



Sistemas de Producción de Smolts en Chile

Análisis de alternativas desde la perspectiva ambiental, sanitaria y económica

Smolt Production Systems in Chile

Analysis of alternatives from the environmental, sanitary and economic perspectives

Autores: Daniel Nieto ¹, Ricardo Norambuena ¹, Exequiel González ¹⁻², Laura González ¹⁻³ y Daniel Brett ⁴

Edición: Paula Moreno ⁵ y Daniel Carrillo ⁵

¹SustainableSalmon Energy / ²Pontificia Universidad Católica de Valparaíso / ³University of Tasmania / ⁴Fulbright Chile, U.S. Student Program / ⁵WWF Chile



Sistemas de Producción de Smolts en Chile

Análisis de alternativas desde la perspectiva ambiental, sanitaria y económica

Smolt Production Systems in Chile

Analysis of alternatives from the environmental, sanitary and economic perspectives

Autores: Daniel Nieto ¹, Ricardo Norambuena ¹, Exequiel González ¹⁻², Laura González ¹⁻³ y Daniel Brett ⁴

Edición: Paula Moreno ⁵ y Daniel Carrillo ⁵

¹Sustainable Salmon Energy / ²Pontificia Universidad Católica de Valparaíso / ³University of Tasmania / ⁴Fulbright Chile, U.S. Student Program / ⁵WWF Chile

Indice ~ Table of Contents

3	Agradecimientos - Acknowledgements
4	Prólogo - Prologue
6	Introducción - Introduction
6	Estadísticas de producción - Production statistics
8	Descripción de los sistemas actualmente en uso para la producción de smolts de salmónidos en Chile - Description of the current salmonid smolt production systems used in Chile
8	Ciclo de vida de salmónidos en su ambiente natural - Salmonid lifecycle in nature
8	Ciclo de vida de salmónidos en cautiverio - Salmon lifecycle in captivity
9	Calidad de agua - Water quality
10	Descripción de los sistemas para producción smolts - Description of smolt production systems
11	Cultivo en tierra con flujo abierto - Flow-through land-based farms
13	Cultivo en tierra con sistemas de recirculación - Land-based recirculating aquaculture systems
16	Impactos sanitarios, ambientales y sociales de los sistemas utilizados para la producción de smolts de salmónidos en Chile - Sanitary, environmental and social effects of salmonid smolt production systems used in Chile
16	Impactos sanitarios - Sanitary effects
19	Impactos ambientales - Environmental effects
19	Sistemas de smoltificación en tierra: flujo abierto y recirculación - Land-based smolting systems: flow-through and recirculation
19	Impactos sobre los cursos de agua - Impacts on water courses
20	Residuos sólidos - Solid waste
20	Sistemas de smoltificación instalados en lagos, estuarios o ríos - Smolt systems in lakes, estuaries and rivers.
20	Impactos sobre los cuerpos de agua - Impacts on water bodies
22	Efectos sobre las comunidades acuáticas - Effects on aquatic communities
23	Contaminación biológica - Biological pollution
23	Impactos sociales - Social effects
25	Análisis económico de los distintos sistemas de producción de smolts - Economic analysis of different smolt production systems.
25	Estructuras de costos, inversión y beneficios netos de los sistemas de producción de smolts - Cost structures, investment and net benefits of smolt production systems
28	Análisis de estrategias alternativas para la producción de smolts - Analysis of alternative smolt production scenarios.
29	Estrategia A - Strategy A
30	Estrategia B - Strategy B
31	Estrategia C - Strategy C
32	Estimación de los requerimientos y necesidades ambientales para la smoltificación actual y futura de la industria - Estimated environmental requirements and needs for current and future smolt production in the industry.
32	Supuestos - Assumptions
32	Proyecciones productivas - Productive projections
36	Estimación de recursos necesarios para satisfacer las proyecciones - Estimated resources needed to satisfy projections
36	Recursos naturales - Natural resources
37	Recursos económicos - Economic resources
39	Conclusiones y recomendaciones - Conclusions and recommendations
43	Literatura citada - References

Por el respaldo fundamental a la investigación que permitió el desarrollo de este informe, queremos agradecer a las fuentes de financiamiento del Programa de Acuicultura de WWF Chile. En esta misma línea agradecemos también a la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO, por el apoyo brindado.

De manera especial, WWF Chile agradece a las empresas productoras de salmónes AquaChile S.A., Marine Harvest Chile S.A. y Multiexport Foods S.A. por permitirnos utilizar información y datos de los distintos sistemas de producción de *smolts* actualmente en operación. Los autores de este estudio destacan la participación y colaboración de los señores José Ramón Gutiérrez, Torben Petersen, Alfonso Márquez de la Plata, Óscar Garay, Marcelo Urrutia, Enrique Madrid y Rodger Miranda, profesionales que trabajaban en las empresas informantes al momento de la colección de la data, con quienes se programaron reuniones de trabajo y aportaron los detalles de los distintos sistemas de cultivo. Asimismo, al Sr. Osvaldo Díaz de la empresa Ventisqueros S.A. y al Sr. Marcelo Varela, de la empresa Billund Aquaculture Chile S.A., por aportar comentarios y antecedentes para enriquecer los análisis efectuados.

Por su parte, los editores agradecen a Ricardo Bosshard, Emily Owen y Susan Díaz de WWF Chile, quienes colaboraron en la revisión de los textos y a Tina Buijs por la traducción de este documento al inglés.

The research involved in the preparation of this report was made possible through funding provided by WWF Chile's Aquaculture Program. We would also like to thank the Chilean Economic Development Agency (CORFO) for its financial support.

WWF Chile extends special thanks to the salmon producers AquaChile S.A., Marine Harvest Chile S.A. and Multiexport Foods S.A. for allowing us to use information and data from the different smolt production systems currently in operation. The authors of this study particularly wish to recognize the participation and collaboration of José Ramón Gutiérrez, Torben Petersen, Alfonso Márquez de la Plata, Óscar Garay, Marcelo Urrutia, Enrique Madrid and Rodger Miranda. These professionals worked for the participating companies at the time the data were collected and took part in meetings to provide details about the different production systems. We also wish to thank Marcelo Varela of Billund Aquaculture Chile S.A. for contributing comments and background information that enriched the analyses contained in this report.

The editors would like to thank Ricardo Bosshard, Emily Owen and Susan Díaz of WWF Chile for their collaboration in reviewing the text, and Tina Buijs for the English translation of this document.

El presente trabajo comenzó a gestarse prácticamente cuando la industria del salmón empezaba a experimentar las primeras consecuencias de lo que a la postre se transformó en la peor crisis de su corta historia: un colapso al que el modelo de producción la arrastró inexorablemente y cuya expresión clínica más visible fue la irrupción del virus de la Anemia Infecciosa del Salmón (ISA). Es en este escenario particularmente sensible que exponemos los resultados de nuestra investigación. No obstante, animados por un espíritu de ver la mitad del vaso lleno, entregamos este informe en la certeza de estar aportando con información que será muy útil a la hora de que las diversas empresas se dispongan a evaluar el ingreso a esta tecnología de la recirculación de aguas, de la que ya varias han experimentado sus virtudes y beneficios.

Algunos de los aspectos que más se han mencionado como base para la tesis de la recuperación de la industria salmonera es la definición de la localización y distancia que debe existir entre centros de cultivo, la bioseguridad como pilar del control sanitario, y el establecimiento de los “barrios” o zonas biogeográficas de uso común para varios centros de cultivo. Sin perjuicio del valor intrínseco de estas consideraciones, en el presente trabajo queremos poner énfasis en un enfoque que establece que hay condiciones previas y una de ellas, tal vez la más determinante, es la calidad - sanitaria y productiva - del producto del trabajo de la fase de agua dulce, es decir, el *smolt*. Esto significa que no sólo la distancia y la bioseguridad importan: es conveniente, o más bien necesario, replantearse la “forma” de hacer acuicultura, particularmente desde su génesis misma, para lo cual intentamos aportar antecedentes y datos numéricos que hagan que las empresas se sientan atraídas hacia el cambio de todo el modelo productivo de agua dulce hacia sistemas cerrados y controlados de recirculación.

En rigor, una piscicultura de recirculación representa varios conceptos a la vez: una piscifactoría con total predictibilidad de sus producciones, una unidad productiva que no demanda antibióticos excepto por notables excepciones; a su vez, es una planta de tratamiento de aguas, y mirado en un contexto más holístico, es un verdadero ecosistema que el acuicultor debe saber manejar y mantener vivo y sano. Este es el desafío; al año 2002 había tres de estas unidades operando en Chile, mientras que actualmente son quince y hay señales de que este número continuará creciendo. No cabe la menor duda acerca de las virtudes de este tipo de tecnología, y nuestro propósito al asumir esta investigación no era otro que ofrecer a la comunidad algunas herramientas útiles para su análisis y decisión.

Daniel Nieto
Director del Estudio

The work presented in this report was conceived at nearly the same time that the salmon industry began to feel the first effects of what eventually became the worst crisis of its brief history: an inevitable collapse brought about by the production model, the most visible symptom of which was the infectious salmon anemia (ISA) virus outbreak. The context in which we present these results is, therefore, particularly sensitive. Nonetheless, motivated by a glass-is-half-full philosophy, we are publishing this report with the certainty that we will provide valuable information to the different companies for when they are ready to assess this technology, the benefits of which have already been proven.

Some of the most frequently discussed aspects on which to base the thesis of the salmon industry recovery are a definition of the location and distance between concessions, biosecurity as a pillar of proper health practices, and the creation of biogeographic areas or “neighborhoods” shared by several concessions. Notwithstanding the inherent value of these considerations, our aim in this report is to emphasize the importance of smolt quality, since the freshwater phase builds the foundation for successful fish development during the later ocean on-growing stage. This means that apart from considering distance and biosecurity, the “form” in which aquaculture is practiced must be entirely rethought, particularly in the initial phases. With this in mind, we provide background information and statistics that make the change from the present freshwater production model to closed and controlled recirculating aquaculture systems an attractive prospect for the salmon companies.

Strictly speaking, a recirculating aquaculture system represents several concepts at once: a completely predictable “fish factory”; a production unit that does not need antibiotics except in extreme situations; a water treatment plant; and, from a more holistic perspective, a true ecosystem that the aquaculture producer must know how to manage and keep alive and healthy. Thus, the challenge is: in 2002, only three of these units existed in Chile. There are now fifteen, and it seems that this number will continue to grow. Without a doubt, this technology offers distinct advantages, and our goal in undertaking this research is to offer the community useful tools for analysis and decision-making.

Daniel Nieto
Lead Researcher



Centro de cultivo
de recirculación,
Región de Los Lagos,
Chile / Recirculating
aquaculture system,
Los Lagos Region,
Chile. © WWF Chile -
Kevin SCHAFER.

Los cuerpos de agua continentales poseen un alto grado de vulnerabilidad ambiental debido a que constituyen un receptáculo y reservorio de todos los materiales disueltos y particulados provenientes de la respectiva cuenca hidrográfica. Este diagnóstico ya fue corroborado por autores nacionales, quienes pusieron en evidencia que en los lagos Araucanos y de la Isla de Chiloé las diversas actividades humanas contribuyen, en distinto grado, al deterioro de los ecosistemas lacustres. Las principales causas son los aportes de nutrientes y otras sustancias que afectan negativamente la calidad de las aguas y del sedimento de los lagos, compuestos que son generados mayoritariamente por la agricultura, pérdida de bosque nativo, ganadería, salmonicultura, desechos domésticos o industriales, malas prácticas del turismo, entre otros (León-Muñoz *et al.* 2007).

En el caso del cultivo de salmones, el uso intensivo de los lagos para la producción de *smolts*¹ ha contribuido a generar impactos ambientales negativos asociados al deterioro de la calidad del agua y sedimento en el área de influencia de balsas-jaulas del centro de cultivo. Igualmente, ha provocado efectos perjudiciales sobre las especies nativas cuando ocurren escapes de ejemplares (Sepúlveda *et al.* 2009).

Estadísticas de producción

En las últimas dos décadas, la salmonicultura chilena creció desde menos de 50 mil toneladas en 1988 hasta más de 630 mil toneladas en el año 2008 (Sernapesca 2010). Este rápido crecimiento generó externalidades positivas como mayor dinamismo en las economías locales, aumento en la demanda de empleo, incremento en la disponibilidad de bienes y servicios, y un alza en la disponibilidad de opciones de educación en todos sus niveles, entre otros aspectos. Sin embargo, también se han generado externalidades o efectos negativos: mayor presión sobre los servicios ambientales disponibles en ríos, lagos y borde marino costero, introducción o potenciamiento de patógenos exóticos o nativos (hongos, bacterias, virus, parásitos), incremento en el uso de antimicrobianos y otras sustancias químicas utilizadas en la prevención y control de enfermedades que contaminan los sistemas acuáticos.

De acuerdo al Registro Nacional de Acuicultura (Anuario Estadístico Sernapesca, 2008) los centros de cultivo autorizados para producir peces se distribuyen a lo largo de todo Chile, aunque la producción de salmones se concentra en las regiones del sur, entre Bío-Bío y Magallanes. Al 2008, de todos los centros de cultivo el 87% correspondió a concesiones de cultivo; 11% a pisciculturas² y 2% a *hatcheries*³. En estos centros de agua dulce se produjeron en 2008

Freshwater bodies are exceptionally vulnerable to environmental degradation, since they receive and retain all dissolved and particulate matter within the watershed. This claim has already been supported by Chilean authors, who have indicated that the diverse human activities undertaken in the Araucanian and Chiloé Island lakes contribute, to differing degrees, to the deterioration of lake ecosystems. The main cause is the influx of nutrients and other substances that negatively affect water and sediment quality in lakes. These substances generally come from agriculture, loss of native forest, livestock, salmon aquaculture, domestic and industrial waste and poor tourism practices, among other activities (León-Muñoz *et al.* 2007).

In the case of salmon farming, the intensive use of lakes for smolt¹ production has contributed to negative environmental impacts associated with decreased water and sediment quality in the area of influence of the net pens. Likewise, this use has resulted in detrimental impacts on native species due to salmon escapes (Sepúlveda *et al.* 2009).

Production statistics

In the past two decades, Chilean salmon aquaculture has grown from under 50,000 tons in 1988 to over 630,000 tons in 2008 (Sernapesca 2010). This rapid growth has generated positive effects such as more dynamic local economies, higher demand for labor, an increase in the availability of goods and services and growing educational opportunities at all levels. Negative impacts, however, are also evident; there is greater pressure on the environmental services provided by rivers, lakes, and the coast; exotic and native pathogens (fungi, bacteria, viruses, parasites) have been introduced or have increased; and greater quantities of antimicrobials and other chemical substances are used in disease prevention and control, polluting aquatic ecosystems.

According to the National Aquaculture Register (Anuario Estadístico Sernapesca, 2008), fish farms have been authorized throughout Chile, although salmon production is concentrated in the south between the Bío-Bío and Magallanes Regions. In 2008, 87% of all fin fish sites were ocean or lake-based fish farms, 11% were land-based nurseries², and 2% land-based hatcheries³.

These freshwater farms produced over 741 million salmonid ova and 298 million smolts in 2008, 29% of which came from estuary-based farms, 30% from lake-based net pens, and 41% from land-based facilities, or nurseries, with either flow-through or recirculating aquaculture systems (Sernapesca *com. pers.* 2010).

¹ Comprende desde la fertilización de gametos para producir ovas hasta el proceso de smoltificación que ocurre en agua dulce, cuando los ejemplares sufren un cambio fisiológico y están preparados para vivir en agua de mar.

² Piscicultura: centro en tierra para la reproducción (incluyendo por lo general al hatchery) y conservación de peces por medios que reemplazan o complementan los procesos naturales normales.

³ Hatchery: centro en tierra para el desove, eclosión y cultivo de los estados de desarrollo temprano de los peces. El hatchery (o centro de desove) y la piscicultura (o criadero), están muy relacionados.

¹ This includes the period from gamete fertilization for ova production to the freshwater smolting process, when individuals undergo a physiological change and become able to live in the ocean.

² Nursery: land-based site for fish reproduction (generally including hatcheries) and conservation using methods that replace or complement natural processes.

³ Hatchery: land-based center for spawning, hatching, and early phases of the fish lifecycle. The hatchery (or spawning facility) and the nursery are closely linked.

sobre 741 millones de ovas y 298 millones de *smolts* de salmónidos. De éstos, el 29% proviene desde centros ubicados en estuarios, 30% viene de balsas-jaulas en lagos y el 41% corresponde a instalaciones en tierra, ya sea pisciculturas de flujo abierto o con sistemas de recirculación. (Sernapesca *com. pers.* 2010).

Se estima que la mayor parte de la producción actual de *smolts* proviene de piscicultura, principalmente flujo abierto que genera alevines, seguida por el proceso de smoltificación realizado en concesiones de lagos, ríos o estuarios. Sin embargo, se prevé escaso o nulo crecimiento de su producción debido a que desde la vigencia de la Ley General de Pesca y Acuicultura (1991) no existe posibilidad de autorizar nuevos centros, considerando que no se han decretado Áreas Apropriadas para la Acuicultura en ningún lago de Chile. Es decir, la producción actual está basada en los centros de cultivo autorizados antes de la mencionada Ley y su crecimiento sólo se ha basado en el incremento de la producción en espacios restringidos. Este hecho fue ampliamente documentado en el informe de WWF Chile “Salmonicultura en los lagos del sur de Chile -Ecorregión Valdiviana - historia, tendencias e impactos medioambientales” publicado en 2007, donde se plasmó la urgencia de realizar una transición desde centros de cultivo en sistemas abiertos en cuerpos de agua lacustres hacia sistemas de producción de menor impacto ambiental, como las pisciculturas en tierra con sistemas de recirculación. Siguiendo esta línea de trabajo, y como una forma de avanzar hacia la transición de centros de cultivo en balsas-jaulas a sistemas en tierra más eficientes y amigables con el medio ambiente, es que el presente estudio incluye un análisis técnico-financiero que compara los costos y beneficios de producción, el impacto ambiental y el riesgo sanitario de los distintos tipos de sistemas de producción de *smolts* actualmente en uso en la zona sur de Chile. Estos son, 1) sistema abierto sobre cuerpos de agua lacustres, 2) sistema abierto sobre cuerpos de agua estuarinos y ríos, 3) piscicultura en tierra con flujo abierto, y 4) piscicultura en tierra con sistemas de recirculación.

It is estimated that the majority of current smolt production comes primarily from flow-through fish farms that produce alevins, followed by the smolting process in lake, river, and estuary-based farms. Little or no growth in production is foreseen, however, since the General Fisheries and Aquaculture law (1991) prohibits the authorization of new farms, considering that “Areas Suitable for Aquaculture” have not been designated in any Chilean lakes. This means that current production takes place on farms that were authorized prior to the aforementioned law, and that the growth of these farms is based solely on production increases in restricted spaces. This fact was thoroughly documented in WWF Chile's 2007 report, *Salmon Farming in the Lakes of Southern Chile –Valdivian Ecoregion– History, Tendencies, and Environmental Impacts*, which brought to light the urgent need for a transition from open systems in freshwater lakes to production systems with less environmental impact, such as land-based recirculating aquaculture systems. In line with the 2007 report, and as a way of moving from net pens to more efficient and environmentally-friendly land-based systems, this study includes a technical-financial analysis which compares production costs and benefits, environmental impact and health risks of the different types of smolt production systems currently used in Southern Chile: 1) open systems in lakes; 2) open systems in estuaries and rivers; 3) flow-through land-based fish farms; and 4) land-based fish farms with recirculating aquaculture systems.

Descripción de los sistemas actualmente en uso para la producción de smolts de salmónidos en Chile ~ Description of the current salmonid smolt production systems used in Chile

Para comprender cómo funcionan los distintos sistemas usados para la producción de *smolts* de salmónidos es conveniente y necesario entender los procesos involucrados durante su ciclo de vida en la naturaleza y, luego, ver cómo se han adaptado estos procesos utilizando dichos sistemas.

