



Salmonicultura en los Lagos del Sur de Chile - Ecorregión Valdiviana

Historia, tendencias e impactos medioambientales

Salmon Farming in the Lakes of Southern Chile - Valdivian Ecoregion

History, tendencies and environmental impacts

Jorge León-Muñoz^{1,2}, David Tecklin¹, Aldo Farías¹, Susan Díaz¹



Patrocinado por / Support by:
Sociedad Chilena de Limnología / Chilean Society of Limnology

¹WWF Chile - ²Núcleo Científico Milenio Forecos, Universidad Austral de Chile

Copyright Publicado en Junio de 2007 por WWF Chile, Valdivia. Cualquier reproducción total o parcial de la presente publicación deberá mencionar el nombre del editor citado y el propietario de los derechos de autor.
©2007 WWF Chile

Foto portada: Lago Llanquihue, Región de Los Lagos. Rodrigo Sandoval
Diseñado y diagramado por Joaquín Sobell · www.joaquinsobell.cl



Salmonicultura en los Lagos del Sur de Chile - Ecorregión Valdiviana

Historia, tendencias e impactos medioambientales

Salmon Farming in the Lakes
of Southern Chile - Valdivian Ecoregion

History, tendencies and environmental impacts

Jorge León-Muñoz¹⁻², David Tecklin¹, Aldo Farías¹, Susan Díaz¹



Sociedad Chilena de Limnología / Chilean Society of Limnology

Patrocinado por / Support by:

¹WWF Chile - ²Núcleo Científico Milenio Forecos, Universidad Austral de Chile

Indice ~ Index

3	Agradecimientos Acknowledgments
4	Prólogo Prologue
5	Resumen ejecutivo Executive summary
9	1. Propósitos y estructura del estudio 1. Purpose and structure of the report
11	2. Introducción 2. Introduction
11	2.1. Pasado y presente de las cuencas lacustres del sur de Chile - Ecorregión Valdiviana 2.1. Lake systems in the Valdivian Ecoregion-Southern Chile: past and present
12	2.2. Irrupción de la salmonicultura en la Ecorregión Valdiviana 2.2. The explosive growth of salmon farming in the Valdivian Ecoregion
12	2.3. Materiales y métodos 2.3. Materials and methods
15	3. Resultados 3. Results
15	3.1. Marco regulatorio y distribución espacial de las concesiones lacustres 3.1. Regulatory framework and spatial distribution of concessions
16	3.2. Características climáticas, morfológicas, limnológicas y vegetacionales de las cuencas lacustres 3.2 Climatic, morphological, limnological and vegetation characteristics of lake basins
21	3.3 Valores de biodiversidad 3.3 Biodiversity values
22	3.4 Valor social de los lagos 3.4 Social values of lakes
23	3.5 Tendencias productivas en la salmonicultura lacustre 3.5 Trends for salmon production in lakes
25	3.6. Alternativas de cultivo de mínimo impacto: Pisciculturas de recirculación 3.6 Minimum impact farming alternatives: Closed-containment recirculation systems
27	4. Discusión 4. Discussion
27	4.1. Impactos medioambientales en los lagos 4.1. Environmental impacts in lakes
27	4.1.1. Especies invasoras, enfermedades y uso de químicos 4.1.1 Invasive species, diseases and use of chemicals
29	4.1.2. Aporte de nutrientes y capacidad de carga 4.1.2 Nutrient inputs and carrying capacity
33	5. Conclusiones y recomendaciones 5. Conclusions and recommendations
33	5.1. Transición de la smoltificación lacustre a pisciculturas de recirculación 5.1 Transition lake smolt production to closed-containment recirculation systems
34	5.2. Investigación sobre impactos medioambientales y capacidades de carga 5.2 Research on carrying capacity and impacts
35	5.3. Análisis y revisión de las regulaciones que normarán la discontinuación gradual de la salmonicultura lacustre 5.3 Review and revise regulations that govern salmon aquaculture in lakes as it is phased out
35	5.4. La necesidad de un consenso social y de una educación para la conservación de los sistemas lacustres de Chile 5.4 Need for social consensus and education for the conservation of Chile's lake systems
36	6. Bibliografía 6. Bibliography

Agradecimientos ~ Acknowledgements

Por el apoyo fundamental a la investigación que permitió el desarrollo de este informe, queremos agradecer a los Programas de Acuicultura de WWF-US y WWF-MPO (Programa de Macroeconomía para el Desarrollo Sustentable de WWF-Internacional), en relación a este último, a través del proyecto “Liberalización del comercio, pobreza rural y medioambiente”, ejecutado en asociación con la Unión Europea y el Banco Mundial.

Asimismo, reconocemos la colaboración en el aporte de datos relevantes de la Subsecretaría de Pesca, el Servicio Nacional de Pesca, SalmonChile y la empresa Marine Harvest.

De manera especial, agradecemos a todos quienes respondieron a nuestra solicitud para revisar este informe, así como aquellos que ofrecieron comentarios y sugerencias para enriquecer el documento. En particular a la Dra. Doris Soto de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por su sigla en inglés); Dr. José Luis Iriarte, Dr. Carlos Jara y Dr. Stefan Wolf de la Universidad Austral de Chile; Claudio Delgado de la organización Conservación Marina; Oscar Garay, Gerente agua dulce de Marine Harvest; y Maren Esmark, Katherine Bostick, Bronwen Golder y César Guala de WWF. De forma paralela, todo error en la interpretación de la información es responsabilidad de los autores de este informe.

Además, agradecemos la colaboración de Tina Buij y Malena Samaniego en la traducción de este documento al inglés, y a Rodrigo Sandoval e Iván Arismendi por el préstamo generoso de fotografías.

We would like to thank WWF US's Aquaculture Program and WWF-MPO (WWF-International's Macroeconomics for Sustainable Development Programme) for essential support in the research that led to the creation of this technical report. In this later case, support was provided through the joint project with the World Bank and EU, "Trade Liberalization, Rural Poverty and the Environment".

The following institutions collaborated by providing key data: the Undersecretariat of Fisheries, the National Fishing Service, SalmonChile and Marine Harvest.

We would especially like to thank all those who responded to our request to review this report, or who offered comments and suggestions to enrich the document. In particular, we thank Dr. Doris Soto of Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); Dr. José Luis Iriarte, Dr. Carlos Jara and Dr. Stefan Woelfl of the Universidad Austral de Chile; Claudio Delgado of the organization Conservación Marina; Oscar Garay of Marine Harvest's Freshwater Division; and Maren Esmark, Katherine Bostick, Bronwen Golder and César Guala of WWF. However, any errors in the text are the sole responsibility of the authors.

In addition, we thank Tina Buijs and Malena Samaniego for their collaboration in the translation of the document to English, and Rodrigo Sandoval and Iván Arismendi for generously lending their photographs.

Dr. Stefan Woelfl
Presidente
Sociedad Chilena de Limnología

La actividad Acuícola, y particularmente la Salmonicultura, ha generado y continúa generando efectos negativos perceptibles sobre los ecosistemas limnéticos del sur de Chile. A título de ejemplo menciono la eutrofización acelerada de los lagos de la Isla de Chiloé y de los sectores aledaños a los centros salmonícolas en los lagos araucanos y patagónicos; el escape masivo de peces desde centros de engorda; y la invasión de los ecosistemas fluviales y lacustres nativos por peces exóticos, como el salmón chinook, cuyas consecuencias a largo plazo estamos lejos de dimensionar. Sin embargo, frente a este escenario, se advierte la ausencia de un enfoque ecosistémico de parte de las autoridades administrativas así como de parte de los inversionistas y agentes productivos. Sin un enfoque holístico-integrador, que guíe el manejo y uso de los cuerpos acuáticos, no es posible mantener un desarrollo sustentable basado en la explotación de recursos primarios, como es el caso de Chile.

La presente publicación entrega un diagnóstico actual, fundamentado sobre el estado del desarrollo de la actividad industrial acuícola de salmonídeos en la zona centro-sur de Chile (35°S – 48°S), y de su impacto sobre el estado de conservación de los cuerpos acuáticos dulceacuícolas que la alojan, enmarcado entre los años 1998 y 2005. Esta zona del cono sur de América, correspondiente a la Patagonia occidental, se destaca por su alta diversidad de peces e invertebrados acuáticos nativos, habitantes ancestrales de los innumerables lagos y ríos que adornan esta región. En el concierto limnológico mundial estos cuerpos acuáticos se distinguen y causan admiración por su condición oligotrófica y su excelente calidad ambiental. Condiciones de tal pristinidad son escasas en el resto del globo y eso hace de nuestras reservas de agua dulce un recurso de altísimo valor ecológico, ambiental y comercial.

Incidentalmente, la alta calidad del ambiente dulceacuícola del sur de Chile fue la condición que propició la introducción masiva de salmonídeos, y el establecimiento y expansión a gran escala de la salmonicultura en este rincón del mundo. Lo paradójico es que la misma actividad que se inició hace 25 años atrás para aprovechar la alta calidad ambiental de los lagos y ríos sur-chilenos constituya hoy una amenaza creciente para su conservación. De allí que un diagnóstico argumental y documentalmente sólido, a cerca del estado de alteración que los centros de cultivo salmonícola provocan o han provocado en los lagos del sur de Chile, constituya un valioso elemento de juicio para guiar programas de restauración de nuestro patrimonio limnológico. Por eso es que, en representación de la Sociedad Chilena de Limnología, celebramos la publicación del presente informe. En él los autores sistematizan la información espacial, productiva y ambiental de la salmonicultura que se desarrolla en los ecosistemas lacustres del sur de Chile. Destaca la calidad de la información, su excelente presentación y el enfoque amplio y objetivo de la situación global que se desprende de

Dr. Stefan Woelfl
President
Chilean Society of Limnology

Aquaculture, and in particular salmon farming, has generated and continues to generate noticeable negative effects on the lake ecosystems of southern Chile. By way of example, we can take the accelerated eutrophication of lakes on the Island of Chiloé and the areas surrounding salmon farms in the Araucano and Patagonian lakes; mass escapes of fish from farms; and the invasion of river and lake ecosystems by exotic fish such as the Chinook salmon, whose long-term effects are difficult to measure. Despite this scenario, an ecosystem perspective is notably lacking on the part of government authorities, investors and producers. Without a holistic, integrative perspective to guide the management and use of aquatic ecosystems, sustainable development based on the exploitation of primary resources (as in the case of Chile) is impossible.

This report provides an up-to-date, well-informed diagnosis of the development of industrial salmon farming from 1998 to 2005 in the south-central zone of Chile (35°S – 48°S), and its impact on the conservation of freshwater aquatic bodies where it is practiced. This part of the southern cone of South America, corresponding to western Patagonia, stands out for the high diversity of native fish and aquatic invertebrates, ancestral inhabitants of the innumerable lakes and rivers that characterize this region. These water bodies are admired by limnologists worldwide for their oligotrophic state and excellent environmental quality. Such pristine conditions are scarce in the rest of the world and thus our freshwater reserves have an extremely high ecological, environmental and commercial value.

It was precisely the high quality of freshwater environments in southern Chile that lead to the mass introduction of salmonids and the establishment and large-scale expansion of salmon farming in this corner of the world. The paradox is that the same activity that started 25 years ago to take advantage of the environmental quality of these lakes and rivers is now a growing threat to their conservation. A well argued and solidly documented diagnosis of the changes that salmon farming provokes or has provoked in lakes in southern Chile is thus a valuable tool to guide programs for the restoration of our limnological resources. This is why, on behalf of the Chilean Society of Limnology, we laud the publication of this report, in which the authors organize information about the spatial, environmental and productive aspects of salmon farming as carried out in lake ecosystems of southern Chile. The quality of the information, its excellent presentation and the broad, objective perspective of the overall situation which it gives are all noteworthy. These characteristics will undoubtedly help public agencies and salmon farm owners to understand the degree of disturbance that salmon farming has caused in the Araucano lakes. At the same time, the report should be used as a basis to propose more appropriate measures of protection and restoration that must be urgently adopted before environmental damage reaches irreparable levels.

ella. Estos atributos documentales ayudarán, sin duda, a administradores públicos y a empresarios salmónícolos a dimensionar el grado de perturbación que la actividad salmónícola ha provocado en los lagos araucanos. Al mismo tiempo, debería constituir la base para proponer las medidas de protección y restauración más adecuadas que urgen adoptar antes que el deterioro ambiental alcance niveles de irreversibilidad.

Hacemos votos para que esta publicación tenga el impacto mediático e informático que merece. Esperamos que la información que contiene contribuya a enriquecer la discusión acerca del mejor modo de hacer de la industria acuícola chilena una actividad industrial sustentable en el tiempo, compatible con la protección del recurso ambiental y la conservación de la calidad de los ecosistemas limnéticos de nuestro país.

We hope that this publication receives the media attention that it deserves, and that the information it contains enriches the discussion about how best to make the Chilean aquaculture industry a sustainable activity over time, one that is compatible with the protection of our environmental resources and the conservation of our country's freshwater ecosystems.



© Iván Arismendi. Vista del Lago Rupanco, Región de Los Lagos, Chile.

El presente informe se constituye como el primer estudio integrador de la producción salmoacuícola en los lagos del sur de Chile y, el segundo de una serie de informes sobre el desempeño ambiental de esta industria, desarrollado por WWF Chile. En este sentido se buscó, por un parte, contribuir al entendimiento de las tendencias históricas de la salmonicultura desarrollada en los sistemas lacustres de la Ecorregión Valdiviana (35°S - 48°S), y por otra, proveer recomendaciones dentro del contexto del desarrollo de un estándar global que minimice los impactos de la salmonicultura. En Chile dicha actividad ha experimentado un crecimiento explosivo, alcanzando durante el año 2006 exportaciones del orden de las 387 mil toneladas con retornos económicos de US\$2 mil 200 millones. Dado que esta tendencia proyecta un continuo crecimiento, se hace urgente que este sector enfrente sus impactos medioambientales más relevantes.

El aislamiento biogeográfico y las distintivas características de los sistemas límnicos de Chile han propiciado que estos cuerpos dulceacuícolas alberguen una composición ecológica única, con altos niveles de endemismo (especies únicas a nivel global). Desafortunadamente más del 90% de la fauna íctica nativa se encuentra clasificada bajo amenaza, siendo el distrito de lagos comprendido entre los ríos Toltén y Maullín un área crítica para su conservación. Adicionalmente a los valores relativos a biodiversidad, las cuencas lacustres del sur de Chile, al proveer un amplio rango de servicios ecosistémicos, se constituyen como recursos nacionales y mundiales de alto valor, y contribuyen de manera fundamental a la identidad y desarrollo económico de esta región. Así los ingresos por turismo en la Región de Los Lagos durante el año 2006 se estimaron en US\$113 millones.

Las cuencas lacustres de la zona sur de Chile han sido sometidas a un continuo proceso de transformación durante los últimos dos siglos. A la fecha, una significativa sustitución de bosque nativo, factor crítico en la regulación de nutrientes en las cuencas lacustres, posiblemente ha gatillado una declinación en la calidad de los cuerpos de agua y los estados tróficos de los principales lagos del sur de Chile. De forma paralela, para dichos cuerpos de agua, se ha descrito la presencia de numerosas

This report presents the first comprehensive survey of salmon production within Chile's freshwater lakes, and is the second in a series of WWF reports on the environmental impacts of salmon aquaculture and associated management practices in Chile. It seeks to contribute to the understanding of tendencies in salmon farming in lake ecosystems in the Valdivian Ecoregion area (35°S to 48°S) of Southern Chile, as well as to provide recommendations within the context of efforts to develop a global standard for minimum-impact salmon aquaculture.

This sector has experienced explosive growth in Chile, reaching total exports of 387,000 tonnes for a value of \$2.2 billion in 2006. As this growth trend is likely to continue, it is increasingly urgent that the sector rapidly and efficiently address its most significant negative impacts.

The biogeographical isolation and the distinctive environmental characteristics of Chile's freshwater systems have resulted in a unique ecological composition with very high levels of endemism (species that are globally unique). Unfortunately over 90% of the native fish are currently listed as threatened, and the lakes district between the Toltén and Maullín Rivers is a particularly critical area for native fish. In addition to biodiversity values, lakes provide a range of ecosystem services and are highly valued national and global resources that contribute fundamentally to the region's identity and economic growth. Thus, tourism in the Lakes Region generated an estimated US\$113 million in 2006.

The lake watersheds of Southern Chile have been subject to a continuous process of transformation over the last two centuries. To date, a significant proportion of native forest, a critical factor in regulation of nutrients in lake basins, has been lost, probably resulting in a decline in water quality and trophic status of Chile's principal lakes. In addition, invasive species, particularly salmonids, are currently abundant in these systems. Agriculture, livestock grazing, and logging are all important diffuse sources of pollution. Over the last 25 years, salmon farming has used lakes as the primary media for smolt production, becoming—along with urban sewage—the most significant point source of nutrient inputs to these ecosystems. Salmon farm impacts also include

especies invasoras, fundamentalmente salmonídeas. Por otro lado la agricultura, la ganadería y las plantaciones forestales son también importantes fuentes de contaminación difusa. Durante los últimos 25 años, la salmonicultura, al utilizar los lagos como la principal fuente de smoltificación, se ha posicionado, junto a las descargas de aguas servidas desde asentamientos humanos, como la fuente puntual de ingreso de nutrientes más importante al interior de estos ecosistemas. A este impacto se suman además el aporte de antibióticos y otros químicos, los escapes de salmónidos desde sus centros de cultivo y la transmisión de enfermedades.

Entre los años 1984 y 1991, el Gobierno de Chile otorgó un total de 51 concesiones lacustres para el cultivo de salmónidos (~676 ha), las cuales se emplazan en tres distritos lacustres diferentes: los lagos Araucanos (32 concesiones; ~492 ha; e.g., lago Llanquihue), los lagos de la Isla de Chiloé (14 concesiones; ~120 ha; e.g., lago Huillinco) y los lagos Sur-Patagónicos (5 concesiones; 63 ha; e.g., Lago Yelcho). De estas 51 concesiones, alrededor del 70% son propiedad, o presentan actividad, de las cinco principales empresas productoras de salmónes que operan en Chile. Actualmente los centros de cultivo lacustres no se encuentran regulados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, lo que repercute, por ejemplo, en el hecho de que no son abordados los límites máximos de producción.

El análisis de la información espacial y productiva de la actividad salmoacuícola (1998 – 2005), realizada en los lagos del sur de Chile, muestra que al contrario de lo que comúnmente se ha planteado, la producción total de smolts no ha disminuido sino por el contrario ha crecido exponencialmente. Entre los años 1998 y 2006, mil 600 millones de smolts fueron producidos en Chile, dividiéndose estos entre cultivos de agua dulce (60%) y sistemas estuariales (40%). Sólo en el año 2005 se produjeron 111 millones de smolts en lagos. Así, si bien el aporte dulceacuícola a la producción total de smolts ha decrecido, los niveles de producción se han duplicado en los lagos y cuadruplicado en los ríos.

A pesar de esfuerzos puntuales por parte de investigadores, no existe un conocimiento integrado sobre los sistemas lacustres y su interacción con la salmonicultura. En muchos casos, los únicos estudios de capacidad de carga de estos lagos, realizados durante la década de 1990, no han sido replicados, no pudiéndose estimar las modificaciones en sus condiciones medioambientales. Estos estudios en su totalidad recomendaron no aumentar la producción salmoacuícola y más aún, en algunos de ellos, reducirla significativamente. Estas recomendaciones aparentemente no fueron incorporadas en los procesos de toma de decisiones del Gobierno y la industria.

Como resultado de esta constante y ascendiente presión, algunos ecosistemas lacustres ya han sido fuertemente impactados (e.g., lagos de Chiloé), mientras en otros, en función de la actual brecha de conocimiento, aún no se ha cuantificado su real deterioro medioambiental (e.g., lagos Araucanos).

risk of disease transmission, inputs of antibiotics and other chemicals, and the introduction of exotic species through the escape of salmonids from net pens.

Between 1984 and 1991 the Government of Chile granted a total of 51 lake concessions for salmon farming (~676 ha) in three different lake districts: the Araucano lakes (32 concessions; ~492 ha; e.g., Lake Llanquihue), Chiloé Island lakes (14 concessions; ~120 ha; e.g., Lake Huillinco) and the South Patagonian lakes (5 concessions; 63 ha; e.g., Lake Yelcho). Of these 51 concessions, ~70% are owned or operated by the country's five principal salmon producing companies. Lake salmon farms currently are not subject to the country's Environmental Impact Evaluation System; thus critical aspects such as maximum production levels are not regulated.

The analysis of production tendencies over time (1998-2005) shows that, contrary to common belief, total smolt production in lake systems has not diminished over time but rather has grown exponentially. Between 1998 and 2005, 1.6 billion smolt were produced in Chile, divided between freshwater sites (60%) and estuaries (40%). In 2005 alone, 111 million smolt were produced in lakes. While the relative proportion of smolt production in freshwater systems has decreased, absolute levels have doubled in lakes and quadrupled in rivers over this period.

Despite many individual research efforts, an integrated scientific understanding of the lake systems and the effects of salmon aquaculture is still lacking. In nearly all cases, the only studies of carrying capacity were completed in the mid 1990s and have not been repeated since, which limits an understanding of trends in environmental conditions. The original set of studies found most lakes to be close to or above carrying capacity limits, and recommended that salmon production not be increased, and in many cases that production should be decreased. These recommendations apparently were not incorporated into later decision-making processes by government or industry.

