

# IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA EL ESTADO DE LA INVESTIGACION EN CHILE Y EL MUNDO

UN ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE LOS AVANCES Y RESTRICCIONES  
PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN LOS SISTEMAS ACUÁTICOS

ALEJANDRO H. BUSCHMANN

Profesor Titular  
Departamento de Acuicultura  
Universidad de Los Lagos  
Osorno, Chile

Diciembre, 2001



Terram Publicaciones

Huelén 95 Piso 3, Providencia CP 6640339, Santiago, Chile;  
T: (56 2) 2640682, F: (56 2) 2642514; [www.terram.cl](http://www.terram.cl), [info@terram.cl](mailto:info@terram.cl)



**IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA**  
**EL ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN EN CHILE Y EL MUNDO**

I.	PRESENTACIÓN .....	5
II.	INTRODUCCIÓN .....	7
III.	DEFINICIONES Y DIMENSIÓN DEL PROBLEMA .....	9
	3.1 <i>Insumos utilizados en las labores de cultivo de especies acuáticas</i> .....	9
	a. El Alimento .....	10
	b. La huella ecológica.....	10
	c. Instalación de centros de cultivo .....	10
	d. Los desechos .....	11
	e. Uso de químicos en la acuicultura.....	11
	3.2 <i>Conclusión</i> .....	11
IV.	APROXIMACIONES METODOLÓGICAS PARA EL ESTUDIO DE EFECTOS AMBIENTALES .....	13
	4.1 <i>Metodología para la evaluación del impacto ambiental</i> .....	13
	4.2 <i>Interpretación de los resultados</i> .....	14
V.	EFFECTOS AMBIENTALES EN LA ACUICULTURA .....	15
	5.1 <i>Materia Orgánica</i> .....	15
	a. Efectos ambientales en las aguas continentales.....	16
	b. Impactos en el medio ambiente de las zonas costeras .....	16
	5.2 <i>Agentes químicos: fungicidas, antibióticos y compuestos antiparasitarios</i> .....	17
	5.3 <i>Monocultivos e introducción de especies exóticas</i> .....	18
	5.4 <i>Impactos ambientales del escape de peces</i> .....	19
	5.5 <i>Impactos ambientales sobre los depredadores</i> .....	19
	5.6 <i>Conclusiones</i> .....	19
VI.	INVESTIGACIÓN EN CHILE .....	20
	6.1 <i>Cultivo en agua dulce</i> .....	20
	6.2 <i>Impactos ambientales del cultivo de algas y moluscos</i> .....	21
	6.3 <i>Cultivo de peces en Chile: etapa de agua salada</i> .....	21
	6.4 <i>Enfermedades existentes en Chile</i> .....	22
	6.5 <i>Uso de antibióticos en la acuicultura chilena</i> .....	23
	6.6 <i>Los depredadores de la acuicultura en Chile</i> .....	23
	6.7 <i>Necesidades de investigación en Chile</i> .....	24
	6.8 <i>Conclusión</i> .....	24
VII.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS EFECTOS AMBIENTALES.....	25
	7.1 <i>Conclusión</i> .....	26
VIII.	ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE .....	29
	8.1 <i>Conclusión</i> .....	32
IX.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	33
X.	ANEXO:.....	35
	10.1 <i>Figuras</i> .....	35
	10.2 <i>Tablas</i> .....	45
	10.3 <i>Glosario</i> .....	47
	10.4 <i>Bibliografía</i> .....	51
	10.5 <i>Referencias Bibliográficas</i> .....	63



## PRESENTACIÓN

El explosivo crecimiento que experimentó la producción de salmónes y truchas en Chile en la década de los noventa ha convertido a nuestro país en el segundo productor mundial de salmón y trucha. Hoy día se producen más de 300 mil toneladas de salmónidos en el país y se proyecta triplicar la producción en el año 2010. La prosperidad económica de esta industria de recursos naturales la ha instalado, además, como una posibilidad cierta de desarrollo para las regiones más australes de Chile.

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.

Cada cierto tiempo esta discusión fortalece su presencia mientras los argumentos que la sustentan no lo hacen de igual manera. En esta investigación bibliográfica el destacado biólogo marino, Alejandro Buschmann, reconstruye una amplia evidencia internacional que indica que la salmonicultura genera impactos graves y permanentes sobre los ecosistemas. Además, constata la escasa investigación existente en Chile, y concluye que el enorme crecimiento de esta actividad no ha ido acompañado de la investigación científica que res-

palde las normas que la regulan. Como consecuencia, el marco regulatorio es ineficiente, y no sólo arriesga el ecosistema sureño, sino también la proyección de la actividad en el futuro, debido a la degradación del medio ambiente y a los permanentes conflictos que genera.

Fundación Terram ha iniciado un programa de investigación y una campaña pública de información sobre los impactos de la salmonicultura en Chile. La campaña "Por una Salmonicultura Sustentable" tiene como objetivo central difundir las condiciones en que se realiza el cultivo de salmón en Chile y sus implicancias sobre los ecosistemas del Sur del país, así como el impacto económico y social de la actividad. De esta manera esperamos estimular más investigación científica en la materia y generar instrumentos de regulación que promuevan una salmonicultura verdaderamente sustentable y amigable con su entorno. A nuestro juicio esta es la única forma de asegurar la proyección de la actividad y del ecosistema en el futuro.

En el marco de nuestra campaña se ha elaborado una serie de documentos sobre los impactos de la salmonicultura, donde destaca 'La Ineficiencia de la Salmonicultura en Chile' entre otros. Agradecemos la colaboración de todas las organizaciones que han prestado apoyo a esta campaña e investigación, especialmente a la Embajada Británica por su importante impulso en esta tarea.

Marcel Claude  
Director Ejecutivo  
Fundación Terram



## I. INTRODUCCIÓN

Chile es un país privilegiado por su disponibilidad de agua: 4.300 kilómetros de territorios colindantes con el Océano Pacífico lo confirman y hacen comprensible el gran despliegue de actividades marítimas que se han desarrollado durante las últimas décadas del Siglo Veinte, especialmente en la zona Sur Austral. Dentro de este tipo de actividades la acuicultura, y especialmente la salmonicultura, ocupan un lugar destacado, logrado a través de un intenso período de crecimiento económico y expansión territorial de las actividades de cultivo, esfuerzos que han permitido ubicar a Chile como el segundo productor mundial de salmón.

Tantos años de desarrollo de esta actividad han sometido a los ecosistemas del sur chileno a una intensa modificación producida por las actividades humanas. Estos diversos y múltiples efectos sobre el medio ambiente<sup>1</sup> pueden originar tanto peligros para la salud humana<sup>2</sup>, como también cambios en la biodiversidad<sup>3</sup> y en muchas ocasiones, los conflictos de intereses generados por las iniciativas requeridas para mitigar estos impactos ambientales dificultan la discusión y retardan las medidas concretas de acción, confundiendo un ámbito que por sí solo es complejo.

Los cambios producidos por la actividad económica de Chile durante las últimas décadas, han modificado la estructura productiva de empresas e instituciones, que hoy se caracterizan por una expansión prolongada de las exportaciones no tradicionales<sup>4</sup>. Este crecimiento económico, ha sido construido sobre la base de una presión creciente sobre los recursos naturales<sup>5</sup> y un ejemplo de ello es el caso de la acuicultura.

Desde los inicios de la década de los ochenta esta actividad ha adquirido un gran dinamismo y tiene la mayor tasa de crecimiento dentro del sector pesquero nacional, situando a Chile como el segundo productor mundial de salmón y trucha cultivado, después de Noruega<sup>6</sup>. Complementariamente, no sólo los salmónidos han tenido este auge durante la última década, a ellos debe sumarse la producción de algas, moluscos y otros peces (Tabla 1). A partir de lo expuesto, la acuicultura está entrando en una fase de diversificación<sup>7</sup>.

Esta actividad, como toda con fines productivos, tiene diversos efectos sobre el medio ambiente<sup>8</sup> pero es quizás por su carácter pionero, su elevado volumen de

producción y marcada tendencia expansiva, que ha concentrado las críticas ambientales<sup>9</sup>. No obstante, la discusión generada hasta el momento no ha estado basada en argumentos sólidos, hecho que se ve exacerbado por la falta de información ambiental específica existente en Chile. Por otra parte, la discusión se centra en los argumentos de cuánto y cómo contamina esta actividad y no en cómo proceder para desarrollarla de manera ambientalmente sustentable.

Basado en una revisión de los antecedentes publicados por diversos grupos de científicos establecidos en distintas regiones geográficas, así como en Chile, este estudio entrega algunas bases conceptuales y dimensiona la problemática ambiental relacionada con la acuicultura (capítulo 2). Sigue con una discusión de aproximaciones metodológicas para determinar los efectos de esta actividad sobre ecosistemas acuáticos (capítulo 3) para, posteriormente, entregar los antecedentes existentes hoy sobre los efectos concretos que tiene esta actividad en el medio ambiente (capítulo 4). Luego analiza la evidencia existente en Chile (capítulo 5). Vistos los efectos medio ambientales, se indican aproximaciones metodológicas que han sido utilizadas para evaluar económicamente los impactos producidos por prácticas de acuicultura (capítulo 6). Para finalizar, se presentan alternativas tecnológicas y estrategias de producción que tienden a minimizar los efectos ambientales (capítulo 7) y se entregan recomendaciones y conclusiones (capítulo 8).

El hecho que en Chile el principal grupo de organismos en cultivo aún sea el de los salmónidos, produce un sesgo en el análisis de la información, pero debe tenerse presente que el desarrollo de la acuicultura contempla otras especies que no deben ser olvidadas y, en cada ocasión que sea pertinente, se realizarán las indicaciones necesarias al respecto. Si bien este estudio se centra en un sector productivo se debe tener presente que, desde un punto de vista ambiental integral, para poder tener éxito en el manejo de nuestros recursos naturales, renovables y no renovables, el esfuerzo debe enfocarse en dimensionar el problema considerando a todos los usuarios de los recursos hidrológicos. Esta revisión debe permitir a estudiantes y académicos de biología marina, acuicultura y ecología, así como a profesionales del área, de servicios públicos y de agencias no gubernamentales, tener una visión global y actualizada de la problemática en casi todos los ámbitos donde la acuicultura confluye con el medio ambiente.





### III. DEFINICIONES Y DIMENSIÓN DEL PROBLEMA

*La acuicultura impacta en el medio ambiente a través tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final. Para producir el alimento de especies carnívoras, como los salmónidos, se está generando una alta presión sobre los bancos de peces. Además, la intervención intensiva que generan las prácticas acuícolas va degradando el medio ambiente: primero por la utilización del agua que recibe grandes cantidades de desechos, como el alimento no consumido por los peces que sedimenta el fondo marino, dañando un espacio que no sólo es utilizado por los peces cultivados sino también por otras las especies; segundo porque se introducen antibióticos y sustancias químicas al ecosistema, necesarias para realizar la actividad, además la introducción de ovas foráneas aumenta la probabilidad de expansión de enfermedades en el medio, entre otros impacto; finalmente se genera una enorme cantidad de desechos en el proceso de faena del producto que muchas veces termina en los cursos de agua. A esto se agrega que una significativa porción de los nutrientes queda disueltos en la columna de agua, produciendo fenómenos de eutroficación. El concepto de huella ecológica considera que un centro de cultivo tiene una influencia en el medio ambiente diez mil veces superior a su superficie. Este impacto tiene un costo ambiental, económico y social y la pregunta que surge es si esto es sustentable en el tiempo.*

Usualmente, las actividades humanas producen cambios en los ecosistemas, los que, muchas veces, generan efectos adversos en el medio ambiente. En ese contexto la acuicultura, al igual que otras actividades económicas, usa y transforma los recursos en productos con un valor económico y social. Al hacerlo produce desechos que, a su vez, requieren de otros servicios ambientales para ser asimilados o reciclados<sup>10</sup>. Por ello, el impacto sobre el medio ambiente emerge de estos tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación de productos (fig. 1).

Todo esto no sólo produce un costo a la sociedad en general sino, además, compromete la sustentabilidad de la acuicultura misma<sup>11</sup>.

En este proceso la acuicultura requiere un amplio espectro de recursos distribuidos en una gran zona geográfica, los cuales a través de transformaciones producen una concentración de desechos en un lugar determinado<sup>12</sup>. En este capítulo, las siguientes secciones exploran las implicancias ambientales de estos tres procesos (consumo, transformación y asimilación), así como sus consecuencias prácticas y conceptuales para el desarrollo de una acuicultura sustentable.

#### 3.1 INSUMOS UTILIZADOS EN LAS LABORES DE CULTIVO DE ESPECIES ACUÁTICAS

La demanda de agua y de espacio es imprescindible para el desarrollo de prácticas de acuicultura: la prime-

ra se usa como soporte para el cultivo de las especies acuáticas, dependiendo del tipo de organismos en cultivo (autótrofos<sub>I</sub> o heterótrofos<sub>II</sub>); como proveedora de oxígeno y otros nutrientes; y como reservorio para los elementos de desechos, los que pueden tener diversos efectos sobre el medio ambiente (Fig. 2). El espacio para las instalaciones en tierra y agua es otro insumo que esta actividad requiere y, muchas veces, gatilla tensiones sociales provocadas por la percepción de las comunidades humanas asentadas en las cercanías, que no vislumbra los beneficios de esta actividad, o porque la ubicación de sus instalaciones genera competencias con otras actividades productivas.

Materiales de diversos tipos son requeridos para la construcción de los sistemas de acuicultura. En países donde las prácticas de cultivo son extensivas los materiales más requeridos son baratos y disponibles localmente, como el caso de las maderas y los elementos de desechos de otras actividades humanas. En cambio, cuando las prácticas de acuicultura tienden a ser más intensivas, los materiales utilizados tienden a tener un mayor costo, es el caso del acero galvanizado, el aluminio, la fibra de vidrio y el PVC. Sin embargo, y en un contexto general, la demanda de estos recursos por parte de la acuicultura no es significativa<sup>13</sup>.

Además, diversos elementos químicos son demandados por parte de las actividades de producción acuícola

---

I Ver glosario  
II Ver glosario

para la prevención y el tratamiento de enfermedades. El uso de pinturas anticorrosivas y las que eviten la proliferación de organismos incrustantes<sup>III</sup>, son también requeridos para mejorar los rendimientos productivos. Muchos de estos compuestos tienen diferentes componentes que, de un modo u otro, generan efectos ambientales y serán discutidos en mayor detalle más adelante.

La acuicultura requiere de una fuente de semilla para comenzar sus actividades. En algunos casos, éstas se obtienen directamente de la naturaleza dado que su producción, en sistemas de cultivo, es compleja o porque no es económicamente viable<sup>14</sup>. Sin embargo, desde un punto de vista productivo, la captura de semillas de la naturaleza no es deseable ya que los costos para su obtención y transporte, así como la mortalidad y la incapacidad de seleccionar a los individuos de mejor calidad, no permiten mejorar la productividad. Además, es posible pensar que una captura de semillas puede tener efectos negativos sobre las tasas de reclutamiento de las poblaciones naturales.

#### **a. El Alimento**

El alimento es uno de los principales insumos requeridos por la acuicultura animal. La intensificación de esta práctica de cultivo de peces ha significado que pequeños granjeros no puedan mantener su negocio y que la producción de los especímenes se sustente cada vez más de una fuente exógena de alimento<sup>15</sup>.

Como consecuencia, la producción, especialmente de peces y crustáceos (organismos de alto nivel trófico o carnívoros), se ha desarrollado basada en la industria de harina de pescado (Fig. 3).

A mediados de los años noventa la producción mundial del salmón del Atlántico era de 400 mil toneladas y, asumiendo un factor de conversión del alimento de 1,3:1, se obtiene que para su producción fueron requeridas 520 mil toneladas de alimento. Considerando que la dieta de salmón contiene un 50% de harina de pescado y que 5 toneladas de peces son requeridas para procesar 1 tonelada de este insumo, se puede estimar que para sustentar la producción del Salmón del Atlántico se necesitó, anualmente, 1.3 millones de toneladas de pe-

ces<sup>16</sup>, es decir, se requiere, aproximadamente, tres kilos de pescado para producir uno de salmón.

Esos datos indican que la demanda de harina de pescado de la industria acuícola equivale al 15% de la producción mundial y a un 5% de la pesca. Información actualizada sobre este punto ha permitido estimar que la acuicultura de organismos carnívoros está basada en una alta presión sobre las pesquerías con la consecuente modificación de los hábitats donde se sustenta la actividad pesquera<sup>17</sup>. Estos últimos trabajos han tenido un gran impacto y han suscitado controversia. De ellos se desprende que, en general, la actividad acuícola debe prepararse para mejorar y desarrollar información científica que permita generar un desarrollo sustentable<sup>18</sup>. A pesar de ello, e incluso contemplando algunas variaciones de los números, producto de las estimaciones realizadas, parece indiscutible que la producción de organismos de alto nivel trófico pueda seguir expandiéndose indefinidamente sin afectar la abundancia de las pesquerías mundiales.

#### **b. La huella ecológica**

En otro plano, una consecuencia de la demanda de los diferentes insumos requeridos por parte de la acuicultura se puede explicar con el concepto de la "huella ecológica" (Fig. 4). Este término se refiere al requerimiento de espacio, tanto de agua como de tierra, necesario para proveer de recursos, servicios y energía a un área productiva determinada<sup>19</sup>.

Estudios realizados en diferentes partes del mundo indican que el área requerida para garantizar el funcionamiento de una hectárea de cultivo de salmones es una superficie al menos 10 mil veces superior<sup>20</sup>. En el capítulo 8 de este estudio, analizaremos alternativas tecnológicas y estrategias de desarrollo que tienden a disminuir la huella ecológica de prácticas de cultivo intensivos en cuerpos de agua.

#### **c. Instalación de centros de cultivo**

En relación con el segundo proceso de transformación (Fig. 1), la instalación de un centro productivo en el que se requerirán balsas jaula, líneas flotantes y otros sistemas, implica necesariamente un incremento de la actividad humana y de los niveles de ruido<sup>21</sup>. Ello tiene efectos adversos sobre la vida silvestre, tanto en el sitio específico como en toda la zona costera aledaña y en rutas de servicios cercanas a éste.

III Organismos animales y/o vegetales que causan problemas al fijarse en estructuras artificiales como cascos de barcos, muelles y sistemas de balsas usadas en la acuicultura (definición en el glosario)

Por otra parte, el cultivo de una especie en un lugar determinado atrae depredadores, lo cual puede producir como resultado final la muerte de animales en forma accidental o deliberada. Ello ha producido, en muchas ocasiones, un aumento de los conflictos con organizaciones preocupadas por el cuidado del medio ambiente cuyas iniciativas de protección, incluso han logrado introducir en algunas regiones Códigos de Prácticas en orden de minimizar los conflictos<sup>22</sup>. Los efectos ambientales producidos durante este proceso de transformación serán discutidos con mayor profundidad en el Capítulo 4 de este estudio.

#### *d. Los desechos*

La producción acuícola finaliza con la obtención de su producto y sus desechos (Fig. 1). Los desechos van desde diversos tipos de plásticos y estructuras metálicas, hasta alimento no ingerido, productos de excreción, materias fecales, químicos, microorganismos, parásitos y animales asilvestrados<sup>23</sup>. Del total del alimento suministrado para la producción de salmones cerca de un 25% de los nutrientes son asimilados por éstos, mientras que un 75% a 80% queda en el ambiente de una forma u otra (Fig. 5). Una parte importante de estos desechos va al fondo y otro porcentaje queda en la columna de agua. Este aporte y concentración local de nutrientes tiene múltiples efectos ambientales que se indicarán con detalle en el Capítulo 4.

El cultivo de organismos filtradores como ostiones y choritos, aunque no implica un suministro externo de alimento, también tiene diferentes efectos ambientales y concentran elementos de desecho en las inmediaciones a los centros donde son cultivados<sup>24</sup>. Sin embargo, es necesario indicar que sus efectos son al menos 15 veces menores que el de organismos que requieren un aporte exógeno de alimento como en el caso de los salmones<sup>25</sup>. A pesar de ello, debe indicarse que los filtradores producen un aumento de la biodepositación<sup>v</sup> en el lugar de cultivo junto con una disminución de la sedimentación en un área geográfica mayor<sup>26</sup>, fenómeno que no ocurre en el cultivo de salmones.

Los valores entregados en el párrafo anterior pueden estar sujetos a variaciones al considerarse las diferentes especies de cultivo, las diferencias entre la dinámica hidrográfica y las condiciones climáticas de los lu-

gares en que se instalen los cultivos, así como variaciones en las formulas del alimento o en las aproximaciones metodológicas de las investigaciones<sup>27</sup>. A pesar de ello, las conclusiones generales encontradas no difieren e indican que con un mayor o menor grado de importancia el depósito de materia orgánica y transferencia de diferentes compuestos a la columna de agua son altamente significativos, especialmente cuando existen prácticas de acuicultura donde se tiene una fuente exógena de alimento.

#### *e. Uso de químicos en la acuicultura*

El uso de químicos para combatir parásitos, hongos y bacterias también produce residuos que permanecen en el ambiente y tienen diversos efectos sobre la biota. Algunos países son más estrictos en sus regulaciones que otros, por ejemplo Norteamérica en comparación con Japón<sup>28</sup>, y existe una gran variabilidad en la forma y cantidad de uso de estos compuestos entre granjas lo cual complica entregar resultados generales.

No obstante, se puede indicar que Noruega, que es el único país que lleva un registro de uso de antibióticos<sup>29</sup>, como consecuencia del mayor conocimiento científico sobre las enfermedades que afectan a salmónidos y del desarrollo de vacunas específicas, disminuyó drásticamente el uso de estas sustancias durante los años noventa<sup>30</sup>. Los efectos ambientales producidos por el uso de antibióticos y otros compuestos serán descritos en detalle en el Capítulo 4.

### **3.2 CONCLUSIÓN**

Al considerar los diferentes insumos que son requeridos para una producción acuícola intensiva, queda claro que esta actividad no es una demandante significativa de ellos, salvo en el caso del alimento. La acuicultura intensiva de organismos de alto valor comercial requiere considerar su responsabilidad en la sobreexplotación de los stocks de peces y sus efectos en la vida silvestre<sup>31</sup>. Más adelante este estudio discutirá los avances y restricciones que existen en el desarrollo de dietas para disminuir los efectos medio ambientales y establecerá los posibles efectos que produce el proceso productivo y sus desechos sobre el medio ambiente. En este contexto parece importante que para poder dimensionar una actividad productiva es necesario aplicar el concepto de Huella Ecológica considerando que la producción depende de una compleja trama de servicios que provee el medio ambiente.

IV Ver glosario

V Depositación de materia orgánica por organismos vivos (definición en glosario)



#### IV. APROXIMACIONES METODOLÓGICAS PARA EL ESTUDIO DE EFECTOS AMBIENTALES

*Uno de los principales problemas que surge a la hora de medir los impactos ambientales de las actividades humanas, entre ellas la salmonicultura, es metodológico. En este capítulo, el autor analiza diferentes aproximaciones metodológicas necesarias para establecer en forma objetiva los efectos ambientales de estas actividades humanas. Además, del uso de estas metodologías, es necesario interpretar adecuadamente sus resultados. Aquí surge la necesidad de recopilar toda la información existente respecto del fenómeno estudiado, área que en Chile es muy difícil debido a la escasez de la información y a la reserva que las empresas salmoneras mantienen sobre sus propios estudios. La recomendación del autor nace de esta dificultad: se hace urgente la investigación científica para evaluar los impactos ambientales de la acuicultura y, especialmente, de la salmonicultura en Chile.*

En Chile, el impacto ambiental se define legalmente como: "la alteración del medio ambiente, provocada directa e indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada"<sup>32</sup>. La salmonicultura es una actividad que generaría efectos ambientales. Sin embargo, tras 20 años de iniciada su actividad en forma intensiva y programada, se desconoce aún la dimensión real de estos efectos. Las razones de este desconocimiento se deben a que no se han aplicado herramientas confiables que permitan su conocimiento y a que la mayoría de los estudios han sido efectuada por las propias empresas productoras con fines privados.

En la actualidad, es un requerimiento impostergable para el país<sup>33</sup> que la ponderación de los efectos ambientales ocasionados por las actividades acuícolas, y en particular por la salmonicultura, se realice sobre la base de estudios aplicados con técnicas poderosas de muestreo y análisis de información que permitan generalizar sus conclusiones.

No obstante, el deseo de llevar a cabo una correcta evaluación de los problemas ambientales, asociados a cualquier actividad productiva, como es la acuicultura en este caso, requiere una aproximación conceptual, así como metodológica, adecuada para obtener resultados libres de sesgos y preconcepciones. El primer problema que debe ser resuelto se refiere a qué metodología utilizar en una evaluación objetiva de los efectos ambientales, aspecto que trataremos a continuación.

##### 4.1 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Existen diferentes metodologías de evaluación de posibles impactos y/o efectos sobre el medio ambiente, con el fin de encontrar una valoración objetiva que las di-

versas actividades humanas ocasionan. Las más simples corresponden a los listados ambientales, los que no son cuantitativos y, por lo tanto, no permiten alcanzar niveles de resolución apropiados. Por ello se han desarrollado técnicas más complejas entre las que destaca el diseño experimental propuesto por Bernstein y Zalinski (1993) denominado originalmente diseño "BACI" (Before-After-Control-Impact) y traducido al español como "ADCI" (Antes-Después-Control-Impacto).

El diseño ADCI consiste en que los sitios control (C) e impacto (I) son sometidos simultáneamente, en forma previa (A), a muestreos. Posteriormente (D) a la ocurrencia del efecto contaminante se repite el proceso con la finalidad de tener certeza de que los cambios ocurridos en la zona de impacto se deben al efecto estudiado (impacto) y no a cambios globales y/o temporales, los que también pueden afectar a la zona control.

Este diseño "ADCI" ha sido complementado por Underwood<sup>34</sup>, generando el diseño "Más allá de ADCI", que recomienda aumentar el número de sitios controles para obviar las diferencias naturales entre ellos y, complementariamente, aumentar el número de muestreos tanto antes como después de ocasionado el impacto, con la finalidad de asimilar las variaciones temporales y espaciales.

Antes del evento contaminante, se extraen repetidamente las muestras de la zona potencialmente impactada, en forma aleatoria, con el fin de tener una aproximación o línea base que considere las variaciones temporales sobre este sitio. Paralelamente, varios lugares controles, de características similares al sitio de impacto, son seleccionados para el estudio con la finalidad de considerar las variaciones espaciales de éstos o la heterogeneidad del ambiente en el estudio de línea base.

En resumen, de los sitios controles se deben extraer reiteradamente varias muestras antes del evento contaminante con el objetivo de incluir las variaciones temporales en la misma base. Una vez ocurrido el impacto ambiental, tanto el sitio afectado como los sitios controles son frecuentemente muestreados con el fin de establecer las variaciones temporales de cada lugar. Las réplicas de los sitios controles permiten incluir en el estudio las variaciones espaciales existentes entre los controles y el sitio de impacto, disminuyendo la varianza de los resultados como efecto de la alta heterogeneidad del ambiente<sup>35</sup>.