In order to understand how different salmonid smolt production systems work, it is necessary to first understand the natural lifecycle of salmonids, and then look at how these processes have been adapted using artificial systems.

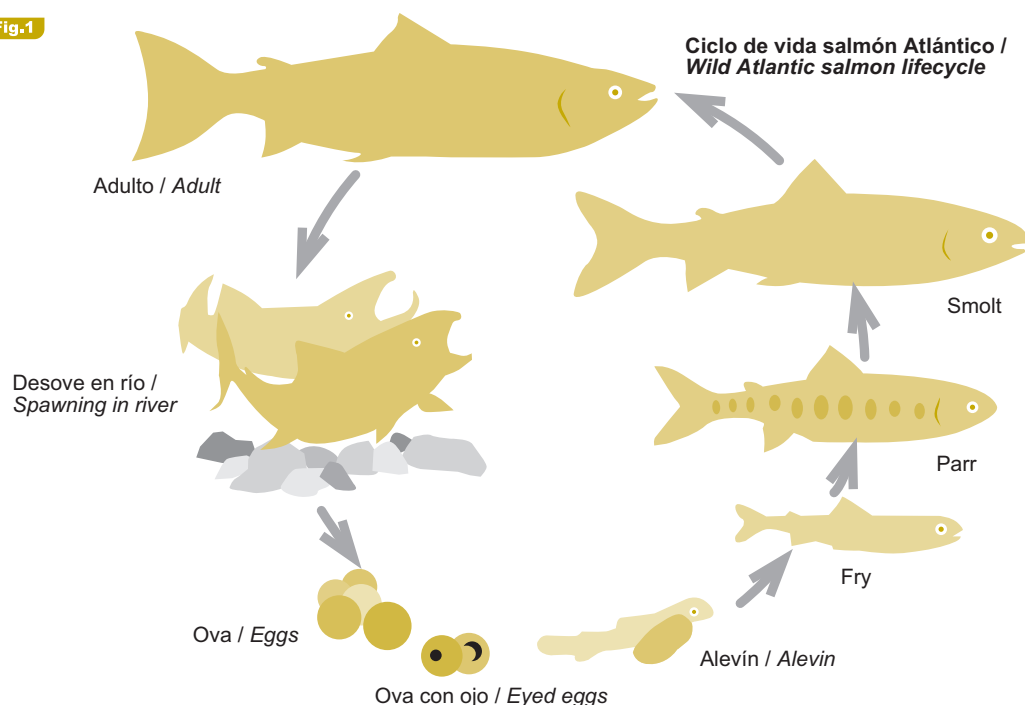
Ciclo de vida de salmónidos en su ambiente natural

Los salmónidos más cultivados en Chile son el salmón Atlántico (*Salmo salar*), salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*) y la trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), que son especies anádromas, es decir, desovan en cuerpos de agua dulce donde alcanzan su estado juvenil y, especialmente, logran un cambio fisiológico fundamental, la smoltificación, para luego migrar hacia aguas marinas en las cuales crecen y maduran sexualmente (Figura 1).

Salmonid lifecycle in nature

The salmonid species most commonly farmed in Chile are the Atlantic salmon (*Salmo salar*), Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). These species are anadromous, meaning they spawn in freshwater and remain there until reaching the juvenile phase. They then undergo smolting, a fundamental physiological change that allows them to migrate to the ocean where they grow and mature sexually (Figure 1).

Fig.1



Ciclo de vida de salmónidos en cautiverio

En el intento por domesticar y criar los salmones, se han tratado de reproducir las condiciones ambientales de su vida silvestre. Para ello, los peces son mantenidos en balsas-jaulas o bien en estanques en tierra con flujo abierto o sistemas de recirculación de agua, cuyas condiciones permitan controlar el proceso biológico general del pez, esto es, la regulación de parámetros del agua como la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH, entre otras. Este ciclo vital puede modificarse manipulando a los reproductores durante el desove, mediante hormonas y/o modificando el fotoperíodo⁴ o la temperatura durante la etapa de alevinaje en los sistemas de

Salmon lifecycle in captivity

Attempts to domesticate and raise salmon have focused on recreating the natural conditions of their lifecycle in the wild. In order to achieve this, fish are kept in net pens, land-based flow-through systems or recirculating aquaculture systems where the overall biological process of the fish can be controlled by regulating water parameters such as temperature, dissolved oxygen and pH. The lifecycle can be altered by manipulating breeders during spawning using hormones and/or modifying the photoperiod⁴ or temperature during the alevin phase in the farming systems. By doing this, the industry can produce smolts year-round.

Figura 1. Ciclo de vida del salmón Atlántico (*Salmo salar*) en vida silvestre. Fuente: Basado en Atlantic Salmon Federation, 2010.

Figure 1. Wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) lifecycle. Source: Based on Atlantic Salmon Federation, 2010.

⁴Fotoperíodo: número de horas luz (natural o artificial) y de horas oscuridad por día.

⁴Photoperiod: Number of hours of daylight (natural or artificial) and darkness per day.

cultivo. De esta forma la industria puede obtener producciones de *smolts* durante todo el año.

Como antecedente, cabe mencionar que los peces son organismos poiquiloterms, es decir, no pueden regular la temperatura de su cuerpo tal como lo hacen las aves y los mamíferos, por lo cual su temperatura es similar a la del medio que los rodea. Ésta influye directamente en procesos fisiológicos como tasa de respiración, eficiencia de alimentación y asimilación, crecimiento, comportamiento y reproducción. Cada especie salmonídea responde a un rango de temperatura óptima en el que maximiza su crecimiento, es decir, un límite superior o inferior fuera del cual no crece o no puede sobrevivir. Dentro de este rango de tolerancia, a medida que aumenta la temperatura del agua, se incrementa la tasa de crecimiento hasta alcanzar una temperatura óptima.

Complementariamente, la tasa de crecimiento de los peces depende, además de la temperatura, de la cantidad de alimento suministrado, lo que determina su eficiencia metabólica, la cual generalmente es expresada como tasa de conversión del alimento.

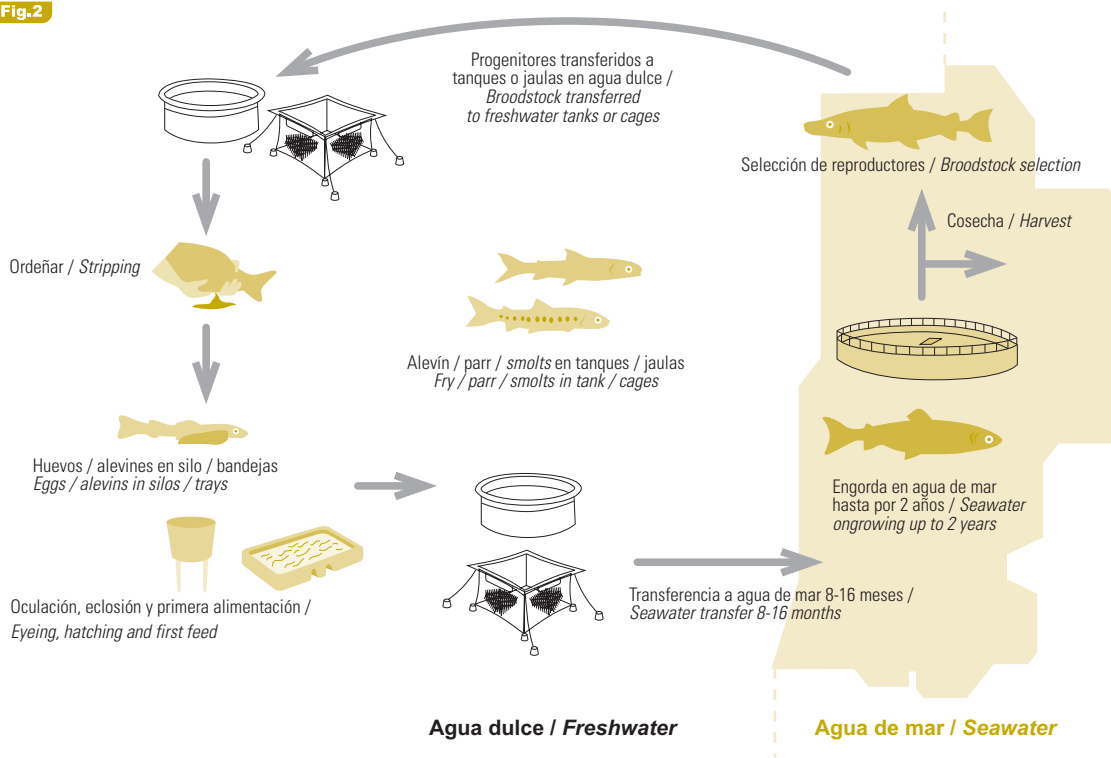
La Figura 2 esquematiza un proceso estándar de producción de salmones y describe el ciclo de los salmónidos más cultivados en forma intensiva en Chile.

It is important to mention that fish are cold-blooded organisms, meaning that they cannot regulate their body temperature like birds or mammals. This temperature is therefore similar to the temperature of the surrounding environment, directly influencing physiological processes such as breathing rate, feeding and assimilation efficiency, growth, behavior and reproduction. Each salmonid species responds to an optimal temperature range in which growth is maximized and outside of which growth and survival are not possible. Within this tolerance range, increased water temperature results in an increased growth rate until the optimal temperature is reached.

In addition to temperature, fish growth rates also depend on the amount of feed provided. This factor determines metabolic efficiency, which is generally expressed as the feed conversion rate.

Figure 2 depicts the standard salmon production process and describes the lifecycle of the salmonids most commonly farmed in intensive systems in Chile.

Fig.2



Calidad de agua

Existen limitantes biológicas de producción en los distintos tipos de sistemas de cultivo. Las densidades de stock y cantidades de cosecha son finitas y están determinadas por la capacidad de carga del cultivo o ambiente. La disponibilidad de oxígeno disuelto

Water quality

There are biological limitations to production in the different types of farming systems. Stock density and harvest quantities are finite, and are determined by site or environmental carrying capacity. Available dissolved oxygen is the primary determining factor for maximum

Figura 2. Ciclo de producción de salmón del Atlántico (*Salmo salar*). Fuente: Basado en FAO 2010.

Figure 2. Production cycle for Atlantic salmon (*Salmo salar*). Source: Based on FAO 2010.

es el principal factor que determina la biomasa máxima del cultivo, el que a su vez depende de la temperatura, conductividad y presión atmosférica. A mayor densidad de cultivo, mayor demanda de oxígeno por parte de los peces. Es por este motivo, que la mantención de la calidad del agua en la cual se desarrollan los peces es esencial para poder, por un lado, obtener los resultados productivos requeridos y, asegurar el bienestar de los animales.

Las condiciones adecuadas de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua, así como la estabilidad de dichos parámetros repercutirá positivamente sobre las tasas de crecimiento y un bajo nivel de estrés de los organismos, resultando en menores riesgos de brotes de enfermedades. En los cultivos en balsas-jaulas, la biomasa en stock no sólo corresponde a la especie producida en el cultivo.

De este modo, en un cultivo coexisten varias especies acuáticas, como por ejemplo aquellas de fitoplancton y de zooplancton que pueden llegar a constituir una importante porción de la biomasa en el cultivo. Debido a su pequeño tamaño y mayor relación entre la superficie y volumen, tanto fito como zooplancton poseen una tasa metabólica significativamente mayor y, por lo tanto, mayores tasas de respiración. En un centro de cultivo con baja renovación de agua o circulación, sólo el fitoplancton puede consumir hasta cinco veces más oxígeno por día que los mismos peces. Esto explicaría la gran productividad biológica generada, lo que en definitiva se convierte en eutroficación de los cuerpos de agua (Wurts 2000).

Descripción de los sistemas para producción de *smolts*

Cultivos abiertos en lagos, estuarios y ríos

Las balsas-jaulas utilizadas en la producción de *smolts* en lagos corresponden a estructuras modulares, metálicas o plásticas, cuadradas, cuyas dimensiones pueden ser de 10x10 m, 15x15 m ó 20x20 m. La flotabilidad es otorgada por la propia estructura y por un sistema de flotación (bloques de poliestireno expandido o polietileno de alta densidad). La profundidad de las redes de nylon o poliéster usadas en los lagos varía entre 7 y 10 m, mientras que en los estuarios puede alcanzar hasta 20 m, lo que depende de la batimetría del sitio o necesidad de cultivo. Las balsas-jaulas se agrupan en trenes de cinco o más unidades, los cuales están anclados mediante líneas resistentes a fondeos (bloques de concreto o anclas) dispuestos en el fondo del lago, estuario o río (Beveridge 1986).

Para la instalación de las balsas-jaulas se disponen pesos en las esquinas inferiores de las redes para lograr mantener su forma y en los extremos de la estructura flotante, fondeos o bloques de cemento para mantener la balsa-jaula fija a un lugar. No obstante, este anclaje debe permitir una cierta flexibilidad de movimiento ya que estos sistemas están afectados a corrientes y al viento. Además, aproximadamente a una altura de un metro sobre ella, se coloca una red para impedir la fuga de salmones

farm biomass, which, in turn, depends on temperature, conductivity and atmospheric pressure. Greater farm density results in higher demand for oxygen by fish. It is therefore essential to maintain the quality of the water in which the fish develop in order to obtain the required production and ensure the animals' well-being. Keeping physical, chemical and biological water conditions within appropriate limits will have a positive effect on growth rates and will lower fish stress levels, resulting in a lower risk of disease outbreaks.

In net pen farms, stock biomass refers to more than just the species farmed. Several aquatic species, such as phytoplankton and zooplankton, coexist at farms and can represent an important share of total farm biomass. Due to their small size and high surface area to volume ratio, both phytoplankton and zooplankton have a significantly higher metabolic rate and high respiration rates. At a farm with low water renewal or circulation rates, phytoplankton alone can consume up to five times more oxygen per day than the fish. This scenario explains the high levels of biological productivity that lead to the eutrophication of water bodies (Wurts 2000).

Description of smolt production systems

Open farms in lakes, estuaries and rivers

The net pens used for smolt production in lakes are square, modular structures made out of metal or plastic, with dimensions of 10x10 m, 15x15 m, or 20x20 m. The net pens float thanks both to the structure itself and to a flotation system (expanded polystyrene or high-density polyethylene blocks). The depth of the nylon or polyester nets used in lakes ranges between 7 and 10 m, while those in estuaries can reach up to 20 m depending on site bathymetry and farming needs. The net pens are grouped in trains of five or more units that are anchored by sturdy lines to concrete blocks or anchors on the bottom of the lake, estuary or river (Beveridge 1986).

The net pens have weights in the lower corners to maintain their shape, and the ends of the floating structure are attached to anchors or cement blocks to hold the pen in place. Nonetheless, this anchoring system must allow for a certain degree of flexibility, since these systems are affected by currents and wind. In addition, a net to prevent salmon escapes and/or predation by birds and sea and river otters is placed approximately one meter above the net pen (Osvaldo Díaz, Empresa Ventisqueros, *com. pers.* 2009).

Net pen systems in estuaries also use additional nets deployed a certain distance away from the pens to keep sea lions from feeding on the salmon through suction.

y/o la depredación por parte de aves, nutrias o huillines (Osvaldo Díaz, Empresa Ventisqueros, *com. pers.* 2009).

En los sistemas de balsas-jaulas en estuarios también se usan redes loberas que deben mantenerse a cierta distancia de la red pecera, para evitar la acción de succión que realizan estos mamíferos para alimentarse de los salmones.

La profundidad en la que son instaladas las balsas-jaulas variará dependiendo de las características de los cuerpos de agua en los que se encuentren, cambiando la altura de la red y la consecuente densidad de stock de acuerdo a las condiciones hidrodinámicas del sector.

De esta forma, se permite el recambio del agua bajo las estructuras, para así mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto y asegurar la dispersión de los desechos metabólicos de los peces.

La mayor parte del alimento para salmones corresponde a alimento extruido⁵, y en muy baja proporción a alimento pelletizado⁶, lo que ha permitido disminuir considerablemente la tasa de alimento no consumido por los peces que cae al fondo y se descompone, generando gases y sustancias tóxicas.

El éxito en el cultivo depende de mantener una buena calidad de agua, por lo que es clave para el productor evitar el impacto adverso de la actividad sobre la calidad del agua y sedimentos, lo que tiene que ver principalmente con fecas y alimento no consumido en cantidades superiores a las que el sistema natural puede remineralizar. Para ello, es esencial que la magnitud e intensidad del cultivo sean adecuadas al tamaño y capacidad de carga de los cuerpos de agua.

Como parte de las actividades rutinarias de manejo de los centros, los peces muertos del cultivo son retirados periódicamente, ya sea por medio de buceo o utilizando una malla o quecha. El manejo de las mortalidades es realizado por terceros y su destino son vertederos autorizados o plantas productoras de harinas y aceites. Los manejos que se realizan en las jaulas son: desdoble⁷, selección⁸, vacunación, muestreo de peso, así como la verificación de patologías.

Cultivo en tierra con flujo abierto

Estas instalaciones en tierra utilizan el agua ya sea de cursos o cuerpos de agua adyacentes. Una vez

The depth at which the net pens are installed depends on the characteristics of the water bodies in which they are found. Net depth and the resulting stock density thus vary with the area's hydrodynamic conditions. This permits the exchange of water under the structure, thereby maintaining sufficient levels of dissolved oxygen and ensuring the dispersion of fish waste.

The majority of salmon feed is extruded⁵, with a much smaller proportion in the form of pellets⁶. The use of extruded feed has considerably decreased the amount of unconsumed feed that decomposes on the bottom of the water body, generating gases and toxic substances.

Farming success depends on good water quality, thereby making it essential for producers to avoid adverse impacts on water and sediment quality. These impacts are mainly related to the presence of feces and unconsumed feed in higher quantities than can be remineralized by the natural system. It is therefore crucial that farming magnitude and intensity be suited to the size and carrying capacity of the water bodies.

As a part of routine fish farm management activities, dead fish are removed periodically via diving or by using a cleaning net. Third parties handle the management of these mortalities, which are sent to authorized dump sites or meal and oil plants. Management practices for net pens include: splitting⁷, grading⁸, vaccination, weight sampling, and pathology tests.

Flow-through land-based farms

Land-based facilities use water from adjacent water courses or bodies. This water enters the fish farm and

⁵ Alimento extruido: proceso de preparación más caro pero que permite bajar los costos de formulación y aumentar el rango de materias primas, almidones cocidos (gelatinización), buen perfil de proteínas con un contenido bajo de harina de pescado (más soja) con respecto que el pelletizado, mejor digestibilidad y estabilidad en el agua que el pelletizado, pasteurizado y sin bacterias (a diferencia del pelletizado), conversión del alimento más baja, mucho menor producción de fecas que el pelletizado, se pueden lograr tamaños más pequeños que el pelletizado pero el tamaño por unidad varía de acuerdo a la necesidad según la talla del pez.

⁶ Alimento pelletizado: materias primas finamente divididas, algunas veces en polvo, impalpables y difíciles de manejar que a través de la aplicación de calor, humedad y presión mecánica se puedan transformar en partículas más grandes y de naturaleza estable; los pellets son usualmente cilíndricos y varían su diámetro y tamaño de acuerdo a la necesidad según la talla del pez.

⁷ Desdoble: Disminuir la densidad de cultivo, en número o en biomasa, trasladando parte de los peces desde una jaula a otra.

⁸ Selección: formar grupos de igual tamaño dentro de las unidades de cultivo.

⁹ Extruded feed: This type of feed involves a more expensive preparation process but lowers formulation costs and increases the range of raw materials and cooked starches (gelatinization). It has a good protein profile with a lower fishmeal content (greater proportion of soy) than pellets. It is easier to digest, more water stable than pellets, pasteurized and bacteria-free (unlike pellets). It has lower conversion rates than pellets, resulting in less fecal matter, and can also be produced at smaller sizes according to fish needs.