As a result of this constant and increasing pressure, severe effects to some lakes, particularly those on Chiloé Island have been noted, while the true environmental state of others (e.g., the Araucano lakes) has not yet been measured. To date, according to official data from the 2003-5 period, 20 % of concessions used show a state of anoxia (absence of oxygen, which indicates severe degradation) in the sediments below salmon farms.

A positive recent development in Chile is the trend toward closed-containment recirculation systems for the first freshwater (ova-alevine) stages of production and the emergence of the first recirculation plant for smolt, with a production capacity of 10 million smolt/year. These recirculation systems not only eliminate most impacts associated with the early phases of production (nutrients, escapes, disease), they also apparently have many technical and economic advantages. In the context of this technological

A la fecha, y según los datos oficiales del período 2003-2005, un 20% de las concesiones lacustres en funcionamiento presentan estados de anoxia (ausencia de oxígeno que indica degradación severa) en los sedimentos bajo los centros de cultivo.

Recientemente en Chile ha comenzado a forjarse una transformación positiva enfocada a la implementación de sistemas cerrados con recirculación, como resultado de ello, ya existe la primera piscicultura de smoltificación con esta tecnología, la cual cuenta con una capacidad de producir 10 millones de smolts/año. Estos sistemas de recirculación no sólo eliminan los impactos asociados a las primeras etapas de cultivo (nutrientes, escapes, enfermedades), sino también, aparentemente, presentan variadas ventajas económicas y técnicas. Dado el desarrollo tecnológico en la industria del salmón, la smoltificación en sistemas lacustres se ha vuelto una práctica innecesaria e ineficiente, resultando absolutamente posible el evitar los actuales impactos medioambientales sin mermar la actual producción de smolts. Así la totalidad de la producción lacustre podría ser sustituida por un pequeño número de plantas de recirculación, aproximadamente 6 plantas con una inversión de US\$43 millones, lo cual equivale a sólo el 2 % de las exportaciones totales por concepto de salmonicultura durante el año 2006.

En conclusión, el desarrollo de la salmonicultura, durante los últimos 20 años, no ha considerado la condición única y de heterogeneidad de los sistemas lacustres del sur de Chile. Siendo esencial el adoptar nuevas políticas públicas y empresariales que reflejen adecuadamente los valores y vulnerabilidad de estos ecosistemas, incluyendo una transición hacia sistemas de smoltificación con recirculación, un adecuado programa de investigación, una revisión y actualización del marco regulatorio y el fomento de la educación pública y el desarrollo de un consenso de conservación.

development, net pen production has become an inefficient and unnecessary activity that could be phased out over the short-term without affecting overall smolt supply. A relatively small number of land-based recirculation facilities could replace all current lake production. We estimate that this would require approximately 6 plants for a total investment of US\$43 million, which is equal to 2% percent of the value of the industry's exports in 2006.

In conclusion, the development of the national salmon farming industry over the last 20 years has not considered the unique nature and heterogeneity of Chile's lake systems. It is thus essential to adopt new public and company policies that adequately reflect the values and vulnerability of these systems, including a transition to recirculation technologies for smoltification, an adequate research program, and a review and updating of the regulatory framework, as well as the development of a social consensus for the conservation of Chile's lakes.

© Iván Arismendi. Vista del Lago Rupanco, Región de Los Lagos, Chile.



1. Propósitos y estructura del estudio ~ Purpose and structure of the report

A nivel internacional, WWF se encuentra coordinando un “Diálogo Internacional sobre Salmonicultura”, el cual busca elaborar, con transparencia y credibilidad, estándares medibles y basados en el desempeño, que minimicen o eliminen a nivel global los impactos claves de esta actividad. A la fecha, ya se han identificado siete áreas de impactos, en base a las cuales se está guiando el desarrollo de los estándares. Éstas son: enfermedades, escapes, impactos bentónicos, nutrientes y capacidad de carga, utilización de químicos, alimento e impactos sociales. En Chile, el trabajo de WWF se ha centrado principalmente en documentar el estado del conocimiento sobre los impactos y la gestión medioambiental en la salmonicultura chilena (León, 2006; Díaz & León, 2006), el cual resulta considerablemente menor que el asociado a otras importantes zonas productoras (e.g., Noruega, Escocia y Canadá). De forma análoga, algunas de las prácticas medioambientales comunes en Chile difieren significativamente de aquellas utilizadas en otras zonas, y por lo tanto, éstas requieren ser mejoradas para que este sector esté más preparado para participar de estándares globales. Ejemplos de estas diferencias son la utilización intensiva y vagamente regulada de los lagos para los procesos de smoltificación, altos niveles en el uso de antibióticos, y altas densidades de cultivo en áreas marino-costeras, entre otras. Otra diferencia, es que en Chile destaca la ausencia de áreas costeras protegidas que contrapesen el uso intensivo de otras zonas costeras.

En particular, el presente informe se centró específicamente en los impactos lacustres, constituyéndose como el primer estudio de la producción salmoacuícola en los lagos del sur de Chile y, el segundo, de una serie de informes sobre el desempeño ambiental de esta industria, desarrollados por WWF Chile. Los otros impactos medioambientales, junto con los aspectos sociales y laborales, respecto de los cuales también se han identificado importantes contrastes entre las distintas zonas productoras, serán materia de estudios posteriores.

En este sentido el objetivo de este estudio fue contribuir al entendimiento de las tendencias históricas de la salmonicultura desarrollada en los sistemas lacustres de la Ecorregión Valdiviana (35°S - 48°S), sistematizando y analizando la información histórica, espacial y productiva de esta industria, incluyéndose además información contenida en diversos estudios limnológicos, en particular las asociadas a recomendaciones sobre las capacidades de carga de estos ecosistemas. Un segundo objetivo fue evaluar potenciales alternativas de cultivo, en busca de la reducción de los impactos medioambientales.

En específico, el informe comienza con una visión general sobre los cambios históricos que han sufrido los sistemas lacustres del sur de Chile y cómo, dentro de ellos, la salmonicultura ha emergido como una de las principales fuentes puntuales de contaminación, en base a fuertes vacíos en el marco regulatorio. De forma seguida, se presenta un análisis espacial y

WWF is currently coordinating an “International Salmon Aquaculture Dialogue”, which aims to transparently, and credibly develop measurable, performance-based standards which, when implemented, would minimize or eliminate key impacts of salmon farming globally. To date, seven key areas of impact have been identified for the sector and are guiding the standard development process, these are: disease, escapes, benthic impacts and siting, nutrient loading and carrying capacity, chemical inputs, feed, and social impacts. Within Chile, WWF’s work has focused on documenting the state of knowledge on environmental impacts and management in the salmon farming sector (León, 2006; Díaz & León, 2006). The overall level of research and information on these impacts in Chile is considerably lower than in the other major producing zones (Norway, Scotland, and Canada). In addition, several environmental practices in Chile differ substantially from those in other zones, and thus require improvement in order to increase the sector’s capacity to participate in a global standard. Examples of such practices include the relatively unregulated and intensive use of freshwater lakes, very high levels of antibiotic use, and the high density of cage siting in marine areas. Another broad difference between producing countries is the absence in Chile of coastal and marine protected areas, which commonly serve to mitigate the impacts of more intensively used areas.

This report focuses on the issue of lake impacts. It is the first comprehensive survey of salmon production within Chile’s freshwater lakes, and the second in a series of WWF reports on the environmental impacts of salmon aquaculture and the associated management practices in Chile. Future studies in this series will focus on other critical impacts in Chile, as well as social and labor issues which also differ greatly between producing zones.

The objective of this study was to contribute to an understanding of the overall tendencies in salmon farming in the lake ecosystems of Chile’s Valdivian Ecoregion (35°S to 48°S) through a historic and spatial analysis of production data as well as a comprehensive review of limnological studies and recommendations related to nutrient loading. A secondary objective was to evaluate potential alternatives and provide recommendations in order to reduce environmental impacts.

The report begins with an overview of historic changes in lake systems, the emergence of salmon production as a point source of pollution, and the gaps in the regulatory framework. It then presents a spatial and temporal analysis of production according to types of lake systems, and documents the explosive growth that has occurred in the majority of these over the last decade. This analysis is followed by a presentation of the differences in lake morphology and limnology in order to understand the differing sensitivities to increased nutrient loading and other impacts associated with salmon farming. Although updated information on the status and carrying capacity of lake systems is not available, we review the most recent studies which were completed in the mid-1990s in order to compare the current production situation with recommendations made at that time.

temporal de la producción de smolts según distritos lacustres, documentándose el crecimiento explosivo que esta actividad ha experimentado durante la última década en la mayoría de estos sistemas. Esta información fue complementada con datos morfológicos, limnológicos y vegetacionales de las diferentes cuencas lacustres, lo que permitió entender las distintas sensibilidades de estos cuerpos de agua ante el incremento de nutrientes y otros impactos asociados con la salmonicultura. Aunque no existe información actualizada sobre la capacidad de carga de los cuerpos lacustres, se analizaron los estudios más recientes que datan de mediados de los noventa, comparando los actuales niveles de producción con las recomendaciones realizadas a esa fecha.

Sin embargo, hoy en día, existen algunas iniciativas positivas tendientes a trasladar los procesos de smoltificación desde sistemas abiertos hacia instalaciones cerradas con tecnología de recirculación. En este contexto, se analizaron las actuales factibilidades técnicas y económicas, de extender esta incipiente tendencia a la totalidad de la producción lacustre, con el fin de eliminar los impactos medioambientales negativos asociados a esta fase de producción. Finalmente, el informe presenta una serie de recomendaciones tanto para el Gobierno como para la industria salmonera, centradas en la necesidad de realizar mayores esfuerzos en el ámbito de la investigación, en la revisión y actualización de la normativa, y en el fomento de la transición desde sistemas vulnerables hacia fuentes de cultivo económicamente viables y de mínimo impacto medioambiental, pudiéndose así asegurar el futuro de los lagos del sur de Chile.

We analyze a positive tendency in the transition from open "net pen" systems in lakes to closed-containment recirculation facilities with wastewater treatment on land. We further analyze the technical and economic feasibility of extending this incipient tendency to allow a total replacement of smolt production in lakes with recirculation systems in order to eliminate the negative environmental impacts associated with this phase of production.

Finally, the report presents a series of recommendations for both government and industry focusing on the need for a new research program, an updating of regulations, and, most importantly, a concerted effort to accelerate the transition from vulnerable open systems to economically viable and minimum-impact closed production systems in order to ensure the future of Chile's lakes.

2. Introducción ~ Introduction

2.1. Pasado y presente de las cuencas lacustres del sur de Chile – Ecorregión Valdiviana

La zona centro-sur de Chile (35°S – 48°S), denominada Ecorregión de los Bosques Templados Valdivianos o Ecorregión Valdiviana, se presenta como un área de importancia global para la conservación de la biodiversidad (Dinnerstein *et al.*, 1995, 2000; Myers *et al.*, 2000; Stattersfield *et al.*, 1998; Bryant *et al.*, 1997). En este contexto, los grandes lagos de esta Ecorregión emergen como uno de los puntos más destacables, conteniendo una fauna nativa altamente endémica y proveyendo importantes servicios ecosistémicos (Campos, 1977, 1985; Arratia, 1981; Soto & Campos, 1996; Vila *et al.*, 1999, 2006).

Algunos de estos ecosistemas, particularmente los grandes lagos del sur de Chile (e.g., lagos Araucanos o Nor-Patagónicos; Figura 1), han sido descritos en sus orígenes como sistemas ultraoligotróficos, caracterizados por sus aguas extremadamente puras y con mínimos valores de clorofila (bioindicador del estatus trófico de un sistema acuático). Esta condición está fuertemente influida por la morfología de estos lagos (e.g., profundidad de mezcla de la columna de agua, en muchos casos superiores a los 25 m), aparente limitación de nutrientes, especialmente nitrógeno (Soto, 2002) y la dominante presencia de bosques nativos en sus cuencas de drenaje (Soto & Campos, 1996), cobertura vegetal que posee una alta eficiencia en la regulación del ciclo de nutrientes (Oyarzún *et al.*, 1997).

Desde la colonización europea el bosque nativo, como uso de suelo, se ha reducido significativamente ($\pm 40\%$), proceso que en las cuencas lacustres alcanzó su máximo nivel de transformación durante la etapa de colonización alemana (± 1850), en donde se convirtieron amplias extensiones cubiertas por bosques nativos a praderas de uso ganadero, agrícola y/o forestal (Lara *et al.*, 1999 (Figura 1); Alaback, 1991; Donoso *et al.*, 1998; Donoso & Lara, 1999; Donoso & Otero, 2005; Otero, 2006). En este sentido, se ha datado que el reemplazo de bosque nativo por usos preferentemente agrícolas o ganaderos, influencia significativamente los flujos de nutrientes hacia las cuencas dulceacuícolas (Jordan *et al.*, 1997; Kaste *et al.*, 1997; Castillo *et al.*, 2000; Oyarzún & Huber, 2003). Durante el siglo XX esta tendencia se incrementó producto de la industrialización de las prácticas silvoagropecuarias; del crecimiento del volumen de las aguas residuales no tratadas, proveniente de asentamientos humanos ribereños (Riles); y de la proliferación de actividades industriales en las cuencas lacustres (OCDE & CEPAL, 2005). Soto y Campos (1996) sugirieron que esta condición pudo producir un desequilibrio en los balances internos de los sistemas lacustres del sur de Chile, induciendo la modificación de sus condiciones ultraoligotróficas a oligotróficas. Cisternas *et al.*, (2000) registraron una secuencia de sucesos coincidentes con esta presunción, informando cambios notables en el estado de trofia de la laguna San Pedro, ubicada en el centro sur de Chile ($\sim 37^\circ\text{S}$), la cual, entre el período prehispánico y el actual, alcanzó condiciones eutróficas.

2.1. Lake systems in the Valdivian Ecoregion-Southern Chile: past and present

*The Valdivian Temperate Rainforest Ecoregion or Valdivian Ecoregion is located in the south-central zone of Chile (35°S – 48°S) and is an area of global importance for the conservation of biodiversity (Dinnerstein *et al.*, 1995, 2000; Myers *et al.*, 2000; Stattersfield *et al.*, 1998; Bryant *et al.*, 1997). The Ecoregion's large lake systems are one of its globally outstanding attributes, and harbour a highly endemic native fauna as well as providing important ecosystem services (Campos, 1977, 1985; Arratia, 1981; Soto & Campos, 1996; Vila *et al.*, 1999, 2006).*

*Some of these systems, particularly the large lakes in southern Chile (e.g., Araucano or North Patagonian lakes; Figure 1), have been described as naturally ultraoligotrophic and are characterized by extremely pure waters and low chlorophyll content (a bioindicator of the trophic status of an aquatic system) (Soto & Campos, 1996). These conditions are due, in large part, to the lake's morphology (e.g., deep mixing of waters, at more than 25 m in most cases); nutrient limitation, particularly nitrogen limitation (Soto, 2002); and the historic presence of native forests which are highly efficient at nutrient uptake (Oyarzún *et al.*, 1997).*

*Native forest cover is estimated to have been reduced by approximately 40% since the beginning of European colonization, a process which accelerated greatly in lake basins during the period of rapid German settlement (± 1850) when large tracts of native forest were converted to pasture, agricultural lands and, later, timber plantations (Lara *et al.*, 1999 (Figure 1); Alaback, 1991; Donoso *et al.*, 1998; Donoso & Lara, 1999; Donoso & Otero, 2005; Otero, 2006). The replacement of native forest by agriculture and livestock grazing has been reported to significantly influence the flow of nutrients into freshwater systems (Jordan *et al.*, 1997; Kaste *et al.*, 1997; Oyarzún & Huber, 2003). The input of nutrients into lake ecosystems rapidly increased during the late 20th century due to the industrialization of agricultural and forestry practices, the increased volume of untreated sewage from human settlements along rivers or lakeshores, and the proliferation of industrial activities in lake watersheds (OCDE & CEPAL, 2005). Soto & Campos (1996) suggested that this input of nutrients has produced an imbalance in the internal regulation of lakes in southern Chile, resulting in a shift from ultraoligotrophic to oligotrophic conditions. While few lake basins have been analyzed to document historic change, Cisternas *et al.*, (2000) documented the shift from ultraoligotrophic to eutrophic status of the San Pedro lagoon in south-central Chile ($\sim 37^\circ\text{S}$).*

2.2. Irrupción de la salmonicultura en la Ecorregión Valdiviana

La salmonicultura, en conjunto con las descargas de aguas servidas desde las ciudades, emerge como una de las principales fuentes puntuales de ingreso de nutrientes a los lagos (Soto & Campos, 1996). Actualmente, la Ecorregión Valdiviana se presenta como una zona con un dinámico desarrollo económico, fuertemente asociado a la expansión forestal y la irrupción de la salmonicultura intensiva (Steinhart *et al.*, 2002; Soto & Campos, 1996; Soto & Stockner, 1996). Esta última actividad registraba para el año 1991, 33 mil toneladas de producción (US\$ 159 millones por concepto de exportaciones), mientras al año 2006 ya superaba las 387 mil toneladas (más de US\$ 2.200 millones en exportaciones), cifras que ubican a Chile como el segundo exportador mundial de salmónidos.

De forma paralela, los altos niveles de producción y retornos económicos generados por esta industria se relacionan directamente con la creciente acumulación de materia orgánica en la columna de agua y fondos de los ecosistemas receptores (Ervik *et al.*, 1997; McGhie *et al.*, 2000; Hansen *et al.*, 2001). Dicha adición de nutrientes a los cuerpos acuáticos ha sido reconocida internacionalmente como una de las causas de desbalance de los procesos productivos internos y el origen de los cambios en el estado trófico de los cuerpos de agua afectados (Eley *et al.*, 1972; Enell, 1982; Costa-Pierce & Soemarwoto, 1990; Cornell & Whoriskey, 1993; Costa-Pierce, 1996).

En Chile, diferentes instituciones han calificado como prioritario precisar los mecanismos que vinculan la cantidad y calidad de los residuos generados por las actividades antropogénicas (e.g., agricultura, industria forestal, ciudades, salmonicultura), con la capacidad ambiental de los ecosistemas acuáticos (Subpesca, 2003; OCDE & CEPAL, 2005). No obstante, la información disponible en forma pública, generada desde el gobierno o la industria, es escasa, en temas tales como la distribución espacial de las concesiones, sus tendencias productivas y los impactos ambientales. Por lo tanto no existe la posibilidad de instaurar un debate de políticas públicas en base a información científica. Actualmente, a nivel nacional, existe la sensación de que la salmonicultura en los lagos está disminuyendo, sin embargo no existen investigaciones o estudios que avalen esto.

2.3. Materiales y métodos

Mediante un convenio de colaboración con la Subsecretaría de Pesca de Chile (Subpesca), la presente investigación consideró información base contenida en Subpesca y en el Servicio Nacional de Pesca (Sernapesca). Esta información correspondió al posicionamiento geográfico y estadísticas productivas de las concesiones salmoacuícolas emplazadas en sistemas dulceacuícolas de la Ecorregión Valdiviana. A las cuencas lacustres seleccionadas se les estimó el uso de suelo, mediante información derivada del Catastro de Bosque Nativo (CONAF *et al.*, 1999) y de la Dirección General de Aguas (DGA) (escala 1:50000). Con esta información se generaron mapas SIG (software ArcView 3.2) de cada cuenca lacustre,

2.2. The explosive growth of salmon farming in the Valdivian Ecoregion

Salmon farming and urban sewage have emerged as the main point sources of nutrient inputs into lake systems (Soto & Campos, 1996). The southern portion of the Valdivian Ecoregion (39°S – 48°S) is currently a zone of rapid economic expansion closely linked to salmon farming (Steinhart *et al.*, 2002; Soto & Campos, 1996; Soto & Stockner, 1996). Growth in salmon farming has been explosive, with annual production increasing from 33,000 tonnes (US\$159 million in exports) in 1991, to a total of 387,000 in 2006 for a value of US\$2.2 billion in exports, making Chile the second largest producer worldwide.

At the same time, the industry's increase in production has a parallel in the growing accumulation of organic material and nutrient input in the water column and on the substrate bottom where salmon farming is practiced (Ervik *et al.*, 1997; McGhie *et al.*, 2000; Hansen *et al.*, 2001). This nutrient input has been recognized internationally as one of the causes of disruption of internal productive processes and as the origin of trophic changes in affected water bodies (Eley *et al.*, 1972; Enell, 1982; Costa-Pierce & Soemarwoto, 1990; Cornell & Whoriskey, 1993; Costa-Pierce, 1996).