Para una apropiada determinación de efectos ambientales utilizando las metodologías anteriormente descritas, es necesario disponer de estudios de línea base con los cuales contrastar los resultados obtenidos en los sitios impactados. Si bien en Chile existe un número importante de ecólogos marinos, como se analizará en el capítulo 5, la falta de conocimiento sobre nuestra flora y fauna marina y su variabilidad natural en el Sur de Chile es un aspecto altamente limitante para poder entregar evaluaciones ambientales concretas y con un poder predictivo relevante.

Debe tenerse presente que, incluso con una línea de base potente, la factibilidad de poder indicar efectos ambientales en forma inequívoca es compleja<sup>36</sup>, lo cual permite reafirmar la necesidad de buenos estudios de línea base que consideren la variabilidad espacial y temporal de los organismos presentes.

## **4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Después de haber resuelto el problema metodológico, es necesario abocarse a los problemas de interpretación y de cómo realizar las predicciones de las consecuencias ambientales futuras que una actividad productiva determinada pueda tener<sup>37</sup>. Uno de ellos es que normalmente las evaluaciones de impacto ambiental omiten demostrar una relación causal entre la actividad y los efectos indicados. Esto significa, entre otros aspectos, que el problema se presenta al momento de demostrar el mecanismo mediante el cual la actividad humana afecta al ambiente.

Para determinar la importancia de efectos ambientales detectados usando algunas de las aproximaciones metodológicas antes indicadas, es necesario señalar que

existen varias restricciones (Tabla 2). En consecuencia, parece importante que para evaluar, interpretar y poder realizar predicciones en forma objetiva - con una probabilidad razonable de que éstas sean correctas- se lleven a cabo diferentes tipos de mediciones y aproximaciones metodológicas<sup>38</sup>.

A pesar de la alta relevancia conceptual y práctica que los estudios indicados anteriormente tienen para demostrar en forma objetiva los efectos ambientales de una actividad humana particular, se debe reconocer que en muchas situaciones se determina el impacto ambiental de alguna actividad sin contar con información antes de ocurrida la perturbación<sup>39</sup>. Dado que los efectos ambientales de la acuicultura no son accidentales y sí consecuencias de una actividad productiva programada, el argumento anterior no debería haber sido aceptable. No obstante, parece que hoy día debemos conformarnos con evaluaciones ambientales que utilizan aproximaciones menos poderosas. En consecuencia, parece urgente que se dé inicio a programas de monitoreo sistemáticos, de largo aliento e independientes. Esta es la única manera de obtener la información necesaria sobre los servicios que este recurso presta, para asegurar que tengan la calidad aceptable por la sociedad<sup>40</sup>. Por ello se concluye que dado las actuales posibilidades de dimensionar su impacto y el potencial de crecimiento de la actividad acuícola en Chile, es necesario establecer, mediante estudios de alta calidad técnica, los efectos ambientales que la actividad está teniendo en Chile.

## V. EFECTOS AMBIENTALES EN LA ACUICULTURA

*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 eutroficación, estimulando la aparición de algunos organismos y la ausencia de otros, y alterando gravemente los ecosistemas acuáticos.*

*Otro problema es la utilización de agentes químicos como antibióticos, fungicidas y compuestos antiparasitarios. Aunque sus impactos en la salud humana no han sido detectados categóricamente y sus impactos en los ecosistemas marinos varían dependiendo de las condiciones del cultivo, se advierte sobre la incertidumbre de su inocuidad. En el caso de los fungicidas, el Verde Malaquita, por ejemplo, va a dar directamente a las aguas, sin tratamiento sanitario, lo que puede tener un impacto significativo.*

*Finalmente, en este capítulo se abordan: los impactos ambientales provocados por el monocultivo intensivo de especies carnívora y por el escape de los peces en cautiverio; y los efectos de estas prácticas en los depredadores naturales de las especies que se cultivan.*

El uso de recursos y el proceso de producción de la actividad acuícola tienen diversos efectos sobre el medio ambiente (Fig. 6). Conforme al capítulo 2, los desechos producen efectos tanto en la columna de agua<sub>VI</sub> como en el fondo de las instalaciones de cultivo<sup>41</sup>. 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. Durante el proceso de sedimentación, las partículas pueden ser consumidas por peces silvestres<sup>42</sup> descompuestas en unas aún más finas. La actividad microbiana permite que los diferentes nutrientes se solubilizan. 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<sup>43</sup>. Además, en sitios con depósitos de materia orgánica se generan nutrientes disueltos hacia la columna de agua (Fig. 5).

Se ha estimado en diferentes regiones, organismos y sistemas de cultivo, que más del 60% del fósforo (P) y el 80% del nitrógeno (N), aportado por los desechos de las especies cultivadas, termina, finalmente en la columna de agua<sup>44</sup>. Estos cambios en la columna de agua incluirían alzas en los niveles de nutrientes (N y P); aumento de la materia orgánica disuelta; una reducción de la concentración de oxígeno disuelto; alteración del pH<sub>VII</sub>, de los niveles de conductividad y transparencia del agua<sup>45</sup>.

VI Ver glosario  
VII Ver glosario

### 5.1 MATERIA ORGÁNICA

La instalación de centros de cultivo de invertebrados o peces produce una acumulación de materia orgánica compuesta por los restos de alimentos y por las mismas materias fecales de los organismos en cultivo<sup>46</sup>. Sin embargo, hay que obrar con cautela, porque no en todas las ocasiones los sistemas de cultivo implican cambios en la composición química de los sedimentos o en la estructura del macrobentos<sub>VIII</sub><sup>47</sup>.

No obstante, el aumento de materia orgánica bajo los sistemas de cultivo ha sido constatado tanto en cuerpos de aguas continentales como en zonas costeras. La acumulación de materia orgánica depende de varios factores, entre otros de 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<sup>48</sup>, ello produce que los fondos, bajo los sistemas de cultivo, puedan tener muy alto contenido de materia orgánica y nutrientes<sup>49</sup>.

La materia orgánica acumulada estimula la producción bacteriana, cambiando la composición química, la estructura y funciones de los sedimentos<sup>50</sup>. Algunos efectos del aumento de la carga de materia orgánica y de los nutrientes en los sedimentos son: disminución de las

VIII Ver glosario

concentraciones de oxígeno y aumento de la demanda biológica de oxígeno (los sedimentos aumentan su condición anaeróbica<sub>IX</sub> 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, producción de metanogénesis<sub>X</sub> e hidrógeno sulfídrico<sub>XI</sub> en zonas marinas<sup>51</sup>, además de un aumento de los lípidos<sup>52</sup>.

#### a. *Efectos ambientales en las aguas continentales*

Los efectos de estos desechos han sido mejor identificados en cuerpos de agua continentales<sup>53</sup> que en zonas marinas con características de estuario, donde las corrientes permiten una mayor velocidad de dilución de los desechos. Esto último conlleva a que los efectos sean más transitorios y sólo aparentes durante los ciclos de mareas muertas.

A pesar de ello, se ha registrado un aumento de las concentraciones de amonio<sub>XII</sub> y disminuciones de las concentraciones de oxígeno<sup>54</sup>. Ello puede alterar los ciclos normales de nutrientes, afectando la abundancia del fitoplancton<sub>XIII</sub>, zooplancton<sub>XIV</sub> y peces, fenómenos que han sido detectados ampliamente en diferentes lagos utilizados por prácticas de acuicultura<sup>55</sup>.

Asimismo, no sólo se ha constatado el aumento en la abundancia de las especies que habitan en la columna de agua sino cambios en la estructura y función de las especies planctónicas presentes. Por ejemplo, se ha descrito el cambio de una comunidad dominada por microalgas hacia otra dominada por cianobacterias<sub>XV</sub> y varias especies de *Daphnia*<sub>XVI</sub><sup>56</sup>.

En sistemas de agua dulce esta acumulación de materia orgánica se correlaciona con cambios en las comunidades macrobentónicas<sub>XVII</sub> en las áreas de cultivo<sup>57</sup>. Hay que destacar que la correlación entre la abundancia de depósitos de materia orgánica parece ser, en general, positiva con respecto a la diversidad de espe-

---

IX Ver glosario

X Ver glosario

XI Ver glosario

XII Ver glosario

XIII Ver glosario

XIV Ver glosario

XV Ver glosario

XVI Ver glosario

XVII Molécula importante en el proceso de fotosíntesis que puede ser utilizada como indicador de la abundancia de fitoplancton y en consecuencia del grado de eutroficación del cuerpo de agua (definición en el glosario).

cies presentes, mientras que la abundancia de macrobentos, aparece como negativa. Sistemas muy impactados están dominados por especies tolerantes tales como oligoquetos<sub>XVIII</sub> y algunas especies de larvas de chironomidas<sub>XIX</sub>, en tanto que especies poco tolerantes, tales como Ephemeroptera<sub>XX</sub>, pueden desaparecer<sup>58</sup>.

#### b. *Impactos en el medio ambiente de las zonas costeras*

En zonas costeras, la identificación de efectos por la presencia de sistemas de cultivo marino sobre la productividad y la composición de especies no ha sido tan clara dado la mayor velocidad de difusión de los nutrientes<sup>59</sup>. Sin embargo, Wallin y Håkanson<sup>60</sup> encontraron correlaciones entre la concentración de nutrientes, producidos por sistemas de cultivo, y la concentración de clorofila<sub>XXI</sub>.

Otros estudios han correlacionado la abundancia de especies de fitoplancton tóxico con la presencia de sistemas de cultivo<sup>61</sup>. Suárez y Guzmán (1998) señalan que el cultivo intensivo de peces en espacios confinados, como jaulas, ha causado floraciones de especies de microalgas no tóxicas que pueden llegar a ser altamente nocivas y hasta letales por acumularse en lugares de donde los peces cultivados no pueden escapar.

Wu<sup>62</sup> señala una disminución en la concentración de oxígeno hasta 1 km de las balsas jaula de cultivo, sin embargo no logró correlacionar estos cambios con los sólidos en suspensión o con los niveles de clorofila presentes en el agua. Estas alteraciones ocasionarían, a su vez, efectos en la presencia y abundancia de especies que constituyen las comunidades marinas<sup>63</sup>.

En zonas con limitadas corrientes e intercambio de agua como el mar Báltico, se demostró que la productividad de macroalgas<sub>XXII</sub>, composición de algas epífitas<sub>XXIII</sub> así como la estructura comunitaria de peces, puede ser afectada por la presencia de cultivos<sup>64</sup>. Además, se ha observado que en otras zonas geográficas se incrementó la abundancia de peces<sup>65</sup> y de poblaciones de aves<sup>66</sup> en las vecindades a los sistemas de cultivo.

---

XVIII Ver glosario

XIX Ver glosario

XX Ver glosario

XXI Como consecuencia de una perturbación natural o artificial se generan una serie de efectos en cadena (definición en el glosario).

XXII Ver glosario

XXIII Ver glosario



En ecosistemas marinos también se han reportado cambios en la abundancia y diversidad de especies macrobentónicas, sin embargo, no en todos los casos estos efectos son significativos<sup>67</sup>. Bajo balsas jaula y sistemas de cultivo de moluscos se han registrado incrementos en la abundancia de poliquetos oportunistas (p. ej. Capitella y Scolelepis)<sup>XXIV</sup>, cambios en las tramas tróficas<sup>XXV</sup> y disminución de la diversidad como consecuencia del aumento de la materia orgánica<sup>68</sup>.

La zona impactada es, en general, muy localizada y circunscribe el área de cultivo entre 20 a 50 m, pero en algunas ocasiones puede alcanzar sus efectos hasta 150 metros de las jaulas<sup>69</sup>. El enriquecimiento de los fondos marinos con materia orgánica también puede afectar la abundancia de la meiofauna (nemátodos y copépodos)<sup>XXVI</sup><sup>70</sup>.

Adicionalmente al depósito de materia orgánica, como consecuencia de las heces y alimento no ingerido se puede originar en el cultivo de moluscos, en el desprendimiento y caída al fondo de los organismos cultivados un aumento de depredadores, los que producen efectos en cascada<sup>XXVII</sup> sobre la abundancia de presas<sup>71</sup>.

Además de los efectos directos del depósito de materia orgánica sobre los fondos, en casos extremos, se pueden generar efectos sobre los propios organismos en cultivo. Se han reportado muertes de peces cultivados, como consecuencia de una inversión de los estratos de agua del fondo con una baja concentración de oxígeno en un lago estratificado<sup>72</sup> y aumentos de mortalidad por la disminución del oxígeno en zonas costeras<sup>73</sup>. Sin embargo, estos aspectos no han recibido toda la atención científica necesaria<sup>74</sup>.

## 5.2 AGENTES QUÍMICOS: FUNGICIDAS, ANTIBIÓTICOS Y COMPUESTOS ANTIPARASITARIOS

A la contaminación de materia orgánica, se suma una producida por los agentes químicos utilizados en las distintas prácticas de acuicultura: elementos utilizados en la construcción, en la protección contra la corrosión y en anti-fijación de organismos incrustantes, así como otros que habitualmente se utilizan en las actividades

de cultivo. También se cuentan algunos pigmentos incorporados al alimento, desinfectantes y diferentes productos utilizados para el control de enfermedades<sup>75</sup>. Algunos de ellos se usan en cantidades extremadamente insignificantes pero, en la gran mayoría de los casos, no se tiene información certera de sus posibles efectos sobre el medio ambiente.

Uno de los productos más relevantes por las cantidades utilizadas, especialmente en el cultivo de peces, son los diferentes fármacos requeridos para combatir enfermedades. Estos fármacos comprenden gran variedad de productos tales como antibióticos, fungicidas y compuestos antiparasitarios (Tabla 3). En términos generales, los fármacos son requeridos más en el cultivo de especies marinas que en organismos cultivados en cuerpos de aguas continentales<sup>76</sup>.

Antibióticos y otros químicos son utilizados para el tratamiento de diversas patologías y son suministrados vía oral o como vacunas inyectables. En el primer caso, la mayor parte de estos compuestos termina en el ambiente, a través del alimento no ingerido y en las fecas, los que pueden ser posteriormente consumidos por organismos detritívoros<sup>XXVIII</sup> o peces silvestres que se alimentan alrededor de los sistemas de cultivo. Algunos antibióticos solubles se diluyen rápidamente y otros, como la oxytetraciclina<sup>XXIX</sup>, son fotodegradables<sup>77</sup>. Sin embargo, se ha determinado que diferentes antibióticos pueden permanecer durante varios meses en los sedimentos<sup>78</sup>.

Hoy día, se reconoce que los antibióticos pueden estar presentes a cientos de metros de los sistemas de cultivo, permanecer en el ambiente por más de dos semanas, luego de ser suministrados, y encontrarse en organismos que consumieron restos de alimentos con residuos de antibióticos<sup>79</sup>. Esto implica la alerta sobre el consumo de estos organismos por el hombre<sup>80</sup>, pero aún no existen evidencias de efectos negativos sobre los organismos y la especie humana.

Por otra parte, se han realizado estudios tendientes a verificar si la presencia de antibióticos en los sedimentos puede producir alteraciones en los procesos químicos que ocurren naturalmente en ellos. En este contexto, experimentos han demostrado que estos compuestos pueden inhibir los procesos de reducción de

---

XXIV Ver glosario

XXV Ver glosario

XXVI Ver GLOSARIO

XXVII Como consecuencia de una perturbación natural o artificial se genera una serie de efectos en cadena (definición en el glosario)

---

XXVIII Ver glosario

XXIX Ver glosario

sulfatos<sub>XXX</sub> así como de nitrificación<sub>XXXI</sub><sup>81</sup>. Sin embargo, existe poca evidencia de cambios en la microflora bajo balsas jaula y en las tasas de descomposición de la materia orgánica como consecuencia de la presencia de antibióticos<sup>82</sup>. Finalmente, varios estudios han demostrado un aumento de la resistencia de bacterias inocuas y patógenas en sitios donde se aplican antibióticos<sup>83</sup>, la que puede perdurar por varios años después de que el sitio de cultivo haya dejado de ser utilizado por prácticas de acuicultura.

El significado de estos hallazgos, así como del probable aumento de organismos patógenos de animales silvestres, de aquellos en cultivo o en el hombre, son temas aún pendientes. Más aun, problemas metodológicos aún no resueltos, permiten plantear diversas dudas sobre la validez de los estudios con antibióticos<sup>84</sup>.

Otros fármacos que producen preocupación ambiental son diferentes compuestos utilizados para el control de ectoparásitos<sub>XXXII</sub>, por ejemplo Verde Malaquita, que se aplican dando baños a los peces infectados. Sin embargo, los químicos son posteriormente eliminados a los cuerpos de agua, éstos pueden afectar otros organismos como por ejemplo larvas de diferentes crustáceos. No obstante, otros estudios no han logrado verificar efectos sobre la abundancia de invertebrados<sup>85</sup>, por lo que hay que abordar este tema con cautela. Independientemente de los resultados, la necesidad de desarrollar procedimientos de seguridad y/o buscar químicos alternativos de menor riesgo, parece de sentido común. Por ejemplo, el uso de peróxido de sodio parece ser una alternativa viable para el tratamiento de ectoparásitos de peces. También hay resultados exitosos utilizando depredadores para el control de su abundancia<sup>86</sup>.

El uso de químicos para el control de organismos incrustantes (algas e invertebrados sésiles<sub>XXXIII</sub>), que afectan las estructuras de cultivo y la circulación del agua, también han recibido cierta atención. Varias formas de estos productos - por ejemplo, productos organotin - están prohibidos en algunos países por ser altamente tóxicos para moluscos<sup>87</sup> y para los mismos peces en cultivo<sup>88</sup>. Otro producto que tienen algún compuesto biocida<sub>XXXIV</sub> es el cobre, que genera una cubier-

ta tóxica sobre la superficie y evita el asentamiento de algas e invertebrados. Al parecer, estos productos no tienen mayores restricciones en el ámbito mundial<sup>89</sup>.

Idealmente, la liberación del compuesto biocida debe ser lenta para que su aplicación tenga un efecto prolongado. El cobre también es tóxico para algas e invertebrados y se han realizado investigaciones evaluando las tasas de liberación de estos compuestos al medio<sup>90</sup>. Al parecer, no existen estudios sobre la acumulación de cobre en peces en cultivo. También se ha encontrado cobre en los sedimentos bajo jaulas de peces<sup>91</sup>, pero su significado ecológico, esto es, sus efectos sobre la abundancia de los organismos bentónicos permanece hoy como una interrogante abierta. Dado que el cobre forma complejos con la materia orgánica, muy abundante en sistemas de cultivo, éste no estaría biodisponible, reduciendo sus eventuales efectos ambientales. Es importante destacar los esfuerzos de investigación básica y aplicada que se están realizando en diversas partes del mundo para proveer formas alternativas para el control de organismos incrustantes: desarrollo de nuevos materiales y estructuras de cultivo que disminuyan la fijación de estos organismos<sup>92</sup> y el uso de peces como biocontrol de las especies incrustantes<sup>93</sup>. No obstante, aún resta mucho por avanzar en este campo con el fin de eliminar el uso de pinturas contra organismos incrustantes.

### 5.3 MONOCULTIVOS E INTRODUCCIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS

También ha sido motivo de estudio la abundancia de patógenos<sup>94</sup> provocada por el mantenimiento en condiciones de monocultivo, en altas densidades y en un lugar determinado, por un tiempo prolongado. Esta probabilidad ha generado inquietud sobre el riesgo de contaminación de organismos silvestres, sin embargo, no existen evidencias de efectos de patógenos de organismos en cultivo sobre otras poblaciones naturales.

Por otra parte, la introducción de especies exóticas con fines de producción, como salmónidos, implicaría el ingreso de patógenos y estados microscópicos de especies invasoras<sup>95</sup>, las que podrían interactuar o relacionarse con la flora y fauna local, con efectos desconocidos sobre éstas<sup>96</sup>. Por ejemplo, se conoce que la introducción del monogeneo *Gyrodactylus salaris*<sub>XXXV</sub>,

---

XXX Ver glosario  
XXXI Ver glosario  
XXXII Ver glosario  
XXXIII Ver glosario  
XXXIV Ver glosario

---

XXXV Ver glosario

desde Suecia a Noruega, causó grandes mortalidades de salmónidos<sup>97</sup>.

#### **5.4 IMPACTOS AMBIENTALES DEL ESCAPE DE PECES**

La acuicultura no sólo produce efectos ambientales por los desechos de materia orgánica y químicos que libera al ambiente, sino también porque los mismos organismos en cultivo escapan. Además, éstos pueden ser un reservorio de patógenos que afecten a otras especies silvestres y su presencia en el mar atrae depredadores (aves, peces silvestres y mamíferos marinos). Penczak<sup>98</sup> ha estimado que los escapes alcanzan, en años normales, hasta el 5% de los peces cultivados, cantidad que puede aumentar dramáticamente durante años en los que tormentas y otros accidentes causan la liberación masiva de peces en cautiverio.

Considerando que hoy en día estos peces pueden haber estado sujetos a programas de selección genética o incluso, en el futuro, tratarse de organismos transgénicos<sup>99</sup>, existen recelos en cuanto al potencial de hibridación con poblaciones naturales de las mismas especies. Por otra parte, estos organismos liberados, masivamente, pueden ocasionar efectos potencialmente negativos a la fauna local<sup>100</sup>. Adicionalmente, parece ser que la naturalización de peces en sistemas de aguas continentales ha sido, en términos generales, más exitosa que en sistemas marinos<sup>101</sup>.

#### **5.5 IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE LOS DEPREDADORES**

Como último punto, en este capítulo es necesario abordar los efectos de la instalación de centros de cultivo sobre depredadores. El mantenimiento de altas densidades de organismos en cautiverio atrae a depredadores como tortugas, aves, peces y mamíferos, causando

muerte, heridas y estrés a los organismos cultivados, dispersión de enfermedades y daños en las estructuras y sistemas de cultivo. Estos ataques pueden tener efectos significativos en la productividad de una empresa, según estimaciones: en Escocia el 80% de los centros sufre ataques por focas<sup>102</sup> y en la costa del Pacífico de Canadá el 60% de los centros de cultivo tiene problemas por aves y/o mamíferos<sub>XXXVI</sub><sup>103</sup>.

En la literatura también existen antecedentes que indican que la mortalidad de estos organismos no es necesariamente de forma deliberada, sino como consecuencia de asfixia al quedar atrapados en los sistemas de cultivo u otros accidentes<sup>104</sup>. A modo de ejemplo, un estudio cuantitativo indica que, durante los ochenta<sup>105</sup>, cada año morían entre 1.650 y 2.050 cormoranes en granjas de Escocia. Dado que muchos de estos organismos además han sido seriamente afectados en su abundancia por prácticas de caza indiscriminada, se ha potenciado la introducción de Códigos de Prácticas para su protección. En general, se estima que los problemas con depredadores son más agudos en sistemas costeros que en los lagos y que su efecto en la acuicultura tiene un significado más bien local que de envergadura global<sup>106</sup>.

#### **5.6 CONCLUSIONES**

En general, la acuicultura tiene múltiples y complejos efectos sobre el medio ambiente. Éstos son distintos en sistemas de aguas continentales de aquellos producidos en zonas costeras. Así también hay diferencias entre tipos de especies y sistemas de cultivo. No obstante, hay diversos aspectos que aún no han sido estudiados con toda la profundidad necesaria. Se concluye además que el cultivo de organismos de alto nivel trófico, en el que se encuentran carnívoros como salmónidos para el caso chileno, tienen mayores efectos ambientales que otros organismos como las ostras, ostiones o algas.

---

XXXVI Modos de ataque y sus efectos sobre centros de cultivo pueden ser obtenidos con más detalles en Beveridge (1996; pp. 257-259)

## VI. INVESTIGACIÓN EN CHILE

*En este capítulo se desarrollará el conocimiento existente en Chile sobre los efectos ambientales causados por diferentes prácticas de la acuicultura. Considerando los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en diferentes regiones del mundo y el importante auge de la acuicultura en Chile durante las últimas dos décadas, se pueden determinar los efectos ambientales que esta actividad tendría en los ecosistemas lacustres y costeros del país donde se lleva a cabo el 80% de las actividades de cultivo de peces, invertebrados y algas. Las conclusiones no son alentadoras, si bien en Chile aún no existe información y estudios suficientes para dimensionar el pleno impacto de la actividad, el reconocimiento de que a nivel mundial la acuicultura genera impactos ambientales significativos, sugiere que en Chile la situación es similar.*

En Chile, de los 823 centros acuícolas autorizados y con producción durante 1998, el 81% se encuentra en la Décima Región<sup>107</sup>, debido a la gran disponibilidad de sitios adecuados para las distintas prácticas acuícolas<sup>108</sup>. En esta región existen 268 centros de cultivo de salmónidos, 130 centros de cultivo de moluscos y 271 centros de cultivo de algas<sup>109</sup>. De las diversas actividades acuícolas en desarrollo, en Chile destaca la salmonicultura, que representa actualmente el 72% de la producción nacional, con 259 mil toneladas durante 1998<sup>110</sup>.

El 87% de esta producción se genera en la Décima Región, lo que implica un volumen de aproximadamente 226 mil toneladas<sup>111</sup>. En el capítulo 6 evaluaremos el significado de estas cantidades de producción de peces sobre la cantidad de residuos producidos. Las prácticas de acuicultura de moluscos y algas se llevan a cabo en zonas costeras (bahías y estuarios), pero en el caso del cultivo de salmónidos éstos requieren, además, del uso de aguas continentales.

En este capítulo abordaremos primero la problemática ambiental en aguas dulces y luego trataremos la problemática en el medio marino.

### 6.1 CULTIVO EN AGUA DULCE

El desarrollo de la acuicultura de salmónidos requiere de agua dulce para iniciar el cultivo, incubando las ovas hasta producir peces juveniles correspondientes a una fase denominada esmolt<sup>112</sup>. Esta fase de esmolt corresponde a peces en un estado fisiológico tal que se encuentran capacitados para regular su potencial osmótico<sup>XXXVII</sup>, al ser transferidos al agua de mar. Estos reservorios de aguas continentales, existente en el sur

de Chile, se caracterizan por su alta calidad, los lagos son profundos, especialmente oligotróficos<sup>XXXVIII</sup>, y con aguas muy transparentes o cristalinas<sup>113</sup>.

El caso más emblemático es el lago Llanquihue, donde se produce casi el 80% de los esmolt de salmones con una producción de 2.500 toneladas por año y una contribución de 40 toneladas de fósforo, es decir el 13% del total que entra al lago<sup>114</sup>. No obstante, a pesar de estos ingresos de nutrientes al sistema, éste aún conserva una característica relativamente prístina, señalada por los niveles de clorofila, fósforo disuelto y transparencia del agua (Tabla 4). Hay que indicar, eso sí, que estos nutrientes han aumentado en un factor de 2 en los últimos 10 años.

Conclusiones similares se han alcanzado para otros lagos tales como el Ranco<sup>115</sup>. Al parecer, los lagos oligotróficos del sur de Chile tienen diversos mecanismos de resistencia a la eutroficación<sup>116</sup>, lo que ha permitido mantener su condición oligotrófica la que, puede llegar a perderse en cualquier momento. Mühlhauser y colaboradores<sup>117</sup> describen que la producción secundaria bacteriana bajo balsas de cultivo de salmones en el lago Cucao, en Chiloé, aumenta con respecto a sitios controles alejados de los sistemas de cultivo.