⁶ Pellet feed: Made of very fine or powdery raw materials that are impalpable and hard to manage, but can be transformed into larger, stable particles using heat, moisture, and pressure. Pellets are usually cylindrical, with variable diameter and size according to fish needs.

⁷ Splitting: The process of decreasing farming density, either in quantity or biomass, by moving a portion of the fish from one net pen to another.

⁸ Grading: The process of creating same-size groups within farm units.

que ésta ingresa a la piscicultura, pasa a través de los estanques plásticos donde los peces son contenidos, para posteriormente ser descargada nuevamente al río, estero o lago. Como una forma de eliminar o reducir las interacciones entre los peces en los estanques y agentes externos, es que se utilizan filtros gruesos y/o estanques de decantación cuyo objetivo es impedir la entrada de objetos y algunos organismos grandes, sin embargo, no se impide el paso de virus, bacterias, hongos, fitoplancton y zooplancton e insectos. Debido a que estas instalaciones pueden verse afectadas por la luz solar, temperatura e interacción con aves o mamíferos, los estanques se cubren con mallas para reducir y evitar el estrés de los peces (Figura 3).

Uno de los factores que más impactan a los centros de cultivo asociados a cursos de agua (ríos o esteros) son las crecidas generadas por lluvias, las cuales provocan el arrastre de gran cantidad de material (sedimento y hojas) que obstaculiza la toma de agua para el cultivo.

Este aumento del caudal, por las características de las hoyas hidrográficas en las regiones en que se han instalado estas pisciculturas, suele estar asociado a cambios bruscos en el pH del agua afluente por la incorporación de aguas estancadas durante la estación seca, lo que causa problemas a los peces en cultivo. Para la sedimentación y retención de sólidos, se utiliza un estanque de decantación posterior a la toma de agua. Los sistemas de estanques, tuberías y bombas son similares a los que se detallan en sistemas de recirculación.

passes through the plastic tanks containing the fish, after which it is discharged back into the river, stream or lake. In order to eliminate or reduce the interaction between the fish in the tanks and external organisms, coarse filters and/or settling tanks are used to prevent the entry of objects and larger organisms. However, these filters do not prevent the entry of viruses, bacteria, fungi, phytoplankton, zooplankton and insects. Since these facilities can be affected by sunlight, extreme temperatures and interactions with birds or mammals, the tanks are covered with mesh nets to reduce and avoid fish stress (Figure 3).

One of the factors that has the greatest impact at farms associated with rivers or streams is elevated flows due to rainfall, carrying along debris (sediment and leaves) that can interfere at the farm's water intake point.

Due to the hydrographic attributes of the basins where farming occurs, this increase in stream flow is oftentimes associated with abrupt changes in the pH of tributaries due to the influx of stagnant water left over from the dry season. A settling tank is used downstream from the water intake to retain solid sediments. Tank, pipe, and pump systems are similar to those used in recirculating aquaculture systems.

Fig.3



Figura 3. Vista general de una piscicultura de flujo abierto (Fotografía: WWF Chile - Daniel NIETO)

Figure 3. Photo of a typical flow-through fish farm for smolt production. (Photograph: WWF Chile - Daniel NIETO)

Cultivo en tierra con sistemas de recirculación

Un sistema de recirculación en acuicultura es un sistema que incorpora el tratamiento y la reutilización de agua para el cultivo de organismos, considerando alrededor del 10% de reemplazo de agua diariamente, pudiendo variar entre el 5 al 20% dependiendo del estanque de cultivo y filtración (Gooley y Gavine 2003). El tratamiento del agua apunta a equilibrar los altos niveles de alimento requerido para sostener altas tasas de crecimiento y densidades de stocks de ejemplares económicamente rentables.

Un sistema de recirculación consiste en componentes de filtración mecánica y biológica, bombas y estanques contenedores, pudiendo incluir un número adicional de elementos de tratamiento de agua que mejoran la calidad de la misma y el control de enfermedades dentro del sistema (Figura 4).

La descripción y diseño del sistema consiste en la captación de las aguas efluentes de cada estanque de cultivo, y su conducción a través de una secuencia de procesos que la devolverán finalmente a los estanques en calidad tal que los peces puedan seguir creciendo en las mejores condiciones. Estos procesos incluyen filtración mecánica de fecas, materia orgánica, alimento no consumido, nitrificación⁹, eliminación de dióxido de carbono, esterilización e inyección de oxígeno.

El buen funcionamiento de cada uno de los subsistemas es indispensable, ya que se encuentran vinculados entre sí. Para asegurarlo, se realiza un seguimiento rutinario de todos los componentes mecánicos y eléctricos, así como también de los parámetros abióticos del agua y la consecuente ejecución de acciones correctivas, si corresponde.

Los principales componentes del agua que deben ser monitoreados periódicamente son: pH, oxígeno disuelto, temperatura, dióxido de carbono, amonio, nitrito, nitrato y alcalinidad. Es en la ejecución de los programas diarios de revisión de parámetros donde se percibe la importancia que tiene cada parámetro en la conducta general del sistema, el normal desarrollo de los peces, y sobre el otro cultivo del sistema, aquél que poco se menciona pero que debe estar también al 100% de su eficiencia: las bacterias nitrificantes.

En efecto, estas bacterias constituyen una población inmensa de microorganismos de diversas familias que colonizan el sustrato elegido para constituir el biofiltro, y su función es la de participar y comandar la cadena de reacciones oxidativas para transformar el amonio que excretan los peces en nitritos y luego en nitratos (nitrificación).

Todos los organismos que ingieren proteína en su dieta están incorporando una cierta cantidad de nitrógeno, eliminándolo en cierta proporción como parte del proceso metabólico como amonio. Los peces eliminan este amonio a través de las branquias,

Land-based recirculating aquaculture systems

An aquaculture recirculation system is that which includes water treatment and re-use in the farming process. Approximately 10% of the water volume is replaced daily, although this figure can range from 5 to 20% depending on the type of cultivation tank and filtration (Gooley & Gavine 2003). Water treatment aims to balance the high feed levels needed to maintain high growth rates and economically viable stock densities.

A recirculation system is comprised of mechanical and biological filtration components, pumps and containment tanks, and may also include additional water treatment elements to improve water quality and disease control in the system (Figure 4).

The system is designed to capture effluent waters from each cultivation tank, which are then subjected to a series of treatments before returning to the tanks at a quality standard that allows fish to continue growing under optimal conditions. These treatments include mechanical filtration of fecal matter, organic matter, and unconsumed feed; nitrification⁹; carbon dioxide elimination; sterilization; and oxygen injection.

The proper functioning of each of the subsystems is critical, since they are all interconnected. To ensure smooth operations, routine monitoring is performed for all mechanical and electrical components, as well as for abiotic water parameters. Subsequent corrective measures are taken if necessary.

The primary water conditions that must be monitored regularly are: pH, dissolved oxygen, temperature, carbon dioxide, ammonia, nitrite, nitrate and alkalinity. Daily monitoring programs make apparent the impact of each parameter on overall system operations, fish development and the other, often-overlooked farmed organisms in the system: nitrifying bacteria. These bacteria must also perform at 100% efficiency.

Essentially, nitrifying bacteria make up an immense population of microorganisms from different families that colonize the biofilter substrate. Their purpose is to take part in the oxidation process that transforms the ammonia excreted by fish into nitrates and then nitrates (nitrification).

All organisms that ingest protein in their diet incorporate a certain amount of nitrogen, a portion of which is then eliminated as ammonia during the metabolic process. Fish eliminate ammonia via their gills, urine and feces and, if not for the bacteria that break down ammonia—which is toxic for the vast majority of living creatures—water recirculation would not be industrially viable. In light of the above, fish farm systems must include methods to ensure the continued well-being of these bacteria. The key to managing populations of *Nitrosomonas* and *Nitrobacter* is controlling farm pH, temperature and biomass, recognizing that any change in parameters can produce a chain reaction.

A biofilter basically consists of a tank containing material

⁹ Cadena de reacciones oxidativas para transformar amonio excretado por los peces en nitritos y luego en nitratos.

⁹ A chain of oxidative reactions to transform ammonia excreted by fish into nitrites and then nitrates.

la orina y las fecas, y si no fuera por estas bacterias que degradan el amonio, normalmente tóxico para la inmensa mayoría de los organismos vivos, la recirculación de aguas en la forma en que hoy es industrialmente viable, no sería posible.

Esto implica que la piscicultura debe incorporar a su sistema el mantenimiento del bienestar de estas bacterias, y la clave para el buen manejo de las poblaciones de *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* es el control del pH, la temperatura y la biomasa en cultivo, sin perjuicio de que cada cambio en un parámetro produce como consecuencia una reacción en cadena.

El concepto básico aplicado a un biofiltro consiste en un estanque con material que tiene una alta relación de superficie/volumen donde las bacterias necesarias se pueden concentrar en altas cantidades (biobloques, lechos fluidizados o columnas de arena). Sin embargo, no es solamente el área total lo que cuenta, sino que también cuán eficientemente el agua que contiene el amonio es distribuida sobre la superficie del material del filtro y el tiempo de contacto/retención en el mismo. De igual modo, la intensidad de la recirculación es una materia a decidir en cada empresa. En general, ésta fluctúa en los casos menos exigentes en un 30% de recambio de agua fresca hasta los más intensivos con un recambio de hasta 2%. Mientras más intenso el sistema, menos agua requiere y en consecuencia elimina menos agua.

Este es otro aspecto importante de una piscifactoría, ya que se trata de una unidad productiva que mediante un filtro adecuado está en condiciones de garantizar un bajo impacto negativo sobre los cuerpos de agua receptores. De acuerdo a la experiencia de los autores, esto significa destinar lodos con 60% de humedad a una lombricultura que finalmente produce humus y cierra el ciclo produciendo abono orgánico de alta calidad.

Se debe tener en consideración que si los afluentes provienen de cuerpos de agua superficiales o subterráneos (pozos profundos), es necesario elevar la temperatura del agua mediante tecnologías altamente eficientes en la transferencia de calor, de manera de alcanzar los rangos o valores óptimos para el metabolismo y crecimiento de los peces cultivados.

Otra de las características importantes de resaltar sobre los sistemas de recirculación es la baja utilización de quimioterapéuticos, particularmente antibióticos. El ambiente general que el piscicultor maneja en un sistema de recirculación, permite conservar un clima sanitario tal que los peces pueden mantenerse sanos. El conocimiento y la experiencia sobre los sistemas de recirculación alcanzados en los últimos años tienen un valor intrínseco a la hora de proponer alternativas ambiental y productivamente viables.

El funcionamiento en un sistema de recirculación considera diferentes unidades de producción que pueden ser un estanque o grupo de estanques manejados de la misma manera y en forma separada

with a high surface area to volume ratio (bioblocks, fluidized beds, or sand columns) that can be colonized by large quantities of the needed bacteria. In addition to total surface area, the efficiency with which the ammonia-containing water is distributed over the surface of the filter and the contact/retention time are also important factors. The recirculation intensity is determined by each company, ranging in general from a rate of 30% freshwater exchange in less stringent cases to 2% in more intensive situations. The more intensive the system, the less water is needed; consequently, less water is eliminated. As such, a fish farm is a productive unit that, with a suitable filter, can guarantee low negative impacts on receiving water bodies. In the authors' experience, this means closing the cycle by subjecting the resulting sludge (60% moisture content) to vermiculture to produce humus, a high-quality organic fertilizer.

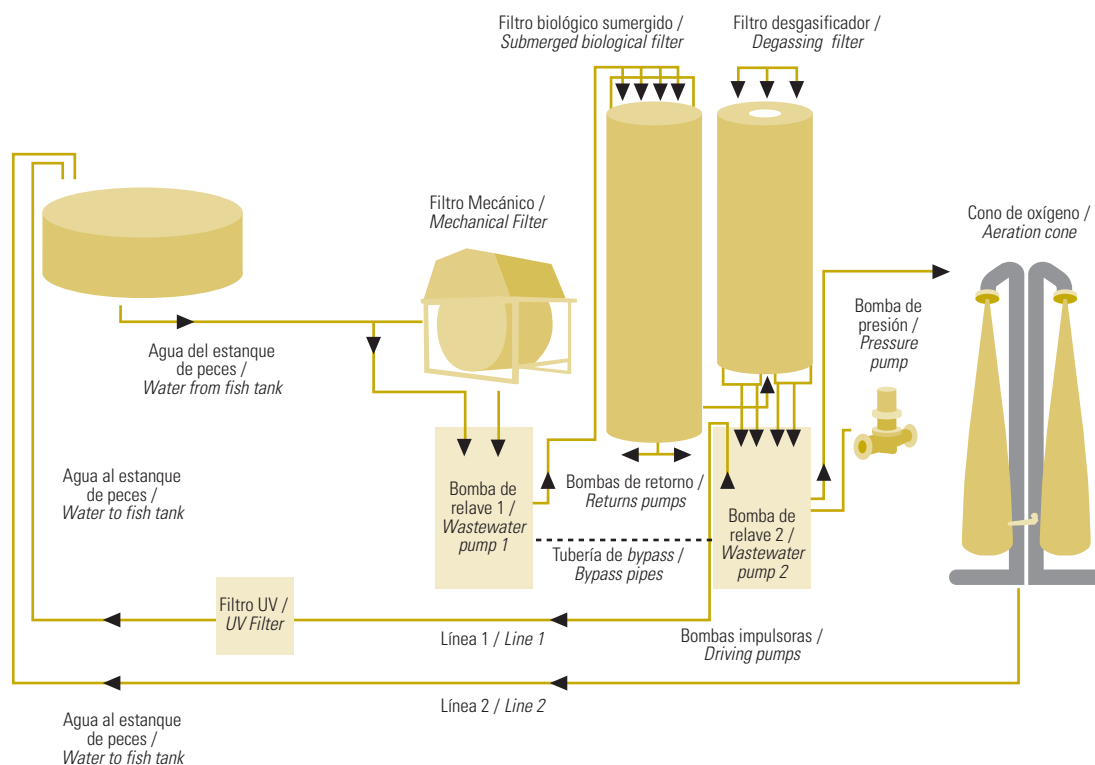
It must be taken into account that if water comes from surface or underground sources, its temperature must be raised to the range for optimal fish metabolism and growth using highly efficient heat-transfer technology. Another important characteristic of recirculating aquaculture systems is the minimal use of chemotherapy agents, particularly antibiotics, since fish farms with recirculating aquaculture systems can maintain an environment conducive to fish health. The knowledge and experience of recirculating aquaculture systems acquired in recent years is extremely valuable in proposing solutions that are viable in both environmental and productive terms.

A recirculation system involves different production units, for instance a tank or group of tanks, which are managed in the same way and are independent from other units. For example, a production unit could consist of a quarantine tank, a hatchery for producing eggs, a primary feeding unit, an alevin unit, and systems used for growth until smolting. This setup allows for disease isolation and prevention in the case of the quarantine tank, greater production thanks to higher stock densities in intermediate systems, and the prevention of a complete loss of production in case of failures in parallel on-growing systems (Figure 4).

de otras unidades. Por ejemplo, un estanque de cuarentena, un *hatchery* para producir ovas, una unidad de primera alimentación, una unidad de alevinaje, y sistemas de crecimiento hasta *smolt*.

Esto permite, por una parte, el aislamiento y prevención de enfermedades en el caso del estanque de cuarentena, una mayor producción por densidad de stock para los sistemas en estados intermedios y evitar la pérdida de toda la producción en caso de fallas en el sistema de engorda paralelos (Figura 4).

Fig.4



Para que sean económicamente viables los sistemas de recirculación necesitan densidades de stocks altas (30-50 kg/m³) y elevadas tasas de crecimiento. Para soportar dichas tasas de crecimiento se requieren grandes concentraciones de oxígeno disuelto. Por esta razón, para poder cultivar con estas densidades se hace necesario incorporar oxígeno puro. Debido a esto, se debe realizar un análisis de costos y beneficios de la adición de oxígeno, para el ahorro de capital en economías de escala y el aumento en producción que se puede obtener. El oxígeno se puede agregar mecánicamente (conos de aireación), o bien, en la forma de oxígeno líquido o un generador de oxígeno para mantener un nivel de 60% de saturación o alrededor de 6,5 mg/l como un mínimo adecuado (Gooley y Gavine 2003).

Economically viable recirculating aquaculture systems require high stock densities (30-50 kg/m³) and growth rates. In order to support these growth rates, dissolved oxygen concentrations must also be high, and thus the incorporation of pure oxygen is necessary in order to farm at these densities. A cost-benefit analysis of the addition of oxygen should be undertaken to assess capital savings in economies of scale and potential production increases. Oxygen can be added mechanically (via aeration cones), in liquid form, or by using an oxygen generator to maintain a minimum 60% saturation level, around 6.5 mg/l (Gooley & Gavine 2003).

Figura 4. Esquema general de un sistema de recirculación, sus componentes y flujos.

Figure 4. General overview of typical recirculation system, including components and flows.

Impactos sanitarios, ambientales y sociales de los sistemas utilizados para la producción de smolts de salmónidos en Chile
~ Sanitary, environmental and social effects of salmonid smolt production systems used in Chile

Impactos sanitarios

Los brotes de enfermedades en los peces de cultivo, generalmente están asociados a un mal sistema de explotación o manejo, ya que los organismos patógenos forman parte de la comunidad natural del ambiente o han sido introducidos con los peces de cultivo (patógenos importados junto con los peces introducidos), sin tomar las precauciones debidas. Éstos corresponden a ectoparásitos, hongos, endoparásitos, bacterias, virus y microorganismos que producen toxinas, los cuales proliferan y causan problemas cuando los peces se encuentran en situación de estrés por condiciones alimentarias, de manejo y explotación, o ambientalmente inadecuadas (Beveridge 1986).

Los principales tipos de enfermedades presentes en la salmonicultura chilena se describen en Tabla 1, la mayor parte de las cuales han sido registradas fundamentalmente en los sistemas de balsas-jaulas localizados en los lagos del Sur de Chile (Tabla 2). Como ejemplo, se puede citar el significativo impacto que tuvo el brote de *Francisella* en noviembre de 2006, que eliminó entre 12 y 15 millones de pre-smolts (60-90 gramos), lo que pudo significar una pérdida global y directa para las empresas del orden de los 13 millones de dólares americanos. A esto se debe sumar una proporción indeterminada de smolts que se enviaron al mar para su engorda, pero

Sanitary effects

The outbreak of diseases in farmed fish is generally associated with improper farming or management systems, since pathogenic organisms are found naturally in the environment or have been introduced along with the farmed fish (pathogens imported with the introduced fish) without taking the necessary precautions. These pathogens include ectoparasites, fungi, endoparasites, bacteria, viruses and toxin-producing microorganisms that proliferate and cause problems when fish are stressed due to inadequate feeding, management, farming or environmental conditions (Beveridge 1986).