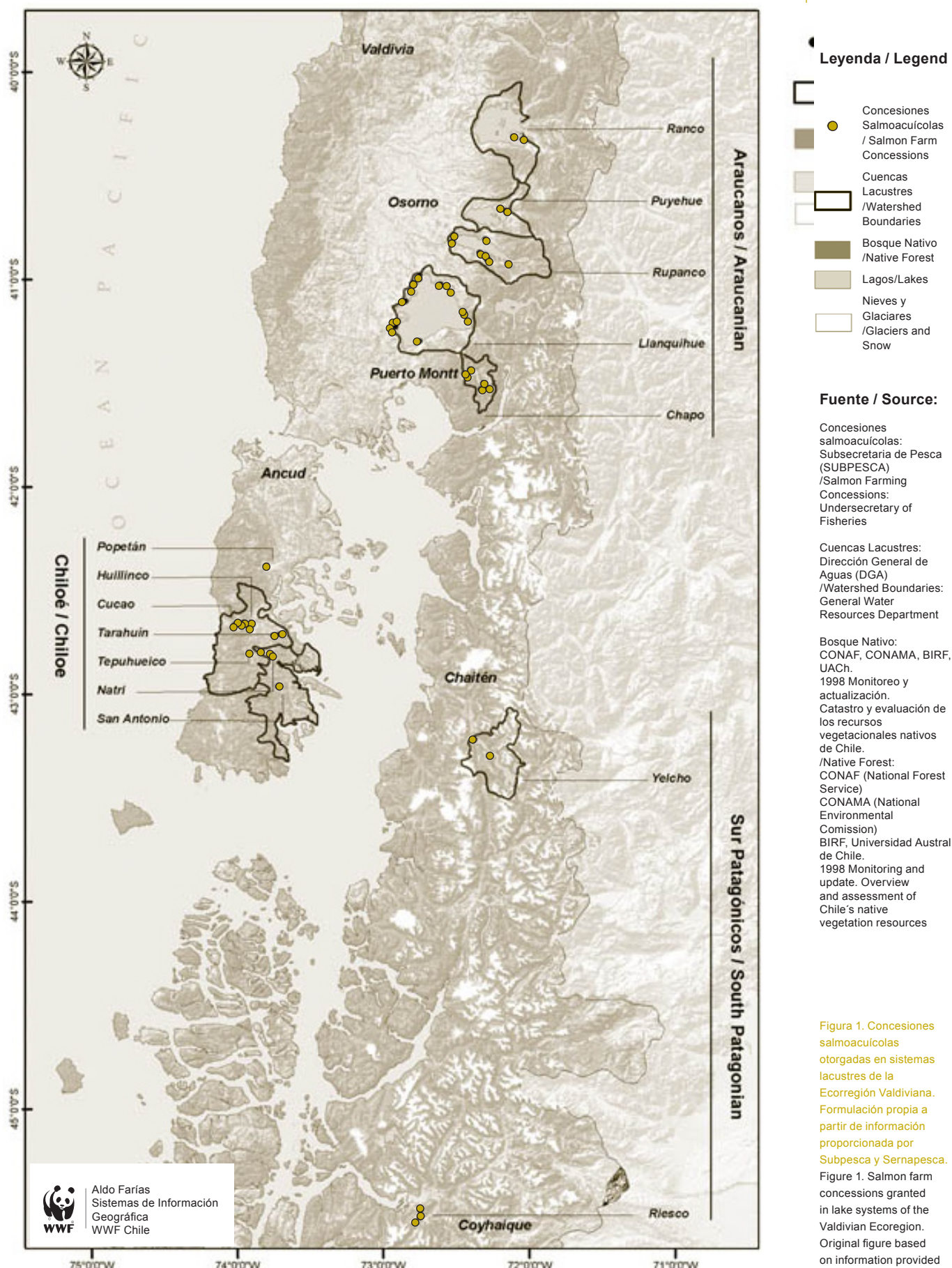
Thus, various institutions have recently stressed the need to determine the mechanisms by which both the quantity and type of anthropogenic waste (e.g., agriculture, forestry, cities, salmon farming) affects the environmental capacity of aquatic ecosystems (Subpesca, 2003; OCDE & CEPAL, 2005). However, to date, practically no information is made publicly available by government or industry as to the spatial distribution, production trends and environmental impacts in Chile's lake ecosystems. There is thus little informed scientific or policy debate on the situation in freshwater lakes. A common belief in Chile is that production in lakes is declining but to date there has been no research that supports this view.

2.3. Materials and methods

This study relies on data provided by the Chilean Undersecretariat of Fisheries (Subsecretaría de Pesca) and the National Fisheries Service (Servicio Nacional de Pesca) including geographic locations and production statistics for salmon farm concessions operating in freshwater systems. In addition, land use information was taken from the Native Forest Survey at a scale of 1:50,000 (CONAF *et al.*, 1999) and from the General Water Directorate (DGA). With this information GIS (ArcView 3.2 software) maps were generated of the relevant watersheds. The watersheds of the Popetán (Chiloé Island) and Riesco (Southern Patagonia) lakes were not evaluated due to a lack of official data. Land use was analyzed using

Fig.1

Concesiones Salmoacuícolas en Sistemas Lacustres del Sur de Chile Salmon Farm Concessions in Freshwater Lakes in Southern Chile



aunque, por no disponer de información base, no fueron procesadas las cuencas de los lagos Popetán (Isla de Chiloé) y Riesco (Sur-Patagónico). El uso del suelo se categorizó mediante los siguientes descriptores: Bosque Nativo, Praderas y Matorrales, Rocas, Ciudades, Plantaciones, Nieves y Glaciares. La revisión de información científica incluyó el análisis de estudios limnológicos relevantes, con énfasis en los estudios de capacidad de carga y recomendaciones para los ecosistemas lacustres estudiados.

the following five categories: native forest, grass and scrublands, rock, urban areas, timber plantations, and snow and glaciers. The literature review included limnological studies available and a special emphasis on the analyses and recommendations for carrying capacity of lake ecosystems.

3. Resultados ~ Results

3.1- Marco regulatorio y distribución espacial de las concesiones lacustres

A partir de la década de los '80 el desarrollo de la salmonicultura chilena en ecosistemas lacustres ha sido tutelado por diferentes normativas. Así, entre los años 1980 y 1991, el Reglamento para realizar Labores Pesqueras (D.S. 175/1980) estableció que las áreas destinadas al cultivo de salmonídeos (desde ahora concesiones) serían autorizadas hasta que el sistema lacustre que las contuviese, alcanzase un nivel conjunto de producción equivalente a dividir el área del lago (ha) por una constante de 35 (Área del cuerpo de agua (ha) / 35 = Producción máxima por lago (tons)). Bajo este simple método, sin una clara racionalidad técnica, el Gobierno de Chile, entre los años 1984 y 1991, otorgó 51 concesiones para el cultivo de salmónidos en los lagos de la Ecorregión Valdiviana (~676 ha) (Figuras 1 y 2).

De igual modo, al haber sido la totalidad de las áreas de cultivo lacustres otorgadas con anterioridad al año 1991 éstas no ingresaron al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, por lo cual, además no contemplan límites de producción, disposiciones que sí son estipuladas para las nuevas concesiones acuícolas. De esta manera, la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) no posee atribuciones prácticas ni legales para monitorear y regular estos cultivos.

En el año 1991, la anterior normativa legal (D.S. 175/1980) fue remplazada por lo suscrito en la Ley General de Pesca y Acuicultura (Ley 18.892), incluidos los reglamentos que la hacen operativa. La nueva regulación requirió que la Subsecretaría de Pesca definiese áreas geográficas como "Áreas Apropriadadas para el ejercicio de la Acuicultura (A.A.A.)", esto como prerequisite para considerar nuevas solicitudes de concesión. A partir del año 1991, al no haberse

3.1. Regulatory framework and spatial distribution of concessions

Since the beginning of the 1980s, the development of Chilean salmon farming in lake ecosystems has been controlled by a variety of regulations. Between 1980 and 1991, the "Regulation for the practice of fishing" (SD 175/1980) established that salmon farming concessions would be granted in a lake system until their total surface area equalled the area of the lake divided by a constant of 35 (Area of water body (ha) / 35 = maximum concession area). Under this simple metric, which lacked a clear technical rationale, the Government of Chile granted 51 salmon farming concessions (~676 ha) in lakes between 1984 and 1991 (Figures 1 and 2).

This concessioning process predated Chile's Environmental Framework Law, and thus lake farms were never subject to the Environmental Impact Evaluation System, which is Chile's principal environmental regulatory tool. For this reason, lake farms do not have environmental baselines nor do they have maximum limits on production, or other basic regulatory parameters. The environmental agency, CONAMA, thus has practically no legal attributions to monitor and regulate these farms.

In 1991 the previous legislation (SD 175/1980) was replaced by the General Fishing and Aquaculture Law (Law 18.892) and its associated regulations. The new regulations require the Undersecretary of Fisheries to define geographic areas as "Appropriate Areas for Aquaculture (AAA)" as a prerequisite for considering new concession requests. No new "Appropriate Areas for Aquaculture" have been declared in lakes since passage of the law, and thus no new lake concessions have been granted since 1991.

The 51 existing concessions are located in 16

Fig.2

Lagos / Lakes	Concesiones salmoacuícolas / Salmon farm concessions		Producción promedio de smolts / Average smolt production	
	Sitios / Sites (Nº)	Área (ha)	Millones de smolts / Million smolt	Toneladas / Tons
Araucanos / Araucanian				
Ranco	2	12,5	2,7	307,9
Puyehue	2	91,1	5,0	587,3
Rupanco	7	160,8	18,7	2268,4
Llanquihue	15	196,8	32,7	3996,3
Chapo	6	31	5,7	732,5
<i>Subtotal</i>	<i>32</i>	<i>492,2</i>	<i>64,8</i>	<i>7892,4</i>
Isla de Chiloé / Chiloe island				
Popetán	1	1,1	1,1	124,2
Tepuhueico	1	4,9	1,4	150,2
Cucao	1	1,5	2,2	193,7
Huillínco	5	62,4	9,1	950,3
Tarahuín	2	24,6	3,0	506,9
Natri	3	24,1	8,2	498,3
San Antonio	1	2	0,5	23,9
<i>Subtotal</i>	<i>14</i>	<i>120,6</i>	<i>25,5</i>	<i>2447,5</i>
Sur-Patagónicos / South Patagonian				
Yelcho	2	47,4	1,2	82,1
Riesco	3	15,8	0,8	28,8
<i>Subtotal</i>	<i>5</i>	<i>63,2</i>	<i>2,0</i>	<i>110,9</i>
Total Lagos / Lakes	51	676	92,3	10450,8
Araucanos / Araucanian (%)	63	73	70	76
Isla de Chiloé / Chiloe island (%)	27	18	28	23
Sur-Patagónicos / South Patagonian (%)	10	9	2	1

Figura 2. Concesiones salmoacuícolas otorgadas en los lagos de la Ecorregión Valdiviana y niveles de producción anual (1998 - 2005) de smolts (número de individuos y toneladas). Formulación propia a partir de información proporcionada por Subpesca y Sernapesca.

Figure 2. Salmon farming concessions granted in lakes of the Valdivian Ecoregion and annual (1998-2005) levels of smolt production (number of individuals and tonnes). Original figure based on information provided by Subpesca and Sernapesca.

declarado en lagos nuevas Áreas Apropriadadas para el ejercicio de la Acuicultura (A.A.A), no se han otorgado nuevas concesiones en estos cuerpos de agua.

Las 51 concesiones otorgadas se emplazan en 16 lagos (Figuras 1 y 2), los cuales a su vez forman parte de tres distritos lacustres o tipos de ecosistemas diferentes: los lagos Araucanos o Nor-Patagónicos, con 32 concesiones (~492 ha; lagos Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo); los lagos de la Isla de Chiloé, con 14 concesiones (~120 ha; lagos Popetán, Tepuhueico, Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri y San Antonio); y los lagos Sur-Patagónicos, con 5 concesiones (~63 ha; lagos Yelcho y Riesco).

Los lagos Araucanos muestran una fuerte concentración de concesiones en los lagos Llanquihue y Rupanco, donde el primero contiene el 47% de los sitios de cultivo (n= 15) y el 40% (196,8 ha) del área total otorgada en este distrito (n= 32; 492,2 ha). En tanto el Rupanco, a pesar de mostrar un menor número de concesiones (n=7), representa el 32,7% (160,8 ha) del área total concesionada en estos cuerpos de agua (Figuras 1 y 2).

En la Isla de Chiloé el lago Huillinco presenta el mayor número de concesiones (n= 5), dando cuenta, en conjunto con los lagos Natri (n= 3) y Tarahuín (n= 2), del 92% (111,1 ha) del área total concesionada en esta isla (120,6 ha). Por su parte, los lagos Sur-Patagónicos agrupan el 9% de las concesiones lacustres de Chile, siendo el lago Yelcho el con mayor área concesionada al interior de este distrito (47,4 ha) (Figuras 1 y 2).

3.2 Características climáticas, morfológicas, limnológicas y vegetacionales de las cuencas lacustres

Los sistemas lacustres de la Ecorregión Valdiviana muestran una fuerte heterogeneidad en relación a sus características climáticas, geomorfológicas, limnológicas, y de uso de suelo en sus cuencas (estados de conservación). En general esta área geográfica se encuentra dominada por un clima marítimo lluvioso, modelado significativamente por la presencia de la corriente de Humboldt, un sistema

lakes (Figures 1 and 2) grouped into three different districts or ecosystem types: the Araucano or North Patagonian lakes, with 32 concessions (~492 ha; Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue and Chapo); the Chiloé island lakes with 14 concessions (~120 ha; Popetán, Tepuhueico, Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri and San Antonio); and the South Patagonian lakes, with 5 concessions (~63 ha; Yelcho and Riesco).

Concessions within the Araucano lakes district are concentrated in Lakes Llanquihue with 47 % (n=15) of all farms and 40 % (196.8 ha) of the total area (n=32, 492.2 ha) while the latter, with fewer farms (n=7), represents 32.7% (160.8 ha) of the total concessioned area (Figures 1 and 2).

The majority of concessions in Chiloé Island lakes are located in Lake Huillinco (n=5), which, in conjunction with Lake Natri (n=3) and Lake Tarahuín (n=2), accounts for 92 % (111.1 ha) of the total concessioned area (120.6 ha). The South Patagonian lakes make up 9% of the lake concessions in Chile, and Lake Yelcho comprises the largest concession within this district (47.4 ha) (Figures 1 and 2).

3.2 Climatic, morphological, limnological and vegetation characteristics of lake basins

The climatic patterns, geomorphological characteristics, limnological conditions and watershed land use patterns of lake systems in the Valdivian Ecoregion are highly heterogeneous. This area has a rainy maritime climate which is strongly influenced by the Humboldt Current System, a subpolar low pressure system, a low land-ocean ratio and a strong "rain-shadow" effect created by the Andean and

Fig.3

Lagos / Lakes	Espejo de agua / Surface Ad (ha)	Cuenca de drenaje / Watershed Ao (ha)	Ao / Ad	Profundidad media / Mean depth (m)	Tiempo renovación / Renewal time (años / years)
Araucanos / Araucanian					
Ranco	44260	399700	9	122,1	5
Puyehue	16500	151000	9,2	76	3,4
Rupanco	23600	99400	4,2	162	8,5
Llanquihue	87000	160500	1,8	182	70
Chapo	4540	31048	6,8	151	5,5
Isla de Chiloé / Chiloe island					
Popetán	160	1328	8,3	8,1	0,2
Tepuhueico	1430	18210	12,7	9	0,2
Cucao	1060	3320	3,1	12	0,1
Huillinco	1910	52980	27,7	20,7	0,2
Tarahuín	770	3820	5	22,2	2,7
Natri	780	4650	6	35	3,5
San Antonio	303	2485	8,2	5,4	0,4
Sur-Patagónicos / South Patagonian					
Yelcho	12000	210127	17,5	135	0,5
Riesco	1470	31538	21,5	66,5	0,6

Figura 3. Aspectos morfométricos de los lagos de la Ecorregión Valdiviana utilizados para salmonicultura. Formulación propia a partir de información registrada en Campos, 1995; Campos *et al.*, 1988, 1989, 1992 a, 1992 b, 1997, 1999; Prado, 1999 y Villalobos *et al.*, 2003.

Figure 3. Morphometric features of lakes in the Valdivian Ecoregion used for salmon farming. Original figure based on information in Campos, 1995; Campos *et al.*, 1988, 1989, 1992 a, 1992 b, 1997, 1999; Prado, 1999 and Villalobos *et al.*, 2003.

de baja presión subpolar, una baja proporción continente/océano y un fuerte efecto de biombo de las cordilleras de la Costa y los Andes (Arroyo *et al.*, 1996; Armesto *et al.*, 1996). El conjunto de estas condiciones genera un gradiente climático caracterizado porque, hacia zonas más australes, la temperatura atmosférica decrece ($-12^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}$), en tanto las precipitaciones aumentan con promedios anuales que bordean los 1.750 mm, pudiendo alcanzar valores por sobre los 4.000 mm en áreas como el Lago Yelcho (Steinhart *et al.*, 2002).

En específico la salmonicultura desarrollada en cada uno de los distritos lacustres, interactúa con una gran variabilidad medioambiental, donde los rangos de respuesta de los ecosistemas, ante perturbaciones o adiciones externas de nutrientes, varían ostensiblemente.

Lagos Araucanos

Los lagos Araucanos ($39^{\circ}\text{S} - 41,5^{\circ}\text{S}$) (Figuras 1 y 3) tienen un origen fundamentalmente glacial, definido hace unos 11.000 años (Brüggen, 1950), y destacan por ser lagos de gran profundidad (66,5m – 182m) en relación a sus áreas superficiales (1.400 ha – 87.000 ha). De acuerdo a sus tiempos de renovación y a la relación entre las áreas de drenaje de las cuencas y las áreas de los cuerpos de agua (Ao/Ad) (Figura 3), estos sistemas pueden ser agrupados en dos bloques: el primero constituido por los lagos Ranco, Puyehue, Rupanco y Chapo con tiempos de renovación inferiores a 10 años (entre 3,4 - 8,5 años) y relaciones Ao/Ad superiores a 4 (entre 4,2 – 9,2), y un segundo bloque constituido únicamente por el lago Llanquihue, el cual presenta un tiempo de renovación de 74 años y una cuenca sólo 1,8 veces más grande que su espejo de agua.

Los lagos Araucanos han sido caracterizados como sistemas limnéticos monomícticos templados con circulación invernal ($-8,1^{\circ}\text{C} - 10,5^{\circ}\text{C}$), estratificación estival (Löffler, 1960; Campos *et al.*, 1988; 1989; 1992a, 1992b; Soto & Stockner, 1996; Woelfl *et al.*, 2003) y condiciones oligotróficas, con aguas de una gran transparencia, baja productividad planctónica y aparentemente resistentes a perturbaciones de origen antrópico (Soto *et al.*, 1994; Soto & Campos, 1996; Soto, 2002).

El uso de suelo de las cuencas de los lagos Araucanos presenta dos situaciones contrastantes, donde las cuencas de los lagos Ranco, Puyehue, Rupanco y Llanquihue evidencian una equiparidad entre usos de suelo asociados a bosque nativo ($\sim 45,6\%$), y pradera o matorrales ($\sim 43\%$); situación que en el lago Chapo cambia sustancialmente hacia un uso preferentemente vinculado a bosque nativo (88,9% del área de la cuenca), encontrándose éste en mejor nivel de conservación comparado con los grandes lagos araucanos. Cabe señalar que la cuenca del lago Chapo es contigua al Parque

Coastal ranges (Arroyo *et al.*, 1996; Armesto *et al.*, 1996) the south ($12^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}$) and an average annual precipitation of close to 1750 mm per year, reaching accumulations of over 4000 mm in areas such as Lago Yelcho (Steinhart *et al.*, 2002).

Salmon farming thus takes place in very different environments from one basin to the next, and the response of the lake systems after disturbances or external addition of nutrients is extremely variable.

Araucano Lakes

The Araucano lakes ($39^{\circ}\text{S} - 41,5^{\circ}\text{S}$) (Figures 1 and 3) are primarily of glacial origin and were formed approximately 11,000 years ago (Brüggen, 1950), and are extremely deep (66.5m – 182 m) in relation to their surface areas (1,400 ha – 87,000 ha). They can be divided into two main groups according to their renewal times and the ratio of their catchment size to water body area (Ao/Ad) (Figure 3). The first group consists of Lakes Ranco, Puyehue, Rupanco and Chapo, with renewal times of under 10 years (3.4 - 8.5 years) and Ao/Ad ratios higher than 4 (4.2 – 9.2). The second is composed solely of Lake Llanquihue, with a renewal time of 74 years and a catchment area only 1.8 times larger than its water body. In terms of their limnological characteristics, these lakes are temperate, monomictic systems with winter circulation ($-8,1^{\circ}\text{C} - 10,5^{\circ}\text{C}$) and summer stratification (Löffler 1960; Campos *et al.*, 1988; 1989; 1992a, 1992b; Soto & Stockner, 1996; Woelfl *et al.*, 2003). They are oligotrophic and have highly transparent waters, low plankton production and an apparent resistance to anthropogenic disturbances in part due to the very deep mixing which could enhance light limitation (Soto *et al.*, 1994; Soto & Campos, 1996; Soto, 2002).

Land use patterns in the watersheds of the Araucano lakes present two contrasting situations. While the Ranco, Puyehue, Rupanco and Llanquihue watersheds are covered relatively equally by native forest ($\sim 45,6\%$) and grassland and shrub ($\sim 43\%$), the Lake Chapo watershed, contiguous with Alerce Andino National Park, is covered primarily by native forest (88.9% of the watershed) and is thus better conserved than those of the large Araucano lakes¹ (Figures 4 and 5).

Chiloé Island Lakes

The lakes situated on Chiloé Island ($41,8^{\circ}\text{S} - 47^{\circ}\text{S}$; $72,5^{\circ}\text{W} - 75,4^{\circ}\text{W}$) are of glacial ($n=5$) and in some cases tectonic origin (Huillínco – Cucao) (Villalobos *et al.*, 2003). They are significantly smaller than the Araucano lakes, although their Ao/Ad ratios are larger, ranging from 3.1 in the case of Lake Cucao to 27.7 in the case of Lake Huillínco. The drainage basin of the latter lake (52,980 ha) is in fact larger than that Lake Chapo in the Araucano district (31,048 ha). The mean depth of these lakes is also smaller than those in the Araucano district (16.1m for lakes in Chiloé versus 138m for Araucano lakes). Renewal times do not

¹ En este distrito el bosque nativo se encuentra dominado por bosque Valdiviano, constituido a su vez por variadas combinaciones de especies tales como *Nothofagus dombeyi*, *Nothofagus nitida*, *Aextoxicon punctatum*, *Fitzroya cupressoides*, *Drimys winteri*, *Laurelia philippiana*, *Weinmannia trichosperma*, *Podocarpus nubigena*, entre otras especies (Alaback, 1991; Soto & Stockner, 1996; Woelfl *et al.*, 2003).