Se han realizado diferentes estudios que describen la fauna y flora de los lagos oligotróficos del sur de Chile, como por ejemplo, estudios sobre peces<sup>118</sup>, zooplancton<sup>119</sup>, macro invertebrados<sup>120</sup> y fitoplancton<sup>121</sup>. De acuerdo a ello, puede indicarse que el conjunto de flora y fauna es pobre en cuanto al número de especies, pero que posee características bióticas únicas<sup>122</sup>. A pesar de todos estos estudios, hasta la fecha se desconocen mayores antecedentes sobre los efectos ambientales en la infauna, plancton y otros organismos.

XXXVII Capacidad para poder regular el metabolismo en aguas con diferentes salmidades (definición en el glosario).

XXXVIII Lagos con aguas muy limpias y cristalinas sin contaminantes orgánicas (definición en el glosario).

## 6.2 IMPACTOS AMBIENTALES DEL CULTIVO DE ALGAS Y MOLUSCOS

Chile no sólo destaca por su producción de peces, sino también, de algas y varios tipos de invertebrados (Tabla 1): algas y moluscos se cultivan en los sistemas costeros.

Actualmente se cultiva una especie de alga, la agarófito *Gracilaria chilensis*<sup>XXXIX</sup>, así como varias especies de moluscos, entre los que figuran choritos, ostras ostiones y abalones como los más destacados. Los efectos ambientales de estas prácticas han sido descritos anteriormente<sup>123</sup>, y considerando su menor abundancia y menor potencial de impacto respecto al cultivo de peces, en este capítulo sólo se describirán, muy someramente, algunos aspectos ambientales.

En el caso de cultivo de algas, se ha discutido sobre el efecto de la introducción de materiales plásticos y sus consecuencias sobre los procesos de sedimentación<sup>124</sup>, sobre los cambios en la composición de macrofauna<sup>125</sup>, y sobre el uso de agroquímicos para el control de epífitos<sup>XL</sup>, gastrópodos herbívoros<sup>XLI</sup>, poliquetos<sup>XLII</sup>, huevos de peces, así como de moluscos, todas especies que compiten por el espacio disponible, aspecto que también ha sido relevante en la discusión, especialmente si consideramos estudios que han demostrado que estas prácticas pueden tener importantes efectos sobre la abundancia de depredadores<sup>126</sup>.

En relación a los moluscos, trabajos realizados por Jaramillo y colaboradores<sup>127</sup> han determinado que éstos pueden ser una importante fuente de biodepósito de materia orgánica<sup>XLIII</sup> la que sin embargo, en ambientes estuarinos, se puede disipar muy rápidamente. Estos últimos estudios han registrado, además, algunas disminuciones de la abundancia de macro fauna.

En bahías protegidas del oleaje, la materia orgánica también puede aumentar bajo las balsas de cultivo de moluscos<sup>128</sup>, sin embargo, los efectos ecológicos sobre la macrofauna parecen ser limitados<sup>129</sup>. Tampoco se ha encontrado una correlación entre el aumento de materia orgánica y la abundancia de foraminíferos<sup>XLIV</sup>. La abundancia de depredadores bentónicos<sup>XLV</sup> se

incrementa significativamente en los sitios de cultivo, probablemente, debido al aumento de abundancia de moluscos que se desprenden de los sistemas de producción.

Los moluscos cultivados en Chile son generalmente nativos, aunque algunos de ellos son organismos introducidos, tales como los abalones y la ostra japonesa, o bien algunas especies transportadas fuera de su rango de distribución, como es el caso de los ostiones. Existen intentos de evaluar probables impactos ambientales de la introducción de los organismos antes señalados<sup>130</sup>, pero estos estudios están sujetos a considerables restricciones metodológicas y sus resultados sólo pueden ser considerados preliminares y, por tanto, eventuales impactos sobre el medio ambiente deberán ser determinados en el futuro.

Se ha establecido, a modo de ejemplo, que el desarrollo de la producción de abalones ha tenido importantes consecuencias sobre la disminución de bosques de algas pardas en algunos sectores del norte de Chile<sup>131</sup>. Algunos de estos organismos, sin embargo, fueron introducidos casi 20 años atrás, por ejemplo la ostra japonesa, y no se han registrado efectos ambientales.

La ampliación de rango de distribución de moluscos puede llevar consigo el transporte accidental de organismos macroscópicos, de patógenos que existen en los tractos digestivos de mitílidos<sup>XLVI</sup><sup>132</sup> o de larvas de invertebrados como el loco<sup>133</sup>. Los aspectos descritos anteriormente aún requieren un análisis más profundo que permita plantear una acuicultura sustentable.

## 6.3 CULTIVO DE PECES EN CHILE: ETAPA DE AGUA SALADA

El cultivo de peces en Chile se lleva a cabo, principalmente, en bahías y fiordos de la X Región. Estudios realizados en sistemas experimentales han demostrado que la acumulación de materia orgánica puede ser significativa bajo balsas de pequeño tamaño, así como también el aumento en el número de depredadores bentónicos. Sin embargo, no se han detectado cambios en la abundancia ni en la riqueza de especies de foraminíferos<sup>134</sup>.

Otros estudios realizados en 5 sitios de cultivo, señalan que los efectos sobre los sedimentos y abundancia de

XXXIX Ver glosario  
XL Ver glosario  
XLI Ver glosario  
XLII Ver glosario  
XLIII Ver glosario  
XLIV Ver glosario  
XLV Ver glosario

XLVI Ver glosario

macrofauna son mínimos<sup>135</sup>. Sus autores señalan que el gastrópodo *Nassarius Gayi*<sup>XLVII</sup> incrementa su abundancia en lugares donde se realizan cultivos de salmónidos. A pesar de que los estudios de Larraín<sup>136</sup> fueron llevados a cabo en una diversidad de ambientes, son difícil de evaluar, al no indicar el diseño de muestreo y no presentar un análisis estadístico de su información.

Otro documento<sup>137</sup> señala que la productividad bacteriana en sedimentos bajo balsas jaulas instaladas en zonas costeras no es significativamente diferente a la de sitios de controles instalados a 50 y 100 metros de distancia. El programa de monitoreo se realizó en Bahía de Metri, con profundidades entre 8-15 metros en su área de cultivo, corrientes superiores a 12,5 cm s-l a mediados de la década de los 90. Este programa recolectó información antes y después de iniciadas las actividades de cultivo de salmónidos, tanto en los lugares impactados como en sitios de control, considerando réplicas dentro y entre zonas, siguiendo las recomendaciones dadas por Underwood<sup>138</sup>.

Los resultados de este estudio se resumen en la Tabla 5, de la que se puede concluir que tras dos años de instalado el sistema de cultivo en esta bahía, con una producción fluctuante entre 90 a 150 toneladas por año, se produjo un incremento estadísticamente significativo del alga roja *Sarcothalia Crispata*, del molusco bentónico *Crepidula sp.*, de poliqueto *Capitella sp.*, así como de anfípodos<sup>XLVIII</sup> y ostrácodos<sup>XLIX</sup>, presentes en los fondos arenosos bajo las balsas jaulas, y de dinoflagelados<sub>L</sub> en la columna de agua<sup>139</sup>.

Al utilizar distintos índices de diversidad ecológica, Vergara (2001) sólo detectó que el número efectivo de especies presentes en fondos blandos presentaba un aumento significativo, pero temporalmente acotado, lo cual indica un aumento esporádico de la dominancia de algunas especies bentónicas encontradas en los sitios de cultivo (ver resumen Tabla 5). En consecuencia, se puede indicar que los registros existentes en Chile indican exclusivamente efectos menores o leves sobre el medio ambiente.

No obstante estos estudios fueron realizados en sitios con cultivo a escala experimental o con relativamente

pequeñas producciones, o bien después de pocos años de haberse iniciado su cultivo. Por otra parte, salvo el estudio de Vergara<sup>140</sup>, ninguno de los anteriores tiene un diseño de muestreo tal que permita hacer una evaluación rigurosa. En este contexto parece importante destacar que, pese a indicaciones que la acuicultura de salmónidos no parece tener efectos ambientales relevantes<sup>141</sup>, la acuicultura en Chile se ha desarrollado sin un marco regulatorio apropiado respecto al medio ambiente<sup>142</sup>. Es importante destacar que esta falta de efectos es una consecuencia de la ausencia de estudios sistemáticos y bien planificados.

En 1988 ocurrió una masiva mortalidad de peces asociada a un espectacular afloramiento de la microalga *Heterosigma Akashiwo*<sub>LI</sub><sup>143</sup>. A partir de este hecho se estableció un programa de monitoreo en las zonas costeras de la X Región. Los resultados alcanzados no señalan que exista una relación entre las actividades de acuicultura y la abundancia de fitoplancton<sup>144</sup>. Sin embargo, estudios de Vergara<sup>145</sup> muestran un aumento estadísticamente significativo de dinoflagelados en las proximidades de sitios donde se cultivan peces. Dado que algunas especies de éstos pueden causar mareas rojas, este aspecto requiere de una especial atención en un futuro próximo.

#### 6.4 ENFERMEDADES EXISTENTES EN CHILE

En el cultivo intensivo de salmónidos se han detectado importantes patologías como, por ejemplo, la enfermedad bacteriana del riñón (BKD) que posiblemente ha sido una de las más importantes en Chile<sup>146</sup> a la que habría que sumar nuevas enfermedades tales como la septicemia rickettsial, registrada por vez primera en el año 1989 y que ha causado diferentes pérdidas a esta industria en Chile<sup>147</sup>.

En Chile, actualmente no existen estudios que relacionen enfermedades frecuentes en los sistemas de cultivo intensivo de peces con enfermedades presentes en poblaciones naturales y sus probables consecuencias sobre el hombre.

La presencia en Chile del "Síndrome del Salmón Coho", conocido inicialmente como "UA" ("unidentified agent") y reportado desde 1989<sup>148</sup>, ha causado, desde 1981, im-

XLVII Ver glosario  
XLVIII Ver glosario  
XLIX Ver glosario  
L Ver glosario

LI Ver glosario

portantes mortandades de peces en los cultivos comerciales de este salmónido<sup>149</sup>, situación que ya ha sido reportada en los lagos chilenos por Bravo<sup>150</sup>. El continuo traspaso de reproductores de salmón "Coho", podría ser el vector que llevó este agente patógeno desde el mar, su ambiente natural, hacia el ambiente de agua dulce<sup>151</sup>. Los antecedentes indicados en forma resumida en este párrafo son la evidencia del trabajo de grupos científicos instalados en diferentes universidades chilenas, lo cual debería significar importantes avances durante la década que comienza.

Otro componente importante de las patologías existentes en el cultivo de salmónidos y de peces nativos en Chile, es la presencia del Piojo de Mar, *Caligus Rogercresseyi*<sup>152</sup>. Este copépodo ectoparásito de salmónidos también causa importantes pérdidas económicas y para combatirlo se han aplicado tratamientos químicos<sup>153</sup>, los que lamentablemente tienen efectos tóxicos sobre la vida marina y la salud humana<sup>154</sup>.

Por ello, en Chile se han aunado esfuerzos para buscar tratamientos alternativos al uso de químicos, por ejemplo, se ha estudiado la posibilidad de utilizar un controlador biológico de *Caligus*, no dando el resultado esperado<sup>155</sup>.

Se ha establecido que es posible desarrollar alternativas al uso de químicos con un alto potencial tóxico más amigables con el medio ambiente. Por ejemplo, el uso de agua con niveles bajos de salinidad puede ser un tratamiento exitoso para inducir alta mortalidad de *Caligus*<sup>156</sup>. Estudios como estos muestran un alto potencial para alcanzar una acuicultura sustentable y disminuir desechos que afectan de un modo u otro el medio ambiente.

## 6.5 USO DE ANTIBIÓTICOS EN LA ACUICULTURA CHILENA

El tratamiento de estas enfermedades requiere la aplicación de diferentes fármacos entre los que destacan el uso masivo de antibióticos como fue presentado en el capítulo anterior. Aparentemente, pero sin contar con información exacta, se ha determinado que el uso de antibióticos en Chile excede ampliamente las cantidades utilizadas en otros países dedicados a la acuicultura como, es el caso de Noruega<sup>157</sup>. Tampoco se tiene información sobre el modo en que se suministran estos antibióticos, y otros fármacos en Chile, es decir, si es-

tán incorporados en la dieta, lo que conllevaría una significativa eliminación al medio ambiente, o si es directamente aplicado como vacunas con un mayor grado de especificidad para el control de las enfermedades. Claramente esta falta de información, así como de sus efectos sobre el medio ambiente (ver capítulo anterior) son aspectos que requieren urgente atención.

## 6.6 LOS DEPREDADORES DE LA ACUICULTURA EN CHILE

En Chile, las pérdidas económicas causadas por ataques de lobos marinos a centros de cultivos salmónidos han sido estimadas por Oporto<sup>158</sup> y Leal<sup>159</sup> entre US \$2.000 a US\$ 40.000 por centro de acuicultura.

Las pérdidas actuales causadas por ataques de lobos marinos a la industria del salmón en Chile ascenderían a US \$21 millones<sup>160</sup>. Censos del lobo marino común, realizados entre 1998 y 1999, entregaron para la X Región un total de 13 colonias reproductoras y 19 aposentaderos de lobo<sub>LII</sub> marino común. El número promedio total de individuos de *Otaria Flavescens* se estimó en 29.352 en enero y 28.025 ejemplares en marzo de 1998 y se ha documentado que existe una relación inversa entre la presencia de cultivos de salmónidos y loberas de Lobo Marino Común.

En consecuencia, una de las causas más probables de la desaparición de loberas sería el aumento de la mortalidad de sus individuos, dirigida e incidental, llevada a cabo por los propios empleados de los centros de cultivos de salmónidos, como una medida para evitar las pérdidas económicas causadas por los ataques de lobos marinos a las balsas jaulas. Producto de esta interacción con lobos marinos, se ha documentado una mortalidad de entre 5.000 a 6.000 ejemplares de lobo común causada directa e indirectamente por los centros de cultivos salmónidos<sup>161</sup>.

Sin embargo, esta información es más bien anecdótica y no da cuenta de explicaciones alternativas como, por ejemplo, la sobrepesca en esta zona del sur de Chile. Además de las 32 loberas registradas en esta Región, 24 se ubican en la costa expuesta del Océano Pacífico y solamente 8 en la costa protegida o mares interiores donde se realizan las prácticas de acuicultura<sup>162</sup>. Este hecho permite que el lobo marino común tenga locali-

---

LII Ver glosario

dades de refugio para tamponar los efectos negativos que ocurren fundamentalmente en la zona de mares interiores de la X y XI regiones de Chile. El estudio de estos mamíferos y su interacción con las prácticas de cultivo, sin lugar a dudas, requiere de mayor dedicación para poder realizar las recomendaciones ambientales necesarias.

## **6.7 NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN EN CHILE**

Para ponderar en forma objetiva las actuales tecnologías de producción que operan en el área de la salmonicultura, es necesario conocer y cuantificar los efectos ambientales de éstas, lo que es difícil por la escasez de antecedentes en Chile<sup>163</sup>.

Algunos estudios no han tenido mayores exigencias experimentales o se han presentado dificultades asociadas con la manipulación a gran escala de los sistemas de cultivo. Además, se ha carecido de fondos adecuados para investigar los efectos de la acuicultura<sup>164</sup>. Otros estudios se han realizado en forma privada en convenio entre empresarios y entidades públicas y/o privadas cuyos resultados son de acceso restringido<sup>165</sup>. Esto ha generado que los efectos reales de la acuicultura en los ecosistemas marinos costeros de Chile se mantengan aún en debate<sup>166</sup>, lo que junto a una interpretación errónea en los análisis estadísticos que se aplican en muchos estudios, puede conducir a interpretaciones e inferencias arriesgadas.

Aunque desde hace varios años existe una demanda por estudios metodológicamente serios sobre la materia<sup>167</sup>, al parecer, todavía estamos frente a una situa-

ción de desconocimiento casi total de nuestros ambientes y de los efectos que allí están ocurriendo. Sin embargo, hay que indicar que estos efectos no son sólo responsabilidad de la acuicultura, ya que los usuarios de nuestros recursos hídricos son múltiples (sectores agrícola, forestal y turístico así como los asentamientos urbanos) y que, necesariamente, requerimos de una aproximación global para poder asegurar la sustentabilidad de los recursos hídricos en esta zona del Sur de Chile. En este contexto parece primordial que esta tarea se realice dentro de un esquema integral de manejo de cuencas y zonas costeras.

Teniendo presente que la salmonicultura produce diversos impactos ambientales<sup>168</sup> es necesario conocer y cuantificar estos efectos a través de métodos sistemáticos y confiables<sup>169</sup>, con la finalidad de hacer compatibles los intereses de producción o desarrollo con los de conservación del ambiente<sup>170</sup>. Sólo una evaluación rigurosa, objetiva y transparente permitirá impulsar un desarrollo que tenga mayor grado de sustentabilidad.

## **6.8 CONCLUSIÓN**

El conocimiento existente en Chile es fragmentario y, en la gran mayoría de los casos, está basado en estudios que no cumplen con estándares técnicos que permitan dar cuenta de la situación ambiental. En consecuencia, y tomando en cuenta los diversos efectos ambientales que han sido indicados en la literatura para otras partes del mundo, parece imprescindible que se genere una base de datos y estudios ambientales con el fin de que se establezcan sus efectos en el Sur de Chile.



## VII. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS EFECTOS AMBIENTALES

*En este capítulo se abordarán las distintas alternativas entre las que puede escoger la industria chilena para internalizar los costos ambientales que generan sus prácticas de acuicultura. Durante los últimos años, varios autores han desarrollado herramientas para regular y/o analizar económicamente la acuicultura, resaltando las ventajas comparativas de Chile, así como las probables falencias y requerimientos que ha tenido esta actividad. Primero, se indica en forma comparativa la envergadura del problema ambiental que significa la acuicultura al compararla con los desechos urbanos. Es decir, se establece una equivalencia entre los desechos fecales de los humanos y los de los salmónidos, debido a que su capacidad de producir los nutrientes contaminantes (nitrógeno y fósforo) es comparable. De esta semejanza resulta que, por ejemplo, la producción de salmónes y truchas de 1994, que alcanzó a las 84 mil toneladas, equivale a los desechos fecales de la mitad de la población de Santiago. Ese es el nivel que alcanza el problema ambiental de la acuicultura, según los antecedentes recopilados en la literatura nacional, y de ello resulta el segundo punto que se abordará en este capítulo: los costos ambientales, es decir, el costo que significa remover las descargas de materia orgánica del medio acuático del Sur de Chile.*

Tanto los nutrientes producidos por cultivos de peces como aquellos emanados de desechos orgánicos urbanos y/o industriales tienen el mismo potencial de eutroficación de las aguas<sup>171</sup>. La cantidad de nutrientes que produce una tonelada de peces en cultivo ha decrecido, a partir de 1974, de 31 kg de fósforo (P) y 129 de nitrógeno (N), a cerca de 9.5 de (P) y 78 de (N), en 1994, principalmente debido a los cambios en la composición de los alimentos y al mejoramiento de los índices de conversión<sup>LIII</sup><sup>172</sup>.

Para una producción de 100 toneladas brutas de salmón, estos valores implican una producción de 78.000 Kg de N y 9.500 Kg de P por día, dependiendo de los métodos de alimentación y la calidad del alimento.

En el caso del hombre, la producción de desechos diarios tiene un promedio per cápita de 1,5 gramos de P y 10 gramos de N. Considerando estos valores, una producción de 100 ton de peces es equivalente a entre 2800 a 3200 personas en países en desarrollo<sup>173</sup>. La producción de 80.000 ton de salmón en Chile, en 1994, es comparable a entre 2,4 a 2,6 millones de personas cifra tres veces mayor que el número de habitantes que de la zona donde se cultiva el salmón en el país<sup>174</sup>.

No obstante, se debe considerar que debido al desarrollo en el manejo y técnicas de alimentación durante los últimos cinco años las cifras de aporte de N y P han disminuido en hasta 33 kg y 7 kg, respectivamente, por cada tonelada bruta de salmónes<sup>175</sup>. Dado que la pro-

ducción de salmónidos ha aumentado significativamente después del año 1994, hasta alcanzar las 229 mil toneladas en 1999<sup>176</sup>, la producción de desechos por parte de la acuicultura es equivalente a una población de 2,1 a 3,1 millones de habitantes. Esto indica que pese a los esfuerzos de mejoramiento de las tecnologías empleadas, el crecimiento de esta actividad productiva sigue provocando un aumento sostenido de los efectos sobre el medio ambiente.

Para calcular los costos ambientales de la industria acuícola nacional se requiere información sobre los costos que tienen los tratamientos de desecho, sin embargo, este tipo de información no está disponible en Chile en razón de lo primario que son los tratamientos de aguas residuales. Por esta razón, se han aplicado valores de países desarrollados y que pueden ser utilizados con las restricciones pertinentes para analizar los costos ambientales que la acuicultura chilena pueda tener.

En Suecia el costo para eliminar un Kg de N de un volumen de agua varía entre US\$ 6,4 y US\$12,8 por kg y, para el caso del P, entre US\$ 2,6 y US\$ 3,8 por kg<sup>177</sup>. Si consideramos estos valores y que el valor de un kg de trucha oscila entre US\$ 3.1 y US\$ 3.5 el kg (f.o.b.), los precios para la producción de un kg de salmón aumentarían entre 15 a 57 %, dependiendo del contenido de N y P en el alimento administrado (Tabla 5).

Dado que los precios han disminuido desde aproximadamente US\$ 5, a comienzo de la década de los 90, hasta valores inferiores a US\$ 4, e incluso inferiores a US\$ 3, en el año 2001, es predecible que la industria

LIII Relación entre los kilogramos de alimento suministrado y los kilogramos de producción de peces. En general este factor varía entre 1 a 1.5 kg alimento de peces producidos (definición en el glosario)

salmonera chilena, en la actualidad, no sea capaz de cubrir los costos ambientales si los alimentos que se utilizan no son de calidad apropiada o no son administrados correctamente. Cálculos similares realizados en países desarrollados han indicado que éstos no están en condiciones de internalizar sus costos ambientales<sup>178</sup>.

No obstante, los resultados anteriores son comparativamente ventajosos para Chile. La caída del valor de los salmones hace difícil mantener los niveles de rentabilidad y pone en serio riesgo la internalización de los costos ambientales. En este sentido, es necesario indicar que para mantener esta ventaja se requiere disminuir los costos de producción y mejorar la calidad de los alimentos utilizados.

Además, se debe reconocer que en este análisis sólo se han internalizado costos referidos a la introducción de N y P al medio ambiente, sin tomar en cuenta otros elementos y efectos ambientales propios de esta actividad (ver capítulo anterior). También hay que considerar que la acuicultura no es la única actividad que usa cuerpos de agua, por ello, una evaluación ambiental global en Chile debe considerar otros agentes que aportan desechos.

Ni en Chile ni en ningún otro país se ha realizado una evaluación de los costos ambientales producidos por

moluscos y algas. Debemos recordar que las consecuencias ecológicas del cultivo de organismos filtradores o de productores primarios parecen ser mucho menos drásticas que aquellas producidas por especies que requieren de una fuente exógena de alimento, como es el caso de los salmones<sup>179</sup>. Los análisis anteriores no contemplan variaciones de probables mejoras en la calidad de los alimentos utilizados o en la capacidad de asimilación de éstos por parte de peces, por tanto, es de esperar que estos resultados puedan ser analizados críticamente una vez más, en un futuro próximo.

## 7.1 CONCLUSIÓN

Es relevante indicar que con la utilización de sistemas productivos que reduzcan la cantidad de desechos y que hagan posible su reciclaje, estos valores deberían menguar muy significativamente. Este último punto es tratado en mayor detalle en el próximo capítulo. En consecuencia, se concluye en este capítulo que la cantidad de desechos del cultivo de salmón es mucho más importante que la de la población humana establecida en la X y XI regiones del país. Pese a ello, dadas las condiciones de cultivo existentes, Chile tiene una capacidad privilegiada para absorber los costos asociados a la internalización de los costos ambientales.

## VIII. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

*Hoy en día existen en la literatura diferentes aproximaciones tecnológicas y/o de adecuación de los protocolos y estrategias productivas con el fin de hacer de la acuicultura una actividad sustentable. En este capítulo, analizaremos los avances existentes destinados a: minimizar los depósitos de materia orgánica en los fondos de lagos y zonas costeras; disminuir la descarga de nutrientes disueltos a la columna de agua; y a reducir el uso de fármacos, así como de otros compuestos químicos tóxicos, y sus efectos sobre poblaciones de depredadores (peces, aves y mamíferos). La salmonicultura en Chile se inició en 1905 con la llegada de las primeras ovas vivas al país, logro perseguido desde 1875<sup>180</sup>. Un siglo después, en 1975, se construyó la primera piscicultura que produjo salmónes de exportación<sup>181</sup>. La elevada producción de salmónes en Chile hizo necesaria la constante importación de ovas, la que en la actualidad satisface el 50% de la demanda nacional<sup>182</sup>. Pese al largo período en que se han introducido salmónes en Chile, sólo en 1988 se da la alerta sobre los posibles efectos de esta actividad en el ambiente acuático<sup>183</sup>.*

Toda actividad humana requiere la prevención de la contaminación<sup>184</sup>, lo que hoy en día exige la implementación de tecnologías amigables con el ambiente<sup>185</sup>. Esta exigencia se acentúa cuando la promoción de un crecimiento sustentable y respetuoso del medio ambiente es un objetivo fundamental como lo es, por ejemplo, para la Unión Europea. Ello supone para Chile un continuo aumento de las exigencias ambientales de los productos destinados al mercado europeo<sup>186</sup>. En el caso de la acuicultura, estas tecnologías limpias no están siempre disponibles para ser adquiridas.

Actualmente, la mayoría es transferida desde el extranjero, lo que plantea el desafío de generarlas en Chile<sup>187</sup>. Por las razones señaladas en el capítulo 4, ha existido interés en desarrollar varios métodos que permitan reducir los depósitos de materia orgánica. Se trata de sistemas para lograr efectos en los fondos acuáticos. Estos van desde el desarrollo de diferentes sistemas que permiten dispersar la materia orgánica<sup>188</sup>, como el uso de sistemas colectores de la materia orgánica instalados bajo las balsas jaula<sup>189</sup>, y el uso de organismos descomponedores para tratar los depósitos como el poliqueto *Capitella*<sup>190</sup>.

Con el fin de prevenir la liberación de la materia orgánica se han diseñado sistemas de cultivos flotantes cerrados que facilitan la colecta de los desechos e impiden su ingreso al medio ambiente<sup>191</sup> o bien los cultivos se llevan a zonas de mar abierto y profundo, lo que supone estructuras y sistemas de cultivo más grandes y complejos. Actualmente, en Chile existen intentos por desarrollar diversos sistemas para remover los sedimentos existentes en los fondos y sus resultados deberían conocerse en un futuro muy próximo<sup>192</sup>.

Una metodología alternativa a la reducción de los depósitos de materia orgánica en los fondos de lagos y zonas costeras, a través de su dilución y asimilación, ha sido la rotación de las zonas de cultivo, con el fin de permitir la recuperación de las zonas impactadas, lo que puede demorar varios años<sup>193</sup>.