The main diseases encountered in Chilean salmon farming are listed in Table 1. The majority of these diseases have been observed mainly in net pen systems in the lakes of Southern Chile (Table 2). One significant example was the outbreak of *Francisella* in November 2006, which killed between 12 and 15 million pre-smolts (60-90 grams) and resulted in an overall direct loss of US\$ 13 million for the companies involved. In addition, an unknown number of unhealthy smolts was sent to marine systems for on-growing and may have generated additional losses due to low growth rates, therapeutic treatments and elevated mortality. When the social and environmental costs associated with these drops in production are taken into account, it is apparent that this type of event can

Tabla 1. Enfermedades de peces en agua dulce (adaptado de FAO 2010). *Table 1. Diseases affecting fish in freshwater (adapted from FAO 2010)*

	Enfermedad / Disease	Agente / Agent
Enfermedades Fúngicas <i>Fungal Diseases</i>	Saprolegniasis o fungosis <i>Saprolegniasis or fungosis</i>	<i>Saprolegnia</i> sp.
Enfermedades Virales <i>Viral Diseases</i>	Necrosis pancreática infecciosa (IPN) <i>Infectious pancreatic necrosis (IPN)</i>	<i>Bimavirus</i> Virus de la necrosis pancreática <i>Pancreatic necrosis virus</i>
Enfermedades Bacterianas <i>Bacterial Diseases</i>	Enfermedad bacteriana del riñón (BKD) <i>Bacterial kidney disease (BKD)</i>	<i>Renibacterium salmoninarum</i>
	Enfermedad de la boca roja (ERM) o yersiniosis <i>Enteric red mouth (ERM) or yersiniosis</i>	<i>Yersinia ruckeri</i>
	Flavobacteriosis	<i>Flavobacterium</i> spp.
	Síndrome del alevín de trucha arcoíris (RTFS) <i>Rainbow trout fry syndrome (RTFS)</i>	<i>Flavobacterium columnare</i> <i>Flavobacterium psychrophylum</i> <i>Flavobacterium branchiophylum</i>
	Septicemia por <i>Aeromonas</i> móviles <i>Motile aeromonad septicemia</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>
	Septicemia Rickettsial del Salmón (SRS) <i>Salmonid rickettsial septicemia (SRS)</i>	<i>Psiscirickettsia salmonis</i>
	Francisellosis	<i>Franciscella salmonicida</i> <i>Franciscella psicicida</i>
Enfermedades Parasitarias <i>Parasitic Diseases</i>	Furunculosis atípica <i>Atypical furunculosis</i>	<i>Aeromonas salmonicida</i>
	Ich	<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>
	Afección por Hexamita <i>Conditions caused by hexamite</i>	<i>Hexamita</i>
	Afección por protozoos ciliados <i>Conditions caused by ciliated protozoans</i>	<i>Chilodonella</i> spp. <i>Trichodina</i> spp. <i>Ambiphria</i> spp. <i>Epistylis</i> spp.

con un estado sanitario deficiente, lo que también pudo haber generado pérdidas debido a los bajos crecimientos, tratamientos terapéuticos y elevadas mortalidades. Si se consideran los costos sociales y ambientales asociados a dichas mermas productivas directas, tenemos que, eventos de esta índole pueden ocasionar importantes pérdidas a distintos niveles y escalas.

La mayor ocurrencia de enfermedades sucede en los sistemas de smoltificación basados en balsas-jaulas emplazados en lagos, debido principalmente a que son sistemas abiertos con limitada capacidad de control y tratamiento. Gran parte de las patologías registradas en estos sistemas se han establecido permanentemente, por lo que su erradicación es casi imposible y, consecuentemente, han alterado el patrimonio sanitario original existente en los ecosistemas lacustres.

result in significant losses at various levels and scales. Diseases occur most frequently in net pen-based smolting systems in lakes, mainly due to the fact that they are open systems with a limited capacity for control and treatment. A large number of the diseases observed in these systems have become permanently established, making their eradication nearly impossible. As a consequence, the original sanitary conditions that existed in these lake ecosystems have been altered.

Tabla 2. Ocurrencia de enfermedades en lagos araucanos. Fuente: Datos propios de Daniel Nieto entre 1999 y 2009. Table 2. Diseases occurring in Araucanian lakes. Source: Data gathered by Daniel Nieto between 1999 and 2009.

Lago Llanquihue <i>Llanquihue Lake</i>	Lago Puyehue <i>Puyehue Lake</i>	Lago Ranco <i>Ranco Lake</i>	Lago Rupanco <i>Rupanco Lake</i>
IPNV BKD <i>Francisellois</i> Fungosis Flavobacteriosis Yersiniosis <i>Aeromonas</i>	IPNV BKD <i>Ichthyophthirius</i> Fungosis Flavobacteriosis Yersiniosis	IPNV BKD <i>Ich (Ichthyophthirius)</i> Fungosis Flavobacteriosis □	IPNV BKD <i>Ich (Ichthyophthirius)</i> Fungosis Flavobacteriosis Yersiniosis <i>Aeromonas</i>

En cambio, la ocurrencia de enfermedades en sistemas emplazados en tierra con flujo abierto y recirculación es mucho menor, debido principalmente a las condiciones de cultivo que otorgan un alto grado de bienestar a los peces cultivados (menor estrés) y a la mayor capacidad de controlar el sistema en su conjunto.

In contrast, the occurrence of diseases in land-based flow-through and recirculating aquaculture systems is much lower, mainly due to farming conditions that promote the wellbeing of farmed fish (less stress) and a greater ability to control all components of the system.

Estas enfermedades en los salmónidos pueden afectar considerablemente la producción debido al incremento en las tasas de mortalidad por patógenos. Dichas mortalidades pueden variar de acuerdo al tipo de sistema en que se cultivan los peces. Este hecho queda de manifiesto en la Tabla 3, donde se muestra que las pisciculturas de flujo abierto y en general los sistemas basados en balsas jaulas (*i.e.*, lago y estuario), tienen mortalidades entre dos y cinco veces más altas que aquellos sistemas de recirculación bajo análisis. Si bien no se puede concluir en forma precisa cuáles son los factores que originan la diferencia en el nivel de mortalidades, debido a que las empresas no registran información detallada al respecto, es muy probable que las mayores tasas de mortalidad de *smolts* en sistemas de balsas-jaulas y flujo abierto se deban a que existe una mayor influencia externa o ambiental sobre los peces, respecto de la ocurrida en sistemas de recirculación. Esto, debido a que el volumen de agua utilizado en los primeros es significativamente mayor que aquel utilizado en recirculación, sistemas en los cuales existe un mayor control sobre los factores químicos, biológicos y físicos en que se desenvuelven los peces, y por ende más estabilidad en las condiciones del medio en que se desarrolla el organismo.

These salmonid diseases can have a considerable effect on production due to increased pathogen-related mortality rates, which vary with the type of fish farm. This fact is illustrated in Table 3, which shows that flow-through fish farms and net pen-based systems in general (in lakes and estuaries) have mortality rates two to five times higher than the recirculating aquaculture systems studied. While no precise conclusion can be drawn as to the factors behind this difference in mortality rates due to the lack of detailed data recorded by the companies, it is very likely that higher smolt mortality in net pen and flow-through systems is due to a greater degree of external or environmental pressure on fish as compared to recirculating aquaculture systems. This is because the volume of water used in the former systems is significantly greater than that used in recirculating aquaculture systems, which allow for more control over the chemical, biological and physical conditions in which the fish develop and thus provide greater environmental stability for growth.

Tabla 3. Mortalidades obtenidas en distintos sistemas productivos. Fuente: Datos aportados por empresas participantes en el estudio. Table 3. Mortality rates observed in different production systems. Source: Data provided by producers.

Sistemas Productivos / Production Systems				
	Lago / Lake	Estuario / Estuary	Flujo Abierto / Flow-through	Recirculación / Recirculation
Mortalidad (% siembra) / Mortality (% stocking)	*10,0 - 18,5	*4,2 - 10,0	*28,6	*5,0

Para combatir las enfermedades de los salmónidos se utilizan productos químicos y farmacéuticos para el tratamiento de parásitos externos, hongos y bacterias, por lo cual estas sustancias o sus compuestos pueden estar presentes en los efluentes de las pisciculturas de flujo abierto. En balsas-jaulas y pisciculturas de flujo abierto los costos generados por estos insumos son mayores, por el efecto de la dilución en el ambiente de cultivo. En sistemas abiertos también se utilizan, aunque con menor frecuencia, lonas y faldones para la aplicación mediante tratamientos terapéuticos o en el alimento.

Sin embargo, en los sistemas de recirculación prácticamente no se usan antimicrobianos debido a que los biofiltros utilizados podrían resultar dañados. Asimismo, es posible tener un mayor control sobre las enfermedades mediante la aplicación de medidas de manejo, como por ejemplo, la variación en los niveles de salinidad y temperatura.

In order to fight salmonid diseases, chemical and pharmaceutical products are used to treat external parasites, fungi and bacteria. These substances or their compounds may thus be present in the effluent produced by flow-through fish farms. The cost of these inputs is greater in net pen-based systems and flow-through fish farms due to the diluting effect of the farming environment. Skirts and tarpaulins are also sometimes used in open systems for application via therapeutic treatments or feed.

In recirculating aquaculture systems, however, almost no antimicrobials are used since they could damage the bio-filters used in the system. Diseases can thus be controlled better through the application of management measures, for instance by varying salinity levels and temperature.

De acuerdo a la información financiera es posible observar diferencias en los costos de medicamentos que son mucho mayores para los sistemas de producción en base a balsas-jaulas y pisciculturas de flujo abierto, que para los sistemas de recirculación. La Tabla 4 muestra estas claras diferencias, ya que las balsas-jaulas y los centros de flujo abierto gastan de 6 a 81 veces más por medicamentos que los sistemas de recirculación, indicando que este último tipo generaría un ambiente más saludable para los *smolts*. Debido a estos motivos, es posible referirse a las pisciculturas de recirculación como sistemas con una mayor ecoeficiencia, es decir, que por un lado se utiliza una reducida cantidad de químicos para el tratamiento de enfermedades, generando por lo tanto un impacto ambiental bajo, y esto a su vez representa un menor costo para el productor.

According to the financial information, the cost of medicines is much higher for net pen-based systems and flow-through fish farms than for recirculating aquaculture systems. These differences are clearly apparent in Table 4, which shows that net pens and flow-through farms spend from 6 to 81 times more on medicines than recirculating aquaculture systems. This difference suggests that the latter system provides a healthier environment for smolts. It can therefore be said that recirculation aquaculture systems are more eco-efficient, since they use a smaller quantity of chemicals to treat diseases and thus generate low environmental impact at lower production costs.

Tabla 4. Costos en medicamentos incurridos en los distintos sistemas productivos. Fuente: Datos aportados por empresas participantes en el estudio. Table 4. Cost of medicines in different production systems. Source: Companies participating in the study.

Sistemas Productivos / Production Systems				
	Lago / Lake	Estuario / Estuary	Flujo Abierto / Flow-through	Recirculación / Recirculation
Costo Medicamento (US\$ / smolt) / Medicine Costs (US\$ / smolt)	0,054 - 0,081	0,006 - 0,011	0,030	0,001

* Las cifras están expresadas usando la coma como separador decimal.
* Figures are expressed using the decimal comma separator.

Impactos Ambientales

Como cualquier actividad productiva, la producción de *smolts* genera una serie de impactos ambientales, ya sea que las operaciones se lleven a cabo en lagos, ríos o estuarios, o correspondan a pisciculturas en tierra. Dentro de estos impactos, se encuentran las alteraciones de la calidad del agua donde se emplaza el centro o el sistema acuático donde se lleva a cabo. Dichos efectos sobre el medio natural van a depender, por un lado, de la tecnología utilizada, del nivel de producción y del grado de fragilidad del sistema acuático receptor de los nutrientes y compuestos usados para el tratamiento de enfermedades.

En términos generales, para la producción de *smolts* tanto en sistemas abiertos (balsas-jaulas) y cerrados en tierra (pisciculturas de flujo abierto y recirculación) se generan una serie de residuos sólidos durante la etapa de operación. Entre ellos, se encuentran plásticos y bolsas que contienen el alimento de los peces, así como también los terapéuticos y químicos usados en la desinfección. Además, el mismo personal que trabaja en estos centros desecha elementos que deben ser dispuestos adecuadamente, de acuerdo a la normativa vigente.

Sistemas de smoltificación en tierra: flujo abierto y recirculación

Impactos sobre los cursos de agua

En el caso de las pisciculturas de flujo abierto, no existen estudios específicos que determinen los efectos de este tipo de sistema de smoltificación sobre la calidad del agua de los ríos o esteros. Sin embargo, teniendo en cuenta que estos sistemas productivos están considerados como fuentes fijas de contaminación, deben cumplir con las normas de emisión vigentes y, por lo tanto, disponer de sistemas y protocolos que minimicen el aporte de nutrientes en los cuerpos de agua receptores. Para este propósito, ha sido posible establecer sistemas de retención de sólidos diseñando estanques de decantación a costos razonables. Esto, considerando que las pisciculturas de flujo abierto utilizan grandes volúmenes de agua que circulan permanentemente por el sistema generando altas tasas de dilución, condición que resulta en el cumplimiento de la mayor parte de los parámetros contenidos en la norma de emisión (D.S. 90 de 2000 del MINSEGPRES). Sin embargo, esta regulación sólo se basa en la concentración de los compuestos pero no en su carga total. Esta última es la que podría generar problemas de enriquecimiento orgánico y efectos acumulativos lejos de la fuente emisora, debido a los altos volúmenes de agua vertidos vía emisario a cuerpos de agua receptores superficiales, como ríos.

En lo que concierne a las pisciculturas con sistemas de recirculación, se debe tener en consideración que éstos desechan volúmenes de agua significativamente menores que los sistemas de flujo abierto, la cual es permanentemente tratada por filtros biológicos y mecánicos. Así, existe un riesgo mucho menor de afectar la calidad de los cuerpos de agua receptores, tanto en aportes orgánicos

Environmental effects

Like any productive activity, smolt production generates a series of environmental impacts independent of whether operations are carried out in lakes, rivers, estuaries or land-based aquaculture systems. These impacts include alterations to water quality at the farm site or in the aquatic system where the activity takes place. The effect on the natural environment will depend on the technology used, the level of production and the degree of fragility of the aquatic system that receives the nutrients and compounds used to treat diseases.

In general, smolt production in both open systems (net pens) and land-based systems (flow-through and recirculating aquaculture systems) generates a series of solid wastes in the operating stage. This waste includes plastics and bags used for fish feed, as well as the medicines and chemicals used for disinfection. In addition, fish farm workers throw out materials that must be properly disposed of in accordance to existing regulations.

Land-based smolting systems: flow-through and recirculation

Impacts on water courses

There are no specific studies detailing the effects of flow-through smolting systems on the water quality of rivers or estuaries. Nonetheless, since these production systems are considered to be point sources of pollution, they must comply with existing emissions standards and thus must possess systems and protocols that minimize the amount of nutrients discharged into the receiving water bodies. With this purpose in mind, solids retention systems have been incorporated by designing settling tanks at reasonable costs. This is in light of the fact that the large volumes of water circulating continuously through flow-through fish farms generate high dilution rates that ensure compliance with the majority of the parameters stipulated in the emissions standard (MINSEGPRES D.S. 90 of 2000). This regulation, however, is based only on compound concentration and not on total load, which could lead to organic enrichment and cumulative effects far from the emission source due to the high volumes of water discharged via wastewater conduits into receiving surface waters such as rivers.

With respect to fish farms using recirculating aquaculture systems, it should be kept in mind that these systems discharge a significantly lower volume of water than flow-through systems, and that this water is continuously treated using biological and mechanical filters. As such, there is a much lower risk of affecting the quality of receiving waters, both in terms of organic matter and chemical substances. In any case, recirculating aquaculture systems do generate liquid industrial waste as a result of releasing water to be replaced and via the usage of water to retro-wash filters or treat effluents. This discharge must also comply with emission standards, but since

como otras sustancias químicas. De todas formas, estos sistemas de cultivo generan en mayor o menor grado residuos industriales líquidos producto de las aguas de recambio, aguas de retrolavado de filtros o de tratamiento de dichos efluentes. Se trata, entonces, de descargas que también deben cumplir con la norma de emisión, pero debido a la mayor reutilización del agua, es probable que el cumplimiento de algunos parámetros exigidos por la norma, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), presente algunas dificultades, a pesar de que el impacto ambiental total sea menor (Pesquera Los Fiordos *com. pers.* 2010).

Los mayores riesgos ambientales sobre los efluentes provenientes de los líquidos de las pisciculturas instaladas en tierra, están asociados a la cantidad y calidad de los mismos, en relación a las características y calidad del cuerpo de agua receptor, especialmente si éste disminuye significativamente su caudal durante la época de estiaje¹⁰.

Residuos sólidos

Una de las ventajas de los sistemas de recirculación y flujo abierto es que permite la instalación de filtros para retener los residuos más relevantes generados durante la operación de las instalaciones, generando lodos que son formados por la filtración de las aguas de los estanques. Este lodo es enviado a un estanque de decantación y puede a su vez pasarse por un filtro de prensa, con lo que se transforma en una torta seca de una humedad entre el 60 y 70%, extremadamente apropiada para ensilaje, compostaje y/o lombricultura.

Así, estas instalaciones pueden generar insumos para otras actividades productivas (agrícolas o forestales) pudiendo con eso efectuar un uso más eficiente de los recursos naturales y un aprovechamiento de los nutrientes que de otra forma se verterían al cuerpo de agua generando contaminación orgánica.

Sistemas de smoltificación instalados en lagos, estuarios o ríos

Impactos sobre los cuerpos de agua

Está documentado (León-Muñoz *et al.* 2007) que este tipo de cultivo intensivo desarrollado en ambientes lacustres contribuye al deterioro de la calidad del agua especialmente por el significativo aporte de fósforo y nitrógeno soluble, lo que genera un desbalance y un cambio en el estado trófico del cuerpo de agua.

Un lago que originalmente posee una condición oligotrófica puede derivar a una condición mesotrófica o eutrófica cuando la disponibilidad de estos elementos excede las concentraciones naturales históricas del cuerpo de agua. Otra consecuencia del cambio en la disponibilidad mayor de nutrientes en un lago es el aumento significativo de la productividad primaria, expresada en la aparición inusual de plantas acuáticas o en la mayor concentración de

the water is reutilized to a much greater extent, it is likely that compliance with some of the parameters specified by the standards (such as biochemical oxygen demand, or BOD) may be difficult, even if the total environmental impact is smaller (Pesquera Los Fiordos, *com. pers.* 2010).

The greatest environmental risks of the effluents generated by land-based fish farms are associated with the quantity and quality of these effluents relative to the characteristics and quality of the receiving body of water, especially if the volume of this body diminishes during the low water season¹⁰.

Solid waste

One of the advantages of flow-through and recirculating aquaculture systems is that they allow for the installation of filters that retain the most important wastes generated during facility operations. The sludge resulting from tank water filtration is sent to a settling tank and may then be passed through a filter press, converting it into a dry cake with a water content of between 60 and 70% that is extremely suitable for silage, composting and/or vermiculture. As such, these facilities can generate inputs for other productive activities (agriculture or forestry), making for a more efficient use of natural resources and taking advantage of nutrients that otherwise would be dumped into the water body, generating organic pollution.

Smolting systems in lakes, estuaries and rivers

Impacts on water bodies

It has been shown (León-Muñoz *et al.* 2007) that this type of intensive farming in lake environments contributes to the deterioration of water quality, particularly due to high amounts of soluble phosphorus and nitrogen that generate imbalance and change the trophic state of the water body.

A lake that was originally oligotrophic can become mesotrophic or eutrophic when the availability of these nutrients exceeds the natural concentrations historically present in the body of water. Another consequence of the greater availability of nutrients is the significant increase in primary productivity, expressed as the unusual appearance of aquatic plants or a higher concentration of microalgae in the water column. According to information collected over a decade ago (Campos 1995), phosphorus

¹⁰ Estiaje: Nivel más bajo o caudal mínimo que en ciertas épocas del año tienen las aguas de un río, estero o laguna por sequía.

¹⁰ Low water season: Certain times of year when a river, stream or lagoon is at its lowest level or minimum volume due to drought.



microalgas en la columna de agua. De acuerdo a la información generada hace más de una década (Campos 1995), los valores de fósforo (expresados en $\text{mg}/\text{m}^2/\text{año}$) estaban cercanos a la mitad del valor considerado como crítico para los lagos Rupanco y Llanquihue. Complementariamente, Campos *et al.* (1997) concluyeron que los valores de fósforo en los lagos de la Isla de Chiloé (Natri, Cucao, Huillinco, Tepuhueico y Tarahuin) sobrepasaron ampliamente los valores de concentración crítica para cada uno de los cuerpos de agua.