¹ Native forests in this region are temperate rainforests composed of different combinations of broadleaf and coniferous species such as *Nothofagus dombeyi*, *Nothofagus nitida*, *Aextoxicon punctatum*, *Fitzroya cupressoides*, *Drimys winteri*, *Laurelia philippiana*, *Weinmannia trichosperma*, *Podocarpus nubigena*, among others (Armesto *et al.*, 1996; Alaback, 1991; Soto & Stockner, 1996; Woelfl *et al.*, 2003).

Fig.4

Lagos / Lakes	Bosque nativo / Native forest	Praderas y matorrales / Pasture and shrub	Otros usos / Other uses
Araucanos / Araucanian			
Ranco	46,6	44,7	8,8
Puyehue	38,5	37	24,5
Rupanco	57,6	34,3	8,1
Llanquihue	39,8	56	4,1
Chapo	88,9	3,6	7,5
<i>Promedio / Average</i>	<i>54,28</i>	<i>35,12</i>	<i>10,6</i>
Isla de Chiloé / Chiloe island			
Popetán	47,3	30,5	22,2
Cucao	90	5,9	4,1
Tepuhueico	94,2	5,2	0,6
Huillinco	79,3	16,3	4,4
Tarahuín	73,5	22	4,5
Natri	57,4	22	20,6
San Antonio	69,6	29,1	1,4
<i>Promedio / Average</i>	<i>73,0</i>	<i>18,7</i>	<i>8,3</i>
Sur-Patagónicos / South Patagonian			
Yelcho	60,5	3,6	35,9
Riesco	70,8	3,8	25,4
<i>Promedio / Average</i>	<i>65,6</i>	<i>3,7</i>	<i>30,6</i>

Nacional Alerce Andino¹ (Figuras 4 y 5).

Lagos de la Isla de Chiloé

Los lagos emplazados en la Isla grande de Chiloé (41,8°S - 47°S; 72,5°O - 75,4°O) poseen un origen glacial (n=5) y en algunos casos también tectónico (Huillinco - Cucao) (Villalobos *et al.*, 2003). Sus superficies son significativamente menores que la de los lagos Araucanos, aunque con relaciones Ao/Ad mayores, entre 3,1 en el lago Cucao y 27,7 en el Huillinco. Así mismo, sus profundidades medias, en comparación a los lagos Araucanos, son de menor magnitud (~16,1m Chiloé - ~138m Araucanos), en tanto que sus tiempos de renovación no superan los 3,5 años, siendo en su mayoría (n= 5) inferiores a 1 año (Figura 1 y 3).

Las características limnológicas de los lagos de la Isla de Chiloé difieren ostensiblemente entre sí, pudiendo agruparse entre sistemas netamente dulceacuicolas (Natri, Tepuhueico, Tarahuín, San Antonio, Popetán) y sistemas con influencia oceánica (Huillinco y Cucao) (Figura 1 y 3). Tales condiciones modelan sus patrones térmicos, los cuales varían entre monomictico temperado a polimictico o meromictico (Villalobos *et al.*, 2003). Así, el lago Natri es monomictico temperado, el Tarahuín no desarrolla una termoclina completa durante verano, y los lagos Huillinco y Cucao muestran una estratificación invertida con tres masas de agua distintas producto de la influencia oceánica (Villalobos *et al.*, 2003). La mayoría de estos lagos presentan columnas de agua con baja transparencia (~2,4m - 6,4m), asociada a una coloración café, indicativa de materia ácida orgánica disuelta. Es por esta característica que se les ha denominado lagos Húmicos de Chiloé (Villalobos *et al.*, 2003).

En la Isla de Chiloé los mejores estados de

exceed 3.5 years, and in most cases (n=5) are less than 1 year (Figures 1 and 3).

These lakes differ greatly in their limnological characteristics and can be grouped into strictly freshwater systems (Natri, Tepuhueico, Tarahuín, San Antonio, Popetán) and systems with an oceanic influence (Huillinco and Cucao) (Figures 1 and 3). Their thermal structure is related to the above classification, ranging from temperate monomictic to polymictic or meromictic regimes (Villalobos *et al.*, 2003). Lake Natri, for example, is a temperate monomictic lake, while Lake Tarahuín does not develop a complete thermocline during the summer, and Lakes Huillinco and Cucao display an inverted, three-layered stratification due to their oceanic influence (Villalobos *et al.*, 2003). The water columns of the majority of these lakes have low transparency (2.4m - 6.4m) and are brownish in colour, due to the presence of dissolved acidic organic material, for which they are known as the Humic lakes of Chile (Villalobos *et al.*, 2003).

Large parts of the Lakes Cucao and Tepuhueico watersheds are covered by native forest (90%), making them the best-conserved watersheds on Chiloé Island. This percentage is smaller for the remaining lakes, particularly in the case of the Popetán, San Antonio and Natri watersheds where the area occupied by grassland and shrub increases (>25%) but does not exceed the level described for the Araucano lakes² (Figures 4, 5 and 6).

South Patagonian lakes

Like their Araucano counterparts, Lakes Yelcho and Riesco are temperate and monomictic with winter circulation and summer stratification (~9°C) (Prado *et al.*, 1999), but differ in their significantly shorter

Figura 4. Uso de suelo (%) en cuencas lacustres de la Ecorregión Valdiviana, utilizadas para salmonicultura. Formulación propia a partir de información registrada por CONAF *et al.*, 1998.

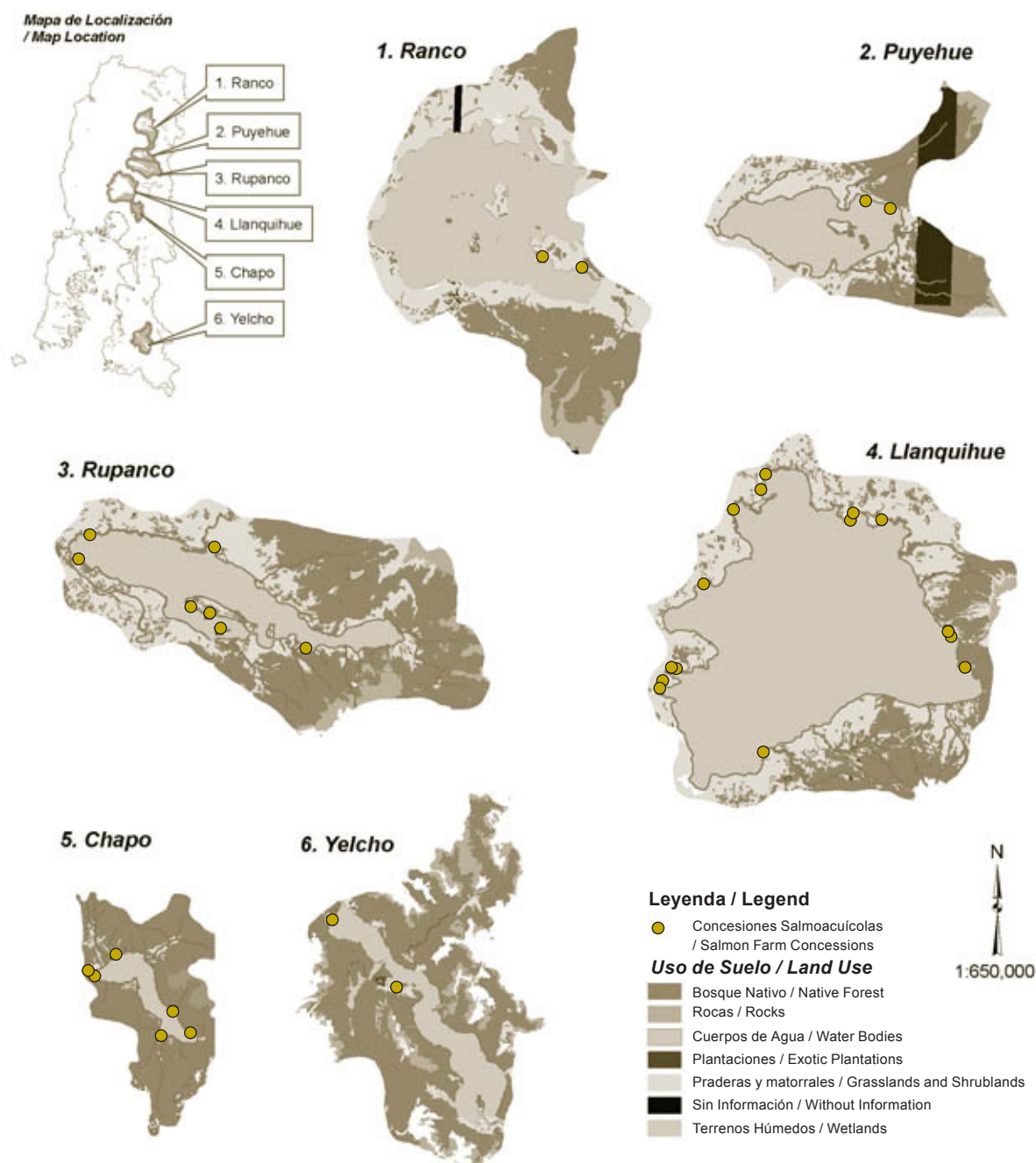
Figure 4. Land use (%) in lake watersheds of the Valdivian Ecoregion used for salmon farming. Original figure based on information in CONAF *et al.*, 1998.

¹En Chiloé el bosque nativo se encuentra dominado fundamentalmente por especies como *Drimys winteri*, *Tepualia stipularis*, *Myrceugenia chrysocarpa*, *Aextoxicon punctatum*, *Genuina avellana*, *Podocarpus nubigena* y *Nothofagus nitida*, *N. dombeyi*, *N. antarctica* y *N. pumilio* (Villalobos *et al.*, 2003).

²The native forest of the island of Chiloé is dominated mainly by *Drimys winteri*, *Tepualia stipularis*, *Myrceugenia chrysocarpa*, *Aextoxicon punctatum*, *Genuina avellana*, *Podocarpus nubigena* and *Nothofagus nitida*, *N. dombeyi*, *N. antarctica* and *N. pumilio* (Villalobos *et al.*, 2003).

Fig.5

Uso de suelo en cuencas de lagos Araucanos y Sur-Patagónicos Land use in Araucarian and South Patagonian Watersheds lakes



Fuente / Source:

Concesiones salmoacuícolas: Subsecretaría de Pesca (Subpesca) / Salmon Farm Concessions: Undersecretary of Fisheries.

Cuencas lacustres: Dirección General de Aguas (DGA) / Watershed boundaries: General Water Resources Department.

Uso de Suelo: CONAF, CONAMA, BIRF, UACH, 1998. Monitoreo y Actualización. Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. / Land use: CONAF (National Forest Service), CONAMA (National Environmental Commission), BIRF (International Bank for Reconstruction and Development); UACH (Universidad Austral de Chile, 1998. Monitoring and update. Overview and assessment of Chile's native vegetation resources.



Aldo Farías
Sistemas de Información
Geográfica
WWF Chile

conservación se encuentran en las cuencas de los lagos Cucao y Tehueico, sistemas en los cuales el uso de suelo asociado a bosque nativo cubre gran parte de la superficies de drenaje (~90% bosque nativo). Esta cobertura decrece en los restantes lagos, particularmente en las cuencas del Popetán, San Antonio y Natri, donde la superficie ocupada por pradera y matorrales se incrementa (>25%), sin embargo no llegan a superar los porcentajes descritos para los lagos Araucanos² (Figuras 4, 5 y 6).

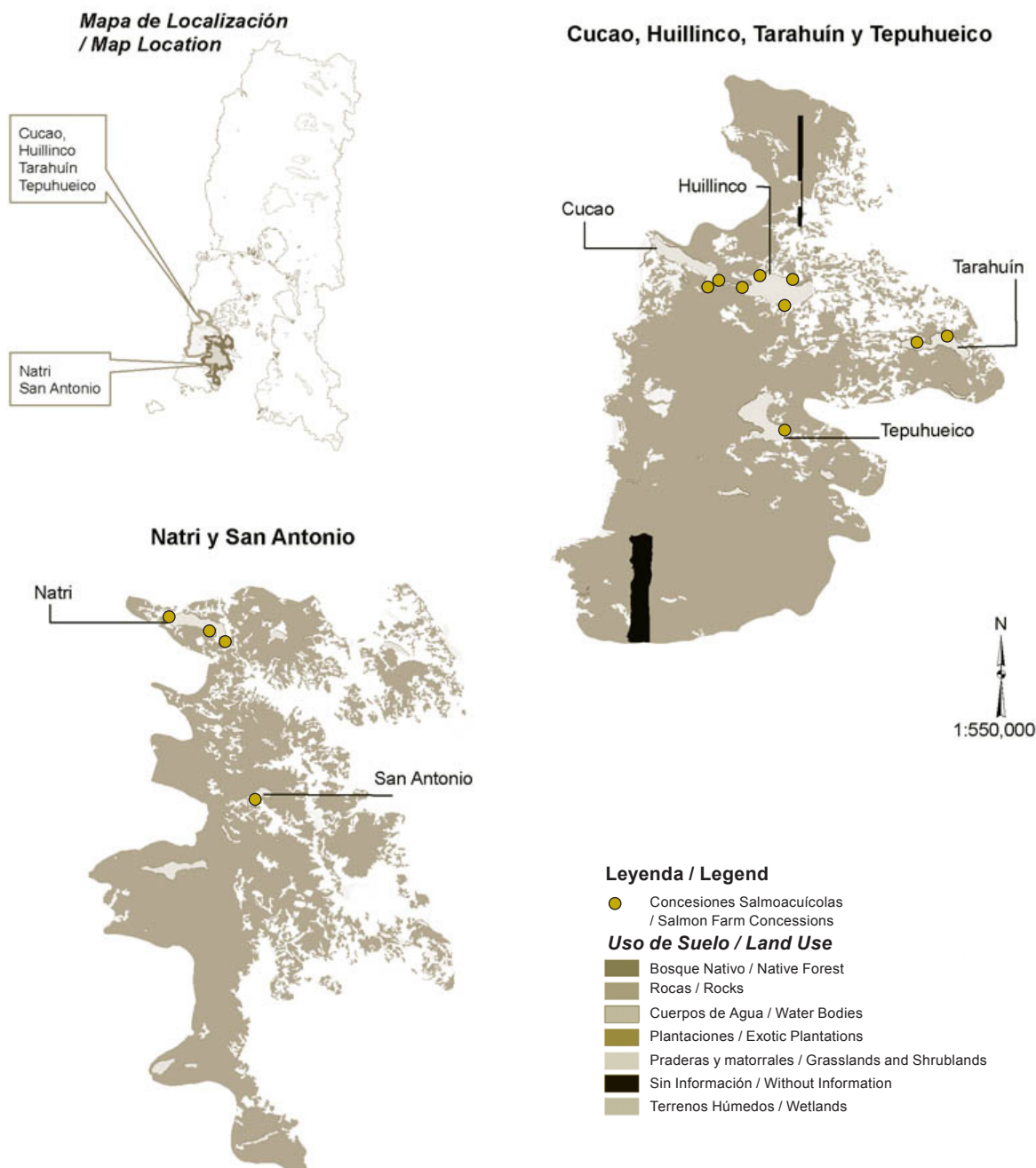
renewal times (0.5 – 0.6 years) and low transparency (~7 – 8 m) in relation to depth (Yelcho = 135m; Riesco = 66.5m). A distinctive characteristic of these systems is the large size of their watersheds, with Ao/Ad ratios between 17.5 and 21.5 times the area of their water bodies (Figures 1 and 3). Land cover in these watersheds is primarily native forest (>60%), while the remaining area is dominated by bare soils and permanent snow and ice³ (Figures 4 and 5).

Figure. 5 Concesiones salmoacuícolas y uso de suelo en cuencas lacustres del distrito Araucano y Sur-Patagónico. Formulación propia a partir de información proporcionada por Subpesca y Sernapesca, y registrada por CONAF et al., 1998.

Figure 5. Salmon farms and land use in lake watersheds of the Araucano and South Patagonian districts used for salmon farming. Original figure based on information provided by Subpesca and Sernapesca, and in CONAF et al., 1998.

Fig.6

Uso de suelo en cuencas de lagos de Chiloé Land use in Chiloé Island Watersheds



Fuente / Source:
Concesiones salmoacuícolas: Subsecretaría de Pesca (Subpesca) / Salmon Farm Concessions: Undersecretary of Fisheries.

Cuencas lacustres: Dirección General de Aguas (DGA) / Watershed boundaries: General Water Resources Department.

Uso de Suelo: CONAF, CONAMA, BIRF, UACH, 1998. Monitoreo y Actualización. Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. / Land use: CONAF (National Forest Service), CONAMA (National Environmental Commission), BIRF (International Bank for Reconstruction and Development); UACH (Universidad Austral de Chile, 1998. Monitoring and update. Overview and assessment of Chile's native vegetation resources.



Aldo Farías
Sistemas de Información
Geográfica
WWF Chile

Figure 6. Concesiones salmoacuícolas y uso de suelo en cuencas lacustres de la Isla de Chiloé. Formulación propia a partir de información proporcionada por Subpesca y Sernapesca, y registrada por CONAF *et al.*, 1998.

Figure 6. Salmon farms and land use in lake watersheds on the Island of Chiloé. Original figure based on information provided by Subpesca and Sernapesca, and in CONAF *et al.*, 1998.

Lagos Sur-Patagónicos

Los lagos Yelcho y Riesco, categorizados como lagos Sur Patagónicos, son sistemas monomícticos templados con circulación invernal y estratificación estival ($\sim 9^{\circ}\text{C}$) (Prado *et al.*, 1999). Sus tiempos de renovación (0,5 – 0,6 años) son significativamente menores que los lagos Araucanos, y sus niveles de transparencia son relativamente bajos ($\sim 7 - 8\text{m}$) en relación a sus profundidades (Yelcho = 135m; Riesco = 66,5m). Una característica distintiva de estos sistemas es la marcada influencia de sus cuencas de

drenaje, las cuales alcanzan relaciones (A_o/A_d) entre 17,5 y 21,5 veces el área superficial de sus cuerpos de agua (Figuras 1 y 3).

Estas cuencas presentan usos de suelo preferentemente asociados a bosque nativo (>60%), siendo las superficies restantes de las cuencas fuertemente dominadas por suelos descubiertos, nieves o hielos eternos³ (Figuras 4 y 5).

3.3 Valores de biodiversidad

Las notables características medioambientales y el aislamiento biogeográfico de los sistemas límnicos de Chile (cordilleras de la Costa y de Los Andes, Océano Pacífico y Desierto de Atacama) han propiciado que estos cuerpos dulceacuícolas alberguen una composición ecológica única (Armesto *et al.*, 1996; Habit *et al.*, 2006). La cual destaca notablemente por retener caracteres primitivos y altos niveles de endemismo (Campos *et al.*, 1993; Ruiz & Berra 1994; Vila *et al.*, 1999; Dyer 2000).

En este contexto uno de los grupos taxonómicos que sobresale, ya sea por su relevancia o por el interés científico que genera, es la ictiofauna nativa, constituida por 11 familias, 17 géneros y alrededor de 44 especies, de las cuales un 81% es endémica a la provincia biogeográfica chilena (Habit *et al.*, 2006). A escala latitudinal la zona centro sur de Chile concentra la mayor riqueza de especies ícticas dulceacuícolas, las que al igual que en todo el territorio nacional, se caracterizan por presentar pequeños tamaños corporales y ser altamente sensibles a las alteraciones de su hábitat (Arratia 1983; Vila *et al.*, 1999; Habit 2005; Habit *et al.*, 2006). Especies nativas que incluyen: *Aplochiton zebra*, *Aplochiton taeniatus* (peladillas), *Trichomycterus areolatus* (bagrecito), *Percilia gillissi* (carmelita), *Basilichthys australis* (pejerrey chileno), *Odontesthes mauleanum* (cauque), *Percichthys trucha* (perca trucha), *Cheirodon australe* (pocha del sur), *Brachygalaxias Bullocki*, *Galaxias platei* y *Galaxias maculatus* (puyes) (Vila *et al.*, 2006).

Esta zona geográfica, donde se emplazan los lagos Araucanos, entre las cuencas de los ríos Toltén y Maullín, aunque ha sido poco estudiada, podría ser el área de mayor prioridad para la conservación acuática (EULA, 2007; Soto & Campos, 1996; Vila *et al.*, 2006). La razón de ello se encuentra en que ésta es un área relativamente bien conservada en relación a la zona de Chile central, la cual ha sufrido una fuerte pérdida de hábitat y especies, y por otro lado, por la disminución en la riqueza de especies que ocurre al sur de los 42°S.

La biodiversidad dulceacuícola se encuentra altamente amenazada por la combinación de las fuertes alteraciones a nivel de paisaje, como la sustitución de bosque nativo por plantaciones exóticas, canalización o embalse de cauces, drenaje de humedales, adición de nutrientes (agricultura), contaminación difusa por pesticidas, vertido de residuos (industrias y ciudades) e introducción de

3.3 Biodiversity values

The biogeographical isolation caused by the Coastal and Andean ranges, the Pacific Ocean and the Atacama Desert, and the distinctive environmental characteristics of Chile's freshwater systems, have resulted in the unique ecological composition of these water bodies (Armesto et al., 1995; Habit et al., 2006). The high levels of endemism and the presence of primitive characteristics found in these systems is particularly striking (Campos et al., 1993; Ruiz & Berra, 1994; Vila et al., 1999; Dyer 2000).