La rotación de sitios es una práctica usual en el cultivo de salmónidos en varias empresas europeas y se piensa, además, que es ventajosa para el control de enfermedades<sup>194</sup>. No obstante, los depósitos de zinc y cobre, bajo los sistemas de cultivo, pueden afectar significativamente la recuperación de los sistemas<sup>195</sup>. El trabajo de Vergara<sup>196</sup> demostró que, después de dos años de cultivo y al existir sólo efectos de leve a moderado sobre poblaciones y biodiversidad, las técnicas de rotación podrían ser una herramienta válida. En Chile existen algunas empresas que han desarrollado estos protocolos de rotación, pero se desconocen las evaluaciones que de ellas existen.

A pesar de lo atractivo de estas tecnologías, tienen complejidades que deben ser tomadas en cuenta antes de ser aplicadas. Por ejemplo: (1) el uso de dispersores puede incrementar el flujo de nutrientes hacia la columna de agua y exacerbar la productividad del fitoplancton y producción de algas tóxicas<sup>197</sup> y (2) aunque la colecta de restos de alimento y fecas de los organismos en cultivo puede ser usado como fertilizante<sup>198</sup>, en la actualidad su valor es residual, lo que no ha estimulado su aplicación. Por otra parte, existe el temor de la probable acumulación de patógenos u otros compuestos en estos sedimentos. Estos aspectos reclaman medidas urgentes para avanzar en el desarrollo de esta actividad.

Además de los anteriores ejemplos que pretenden disminuir los efectos ambientales, se deben reconocer los esfuerzos realizados para mejorar la calidad de los alimentos y, con ello, mejorar la asimilación por los organismos en cultivo. Buenos ejemplos de esto son el aumento de lípidos<sup>LIV</sup> en los alimentos, en reemplazo de proteínas, lo que ha reducido la excreción de nitrógeno al medio; el uso de proteínas vegetales con menores niveles de fósforo; el uso de alimentos extruídos<sup>LIV</sup>, más digeribles y con mayor boyantes; así como la introducción de sistemas de alimentación "inteligentes", capaces de ajustar el proceso de alimentación al detectar el punto de saciedad de los peces.

Todo ello evidencia tendencias, que ha marcado, esta industria destinadas a aminorar los efectos ambientales que causa y a disminuir sus costos de producción<sup>199</sup>. En Chile también existe un gran interés por mejorar la calidad de los alimentos, lo que demanda un mayor cuidado sobre el medio ambiente<sup>200</sup>. No obstante, en aquellos casos en que no se tienen antecedentes sobre el impacto ambiental o una clara recompensa financiera, la preocupación ambiental del sector es claramente de menor envergadura.

Otra forma de reducir los efectos sobre el medio ambiente es mejorar las técnicas de manejo y optimizar los procesos productivos. Un ejemplo claro de ello tiene que ver con la producción de esmolts, es decir, peces fisiológicamente aptos para ser traspasados de un medio de agua dulce al marino. Este proceso fisiológico puede revertirse como consecuencia del aumento de la temperatura durante el verano, así los peces pierden su potencial de osmoregulación<sup>LVI</sup> y al ser transportados al mar presentan altas mortalidades. Mejorar este proceso permite reducir los números de peces cultivados y con ello disminuir los efectos sobre el medio ambiente<sup>201</sup>.

Normalmente se indica que las aguas libres de contaminación, la existencia de una industria de harina de pescado desarrollada y los costos de mano de obra existentes en Chile son los aspectos más relevantes que explican la alta competitividad de la acuicultura en este país. No obstante y muy especialmente para el caso de la salmonicultura, la ventaja a destacar es la energía térmica existente en los lagos y zonas costeras del sur de Chile.

En otros países donde la producción de salmón es importante como en Noruega, Escocia y Canadá, la temperatura, especialmente durante la época de invierno, es mucho menor que en Chile. Esta situación permite acelerar el proceso productivo, logrando mayores tasas de crecimiento disminuir muy significativamente el período productivo, y con ello los costos.

Otro aspecto que le entrega a Chile una ventaja es que produce en una estación del año en que no hay producción en el hemisferio norte. No obstante, esto es sólo una parte del beneficio. Dado que es posible importar ovas (Fig. 7), en Chile se dispone de peces durante todo el año. Esto ya que las ovas, al provenir de diferentes países del hemisferio norte (Fig. 8), permiten que el proceso productivo sea continuo en el año y que se disponga de peces en las épocas en que Chile no se producen (Fig. 9).

Sin embargo, la gran ventaja que Chile tiene en la producción no está exenta de riesgos ambientales. La importación continua de ovas puede introducir enfermedades y otros organismos que podrían tener enormes consecuencias ambientales y productivas. En Chile, la importación de ovas mantiene una tendencia de crecimiento para el salmón del Atlántico, aunque no así para otras especies (Fig. 7), incrementándose muy recientemente las medidas de protección (prácticas de cuarentena). Estos sistemas no aseguran un nivel de riesgo cero y por ello el desarrollo de otras alternativas tecnológicas sigue siendo deseable. En este contexto, las recientes investigaciones apoyadas por FONDEF han permitido producir esmolt durante todo el año, manipulando factores como temperatura y fotoperíodo<sup>202</sup>. Este ejemplo demuestra que podemos desarrollar alternativas tecnológicas ambientalmente amigables sólo con la existencia de equipos de investigación creativos.

Además del desarrollo de tecnologías que permiten disipar nutrientes, de mejorar la calidad de los alimentos y la eficiencia de asimilación por parte de los organismos cultivados, diferentes estudios se han llevado a cabo con el fin de evaluar el potencial de reciclaje de estos desechos por parte de otros cultivos (Fig. 10). Este modelo de acuicultura integrada fue inicialmente presentado por Folke & Kautsky<sup>203</sup>. El modelo describe un sistema de policultivos con componentes biológicos interactivos, como peces - moluscos, filtradores - y algas, y su relación con escurrimientos terrestres. Este

---

LIV Ver glosario  
LV Ver glosario  
LVI Ver glosario

modelo conceptual simple, coloca a la acuicultura dentro de una perspectiva ecológica, donde los desechos de uno de los componentes son utilizados como recurso por otro de los componentes, reduciendo con ello los efectos ambientales e incrementando la producción de animales y algas.

Intuitivamente parece promisorio integrar bivalvos<sup>LVII</sup> y algas cerca del cultivo de balsas jaulas, pero sin embargo, éstas pueden tener problemas de éxito en la práctica<sup>204</sup>. Los materiales de desechos particulados, fecas y restos de alimento pueden aumentar las concentraciones de fitoplancton que es el alimento de los filtradores. Este supuesto se refuerza con el hecho de que se ha demostrado que algunos bivalvos pueden crecer cercanos a balsas jaulas con mayor intensidad que en sitios donde no existe cultivo de peces<sup>205</sup>. Sin embargo, hay otros estudios que no han encontrado diferencias de crecimiento en condiciones de co-cultivo<sup>206</sup>.

El éxito parece estar en las condiciones ambientales y en los diseños de sistemas de cultivos. La disponibilidad de materia orgánica ha sido mencionada como el factor más determinante en el crecimiento de invertebrados filtradores. Troell & Norberg<sup>207</sup> determinaron que los sólidos suspendidos, producto de peces en cultivo, se suceden en pulsos, incrementando entre 3 y 30 veces las concentraciones de partículas existente en las columnas de agua. No obstante, estos pulsos son de corta duración, y considerando que la alimentación de moluscos filtradores se satura a altas concentraciones de alimento, parece ser que la disponibilidad de sestón<sup>LVIII</sup> a largo plazo es más relevante que un suministro en pulsos. Estudios en esta misma dirección se han realizado en sistemas de agua dulce donde se propone que el molusco bivalvo de agua dulce *Diplodon Chilensis*<sup>LIX</sup> pueda ser usado para reciclar el material orgánico que sedimenta<sup>208</sup>. Las poblaciones de este bivalvo pueden sostener con ello a crustáceos depredadores, los que permiten a su vez mantener a peces bentófagos, lo cual pueda tener una externalidad económica positiva con la pesca deportiva y la industria turística (ver Fig. 11).

Además, de las partículas en suspensión, los peces eliminan al medio nutrientes disueltos (P y N). Hay con-

senso en que al menos entre 70 y 80% del total de nutrientes producidos por una granja de peces está disponible como potencial sustancia eutroficante<sup>209</sup>, generalmente sólo un 20% a un 30 % de ellos va a ser removido por la cosecha de los peces<sup>210</sup>.

El uso de algas integradas a sistemas de peces ha sido estudiado en sistemas abiertos en Canadá<sup>211</sup>, USA<sup>212</sup> y Chile<sup>213</sup>. Experiencias de co-cultivos del alga *Gracilaria Chilensis* cercanas a balsas jaulas de salmónes han permitido demostrar que éstas pueden utilizar los nutrientes disueltos como un recurso y, al mismo tiempo, reducir el riesgo de eutroficación en zonas costeras<sup>214</sup>.

Estos autores demuestran que *Gracilaria*, cultivada a 10 metros de distancia de los cultivos de peces, presenta tasas de crecimiento 40% superior a plantas situadas a 150 metros y a 1 km de distancia. El contenido de nutrientes del alga también aumenta significativamente, así como la producción de agar. A pesar de que Black & Carswell<sup>215</sup> y Weston<sup>216</sup> indican que el amonio ya es diluido a 10 m de las balsas jaulas, Petrell<sup>217</sup> indica que los modelos de advección<sup>218</sup> y difusión de nutrientes, provenientes de centros de cultivo, parecen ser inválidos como consecuencia de patrones de flujo discontinuos y complejos, dados por la presencia de cultivos instalados en el agua. El uso de sistemas integrados de cultivo parece ser, sin embargo, la clave para la sustentabilidad de la acuicultura hoy en día<sup>219</sup>.

No obstante, los resultados indican que aún queda mucho por aprender sobre los patrones de variación temporal y espacial que los nutrientes disueltos y suspendidos tienen cerca de las balsas jaula. El cultivo integrado tiene una importante función que jugar en el desarrollo de la acuicultura y posee el potencial de reducir el impacto producido por el cultivo de organismos de alto nivel trófico. Además, puede transformarse en una actividad social y económicamente viables. Chopin<sup>220</sup> demuestra claramente que al integrar algas a un cultivo, e internalizar los costos medioambientales, existe una rentabilidad interesante para los productores al reducir significativamente los aportes de N y P al medio.

Con el fin de alcanzar mayores niveles de control de la producción así como de manejo de los residuos producidos por la acuicultura, se han desarrollado experiencias de cultivos integrados instalados en tierra en paí-

LVII Es posible utilizar moluscos filtradores como ostras, que pueden aprovechar los desechos de peces para su alimentarse, disminuyendo el impacto ambiental (definición en el glosario).

LVIII Corresponde a la cantidad de materia orgánica en suspensión en la columna de agua y que puede ser aprovechada como alimento por organismos filtradores tales como choritos, ostras y ostiones (definición en el glosario).

LIX Ver glosario

ses como USA<sup>221</sup>, Israel<sup>222</sup>, España<sup>223</sup> Suecia<sup>224</sup> y Chile<sup>225</sup>. Estos resultados han demostrado que la remoción de nutrientes puede ser muy significativa pero que sin embargo, pese a los promisorios resultados, aún no han demostrado una factibilidad económica. El desarrollo de prácticas ecológicas-ingenieriles en acuicultura parece ser en consecuencia una alternativa para el desarrollo de prácticas de maricultura intensiva en el futuro<sup>226</sup>.

## 8.1 CONCLUSIÓN

Se han desarrollado diferentes alternativas tecnológicas que hacen posible instalar en Chile un sistema productivo mucho más sustentable del que existe en la

actualidad. No es posible seguir pensando que el mercado regulará todos los aspectos que afectan el medio ambiente. Aunque hay ejemplos, como el de la optimización de la alimentación, donde el mercado ha impulsado mejoras muy significativas, en muchos otros aspectos del cuidado ambiental esto no sucede y se necesitan herramientas para regularlo.

La internalización de los costos ambientales puede ser una herramienta posible para aplicar en Chile, puesto que existen tecnologías para que los productores disminuyan sus efectos ambientales y reciclen los desechos (Fig. 12). Ello no afectará su competitividad en los mercados nacionales e internacionales.

## IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desconocimiento de los efectos ambientales de la acuicultura y en forma relevante de la salmonicultura en Chile, presenta riesgos en dos sentidos opuestos. Por un lado, si la acuicultura realmente produce efectos dañinos en el ambiente y éstos no son conocidos, el patrimonio ambiental puede sufrir un deterioro irreparable, perjudicando la misma actividad productiva.

Por otro lado, si la acuicultura no produce efectos perjudiciales y se presume que sí los ocasiona, el desarrollo de esta actividad comercial puede enfrentar obstáculos serios e innecesarios. Por ello sólo una evaluación objetiva y técnicamente incuestionable parece ser un requerimiento que no sólo es altamente deseable en Chile, sino que es una necesidad real.

Si bien el tamaño de cada empresa por sí sola no parece requerir de Estudios de Impacto Ambiental, la actividad, que comparte los cuerpos de agua en su conjunto, debiera estar sujeta a dicha demanda. Ello requiere desarrollar una fórmula para regular el desarrollo de esta actividad en forma sustentable. No obstante, es necesario indicar que la acuicultura no es el único usuario de los cuerpos de agua. Actividades urbanas, industriales, agrícolas, forestales y turísticas son usuarias de ellos y todas producen efectos ambientales diferentes en su forma y magnitud.

Para una comprensión integral de la dimensión ambiental no podemos olvidar las interacciones y sinergias entre estos usuarios<sup>227</sup>. La competitividad y la sustentabilidad de esta actividad dependerán en el futuro próximo de ello. Dado el interés de la propia industria acuícola, ésta debería transformarse en el motor para impulsar complejas interacciones entre los usuarios de los sistemas naturales.

Chile tiene una ventaja comparativa por su calidad de aguas todavía, en términos generales, muy buena. Considerando que aún no se han reportado efectos agudos asociados a las prácticas de acuicultura, parece que su protección debe transformarse en una materia urgente para el país. Se desconocen las capacidades de carga que los sistemas del Sur Chile tienen, pese a que existen metodologías para aproximarse<sup>228</sup>, ya que aún no tenemos información científica para apoyarnos.

Chile carece de información certera sobre temas relevantes como uso de antibióticos y otros fármacos; uso de pintura "antifouling", así como sobre otros aspectos ambientales. Se han realizado avances empíricos y conceptuales en aspectos como el estudio de patologías y desarrollo de sistemas de cultivo ambientalmente amigables, como los cultivos integrados. No obstante, parece que el desarrollo sustentable de la acuicultura, y muy especialmente de la salmonicultura en el futuro próximo, requiere desarrollar las capacidades de investigación científica y tecnológica que existen en el país. Chile no puede depender de tecnologías importadas, sin tener una capacidad de adaptarlas, transformarlas y de desarrollar alternativas propias para nuestras condiciones económicas, sociales y ecológicas. Chile es el segundo productor de salmónes, pero está lejos de ser el segundo productor de conocimiento sobre ellos.

En virtud de los antecedentes entregados en este estudio, podemos indicar las siguientes conclusiones generales:

1. A pesar de que el nivel de conocimientos y de estudios técnicos sobre los efectos de la acuicultura en Chile es insuficiente, la información existente en diversas zonas geográficas indica que esta actividad tiene múltiples y complejos efectos sobre el medio ambiente.
2. La acuicultura no sólo tiene efectos en los sitios donde se llevan a cabo las actividades productivas, sino que tiene un rango de influencia (huella ecológica) mucho mayor que tendrá una fuerte influencia sobre su sustentabilidad.
3. Los efectos ambientales de la acuicultura son múltiples y complejos y requieren de estudios que incorporen las variables tipo de organismos en cultivo, variaciones espaciales asociadas a características ambientales específicas, grado de intensidad del cultivo y tecnología utilizada, entre otros.
4. El cultivo de especies de alto nivel trófico y con subsidios externos posee efectos ambientales más fuertes sobre el medio ambiente en comparación al cultivo de herbívoros o de productores primarios.
5. Debe reconocerse la existencia de variados esfuerzos, desde un punto de vista ambiental, que la industria acuícola ha realizado, especialmente en relación al uso

de alimentos menos contaminantes. No obstante, hay un gran número de compuestos comúnmente utilizados que no han sido aún estudiados con la profundidad que la situación requiere, como es el caso de fármacos, pinturas y materiales tóxicos diversos.

6. Los desechos vertidos anualmente durante la producción de salmones en Chile son mayores al equivalente de 2 millones de personas, lo cual indica que no es una actividad trivial para el medio ambiente.

7. Es necesario generar una modernización en el tipo de regulaciones ambientales. En este contexto la internalización de los costos ambientales puede ser una alternativa, para regular el crecimiento de la industria acuícola, así como para otros sectores productivos.

8. La sustentación de un modelo productivo donde se consideren los costos ambientales será rentable sólo si las empresas incorporan tecnologías de cultivo amigables con el medio ambiente, como los sistemas de cultivo en tierra con reciclaje de agua o sistemas de cultivos integrados.

9. El desarrollo tecnológico en Chile ha estado centrado en la apropiación de tecnologías externas, pero está claro que un posicionamiento de la industria requiere de un soporte nacional mucho mayor que el existente en la actualidad.

10. Es necesario desarrollar una visión integradora entre los diferentes usuarios del recurso agua para lograr una fórmula de desarrollo sustentable. En consecuencia, podemos indicar que para una práctica sustentable de la acuicultura es necesario potenciar la utilización y/o desarrollo de las siguientes prácticas en Chile:

a. En relación a enfermedades: eliminar el uso de compuestos tóxicos y no biodegradables; extender el

uso de antibióticos solubles y/o fotodegradables; tratar las enfermedades con vacunas inyectables y antibióticos de alta especificidad; desarrollar métodos de control biológico y desarrollar métodos alternativos de control de patógenos.

b. En relación al depósito de materia orgánica: optimizar las técnicas de producción; mejorar la calidad de alimento; desarrollar técnicas de rotación de áreas; usar sistemas de remoción de desechos orgánicos; desarrollar tecnologías para reciclar desechos e impulsar el desarrollo del cultivo integrado incorporando filtradores.

c. En relación con la eliminación de nutrientes disueltos: optimizar técnicas de producción; mejorar la calidad de alimento e impulsar el desarrollo de cultivos integrados incorporando macroalgas.

En términos generales: es necesario promover los cultivos de especies herbívoras; modificar de dietas; modificar las capacidades de asimilación de dietas; propender al uso de sus ventajas ambientales establecimiento de protocolos de seguridad y de actas de acciones éticas.

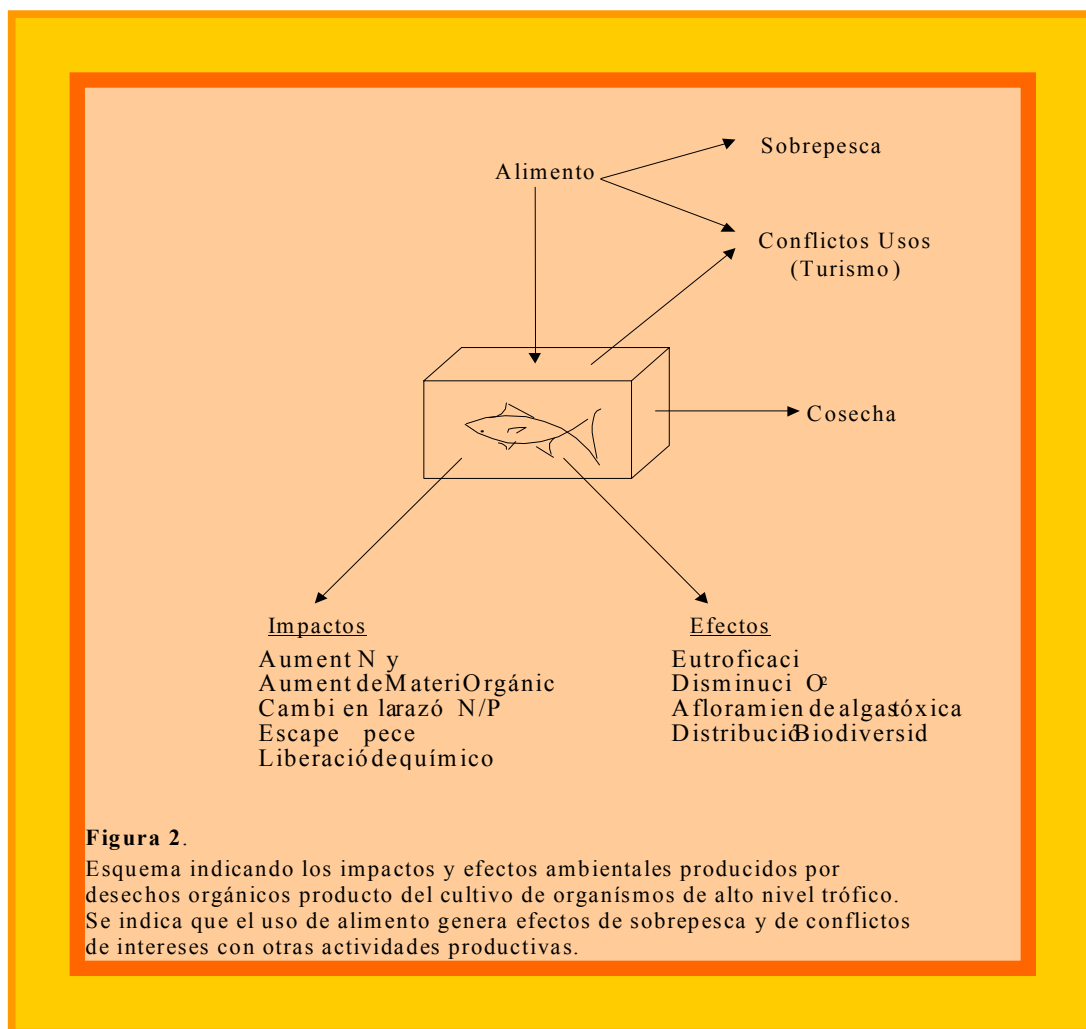
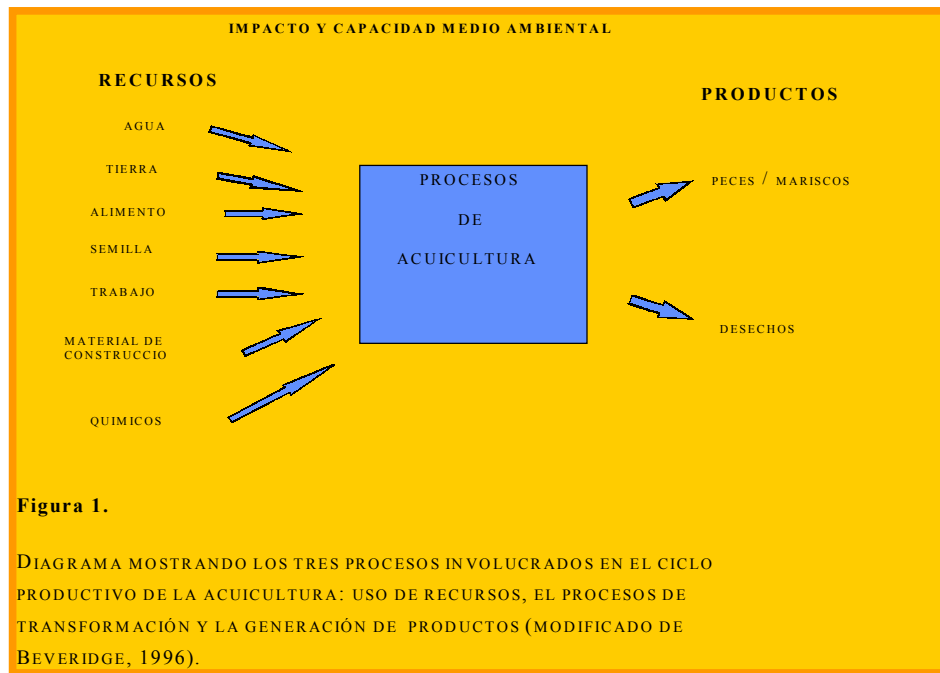
Estas recomendaciones son complementarias a algunas indicadas hace ya más de 5 años (Tabla 6). Es probable que para muchas de éstas existan ya avances sustantivos, no obstante, se incluyen en este resumen con el fin de no perder de vista la globalidad del problema que debe resolverse. Por otra parte, la comunidad debe abrir una discusión más abierta sobre los nuevos problemas ambientales que están emergiendo y recalco que ella debe estar basada en información objetiva y transparente para poder desarrollar una actividad productiva sustentable en el tiempo. De cualquier otra forma, dispondremos de un desarrollo efímero y no libre de controversias y desacuerdos estériles.