Otra fuente de contaminación y deterioro de la calidad del agua debido a las operaciones de sistemas de smoltificación basados en balsas-jaulas, es el uso de antibióticos y otras sustancias terapéuticas o profilácticas sobre las cuales se desconocen las cantidades utilizadas y su biodisponibilidad en los procesos tróficos que ocurren en los ecosistemas lacustres. BurrIDGE *et al.* (2008) concluyen que las principales preocupaciones relativas al uso de antibióticos es el potencial riesgo de que las bacterias desarrollen resistencia a los compuestos y que los rasgos de la resistencia sean manifestados en otras bacterias, incluyendo patógenos humanos.

Adicionalmente, la calidad del agua puede ser deteriorada por el aporte de otras sustancias

values (expressed in $\text{mg}/\text{m}^2/\text{year}$) were nearly half of the critical value for Rupanco and Llanquihue lakes. Complementing this information, Campos *et al.* (1997) concluded that phosphorus values in the lakes on Chiloé Island (Natri, Cucao, Huillinco, Tepuhueico and Tarahuin) greatly exceeded the respective critical concentration value for each water body.

Another source of pollution and diminished water quality due to net pen-based smolting systems is the use of antibiotics and other therapeutic or prophylactic substances, for which both the quantities used and bio-availability for trophic processes occurring in the lake ecosystems are unknown. BurrIDGE *et al.* (2008) concluded that the main concerns with respect to the use of antibiotics are the potential risk of bacterial resistance to these compounds and the possibility of these resistant traits being passed on to other bacteria, including human pathogens.

Water quality may also deteriorate due to the addition of other organic or inorganic chemical substances used in the production process, such as disinfectants, anesthetics and/or anti-fouling paints. The use of the latter, however, is prohibited in lake systems due to the high toxicity of copper compounds that come into in contact with fresh water.

Lago Tarahuín, Isla de Chiloé, Región de Los Lagos Chile / Tarahuín Lake, Chiloé Island, Los Lagos Region, Chile.
WWF Chile - Paula MORENO.

químicas orgánicas e inorgánicas usadas en el proceso productivo, tales como desinfectantes, anestésicos y/o, pinturas anti-incrustantes. Sin embargo, la utilización de estas últimas está prohibida para los sistemas lacustres por la elevada toxicidad de los compuestos de cobre en contacto con agua dulce.

En este mismo sentido, BurrIDGE *et al.* (2008) también señalan la preocupación respecto al uso de cobre y zinc, que se han medido en sedimentos cerca de sitios de la acuicultura en concentraciones superiores a las normas de calidad del sedimento para las zonas estudiadas. Estos elementos pueden ser mortales para la biota acuática y persistir en los sedimentos.

El zinc se utiliza como un suplemento en la alimentación de los salmones, pues es un metal esencial que en el ambiente puede ligarse con partículas finas y a los sulfuros en sedimentos, y aun cuando puede estar biodisponible, es mucho menos tóxico que el cobre.

Efectos sobre las comunidades acuáticas

La alteración del hábitat es otro tipo de impacto, que se constata con distinto grado de intensidad en los sistemas de balsas-jaulas emplazados en lagos, ríos o estuarios. En el caso de los lagos, debido en general a su escasa capacidad de ventilación (velocidad de corriente, tasas de recambio) se generan altas tasas de sedimentación de materia orgánica, modificando la estructura física (granulometría) y calidad del hábitat (oxígeno disponible) en el área de influencia del sistema de cultivo. Estos impactos, a su vez, producen cambios significativos en la composición de la biota, la cual disminuye tanto en cantidad como diversidad, apareciendo finalmente especies mejor adaptadas a sustratos anóxicos. Las condiciones de anoxia en los sedimentos bajo los sistemas de balsas-jaulas en lagos han sido plenamente corroboradas en los Informes Ambientales que deben entregar anualmente los mismos productores de salmónidos.

De acuerdo a la información de la Subsecretaría de Pesca, entre el 2004 y 2007 el 25% de los centros de cultivo emplazados en lagos registraron anoxia (falta de oxígeno) en los sedimentos localizados en el área de influencia inmediata de estas instalaciones. En relación al impacto generado por los aportes orgánicos provenientes de los sistemas de smoltificación en balsas-jaulas emplazadas en estuarios y ríos no existe información disponible. Sin embargo, es posible suponer que los aportes de fósforo y nitrógeno son proporcionales a la magnitud de las operaciones desarrolladas en estos cuerpos de agua, aunque con efectos posiblemente disímiles debido a las características hidrodinámicas de los ríos y estuarios.

La hipótesis que debe probarse es que los aportes de nutrientes desde estos sistemas contribuyen a generar cambios graduales y acumulativos en procesos bio-hidrográficos en una mayor escala espacial, más allá del centro de cultivo, y temporal, no detectada por los estudios de corto plazo.

Similarly, BurrIDGE *et al.* (2008) raise concerns regarding the use of copper and zinc, which have been measured in sediments close to aquaculture sites in higher concentrations than those stipulated by sediment quality regulations for the areas studied. These elements can be lethal to aquatic biota and can persist in sediments. Zinc is an essential element used as a salmon feed supplement, and can bind to fine particles in the environment and sulfides in sediments. Even though it may be bio-available, it is much less toxic than copper.

Effects on aquatic communities

Habitat alteration is another type of impact that can be observed with varying degrees of intensity in lake, river and estuary-based net pen systems. In the case of lakes, the generally low ventilation capacity (current speed, replacement rates) results in high rates of organic sedimentation, modifying the physical structure (granulometry) and habitat quality (available oxygen) in the farm system's area of influence. In addition, these effects produce significant changes in the composition of biota, which decreases both in quantity and diversity, leaving only the species that are better adapted to anoxic substrates. The anoxic conditions of sediments underneath lake-based net pen systems have been fully corroborated in the environmental reports that must be submitted each year by the salmon producers. In the period from 2004 to 2007 (Subpesca 2006 and 2008), 25% of fish farms situated in lakes recorded anoxia (lack of oxygen) in the sediments within their immediate area of influence.

With respect to the impact of the organic matter generated by net pen smolting systems situated in estuaries and rivers, no information is available. Nonetheless, it can be assumed that the addition of phosphorus and nitrogen is proportional to the scale of the operations carried out in these water bodies, although the effects may vary according to the hydrodynamic characteristics of the respective rivers and estuaries. The hypothesis that must be tested is that the addition of nutrients from these systems contributes to gradual and cumulative changes in the bio-hydrographic processes on a greater spatial scale than just the fish farm, and on a time scale not detected by short-term studies.

Contaminación biológica

El cultivo en balsas-jaulas trae aparejado el riesgo de escapes de los salmones, debido principalmente a problemas en el manejo y actividades rutinarias dentro de estas instalaciones. Así, estos peces exóticos escapados pueden depredar o competir con las especies nativas que habitan en el área. En este sentido, la introducción de salmones en ecosistemas acuáticos puede disminuir las poblaciones de peces nativos por depredación y/o por competencia por recursos y hábitat (Soto *et al.* 2001; Naylor *et al.* 2005; Arismendi *et al.* 2009).

Asimismo, se han detectado impactos perjudiciales sobre peces nativos, expresados por una relación negativa entre la abundancia relativa de salmones y de peces nativos, tanto en lagos (Arismendi *et al.* 2009) como en ríos y mar (Soto 1997; Soto *et al.* 2001 y 2006), particularmente en lo referido a sitios con alta abundancia de salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*) y salmón Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*).

Esta relación negativa, según lo señalado por Arismendi *et al.* (2009), se debería a la depredación de salmones sobre la fauna autóctona. Estos planteamientos se complementan con estudios del contenido estomacal efectuados en distintas especies de salmones “asilvestrados”, los cuales muestran que la dieta de estos animales se compone principalmente de peces, insectos, moluscos, crustáceos e invertebrados bentónicos (Soto *et al.* 2002; Buschmann *et al.* 2006; Ciancio *et al.* 2008), así como también de pellets de alimento para salmónidos (Soto 1997).

Otra forma de contaminación biológica viene dada por la transmisión de patógenos de peces, que es uno de los impactos más importantes para el productor, ya que generalmente cuando ingresa un patógeno a un cuerpo de agua lacustre es muy difícil su erradicación (Tabla 2).

Impactos Sociales

Al producirse una alteración en la calidad del agua de los lagos, la comunidad ribereña que hace uso de estos recursos hídricos se ve directamente afectada por la operación de estos centros de cultivo. Dichos usos pueden ir desde la utilización de las aguas para bebida como también para uso recreacional, por lo que los niveles y escalas de impacto pueden ser variados. Asimismo, la plusvalía de los terrenos se ve disminuida por el emplazamiento de estos centros de cultivo y la consecuente contaminación de sus aguas.

De igual manera, los impactos sociales que generan los centros de smoltificación emplazados en lagos pueden causar pérdida de oportunidades para el sector turismo, cuando ciertos paisajes son degradados o pierden su valor visual y recreativo.

Biological pollution

Fish farming in net pens goes hand in hand with the risk of escaped salmon, due mainly to poor management and problems with routine activities in these facilities. These escaped exotic fish can become predators of or compete with native species that inhabit the area, and thus the introduction of salmon to aquatic ecosystems can lead to a decrease in populations of native fish via predation and/or competition for resources and habitat (Soto *et al.* 2001; Naylor *et al.* 2005; Arismendi *et al.* 2009).

Similarly, detrimental effects on native fish have been detected as shown through a negative relationship between the relative abundance of salmon and native fish in lakes (Arismendi *et al.* 2009), rivers and the ocean (Soto 1997; Soto *et al.* 2001 and 2006), especially in sites with a great abundance of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*).

According to Arismendi *et al.* (2009), this negative relationship is due to salmon predation of native fauna. This theory is supported by stomach content studies carried out with different “feral” salmon species, showing that the diet of these animals is composed mainly of fish, insects, mollusks, crustaceans and benthic invertebrates (Soto *et al.* 2002; Buschmann *et al.* 2006; Ciancio *et al.* 2008), as well as salmonid feed pellets (Soto 1997).

Another form of biological pollution is the transmission of fish pathogens. This is one of the most significant problems for producers, since it is generally very difficult to eradicate a pathogen once it has become established in a lake water body (Table 2).

Social effects

The change in lake water quality due to fish farm operations directly affects lakeshore communities that make use of these water resources. Uses can range from drinking water to recreation, thus the level and scale of impact are variable. In addition, the value of the surrounding properties decreases with the installation of these fish farms and the ensuing water pollution.

Similarly, the social impact generated by smolting facilities situated in lakes can also include a loss of opportunities in the tourism sector when certain landscapes’ aesthetic or recreational value is degraded or lost.



Piscicultura de
recirculación, Área
Emperador, Región
de Aysén, Chile /
Recirculating fish farm,
Emperador Area, Aysén
Region, Chile.
WWF Chile - Paula
MORENO.

Estructuras de costos, inversión y beneficios netos de los sistemas de producción de smolts

El análisis de la información entregada por las empresas participantes en el presente estudio permitió realizar cálculos básicos sobre los costos de inversión y operación para cuatro sistemas de producción de smolts: balsas-jaulas en lago, balsas-jaulas en estuario, piscicultura de flujo abierto y piscicultura de recirculación (Tabla 5). Para estandarizar el análisis y realizar comparaciones, los resultados se expresan en US\$/smolt producido utilizando una tasa de cambio de 1US\$= \$500 chilenos, considerando las tendencias de esta moneda en el mercado nacional e internacional.

Cost structures, investment and net benefits of smolt production systems

The information provided by the companies participating in this study allowed for basic calculations of investment and operating costs for four smolt production systems: lake-based net pen, estuary-based net pen, flow-through fish farm and recirculating aquaculture system (Table 5). In order to standardize the analysis and make comparisons, results are expressed in US\$/smolt produced using an exchange rate of US\$ 1 = 500 Chilean pesos, considering the currency's national and international market trends.

Tabla 5. Ingresos, costos, beneficio neto (expresados en US\$/smolt producido) y comparación entre distintos sistemas de smoltificación existentes en Chile. Fuente: a partir de datos de empresas participantes en estudio. / Table 5. Income, costs, net benefit (expressed in US\$/smolt produced) and comparison of different Smolting systems used in Chile. Source: Companies participating in the study.

Flujo Anual / Annual flow	Lago 1 / Lake 1	Lago 2 / Lake 2	Estuario 1 / Estuary 1	Estuario 2 / Estuary 2	Flujo Abierto / Flow- through	Recircu- lación / Recircu- lation	Dif. Media Rec. vs Lago / Mean Dif. Rec. vs. Lake	Dif. Media Rec. vs Estuario / Mean Dif. Rec. vs. Estuary	Dif. Media Rec. vs Flujo Abierto / Mean Dif. Rec. vs. Flow- through
Peso final smolt (gramos) Final smolt weight (grams)	90	113	90	142	80	100			
INGRESOS / INCOME	1,35	1,64	1,35	2,00	1,23	1,48	-1%	-12%	20%
Costos totales / Total costs	1,10	1,25	1,25	1,61	0,94	0,85	-27%	-40%	-9%
Costos Variables / Variable costs	0,98	1,06	1,10	1,53	0,63	0,63	-38%	-52%	0%
Alevines / Alevins	0,742	0,502	0,881	1,347	0,168	0,38	-40%	-66%	124%
Alimento / Feed	0,072	0,222	0,068	0,130	0,179	0,192	31%	94%	8%
Medicamentos / Medicines	0,054	0,081	0,011	0,006	0,030	0,001	-98%	-87%	-96%
Vacunas / Vaccines	0,077	0,188	0,000	0,000	0,220	0,028	-79%		-87%
Energía / Energy	0,022	0,018	0,022	0,006	0,020	0,026	34%	87%	32%
Bonos / Bonuses		0,024	0,033	0,011	0,000	0,000	-100%	-100%	
Otros / Others	0,009	0,020	0,083	0,028	0,018	0,011	-25%	-80%	-37%
Costos fijos / Fixed costs	0,122	0,198	0,148	0,083	0,304	0,221	38%	90%	-27%
RRHH / HR	0,027	0,073	0,041	0,020	0,042	0,059	19%	97%	41%
Seguros / Insurance	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	27%	52%	-47%
Permisos y Patentes / Permits and licenses	0,001	0,002	0,001	0,001	0,010	0,005	282%	356%	-47%
Depreciación / Depreciation	0,013	0,029	0,014	0,012	0,125	0,040	93%	208%	-68%
Financiero / Financial	0,081	0,093	0,092	0,050	0,126	0,115	32%	62%	-8%
Inversión / Investment	0,002	0,005	0,002	0,002	0,020	0,006	93%	208%	-68%
Capital Trabajo / Work capital	0,079	0,089	0,089	0,049	0,106	0,109	30%	58%	3%
Neto / Net	0,25	0,38	0,11	0,39	0,29	0,62	95%	151%	115%

El color **café** significa mayores costos, menores ingresos, mayor inversión, menores beneficios por \$ invertido comparando la piscicultura de recirculación con los otros sistemas de producción de smolts. / The figures in **brown** represent higher costs, lower income, greater investment, lower benefits per \$ invested when comparing the recirculation farm to the other smolt production systems.

El color **negro** significa menores costos, mayores ingresos, menor inversión, mayores beneficios por \$ invertido comparando la piscicultura de recirculación con los otros sistemas de producción de smolts. / The figures in **black** represent lower costs, higher income, less investment, greater benefits per \$ invested when comparing the recirculation farm to the other smolt production systems.

De esta forma es posible establecer del análisis que:

- El mayor beneficio neto por smolt se registró en los sistemas de recirculación (US\$0,62/smolt), siendo éstos un 95%, 151% y 115% mayores que los beneficios netos de los sistemas productivos en lagos, estuarios y pisciculturas con flujo abierto,

From this analysis, it can be seen that:

- The greatest net profit per smolt was recorded in recirculating aquaculture systems (US\$ 0.62/smolt). This value is 95%, 151% and 115% higher than the net profits of productive systems in lakes, estuaries and flow-through farms, respectively.

respectivamente.

- A pesar de que los ingresos por *smolt* producido son mayores en los sistemas emplazados en lagos, así como en aquellos instalados en estuarios, también incurren éstos en los mayores costos de producción y por ello sus beneficios netos son menores.
- El sistema de piscicultura de flujo abierto muestra los menores ingresos por *smolt*, y a pesar de que sus costos de producción son menores a los centros en lago y estuario, son más altos que aquellos con sistemas de recirculación, generando beneficios netos menores a los de esta modalidad de producción.
- Si bien los costos fijos son mayores para los sistemas de recirculación que para los sistemas de producción en lagos y estuarios, la reducción proporcional en los costos variables genera los mayores beneficios netos de los primeros.

· Although the income per smolt produced is greater in lake and estuary-based systems, these systems also incur the highest production costs and thus generate lower net profits.

· Flow-through farm systems have the lowest income per smolt. Even though production costs are lower than those for lake and estuary-based farms, they are higher than those for recirculating aquaculture systems, resulting in lower net profits than the latter production method.

· While fixed costs are higher for recirculating aquaculture systems than for lake and estuary-based production systems, the proportional reduction in variable costs results in greater net profits for the former systems.

Tabla 6. Variables económicas, de producción e inversión asociadas a los cuatro sistemas de producción de *smolts*. Fuente: a partir de datos de empresas participantes en estudio. / Table 6. Economic, production and investment variables associated with the four smolt production systems. Source: Companies participating in the study.

Variable / Variable	Lago 1 / Lake 1	Lago 2 / Lake 2	Estuario 1 / Estuary 1	Estuario 2 / Estuary 2	Flujo Abierto / Flow-through	Recirculación / Recirculation	Dif. Media Rec. vs Lago / Mean Dif. Rec. vs. Lake	Dif. Media Rec. vs Estuario / Mean Dif. Rec. vs. Estuary	Dif. Media Rec. vs Flujo Abierto / Mean Dif. Rec. vs. Flow-through
Inversión total <i>Total Investment (US\$)</i>	656.473	1.470.000	533.053	1.530.000	9.000.000	4.000.000	276%	288%	-56%
NETO/\$ INVERTIDO <i>NET/\$ INVESTED</i>	2,09	1,29	0,60	2,25	0,19	0,78	-54%	-45%	303%
Producción (N° <i>smolts</i>/año) <i>Production (No. smolts/year)</i>	5.400.000	4.940.316	3.000.000	8.835.788	6.000.000	5.000.000	-3%	-16%	-17%
\$ Invertido/<i>smolt</i> <i>\$ Invested/smolt</i>	0,12	0,30	0,18	0,17	1,50	0,80	282%	356%	-47%
N° Empleos <i>No. employees</i>	17	31	13	20	31	21	-13%	27%	-32%
<i>Smolts</i>/persona/año <i>Smolts/person/year</i>	317.647	159.365	230.769	441.789	193.548	238.095	0%	-29%	23%
Vol. de cultivo (m³) <i>Farm volume (m³)</i>	40.500	59.000	16.200	112.000	7.500	8.354	-83%	-87%	11%
N° de ciclos <i>No. of cycles</i>	2	2	2	5	1	1			
N° de <i>batches</i> <i>No. of batches</i>	1	3	1	1	2	5			
N° de <i>smolts</i>/m³ de cultivo <i>No. smolts/m³ of farm</i>	70	43	98	25	312	120,00	112%	96%	-62%
Kg de <i>smolts</i>/m³ de cultivo <i>Kg smolts/m³ of farm</i>	6	5	9	4	25	40,00	616%		
Insumo agua (m³/hr) <i>Water input (m³/hr)</i>	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	400	216,00			-46%
<i>Smolts</i>/m³ ingreso <i>Smolts/m³ income</i>					15.000	23.148			54%
Costo energía (US\$/año) <i>Energy cost (US\$/year)</i>	118.125	87.000	65.625	57.000	120.000	132.427	29%	116%	10%
Costo energía (US\$/<i>smolt</i>/año) <i>Energy cost (US\$/smolt/year)</i>	0,0219	0,0176	0,0219	0,0065	0,0200	0,026	34%	87%	32%

El color **café** significa mayores costos, menores ingresos, mayor inversión, menores beneficios por \$ invertido comparando la piscicultura de recirculación con los otros sistemas de producción de *smolts*. / The figures in **brown** represent higher costs, lower income, greater investment, lower benefits per \$ invested when comparing the recirculation farm to the other smolt production systems.