Native fish diversity includes 11 families, 17 genera and approximately 44 species, of which 81% are endemic to the Chilean biogeographical province (Habit et al., 2006). The highest species richness of freshwater fish is found in the South-Central area of Chile roughly corresponding to the northern half of the Valdivian Ecoregion. Species are typically small and highly sensitive to habitat alteration (Arratia 1983, Vila et al., 1999, Habit 2005; Habit et al., 2006). Native species include: Aplochiton zebra, Aplochiton taeniatus (peladillas), Trichomycterus areolatus (bagrecito), Percilia gillissi (carmelita), Basilichthys australis (pejerrey chileno), Odontesthes mauleanum (cauque), Percichthys trucha (perca trucha), Cheirodon australe (pocha del sur), Brachygalaxias Bullocki, Galaxias. platei and Galaxias maculatus (puyes) (Vila et al., 2006).

While still relatively little studied, the geographic area that corresponds to the Araucano lake district and the watersheds between the Toltén and Maullín Rivers, likely constitutes one of the country's main freshwater conservation priority areas (Eula 2007; Soto & Campos, 1996; Vila et al., 2006). This is due to the relatively intact status of water bodies relative to the Central Chile zone which has suffered extensive habitat and species losses, as well as the decline in aquatic species richness south of 42°.

Freshwater biodiversity is currently highly threatened due to a combination of landscape change such as the conversion of native forests, construction of dams, drainage of wetlands, agricultural pollution, pesticide contamination, dumping of industrial and urban waste and the introduction of invasive species particularly salmonids (Habit & Parra, 2001; Habit et al., 2002; Habit et al., 2005; 2006; Zama & Cárdenas, 1982; Ruiz & Berra, 1994; Vila et al., 1999b; Soto et al., 2006). Ninety-three percent of native freshwater fish species are threatened, 40% are endangered, and only two

³ El bosque nativo en estas cuencas es dominado por *Nothofagus nitida*, *N. betuloides*, *N. pumilio*, *Laurelia philippiana*, y *Luma apiculata* (Campos *et al.*, 1999; Prado *et al.*, 1999).

³ The native forest is comprised of *Nothofagus nitida*, *N. betuloides*, *N. pumilio*, *Laurelia philippiana*, and *Luma apiculata* (Campos *et al.*, 1999; Prado *et al.*, 1999).

especies exóticas, como los salmónidos (Habit & Parra, 2001; Habit *et al.*, 2002; 2005; 2006; Zama & Cardenas, 1982; Ruiz & Berra, 1994; Vila *et al.*, 1999; Soto *et al.*, 2006). Sólo a nivel de peces nativos, se advierte que un 93% de la fauna ictica dulceacuicola se encuentra clasificada bajo amenaza, un 40% en peligro de extinción, y sólo dos especies como fuera de peligro (*Cheirodon australe* y *Mugil cephalus*) (Campos *et al.*, 1998; OCDE & CEPAL, 2005; Vila *et al.*, 2006).

Pero sin lugar a dudas, más que las transformaciones de paisaje y las variables biológicas, la falta de información científica se constituye como uno de los principales problemas, el cual no sólo ha sido descrito para peces (Habit *et al.*, 2006) sino que es transversal a otros grupos como los protozoos (Woelfl, 2006), crustáceos (Villalobos, 2006), anfibios e incluso mamíferos como la nutria de agua dulce o Huillín (*Lontra provocax*) la cual en particular presenta una fuerte interacción ecológica con actividades productivas desarrolladas sobre estos cuerpos de agua, como la salmonicultura (Sielfeld & Castilla, 1999).

A pesar del consenso del alto nivel de amenaza, los actuales vacíos en cuanto a distribución, abundancia y sistemática, no permiten estimar con exactitud el real grado de vulnerabilidad, amenaza e impacto de las actividades antrópicas en la mayoría de los ecosistemas, no pudiéndose generar medidas adecuadas de mitigación y manejo, frente a amenazas tan significativas como el 40% de riesgo de extinción que presentan los peces de agua dulce de Chile (Habit *et al.*, 2006).

3.4 Valor social de los lagos

Además de los valores relativos a la biodiversidad, las cuencas lacustres del sur de Chile, al proveer un amplio rango de servicios ecosistémicos, se constituyen como recursos nacionales y mundiales de alto valor, y contribuyen de manera fundamental a la identidad de esta región. Por lo cual, la salmonicultura en lagos también debiese ser evaluada en términos de impactos a otros valores económicos, sociales y culturales.

En el sur de Chile, los lagos son actualmente el centro indiscutible de nuevos proyectos residenciales, recreacionales y turísticos. En específico la presencia de sistemas lacustres extensos y prístinos se constituye como una atracción central, tanto para el turista nacional como para el extranjero. Siendo, según los propios visitantes, la calidad de estos lagos y ríos, uno de los factores determinantes en la elección de este destino turístico. En Chile, el turismo internacional ha crecido significativamente durante los últimos 10 años, desde un millón 450 mil visitantes en el año 1996 a 2 millones 250 mil en el año 2006. Este crecimiento, según proyecciones, alcanzará los tres millones de personas en 2010. Los ingresos totales de éste, aún incipiente sector, sólo en la Región de los Lagos se estiman en US\$113 millones⁴.

species are classified as out of danger (Cheirodon australe y Mugil cephalus) (Campos et al., 1998; OCDE & CEPAL, 2005; Vila et al., 2006).

A major underlying problem is the lack of scientific knowledge in Chile, not only regarding freshwater fish (Habit et al., 2006), but also protozoa (Woelfl, 2006), crustaceans (Villalobos, 2006), amphibians, and even mammals such as the southern river otter (Lontra provocax). It is clear however, that the ecological interactions of these species have changed markedly as a result of productive activities such as salmon farming carried out in freshwater bodies (Sielfeld & Castilla, 1999).

Despite consensus on the high level of overall threat, the current information gaps regarding species distributions, abundance, and systematics do not allow precise estimates of the degree of vulnerability, threat and impact of human activities in most individual ecosystems. This, in turn, impedes the development of sound mitigation and management measures, even in the face of an endangered classification for 40% of fish species (Habit et al., 2006).

3.4 Social values of lakes

In addition to biodiversity values, lake watersheds in Southern Chile provide a range of ecosystem services and are highly valued national and global resources that have contributed fundamentally to the region's identity. Salmon production within the lakes should thus be evaluated also in terms of impacts to other economic, social and cultural values. Lakes are currently the undisputed center of new residential development, recreation and tourism in Southern Chile. In particular, the presence of large, pristine lake systems is a core attraction cited by both national and international tourists. International tourism has grown over the last ten years in Chile from 1.450.000 visitors in 1996 to 2.250.000 in 2006, and is projected to continue to increase to three million in 2010. Total annual revenues of this, still incipient, sector in the Lakes Region are estimated at US\$113 million⁴.

⁴Informe de prensa. SERNATUR. 4 de abril de 2006. Diario El Gong.

⁴Press release. SERNATUR. 4 april 2006. Diario El Gong.

Fig.7

Lagos / Lakes	Salmón del Atlántico / Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i>)	Salmón del Pacífico / Pacific salmon (<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	Trucha Arco Iris / Rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
Araucanos / Araucanian			
Ranco	2,1	0,7	0,3
Puyehue	3,7	1,0	0,5
Rupanco	10,8	1,2	6,6
Llanquihue	20,8	6,7	5,1
Chapo	2,1	0,4	3,4
Isla de Chiloé / Chiloe island			
Popetán	0,2	0,2	0,9
Cucao	0,4	0,0	2,0
Tepuhueico	0,9	0,6	0,4
Huillínco	3,0	5,3	1,5
Tarahuln	1,1	0,7	2,5
Natri	1,1	6,9	0,7
San Antonio	0,5	0,0	0,0
Sur Patagónico / South Patagonian			
Yelcho	1,2	0,0	0,0
Riesco	0,1	0,4	0,8
Total Lagos / Lakes	48,2	24,1	24,8
Araucanos / Araucanian (%)	82,3	41,6	64,3
Isla de Chiloé / Chiloe island (%)	15,0	56,6	32,5
Sur Patagónico / South Patagonian (%)	2,7	1,8	3,2

3.5 Tendencias productivas en la salmonicultura lacustre

La salmonicultura, a lo largo del ciclo de vida de los salmónidos, requiere usar o reproducir distintas características ecológicas, desde condiciones asociadas a agua dulce para la fase ova - alevín, hasta una condición marina para los procesos de engorda. En este contexto, y en función de los cambios fisiológicos que registran los salmónidos, es necesario realizar una etapa de transición entre los ambientes dulceacuícolas y oceánicos, esta etapa es denominada smoltificación.

En Chile, la etapa de smoltificación ha sido realizada fundamentalmente en ríos, lagos y estuarios. Así, entre los años 1998 y 2005 de los mil 606 millones de smolts producidos en Chile, un 60% provino de centros de cultivos dulceacuícolas, en particular desde los lagos de la Ecorregión Valdiviana (46% del total nacional de smolts), y un 40% de áreas estuariales.

En específico en los lagos de la Ecorregión Valdiviana, y en concordancia con las exportaciones salmoacuícolas chilenas, se smoltifican las especies salmón del Atlántico (*Salmo salar*) (49,6%), trucha Arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) (24,9%) y salmón del Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*) (25,5%). Siendo los lagos Araucanos responsables del 82,3% del salmón Atlántico y el 64,3% de la trucha Arco iris, hegemonía que sólo pierden en relación al salmón del Pacífico, que en un 56,6% es producido en los lagos de la Isla de Chiloé (Figura 7).

En el tiempo, el aporte relativo de los ecosistemas dulceacuícolas a la producción nacional de smolts ha decrecido (1998 – 2005), incrementándose significativamente la smoltificación en estuarios y en los dos últimos años (2005 – 2006) en centros de

3.5 Trends for salmon production in lakes

Salmon farming requires the use, or imitation, of different ecological conditions that match the life cycle phases of the species. This includes freshwater conditions for the ova-alevin stage to marine conditions for the maturation of adults. An intermediate or transition phase between freshwater and oceanic environments is required, and is known as smoltification.

*In Chile, the smolt stage has primarily been carried out in lakes, rivers and estuaries. Between 1998 and 2005, approximately 1.6 billion smolt were produced in Chile, of which 60% came from freshwater sites located primarily in lakes of the Valdivian Ecoregion (46% of the total), and the remaining 40% from estuaries. Specifically in lakes, and paralleling Chilean exports, species used include Atlantic salmon (*Salmo salar*) (49.6%), Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) (24.9%) and Pacific salmon (*Oncorhynchus kisutch*) (25.5%). The Araucano lakes produce 82.3% of Atlantic salmon and 64.3% of Rainbow trout, while Chiloé Island lakes dominate the production of Pacific salmon (56.6%) (Figure 7).*

Over the period 1998-2005, the relative contribution of freshwater ecosystems in national smolt production has declined, with the increase of smoltification in

Fig.8

Años / Year	Lago / Lake	Río / River	Estuario / Estuary
1998	58	12	21
1999	75	19	33
2000	102	24	39
2001	91	25	61
2002	85	26	67
2003	96	32	167
2004	107	34	140
2005	111	49	133

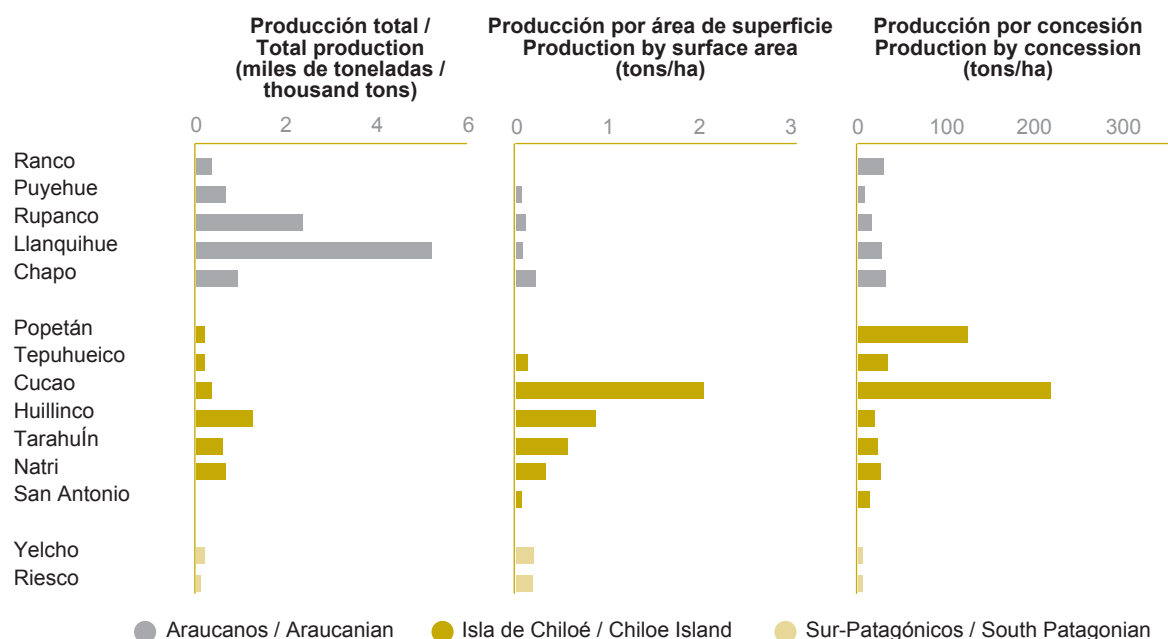
Figura 7. Producción anual promedio (1998-2005) de smolts (millones de individuos) en los ecosistemas lacustres de la ecorregión Valdiviana, por especie en cultivo. Elaboración propia, fuente: Subpesca, Sernapesca.

Figure 7. Average annual (1998-2005) smolt production (millions of individuals) in lake ecosystems of the Valdivian Ecoregion, by farmed species. Original figure based on information provided by Subpesca and Sernapesca.

Figura 8. Tendencia histórica (1998 – 2005) de la producción total de smolts en Chile (millones de individuos). Elaboración propia, fuente: Sernapesca.

Figure 8. Historical trend (1998 – 2005) of total smolt production in Chile (millions of individuals). Original figure based on information provided by Sernapesca.

Fig.9



tierra con sistemas de recirculación. De este modo, en el año 1998 los ecosistemas dulceacuícolas explicaban el 75% de la producción nacional de smolts (63% en lagos), aporte que decreció a un 56% durante el año 2005 (38% en lagos). Sin embargo, aunque el aporte relativo desde los centros de agua dulce ha disminuido, sus niveles de producción neta se han duplicado (lagos) e incluso cuadruplicado (ríos) (Figura 8).

Entre los años 1998 y 2005, los lagos Araucanos explicaron el 70% de la producción de smolts (~64 millones de smolts/año; 7.892 tons/año) provenientes de los sistemas lacustres de la Ecorregión Valdiviana (~92 millones de smolts/año; 10.450 tons/año), porcentaje significativamente modelado por el lago Llanquihue (35,4%) y en forma secundaria por el lago Rupanco (20,3%). En los lagos de la Isla de Chiloé (~25 millones smolts/año; 2.448 tons/año) la producción se concentró fundamentalmente en los lagos Huillínco (9,9% de la producción nacional) y Natri (8,9% de la producción nacional. Por su parte, los lagos Sur-Patagónicos sólo representaron el 2,2% de la producción de smolts en sistemas lacustres de Chile (Figuras 2 y 9).

Entre los años 1998 y 2005, la tendencia productiva desarrollada en los lagos de la Ecorregión Valdiviana fue divergente entre los tres distritos lacustres. Así en los lagos Araucanos hubo un incremento continuo en los niveles de producción. En tanto la Isla de Chiloé mostró patrones de comportamiento dispares, con ostensibles aumentos en los rangos de producción de algunos lagos (Tepuhueico, Tarahuín y Natri) y fuertes disminuciones en otros (Cucao, Huillínco y San Antonio). Finalmente en los lagos Sur-Patagónicos la producción de smolts alcanzó sus mayores niveles de producción a comienzos del año 2000 para decrecer fuertemente en los últimos años (Figura 10).

estuaries, and over the last two years in land-based recirculation systems. Thus, in 1998, 75% of all smolt production in Chile took place in freshwater ecosystems (63% in lakes) while in 2005 this figure had dropped to 56% (38% in lakes). Nonetheless, while the proportion of smolt production in freshwater installations has decreased, in absolute terms, it has doubled in lakes and quadrupled in rivers (Figure 8).

Between 1998 and 2005, the Araucano lakes accounted for 70% (~ 64 million smolt/year; 7,892 tons/year) of the total production (~ 92 million smolt/year; 10,450 tons/year), a significant percentage of which came from Lake Llanquihue (35.4%) and Lake Rupanco (20.3%). Production in Chiloé Island lakes (~ 25 million smolt/year; 2,448 tons/year) was concentrated primarily in Lake Huillínco (9.9% of national production) and Lake Natri (8.9% of national production). The South Patagonian lakes represented only 2.2% of the total smolt production in Chilean lake systems (Figures 2 and 9).

Production tendencies differed significantly between the three lake districts over the 1998-2005 period. The Araucano district showed a steady increase in production, while some lakes on Chiloé Island showed rapid decreases (Cucao, Huillínco and San Antonio) and others significant increases (Tepuhueico, Tarahuín and Natri). Smolt production reached peak levels in 2000 then sharply declined in the South Patagonian lakes (Figure 10).

Figura 9. Producción promedio (1998 – 2005) en los lagos de la ecorregión Valdiviana, en relación al área de cada lago, y al área concesionada para salmoneicultura. Formulación propia a partir de información proporcionada por Sernapesca y datos recopilados en Campos, 1995; Campos *et al.*, 1988, 1989, 1992 a, 1992 b, 1997, 1999; Prado, 1999 y Villalobos *et al.*, 2003.

Figure 9. Average production (1998-2005) in lakes of the Valdivian Ecoregion in relation to the area of each lake and the area concessioned for salmon farming. Original figure based on information provided by Sernapesca and data compiled in Campos, 1995; Campos *et al.*, 1988, 1989, 1992 a, 1992 b, 1997, 1999; Prado, 1999 and Villalobos *et al.*, 2003.

Fig.10



Figure 10. Tendencia temporal (1998 – 2005) de la producción de smolts en los lagos de la Ecorregión Valdiviana (producción de smolts (Nº) / área del lago (ha)). Formulación propia a partir de información proporcionada por Sernapesca.

Figure 10. Smolt production trends over time in lakes of the Valdivian Ecoregion (smolt amount / surface lake (ha)). Original figure based on information provided by Sernapesca.

3.6 Alternativas de cultivo de mínimo impacto: Pisciculturas de recirculación

En Chile, históricamente las primeras etapas del cultivo de salmónidos, desde ovas a smolts, ha implicado la utilización de diversos cuerpos de agua dulce y estuariales, con la consiguiente presión medioambiental que esto implica. A partir del año 2003 se incorporó una nueva alternativa de cultivo, que diversifica la otrora matriz de producción (jaulas en lagos, ríos y estuarios; pisciculturas de paso o flujo abierto), implementándose centros cerrados con tecnologías de recirculación, los cuales han permitido

3.6 Minimum impact farming alternatives: Closed-containment recirculation systems

Historically, the first stages of salmon farming in Chile (from ova to smolt) have relied on estuaries and freshwater bodies with the environmental pressures that this entails. Starting in 2003, the industry diversified from traditional technologies (net pens in lakes, rivers and estuaries; and open-flow hatcheries) with the introduction of closed-containment systems with water recirculation technology. These closed systems minimize environmental impacts such as escapes and nutrient input (P, N) from uneaten feed

minimizar impactos medioambientales como los escapes y los aporte de nutrientes -fósforo (P) y nitrógeno (N)- por alimento no ingerido o defecado. Inversiones en estas tecnologías, hasta la etapa de alevinaje, han sido realizadas por las empresas Ecofish, Camanchaca, Granja marina Tornagaleones, Marine Harvest, y Multiexport. Este proceso fue acelerado con la reactivación de la industria posterior a la crisis del sector en el año 2001-2002.

El control de las variables bióticas (e.g., patógenos) y abióticas (e.g., temperatura, concentraciones de oxígeno disuelto) posibilita que estos nuevos sistemas de cultivo reduzcan los rangos de mortalidad, obtengan menores tasas de conversión, mejoren los índices de crecimiento y realicen un mayor número de rotaciones de cultivo por año (Figura 11). Además, el desarrollo de pisciculturas de recirculación de gran escala, permite reducir la dispersión geográfica de los procesos productivos, centralizando y minimizando los costos de transporte y gestión. En su conjunto estas ventajas significan una reducción significativa en el costo total de producción.

Actualmente, la implementación de pisciculturas de recirculación permite el ingreso de salmónidos de mayor peso a los lagos, lo que se traduce en menores periodos de smoltificación; pero de forma óptima, permite completar estas etapas de cultivo (smolts) en sistemas cerrados, obviando la necesidad de producción en lagos y aliviando las presiones medioambientales propias de cultivar en sistemas abiertos.