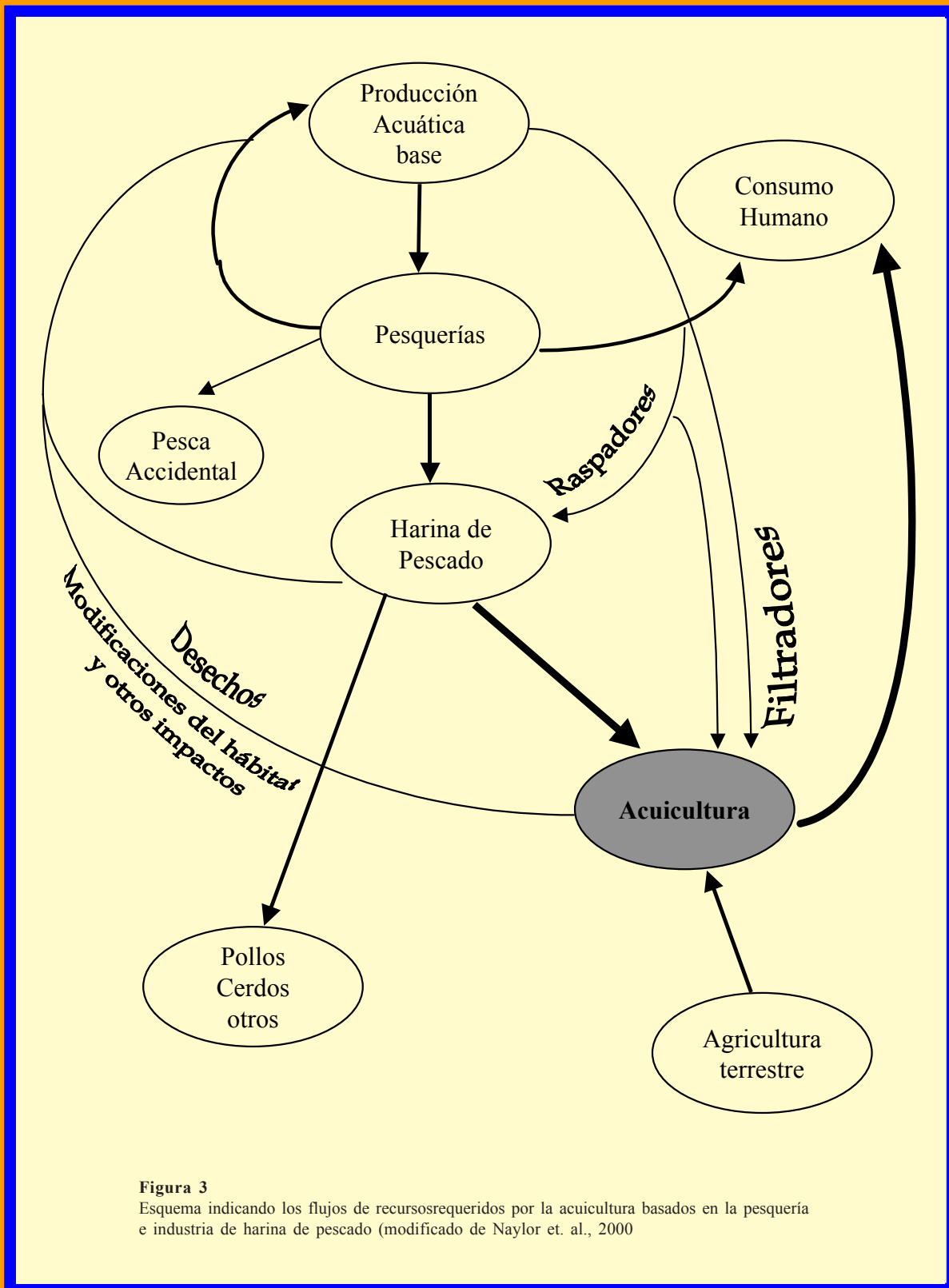


# **Anexo:**

## **Figuras, Tablas, Bibliografía y Glosario**

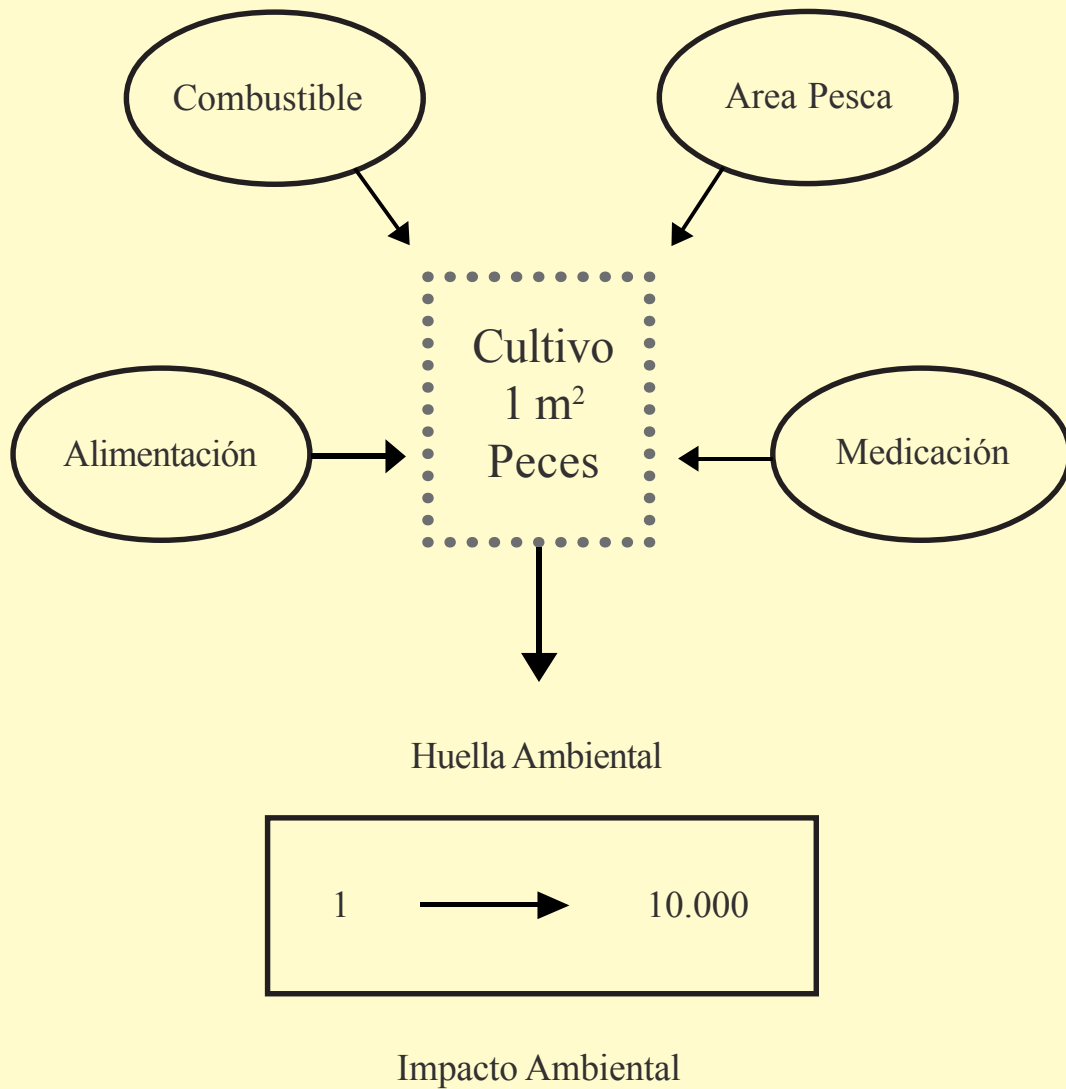




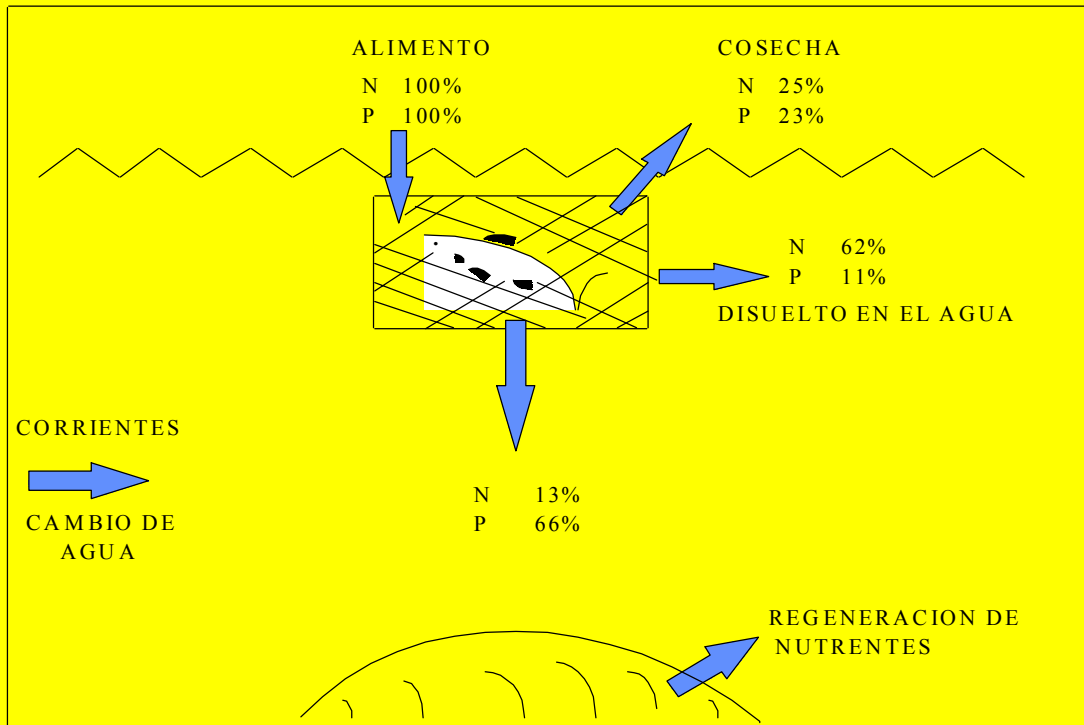


**Figura 3**  
 Esquema indicando los flujos de recursos requeridos por la acuicultura basados en la pesquería e industria de harina de pescado (modificado de Naylor et. al., 2000)

## REQUERIMIENTOS



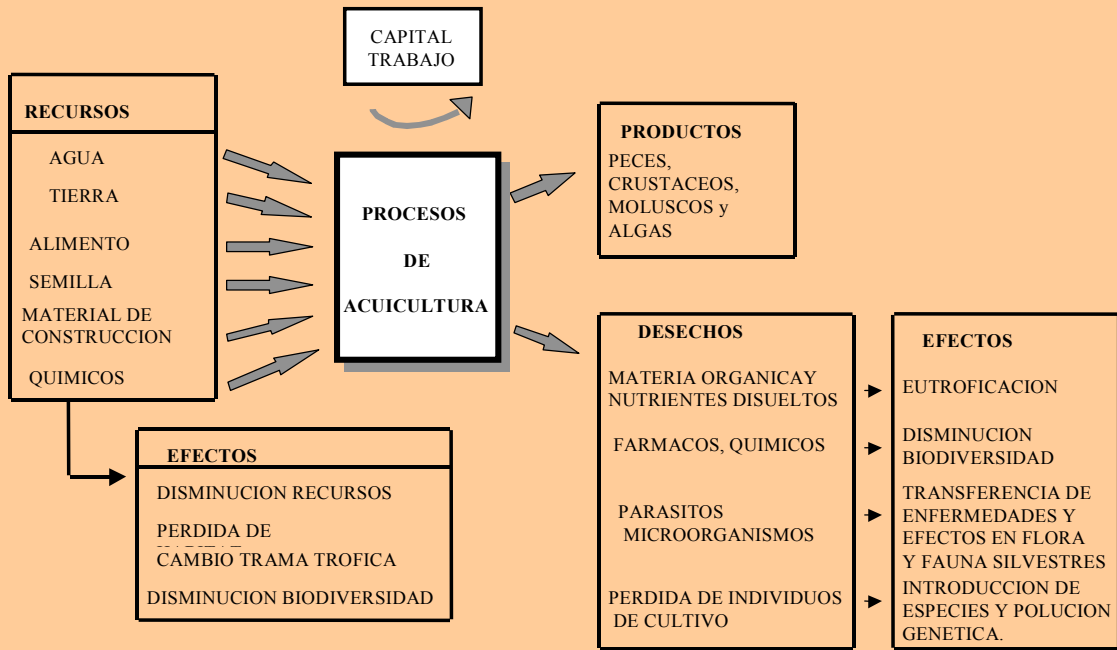
**Figura 4:** Modelo mostrando diferentes subsidios requeridos para el cultivo de 1 m<sup>2</sup> de peces. El modelo indica que se requiere de un área 10 mil veces mayor para la mantención de una superficie de cultivo (modificado de Folke et al., 1998)



**Figura 5.**

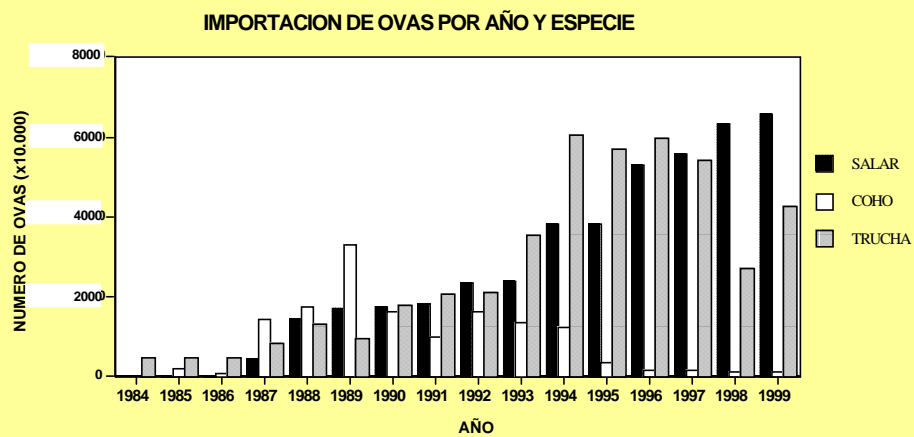
Flujo de nitrógeno (N) y fósforo (P) en términos porcentuales en un centro de cultivo de salmonídeos (con aporte exógeno de alimento). Se indica que el nitrógeno queda principalmente disuelto en la columna de agua en tanto el fósforo principalmente sedimenta al fondo. La cosecha remueve sólo un 23 al 25 % de los aportes de ambos nutrientes del ecosistema (modificado de Folke y Kautsky, 1989).

**IMPACTO AMBIENTAL Y CAPACIDAD MEDIO AMBIENTAL**

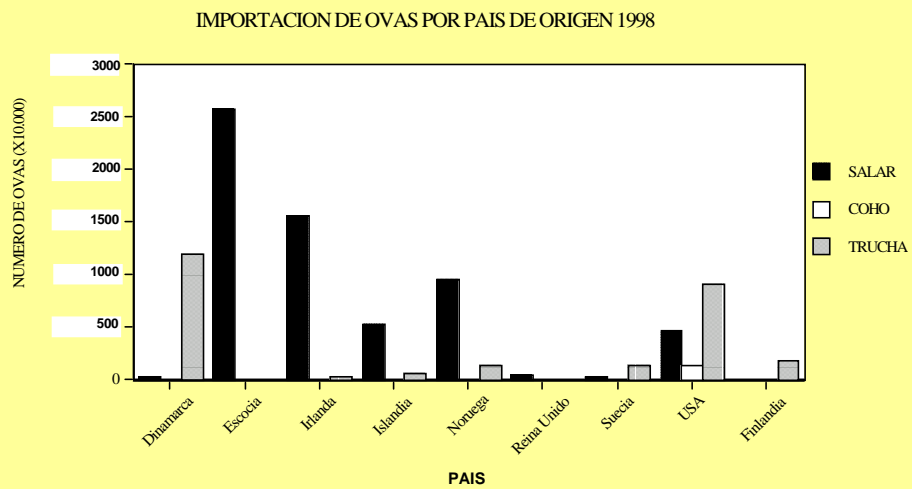


**Figura 6.**

Diagrama mostrando los tres procesos involucrados en el ciclo productivo de la acuicultura (uso de recursos, el procesos de transformación y la generación de productos) indicando los efectos ambientales que producen el uso de diferentes subsidios y los desechos producidos.

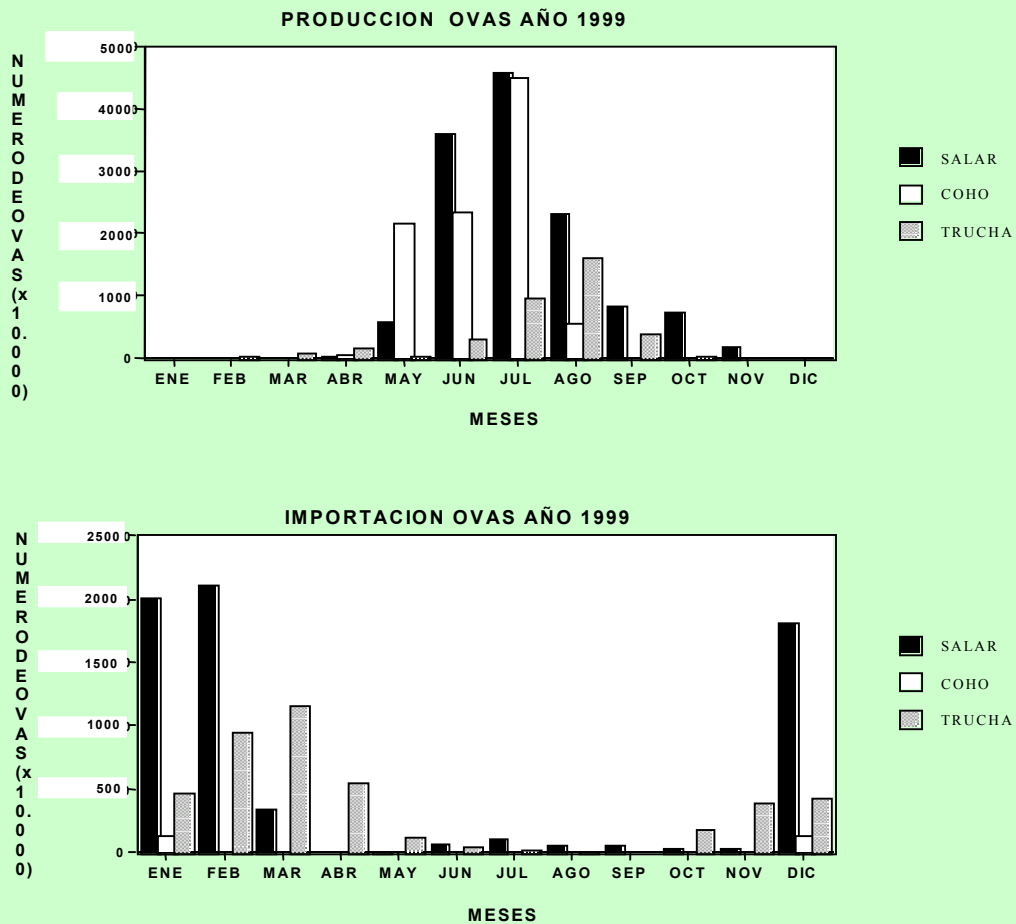


**Figura 7.** Importación de ovas (número por año) para las tres especies de salmonídeos cultivados en Chile durante los últimos 16 años.



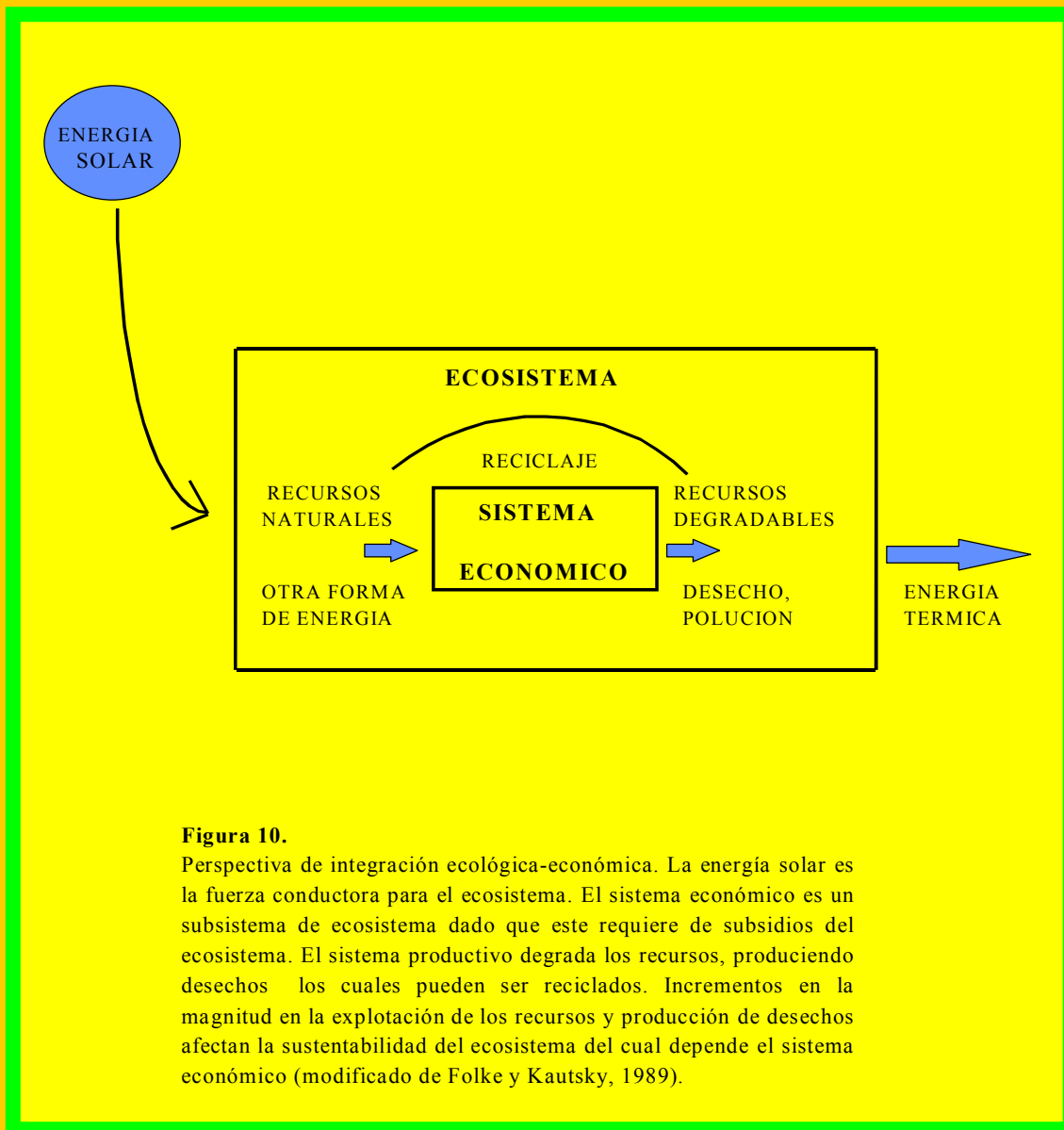
**Figura 8.** Importación de ovas durante 1998 por país de origen para las tres especies de salmonídeos cultivados en Chile.





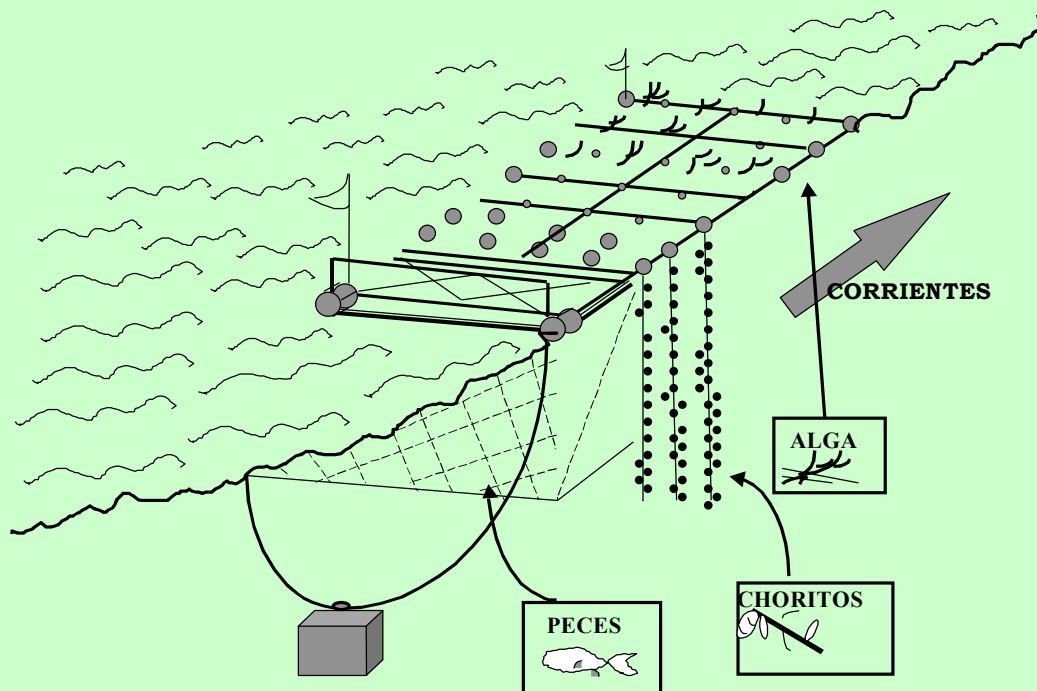
**Figura 9.**

A. Producción de ovas en Chile durante 1999, para las tres especies de salmonídeos cultivados en Chile. B. Importación de ovas durante 1999, para las tres especies de salmonídeos cultivados en Chile. La figura muestra la complementación de las épocas de producción e importación para completar un ciclo de producción completo en el año.



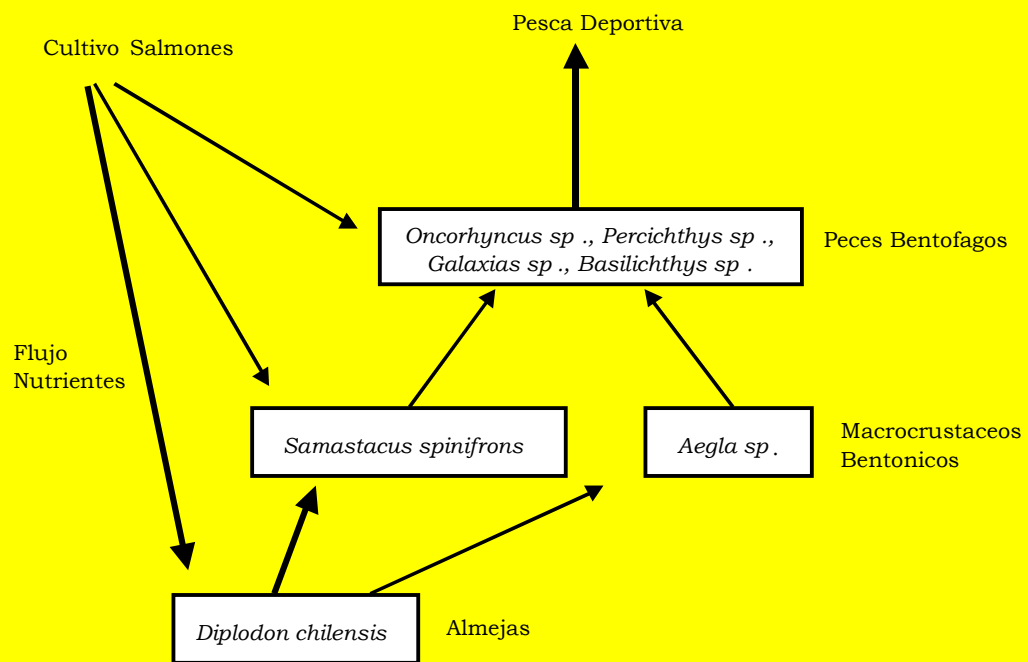
**Figura 10.**

Perspectiva de integración ecológica-económica. La energía solar es la fuerza conductora para el ecosistema. El sistema económico es un subsistema de ecosistema dado que este requiere de subsidios del ecosistema. El sistema productivo degrada los recursos, produciendo desechos los cuales pueden ser reciclados. Incrementos en la magnitud en la explotación de los recursos y producción de desechos afectan la sustentabilidad del ecosistema del cual depende el sistema económico (modificado de Folke y Kautsky, 1989).



**Figura 11.**

Modelo esquemático de un sistema de cultivo integrado de peces, moluscos y algas, donde se reciclan los elementos de desechos de unos por otros, disminuyendo los efectos ambientales.



**Figura 12.**

Integración del bivalvo *Diplodon chilensis* en el reciclamiento de nutrientes producidos por el cultivo de salmonídeos y su función como parte de la trama trófica en lagos oligotróficos del sur de Chile.