El color **negro** significa menores costos, mayores ingresos, menor inversión, mayores beneficios por \$ invertido comparando la piscicultura de recirculación con los otros sistemas de producción de *smolts*. / The figures in **black** represent lower costs, higher income, less investment, greater benefits per \$ invested when comparing the recirculation farm to the other smolt production systems.

Nota: Para el Centro 2 localizado en estuario, se consignaron 5 ciclos debido a una estrategia de la compañía al ingresar alevines de mayor peso (85 g) y cosecharlos en 142 g, lo que significan ciclos significativamente menores (60 días) para alcanzar la *smoltificación*. / Note: Five cycles were recorded for estuary farm 2 due to the company's strategy of starting with heavier alevins (85 g) and harvesting them at 142 g. This results in significantly shorter cycles (60 days) to reach the smolt stage.



Adicionalmente, al considerar la información disponible fue posible establecer algunas relaciones entre las variables económicas, de producción, de costos, de insumos y de recursos humanos asociados a la producción de *smolts* en los distintos sistemas estudiados (Tabla 6). De manera tal que:

- Para una piscicultura de recirculación se requiere invertir US\$ 0,8/*smolt*, valor varias veces mayor a lo que se requiere invertir en un sistema de lago o estuario, pero inferior a piscicultura de flujo abierto.
- Se pueden efectuar hasta 5 *batches* de peces en pisciculturas de recirculación, en comparación con los 2 ó 3 que realizan los otros sistemas de producción de *smolts*.
- En relación al uso de agua, la piscicultura de recirculación puede soportar altas densidades de peces en buenas condiciones (120 individuos/m³) ocupando bajas tasas de consumo de agua fresca: en el caso de estudio corresponde a 216 m³/h, lo que equivale a caudales de entrada de 60 L/s.
- El costo de la energía total para producir un *smolt* en una piscicultura de recirculación corresponde a US\$ 0,026.

In addition, the available information made it possible to establish the following relationships between economic, production, cost, input and human resource variables associated with smolt production in the different systems studied (Table 6):

- A recirculating aquaculture system requires an investment of US\$ 0.8/smolt, several times greater than the investment required in a lake or estuary-based system but lower than a flow-through fish farm.
- Up to five batches of fish can be raised in a recirculating aquaculture system compared to the two or three *batches* raised in the other smolt production systems.
- With respect to water use, the recirculating aquaculture system can support high fish densities (120 individuals/m³) while maintaining adequate conditions and low rates of freshwater consumption: the consumption rate of the case study was 216 m³/h, which is equivalent to entrance flows of 60 L/s.
- The total energy cost to produce one smolt in a recirculating aquaculture system is US\$ 0.026.

Área Emperador,
Región de Aysén, Chile
/ Emperador Area,
Aysén Region, Chile.
WWF Chile - Paula
MORENO.



Lago Llanquihue, Región de Los Lagos, Chile / Llanquihue Lake, Los Lagos Region, Chile. WWF Chile - Matthew PERL

Como una manera de aportar a la toma de decisiones de los productores a la hora de invertir en nuevas tecnologías para la producción de *smolts*, pero con beneficios ambientales y sanitarios concretos, es recomendable recurrir al análisis de distintos escenarios. Es por este motivo que, con los datos de las empresas participantes en el estudio, se llevó a cabo una simulación de los niveles de rentabilidad obtenidos bajo tres estrategias alternativas, comparando los sistemas de producción con recirculación y los otros existentes en Chile. En este análisis, los niveles de rentabilidad se miden mediante la estimación del Valor Presente Neto (VPN) generado en el tiempo por cada uno de los sistemas de producción bajo estudio.

Los supuestos considerados en estas estrategias son:

- Contempla un horizonte de evaluación de 15 años.
- El tiempo necesario para terminar la construcción e iniciar producción en centros de lago y estuario es de 8 meses, por tanto el primer año se consideran sólo 4 meses para producción de *smolts*.
- El plazo para la construcción y puesta en marcha de la piscicultura de flujo abierto es de 12 meses, la producción de *smolts* se inicia el segundo año.
- Los tiempos requeridos para la construcción y puesta

en marcha de la piscicultura de recirculación son de 24 meses, por lo que la producción se inicia el tercer año. Lo anterior, ya que se asume que ese es el período estimado para la compra de la tierra, la construcción de las instalaciones y la obtención de los permisos requeridos.

- Considera un nivel de producción de 5 millones de *smolts* al año para cada uno de los sistemas de producción a comparar.
- Considera un tipo de cambio de \$ 500 por US\$ 1.
- Considera que las inversiones se realizan con capital prestado por un período de 10 años.
- Considera que la industria puede acceder a una tasa anual de interés del 12% (Varela¹¹ *com. pers.* 2009).
- Si bien los datos entregados por las empresas salmoneras participantes indican una inversión de US\$ 0,80/smolt (Tabla 5) para sistemas de recirculación, Varela *com. pers.* (2009) informa que el costo de inversión de una piscicultura con sistema de recirculación para la producción de *smolts* debiese variar entre los US\$ 1,3 y 1,5/smolt incluyendo costos de entrenamiento de la fuerza de trabajo, factor que no fue incluido en los análisis anteriores. Por tanto, con un enfoque conservador se considera el valor de US\$ 1,5/smolt para efectos de este análisis.

In order to contribute to the decisions of producers with regard to new smolt production technologies that have concrete environmental and sanitary benefits, an analysis of different scenarios is advisable. With this in mind, the data provided by the companies participating in the study were used to simulate profitability for three alternative strategies, comparing recirculating aquaculture systems to the other systems used in Chile. Profitability in this analysis was measured through an estimate of the net present value (NPV) generated over time for each of the production systems studied.

These strategies are based on the following assumptions:

- The evaluation horizon is 15 years.
- The time needed to complete construction and begin production on lake and estuary farms is eight months, thus only four months of the first year are available for smolt production.
- The construction and start-up timeline for the flow-through farm is 12 months, with smolt production beginning in the second year.
- The time required for construction and start-up of the recirculating aquaculture system is 24 months, thus production begins in the third year. This last estimate takes into account the time

needed to purchase land, build the facility and obtain the required permits.

- The production level is five million smolts per year for each of the systems compared.
- The exchange rate is CLP\$ 500 per US\$ 1.
- Investments are made using capital borrowed over a 10-year term.
- The industry can access an annual interest rate of 12% (Varela¹¹, *per. comm.* 2009).
- While the data provided by the participating salmon companies indicate an investment of US\$ 0.8/smolt (Table 5) for recirculating aquaculture systems, Varela (*com. pers.* 2009) reports that the investment cost for a smolt production farm using a recirculation system should vary between US\$ 1.3 and US\$ 1.5/smolt including labor training costs, a factor that was not included in the former analyses. Making a conservative estimate, a value of US\$ 1.5/smolt is thus assumed for this analysis.

¹¹ Sr. Marcelo Varela. Gerente General Billund Aquaculture Chile S.A. Empresa proveedora de insumos para pisciculturas de recirculación.

¹¹ Mr. Marcelo Varela. General Manager of Billund Aquaculture Chile S.A., recirculation farm input supply company.

Estrategia A

Esta primera estrategia considera que el productor decide construir un nuevo centro de producción de *smolts* y desea comparar la rentabilidad de centros de producción con balsas-jaulas en lagos o en estuarios, en piscicultura de flujo abierto y piscicultura con sistema de recirculación en la que todos buscan producir *smolts* lo antes posible. Los costos de inversión por *smolt* y costos de producción de los centros de producción en lago, estuarios y en piscicultura de flujo abierto, así como los costos de producción de los centros con sistema de recirculación

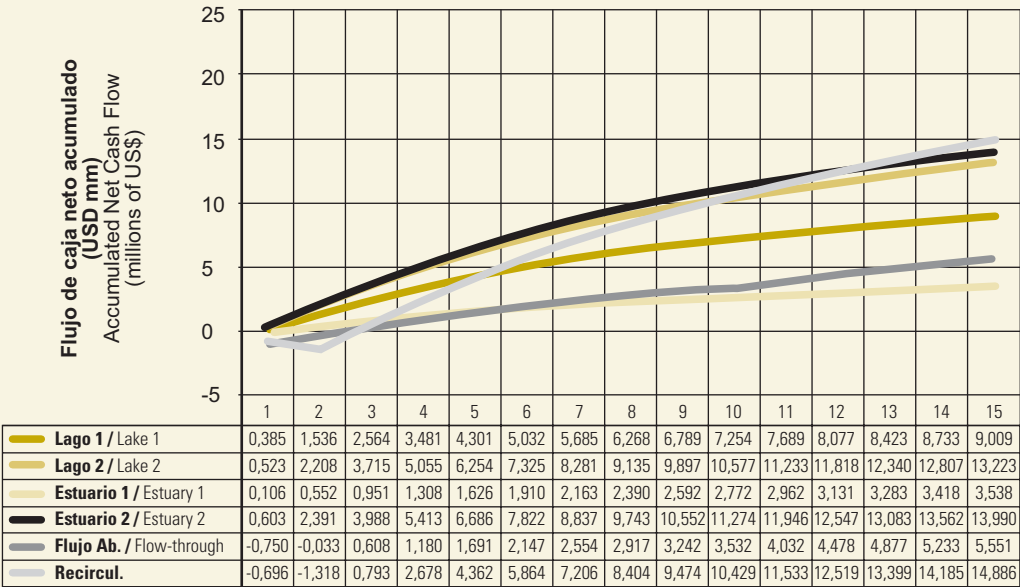
han sido estimados en base a los datos entregados por la empresas consideradas en este estudio. La figura 5 muestra que bajo esta estrategia, entre los centros con balsas-jaulas, los beneficios netos acumulados son mayores para los sistemas de estuario y lago 2. Además, se aprecia que estos mismos sistemas generan mayores beneficios netos que el sistema de recirculación hasta el período 13, momento en el cual este último sistema pasa a generar los beneficios más altos entre todos los sistemas analizados de los requerimientos estratégicos de los productores de salmón.

Strategy A

This first strategy assumes that the producer decides to build a new smolt production facility and wishes to compare the profitability of lake and estuary-based net pen farms, flow-through farms and recirculating aquaculture systems with the aim of producing smolts as soon as possible. The investment costs per smolt, along with the production costs for lake, estuary, flow-through and recirculating aquaculture systems, have been estimated using the data provided by the companies participating in this study.

Figure 5 shows that in this scenario, the net accumulated benefits among net pen facilities are the greatest for estuary system two and lake system two. It can also be seen that these systems generate greater net profits than the recirculation system until year 13, when the latter system begins to generate the highest net profits of all the systems analyzed.

Figura 5. VPN acumulado (millones de US\$) para distintos centros de *smolts* considerando Estrategia A y una producción anual de 5 millones de *smolts*. Figure 5. Accumulated NPV (millions of US\$) for different smolt production facilities under strategy A with an annual production of five million smolts.



Lago Llanquihue, Región de Los Lagos, Chile / Llanquihue Lake, Los Lagos Region, Chile. WWF Chile - Matthew PERL

Estrategia B

Esta estrategia considera que el productor decide construir un nuevo centro y desea comparar la rentabilidad de centros de producción con balsas-jaulas en lagos o en estuarios, en piscicultura de flujo abierto y piscicultura con sistema de recirculación buscando producir *smolts* a partir del tercer año. Para este caso se requiere considerar que el tiempo necesario para terminar la construcción e iniciar la producción en centros en lago y estuario es de 8 meses, iniciándose dicha construcción el segundo año. Por lo tanto, la producción de *smolts* en los mismos se inicia sólo el tercer año.

La figura 6 muestra claramente que si bien la tendencia de los beneficios netos entre los sistemas tradicionales se mantiene, el sistema de recirculación presenta superioridad en la generación de beneficios netos acumulados a partir del sexto año.

Una comparación de ambas figuras sugiere que los sistemas de balsas-jaulas serían más beneficiosos desde un punto de vista

privado en el corto plazo, si se inicia la producción apenas sea posible. No obstante, si se hace la comparación considerando el inicio de producción al mismo tiempo (Estrategia B), el sistema de recirculación muestra ser muy superior desde la perspectiva de quien realiza la inversión. Cabe señalar que para realizar un análisis completo, deberían internalizarse las externalidades ambientales negativas establecidas en este estudio, como por ejemplo, incluir los costos por descontaminación provocados por aquellos centros que generan mayores externalidades ambientales negativas (i.e., balsas-jaulas). Esto indudablemente afectaría su rentabilidad, pero no ha sido objeto de este estudio porque no hay suficiente información de costos de recuperación ambiental utilizable para estos fines.

Strategy B

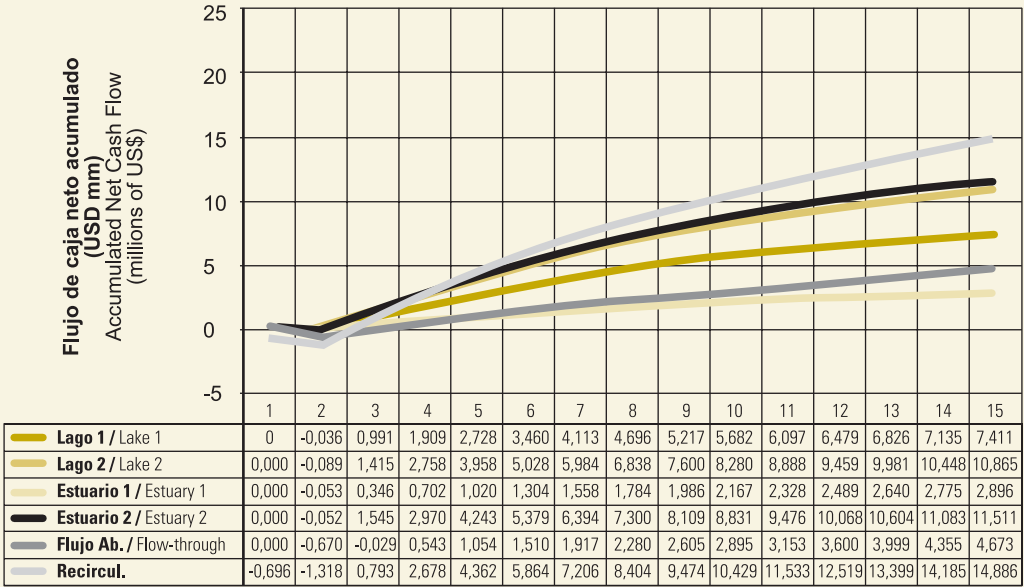
The second strategy assumes that the producer decides to build a new facility and wishes to compare the profitability of lake and estuary-based net pen production facilities, flow-through fish farms and recirculating aquaculture systems with the aim of beginning smolt production in the third year. This scenario makes the same assumptions as the first, except that since the time needed to finish construction and begin production in lake and estuary facilities is eight months, construction is not started until year two. Thus, smolt production in these systems does not begin until year three.

Figure 6 clearly shows that while the same trend in net profits is apparent among the traditional systems, the recirculation system generates the highest accumulated net profits starting in year six.

A comparison of both figures suggests that net pen systems are the most beneficial from the private perspective over the short

term if production is started as soon as possible. However, if the comparison is made considering simultaneous initiation of production (scenario B), the recirculation system is far superior from the investor's perspective. It should be pointed out that a complete analysis would also have to incorporate the negative environmental externalities established in this study, such as the cost of cleaning up pollution in the case of facilities that generate the greatest negative environmental externalities (i.e. net pens). While this aspect would undoubtedly affect profitability, it has not been analyzed in this study due to the lack of data about the costs of environmental recovery.

Figura 6. Valor Presente Neto acumulado (millones de US\$) para distintos centros de producción de *smolts* considerando Estrategia B y una producción anual de 5 millones de *smolts*. Figure 6. Accumulated net present value (millions of US\$) for different smolt production facilities under strategy B with an annual production of five million smolts.



Estrategia C

Esta tercera estrategia considera que el productor posee un centro de producción de *smolts* con alguna de las tecnologías tradicionales (i.e., balsas-jaulas lagos o estuarios y/o piscicultura de flujo abierto) y busca comparar la rentabilidad de hacer una transición de tecnología cambiando su producción de *smolts* a un centro de piscicultura con sistema de recirculación. Esta tercera estrategia considera que el tiempo requerido para terminar la construcción e iniciar las operaciones es de 24 meses, por lo cual sólo podrá iniciar producción el tercer año. De esta forma, los dos primeros años deberá seguir produciendo con el centro tradicional, sea del tipo que sea.

La figura 7 presenta el VPN en millones de US\$ estimado bajo Estrategia C¹² y muestra también que el sistema de recirculación es el de mayor rentabilidad, generando mayores beneficios netos acumulados a partir del sexto período, al igual que bajo

Estrategia B. No obstante, la diferencia central es que esta tercera estrategia busca el cambio desde los sistemas tradicionales al sistema de recirculación y como tal, dejaría de generar impactos ambientales a partir del tercer año, siendo viable tanto desde el punto de vista del inversionista como ambiental. Cabe señalar que los costos ambientales no han sido determinados en este análisis, esto debido a la falta de estudios sobre la valoración económica de los impactos ambientales de los diferentes sistemas productivos; se recomienda su internalización para la correcta toma de decisiones. Sin embargo, y de acuerdo a lo presentado anteriormente, donde se establece que los sistemas de recirculación tienen menores impactos ambientales, es posible concluir que el sistema de producción de *smolts* con recirculación tendrá menores costos ambientales al igual como ocurre desde el punto de vista del inversionista.

Strategy C

The third strategy assumes that the producer has a traditional smolt production facility (i.e. lake or estuary-based net pens and/or flow-through fish farm) and wishes to compare the profitability of making a transition to a smolt production facility with a recirculation system.

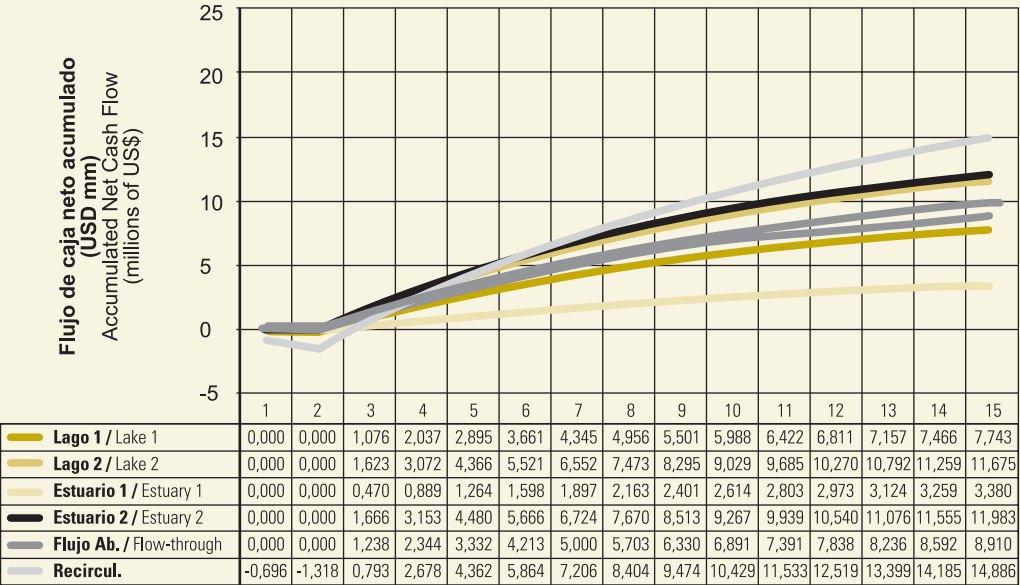
This strategy makes the same assumptions as the first, except that since the time needed to finish construction and begin operations at the recirculating aquaculture system is 24 months, production does not begin until the third year. As such, production is carried out at the traditional facility in the first two years, independent of the type of farm (lake, estuary or flow-through).