Según la experiencia a la fecha, el costo de construcción de una piscicultura de recirculación es comparable con el costo de construcción de una piscicultura de paso tradicional. Aproximaciones actuales, cifran que para un sistema productivo con esta tecnología, la inversión, dependiendo de varios factores (e.g., tamaño de la piscicultura, biomasa y peso esperado de los smolts), es del orden de US\$ 1 por smolt producido a ciclo completo, mientras que para una tradicional es del orden de US\$ 0,85.

La primera empresa en cerrar este ciclo, (ova - smolt), bajo tecnología de recirculación, ha sido Fjord Seafood, ahora parte de la nueva Marine Harvest. Actualmente esta empresa cuenta con la capacidad de producir 40 millones de alevines (piscicultura Río Blanco en sector de Correntoso-Puerto Montt, cuyo costo de inversión fue de US\$ 6 millones) y 10 millones de smolts (piscicultura Rauco en Chiloé, con US\$ 7,2 millones en costo de inversión), lo que representa el 53% de su producción total de ovas, el 61% de su producción de alevines y el 21% de su producción total de smolts. La puesta en marcha de este sistema reemplazó la producción de 13 centros de cultivo emplazados en diversos cuerpos de agua dulceacuicolas. Al año 2008 se proyecta que esta piscicultura de smoltificación alcance los 20 millones de smolts. Según proyecciones de esta empresa, la cual representa el 20% de la exportación total de salmónidos de Chile, será factible ampliar el uso de esta tecnología para la totalidad de su producción en agua dulce y estuarios dentro de un corto plazo⁵.

and excrement. The companies Ecofish, Camanchaca, Granja Marina Tornagaleones, Marine Harvest, and Multiexport have all made investments in this technology for the ova-alevine phase, especially during the reactivation of the industry after the economic crisis experienced in 2001-2.

The control of biotic (e.g., pathogens) and abiotic variables (e.g., temperature, concentration of dissolved oxygen) allows closed-containment recirculation systems to reduce mortality levels, obtain lower conversion rates, improve growth and increase the number of rotations per year (Figure 11). In addition, the development of large-scale recirculation plants allows a reduction in the historic geographic dispersion of production, and a consequent reduction in transportation and management costs.

Currently, the use of recirculation systems allows salmonids to be introduced into lakes at a higher weight, resulting in shorter smolting periods in open systems. Optimally, however, the entire ova to smolt cycle can be completed entirely in closed systems, eliminating the need for production in lakes and alleviating the environmental pressures inherent to open farming systems. Experience to date suggests that the cost of construction of a recirculation plant is comparable to that of a traditional flow-through hatchery. According to a common approximation in the industry, the investment, required using recirculation systems -depending on various factors such as plant size, biomass, and smolt size desired- is around US\$1 per smolt produced for the entire cycle, as compared to US\$0.85 for flow-through systems.

The first company to close the ova-smolt cycle by using recirculation technology was Fjord Seafood, now part of Marine Harvest. They currently have the capacity to produce 40 million alevin (or fry) at the Río Blanco plant in Correntoso- Puerto Montt with a construction cost of US\$6 million, and 10 million smolt at the Rauco plant in Chiloé with a construction cost of US\$7.2 million. This represents 53% of ova production, 61% of alevine and 21% of total smolt production for the company. Installation of this system replaced the production of 13 facilities located in different freshwater bodies. Marine Harvest projects an increase in capacity to 20 million smolt/year in 2008. Furthermore, the company considers replacement all of its freshwater and estuary production with recirculation technology to be feasible over the short-term⁵.

Fig.11

Indicadores / Indicators	Sistemas de flujo abierto / Flow-Through Systems	Sistemas de recirculación / Recirculation Systems
Mortalidad / Mortality (%)	48	28
Factor de conversión / Conversion factor	1,2	0,8
Índices de crecimiento / Growth index (meses / months)	8	6 - 12
Nº ovas por smolt / Nº of egg per smolt	3,1-3.5	1.2 - 1,5
Rotaciones / Rotations (Nº/año / Nº/year)	2	5 - 6

⁵Oscar Garay Freshwater manager Marine Harvest, Personal communication, 5 de junio de 2007.

Figura 11. Comparación entre factores de productividad asociados a centros de cultivo con flujo abierto y pisciculturas con tecnología de recirculación. Formulación propia a partir de comunicación personal con Oscar Garay, Gerente agua dulce, Marine Harvest, Chile.

Figure 11. Comparison of factors in productivity associated with open-flow fish farms and farms with recirculation technology. Original figure based on personal communication with Oscar Garay, Freshwater manager, Marine Harvest, Chile.

4. Discusión ~ Discussion

4.1. Impactos medioambientales en los lagos

Los impactos de la salmonicultura sobre el medioambiente han sido ampliamente estudiados a nivel global, sin embargo en Chile la información respecto de la magnitud de sus efectos es muy escasa (Soto & Norambuena, 2004). A pesar de que el vertiginoso desarrollo económico y expansionista de la salmonicultura chilena sólo es y ha sido posible en función de las óptimas condiciones medioambientales que presentan los cuerpos de agua de esta Ecorregión, aún persiste una fuerte carencia con respecto a cómo administrar esta actividad bajo un enfoque ecosistémico (Mulsow *et al.*, 2006).

Un aspecto distintivo de la industria salmoacuícola chilena ha sido la fuerte presión de uso que han ejercido sobre los sistemas dulceacuícolas para la generación de las primeras etapas de cultivo (ovas – smolts). En específico los principales impactos de la salmonicultura en los lagos se relacionan con la introducción de especies invasoras, el aporte de nutrientes y el uso de químicos y antibióticos. Así estos cuerpos de agua, forjados a lo largo de miles de años por continuos cambios geomorfológicos (e.g., glaciaciones, volcanismo y terremotos, entre otros) y por un prolongado aislamiento biogeográfico (Armesto *et al.*, 1996; Vila *et al.*, 2006), han sido claramente subvalorados.

4.1.1. Especies invasoras, enfermedades y uso de químicos

Originalmente Chile no exhibía la presencia de especies salmonídeas, condición de prístinidad que cambió bruscamente a finales del siglo XIX con la liberación de las truchas Arco iris y café (*Oncorhynchus mykiss* y *Salmo trutta*) (Soto *et al.*, 1997) y se maximizó rápidamente con los inicios de la salmonicultura intensiva y los eventos circunstanciales asociados a esta industria, como los escapes de peces desde los centros de cultivo.

La introducción de los salmónidos y su notable asentamiento se ha visto favorecido por las excelentes variables abióticas, la baja presión de depredación (Soto *et al.*, 2001) y los pequeños tamaños corporales de la fauna íctica nativa (54%; <15 cm) (Vila *et al.*, 2006), condiciones que en conjunto han constituido una alta riqueza de invasibilidad (Case, 1991). En la Ecorregión Valdiviana, esta baja resistencia a la invasión, se ve reflejada en lagos y ríos de diferente orden, en los cuales se ha descrito la presencia de siete especies exóticas, de las cuales cinco corresponden a salmonídeos (Soto *et al.*, 2006). Los patrones de abundancia de estas especies invasoras en lagos y ríos asociados a salmonicultura, sugieren un rol significativo por parte de los escapes de salmónidos en cultivo. En lagos con salmonicultura destaca la presencia de las tres especies históricamente cultivadas (trucha Arco Iris, salmónes Atlántico y Pacífico). En los ríos de la Ecorregión, trucha Arco Iris resulta más abundante en la Cordillera de los Andes (área con mayor concentración de pisciculturas), mientras las especies nativas lo son en la Cordillera de la Costa (Soto *et al.*, 2006). En específico la salmonicultura durante los últimos

4.1. Environmental impacts in lakes

*The environmental impact of salmon farming has been well studied internationally, but information specific to its effects in Chile is scarce (Soto & Norambuena, 2004). Despite the fact that the rapid expansion and economic development of Chilean salmon farming has been possible only thanks to the optimum environmental conditions found in water bodies of the Valdivian Ecoregion, an enormous lack of know-how for ecosystem management persists (Mulsow *et al.*, 2006). As a result, the Chilean industry has exerted heavy pressure on freshwater systems in the first stages of salmon production (ova through to smolts). The principal effects of salmon farming in lakes are the introduction of invasive species, nutrient input and the use of chemicals and antibiotics.*

*These water bodies, formed over thousands of years by continuous geomorphological processes (e.g., glaciation, volcanism, earthquakes etc.) and prolonged biogeographical isolation (Armesto *et al.*, 1995; Vila *et al.*, 2006) have clearly been under-valued.*

4.1.1 Invasive species, diseases and use of chemicals

*Originally there were no salmonids in Chile but this began to change rapidly with the introduction of exotic rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*) at the end of the 19th century (Soto *et al.*, 1997), and salmonid abundance has increased rapidly with the initiation of intensive salmon farming and the associated escape of salmonids from farms.*

*The introduction of salmonids was favoured from the beginning by excellent abiotic factors, low predation pressure (Soto *et al.*, 2001) and the small body size (54%; <15 cm) of native fish (Vila *et al.*, 2006), factors which have resulted in a low resistance to invasion (Case, 1991). In the Valdivian Ecoregion, this low resistance to invasion is apparent in lakes and rivers where 7 exotic fish species--5 of which are salmonids--have been found (Soto *et al.*, 2006). Over the last 25 years, salmon farming has contributed significantly to wild salmonid populations through massive losses of individuals from farms in freshwater systems where the first stages of development (from ova to smolts) are carried out. No official information exists as to the scale of these escapes nor the spacial distribution of individuals, but numbers have been indirectly estimated at a total of 1 million escapes/year in all of the ecosystems (OCDE & CEPAL, 2005). Patterns of abundance of invasive species in lakes where salmon farming is practiced versus other systems which do not have farms, suggests the important contribution of salmon farms to the spread of invasive species. The most commonly farmed species (Rainbow trout, Atlantic and Pacific salmon) are most commonly observed in lakes with farming, whereas in the short basins of the Coastal Range these species are*

25 años, al involucrar en sus primeras etapas de cultivo (ovas – smolts) a los sistemas dulceacuícolas de la Ecorregión, y al ser responsable de numerosos escapes o pérdidas masivas de ejemplares desde sus centros de cultivo, es también responsable de incrementar las poblaciones de salmonídeos en estado natural. Sin embargo, no existe información oficial sobre los rangos de estos escapes, y menos aún sobre su distribución espacial. Cifras estimadas indirectamente hablan de rangos cercanos a un millón de peces escapados en la totalidad de los ecosistemas utilizados (OCDE & CEPAL, 2005).

A nivel mundial algunas investigaciones describen complejos efectos ecosistémicos asociados a los escapes de salmónidos, con consecuencias potencialmente negativas en la fauna local (Beveridge, 1996) y efectos de cascadas ecológicas que llevan a la proliferación de algas en cuerpos receptores de agua dulce (Simon & Townsend, 2003). En particular en Chile, las poblaciones de peces nativos han sido fuertemente afectadas al poseer una alimentación exclusivamente micróvora y depredadora carnívora, similar a la de los salmónidos; y por otro lado, por utilizar como hábitats zonas fluviales y litorales lacustres de baja profundidad, las que a su vez son áreas preferentemente destinadas a las actividades salmoacuícolas (Arratia et al., 1997; Soto et al., 1997, 2001; Vila et al., 1999; 2006).

Actualmente existe un gran vacío en el conocimiento científico vinculado a estos ecosistemas dulceacuícolas y su interacción con la salmonicultura, el cual por ejemplo a nivel de fauna íctica es mínimo (Dyer, 2000; Gajardo & Laikre, 2002; Habit & Rosenberger, 2004; Habit et al., 2006). Además la información existente no ha sido integrada en el proceso de toma de decisiones, panorama que subestima las condiciones medioambientales de estos cuerpos de agua y no es atinente por ejemplo al 93% de especies ícticas nativas que ya han sido clasificadas como amenazadas o en estado de vulnerabilidad, o al 40% que se encuentra en peligro de extinción (OCDE & CEPAL, 2005; Habit et al., 2006; Vila et al., 2006).

De forma paralela, una de las principales problemáticas relacionadas con la actividad salmoacuícola ha sido las falencias en prevención, control y vigilancia de las condiciones fitosanitarias, lo cual ha propiciado una rápida diseminación y endemismo de enfermedades, tanto en los cultivos intensivos y poblaciones silvestres. Bajo este escenario la industria salmonera chilena ha utilizado en forma constante una gran cantidad de antibióticos, los cuales han sido suministrados fundamentalmente por vía indirecta (baños), sistemas que han sido fuertemente asociados a impactos ambientales negativos (Halley et al., 1989; Thain et al., 1997; Collier & Pinn, 1998), como la disponibilidad para la fauna nativa de antibióticos no asimilados (Bjorklund et al., 1990; Samuelsen et al., 1992). Estudios recientes realizados en sistemas marino-costeros del sur de Chile en donde se desarrolla salmonicultura, demuestran que peces silvestres, incluyendo róbalo (*Scorpaena hystrion*) y cabrilla (*Elginops maclovinus*), ingieren alimento artificial

present at much lower abundances (Soto et al., 2006).

At the international level, some research has described complex ecosystem effects associated with salmonid escapes, such as potentially negative consequences for native fauna (Beveridge, 1996) and ecological domino effects resulting in algal blooms in freshwater bodies (Simon & Townsend, 2003). In Chile, populations of native fish have been particularly affected since they are microvores with a carnivorous predator (salmonids), and use the same shallow river and lakeshore habitats that are preferentially destined for salmon farming activities (Arratia et al., 1997; Soto et al., 1997, 2001; Vila et al., 1999; 2006).

There is a large gap in scientific understanding of freshwater ecosystems and their interactions with salmon farming activities (Dyer 2000, Gajardo & Laikre 2002, Habit & Rosenberger 2004; Habit, et al., 2006). And, the little information that is available, is not sufficiently integrated into decision-making processes, resulting in a lack of consideration of the environmental conditions of these water bodies, and in particular, the 93% of native fish species that are classified as threatened or vulnerable, or the 40 % that are endangered (OCDE & CEPAL, 2005; Habit, et al., 2006; Vila et al., 2006).

*Another important problem related to salmon farming has been the short-comings in disease prevention, control, and monitoring of fish health. This has led to the rapid dissemination and high endemism of diseases in both intensively farmed and wild populations. In response to this problem, the Chilean salmon farming industry has used large quantities of antibiotics which are administered indirectly through immersion baths, a method resulting in negative environmental effects (Halley et al., 1989; Thain et al., 1997; Collier & Pinn, 1998), as it leaves unassimilated antibiotics available for native fauna (Bjorklund et al., 1990; Samuelsen et al., 1992). Recent studies carried out in coastal systems where salmon farming is practiced show that wild fish such as robalo (*Scorpaena hystrion*) and cabrilla (*Elginops maclovinus*) which feed adjacent to farms ingest pellets which, in some cases, contain antibacterial or antiparasitic drugs, resulting in the presence of these substances (e.g., tetracycline and quinolone) in the flesh of some commonly eaten fish (Fortt et al., 2007). In addition, escaped salmonids can act as pathogen reservoirs (Clugston, 1990; Caughley & Gunn, 1996), interacting with local flora and fauna with unknown consequences (Buschmann, 2001).*

(pelet) en el área adyacente a los centros de cultivos, el cual al contener, en algunos casos, dosis de antibacterianos u antiparasitarios, gatilla la presencia de estos compuestos (e.g., tetraciclina y quinolona) en la carne de algunos de estos peces (Fortt *et al.*, 2007). Además, se ha informado que los salmónidos escapados pueden actuar como reservorio de patógenos (Clugston, 1990; Caughley & Gunn, 1996), los que al relacionarse con la flora y fauna local, podrían provocar efectos hasta ahora desconocidos (Buschmann, 2001).

4.1.2. Aporte de nutrientes y capacidad de carga

La adición de materia orgánica, por restos de alimentos no consumidos, y materias fecales de los organismos en cultivo a la columna de agua y fondos de los sistemas utilizados, se ha constituido como el impacto medioambiental más estudiado. (Ervik *et al.*, 1997; McGhie *et al.*, 2000; Hansen *et al.*, 2001). En particular el abastecimiento de nutrientes y su disponibilidad en la masa de agua es un factor que puede explicar las variaciones de trofia de un lago, siendo los nitratos y los fosfatos los principales reguladores de la productividad y biomasa fitoplanctónica (Schindler & Fee, 1974). En lagos templados del hemisferio Norte la baja disponibilidad de fósforo constituye la principal limitante de la producción primaria (Steinhart *et al.*, 2002), patrón de comportamiento que en Chile no es tan claro, aún habiéndose informado limitaciones por fósforo (Campos, 1984; Hedin & Campos, 1991), nitrógeno (Soto *et al.*, 1994; Soto & Campos, 1996; Soto & Stockner, 1996; Soto, 2002) y por efectos co-limitantes entre ambos nutrientes (Steinhart *et al.*, 1999).

En condiciones naturales los ingresos de nutrientes a los sistemas dulceacuícolas desde las cuencas de drenaje, que en el caso de la Ecorregión Valdiviana en sus orígenes se asociaban principalmente a bosque nativo (Lara *et al.*, 1999), dependen de la magnitud de las precipitaciones, escorrentía superficial, sustrato geológico, tipo de vegetación y proximidad a fuentes antrópicas (Likens & Bormann, 1995). Así las exportaciones de nutrientes se encuentran significativamente asociadas a los usos de suelo que se registran al interior de las cuencas hidrográficas (Doríoz & Ferhi, 1994; Heathwaite *et al.*, 1990; Oyarzún *et al.*, 1997). En el caso de la Ecorregión estos cambios de uso de suelo han sido relevantes, sustituyéndose grandes extensiones de bosque nativo (40%) por otros usos de suelo (Lara *et al.*, 1999; 2002).

En este escenario, durante los últimos 20 años, la salmonicultura, junto a la descarga de aguas servidas desde las ciudades, ha emergido como la principal fuente puntual de ingreso de nutrientes a los sistemas lacustres. Mientras otras actividades como agricultura, ganadería e industria forestal realizan sus aportes de forma difusa por medio de los ríos tributarios y la escorrentía superficial. De forma adicional la salmonicultura al conocer las características de sus zonas de cultivo, las tasas de conversión de sus peces y la cantidad de alimento proporcionado, emerge como una de las pocas

4.1.2 Nutrient inputs and carrying capacity

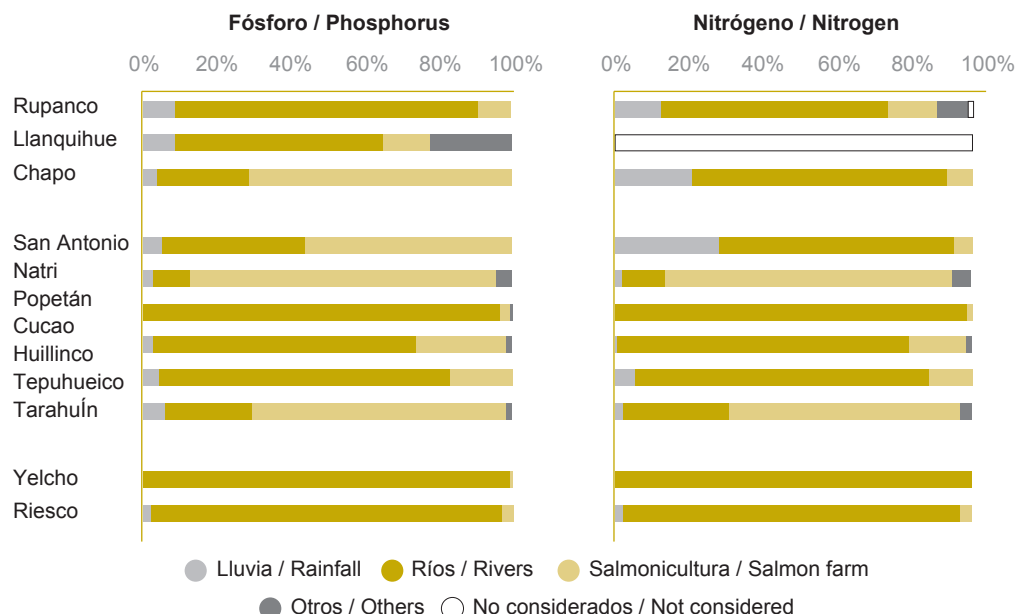
The accumulation of organic material from faeces and unconsumed feed in the water column and on the bottom of water bodies has been the most studied environmental impact for the sector (Ervik et al., 1997; McGhie et al., 2000; Hansen et al., 2001). The supply and availability of nutrients in the water column can explain trophic variations of a lake since nitrates and phosphates are the main regulators of productivity and phytoplankton biomass (Schindler & Fee, 1974). Primary production in temperate lakes of the Northern Hemisphere is mainly limited by phosphorus (Steinhart et al., 2002). In Chile, this pattern has not been definitively observed, although some studies have reported phosphorus limitation (Campos, 1984; Hedin & Campos, 1991), nitrogen limitation (Soto et al., 1994; Soto & Campos, 1996; Soto & Stockner, 1996; Soto, 2002) and co-limiting effects between both nutrients (Steinhart et al., 1999).

Under normal conditions the nutrient input into freshwater systems depends on the amount of precipitation, surface runoff, geological substrate, type of vegetation and proximity to anthropogenic sources (Likens & Bormann, 1995). The export of nutrients is closely linked to land use in the watershed (Doríoz & Ferhi, 1994; Heathwaite et al., 1990; Oyarzún et al., 1997), a particularly relevant fact in the Valdivian Ecoregion where large areas of native forest (40 %) have been substituted for other uses (Lara et al., 1999; 2002), changing the original hydrological balance.