**Tabla 1. Producción de alga (pelillo), peces (lenguado, salmón del atlántico, salmón plateado, salmón rey, trucha arcoiris, trucha café y turbot) y moluscos (abalón, cholga, chorito, choro, ostión del norte, ostra chilena, ostra del pacífico) por prácticas de acuicultura, en la década de los noventa en Chile (Toneladas)**

ESPECIE	1993	1997	1999
Pelillo	48,648	102,767	31,278
Lenguado			1
Salmón del Atlántico	29,180	96,675	103,242
Salmón plateado	25,150	73,408	76,324
Salmón rey	859	738	208
Trucha arcoiris	22,257	77,110	50,414
Trucha café		39	
Turbot	34	278	333
Abalón rojo		1	48
Cholga	97	188	566
Chorito	2,900	8,635	16,203
Choro	165	261	477
Ostión del norte	4,683	11,482	20,668
Ostra chilena	684	328	291
Ostra del Pacífico	435	3,203	5,441

Fuente: Anónimo 1999

**Tabla 2. Restricciones metodológicas para afirmar la importancia general de los impactos ambientales detectados, así como de las predicciones sobre consecuencias ambientales futuras**

(1)	Selección de las especies seleccionadas (indicadora).
(2)	Selección de métodos que no indican causalidad
(3)	Uso de diseños muestrales que no consideran la variabilidad temporal y espacial de las poblaciones naturales
(4)	Uso de método estadísticos inapropiados
(5)	Ausencia de protocolos objetivos para interpretar y predecir efectos ambientales.

Basado en Underwood y Peterson, 1988, Underwood, 1992, 1994

**Tabla 3. Ejemplos de fármacos utilizados en acuicultura**

Antibióticos naturales (p. ej. tetraciclina)
Antibióticos sintéticos (p. ej. sulfonamidas)
Fungicidas (p. ej. verde de malaquita, formalina)
Antiparasitarios (p. ej. dichlorvos, peróxido de hidrógeno, piretroides)

Modificado de Beveridge 1996

**Tabla 4. Características de algunos lagos oligotróficos del sur de Chile**

	Villarrica	Ranco	Rupanco	Llanquihue
Area (km <sup>2</sup> )	174	443	236	870
Profundidad máxima (m)	165	199	273	317
Tamaño Cuenca (m <sup>2</sup> )	2.920	3.997	909	1.605
Renovación teórica (años)	2,3	5	12	70
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	20,4	3,8	9,2	3
Nitrógeno (mg L <sup>-1</sup> )	87	16	12	15
Clorofila (mg L <sup>-1</sup> )	2,7	1,5	<<1	1
Transparencia (m)	8,5	14	12	19
Temperatura Mínima (°C)	9,9	10	10,4	10,6
Temperatura Máxima (°C)	20	21	19	19

Fuente: Soto y Campos, 1995

**Tabla 5. Resumen de efectos ambientales causados por prácticas de acuicultura sobre poblaciones y biodiversidad en Bahía Metri en ambientes rocosos adenaños a balsas de cultivos, en fondos blandos bajo las balsas y en la columna de agua (fitoplancton)**

	Fondos Rocosos	Fondos Arenosos	Fitoplancton
1	Sarcothalia (alga)* Crepidula (molusco)*	Capitella (poliqueto)* Anfípodos (crustaceos)* Ostrácodos (crustaceos)*	Dinoflagelados*
2	33%	23%	25%
3	Sin efectos	Disminución significativa	Sin efectos

1 E:

2 Porcentaje del total de grupos estudiados que presentó efectos significativos

3 Detección de efectos significativos sobre la biodiversidad

\* Todos estos organismos incrementaron su abundancia en forma significativa en las zonas de cultivo.

**Tabla 6. Incremento del costo de producción (US\$/kg de peces) al internalizar los costos de depuración de N y P producidos por el cultivo de salmónidos. El análisis está sensibilizado considerando diferentes eficiencias de conversión de alimentos**

Production cost in Chile <sup>1</sup> (US\$/kg fish)	N cost <sup>2</sup> (US\$/kg nutrient)	P cost <sup>2</sup> (US\$/kg nutrient)	Food Conversion Efficiency <sup>3</sup> (kg nutrient/kg fish)	Additional Cost US\$(%)
3.1 to 3.5	6.4 to 12.8	2.6 - 3.8	Bajo: 0.0310 P - 0.129 N Alta: 0.0095 P - 0.078 N	0.94-1.77 (27-57) 0.53-1.04 (15-33)

Modificado y actualizado de Buschmann et al., 1996.

**Tabla 7. Recomendaciones de estudios ambientales necesarios para desarrollar una acuicultura sustentable en Chile**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Integración de las descargas de nutrientes por actividades urbanas, industriales, forestales, agrícolas, así como otras actividades humanas en áreas costeras utilizadas por la acuicultura y el turismo;</li> <li>2.- Estudio de las respuestas de especies tóxicas de fitoplancton causadas por incremento de nutrientes;</li> <li>3.- Estudio de los efectos asociados a la introducción de nuevas especies;</li> <li>4.- Determinación de las consecuencias ambientales del uso de químicos para el control terapéutico u organismos plaga;</li> <li>5.- Determinación de las consecuencias en el hábitat por la instalación de acuicultura, e inducción de mortalidad de mamíferos y aves;</li> <li>6.- Estudio de características oceanográficas relacionados con operaciones de cultivo con el fin de mejorar los resultados productivos y optimizar conversiones de alimento</li> <li>7.- Desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias de cultivo para una acuicultura más amigable.</li> </ol>
--

Modificado de Buschmann et al., 1996

# GLOSARIO

I. Autótrofo: Organismo capaz de sintetizar sus propios alimentos desde fuentes inorgánicas y energía solar.

II. Heterótrofo: Organismo que no es capaz de sintetizar sus propios alimentos y necesita de otros organismos o materia orgánica para alimentarse.

III. Organismo incrustante: Animal o vegetal que vive incrustado en rocas o algún otro tipo de sustrato.

IV. Animal asilvestrado: Animal que, no siendo autóctono, se ha extendido por un territorio y se ha naturalizado en un medio silvestre.

V. Biodeposición: Producción de sedimentos orgánicos por organismos vivos.

VI. Columna de agua: Volumen de un agua que se encuentra entre la superficie y el fondo de un cuerpo de agua dulce o marino.

VII. pH: Expresa la concentración de protones ( $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ ), e indica el grado de acidez de una solución. La escala de pH va de 0 a 14. Una sustancia es neutra tiene  $\text{pH}=7$ , una alcalina posee un pH mayor a 7 y una solución ácida presenta un pH menor de 7.

VIII. Macrobentos: Conjunto de organismos pluricelulares, de tamaño superior a un milímetro, que viven en estrecha relación con el fondo marino.

IX. Anaeróbica: Respiración que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno.

X. Metanogénesis: Formación biológica del metano por medio de bacterias llamadas metanógenas que son anaerobias estrictas.

XI. Hidrógeno sulfhídrico: Gas muy activo que reacciona con los metales típico en sitios con bajos niveles de oxígeno.

XII. Amonio: Radical univalente formado por Hidrógeno (H) y Nitrógeno (N), cuyos compuestos se parecen a los de los materiales alcalinos y son producidos en los procesos de excreción.

XIII. Fitoplancton: 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.

XIV. Zooplancton: Son el componente animal que forma parte del plancton, es decir, nadan libremente o permanecen suspendidos en la columna de agua.

XV. Cianobacteria: También llamadas algas verde azules. Son bacterias fotosintéticas, productoras importantes de oxígeno para la evolución de la vida sobre la tierra. Utilizan ficobilina para realizar la fotosíntesis.

XVI. Macrobentónica: Fauna marina macroscópica (tamaño visible al ojo del hombre) que vive asociada al fondo marino.

XVII. Oligoqueto: Clase de gusanos anélidos de cuerpo cilíndrico y alargado provisto de unas quetas poco visibles. La mayoría son terrestres o de agua dulce.

XVIII. Quironómidas: Insecto díptero. Las larvas, ricas en hemoglobina, son alimento vivo de primera calidad para acuarios.

XIX. Efemeróptera: Orden de insectos que presentan una metamorfosis incompleta (hemimetábolos), que viven en el agua o cerca de ella. La fase larvaria puede durar de dos semanas a tres años y tras dos mudas se transforma en efémera, fase adulta., con una vida que rara vez alcanza las 48 horas.

XX. Daphnia: Crustáceo planctónico de agua dulce del grupo de los cladóceros. Denominado también pulga de agua. Con un tamaño entre 1 y 4 mm constituyen un alimento apreciado para los pequeños peces de acuario.

XXI. Clorofila: Pigmento fotosintético, de color verde formado por cuatro núcleos pirrólicos unidos a un átomo de magnesio, esterificado por el fitol. Es la molécula responsable de captar la energía luminosa en los primeros eventos de la fotosíntesis.

XXII. Macroalga: Especie vegetal que vive en agua dulce o salada, que pertenece a las formas menos evolucionadas del reino vegetal y que son de tamaño visible al ojo desnudo del hombre.

XXIII. Epífita: Planta que vive sobre otro vegetal usándolo sólo como soporte pero que no lo parasita.

XXIV. Capitella y Scolelepis: Anélidos pertenecientes a la clase de los poliquetos. En el caso de Capitella es excavador errante y Scolelepis es tubícola.

XXV. Tramas tróficas: Conjunto de interacciones alimentarias entre las especies de un ecosistema.

XXVI. Nemátodos y Copépodos:

- Nemátodos: Tipo de gusano unisexual, de cuerpo cilíndrico y delgado, sin segmentar y cubierto por una cutícula. Existen formas libres y parásitas.

- Copépodos: Animales del grupo de los crustáceos que abundan en el plancton y es alimento de los peces.

XXVII. Efectos en cascada: Sucesión de reacciones encadenadas.

XXVIII. Detritívoros: Animal heterótrofo que se alimenta de materia orgánica muerta.

XIX. Oxitetraciclina: Antibiótico que se utiliza para el tratamiento del tracto respiratorio, urinario y reproductivo de animales.

XXX. Reducción de sulfatos: Es el paso de  $SO_4^{2-}$  a  $SH_2$  por medio de la captación de electrones. El  $SH_2$  es un importante producto natural que participa en numerosos procesos biogeoquímicos.

XXXI. Nitrificación: Es la conversión de amonio a nitrato. Es realizada en dos pasos por distintas bacterias del suelo: Nitrosomonas y Nitrococcus, convierten el amonio en nitrato. Luego otra bacteria del suelo, Nitrobacter, oxida el nitrito en nitrato. Este proceso les entrega energía a las bacterias.

XXXII. Ectoparásito: Organismo que vive sobre otro organismo vivo del que obtiene parte o todos los nutrientes que necesita para vivir, sin dar ninguna compensación a cambio al hospedador.

XXXIII. Invertebrados sésiles: Animales que carecen de vértebras y que vive fijo a otro organismo o al sustrato.

XXXIV. Biocida: Término aplicado a los productos químicos que son utilizados para destruir organismos vivos que en ocasiones interfieren o amenazan la salud y las actividades humanas.

XXXV. Gyrodactylus salaris: Parásito que infecta la piel y las aletas del salmón, trucha y de algunos otros peces de agua dulce. Tiene un tamaño inferior a 0,5 mm. La erradicación del parásito de las instalaciones de acuicultura implica el despesque y la desinfección de los tanques de producción.

XXXVII. Potencial osmótico: Registra la presencia de soluto disuelta en el sistema y determina el volumen celular.

XXXVIII. Lagos Oligotróficos: Término para describir un lago en el que los nutrientes están en bajas concentraciones.

XXXIX. Gracilaria chilensis: Alga roja de importancia comercial por la producción de agar. Es un alga filamentososa, con un disco de fijación, los filamentos pardo rojizos de 2 mm de diámetro forman mechones de hasta 1,5 m de largo. Crecen en ambientes protegidos, tanto en la zona intermareal como submareal. Pueden vivir adheridas al sustrato rocoso, enterradas en la arena o flotantes en la columna de agua.

XL. Epífitos: Organismos que crecen en la superficie de otra planta, generalmente no son parásitos.

XLI. Gastrópodos herbívoros: Son una clase de moluscos que poseen una concha, caracoles, de una sola pieza y un pie ancho reptante que se alimentan de vegetales.

XLII. Poliquetos: Dícese de los gusanos anélidos, predominantemente marinos y unisexuales, con branquias, parapódos provistos de numerosas sedas y una región cefálica diferenciada con ojos y tentáculos.

XLIII. Materia orgánica: materia compuesta de derivados del carbono.

XLIV. Foraminífero: Dícese de protozoos rizópodos acuáticos con caparazón de forma y composición química variadas.

XLV. Depredadores bentónicos: Animales que viven en el fondo del mar ya se trate de un fondo duro de coral o roca o de un fondo blando de arena o lodo.

XLVI. Mitílidos: Organismos acuáticos que poseen una concha con dos valvas articuladas dorsalmente por medio de una banda elástica denominada ligamento articular que encierran el cuerpo por completo, son organismos filtradores, sésiles fijados por ligamentos bisales (p. ej. cholgas y choritos)

XLVII. Nassarius gayi: Es un gastrópodo del orden Neogastropoda que tienen una sola branquia unipectinada, un sistema nervioso concentrado y se alimenta en forma facultativa de carroña.

XLVIII. Anfípodos: Es un crustáceo de pequeño tamaño. El tronco está segmentado, formando los primeros segmentos la cabeza y los últimos el abdomen, tienen un par de antenas, pleópodos o patas de los cuales los primeros tres pares anteriores se utilizan para nadar y para ventilación; muchos son excavadores consumados y algunos construyen tubos de lodo de materias secretadas, casi todos se alimentan de detritus o consumen materias orgánicas descompuestas y otros utilizan la alimentación de filtro.



XLIX. Ostrácodos: Crustáceos pequeños parecidos superficialmente al camarón almeja por estar su cuerpo completamente por un caparazón bivalvo, las valvas son redondeadas o elípticas y su pared externa está impregnada de carbonato de calcio. La cabeza comprende casi la mitad del cuerpo, pues el tronco está muy reducido.

L. Dinoflagelados: 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.

LI. Heterosigma akashiwo: microalga componente del fitoplancton que puede producir efectos nocivos al cultivo de peces.

LII. Apositaderos de lobos: Lugar de transición utilizado para el descanso de los lobos marinos.

LIII. Índice de conversión: Relación entre alimento entregado con el alimento asimilado por los peces.

LIV. Lípidos: Moléculas orgánicas no solubles en agua (compuestos grasos) importantes en la estructura de la membrana citoplasmática y (en algunos organismos) de la pared celular.

LV. Alimentos extruidos: Alimentos con ciertas propiedades nutricionales las cuales son comprimidas a altas temperaturas y altas presiones, para que mantengan por un tiempo determinado su estado inicial.

LVI. Osmorregulación: Proceso de regulación del volumen celular como consecuencia de cambios de salinidad en el medio acuático.

LVII. Cultivos Integrados: Cuando se integra un cultivo de otros organismos alrededor de balsas jaulas de organismos carnívoros para permitir el reciclamiento sus elementos de desechos.

LVIII. Seston: Material particulado que se encuentra en la columna de agua tanto orgánico como inorgánico.

LIX. Diplodon chilensis: Molusco bivalvo de agua dulce común en los lagos del sur de Chile.



### 10.3 BIBLIOGRAFÍA

Alderman, D.J., Rosenthal, H., Smith, Srewart, J. & Weston, D.P. (1994). Chemical Used in Mariculture. ICES Cooperative Research Report, 202. ICES, Copenhagen.

Angel, D., Krost, P., Zuber, D., Mozes, N., & Neori, A (1992). The turnover of organic matter in hypertrophic sediment below a floating fish farm in the oligotrophic Gulf of Eilat (Aqaba). *Bamidgeh*, 44, 143-144.

Anónimo. (1999). Anuario estadístico de Pesca del año 1998. Servicio Nacional de Pesca, Valparaíso, X+224 pp.

Aoki, T. (1992). Chemoterapy and drug resistance in fish farms in Japan. En: *Diseases in Asian Aquaculture* (M. Shariff, R.P. Subasinghe & J.R. Arthur), Asian Fisheries Society, Manila, pp. 519-529.

Aure, J. & Stigebrandt, A (1990). Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. *Aquaculture*, 90, 135-156.

Austin, B. (1993). Environmental issues in the control of bacterial diseases. En: *Environment and Aquaculture in Developing Countries*. ICLARM Conference Proceedings, 31 (R.S.V. Pullin, H. Rosenthal & J.L. Maclean, ed.). ICLARM, Manila, pp. 237-51.

Barton, J.R. (1997). Environment, sustainability and regulation in commercial aquaculture: the case of Chilean salmonid production. *Geoforum*, 28, 313-328.

Bangen, M., Grave, K., Nordmo, R. & Soli, N.E. (1994). Description and evaluation of a new surveillance programme for drug use in fish farming in Norway. *Aquaculture*, 119, 109-118.

Baudinet, D., Alliot, E., Berland, B., Grenz, C., Plante-Cuny, M., Plante, R. & Salen-Picard, C. (1990). Incidence of mussel culture on biogeochemical fluxes at the sediment-water interface. *Hydrobiologia*, 207, 187-196.

Berg, H., Michélsen, P., Troell, M., Folke, C. & Kautsky, N. (1996). Managing aquaculture for sustainability in tropical Lake Kariba, Zimbabwe. *Ecological Economics*, 18, 141-159.

Bergan, P.I., Gausen, D. & Hansen, L.P. (1991). Attempt to reduce the impact of reared Atlantic salmon on wild in Norway. *Aquaculture*, 98, 319-324.

Bergheim, A. & Kelly, L. (1993). Waste treatment technologies for cage and landbased aquaculture operations. *Seminario Acuicultura y Medio Ambiente*, Fundación Chile, Santiago, 18 pp.

Bernstein, B.B. & Zalinski, J. (1993). An optimum sampling desing and power test for environmental biologist. *Journal of Environmental Management*, 16, 35-43.

Beveridge, M.C.M. (1984). Cage and pen farming. Carrying capacity models and environmental impacts. *FAO Fish Tech. Pap.*, 255, 1-133.

Beveridge, M.C.M. (1994). Aquaculture and biodiversity. *Ambio*, 23, 497-502.

Beveridge, M.C.M. & Muir, J.F. (1995). Environmental impact and sustainability of cage culture in Southeast Asian lakes and reservoirs. En: *Ecological Aspects of Fish Production in SE-Asian Lakes and Reservoirs* (W. van Dessen, T Saidin & M. Verdegen, ed.). University of Wageningen.

Beveridge, M.C.M. (1996). *Cage Aquaculture*. Second Edition. Fishing News Book, Oxford, 346 pp.

Black E. & Carswell, B. (1986). Impact of salmon farming on marine water quality. British Columbia Ministry of Agriculture and Fisheries, Commercial Fisheries Branch, Victoria, British Columbia, pp. 43.

Bodvin T., Indergaard, M., Norgaard, E., Jensen, A., Skaar, A. (1996). Clean technology in aquaculture- a production without waste products? *Hydrobiologia*, 326/327, 83-86.

Boeuf, G., Kossmann, H. & Medina, A. (1992). Le développement de la salmoniculture au Chili en 1992. *La Pisciculture Francaise*, 109, 5-29.

Borregaard, N. & Cocuzza, F. (1991). El medio ambiente en le marco de la futura cooperación entre Chile y la Unión Europea. *Ambiente y Deasarrollo*, 12, 40-45.

Braaten, B., Aure, J.A. Ervik, A. & Boge, E. (1983). Pollution problems in Norwegian fish farming. *Aquaculture ireland*, 14, 6-10.

Branson, E.J. & Nieto, D. 1991. Descripción a new disease condition occurring in farmed coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum), in South America. *Journal of Fish Diseases*, 14, 147-156.

- Bravo, S. & Gutiérrez, S. (1991). Avances en el estudio del síndrome del salmón coho. *Chile Pesquero*, 64, 39-48.
- Bravo, S. (1994). Piscirickettsiosis in fresh water. *Bulleting of the European Association of Fish Pathologists*, 14, 137-138.
- Bron, J.E., Sommerville, C., Wootten, R. & Rae, G.H. (1993). Following of marine Atlantic salmon, *Salmo salar* L., farms as a method for the control of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* Kroyer, *Journal of Fish Diseases*, 16, 487-493.
- Brown, J.R., Gowen, R.J. & McLusky, D.S. (1987). The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 109, 39-51.
- Bruno, D.W. & Ellis, A.E. (1988). Histopathological effects in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., attributed to the use of tributyltin antifoulant. *Aquaculture*, 72, 15-20.
- Brunetti, P., Guajardo, G., Melo, J., Miño, M., Oporto, J., Rebolledo, D., Sasso, L., & Carvajal, M. (1998). Evaluación de impacto económico de la interacción del lobo marino común con la actividad pesquera en la X-XI Regiones. Informe Técnico Comisión de Mamíferos Consejo Zonal de Pesca, IV Zona, 21 pp.
- Burka, J.F., Hammel, K.L., Horsberg, T.E., Johnson, J.R., Rainnie, D.J., Speare, D.J. (1997). Drugs in cultured salmonids—a review. *Journal of Veterinary Pharmacology and Theriology*, 20, 333-349.
- Buschmann, A.H., López, D.A. & Medina, A. (1993). Costos y tecnologías para minimizar el impacto ambiental. *Ambiente y Desarrollo*, 9, 71-75.
- Buschmann, A.H., Westermeier, R. & Retamales, C.A. (1995). Cultivation of *Gracilaria* in the seabottom in southern Chile: a review. *Journal of applied Phycology*, 7, 291-301.
- Buschmann, A.H., Troell, M. & Kautsky, N. (2001a). Integrated algal farming: a review. *Cahiers de Biologie Marine*, 42, 83-90.
- Buschmann, A.H., López, D.A. & 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. & Kautsky, L. (1996b) Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta). *Hydrobiologia*, 326/327, 75-82.
- Buschmann, A.H., López, D.A., Troell, M. & Kautsky, N. (1997). El caso de la acuicultura en Chile: Evaluación de la internalización de los costos ambientales. *Ambiente y Desarrollo*, 31, 79-83.
- Buschmann, A.H., Mora, O.A., Gómez, P., Böttger, M., Buitano, S., Retamales, C., Vergara, P.A. & Gutierrez, A. (1994). *Gracilaria chilensis* outdoor tank cultivation in Chile: use of land-based salmon culture effluents. *Aquacultural Engineering*, 13, 283-300.
- Buschmann, A.H., Correa, J.A., Westermeier, R., Hernández-González, M.C. & R. Norambuena, R. (2001b). Red algal farming in Chile: a review. *Aquaculture*, 194, 203-220.
- Bustamante, R. & Grez, A.A. (1995). Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo*, 11, 58-63.
- Campalans, M. (1990). Estado sanitario de la salmonicultura en Chile. *Aquanoticias Internacional*, 7: 5-7.
- Campos, H. (1977). *Osteichtys*. En: *Biota Acuática de Sudamerica Austral* (Hurlbert, S., ed.), San Diego University State Foundation, San Diego, pp. 330-334.
- Campos, H. (1984). Limnological study of Araucanian Lakes (Chile). *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, Verhandlungen*, 22, 1319-1327.
- Campos, H. (1985). Distribution of the fishes in the Andean rivers in the south of Chile. *Archiv für Hydrobiologie*, 104, 169-191.
- Campos, H., Steffen, W., Agüero, G., Parra, O., & Zuñiga, L. (1988). Limnological study of lake Llanquihue (Chile). Morphometry physics, chemistry, plankton and primary productivity. *Archiv für Hydrobiologie*, 81 (Supplement), 37-67.
- Campos, H., Steffen, W., Agüero, G., Parra, O., & Zuñiga, L. (1990). Limnological study of lake Todos Los Santos (Chile). Morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity. *Archiv für Hydrobiologie*, 117, 453-484.
- Campos, H., Steffen, W., Agüero, G., Parra, O., & Zuñiga, L. (1992). Limnological study of lake Rupanco (Chile). Morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity. *Archiv für Hydrobiologie*, 90 (Supplement), 85-113.

- Carlsson, P., Granéli, E & Olsson, P. (1990). Grazer elimination through poisoning: one of the mechanisms behind *Chrysochromulina polypis* bloom. En: Toxic Marine Phytoplankton (E. Granéli, B. Sundström, E. Edler & D. Andersson, eds.), Elsevier Press, New York, pp. 116-122.
- Caro, H. (1995). Problemas de relevancia en la interacción de la acuicultura con el medio ambiente. CIPMA, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, Tomo II, 10 pp.
- Carss, D.N. (1990). Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages. *Aquaculture*, 90, 29-40.
- Carss, D.N. (1993a). Grey heron, *Ardea cinerea* L., predation at cage fish farms in Argyll, western Scotland. *Aquaculture and Fisheries Management*, 24, 29-45.
- Carss, D.N. (1993b). Cormorant *Phalacrocorax carbo* predation at cage fish farms in Argyll, western Scotland. *Seabird*, 15, 19-25.
- Carss, D.N. (1994). Killing of piscivorous birds at Scottish fin fish farms, 1984-1987. *Biological Conservation*, 68, 181-188.
- Chareonpanich, C., Tsutsumi, H., & Montani, S. (1994). Efficiency of decomposition of organic matter, loaded on the sediment, as a result of the biological activity of *Capitella* sp. I. *Marine Pollution Bulletin*, 28, 214-318.
- Carvajal, J., González, L. & George-Nascimento, M. (1998). Native sea lice (Copepoda: Caligidae) infestation of salmonids reared in netpen systems in southern Chile. *Aquaculture*, 166, 241-246.
- Carvajal, J., Ruíz, G. & Sepúlveda, F. (2001). Symbiotic relationship between *Udonella* sp. (monogenea) y *Caligus rogercresseyi* (copepoda), a parasite of the Chilean rock cod *eleginops maclovinus*. *Archivo Medicina Veterinaria*, 33, 31-36.
- Castillo, M. & Ferrato, C. (1989). Fundamentos del desarrollo exportador chileno y sus posibilidades futuras. CORFO-IFOP, AP 89/8, 143 pp.
- Caughley, G. & Gunn, A. (1996). *Conservation Biology in Theory and Practice*. Blackwell Science, Inc., Cambridge, XII+459 pp.
- Chen, T.T., Lu, J.-K. & Fahs II, R. (1998). Transgenic fish technology and its application in fish production. En: *Agricultural Biotechnology* (A. Altman, ed.) Marcel Dekker, Inc., pp. 527-547.
- Cho, C.Y. & Bureau, D.P. (1997). Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding. *The Progressive Fish-Culturist*, 59, 155-160.
- Chopin, T., Yarish, C., Wilkes, R., Belyea, Lu, S. & Mathieson, A. (1999). Developing Porphyra/salmon integrated aquaculture for bioremediation and diversification of the aquaculture industry. *Journal of applied Phycology*, 11, 463-472.
- Chopin, T., Buschmann, A.H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G.P., Zertuche-González, J.A., Yarish, C. & Neefus, C. (2001). Integrating seaweeds into aquaculture systems: a key towards sustainability. *Journal of Phycology* (en prensa).
- Clark, R.B. (1991). Assessing marine pollutions and its remedies. *South African Journal of Marine Sciences*, 10, 341-351.
- Clement, A. (1993). Componentes disueltos aportados por la acuicultura marina en Chile. Relación con el fitoplancton. Seminario de Acuicultura y Medio Ambiente, Fundación Chile, Santiago, 11 pp.
- Clement, A. & Lembeye, G. (1993). Phytoplankton monitoring program in the fish farming region of south of Chile. En: *Toxic Phytoplankton Booms in the Sea* (T.J. Smayda & Y. Shimizu, eds.) Elsevier Science Publishers B.V., pp. 223-228.
- Clugston, J.P., 1990. Exotic animals and plants in aquaculture. *Reviews in Aquatic Sciences*, 2, 481-489.
- Cocuzza, F. (1996). La política ambiental de la Unión europea y su impacto en Chile. *Ambiente y Desarrollo*, 12, 63-69.
- Cohen, I. & Neori, A. (1991). *Ulva lactuca* biofilters for marine fishponds effluents. *Botanica Marina*, 34, 475-482.
- Collier, L.M. & Pinn, E.H. (1998). An assessment of the acute impact of the sea lice treatment Ivermectin on a benthic community. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology*, 230, 131-147.