Figure 7 presents the NPV in millions of US\$ in strategy C¹² and also shows that the recirculation system is the most profitable, generating the greatest accumulated net profits starting in year six, just as with scenario B. The core difference, however, is that

this third scenario involves a transition from traditional systems to a recirculation system, and thus the environmental impacts are no longer generated as of the third year. This scenario is therefore viable both from the point of view of the investor and the environment.

It should be pointed out that the environmental costs have not been determined in this analysis due to a lack of studies on the economic valuation of environmental impacts generated by the different production systems. It is recommended that this valuation be incorporated in order to ensure good decision-making. Nevertheless, in accordance with the earlier observation that recirculating aquaculture systems have less environmental impact, it can be concluded that this smolt production system has fewer costs both for the environment and for the investor.

Figura 7. VPN acumulado (millones de US\$) para distintos centros de producción de *smolts* considerando Estrategia C y una producción anual de 5 millones de *smolts*. *Figura 7. Accumulated NPV (millions of US\$) for different smolt production facilities under strategy C with an annual production of five million smolts.*



¹² Dada la necesidad de seguir produciendo con el sistema antiguo durante los dos primeros años, esta figura debiese contener varias curvas de VPN para sistema de recirculación. De hecho, se debiesen incluir tantas curvas de VPN para recirculación como sistemas tradicionales se comparen, lo cual generaría un gráfico poco claro. Por ello, se han omitido los dos primeros años de producción para todos los sistemas considerados, lo que permite generar una sola curva para recirculación que considera únicamente la producción a partir del tercer año en forma transversal entre sistemas productivos.

¹² Given the need to continue producing using the old system during the first two years, this figure should include several NPV curves for the recirculation system, one for each traditional system to which it is compared. Since this would result in an unclear graph, the first two years of production have been omitted for all of the production systems considered, allowing for a single recirculation curve that includes production as of the third year only across all production systems.

Estimación de los requerimientos y necesidades ambientales para la smoltificación actual y futura de la industria ~ Estimated environmental requirements and needs for current and future smolt production in the industry

Como una manera de saber qué impactos y/o necesidades ambientales puede tener la industria del salmón en los próximos años, resulta interesante realizar una estimación de qué recursos necesitaría el país (luz, agua, personal-laboral, energía, etc.) para cada uno de los sistemas, de manera de afrontar la transferencia de la totalidad de los centros de smoltificación más la proyección de crecimiento (10 años). Se deberán considerar los impactos ambientales incorporando las variaciones naturales y riesgos asociados.

De acuerdo a la información pública (Sernapesca) y privada (empresas participantes) disponible y bajo determinados supuestos, fue posible construir las estimaciones que se presentan a continuación.

Supuestos:

- Cosecha total al año 2010 de 200.000 t y una tasa de crecimiento anual de 10%.
- Para estimar el número de *smolts* requeridos para proyectar el crecimiento en la fase de engorda o marina, se consideró una densidad a cosecha de 12 kg/m³ y bajo dos escenarios de tasas de mortalidad:

In order to identify the environmental impact and/or needs of the salmon industry in the coming years, it is interesting to estimate the resources required at the national level (electricity, water, labor, energy, etc.) for each system in order to prepare for the transfer of all existing smolt facilities plus the projected growth (10 years). The environmental effects should be considered taking into account natural variations and associated risks.

According to the available public and private information (Sernapesca and participating companies, respectively) and given certain assumptions, it was possible to make the following estimates.

Assumptions:

- Total harvest in 2009 of 200,000 t and an annual growth rate of 10%.
- In order to estimate the number of smolts required to project growth in the on-growing or marine phase, a harvest density of 12 kg/m³ was assumed under two different mortality rate scenarios:

	Escenario 1 tasas registradas durante los últimos 7 años. ¹² <i>Scenario 1 rates recorded over the past seven years.¹²</i>	Escenario 2 tasas esperadas con modelo productivo mejorado. ¹³ <i>Scenario 2 rates expected using an improved production model.¹³</i>
Salmón del Atlántico (SA) <i>Atlantic Salmon (AS)</i>	30%	15%
Salmón Coho (SC) <i>Coho Salmon (CS)</i>	25%	12.5%
Trucha Arcoiris (TA) <i>Rainbow Trout (RT)</i>	40%	20%

- Para el mismo objetivo del punto anterior se estableció el supuesto de una proporcionalidad de producción de salmónidos SA: SC : TA = 50% : 25% : 25%.

- Capacidad de producción en sistemas instalados en tierra al año 2009 (Empresas participantes *com. pers.*):
 - Recirculación: 16.000.000 de *smolts*/año.
 - Flujo abierto: 10.000.000 de *smolts*/año.
- Desfase de 2 años calendario entre el año en que se producen los *smolts* y el año en que ellos se cosechan desde centros de mar.
- Período promedio de:
 - Elaboración Proyectos Técnicos y tramitación de permisos: 4 meses
 - Construcción de 1 piscicultura: 6 meses
 - Puesta en marcha: 2 meses

- Período total para iniciar operación en régimen: 12 meses.

- With the same aim as the previous point, the proportion of salmonids produced was assumed to be AS: CS: RT= 50% : 25% : 25%.

- Production capacity of land-based systems in 2009 (participating companies, *per. comm.*):
 - Recirculation: 16,000,000 smolts/year.
 - Flow-through: 10,000,000 smolts/year.
- Lapse of two calendar years from the time smolts are produced to the time they are harvested at marine fish farms.
- Average time for:
 - Elaboration of technical projects and permit processes: four months
 - Construction of one fish farm: six months
 - Start-up: two months

- Total time until start of operations: twelve months.

Proyecciones productivas

Bajo el supuesto de que la cosecha de salmónidos durante 2010 alcanzará a 200.000 t y una proyección de crecimiento de la cosecha (con mortalidades altas, escenario 1) en los siguientes 10 años (2011

Productive projections

Assuming a salmonid harvest of 200,000 t in 2010 and a conservative projection for harvest growth (with high mortality rates, scenario 1) for the following 10 years (2011 – 2020), the number of smolts required

- 2020), el requerimiento de *smolts* para soportar dicha proyección se muestra en la Tabla 7. En este escenario, al final del período de la proyección (2020), para una producción de 518.000 t se requerirían 212 millones de *smolts*, lo que demandaría la construcción y operación, hacia el año 2017, ya sea de 33 pisciculturas de recirculación, cada una con capacidad para producir 5 millones de *smolts* por año, o bien, la combinación de instalaciones con diferentes capacidades de producción.

to supply this projection is shown in Table 7. At the end of the period projected in this scenario (2020), a total of 212 million smolts will be needed to produce 518,000 t. This will require either 33 recirculating aquaculture systems, each with a production capacity of 5 million smolts per year, or a combination of facilities with different production capacities to be constructed and operational by 2017.

Tabla 7. Proyección de la salmonicultura en la Región de Los Lagos bajo un escenario 1. / Table 7. Projected salmon production in the Los Lagos Region under a scenario 1.

Escenario 1 / Scenario 1	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cosecha (Tons/año) Harvest (Tons/year)	200.000	220.000	242.000	266.200	292.820	322.102	354.312	389.743	428.718	471.590	518.748
Nº <i>smolts</i>/año requeridos No. smolts/year required	66.316.527	89.920.635	98.912.698	108.803.968	119.684.365	131.652.802	144.818.000	159.299.718	175.638.706	192.753.056	212.027.952
Capacidad recirculación + Flujo abierto (<i>smolts</i>/año) Recirculation + flow- through capacity (smolts/year)	26.042.800	36.042.800	76.042.800	116.042.800	141.042.800	161.042.800	176.042.800	193.042.800	213.042.800		
Adición de nuevas capacidades (<i>smolts</i>/año) Addition of new capacity (smolts/year)		10.000.000	40.000.000	40.000.000	25.000.000	20.000.000	15.000.000	17.000.000	20.000.000	15.000.000	15.000.000
Balance (<i>smolts</i>/año) Balance (smolts/year)	-72.869.898	-72.761.168	-43.641.565	-15.610.002	-3.775.200	1.743.082	404.094	289.744	1.014.848		
Nº de piscicultura si capacidad de producción (<i>smolts</i>/año) es de: No. of fish farms if production capacity (smolts/year) is:	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
5.000.000 5,000,000 Nº a construir No. to be built	2	2	10	18	23	27	30	33	37		
3.000.000 3,000,000 Nº a construir No. to be built	3	3	17	30	38	45	50	56	62		
1.500.000 1,500,000 Nº a construir No. to be built	7	7	33	60	77	90	100	111	125		



Isla de Chiloé, Región de Los Lagos, Chile / Chiloé Island, Los Lagos Region, Chile. WWF Chile - Paula MORENO.



Por otro lado, utilizando iguales supuestos, pero con una proyección bajo escenario 2 de crecimiento, es posible establecer que se alcanzaría una producción de 172 millones de *smolts* con 26 pisciculturas de recirculación, cada una con capacidad para producir 5 millones de *smolts* por año, o bien, la combinación de instalaciones bajo distintos escenarios (Tabla 8).

Furthermore, using the same assumptions but with a growth projection according to scenario 2, it can be shown that a total of 172 million smolts would be produced in 26 recirculating aquaculture systems, each with a production capacity of five million smolts per year, or else a combination of facilities under different scenarios (Table 8).

Tabla 8. Proyección de la salmonicultura en la Región de Los Lagos bajo un escenario 2. / Table 8. Projected salmon production in the Los Lagos Region under an scenario 2.

Escenario 2 / Scenario 2	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cosecha (Tons/año) Harvest (Tons/year)	200.000	220.000	242.000	266.200	292.820	322.102	354.312	389.743	428.718	471.590	518.748
N° <i>smolts</i>/año requeridos No. smolts/year required	66.316.527	72.948.179	80.242.997	88.267.297	97.094.027	106.803.429	117.483.706	129.232.149	142.155.364	156.371.054	172.007.828
Capacidad recirculación + Flujo abierto (<i>smolts</i>/año) Recirculation + flow- through capacity (smolts/year)	26.042.800	36.042.800	66.042.800	96.042.800	118.042.800	130.042.800	142.042.800	157.042.800	172.042.800		
Adición de nuevas capacidades (<i>smolts</i>/año) Addition of new capacity (smolts/year)	-54.200.197	10.000.000	30.000.000	30.000.000	22.000.000	12.000.000	12.000.000	15.000.000	15.000.000	15.000.000	15.000.000
Balance (<i>smolts</i>/año) Balance (smolts/year)		-52.224.497	-31.051.227	-10.760.629	559.094	810.651	-112.564	671.746	34.972		
N° de piscicultura si capacidad de producción (<i>smolts</i>/año) es de: No. of fish farms if production capacity (smolts/year) is:	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
5.000.000 5,000,000 N° a construir No. to be built	2	2	8	14	18	21	23	26	29		
3.000.000 3,000,000 N° a construir No. to be built	3	3	13	23	31	35	39	44	49		
1.500.000 1,500,000 N° a construir No. to be built	7	7	27	47	61	69	77	87	97		
		20	20	15	3	8	10	10			

Lago Natri, Isla de
Chiloé, Region de los
Lagos, Chile / Natri
Lake, Chiloé Island, Los
Lagos Region, Chile.
WWF Chile - Paula
MORENO.



Parque Nacional
Cucao, Isla de Chiloé,
Región de Los Lagos,
Chile / Cucao National
Park, Chiloé Island, Los
Lagos Region, Chile.
WWF Chile - Paula
MORENO.

Estimación de recursos necesarios para satisfacer las proyecciones

Recursos naturales

La principal necesidad ambiental para la smoltificación a escala nacional está constituida por la alta cantidad y calidad de recursos hídricos que demandan los sistemas de smoltificación. En el supuesto que todos los sistemas de smoltificación basados en balsas-jaulas emplazadas en lagos y ríos o estuarios sean erradicados a sistemas de recirculación, se requerirán recursos hídricos coherentes con las proyecciones productivas de la industria.

Así por ejemplo, se muestra en Tabla 9 la necesidad de caudales de agua fresca para abastecer pisciculturas de recirculación entre los años 2010 y 2017, concluyéndose que los requerimientos anuales de caudales fluctúan entre 66 y 360 L/s, dependiendo del tamaño de las unidades productivas, esto es 5, 3 ó 1,5 millones de *smolts* por año.

Estimated resources needed to satisfy projections

Natural resources

The main environmental requirement for smolt production at the national level is the high quantity and quality of water resources needed for smolting systems. Assuming that all lake, river and estuary-based net pen smolting systems are replaced by recirculating aquaculture systems, the demand for water resources will be consistent with projected industry production.

As such, Table 9 shows the freshwater flows needed to supply recirculating aquaculture systems between 2010 and 2017, with annual flow requirements fluctuating between 66 and 360 L/s depending on the size of production units (5, 3 or 1.5 million smolts per year).

Tabla 9. Caudales de agua (L/s) necesarios para la proyección de operación de pisciculturas de recirculación en Chile. Table 9. Water flows (L/s) needed for projected operations of recirculation fish farms in Chile.

Nº de piscicultura si capacidad de producción (<i>smolts/año</i>) es de: No. of fish farms if production capacity (<i>smolts/year</i>) is:	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
5.000.000 Nº a construir / No. to be built Caudal necesario / Required flow (L/s)	60 2 120	6 360	6 360	4 264	2 144	2 144	3 180	3 180	28 1.752
3.000.000 Nº a construir / No. to be built Caudal necesario / Required flow (L/s)	22 3 66	10 220	10 220	7 161	4 88	4 88	5 110	5 110	48 1.063
1.500.000 Nº a construir / No. to be built Caudal necesario / Required flow (L/s)	7 77	20 220	20 220	15 161	8 88	8 88	10 110	10 110	98 1.074

De acuerdo a información obtenida en la Dirección General de Aguas (DGA), existe suficiente disponibilidad de recursos hídricos entre las regiones de La Araucanía y Magallanes para satisfacer esta demanda, ya sea a través de nuevos permisos como a través del mercado de derechos de agua ya constituidos (DGA 2010).

En relación a la localización y tamaño de los espacios terrestres que se requieren para la instalación de pisciculturas de recirculación y en base a la experiencia chilena, es posible afirmar que su localización depende de las fuentes de agua disponibles tanto subterráneas como superficiales. Estos recursos hídricos son utilizados para el proceso de cultivo como para recibir los efluentes del mismo. En general, se requieren volúmenes intermedios de agua de alta calidad (10-60 L/s) para abastecer el proceso de cultivo, la cual es obtenida desde pozos profundos y desde vertientes no contaminadas por otras actividades. El tamaño de los espacios terrestres requeridos para la instalación de una piscicultura de recirculación depende del tamaño y diseño de la misma, pero en términos generales puede variar entre 2 y 10 hectáreas.

According to information obtained from the General Water Directorate (DGA), the availability of water resources between Araucanía and Magallanes regions is sufficient to satisfy this demand, whether via new permits or through the existing water rights market (DGA 2010).

With respect to the location and amount of land required for recirculating aquaculture system facilities, and based on Chile's experience to date, it is safe to say that the location depends on the available sources of underground and surface water. These water resources are used both for farming processes and to receive the resulting effluent. In general, moderate volumes of high-quality water (10-60 L/s) are needed to supply farming processes. This water is obtained from deep wells and springs not contaminated by other activities. The amount of land needed to install recirculating aquaculture systems depends on the size and design of the farm itself, but generally ranges from 2 to 10 hectares.

Recursos económicos

En base a los resultados anteriores, es posible proyectar los costos de inversión que significaría la instalación de las pisciculturas de recirculación para sustentar la proyección de crecimiento de la cosecha hacia el año 2020 (Tabla 10). La proyección en el escenario 2 indica que los mayores montos de inversión deberían ocurrir los años 2011, 2012 (US\$ 24 millones) y 2013 (US\$ 17,6 millones).

Economic resources

Based on the aforementioned results, we can project the investment costs involved in the installation of the recirculating aquaculture systems needed to support the expected growth in harvest by 2020 (Table 10). Under scenario 2, the greatest investments would have to be made in 2011, 2012 (US\$ 24 million) and 2013 (US\$ 17.6 million).

Tabla 10. Estimación de costos anuales de inversión en pisciculturas de recirculación para satisfacer la demanda de *smolts* por parte de la industria. *Table 10. Estimated annual investment costs in recirculating fish farms to satisfy industry demand for smolts.*

Nº de piscicultura si capacidad de producción (smolts / año) es de: <i>No. of fish farms if production capacity (smolts/year) is:</i>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
5.000.000 Nº a construir / <i>No. to be built</i> Costo total (US\$) / <i>Total cost (US\$)</i>	2 8.000.000	6 24.000.000	6 24.000.000	4 17.600.000	2 9.600.000	2 9.600.000	3 12.000.000	3 12.000.000
3.000.000 Nº a construir / <i>No. to be built</i> Costo total (US\$) / <i>Total cost (US\$)</i>	3 7.200.000	10 24.000.000	10 24.000.000	7 17.600.000	4 9.600.000	4 9.600.000	5 12.000.000	5 12.000.000
1.500.000 Nº a construir / <i>No. to be built</i> Costo total (US\$) / <i>Total cost (US\$)</i>	7 8.400.000	20 24.000.000	20 24.000.000	15 17.600.000	8 9.600.000	8 9.600.000	10 12.000.000	10 12.000.000



Carretera Puyuhapi,
Región de Aysén, Chile
/ Puyuhapi Highway,
Aysén Region, Chile.
WWF Chile - Paula
MORENO.

Hasta mediados del 2008 la salmonicultura tuvo un crecimiento sostenido, generando recursos económicos y empleo en las regiones australes, sin embargo, dicha actividad productiva ha generado una serie de externalidades negativas, especialmente debido al deterioro de la calidad de las aguas y sedimentos donde se desarrolla.

Esta actividad productiva se lleva a cabo tanto en agua dulce como en agua de mar, de acuerdo al ciclo de vida natural de estos peces exóticos. Así, la primera fase de la producción de salmones utiliza ecosistemas lacustres, fluviales y estuarinos, pudiendo usar desde sistemas con bajo nivel tecnológico, como balsas-jaulas, hasta sistemas altamente tecnificados, como son las pisciculturas de recirculación. Es en este contexto, y con el fin de conocer las ventajas y desventajas sanitarias, ambientales, sociales y económicas de los distintos sistemas productivos existentes en Chile, que se llevó a cabo el presente estudio. Para el logro de los objetivos, se realizó una comparación de los cuatro sistemas productivos, esto es, producción de *smolts* en balsas-jaulas en lagos, estuarios, piscicultura de flujo abierto y de recirculación, de manera que se puede concluir y recomendar lo indicado a continuación:

En el ámbito sanitario, este estudio pudo establecer claramente que generar smoltificación con mayor control de los procesos, es decir, pasar de sistemas abiertos en el medio ambiente, como son producción de *smolts* en balsas-jaulas en lagos y estuarios, a sistemas cerrados como sistemas de flujo abierto y especialmente los sistemas de recirculación, presenta ventajas sanitarias. Además, constituye un claro caso de eco-eficiencia, dado que se reducen los costos y los impactos ambientales, ya que al controlarse mejor los procesos se disminuye el desarrollo de enfermedades, lo que a su vez requiere menor uso de productos químicos para el control y tratamiento de ellas.