Over the last 20 years, salmon farming and urban areas have become the principal point sources of nutrients for lake ecosystems. While agriculture, livestock and logging contribute as diffuse sources through surface run-off and through tributary rivers. In addition, salmon farming is one of the only activities that has a measurable impact on the water column and lake or river bottom around installations, since the fish rotation rate and the amount of feed supplied can all be quantified (Soto & Norambuena, 2004). Moreover, this activity is concentrated in the hands of a relatively small number of companies; of the 51 concessions in operation, 69% (±30) are owned by just five of the largest producers.

During the 1990s, the Government of Chile, through various funding sources (e.g., the Fisheries Research Fund - FIP), commissioned studies of the carrying capacity of the country's major lakes in order to determine the environmental status of these water bodies and to plan for maximum stocks of farmed salmonid species (Soto et al., 1993; Campos, 1995;

Fig.12



actividades productivas que tiene un impacto medible sobre la columna de agua y el fondo circundante a sus instalaciones (Soto & Norambuena, 2004). Más aún esta actividad presenta una asociatividad que la distingue de otras, acotando las 51 concesiones a un número pequeño de empresas, donde por ejemplo sólo las cinco principales empresas productoras aglutinan alrededor del 69% (± 30) de las concesiones lacustres.

Durante la década de los noventa el Gobierno de Chile, a través de diferentes fondos de investigación (e.g., Fondo de Investigación Pesquera, FIP) encargó la realización de estudios de capacidad de carga en los principales lagos de Chile con la finalidad de conocer el estado medioambiental de estos cuerpos de agua y realizar proyecciones en términos de los stocks máximos cultivables de especies salmonídeas (Soto *et al.*, 1993; Campos, 1995; Campos *et al.*, 1997, 1999; Prado, 1999). De estas investigaciones se concluyó que, a nivel general, los ríos tributarios se constituyen como las fuentes principales de ingreso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) a los sistemas lacustres, secundados por los aportes desde la salmonicultura, (Figura 12). Sin embargo resulta notable que la producción salmónica en algunos de estos lugares ha aumentado significativamente (Figura 10) desde el tiempo en que se tomaron estos datos y, por lo tanto, su aporte porcentual de nutrientes probablemente ha aumentado en forma paralela.

En relación a las capacidades de carga de los lagos, diversos estudios financiados por el FIP alcanzaron como resultado prácticamente unánime, el que las concentraciones de fósforo y nitrógeno existentes se encontraban próximas o eran superiores a las cargas críticas estimadas para cada sistema. A esa fecha (mediados de los '90) los estudios recomendaron no incrementar las actividades salmoacuícolas, y más aún, disminuir sus rangos de producción (Figura 13), independientemente del aporte de otras fuentes (e.g., afluentes). Estas recomendaciones no fueron consideradas, sino por el contrario se aumentó significativamente la producción salmoacuícola y no se ha disminuido el número de centros productivos

Campos *et al.*, 1997, 1999; Prado, 1999). In general, these studies found that the main source of nutrient input (nitrogen and phosphorus) into lake systems were tributary rivers, followed by salmon farms (Figure 12). However, salmon production has increased sharply in some locations (Figure 10) since this time, and it is likely that this is reflected in the relative contribution of nutrient inputs.

The various FIP studies reached an almost unanimous conclusion on carrying capacity, documenting phosphorus and nitrogen concentrations close to or higher than the estimated critical loads in each system. At the time (mid-1990s) the studies recommended that salmon production should be reduced and that further growth should not occur (Figure 13), independent of inputs from other sources (e.g. tributaries). However, not only were the recommendations to decrease production ignored, but net salmon production has grown considerably despite a reduction in the number of salmon farms and lakes used (Figures 10, 13 and 14).

Recent evidence from government monitoring, provides evidence that severe impacts from excessive nutrients are already occurring and are widespread. The Environmental Report on Chilean Aquaculture (Subpesca, 2005) found that 10 salmon farms in lakes showed states of anoxia (absence of oxygen), which represents 20% of farms operating in lakes as measured over the 2003 to 2005 period. These data generate legitimate fears that lakes associated with salmon farming are moving towards further environmental deterioration.

In summary, it is evident that the impact of salmon farming in Chile's lake systems shows no signs of declining. It is particularly difficult to understand how all of the government financed studies of lake carrying capacity could have been ignored by the industry and regulatory agencies. This situation underscores a regulatory and research vacuum for Chile's freshwater systems. A replication of the studies carried out in the 1990s would be instructive to determine levels of impact in lakes over the last decade. If these studies

Figure 12. Aporte de nutrientes a cuencas lacustres de la Ecorregión Valdiviana utilizadas para salmonicultura. Formulación propia a partir de información registrada por: Soto *et al.*, 1993; Campos *et al.*, 1997, 1999; Campos, 1995; Prado, 1999.

Figure 12. Nutrient input into lake watersheds of the Valdivian Ecoregion used for salmon farming. Original figure based on information in Soto *et al.*, 1993; Campos *et al.*, 1997, 1999; Campos, 1995; Prado, 1999.

y de lagos utilizados (Figuras 10, 13 y 14). Evidencia reciente, proveniente de los monitoreos encargados por el Gobierno de Chile, indican severos impactos medioambientales asociados a la salmicultura. Así en el Informe Ambiental de la Acuicultura Chilena (Subpesca, 2005), se informó que 10 centros de cultivo emplazados en cuerpos lacustres registraron sedimentos anóxicos –ausencia de oxígeno- lo que representa un 20% de las concesiones que realizaron cultivos y que entregaron informes ambientales entre los años 2003 y 2005. La proyección de estos datos genera legítimos temores de que la situación ambiental de los lagos vinculados a los efectos de la industria salmónica derive hacia un mayor deterioro, más que hacia una mitigación de los impactos.

Así, resulta evidente que los sistemas lacustres de la Ecorregión Valdiviana no presentan una disminución de la actividad salmoacuícola. Por ello no parece comprensible que el esfuerzo económico comprometido en los proyectos con financiamiento público sea menospreciado, y menos que no sean considerados por la industria ni por los organismos reguladores. Esto revela la aplicación de un enfoque errado, el cual privilegia el crecimiento económico en desmedro de las condiciones medioambientales de los cuerpos lacustres. Quizás un buen desafío sea replicar los estudios FIP para determinar los niveles de impacto durante la última década. Finalmente si se llegase a comprobar que la situación medioambiental de los lagos del sur de Chile se ha deteriorado gravemente en este intervalo de tiempo, ameritaría una acción decisiva e inmediata por parte del Gobierno, tanto en relación a la salmicultura como a las otras fuentes de impacto.

show that environmental conditions have seriously deteriorated over this interval, regulatory agencies should take decisive and immediate action both in relation to salmon farming and to the other sources of impact.

Fig.13

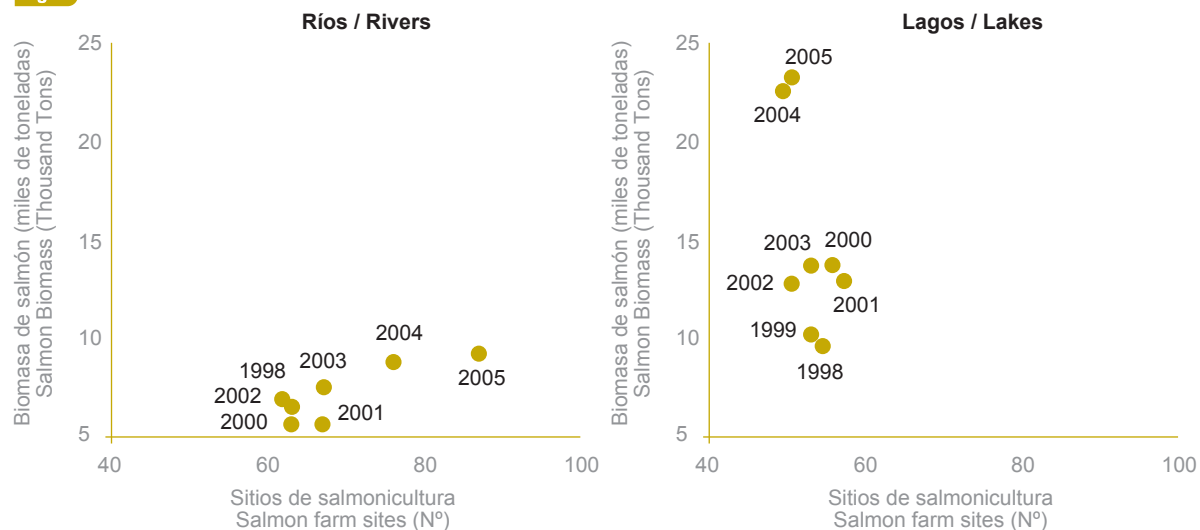
Lagos / Lakes	Producción / Production (ton/año/year)	Capacidad de carga / Earrying capacity Fósforo / phosphorus (mg m ² año ⁻¹)		Recomendación / Recommendation
		Crítica / Critical	Medida / Measured	
Araucanos / Araucanian				
Ranco	307,9	*	*	*
Puyehue	587,3	*	*	*
Rupanco	2268,4	784,3	742,4	No incrementar / No increase
Llanquihue	3996,3	241,7	142,87	Sin recomendación / No recommendation
Chapo	732,5	1241	659	< 315 ton/año/year ¹
Isla de Chiloé / Chiloe Island				
Popetán	124,2	320	4995	No incrementar / No increase
Cucao	150,2	1103,4	34279	No incrementar / No increase
Tepuhueico	193,7	401,9	1216,9	No incrementar / No increase
Huillínco	950,3	924,3	4249	No incrementar / No increase
Tarahuín	506,9	268	857,7	No incrementar / No increase
Natri	498,3	280,6	663	No incrementar / No increase
San Antonio	23,9	149	293	No incrementar / No increase
Sur-Patagónicos / South Patagonian				
Yelcho	82,1	2719	2722	No incrementar / No increase
Riesco	28,8	15541,5	1159,5	Sin recomendación / No recommendation

* No estudiados / Not evaluates

Figura 13. Índice de producción máxima (D.S. 175), recomendaciones y capacidades de cargas estimadas y críticas para algunos sistemas lacustres de la Ecorregión Valdiviana. Formulación propia a partir de información proporcionada por Sernapesca y registrada por Soto *et al.*, 1993; Campos *et al.*, 1997, 1999; Campos, 1995; Prado, 1999. (*) Sin información en www.fip.cl.

Figure 13. Maximum production rate (S.D. 175), recommendations and estimated and critical carrying capacities for some lake systems of the Valdivian Ecoregion. Original figure based on information provided by Sernapesca and in Soto *et al.*, 1993; Campos *et al.*, 1997, 1999; Campos, 1995; Prado, 1999. No information on the Fisheries Research Fund website (www.fip.cl)

Fig.14



© Rodrigo Sandoval. Vista del Lago Llanquihue, Región de Los Lagos, Chile.



Figure 14. Producción salmoacuícola (miles de tons) y centros de cultivo activos en los sistemas lacustres y fluviales de la ecorregión Valdiviana. Elaboración propia, fuente: Sernapesca.

Figure 14. Relationship between smolt productions (1998-2005) (thousand tons) and operating salmon farming concessions in lake ecosystems of the Valdivian Ecoregion. Original figure based on information provided by Sernapesca.

5. Conclusiones ~ Conclusions

La salmonicultura en términos de sus exportaciones, inversión y empleos, se constituye como una de las mayores actividades económicas del sur de Chile (39°S – 48°S), sin embargo, debido a su continuo crecimiento, resulta urgente reducir y mitigar sus principales impactos medioambientales.

En particular los sistemas lacustres al ser inherentemente más frágiles que los sistemas marinos, emergen como áreas donde la evaluación de su interacción con la salmonicultura y mitigación de sus impactos deben ser prioritariamente realizadas. En este informe no se incluyó el análisis de los ríos de la Ecorregión, sin embargo estos ecosistemas por sí solos ameritan futuras investigaciones respecto del impacto de la salmonicultura.

En específico, el uso actual de los lagos chilenos constituye un pasivo ambiental para las empresas salmoneras, las cuales actualmente buscan alcanzar y cumplir parámetros mundiales de mejores prácticas ambientales. De forma opuesta Noruega, principal competidor de Chile, posee regulaciones específicas para el control de contaminación y, para la acuicultura, limitan estrictamente la producción en sistemas lacustres. Esto último en respuesta al riesgo de potenciales impactos asociados a la incorporación de nutrientes y químicos y la transmisión de patógenos por escapes de especies ajenas a estos ecosistemas⁶. Así los impactos ambientales de este sector productivo pasarán cada vez más a ser una preocupación de los mercados mundiales, tal como lo ha demostrado el surgimiento de nuevas políticas de adquisición responsable, tanto de distribuidores masivos y de tiendas especializadas de alto valor en Estados Unidos y Europa. Siendo la suspensión paulatina de la producción en lagos una alternativa económica y ambientalmente atingente.

En este sentido las recomendaciones específicas que se desprenden de este estudio se resumen en los siguientes cinco ámbitos: prácticas y tecnologías de producción; investigación pertinente; revisión y actualización del marco regulatorio; educación pública y desarrollo de un consenso de conservación.

5.1 Transición de la smoltificación lacustre a pisciculturas de recirculación

Dado el desarrollo tecnológico en la industria del salmón, la smoltificación en sistemas lacustres se ha vuelto una práctica innecesaria e ineficiente, resultando absolutamente posible el evitar los actuales impactos medioambientales sin mermar la actual producción de smolts. Experiencias actuales demuestran que una conversión relativamente rápida desde cultivos lacustres a sistemas de recirculación es factible y aparentemente ventajosa, tanto desde un punto de vista económico como medioambiental.

En efecto, la totalidad de la smoltificación efectuada en lagos chilenos podría producirse en una pequeña cantidad de instalaciones en tierra. Considerando la experiencia de la piscicultura Rauco de Marine Harvest, que cuenta con una capacidad proyectada de 20 millones de smolts/año, la totalidad de la producción lacustre (111 millones de smolts/año

Salmon aquaculture is an industry of major economic importance in Southern Chile (39°S – 48°S) as measured in exports, investment and employment. Given its likely continued rapid growth, there is an urgent need to reduce and mitigate the most serious impacts of salmon production. Freshwater lake systems are inherently more fragile than marine systems, and thus constitute a priority for the evaluation and mitigation of salmon farming impacts. Although, this report did not evaluate rivers, these share many characteristics with lake systems, and future research should address the growing impact from salmon aquaculture in those systems as well.

We consider the current use of lakes in Chile a liability for Chilean companies seeking to meet global benchmarks for best environmental practice and thereby prepare themselves to meet an eventual global standard. For example, Chile's largest competitor, Norway has strict pollution control and aquaculture regulations, that sharply limit any net pen production in lakes due to concerns over potentially major environmental consequences from discharges of nutrients and chemicals, and possible transmissions of pathogens and escapes of organisms alien to this habitat⁶. The salmon sector's environmental impacts will become an increasing concern in global markets, as exemplified in the rise of new responsible purchasing policies for farmed salmon among both high-end and mass market retailers in the US and Europe. Within this context, a phasing out of lake-based production is of economic as well as environmental importance.

Our specific recommendations are summarized under the following four areas relating to: production practices and technologies, required research, review and updating of the regulatory framework, public education and development of a social consensus for lake conservation.

5.1 Transition lake smolt production to closed-containment recirculation systems

Given technological development in the salmon industry, net pen production in lakes has become an unnecessary and inefficient means of smolt production, and current impacts to lakes are fully avoidable without affecting the overall supply of smolt. Experiences already underway demonstrate that a relatively rapid conversion from lake to closed-containment recirculation systems is feasible, and apparently advantageous from an economic as well as an environmental perspective. In fact, all lake-based smolt production could be replaced by a small number of land-based facilities. Based on the example of Marine Harvest's Rauco plant -with a projected capacity of 20 million smolt/year in 2008- all lake production (111 million smolt/year in 2005) could be replaced with fewer than six additional recirculation plants. The total investment required for such a transformation would be less than US\$43

⁶Personal communication, Maren Esmark, WWF-Norway. 6-6-07 citing restrictions established in the country's Pollution Act and Aquaculture Act.



© Marine Harvest. Piscicultura de recirculación Raucó, Chiloé, Región de Los Lagos, Chile.

registrado en el año 2005) podría ser sustituida por alrededor de seis plantas adicionales de recirculación. La inversión total necesaria para esta transformación ascendería a unos US\$43 millones, lo que equivale a sólo el 2% de las exportaciones totales de esta industria durante el año 2006 (\$2.200 millones). Análogamente la producción total de smolts (ríos, lagos y estuarios: 293 millones de smolts/año registrado en el año 2005) podría ser reemplazada por 15 nuevas plantas a un costo total de US\$108 millones, equivalente a sólo el 5% de los retornos de estas exportaciones.

En este sentido, se destaca la necesidad de impulsar un cambio hacia instalaciones con tecnología de recirculación, fundamentalmente porque los tradicionales sistemas de cultivo, usados en algunas otras zonas productivas (e.g., pisciculturas de flujo abierto), encadenan numerosos impactos medioambientales (e.g., escapes, adición de nutrientes y químicos a los ecosistemas) y porque la inversión a realizar es infinitamente menor que los costos asociados a la pérdida o degradación de las condiciones medioambientales de los ecosistemas dulceacuícolas.

Finalmente, el Gobierno y las industrias con el fin de reducir la salmonicultura en los lagos, no deberían desplazar los impactos medioambientales a otros ecosistemas acuáticos cuya respuesta a estos es pobremente conocida.

5.2 Investigación sobre impactos medioambientales y capacidades de carga

La investigación realizada en los lagos del sur de Chile, asociada a su interacción con la industria salmonera y otras fuentes de impacto, ha sido escasa. A decir verdad, la mayoría de estos cuerpos de agua sólo poseen un estudio limnológico o de capacidad de carga, realizados fundamentalmente durante la década de los '90, no existiendo réplicas que permitan visualizar las tendencias temporales de estos impactos.

En este sentido resulta imperativo el realizar nuevos estudios científicos que permitan actualizar la información ya existente y comprender cómo el significativo crecimiento de esta industria (1998 – 2005: 190%) ha repercutido en la calidad

million, which is equal to 2% percent of the industry's total exports (\$2.2 billion) in 2006. Furthermore, all freshwater and estuary production (including both lakes and rivers for a total of 293 million smolt/year in 2005) could be replaced by fewer than fifteen new plants for a total cost of US\$108 million, which is the equivalent of just 5% of the industry's sales in 2006.

We emphasize the need for a turn to recirculation facilities rather than the traditional flow-through systems used in other producing zones, because these do not fully eliminate many of the environmental impacts such as escapes, discharges of chemicals and nutrients and disease. The investment required for development of full recirculation-based production is infinitely less than the cost that would be incurred with the degradation or loss of the environmental conditions in the country's freshwater ecosystems. Moreover as companies and government consider the means to reduce lake production, care is required to ensure that impacts are not simply displaced to other freshwater systems whose response to these impacts also remains basically unknown.

5.2 Research on carrying capacity and impacts

There has been little research on lake systems in Southern Chile. Most systems have had only a single limnological or carrying capacity study dating from the mid-1990s and these, with a few exceptions, have not been replicated in order to understand changes in conditions over time. These studies should be repeated in order to update the information and analyze the impacts of growth in salmon production (190% from 1998-2005) in relation to other sources of contamination (e.g., agriculture, livestock grazing, urban waste). The recent installation of tertiary treatment plants for most urban centers is another factor to be considered. Additional research is also urgently required on the distribution and abundance of endangered native fish in lake systems, as well as the impact of invasive species on the ecological processes of each basin.

medioambiental de los lagos, y cómo ha evolucionado su contribución relativa en relación a las otras fuentes de contaminación (e.g., agricultura, ganaderías, ciudades, etc.); donde por ejemplo, gran parte de las otras descargas de aguas servidas desde ciudades han sido llevadas a plantas de tratamiento terciario. De forma paralela, es indispensable realizar investigación respecto de la distribución y abundancia de peces nativos en peligro de extinción, así como el impacto de especies invasoras en los procesos ecológicos de cada cuenca.

5.3 Análisis y revisión de las regulaciones que normarán la discontinuación gradual de la salmonicultura lacustre

Como factor acompañante a la salida de la salmonicultura de los lagos, es necesario revisar y reestructurar el actual marco regulatorio, incluyéndose niveles máximos de densidad y producción, y mejorándose los actuales protocolos de muestreos medioambientales. Tales medidas debiesen considerar la diversidad de las características ecológicas de los lagos, como por ejemplo la sensibilidad de los lagos de la Isla de Chiloé o el largo tiempo de renovación del Lago Llanquihue (± 74 años). Éstas son condiciones únicas que indican que, de ocurrir impactos medioambientales importantes, el periodo de recuperación podría tardar décadas o incluso siglos. Además, los organismos fiscalizadores deberían evaluar los datos recolectados a la fecha, bajo el Reglamento Ambiental para la Acuicultura, para determinar si existen lagos donde la producción debiese discontinuarse inmediatamente de modo de evitar impactos irreversibles. Este esfuerzo podría enfocarse inicialmente en los lagos que contienen las 10 concesiones, que en el último Informe Ambiental de la Acuicultura de Chile, arrojaron estado de anoxia en sus sedimentos bajo los centros de cultivo (Subpeca, 2005).

