile: Desarrollo, Proyecciones e Impacto, 11-2001
- RPP-4 Impacto Ambiental de la Acuicultura: El Estado de la Investigación en Chile y en el Mundo, 12-2001
- RPP-5 El Bosque Nativo de Chile: Situación Actual y Proyecciones, 04-2002
- RPP-6 Exitos y Fracasos en la Defensa Jurídica del Medio Ambiente, 07-2002
- RPP-7 Determinación del Nuevo Umbral de la Pobreza en Chile, 07-2002
- RPP-8 De la Harina de Pescado al "Salmón Valley", 08-2002
- RPP-9 Legislación e Institucionalidad para la Gestión de las Aguas, 08-2002
- RPP-10 Megaproyecto Camino Costero Sur ¿Inversión Fiscal al Servicio de Quién?, 11-2002
- RPP-11 Evaluación Social del Parque Pumalín, 12-2002
- RPP-12 El Estado de las Aguas Terrestres en Chile: Cursos y Aguas Subterráneas, 12-2003
- RPP-13 La Crisis Mundial de las Aguas: Algunas de sus Principales Causas, 03-2003
- RPP-14 El Cobre y Su Inserción en el Mundo: Como Cobrar el Sueldo de Chile, 12-2003

Escuche nuestro programa radial "Archivos del Subdesarrollo", todos los lunes a las 19:00 horas en Radio Universidad de Chile, 102.5 F.M.

Fundación Terram es una Organización No-Gubernamental, sin fines de lucro, creada con el propósito de generar una propuesta de desarrollo sustentable en el país; con este objetivo, Terram se ha puesto como tarea fundamental construir reflexión, capacidad crítica y proposiciones que estimulen la indispensable renovación del pensamiento político, social y económico del país.

Para pedir más información o aportar su opinión se puede comunicar con Fundación Terram:

Fundación Terram

Huelén 95 - Oficina 3 - Santiago, Chile

Página Web: www.terram.cl

Info@terram.cl

Teléfono (56) (2) 264-0682

Fax: (56) (2) 264-2514