Se ha registrado que producciones basadas en balsas-jaulas y centros de flujo abierto gastan de 6 a 81 veces más medicamentos que los sistemas de recirculación. El uso de químicos, al llegar éstos al medio acuático, puede afectar directamente a otros organismos, o bien, generar resistencia en los mismos patógenos que se tratan de controlar. Adicionalmente, al ser sistemas cerrados, los productos y desechos pueden ser recuperados antes de ser liberados al medio natural.

Es posible indicar que las pisciculturas de flujo abierto y todos los sistemas basados en balsas-jaulas (i.e., lago y estuario), tienen mortalidades entre dos y cinco veces mayores, respectivamente, que las tasas registradas en sistema de recirculación.

La introducción y propagación progresiva en el medio ambiente de enfermedades es otro factor relevante. Si bien no se pudo establecer que los sistemas cerrados eviten en un 100% la propagación de enfermedades al medio ambiente, sí se reduce su riesgo en forma importante, no sólo por contar

Salmon farming grew steadily until mid-2008, generating economic resources and employment in the southernmost regions. However, this productive activity has also generated a series of negative externalities, especially with regard to the deterioration of water quality in the locations where it is carried out.

This activity takes place in both freshwater and marine water bodies, matching the natural lifecycle of these exotic fish. The first phase of salmon production occurs in lake, river and estuary ecosystems and may use low-tech net pen systems or high-tech recirculating aquaculture systems. In this context, this study was conducted in order to become familiar with the sanitary, environmental, social and economic advantages and disadvantages of the different production systems used in Chile. To achieve this objective, four smolt production systems were compared: net pens in lakes; net pens in estuaries; flow-through aquaculture systems; and recirculating aquaculture systems. The following are our conclusions and recommendations:

In the sanitary sphere, this study clearly established that there are health advantages to moving from open smolt production systems (such as lake and estuary-based net pens) to closed systems with greater process control (such as flow-through systems and, in particular, recirculating aquaculture systems). Controlled processes also have reduced environmental costs and impacts, due to lower disease incidence and, consequently, the need for fewer chemical products for disease control and treatment. Net pen and flow-through production systems have been shown to spend 6 to 81 times more on medicines than recirculation aquaculture systems. The introduction of chemicals to the aquatic environment can directly affect other organisms or generate resistance in the very pathogens they are meant to control. In addition, closed systems allow waste products to be recovered before being released into the natural environment.

It can be shown that mortality in flow-through fish farms and net pen systems (both in lakes and estuaries) is two and five times higher, respectively, than the rates recorded in recirculating aquaculture systems.

The introduction and progressive propagation of diseases in the environment is another important factor. While it was not possible to show that closed systems completely detain the spread of diseases to the environment, they do reduce this risk significantly, not only by controlling effluents but also by lowering the risk of escaped salmon that can act as disease vectors. Today in Chile, a large number of diseases have colonized almost every water body in which aquaculture activities are carried out. Some of these diseases have become permanently established, thus altering the original sanitary state of lake ecosystems in Southern Chile.

With regard to environmental impacts, it was established that moving from net pen smolt production systems in lakes and estuaries to flow-

con control de efluentes, sino también al disminuir el riesgo de escapes de salmones, individuos que pueden ser vectores de enfermedades. Hoy en Chile, un gran número de enfermedades ha colonizado prácticamente todos los cuerpos de agua donde se ha desarrollado la actividad acuícola, estableciéndose en algunos de manera permanente, alterando de este modo el patrimonio sanitario original de los ecosistemas lacustres del sur de Chile.

Respecto de los impactos ambientales, se estableció que pasar de sistemas de producción de *smolts* en balsas-jaulas en lagos y estuarios a pisciculturas de flujo abierto y especialmente de recirculación reduce los impactos ambientales de manera significativa.

Una de las mayores diferencias entre sistemas abiertos y cerrados es que, si bien ambos generan una similar cantidad de desechos, dada la naturaleza del proceso productivo, en sistemas cerrados los efluentes pueden ser controlados, recuperando en algunos casos ciertos compuestos a través de filtros, evitando de esta manera contaminar las fuentes de agua.

En los centros de producción de *smolts* que utilizan balsas-jaulas, el deterioro de la calidad del agua y sedimentos bajo las estructuras son generados en gran parte por los aportes de nutrientes (nitrógeno y fósforo), y la consecuente modificación de la condición trófica del ecosistema. Adicionalmente, los productos usados para el control de las enfermedades y limpieza de las instalaciones que son liberados directamente al medio ambiente también pueden afectar las condiciones del medio. A pesar de la falta de información particular actualizada sobre los impactos ambientales que estos aportes orgánicos generan en lagos o estuarios, es posible deducir que el nivel de alteración va a estar dado por el grado de fragilidad del ecosistema.

Es así como una de las ventajas de las instalaciones en tierra es la posibilidad de instalar filtros, con lo cual es posible recuperar los lodos, compuestos orgánicos que en los sistemas abiertos terminan directamente en el medio ambiente. Aquellos lodos provenientes de pisciculturas de recirculación, dado el menor uso de sustancias químicas para el control de enfermedades, pueden llegar a ser un insumo importante para otras actividades productivas (agrícola y forestal), esto debido a la buena calidad del compost que generan. En la normativa actual, existe la obligación de disponer de dichos lodos en vertederos autorizados, sin embargo, producto de que estos residuos sólidos pueden ser utilizados como fertilizantes en sistemas productivos terrestres, se hace necesario revisar y modificar la normativa sectorial, de manera de poder efectuar un uso más eficiente de los recursos naturales y un aprovechamiento de los nutrientes que, de otra forma se verterían al cuerpo de agua generando contaminación orgánica.

Los escapes tanto masivos como puntuales de salmónidos en lagos, ríos y estuarios producen

through fish farms and, in particular, recirculating aquaculture systems, significantly reduces environmental impacts.

Although open and closed systems generate a similar amount of waste, one of the major differences between the two is that closed systems can control effluents and, in some cases, recover certain compounds using filters, thus avoiding the contamination of water sources.

In net pen smolt production systems, the deterioration in the water and sediment quality below the structures is due in large part to the input of nutrients (nitrogen and phosphorus) and the subsequent modification of the trophic condition of the ecosystem. In addition, products used to control diseases and clean the facilities are released directly into the environment and can also affect environmental conditions. Despite the lack of detailed data on the environmental impacts generated by these organic inputs into lakes or estuaries, it can be deduced that the level of alteration will correspond to the degree of fragility of the ecosystem.

As such, one of the advantages of land-based facilities is the possibility of installing filters that allow for the recovery of sludge. In open systems, these organic compounds are released directly into the environment. Given the lower use of chemical substances for disease control, sludge from recirculating aquaculture systems can be used as an important input for other productive activities (agriculture and forestry), since it generates high-quality compost. The current regulations require that this sludge be disposed of in authorized dumps, but since this solid waste can be used as fertilizer in land production systems, the revision and modification of industry regulations is needed in order to use natural resources more efficiently and take advantage of nutrients that otherwise would be discharged into the water body, generating organic pollution.

Both large and small-scale salmonid escapes in lakes, rivers and estuaries negatively affect native species by altering the composition and diversity of the biological community. Escapes are more likely and occur most frequently in net pen smolt production systems and flow-through fish farms, while they are almost impossible in recirculating aquaculture systems.

With respect to water use, two key factors must be considered: efficiency and pollution. We were only able to analyze these aspects in closed systems, since net pen operations clearly impact a significant portion of the water body and thus their efficiency in water resource use cannot be evaluated. Similarly, since there is no way of controlling the compounds released into the environment, these systems have a greater environmental impact than closed systems.

In relation to water use efficiency, it should be pointed out that recirculation aquaculture systems are more efficient since they use only 3-10% of the water used by a flow-through fish farm. This is one of the most significant effects of flow-through systems, whose

un impacto negativo sobre las especies nativas, al alterar la composición y diversidad de la comunidad biológica. Estos escapes son más probables y frecuentes en sistemas de producción de *smolts* en balsas-jaulas y en pisciculturas de flujo abierto, siendo casi imposibles en sistemas de recirculación.

Respecto del uso de agua, existen dos factores claves a considerar, por un lado la eficiencia en el uso de ésta, y la contaminación de estos recursos. Este aspecto sólo pudo ser analizado para sistemas cerrados, dado que las operaciones en balsas-jaulas claramente impactan una parte importante del cuerpo de agua, por lo que no es posible hablar de eficiencia en el uso de los recursos hídricos. Asimismo, como no hay posibilidad de controlar los compuestos liberados al medio, son por lo tanto sistemas con un mayor impacto ambiental que los sistemas cerrados.

En lo relativo al uso eficiente del agua, cabe destacar que las pisciculturas con sistemas de recirculación presentan una mayor eficiencia, ya que sólo utilizan entre un 3-10% del agua de una piscicultura con flujo abierto. Siendo este factor uno de los efectos más relevantes de los sistemas de flujo abierto, cuyos impactos están principalmente asociados a la utilización de grandes volúmenes de agua.

Es importante indicar que los efluentes de ambos sistemas cerrados se rigen por la norma de emisión, pero dado que a la fecha la normativa sectorial aplicable a estos proyectos solamente evalúa la concentración de los nutrientes en el agua y no la carga total de éstos, es que las pisciculturas de flujo abierto no están siendo evaluadas o monitoreadas de manera adecuada, ya que por los grandes volúmenes de agua que descargan, se produce un efecto de dilución de sus contaminantes. Es por este motivo que se requiere que tales regulaciones ambientales incorporen el factor de la carga total, ya que se podrían generar problemas de enriquecimiento orgánico y efectos acumulativos lejos de la fuente emisora.

En cuanto a los impactos sociales, no se detectaron grandes diferencias entre los cuatro sistemas respecto de la mano de obra, si bien no se conocieron en detalle las diferencias en número de empleados, sí se reconoce la mayor especialización del personal en caso de centros con mayor tecnología, i.e. recirculación. Por su parte, sí se estableció que al existir pérdida de la calidad ambiental y sanitaria de los cuerpos de agua, hay riesgo que la población que hace uso de estos recursos hídricos pueda verse afectada directa e indirectamente, ya sea por utilización del agua de bebida con contaminantes, o bien, por reducción del valor o plusvalía de la propiedad. En este mismo sentido, al existir un impacto sobre el valor paisajístico de los sistemas naturales, podría haber repercusiones negativas vinculadas a usos alternativos de los espacios, como el turismo.

Desde una perspectiva económica, de acuerdo al análisis específico que se ejecutó, se ha mostrado que la tecnología de producción de *smolts*

impacts are mainly associated with the use of large volumes of water.

It is important to mention that the effluents of both types of closed systems are subject to emissions regulations, but the applicable industry standards assess only the nutrient concentration in the water and not the total nutrient load. This means that flow-through fish farms are not being adequately assessed or monitored, since the large volume of water discharged has the effect of diluting contaminants.

Environmental regulations must therefore take into account the total load, since problems related to organic enrichment and cumulative effects could be generated far from the emission source.

In terms of the social impacts, no great differences were found among the four systems with respect to labor. While no detailed information was obtained regarding the differences in number of employees, a greater degree of staff specialization is evident at farms that use more sophisticated technology (i.e. recirculation). It was also shown that decreasing environmental and sanitary quality of water bodies places people using these water resources at greater risk of being affected directly or indirectly, whether due to contaminated drinking water or depreciated property values. Similarly, if the landscape value of natural systems is affected, there could be negative repercussions for alternative uses such as tourism.

From an economic perspective, the specific analysis carried out in the study showed that smolt production technology based on water recirculation is an economically viable alternative from the point of view of the investor. The comparative analysis showed that this type of system generates the highest net profit per smolt, at US\$ 0.62, which is 95%, 151% and 115% greater than the net profits of production systems in lakes, estuaries and flow-through fish farms, respectively.

While income per smolt is higher in the lake and estuary-based systems, these systems also incur the highest production costs and thus generate lower net profits. Flow-through fish farms show the lowest income per smolt, and although their production costs are lower than lake and estuary-based farms, they are higher than recirculating aquaculture systems, generating smaller net profits than the latter system.

In terms of the investment costs per smolt for the different production alternatives, it can be stated that recirculating aquaculture systems are the most advantageous, with costs of US\$ 0.80/smolt. A facility with a production capacity of 5 million smolts per year would thus cost US\$ 4 million.

In light of these data, it can be suggested that recirculating aquaculture systems are eco-efficient, since they generate both economic savings and lower environmental impact. This idea is strengthened when taking into account the negative sanitary, environmental and social impacts generated by open smolt production systems (net pens in lakes, rivers

basada en recirculación de agua es una alternativa económicamente viable desde el punto de vista del inversionista. Lo anterior, considerando que el análisis comparativo muestra que genera el mayor beneficio neto por *smolt*, esto es US\$0,62/*smolt*, siendo éstos un 95%, 151% y 115% mayores que los beneficios netos de los sistemas productivos en lagos, estuarios y pisciculturas de flujo abierto, respectivamente.

Si bien los ingresos por *smolt* producido son mayores en los sistemas emplazados en lagos, así como en aquellos instalados en estuarios, la otra cara de la moneda muestra que incurren en los mayores costos de producción y por ello sus beneficios netos son menores. Por su parte, las pisciculturas de flujo abierto muestran los menores ingresos por *smolt*, y a pesar de que sus costos de producción son menores a los centros en lagos y estuarios, son más altos que aquellos del sistema de recirculación, generando beneficios netos menores a los de este sistema de producción.

Al evaluar los costos de inversión por *smolt* para las distintas alternativas de producción, es posible afirmar que las pisciculturas de recirculación son las más convenientes, esto es US\$0,8/*smolt*. Por lo cual, una instalación con capacidad para producir 5 millones de *smolts* al año tiene un costo de 4 millones de dólares.

A la luz de todos estos antecedentes, es posible plantear que los sistemas de recirculación representan un ejemplo de ecoeficiencia, ya que generan ahorros económicos y a su vez provocan menores impactos ambientales. Esta idea se refuerza al considerar todos los efectos negativos, tanto sanitarios, ambientales como sociales, que genera la producción de *smolts* en sistemas abiertos (balsas-jaulas en lagos, ríos y estuarios). Estos impactos son de mucha mayor relevancia que los provocados por instalaciones en tierra. Así, teniendo en cuenta que los sistemas abiertos explican sobre el 95% de la capacidad de producción de *smolts* al año 2009, el cambio de estos sistemas puede significar una mejora ambiental de relevancia en los ecosistemas lacustres, fluviales y estuarinos. Por lo mismo, si se pretende avanzar coherentemente con la proyección de crecimiento y con la recuperación de la industria y la reducción de sus impactos ambientales, deberían realizarse todos los esfuerzos privados y públicos para construir o modificar la mayor parte de estas unidades productivas durante los cinco primeros años del período proyectado.

Paralelamente, en la medida que se establezcan las capacidades para producir *smolts* en sistemas de recirculación, deberán abandonarse las operaciones en los lagos de Chile, proceso que podría finalizar en el año 2017.

Todos los antecedentes apuntan así a que la presencia de la industria salmonera con sistemas de cultivo en balsas-jaulas en lagos no se justifica desde el punto de vista económico, y debido a los impactos ambientales, sanitarios y sociales que generan, se hace urgente que esta transición ocurra en el más breve plazo.

and estuaries). These effects are much greater than those generated by land-based facilities.

Considering that open systems accounted for over 95% of smolt production capacity in 2009, a move away from these systems could mean significant environmental improvements in lake, river and estuary ecosystems.

If the aim is to move ahead in a coherent manner with projected growth, industry recovery and the reduction of environmental impacts, every effort must be made in the public and private spheres to build or modify the majority of these productive units during the first five years of the projected period. At the same time, as recirculation aquaculture systems for smolt production become established, aquaculture operations in Chilean lakes should be abandoned, a process which could be completed by 2017.

All of the above data indicates that the salmon farming industry's use of lake-based net pen systems is not justifiable from the economic perspective. In light of the environmental, sanitary and social impacts generated by these systems, a transition must take place as soon as possible.

- Anuario Estadístico Sernapesca. 2008. http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=select&id=334
- Arismendi, I., D. Soto, B. Penaluna, C. Jara, C. Leal & J. León-Muñoz. 2009. Aquaculture, non-native salmonid invasions and associated declines of native fishes in Northern Patagonian lakes. *Freshwater Biology*: 1-13.
- Atlantic Salmon Federation. 2010. http://www.asf.ca/about_salmon.php?type=lifecycle
- Beveridge, M.C.M. 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO Doc. Téc. Pesca, N°255: 100 pp
- Burridge, L; Weis, J; Cabello, F & Pizarro, J. 2008. Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. Technical Working Group Report for Salmon Aquaculture Dialogue. <http://www.worldwildlife.org/what/globalmarkets/aquaculture/WWFBinaryitem8842.pdf>
- Buschmann A.H, V.A. Riquelme, M.C. Hernández-González, D. Varela, J.E. Jiménez, L.A. Henríquez, P.A. Vergara, R. Guíñez & L. Filón. 2006. A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 63: 1338-1345.
- 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, Huillínco, Tepuhueico y Tarahuín. Informe final proyecto FIP N° 96-54.
- Ciancio J.E., M.A. Pascual, F. Botto, E. Frere & O. Iribarne. 2008. Trophic relationships of exotic anadromous salmonids in the southern Patagonian Shelf as inferred from stable isotopes. *Limnol. Oceanogr.*, 53: 788-798.
- Dirección General de Aguas. 2010. <http://www.dga.cl>
- FAO. 2004-2010. Programa de información de especies acuáticas. Text by Jones, M. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 8 November 2006. [Cited 1 April 2010]. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Salmo_salar/es
- Gooley, G.J. y F.M. Gavine. 2003. Integrated Agri-Aquaculture Systems. RIRDC Project No. MFR-2A. 189 pp.
- León-Muñoz, J; D. Tecklin, A. Farías, S. Díaz. 2007. Salmonicultura en los Lagos del Sur de Chile-Ecorregión Valdiviana. Historia, tendencias e impactos medioambientales. WWF Chile Núcleo Científico Milenio Forecos, Universidad Austral de Chile. 44 pp.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 2000. Decreto Supremo N° 90 que "Establece la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales".
- Naylor R., K. Hindar, I.A. Fleming, R. Goldburg, S. Williams, J. Volpe, F. Whoriskey, J. Eagle, D. Kelso & M. Mangel. 2005. Fugitive Salmon: Assessing the Risks of Escaped Fish from Net-Pen Aquaculture. *Bioscience* 55: 427 - 437.
- Sepúlveda, M; F. Farías y E. Soto. 2009. Escapes de salmones en Chile. Eventos, impactos, mitigación y prevención. Valdivia, Chile: WWF.
- Soto, D. 1997. Evaluación de Salmónidos de vida libre existentes en las aguas interiores de las Regiones X y XI. Informe Técnico, Fondo Investigación Pesquera, Subsecretaría de Pesca, Chile, FIP 95-41.
- Soto, D., F. Jara & C. Moreno. 2001. Escaped salmon in the inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. *Ecological Applications* 11(6): 1750-1762.
- Soto, D., I. Arismendi, C. Leal & J. Sanzana. 2002. Proyecto FNDR (Fondo Nacional para el Desarrollo Regional) X Región. 1999-2001. Investigación para la Evaluación, Ordenamiento y manejo del Potencial Biológico para la pesca deportiva de la Décima Región de Los Lagos. Gobierno Regional de los Lagos, 123 pp.
- Soto, D., I. Arismendi, J. González, J. Sanzana, F. Jara, C. Jara, E. Guzmán & A. Lara. 2006. Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 91-117.
- Wurts, W. 2000. Sustainable Aquaculture in the Twenty-First Century. *Reviews in Fisheries Science*, 8(2): 141-150.



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

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

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