- Cornell, G.E. & Whoriskey, F.G. (1993). The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*, 109, 101-117.
- Costa-Pierce, B.A. (1996). Environmental impacts of nutrients discharged from aquaculture: towards the evolution of sustainable, ecological aquaculture systems. En: *Aquaculture and Water Resources Management* (D.J. Baird, M.C.M. Beveridge, L.A. Kelly & J.F. Muir, ed.). Blackwell, Oxford.
- Costa-Pierce, B.A. & Soemarwoto, O. (eds) (1990). Reservoir Fisheries and Aquaculture Development for Resettlement in Indonesia. ICLARM Technical Report, 23. ICLARM, Manila.
- Cotter, D., Donovan, V.O., Maoiléidigh, N.O., Rogan, G., Roche, N. & Wilkins, N.P. (2000). An evaluation of the use of triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in minimizing the impact of escaped farmed salmon on wild populations. *Aquaculture*, 186, 61-75.
- Cloude, M., & Oporto, J. (2000). La ineficiencia de la salmonicultura en Chile. Aspectos sociales, económicos y ambientales. Terram Publicaciones, Santiago, 68 pp.
- Coyne, R., Hiney, M., O'Connor, B., Kerry, J., Cazabon, D. & Smith, P. (1994). Concentration and persistence of oxytetracycline in sediments under a marine salmon farm. *Aquaculture*, 123, 31-42.
- Critchley, A.T., Farnham, W.F. & Morrell, S.L. (1983). A chronology of new European sites of attachment for the invasive brown alga *Sargassum muticum*, 1973-1981. *Journal of Marine Biology Association, U.K.*, 63, 799-811.
- Cvitanich, J., Garate, O. & Smith, C.E. (1991). The isolation of a rickettsia-like organism causing disease and mortality in a Chilean salmonids and its confirmation by Koch's postulates. *Journal of Fish Disease*, 14: 121-145.
- Dahlbäck, B. & Gunnarsson, L.A. (1981). Sedimentation and sulfate reduction under mussel culture. *Marine Biology*, 63, 269-275.
- Dankers, N. & Zuidema, D.R. (1995). The role of the mussel (*Mytilus edulis* L.) and mussel culture in the Dutch Wadden Sea. *Estuaries*, 18, 71-80.
- Davies, I.W., Drinwater, J. & McKie, J.C. (1988). Effects of tributyltin compounds from antifoulants on Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Scottish sea lochs. *Aquaculture*, 74,319-30.
- Dayton, P.K., Tegner, M.J., Edwards, P.B. & Riser, K.L. (1998). Sliding baselines, ghosts, and reduced expectations in kelp forest communities. *Ecological Applications*, 8, 309-322.
- Dobrowolki, Z. (1987). The application of benthic indices for evaluation of caged trout cultures influence on the littoral of Letoskie Lake. *Polkie Archivum Hydrobiologii*, 34, 579-91.
- Egidius, E. & Moster, B. (1987). Effect of nevugon and nuvan treatment on crabs (*Cancer pagrus*, *C. Moenas*), lobster (*Homarus gammarus*) and the blue mussel (*Mytilus edulis*). *Aquaculture*, 60, 165-168.
- Eley, R.L., Carroll, J.H. & De Woody, D. (1972). Effect of cage catfish culture on water quality and community metabolism of a lake. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 52, 10-15.
- Enell, M. (1982). Changes in sediments dynamics caused by cage culture activities. En: 10th Nordic Symposium on Sediment, Otaniemi, Finland, 1982 (I. Bergstron, J. Kettunen & M. Stenmark, ed.). Division of Water Engineering, Helsinki University of Technology, pp. 72-88.
- Enell, M., Lof, J. & Bjorkland, T.-I. (1984). Fiskkasseodling med rening teknisk beskrivning och reningseffekt. Institute of Limnology, University of Lund, Sweden.
- Enell, M. & Lof, J. (1985). Changes in sediment phosphorus, iron and manganese dynamics caused by fish farming impact. En: 11th Nordic Symposium on Sediments (T. R. Gulderbrandsen & S. Samin, ed.), pp. 80-89.
- Enell, M. & Ackerfors, H. (1991). Nutrient discharges from aquaculture operations in Nordic countries into adjacent sea areas. ICES report C.M. 1991/F:56. Ref. MEQC, 17 pp.
- Ervik, A., Hansen, P.K., Aure, J., Stigebrandt, A., Johannessen, P. y Jahnsen, T. (1997). Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming. I. The concept of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farm-Monitoring). *Aquaculture*, 158, 85-94.
- Fast, A.W. (1991a). A floating fish cage with solid plastic membrane and pumped water exchange. *Journal of Applied Aquaculture*, 1, 99-110.
- Fast, A.W. (1991b). Some fish cage designs with forced water exchange. En: *Proceedings National Science Foundation Workshop on Offshore Engineering and Mariculture* (G.N. Hirata, ed.), Honolulu, HA., pp. 523-36.

- Findlay, R.H., Watling, L. & Mayer, L.M. (1995). Environmental impact of salmon net-pen culture on marine benthic communities in Maine: a case study. *Estuaries*, 18, 149-179.
- Folke, C. & Kautsky, N. (1989). The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio*, 18, 234-243.
- Folke, C. & Kautsky, N. (1992). Aquaculture with its environment: prospects for sustainability. *Ocean & Shoreline Management*, 17, 5-24.
- Folke, C., Kautsky, N. & Troell, M. (1994). The cost of eutrophication from salmon farming: implications for policy. *Journal of Environmental Management*, 40, 173-182.
- Folke, C., Kautsky, N., Berg, H., Jansson, Å. & Troell, M. (1998). The ecological footprint concept for sustainable seafood production: a review. *Ecological Applications*, 8 (suppl), S63-S71.
- Folke, C., Kautsky, N. & Troell, M. (1997). Salmon farming in context: response to Black et al. *Journal of Environmental Management*, 50, 95-103.
- Forster, J. & Hardy, R. (2001). Measuring efficiency in intensive aquaculture. *World Aquaculture*, 32(2), 41-42+44-45.
- Fralick, R.A. (1979). The growth of commercially useful seaweeds in a nutrient enriched multipurpose aquaculture system. En: *Proceeding IXth International Seaweed Symposium* (A. Jensen & J.R. Stein, eds). Science Press, Princeton, NJ, pp. 692-698.
- Fryer, J.L., Lannan, C.N., Garcés, L.H., Larenas, J.J. & Smith, P.A. (1990). Isolation of a rickettsiales-like organism from diseased coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Chile. *Fish Pathology*, 25, 107-114.
- Gowen, R.J. (1990). An Assessment of the Impact of Fish Farming on the Water Column and Sediment Ecosystems of Irish Coastal Waters. Report Prepared for the Department of the Marine, Ireland. Department of the Marine, Dublin.
- Gowen, R.J. & Bradbury, N.B. (1987). The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 25, 563-575.
- Gowen, R.J., Weston, D.P. & Ervik, A. (1991). Aquaculture and the benthic environment: a review. En: *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*. (C.B. Cowey & C.Y. Cho, eds.), University of Guelph, Guelph, Canada, pp. 187-205.
- González, M.L., López, D.A., Pérez, M.C. & Sanhueza, S.E. (1991). Efecto de variaciones en las condiciones ambientales, en el aporte de materia orgánica por fecas en invertebrados marinos. En: *Gestión en Recursos Naturales. Un enfoque integrado para el desarrollo* (J. Oltremari-Arregui, ed.). Actas del II Congreso Internacional, Valdivia, Chile, pp. 248-265.
- González, L., Carvajal, J., George-Nascimento, M. (2000). Differential infectivity of *Caligus flexispina* (Copepoda, Caligidae) in three farmed salmonids in Chile. *Aquaculture*, 183, 13-23.
- Granéli, E., Carlsson, P., Olsson, P., Sundström, B., Granéli, W. & Lindahl, O. (1989). From anoxia to fish poisoning: the last ten years of phytoplankton blooms in Swedish marine waters. En: *Novel Phytoplankton Blooms-Causes and Impacts of Recurrent Brown Tides and Other Unusual Blooms* (E.M. Cosper, V.M. Bricelj & E.J. Carpenter, eds.), Springer Verlag, New York, pp. 407-428.
- Grant, J., Hatcher, A., Scott, D.B., Pocklington, P., Schafer, C.T. & Winters, G.V. (1995). A multidisciplinary approach to evaluating impacts of shellfish aquaculture on benthic communities. *Estuaries*, 18, 124-144.
- Grave, K., Engelstad, M., Soli, N.E. & Hastein, T. (1990). Utilization of antibacterial drugs in salmonid farming in Norway during 1980-88. *Aquaculture*, 86, 347-58.
- Green, R.H. (1979). *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*. Wiley Interscience, Chichester, 257 pp.
- Haglund, & Pedersen, M. (1993). *Journal of applied Phycology*.
- Hall, P.O.J., Anderson, L.G., Holby, O., Kollberg, S. & Samuelsson, M.-O. (1990). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Marine Ecology Progress Series*, 61, 61-73.
- Hall, P.O.J., Holby, O., Kollberg, S. & Samuelsson, M.-O. (1992). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Marine Ecology Progress Series*, 89, 81-91.

- Handy, R.D. & Poxton, M.G. (1993). Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Review Fish Biology and Fisheries*, 3, 205-241.
- Hansen, P.K., Lunestad, B.T. & Samuelsen, O.B. (1992). Effects of oxytetracycline, oxolinic acid and flumequine on bacteria in an artificial marine fish farm sediment. *Canadian Journal of Microbiology*, 38, 1307-12.
- Hansen, P.K., Ervik, A., Schaanning, M., Johannessen, P., Aure, J., Jahnsen, T. & Stigebrandt, A. (2001). Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming. II. The concept of the MOM system (Modelling-Ongoing fish farm-Monitoring). *Aquaculture*, 194, 75-92.
- Haglund, K. & Pedersén, M. (1993). Outdoor pond cultivation of the subtropical marine alga *Gracilaria tenuistipitata* in brackish water in Sweden. Growth, nutrient uptake, co-cultivation with rainbow trout and epiphyte control. *Journal of applied Phycology*, 5, 271-284.
- Hardy, R.W. & Castro, E. (1994). Characteristics of the Chilean salmonid feed industry. *Aquaculture*, 124, 307-320.
- Hargrave, B.T., Duplisea, D.E., Pfeiffer, E., & Wildish, D. (1993). Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Marine Ecology Progress Series*, 96, 249-257.
- Hastings, T.S. & McKay, A. (1987). Resistance of *Aeromonas salmonicida* to oxolinic acid. *Aquaculture*, 60, 133-41.
- Harlin, M.M., Thorne-Miller, B. & Thursby, B.G. (1979). Ammonium uptake by *Gracilaria* sp. (Florodeophyceae) and *Ulva lactuca* (Chlorophyceae) in closed system fish culture. En: *Proceedings IXth International Seaweed Symposium* (A. Jensen & J.R. Stein, eds). Science Press, Princeton, NJ, pp. 285-293.
- Hatcher, A., Grant, J. & Schofield, B. (1994). The effects of suspended mussel culture (*Mytilus* spp) on sedimentation, benthic respiration, and sediment nutrient dynamics in a coastal bay. *Marine Ecology Progress Series*, 115: 219-235.
- Hempel, E., (1993). Constraints and possibilities for developing aquaculture. *Aquaculture International*, 1, 2-19.
- Henderson, R.J., Forrest, D.A.M., Black, K.D. & Park, M.T. (1997). The lipid composition of sea loch sediments underlying salmon cages. *Aquaculture*, 158, 69-83.
- Henriksson, S.-H. (1991). Effects of fish farming on natural Baltic fish communities. En: *Marine Aquaculture and Environment*, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, pp. 85-104.
- Holby, O. & Hall, P.O.J. (1991). Chemical fluxes and mass balance in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Marine Ecology Progress Series*, 70, 263-272
- Holby, O. & Hall, P.O.J. (1994). Chemical fluxes and mass balance in a marine fish cage farm. III. Silicon. *Aquaculture*, 120, 305-318.
- Holmer, M. & Kristensen, E. (1992). Impact of marine fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 80, 191-201.
- Hugenin, J.E. (1995). Cage culture system. En: *Hi-Tech Aquaculture. An Introduction to State-of-the-Art Systems* (D. MacKinley, ed.), Bio-Engineering Section of the American Fisheries Society.
- Hurtubia, J. (1988). Gestión de recursos naturales, medio ambiente y desarrollo en América Latina y El Caribe. *Medio Ambiente*, 9, 5-14.
- Husevåg, B., Lunestad, B.T., Johannessen, P.J., Enger, O. & Samuelsen, O.B. (1991). Simultaneous occurrence of *Vibrio salmonicida* and antibiotic-resistant bacteria in sediments at abandoned aquaculture sites. *Journal of Fish Diseases*, 14, 631-640.
- Jaramillo, E., Beltrán, C. & Bravo, A. (1992). Mussel biodeposition in an estuary in southern Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 82, 85-94.
- Jimenez del Río, M., Ramazanov, Z. & García-Reina, G. (1994). Optimization of yield and biofiltering efficiencies of *Ulva rigida* C. Ag. cultivated with *Sparus aurata* L. waste waters. *Scientia Marina*, 58, 329-35.
- Jimenez del Río, M., Ramazanov, Z. & García-Reina, G. (1996). *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents. *Hydrobiologia*, 326/327, 61-66.
- Johannessen, P.J., Botnen, H.B. & Tvedten, Ø.F. (1994). Macrobenthos: before, during and after a fish farm. *Aquaculture and Fisheries Management*, 25, 55-66.



- Johnesen, R.I., Grahl-Nielsen, O. & Lunestad, B.T. (1993). Environmental distribution of organic waste from a marine fish farm. *Aquaculture*, 118, 229-244.
- Jones, T.O. & Iwama, G.K. (1991). Polyculture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thurnberg), with chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture*, 92, 313-322.
- Justic, D., Rabalais, N.N., Turner, R.E. y Dortch, Q. (1995). Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40, 339-356.
- Kadowaki, S., Kasedo, T., Nakazono, T. & Hitara, H. (1978). Continuous records of DO content by cruising in the coastal culture farms. II. Diffusion of suspended particles. *Faculty of Fisheries Kagoshima University*, 27, 281-288.
- Kaspar, H.F., Gilliespie, P.A., Boyer, I.C. & MacKenzie, A.L. (1985). Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand. *Marine Biology*, 85, 127-136.
- Kaspar, H.F., Hall, G. & Holland, A.J. (1988). Effects of sea cage salmon farming on sediment nitrification and dissimilatory nitrate reductions. *Aquaculture*, 70, 333-344.
- Kautsky, N. & Evans, S. (1987). Role of biodeposition by *Mytilus edulis* in the circulation of matter and nutrients in a Baltic coastal ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 38, 201-212.
- Kautsky, N., Berg, H., Folke, C., Larsson, J. & Troell, M. (1997). Ecological footprint for assessment of resource use and development limitations in shrimp and tilapia aquaculture. *Aquaculture Research*, 28, 753-766.
- Kautsky, N., Folke, C., Rönnbäck, P., Troell, M., Beveridge, M. & Primavera, J. (2001). *Aquaculture. Encyclopedia of Biodiversity*, Volume 1. Academic Press, pp. 185-198.
- Kelly, L.A. (1992). Dissolved reactive phosphorus release from sediments beneath a freshwater cage aquaculture development in West Scotland. *Hydrobiologia*, 235/236, 569-572.
- Kerry, J., Hiney, M., Coyne, R., Cazabon, D., NicGabhainn, S. & Smith, P. (1994). Frequency and distribution of resistance to oxytetracycline in micro-organisms isolated from marine fish farm sediment s following therapeutic use of oxytetracycline. *Aquaculture*, 123, 43-54.
- Kilambi, R.V., Hoffmann, E.E., Brown, A.V., Adams, T.C. & Wickizer, W.A. (1976). Effects of Cage Culture Fish Production Upon Biotic and Abiotic Environment of Crystal Lake, Arkansas. Arkansas University, Fayetteville, AR.
- Klaver, A.L. & Mathews, R.A. (1994). Effects of oxytetracycline on nitrification in a model aquatic system. *Aquaculture*, 123, 237-247.
- Koivisto, V. & Blomqvist, E.M. (1988) Does fish farming affect natural Baltic fish communities? *Kieler Meeresforschungen Sonderheft*, 6, 301-11.
- Korzeniewski, K. & Korseniewski, J. (1982). Changes in the compositions and physiological properties of the bacterial flora of water and bottom sediments in Lake Letowo, caused by intensive trout culture. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 29, 671-82.
- Krom, M.D., Ellner, S., van Rijner, J. & Neori, A. (1995). Nitrogen and phosphorus cycling and transformation in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system Eilat, Israel. *Marine Ecology Progress Series*, 118, 25-36.
- Kupka-Hansen, P., Pittman, K. & Ervik, A. (1991). Organic waste from marine fish farm-effects on the seabed. En: *Marine Aquaculture and Environment*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, pp. 105-119.
- Kuschel F.A. & A.H. Buschmann, 1991. Abundance, effects and management of epiphytism in intertidal cultures of *Gracilaria* (Rhodophyta) in southern Chile. *Aquaculture*, 92, 7-20.
- Kuwa, M. (1983). Corrosion and protection of fish culturing floating cage made of wire netting. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 49, 165-75.
- Kuwa, M. (1984). Fouling organisms on floating cage of wire netting and the removal by *Oplegnathus* sp. cultured with other marine fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 50, 1635-40.
- Lara, G.P. & Moreno, C.A. (1995). Efectos de la depredación de *Aegla abtao* (Crustacea, Aeglidae) sobre la distribución espacial y abundancia de *Diplodon chilensis* (Bivalvia, Hyriidae) en el lago Panguipulli, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 68, 123-129.

- Larraín, E., Alvial, A., Troncoso, H. & Montes, E. (1993). Resultados y alcances de los primeros estudios de evaluación de impactos ecológicos en centros de cultivo en Chile. Seminario Acuicultura y Medio Ambiente, Fundación Chile, Santiago, 41pp.
- Laurén-Määttä, C., Granlid, M., Henriksson, S.-H. & Koivisto, V. (1991). Effects of fish farming on the macrobenthos of different bottom types. En: Marine Aquaculture and Environment, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, pp. 57-83.
- Letelier, E. & González, E. (1999). Impact of the drawback mechanisms in the Chilean salmon industry. Marine Resource Economics, 13, 293-309.
- Lincoln-Smith, M.P. (1991). Environmental impact assessment: the role of predicting and monitoring the extent of impacts. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 42, 603-614.
- Lindbergh, J.M. (1999). Salmon farming in Chile: do the benefits exceed the costs? Aquaculture Magazine, 25, 33-45.
- Loch, D.D., West, J.L. & Perlmutter, D.G. (1996). The effect of trout farm effluent on the taxa richness of benthic macroinvertebrates. Aquaculture, 147, 37-55.
- Lovegrove, T. (1979). Control of fouling in farm cages. Fish Farming International, 6, 33-37.
- López, D.A. & Buschmann, A.H. (1991). Acuicultura: Beneficios y riesgos de una actividad que se expande. Ambiente y Desarrollo, 7, 109-115.
- 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.
- López, D.A., González, M.L. & Buschmann, A.H. (1989). Efectos ambientales de cultivos de moluscos bivalvos: revisión general del problema y requerimientos de investigación en Chile. 5o Taller de Acuicultura. Universidad del Norte, Coquimbo, 51-64 pp.
- Loyocano, H.A. & Smith, D.C. (1976). Attraction of native fishes to catfish culture capes in reservoirs. En: Proceeding of the 29th Annual Conference of the Southeastern Association of the Game and Fish Commission, Columbia, SC, pp. 63-73.
- Lumb, C.M. (1989). Self-pollution by Scottish salmon farms? Marine Pollution Bulletin, 20, 375-379.
- Lunestad, B.T. (1992). Fate and effects of antibacterial agents in aquatic environments. En: Problems of Chemotherapy in Aquaculture: From Theory to Reality (C.M. Michel & D.J. Alderman, ed.), Office International de Epizooties, Paris, pp. 152-61.
- Malman, S. (1995). Nuevas orientaciones ambientales y desempeño de la empresa chilena. Ambiente y Desarrollo, 11, 42-48.
- Marin, S.L., Sepúlveda, F. Carvajal, J. & George-Nascimento, M. (2001). The feasibility of using *Udonella* sp. (Platyhelminthes: Udonellidae) as a biological control for the sea louse *Caligus rogercresseyi*, Boxshall and Bravo 2000, (Copepoda: Caligidae) in southern Chile. Aquaculture, (in press).
- Mattsson, J. & Linden, O. (1983). Benthic macrofauna succession under mussels, *Mytilus edulis* L. (Bivalvia) cultured on hanging long-lines. Sarsia, 68: 97-102.
- McGhie, T.K., Crawford, C.M., Michell, I.M. & O'Brien, D. (2000). The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. Aquaculture, 187, 351-366.
- Medina, A., Pardo, N., Vargas, C.O., Uribe, J.C. & Buschmann, A.H. (1993). Un estudio comparativo del cultivo de *Oncorhynchus kisutch* W. en estanques costeros y balsas jaulas en el sur de Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 28, 247-259.
- Merican, Z.O. & Phillips, M.J. (1985). Solid waste production from rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, cage culture. Aquaculture and Fisheries Management, 16, 55-70.
- Mills, D. (1979). Bird predation - current views. Proceeding of the Institute of Fisheries Management 10th Annual Study Course, Nottingham University, Janssen Services, London, pp. 18-20.
- Monaghan, P. (1992). Seabirds and sandeels: the conflict between exploitation and conservation in the northern North Sea. Biodiversity and Conservation, 1, 98-111.
- Morrisey, D.J., Gibbs, M.M., Pickmere, S.E. & Cole, R.G. (2000). Predictin impacts and recovery of marine farm sites in Stewart Island, New Zealand, from the Findlay-Watling model. Aquaculture, 185, 257-271.

- Mühlhauser, H.A., Peñaloza, R., Castro, H., Díaz, P. & Muñoz, J. (1993). Producción bacteriana relacionada con cultivo de salmon en jaula en ambiente marino y lacustre de la Isla de Chiloé, X Región, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 28, 287-300.
- Murison, D.J., Moore, D.C., McHenry, J.G., Robertson, N.A. & Davies, I.M. (1997). Epiphytic invertebrate assemblages and dichorvos usage at salmon farms. *Aquaculture*, 159, 53-66.
- Nakao, S., Shazili, N.A.M. & Salleh, H.U. (1989). Benthic communities in the areas under and around the fish-culture rafts at the Kuala trenganu River estuary, Malaysia. *Bulletin of the Faculty of Fisheries of Hokkaido University*, 40, 154-158.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Mooney, H., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Kautsky, N., Lubchenco, J., Primavera, J.H. & Williams, J. (1998). Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science*, 282, 883-884.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., & Troell, M. (2001). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405, 1017-1024.
- NCC (1989). Fish farming and the safeguard of the marine environment of Scotland. Report prepared by the Nature Conservancy Council by the Institute of Aquaculture, University of Stirling. NCC, Edinburgh.
- NCC (1990). Fish farming in the Scottish freshwater environment. Report prepared by the Nature Conservancy Council by the Institute of Aquaculture, University of Stirling, Institute of Freshwater Ecology, penicuik and the Institute of terrestrial Ecology, Banchory. NCC, Edinburgh.
- Neori, A., Cohen, I. & Gordin, H. (1991). *Ulva lactuca* biofilters for marine fish-pond effluents. II. Growth rate, yield and C:N ratio. *Botanica Marina*, 34, 483-489.
- Neori, A., Shpigel, M., ben-Ezra, D. (2000). A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. *Aquaculture*, 186, 279-291.
- O'Connor, B., Costelloe, J., Dineen, P. & Faull, J. (1994). The effect of harrowing and fallowing on sediment quality under a salmon farm on the west coast of Ireland. En: *Measures for Success* (P. Kestemont, J.F. Muir, F. Sevilla & P. Williot, ed.), CEMAGREF, Paris, pp. 129-132.
- Oporto, J. & J. Leal. 1990. Estudio sobre la interacción entre cultivo de salmones (balsas jaulas) y los pinípedos en el sur de Chile. Resúmenes 4a reunión de Trabajo de Especialistas en mamíferos Acuáticos de América del Sur. Valdivia-Chile, pp. 53.
- Oporto, J., C. Mercado & L. Brieva. 1991. Conflicting interactions between coastal fisheries and pinnipeds in southern Chile. Working Paper DOC/BEP/SW91/r8 for report on the Benguela Ecology Programme Workshop on Seal-Fishery Biological Interactions. University of Cape Town, South Africa. 14 pp.
- Oporto, J.A., L. Brieva, R. Navarro & A. Turner. 1999. Cuantificación poblacional de Lobos Marinos en la X y XI Regiones. Informe Final Proyecto FIP N° 97-44, 237 pp.
- Panchang, V., Cheng, G & Newell, G. (1997). Modelling hydrodynamics and aquaculture waste transport in coastal Maine. *Estuaries*, 20, 14-41.
- Pauly, D. & Christensen, V. (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374, 255-257.
- Pemberton, D. & Shaughnessy, P.D. (1993). Interaction of seals and marine fish-farms in Tasmania, and management of the problem. *Aquatic Conservation*, 3, 255-257.
- Penczak, T, Galicka, W., Molinski, M., Kusto, E. & Zalewski, M. (1982). The enrichment of a mesotrophic lake by carbon, phosphorus and nitrogen from the cage aquaculture of rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Journal of Applied Ecology*, 19, 371-393.
- Persson, G. (1992). Eutrophication resulting from salmonid fish culture in fresh and salt waters: Scandinavian experiences. En: *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste* (C.B. Cowey & C.Y. Cho, eds.), University of Guelph Press, Guelph, Ontario, pp.
- Petterson, K. (1988). The mobility of phosphorus in fish-food and fecals. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretisch und Angewandte Limnologie*, 23, 200-226.
- Phillips, M.J., Beveridge, M.C.M. & Muir, J.F. (1985). Waste output and environmental effects of rainbow trout cage culture. *Proceedings of the ICES C.M.* 1985/F:21.
- Phillips, M.J., Clarke, R. & Mowat, A. (1993). Phosphorus leaching from atlantic salmon diets. *Aquacultural Engineering*, 12, 47-54.