5.4 La necesidad de un consenso social y de una educación para la conservación de los sistemas lacustres de Chile

Si bien el presente informe se centra en la producción de salmón, existe un amplio entendimiento de que el estado de los lagos de Chile depende de muchos otros factores (e.g., deforestación, agricultura, industrias y ciudades). En tal sentido, la conservación de los lagos sólo podrá asegurarse mediante un amplio consenso de los chilenos, acompañado de un esfuerzo público-privado concertado y sostenido, que en su conjunto, contemplen que los ecosistemas lacustres se constituyen como un recurso que no puede ser sacrificado. Afortunadamente, existen en el mundo muchos ejemplos en los que este tipo de esfuerzos han logrado revertir el deterioro de lagos muy importantes.

Así, además de la investigación, instamos a invertir en herramientas educativas y en formación docente al interior de los sistemas escolares, así como en la formación de funcionarios municipales y de reparticiones gubernamentales del sur de Chile.

5.3 Review and revise regulations that govern salmon aquaculture in the transition period as lake production is phased out

Major regulatory gaps related to lakes and salmon farming should be closed immediately as a transition measure while overall net pen production is being phased out. Immediate measures should include a definition of maximum stocking and density levels at farms, as well as frequent and rigorous monitoring of the use of antibiotics and other chemicals. These measures should take into consideration the diversity in ecological characteristics of lakes, and in particular, the sensitivity of shallow lakes on Chiloe Island, and the extraordinarily long residence time of Lake Llanquihue waters (± 74 years), which indicates that once major impacts occur they will require decades or centuries to reverse. In addition, the regulatory agencies should evaluate existing data collected under the Aquaculture Environmental Regulation and other sources to determine if there are lakes where production should be discontinued immediately in order to avoid irreversible impacts. This effort could focus initially on lakes housing the ten concessions where sediment below net pens was reported as anoxic (SUBPESCA, 2006).

5.4 Need for social consensus and education for the conservation of Chile's lake systems

While this report focuses on salmon production, there is a broad-based understanding that the status of Chile's lakes depends on many other factors, including agricultural, industrial and urban pollution as well as land use change. Only a broad social consensus that lakes are a resource that cannot be sacrificed, accompanied by a concerted and sustained public and private effort, will be sufficient to ensure the conservation of Chile's lakes. Fortunately, there are examples worldwide, where efforts of this kind have managed to revert the degradation of major lakes. In addition to the research recommended above, we recommend investment in educational tools and teacher training within the country's school systems, as well as training for officials in municipalities and public agencies in southern Chile.

5. Bibliografía ~ Bibliography

- Alaback, P. 1991. Comparison of the temperate rain forests of the Americas. *Revista Chilena de Historia Natural* 64: 399-412.
- Armesto, J., Lobos, P. & Arroyo, M. 1996. Los bosques templados del sur de Chile y Argentina: una isla biogeográfica, p. 23-28. In Armesto, J., Villagrán, C. & Arroyo, M (eds.), *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Chile.
- Arratia, G. 1981. Géneros de peces de aguas continentales de Chile. *Publicación ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile* 34: 3-108.
- Arratia, G. 1983. Preferencias de hábitat de peces siluriformes de aguas continentales de Chile (Fam. Diplomystidae y Trichomycteridae). *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 18: 217-237.
- Arratia, G. 1997. Brazilian and Austral Freshwater fish fauna of South America. A contrast, p. 179-187. In Urrich, H (ed), *Tropical biodiversity and systematics*. Museum Alexander Koenig, Bonn.
- Arroyo, M., Riveros, A. Peñaloza, L. Caviates, & A. Faggi. 1996. Relaciones fitogeográficas y patrones regionales de riqueza de especies en la flora del bosque lluvioso templado de Sudamérica, p. 71-99. In Armesto, J., C. Villagrán, & M. Arroyo (eds.), *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Beveridge, M. 1996. *Cage Aquaculture*. Second Edition. Fishing News Book, Oxford, 346 p.
- Bjorklund, H., Bondestam, J. & Bylund, G. 1990. Residues of oxytetracycline in wild fish and sediments from fish farms. *Aquaculture* 86: 359-367.
- Bryant, D., Nielsen, D. & Tangle, L. 1997. *The Last Frontier Forests: Ecosystems and Economies on the Edge*. World Resources Institute. Washington D.C. 25 p.
- Brüggen, J. 1950. *Fundamentos de la geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Chile, 374 p.
- Buschmann, A. 2001. Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el mundo. Un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos. Terram Publicaciones. Chile, 67 p.
- Campos, H. 1977. Osteichtys, p. 330-334. In Hurlbert, S (ed), *Biota Acuática de Sudamérica Austral*. San Diego University State Foundation, San Diego.
- Campos, H. 1984. Limnological study of Araucanian lakes (Chile). *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Limnologie* 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. & Zúñiga, L. 1988. Limnological studies of lake Lanquihue (Chile). *Archiv für Hydrobiologie Supplement Band* 81: 37-67.
- Campos, H., Steffen, W., Agüero, G., Parra, O. & Zúñiga, L. 1989. Estudios limnológicos en el Lago Puyehue (Chile): morfometría, factores físicos y químicos, plancton y productividad primaria. *Medio Ambiente, Chile* 10: 36-53.
- Campos, H., Steffen, W., Agüero, G., Parra, O. & Zúñiga, L. 1992a. Limnological studies of Lake Rupanco (Chile). Morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity. *Archiv für Hydrobiologie Supplement Band* 90: 85-113.
- Campos, H., Steffen, W., Agüero, G., Parra, O. & Zúñiga, L. 1992b. Limnology of Lake Ranco (Chile). *Limnologica, Berlin* 22: 337-353.
- Campos, H., Ruiz, V., Gavilán, J. & Alay, F. 1993. Peces del Río Bío-Bío. Serie Publicaciones de Divulgación EULA, Universidad de Concepción, Chile, 100 p.
- Campos, H. 1995. Determinación de la capacidad de carga en el lago Rupanco, X Región. Informe final proyecto FIP N° 93-27.
- Campos, H., Huber, A., Parra, O., Oyarzún, C., Villalobos, L., Jaque, E., Beltrán, C., Bravo, A., Grandjean, M., Aviles, D., Agüero, G. & Campusano, C. 1997. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Natri, Cucao, Huillinco, Tepuhueico y Tarahuín. Informe final proyecto FIP N° 96-54.
- Campos, H., Dazarola, G., Dyer, B., Fuentes, L., Gavilán, J., Huaquín, L., Martínez, G., Meléndez, R., Pequeño, G., Ponce, F., Ruiz, V., Siefeld, W., Soto, D., Vega R. & Vila, I. 1998. Categorías de Conservación de peces nativos de aguas continentales de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 47: 101-122.
- Campos, H., Villalobos, L., Grandjean, M., Huber, A., Parra, O., Oyarzún, C., Jaque, E., Beltrán, C., Bravo, A., Aviles, D., Agüero, G. & Avila, A. 1999. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida. Informe final proyecto FIP N° 97-39.
- Case, T. 1991. Invasion resistance, species build-up, and community collapse in metapopulation models with interspecies competition. *Biological Journal of the Linnaean Society* 42: 239-266.
- Castillo, M., Allan, J. & Bronzel, S. 2000. Nutrient concentrations and discharges in a Midwestern agricultural catchment. *Journal of Environmental Quality* 29: 1142-1151.
- Caughley, G. & Gunn, A. 1996. *Conservation Biology in Theory and Practice*. Blackwell Science, Inc. 459 p.
- Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. 2007. Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica San Pedro. www.seia.cl.

- Cisternas, M., Torres, L., Urrutia, R., Araneda, A. & Parra, O. 2000. Comparación ambiental, mediante registros sedimentarios, entre las condiciones prehispánicas y actuales de un sistema lacustre. *Revista Chilena Historia Natural* 73: 151-162.
- Clugston, J. 1990. Exotic animals and plants in aquaculture. *Reviews in Aquatic Sciences* 2: 481-489.
- Collier, L. & Pinn, E. 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. & Whoriskey, F. 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.
- Corporación Nacional Forestal., Comisión Nacional de Medioambiente., BIRF., Universidad Austral de Chile., Pontificia Universidad Católica de Chile & Universidad Católica de Temuco. 1999. Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe regional X Región, 137 p.
- Costa-Pierce, B. & Soemarwoto, O. 1990. Reservoir Fisheries and Aquaculture Development for Resettlement in Indonesia. ICLARM Technical Report, 378 p.
- Costa-Pierce, B. 1996. Environmental impacts of nutrients discharged from aquaculture: towards the evolution of sustainable, ecological aquaculture systems, p. 81 – 113. In Baird, D., Beveridge, M., Kelly, L. & Muir, J (eds.), *Aquaculture and Water Resources Management*. Blackwell, Oxford,
- Díaz, S. & León, J. (Eds) 2006. *Actas Taller Científico: Investigación Ambiental en la Salmonicultura Chilena ¿Gasto o Inversión?* WWF Chile. Valdivia, Chile. 36p.
- Dinerstein, E., Olson, D., Graham, D., Webster, A., Primm, S., Bookbinder, M. & Ledec, G. 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean. *World Wildlife fund – World Bank*, Washington D.C. 129 p.
- Dinerstein, E., Powell, G., Olson, D., Wikramanayake, E., Abell, R., Lockus., C., Underwood, E., Allnut, T., Wettengel, W., Riccket, T., Strand, H., O'Connor, S. & Burgess, N. 2000. A workbook for conducting biological assessments and developing biodiversity visions for ecoregion-based conservation, Part 1: Terrestrial Ecoregions, *World Wildlife fund*, Washington D.C.
- Donoso, C., Donoso, P., González, M. & Sandoval, V. 1998. Los Bosques Siempreverdes, p. 261-289. In Donoso, C. & Lara, A (eds.), *Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Chile.
- Donoso, C. & Lara, A. 1999. Introducción, p. 25-33. In Donoso, C. & Lara, A (eds.), *Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Chile.
- Donoso, P. & Otero, L. 2005. Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile? *Bosque*, Valdivia 26: 5–18.
- Dorioz, J. & Ferhi, A. 1994. Non-point pollution and management of agricultural areas: phosphorus and nitrogen transfer in an agricultural watershed. *Water Research*, 28: 395–410.
- Dyer, B. 2000. Systematic review and biogeography of the freshwater fishes of Chile. *Estudios Oceanológicos* 19: 77-98.
- Eley, R., Carroll, J. & 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, p. 72-88. In: Bergstron, I., Kettunen, J. & Stenmark, M (eds.), *10th Nordic Symposium on Sediment*, Otaniemi, Finland. Division of Water Engineering, Helsinki University of Technology.
- Ervik, A., Hansen, P., Aure, J., Stigebrandt, A., Johannessen, P. & 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.
- Fortt, A., Cabello, F. & Buschmann, A. 2007. Residuos de tetraciclina y quinolonas en peces silvestres en una zona costera donde se desarrolla la acuicultura del salmón en Chile. *Revista Chilena de Infectología* 24: 14-18.
- Gajardo, G. & Laikre, L. 2002. Chilean aquaculture boom is based on exotic Salmon resources: a conservation paradox. *Conservation Biology* 17: 1173-1174.
- Habit, E. & Parra, O. 2001. Impactos ambientales de los canales de riego sobre la fauna de peces. *Ambiente y Desarrollo* 17: 50-56.
- Habit, E., Victoriano, P. & Parra, O. 2002. Translocación de peces nativos en la cuenca del río Laja (Región del Bío-Bío, Chile). *Gayana* 66: 181-190.
- Habit, E. & Rosenberger, A. 2004. Introduced species in Chile's freshwaters-the need for research. *Newsletter of the Introduced Fish Section American Fisheries Society* 21:3-4.
- Habit, E. 2005. Aspectos de la biología y hábitat de un pez endémico de Chile en peligro de extinción (*Diplomystes nahuelbutaensis* Arratia, 1987). *Interciencia* 30: 8-11.
- Habit, E., Parra, O., Valdovinos. 2005. Ictiofauna de un sistema fluvial receptor de aguas servidas: respuestas a una nueva planta de tratamiento (río Quilque, Chile Central). *Gayana Zoología* 69: 94-103.

- Habit, E., Dyer, B. & Vila, I. 2006. Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. *Gayana* 70: 100-113.
- Halley, B., Jacob, T. & Lu, A. Y. 1989. The environmental impact of the use of ivermectin: Environmental effects and fate. *Chemosphere* 18: 1543-1563.
- Hansen, P., 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 Ongrowing fish farm-Monitoring). *Aquaculture* 194: 75-92.
- Heathwaite, A., Burt, T. & Trudgill, S. 1990. The effect of land use on nitrogen, phosphorus and suspended sediment delivery to streams in a small catchment in southwest England, p. 161-177. In Thornes, J. (ed.), *Vegetation and erosion. Processes and environments*.
- Hedin, L. & Campos, H. 1991. Importance of small streams in understanding and comparing watershed ecosystem processes. *Revista Chilena de Historia Natural* 64: 583-596.
- Jordan, T., Correl, D. & Werrel, D. 1997. Effects of agriculture on discharges of nutrients from coastal plain watersheds of Chesapeake bay. *Journal of Environmental Quality* 26: 836-848.
- Kaste, O., Henriksen, A. & Hindar, A. 1997. Retention of atmospherically-derived nitrogen in subcatchments of the Bjerkreim river in South-Western Norway. *Ambio* 26: 296-303.
- Lara, A., Solari, M., Rutherford, P., Thiers, O. & Trecaman, R. 1999. Cobertura de la vegetación original de la ecorregión de los bosques Valdivianos en Chile hacia 1550. Informe Técnico. Proyecto WWF-Universidad Austral de Chile. Valdivia, 32 p.
- Lara, A., Echeverría, C. & Reyes, R. 2002. Bosques Nativos, p. 127-160. In Instituto de Asuntos Públicos, Universidad de Chile. (eds.), *Informe País. Estado del Medio Ambiente en Chile*. Universidad de Chile.
- León, J. 2006. Sinopsis de los Impactos y la Gestión Ambiental en la Salmonicultura Chilena. WWF Chile. Valdivia, Chile. 46p.
- Likens, G. & Bormann, F. 1995. *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Springer – Verlag. New York Inc, 159 p.
- Löffler, H. 1960. Limnologische Untersuchungen an chilenischen und peruanischen Binnengewässer. 1. Die physikalisch-chemischen Verhältnisse. *Arkiv for Geofysik* 3: 155- 54.
- McGhie, T., Crawford, C., Michell, I. & O'Brien, D. 2000. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture* 187: 351-366.
- Mulsow S., Krieger, Y. & Kennedy, R. 2006. Sediment profile imaging (SPI) and micro-electrode technologies in impact assessment studies: Example from two fjords in Southern Chile used for fish farming. *Journal of Marine Systems* 62: 152-163.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., Fonseca, G. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspot for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2005. *Evaluaciones del Desempeño Ambiental, Chile*, 246 p.
- Otero, L. 2006. La huella del fuego. Historia de los bosques nativos y cambios en el paisaje del sur de Chile. Editorial Pehuén. Chile, 171 p.
- Oyarzún, C., Campos, H. & Huber, A. 1997. Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso del suelo en el sur de Chile (Lago Rupanco, X Región). *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 507-519.
- Oyarzún, C. & Huber, A. 2003. Nitrogen export from forested and agricultural watersheds of southern Chile. *Gayana Botánica* 60: 63-68.
- Prado, R., Leighton, G., Serey, I., Silva, N., Vega, N. and Escobar, M. 1999. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Chapo, Yelcho, Popetán y laguna San Antonio en la X Región. Informe final proyecto FIP 97-40.
- Ruiz, V. & Berra, T. 1994. Fishes of the high Biobio river of south-central Chile with notes on diet and speculations on the origin of the ichthyofauna. *Ichthyology Exploration Freshwaters* 5: 5-18.
- Samuelsen, O., Lunestad, B. & Husevag, B. 1992. Residues of oxolinic acid in wild fauna following medication in fish farms. *Dis. Aquat. Org.* 12: 111 - 119.
- Schindler, D. W. & E. J. Fee. 1974. Primary production in freshwater, p. 155-158. In *Proceedings of First International Congress of Ecology, Structure, Functioning and Management of Ecosystems*. Centre for Agricultural Publication and Documentation.
- Sielfeld, W. & Castilla, J. 1999. Estado de conservación y conocimiento de las nutrias en Chile. *Estudios oceanológicos* 18: 69 – 79.
- Simon, K.S. & Townsend, C. 2003. Impacts of freshwater invaders at different levels of ecological organisation with emphasis on salmonids and ecosystem consequences. *Freshwater Biology*. 48: 982 - 994.
- Soto, D., Palma, R., D'Ottone, E. & Schoffield, A. 1993. Estudio del potencial impacto ambiental de las actividades productivas y de servicio sobre el lago Llanquihue. Informe final Proyecto Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), p. 215.

- Soto, D., Campos, H., Parra, O., Zúñiga, L. & Steffen, W. 1994. The Torres del Paine Lake district (Chilean Patagonia): a case of pristine N-limited lakes and ponds. *Archivs für Hydrobiologie* 99: 181-197.
- Soto, D. & Campos, H. 1996. Los lagos oligotróficos del bosque templado húmedo del sur de Chile, p. 317-333. In Armesto, J. C. Villagrán, & M. Arroyo (eds.), *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Chile.
- Soto, D. & J. Stockner. 1996. The temperate rainforest lakes of Chile and Canada: Comparative ecology and sensitivity to anthropocentric change, p. 266-280. In Lawford, R., Alaback, P. & Fuentes, E (eds.), *High latitude rain forest of the west coast of the Americas: climate, hydrology, ecology and conservation*. Springer, New York.
- Soto, D., Jara, F., Guerreo, A., Godoy, C., Avila, X., Moreno, C., Niklitschek, E., Molinet, C. & Aedo, J. 1997. Evaluación de salmónidos de vida libre existentes en las aguas interiores de las regiones X y XI. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. Informe Final Proyecto FIP 95-31.
- Soto, D., Jara, F. & Moreno, C. 2001. Escaped salmon in the inner seas, Southern Chile: facing ecological and social conflicts. *Ecological Applications* 11: 1750-1762.
- Soto, D. 2002. Oligotrophic patterns in southern Chilean lakes: the relevance of nutrients and mixing depth. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 377-393.
- Soto, D. & Norambuena, F. 2004. Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile; a large-scale mensurative experiment. *Journal of Applied Ichthyology* 20: 493-501.
- Soto, D., Arismendi, I., González, J., Sanzana, J., Jara, F., Jara, C., Guzmán, E. & Lara, A. 2006. Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 97-117.
- Stattersfield, A., Crosby, M., Long, A. & Wege, D. 1998. *Endemic bird areas of the World: priorities for biodiversity conservation*. Birdlife International, Cambridge, UK.
- Steinhart, G., Likens, G. & Soto, D. 1999. Nutrient limitation in Lago Chaiquenes (Parque Nacional Alerce Andino, Chile): evidence from nutrient enrichment experiments and physiological assays. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 559-568.
- Steinhart G., Likens, G. & Soto, D. 2002. Physiological indicators of nutrient deficiency in phytoplankton in southern Chilean lakes. *Hydrobiologia* 489: 21-27.
- Subsecretaria de Pesca (Subpesca). 2003. *Propuesta de Política Nacional de Acuicultura*, p. 76. <http://www.subpesca.cl>
- Subsecretaria de Pesca (Subpesca). 2005. *Publicación de coordenadas geográficas de concesiones de acuicultura otorgadas y solicitudes en trámite*, p. 8. <http://www.subpesca.cl>
- Thain, J. E., Davies, I. M., Rea, G. H. & Allen, I.T. 1997. Acute toxicity of Ivermectin to the lungworm *Arenicola marina*. *Aquaculture*. 159: 47 - 52.
- Vila, I., Fuentes, L. & Contreras, M. 1999. Peces límnicos de Chile. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural, Chile* 48: 61-75.
- Vila, I., Pardo, R., Dyer, B. & Habit, E. 2006. Peces límnicos: diversidad, origen y estado de conservación, p. 73-102. In Vila, I., Veloso, A., Schlatter, R. & Ramírez, C (eds.), *Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile*. Editorial Universitaria, Chile.
- Villalobos, L., Parra, O., Gandjean, M., Jaque, E., Woelfl, S. & Campos, H. 2003. A study of the river basins and limnology of five humic lakes on Chiloé Island. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 563-590.
- Villalobos, L. 2006. Estado de conocimiento de los crustáceos zooplanctónicos dulceacuícolas de Chile. *Gayana* 70: 31-39.
- Woelfl, S., Villalobos, L., Parra, O., Steffen, W. & Campos, H. 2003. Lake Chapo: a baseline study of a deep, oligotrophic North Patagonian lake prior to its use for hydroelectricity generation: I. Physical and chemical properties. *Hydrobiologia* 510: 217-224.
- Woelfl, S. 2006. Notes on ciliated freshwater protozoa of Chile. *Gayana* 70: 24-26.
- Zama, A. & Cárdenas, E. 1982. Seasonal occurrence of fishes collected in Ensenada Baja, Southern Chile, with notes of stomach contents, sex ratio and maturity. *Introduction into Aysen Chile of Pacific Salmon*. Documento Técnico Servicio Nacional de Pesca, Chile.



WWF trabaja por un planeta vivo. Su misión es detener la degradación ambiental de la Tierra y construir un futuro en el que el ser humano viva en armonía con la naturaleza:

- conservando la diversidad biológica mundial.
- asegurando que el uso de los recursos naturales renovables sea sostenible.
- promoviendo la reducción de la contaminación y del consumo desmedido.

WWF Chile

Programa Ecorregión Valdiviana
Carlos Anwandter 624, casa 4
C.P. 511-0272
Valdivia - Chile

Tel: +56 (63) 244590
Fax: +56 (63) 222749
<http://www.wwf.cl>