- Petrell, R.J. & Allie, S.Y. (1996). Integrated cultivation of salmonids and seaweeds in open systems. *Hydrobiologia*, 326/327, 67-73.
- Petrell, R.J., Mazhari Tabrizi, K., Harrison, P.J. & Druehl, L.D. (1993). Mathematical model of *Laminaria* production near a British Columbian salmon sea cage farm. *Journal of applied Phycology*, 5, 1-14.
- Poblete, T. & Alvial, A. (1993). Introducción de especies para fines de acuicultura en Chile. El caso del abalón rojo de California. Seminario Acuicultura y Medio Ambiente, Fundación Chile, Santiago, 11 pp.
- Proops, J.L.R., Feber, M., Manstetten, R., & Jöst, F. (1996). Achieving a sustainable world. *Ecological Economics*, 17, 133-135.
- Purcell, L., Dinee, T., Kerry, J., Shirley, V. & Smith, P. (1996). The biological significance of breakpoint concentrations of oxytetracycline in media for the examination of marine sediment flora. *Aquaculture*, 145, 21-30.
- Ravindran, K. (1983). Copper-nickel alloys for marine aquacultural engineering. *Fisheries Technology Society Cochín*, 20, 90-96.
- Richards, R.H., Inglis, V., Frerichs, G.N. & Millar, S.D. (1992). Variation in antibiotic resistance patterns of *Aeromonas salmonicida* isolated from Atlantic salmon *Salmo salar* L. in Scotland. En: *Problems of Chemotherapy in Aquaculture: From Theory to Reality* (C.M. Michel & D.J. Alderman, ed.). Office International de Epizooties, Paris, pp. 276-87.
- Riquelme, C.E. & P.C. Chávez, 1994. Colonization of *Vibrios* on developmental stages of *Concholepas concholepas* (Bruguère, 1789), (Mollusca: Muricidae). In: *Ecology of Marine Aquaculture* (K. Koop, ed.) International Foundation for Science, Stockholm, pp: 84-95.
- Ritz, D., Lewis, M.E. & Shen, M. (1989). Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid sea cages. *Marine Biology*, 103, 211-214.
- Roeckel, M., Aspé, E. y Martí, M.C. (1995). Tecnologías limpias en la industria pesquera. *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA (Numero Especial)*: 69-78.
- Rodhouse, P.G. & Roden, C.M. (1987). Carbon budget for a coastal inlet in relation to intensive cultivation of suspension-feeding bivalve molluscs. *Marine Ecology Progress Series*, 36, 225-236.
- Rodhouse, P.G., Roden, C.M., Hensey, M.P. & Ryan, T.H. (1985). Production of mussels *Mytilus edulis* in suspended culture and estimates of carbon and nitrogen flow: Killary Harbour, Ireland. *Journal of Marine Biology Association U.K.*, 65, 55-69.
- Romero, J.J. & J.A. Manríquez, 1993. Esfuerzos desarrollados en Chile para disminuir el impacto ecológico de la alimentación en centros de cultivos de peces. Seminario Acuicultura y Medio Ambiente, Fundación Chile, Santiago, 9 pp.
- Romero, J.J., Castro, E., Díaz, A.M., Reveco, M. & Zaldívar, J. (1994). Evaluation of methods to certify the "premium" quality of Chilean fish meals. *Aquaculture*, 124, 351-8.
- Rönnerberg, O., Adjers, K., Ruokolathi, C. & Bondestam, M. (1992). Effects of fish farming on growth, epiphytes and nutrient content of *Fucus vesiculosus* L. in the Aland archipelago, northern Baltic sea. *Aquatic Botany*, 42, 109-120.
- Rose, M.D., Farrington, W.H. & Shearer, G. (1998). The effect of cooking on veterinary drug residues in food-7-Invermectin. *Food. Addit. Contam.*, 15, 157-161.
- Rosenberg, R. & Loo, L.-O. (1983). Energy-flow in a *Mytilus edulis* culture in western Sweden. *Aquaculture*, 35, 151-161.
- Ross, A. (1988). *Controlling Nature's Predators on Fish Farms*. Marine Conservation Society, Ross-on-Wye.
- Roth, M., Richards, R.H. & Sommerville, C. (1993). Current practices in the chemotherapeutic control of sea lice infestations in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, 16, 1-16.
- Ruegggenberg, H. & Booth, J. (1989). Interactions between Wildlife and Salmon Farms in British Columbia: Results of a Survey. Technical Report series, 67, Canadian Wildlife Service, Pacific and Yukon Region, British Columbia.
- Ruokolahti, C. (1988). Effects of cage fish farming on growth and chlorophyll a content of *Cladophora*. *Marine Pollution Bulletin*, 19, 166-169.
- Ryther, J.H., Goldman, J.C., Gifford, J.E., Huguenin, J.E., Wing, A.S., Clarner, J.P., Williams, L.D. & Lapointe, B.E. (1975). Physical models of integrated waste recycling-marine polyculture systems. *Aquaculture*, 5, 163-177.

- Samuelson, O.B. (1992). The fate of antibiotics/chemotherapeutics in marine aquaculture sediments. En: *Problems of Chemotherapy in Aquaculture: From Theory to Reality* (C.M. Michel & D.J. Alderman, ed.). Office International de Epizooties, Paris, pp. 162-173.
- Sandulli, R. & Giudici, M.N. (1989). Effects of organic enrichment on meiofauna: a laboratory study. *Marine Pollution Bulletin*, 20, 223-227.
- Santelices, B. & Doty, M. (1989). A review of Gracilaria farming. *Aquaculture*, 78, 95-133.
- Santandreun, I.A. (1995). Prevención de la contaminación: nuevo paradigma para Chile. *Ambiente y Desarrollo*, 11, 36-41.
- Santiago, A. (1995). The ecological impact of tilapia cage aquaculture in Sampaloc lake, Phillipines. *Proceeding of the Third Asian Fisheries Symposium*, pp. 414-417.
- Sayer, M.D.J., Treasurer, J.W. & Costello, M.J. (eds) (1995) *Wrasse: Biology and Use in Aquaculture*. Blackwell, Oxford.
- Schnick, R.A. (1991). Chemical for worldwide aquaculture. En: *Fish Health Management in Asia-Pacific. Report on a Regional Study and Workshop on Fish Disease and Fish Health Management*, NACA, Bangkok, pp. 441-467.
- Seymour, E.A. & Berheim, A. (1991). Towards a reduction of pollution from intensive aquaculture with reference to the farming of salmonids in Norway. *Aquacultural Engineering*, 10, 73-88.
- Shariff, M., Subasinghe, R.P. & Artur, J.R. (eds) (1992). *Diseases in Asian Aquaculture*. Asian Fisheries Society, Manila.
- Shpigel, M. & Blaylock, R.A. (1991). The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, as a biological filter for a marine fish aquaculture pond. *Aquaculture*, 92, 187-197.
- Shpigel, M., Neori, A., Popper, D.M. & Gordin, H. (1993). A proposed model for "environmentally clean" land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. *Aquaculture*, 117, 115-128.
- Sindermann, C.J. (1993). Diseases risks associated with importation of non-indigenous marine animals. *Marine Fisheries Review*, 54, 1-10.
- Smith, P.A., Contreras, J.R., Garcés, L.H., Larenas, J.J. & Oyandel, S. (1996). Experimental challenge of coho salmon, rainbow trout with *Piscirickettsia salmonis*. *Journal of Aquatic Animal Health*, 8, 130-134.
- Soto, D. & Campos, H. (1995). Los Lagos oligotrofos del bosque templado húmedo del sur de Chile. En: *Ecología de los Bosques Nativos de Chile* (Armesto, J. Villagrán, C., Arroyo, M.K., eds.). Editorial Universitaria, Santiago, pp. 317 - 334.
- Soto, D. & Stockner, J. (1996). Oligotrophic lakes in southern Chile and in British Columbia: basis for their resilience to present and future disturbances. En: *High Latitude Rain Forest of the west Coast of the Americas. Climate, Hydrology, Ecology and Conservation* (R. Lawford, P. Alaback y E. Fuentes, eds.). *Ecological Studies* 116, Springer-Verlag, New York, pp. 266-280.
- Soto, D. & Mena, G. (1999). Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture*, 171, 56-81.
- Sowles, J.W., Churchill, L. & Silver, W. (1994). The effect of benthic carbon loading on the degradation of bottom conditions under farm sites. En: *Modelling Benthic Impacts of Organic Enrichment from Marine Aquaculture*. (B.T. Hargrave, ed.). *Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Science*, pp. 31-46.
- Spash, C.L. (1997). Reconciling different approaches to environmental management. *International Journal of Environment and Pollution*, 7, 497-511.
- Stirling, H.P. & Dey, T. (1990). Impact of intensive cage farming on the phytoplankton and periphyton of a Scottish freshwater loch. *Hydrobiologia*, 190, 193-214.
- Stirling, H.P. & Okumus, I. (1995). Growth and production of mussels (*Mytilus edulis* L.) suspended at salmon cages and shellfish farms in two Scottish sea lochs. *Aquaculture*, 134, 193-210.
- Suarez, B. & Guzmán, L. (1998). *Mareas Rojas y Toxinas Marinas*. Editorial Universitaria, Santiago, 77 pp.
- Taylor, B.E., Jamieson, G. & Carefoot, T.H. (1992). Mussel culture in British Columbia: the influence of salmon farms on growth of *Mytilus edulis*. *Aquaculture*, 108, 51-66.

- Toledo, C.M. (2000). Análisis de las exportaciones chilenas de salmónidos. Informe de Práctica Profesional, Universidad de Los Lagos, Osorno, VII + 44 pp.
- Troell, M. & Norberg, J. (1998). Modelling output and retention of suspended solids in an integrated salmon-mussel culture. *Ecological Modelling*, 110, 65-77.
- Troell, M., Kautsky, N. & Folke, C. (1999a). Applicability of integrated coastal aquaculture systems. *Ocean and Coastal Management* 42, 63-69.
- Troell, M., Rönnback, P., Halling, C., Kautsky, N. & Buschmann, A. (1999b) Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intense 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.
- Tsutsumi, H. (1995). Impact of fish net pen culture on the benthic environment of a cove in South Japan. *Estuaries*, 18, 108-115.
- Tsutsumi, H. & Kikuchi, T. (1983). Benthic ecology of a small cove with essential oxygen depletion caused by organic pollution. *Memoirs of the Marine Biology laboratory, Kyushu University*, 7, 17-40.
- Tsutsumi, H., Kikuchi, T., Tanka, M., Higashi, T., Imasaka, K. & Miyasaki, M. (1991). Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming. *Marine Pollution Bulletin*, 23, 233-8.
- Underwood, A.J. (1991). Beyond BACI: Experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 42, 569-587.
- Underwood, A.J. (1992). Beyond BACI: The detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161, 145-178.
- Underwood, A.J. (1994). On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications*, 4: 3-15.
- Underwood, A.J. & Peterson, C.H. (1988). Towards an ecological framework for investigating pollution. *Marine Ecology Progress Series*, 46, 227-234.
- Uotila, J. (1991). Metal contents and spread of fish farming sludge in southwestern Finland. En: *Marine Aquaculture and Environment* (T. Makinen, ed.), Nordic Council of Ministers, Copenhagen, pp. 121-126.
- Vandermeulen, H. & Gordin, H. (1990). Ammonium uptake using *Ulva* (Chlorophyta) in intensive fishpond systems: mass culture and treatment of effluent. *Journal of applied Phycology*, 2, 363-374.
- Vergara, P.A. (2001). Efectos ambientales de la salmicultura: el caso de bahía Metri, Chile. Tesis Magister, Universidad de Los Lagos, Osorno, 188 pp.
- Vial, M.V., C. Teuber, P. Costabal, T. Poblete, T.G. Donoso, & M.T. Gebauer, (1988). Presencia de *Vibrio anguillarum* (Canestrini) en el tracto digestivo de *Mytilus chilensis* (Hupe). *Biota*, 4: 119-124.
- Wallace, J.F. (1980). Growth rates of different populations of the edible mussel, *Mytilus edulis*, in north Norway. *Aquaculture*, 19, 303-311.
- Wallin, M & Håkanson, L. (1991a). Nutrient loading models for estimating the environmental effects of marine fish farm. En: *Marine Aquaculture and Environment*, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, pp. 39-55.
- Wallin, M. & Håkanson, L. (1991b). The importance of inherent properties of coastal areas. *Marine Pollution Bulletin*, 22, 382-388.
- Westermeier, R., Rivera, P.J., Gómez, I. (1988) Cultivo de *Gracilaria* sp en el estuario Cariquilda, Maullín, Chile. *Investigaciones Pesqueras*, 35, 73-81.
- Westermeier, R., Rivera, P.J., Gómez, I. (1991) Cultivo de *Gracilaria chilensis* Bird, McLachlan y Oliveira, en la zona intermareal y submareal del estuario Cariquilda, Maullín, Chile. *Revista Chilena Historia Natural*, 64, 307-321.
- Weston, D.P. (1991). The effects of aquaculture on indigenous biota. En: *Aquaculture*, Vol.3 (D.E. Brune & J. R Tomasso, ed.) World Aquaculture Society, Baton Rouge, pp. 534-567.

Weston, D.P. (1996). Environmental considerations in the use of antibacterial drugs in aquaculture. En: *Aquaculture and Water Resources Management* (D.J. Baird, M.C. Beveridge, L.A. Kelly & J.F. Muir, ed.). Blackwell, Oxford (in press).

Willinsky, M.D., Robson, D.R., Vangool, W.J., Fournier, R.A. & Allen, J.H. (1991). Design of a spherical, submersible, self-cleaning aquaculture system for exposed sites. En: *Proceedings of the National Science Foundation Workshop on Offshore Engineering and Mariculture* (G.N. Hirata, ed.), Honolulu, Hawaii, pp. 317-336.

Wu, R.S.S., Lam, K.S., MacKay, D.W., Lau, T.C. & Yam, V. (1993). Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: a case study in the sub-tropical environment. *Marine Environmental Research*, 38, 115-45.

Ye, L.-X., Ritz, D.A., Fenton, G.E. & Lewis, M.E. (1991). Tracing the influence of organic waste from a salmonid farm using stable isotope analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 145, 161-74.

Yndestad, M. (1992). Public health aspects of residues in animal products: fundamental considerations. En: *Problems of Chemotherapy in Aquaculture: From Theory to Reality* (C.M. Michel & D.J. Alderman, ed.), Office International de Epizooties, Paris, pp. 494-511.

Zaldívar, T., Vial, M.J. y Rengifo, F. (1997). Chile, país salmonero: Un sueño hecho realidad. *Chile Pesquero*, 101, 64-70.

Zaror, C. (1995). Tecnologías limpias: Un enfoque global a la reducción del impacto ambiental de los procesos industriales. *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA (Número Especial)*, 49-57.

## Referencias bibliográficas

### I. INTRODUCCIÓN

- 1 Bustamante y Grez, 1995
- 2 Clark, 1991
- 3 Caughley y Gunn, 1996
- 4 Castillo y Ferrato, 1989
- 5 Malman, 1995
- 6 Toledo, 2000
- 7 Buschmann et al, 1996; 2001

8 p. ej. Folke y Kautsky, 1989; Beveridge 1996

### II. DEFINICIONES Y DIMENSIÓN DEL PROBLEMA

- 9 p. ej. Buschmann et al., 1996; Couve y Oporto, 2000
- 10 Beveridge et al., 1996
- 11 Folke y Kautsky, 1989; Beveridge et al., 1994; 1995
- 12 Folke y Kautsky, 1989
- 13 Beveridge, 1996
- 14 Beveridge, 1996
- 15 p. ej. Santiago, 1995
- 16 Beveridge, 1996
- 17 Naylor et al., 1998; 2000
- 18 p. ej. Forster y Hardy, 2001
- 19 Folke et al., 1998
- 20 Folke et al., 1998
- 21 Beveridge 1996
- 22 Beveridge, 1996
- 23 Beveridge, 1996
- 24 Rosenberg y Loo, 1983; Rodhouse y Roden, 1987; Dahlbäck y Gunnarson, 1981; Kautsky y Evans, 1987
- 25 Folke y Kautsky, 1989
- 26 Kautsky y Evans, 1987
- 27 Beveridge, 1996
- 28 Schnick, 1991; Weston, 1991
- 29 Beveridge, 1996

30 Grave et al., 1990; Bangan et al., 1994, Beveridge et al., 1995

### III. APROXIMACIONES METODOLÓGICAS PARA EL ESTUDIO DE EFECTOS AMBIENTALES

- 31 ver Monaghan, 1992; Pauly & Christensen, 1995; Naylor et al., 2000
- 32 Ley 19.300: Anónimo, 1994
- 33 Buschmann et al., 1996
- 34 Underwood 1991, 1992, 1994
- 35 Morrisey et al., 2000
- 36 Dayton et al., 1998
- 37 Underwood y Peterson, 1988
- 38 metodológicas (Underwood & Peterson, 1988
- 39 Green, 1979
- 40 Lincoln-Smith, 1991

### IV. EFECTOS AMBIENTALES DE LA ACUICULTURA

- 41 Folke y Kautsky, 1989; Beveridge, 1996
- 42 Phillips et al., 1985; Carss 1990
- 43 Phillips et al., 1993
- 44 Petterson, 1988; Holby y Hall, 1991; Wallin y Håkanon, 1991 a,b; Hall et al., 1992
- 45 Brown et al., 1987; Hall et al., 1990; 1992; Cho y Bureau, 1997
- 46 Kautsky y Folke, 1989; Ervik et al., 1997; McGhie et al., 2000; Hansen et al., 2001
- 47 p. ej. Cornell y Whoriskey, 1993; Johannessen et al., 1994
- 48 Enell & Lof, 1985; Merican & Phillips, 1985
- 49 Eley et al., 1972; Korzeniewski y Korzeniewski, 1982; Tsutsumi y Kikuchi, 1983; Phillips, 1985; Costa-Pierce y Roem, 1990; Gowen, 1990; Hall et al., 1990; Kupka-Hansen et al., 1991; Laurén-Määttä et al., 1991; Ye et al., 1991; Angel et al., 1992; Kelly, 1992; Johnsen et al., 1993; Wu et al., 1994; Berg et al., 1995
- 50 Enell y Lof, 1985; Kaspar et al., 1988; Hall et al., 1990; Holby y Hall, 1991, 1994; Kupka-Hansen et al., 1991; Kelly, 1992, Sowles et al., 1994; Berg et al., 1995
- 51 Holmer y Kristensen, 1992; Hargrave et al., 1993; Morrisey, et al., 2000
- 52 Henderson et al., 1997
- 53 p. ej. Eley et al., 1972; Loyacano y Smith 1976; Enell, 1982; Penczak et al., 1982; Costa-Pierce y Soemarwoto, 1990; Cornell y Whoriskey, 1993; Costa-Pierce, 1996
- 54 Kadowaki et al., 1978; Gowen et al., 1988; Aure & Stigenbrandt, 1990; Gowen 1990; Wallin y Håkanson, 1991a, b; Weston, 1991



55 Eley et al., 1972; Loyacano y Smith 1976; Enell, 1982; Penczak et al., 1982; Phillips et al 1985; Costa-Pierce y Soemarwoto, 1990; Cornell y Whoriskey, 1993; Costa-Pierce, 1996

56 Stirling y Dey, 1990; Cornell y Whoriskey, 1993

57 Kilambi, 1976; Phillips, 1985; Dobrowolski, 1987; NCC, 1990; Cornell y Whoriskey, 1993; Costa-Pierce, 1996

58 Beveridge, 1996

59 Beveridge, 1996

60 Wallin y Håkanson a, b 1993

61 Granelli et al., 1989; Carlsson et al., 1990

62 Wu et al. (1994)

63 Justic et al., 1995; Loch et al., 1996

64 Koivisto y Blomqvist, 1988; Ruokolahiti, 1988; Henriksson, 1991; Rönnberg et al., 1992

65 Carss, 1990

66 Dankers y Zuidema, 1995

67 p. ej. Brown et al., 1987; Nakao et al., 1989; NCC, 1989; Ritz et al., 1989; Gowen et al., 1991; Laurén-Määttä et al., 1991; Tsutsumi et al., 1991; Weston, 1991; Angel et al., 1992; Hargrave et al., 1994; Johannessen et al., 1994; Wu et al., 1994; Beveridge et al., 1995; Findley, 1995; Grant et al., 1995; Tsutsumi, 1995

68 Tsutsumi, 1995; Rodhouse et al., 1985; Hargrave et al., 1993; Morrissey et al., 2000

69 Beveridge, 1996

70 Sandulli y Giudici, 1989

71 Grant et al., 1995

72 Santiago, 1995

73 Lumb, 1989

74 Beveridge, 1996

75 Alderman et al., 1994; Beveridge, 1996

76 Beveridge, 1996

77 Weston, 1996

78 Lunestad, 1992; Samuelsen, 1992; Coyne et al., 1994, Weston, 1996

79 Lunestad, 1992; Samuelsen et al., 1992

80 Yndestad, 1992

81 Hansen et al., 1992; Klaver y Mathews, 1994

82 Weston, 1996

83 Hastings y McKay, 1987; Aoki, 1992; Richards et al., 1992; Kerry et al., 1994

84 Purcell et al., 1996

85 Murison et al., 1997

86 Roth et al., 1993; Sayer et al., 1995

87 Davies et al., 1988

88 Bruno y Ellis, 1988

89 Lovegrove, 1979

90 Ravindran, 1983

91 Uotila, 1991

92 p. ej. Willinsky et al., 1994; Hugenin, 1995

93 p. ej. Kuwa, 1983, 1984

94 Austin, 1993

95 Clugston, 1990

96 Caughley y Gunn, 1996

97 Shariff et al., 1992; Sinderman, 1993

98 Penczak et al. (1982)

99 p.ej. Chen et al., 1998

100 Cotter et al., 2000

101 Beveridge, 1996

102 Mills, 1979; Ross, 1988

103 Rueggeberg y Booth, 1989

104 Carss, 1993a, b; Pemberton y Shaunnessey, 1993

105 Carss, 1994

106 Beveridge, 1996

IV. INVESTIGACIÓN EN CHILE

107 Anónimo, 1999

108 López et al., 1988; Buschmann et al., 1997

109 Anónimo, 1999

110 Anónimo, 1999

111 Anónimo, 1999

112 Boeuf et al., 1992

113 Soto y Stockner, 1996

114 Soto y Campos, 1995

115 Soto y Campos, 1995

116 Soto y Stockner, 1996  
 117 Mühlhauser et.al. (1993)  
 118 Campos, 1977; 1985  
 119 Soto y Zuñiga, 1991  
 120 Lara y Moreno, 1995  
 121 Campos 1984; Campos et al., 1988; 1990; 1992  
 122 Soto y Campos, 1995  
 123 Buschmann et al., 1996  
 124 Westermeier et al., 1998 y 1991  
 125 Buschmann et al., 1995  
 126 Buschmann et al., 1996  
 127 Jaramillo et al. (1992)  
 128 López et al., 1998  
 129 López et al., 1989; González et al., 1991  
 130 p. ej. Poblete y Alvial, 1993  
 131 Vásquez, J., com. pers  
 132 Vial et al., 1988  
 133 Riquelme y Chávez, 1994  
 134 López et al., 1998  
 135 Larrain et al., 1993  
 136 Larraín et al. (1993)  
 137 Mühlhauser et al., 1993  
 138 Underwood (1992; 1994).  
 139 Vergara, 2001  
 140 Vergara (2001),  
 141 Lindbergh, 1999  
 142 Buschmann et al., 1996; Barton, 1997  
 143 Clement y Lembeye, 1993  
 144 Clement, 1993  
 145 Vergara , 2001  
 146 Campalans, 1990  
 147 Fryer et al., 1990; Cvitanich et al., 1991  
 148 Bravo y Gutiérrez, 1991  
 149 Branson y Nieto, 1991  
 150 Bravo 1994.  
 151 Smith et al., 1996  
 152 Carvajal et al., 1998, González et al., 2000 y Carvajal et al., 2001  
 153 Marín et al., 2001  
 154 p. ej. Rose et al., 1998; Burka et al., 1997 y Collier & Pinn, 1998  
 155 Carvajal et al., 2001; Marín et al., 2001  
 156 Carvajal, J., com. per  
 157 Caro 1995  
 158 Oporto et al. 1991  
 159 Oporto y Leal 1990  
 160 Brunetti et al., 1998  
 161 Terra Australis, 1999  
 162 Terra Australis, 1999  
 163 Buschmann et al., 1996  
 164 López y Buschmann, 1991  
 165 Buschmann et al., 1996  
 166 Buschmann et al., 1993; 1996  
 167 ver López et al., 1988; Buschmann et al., 1996  
 168 Ervik et al., 1997  
 169 Panchang et al., 1997  
 170 Hurtubia, 1988; López y Buschmann, 1991; Spash, 1997  
 VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS EFECTOS AMBIENTALES  
 171 Persson, 1992  
 172 Enell & Ackerfors, 1991  
 173 Folke et al, 1994  
 174 Buschmann et al 1996  
 175 Troell, comunicación personal  
 176 Anónimo, 1999  
 177 Folke et al 1994  
 178 Folke et at., 1994  
 179 Folke y Kautsky, 1988  
 VII. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE  
 180 Zaldívar et al., 1997

181 Zaldívar et al., 1997  
182 Zaldívar et al., 1997  
183 López et al., 1988; López y Buschmann, 1991  
184 Santandreun, 1995  
185 Zaror, 1995; Roekel et al., 1995; Proops et al., 1996  
186 Zaror, 1995; Cocuzza, 1996; Borregaard y Cocuzza, 1996  
187 Buschmann et al., 1996, 1997  
188 p. ej. Braaten et al., 1993  
189 Enell et al., 1984  
190 Chareonpanich et al., 1994  
191 Heard, 1987; Fast, 1991a, b; Bodvin et al., 1996  
192 Bustos, E., com. pers  
193 Johannessen et al., 1994  
194 Bron et al., 1993; O'Connor, 1994  
195 Morrissey et al., 2000  
196 Vergara, 2001  
197 O'Connor et al., 1994  
198 Bergheim et al., 1993  
199 Kautsky et al., 2001  
200 p. ej. Romero y Manríquez, 1993; Hardy & Castro, 1994; Romero et al., 1994  
201 Medina, A., comunicación personal  
202 Medina, A., comunicación personal  
203 Folke & Kautsky, 1992, y Kautsky et al., 1997  
204 Troell et al., 1999a  
205 Jones & Iwama, 1990; Wallace, 1980; Buschmann et al., en prensa  
206 Taylor et al., 1992; Stirling et al., 1995  
207 Troell & Norberg, 1998  
208 Soto y Mena, 1999  
209 Persson, 1991  
210 Gowen et al., 1990; Holby & Hall, 1991; Hall et al., 1992  
211 Petrell et al., 1993; Petrell y Alie, 1996  
212 Chopin et al., 1999  
213 Troell et al., 1997  
214 Troell et al., 1997  
215 Black & Carswell 1986  
216 Weston 1991  
217 Petrell et al. (1993)  
218 Ver glosario  
219 Chopin et al., 2001  
220 Chopin et al., (2001)  
221 Ryther et al., 1975  
222 Vandermeulen & Gordin, 1990; Cohen & Neori, 1991; Neori et al., 1991; Shpigel et al., 1993;  
Krom et al. 1995; Neori et al., 2000  
223 Jiménez del Río et al., 1994, 1996  
224 Haglund y Pedersen, 1993  
225 Buschmann, 1996; Buschmann et al., 1994, 1996  
226 Troell et al., 1999b  
227 Soto y Campos, 1995; Buschmann et al., 1996  
228 Beveridge et al., 1995