

.....

***Evaluación de la Factibilidad de Uso del
Lago Fagnano (Tierra del Fuego) para la Cría
de “Smolt” de Salmón del Atlántico***

.....

Informe Final

Dr. Rolando Quirós

Agosto, 2002



Resumen Ejecutivo

El presente Informe presenta un estudio de **prefactibilidad técnica** de instalar un cultivo de “smolt” en el **Lago Fagnano** necesario para producir 20000 tn de salmón del Atlántico en sitios preseleccionados del Canal de Beagle. El mismo fue realizada sólo sobre la información morfológica, climática, hidrológica y de niveles de nutrientes existente y disponible al que se le agregó un muestreo superficial realizado en marzo de 2002.

Comparativamente, las características morfométricas, térmicas e hidrológicas del Lago Fagnano lo indican como prácticamente la única fuente de agua dulce, situada en la Provincia de Tierra del Fuego, con posibilidades de ser utilizada para la cría de “smolt” en las cantidades necesaria para producir 20000 tn de salmón en el Canal de Beagle.

Los análisis realizados permiten evaluar como positiva la factibilidad de instalar el cultivo de **600-800 tn** de “smolt” en las aguas argentinas del lago, sin producir impactos ambientales apreciables en el lago como un todo. Sin embargo, la ubicación de las jaulas dentro del lago deberá ser objeto de un estricto estudio de evaluación del impacto de las localizaciones de los agrupamientos de jaulas y de un cuidadoso sopesado con las necesidades de los usuarios presentes y futuros.



Contenidos

1. Estimación de la Cantidad de “Smolt” Necesario para Producir 20000 tn de Salmón e Identificación de Sitios de Agua Dulce en la Ia. Grande de Tierra del Fuego	4
2. Características Generales de los Cultivos en Jaulas de “Smolts” en Lagos	5
3. Características Morfológicas e Hidrológicas del Lago Fagnano	6
4. Características Limnológicas del Lago Fagnano	7
5. Carga de Nutrientes al Lago Fagnano	8
6. Contribución Relativa del Cultivo de “Smolt” a la Carga Total Estimada de Nutrientes	13
7. Estimación de Cambio del “Estado Trófico” del Lago frente a la Instalación de Cultivo de “Smolt”	16
Bibliografía	20

·
·
·
·
·
·
·
·
·
·

1. Estimación de la Cantidad de “Smolt” Necesario para Producir 20000 tn de Salmón e Identificación de Sitios de Agua Dulce en la Isla Grande de Tierra del Fuego

El tonelaje total de “smolt” a ser producido se calculó a partir de suponer la necesidad de producir 20000 tn de salmón adulto de 2 kg de peso individual. Ello resulta en una producción de 10 millones de “smolts” que a un peso de 80 g cada uno daría un total de 800 tn de “smolt” necesario de ser producido en agua dulce.

En la Isla Grande de Tierra del Fuego los ríos situados al norte de la cordillera presentarían más de un problema para ser utilizados de manera eficiente para producir “smolt” en términos económicos. Por un lado, alcanzan muy bajas temperaturas, llegando a congelar durante el invierno (Quiros et al., 1993). Por otro lado, albergan una floreciente industria de pesca deportiva que se vería impactada negativamente por un eventual uso para producir “smolt” de salmón. Los lagos situados en esta región, además, o son muy poco profundos o son pequeños (Tabla 1) para albergar las necesidades de “smolt” para producir 20000 tn en el Canal de Beagle. Por otra parte, sus características morfológicas, y probablemente hidrológicas, los indican como serios candidatos a deteriorarse ambientalmente si fueran utilizados para producir “smolt” en jaulas. Los ríos situados al sur de la cordillera presentarían problemas con sus bajas temperaturas de invierno además de caudales de descarga insuficientes (Quiros et al., 1993). Lo anterior solo deja al Lago Fagnano como alternativa de agua dulce de superficie a ser considerada, en la Provincia de Tierra del Fuego, para producir 800 tn de “smolt” por año.

Como todas las actividades humanas, y la producción animal en particular, la acuicultura de salmónidos en jaulas flotantes tiene tanto beneficios sociales y económicos como efectos indeseados sobre el medio ambiente. Entre los impactos no deseados son de destacar aquellos provocados por las cantidades de materia orgánica, fósforo y nitrógeno que se descargan al medio ambiente adyacente, tanto marino como de agua dulce. Esto último no diferencia a la industria de las otras industrias agropecuarias, las descargas de nutrientes actúan como fuentes difusas de difícil, y muchas veces imposible, control en las fuentes.

La evaluación de la importancia, tanto absoluta como relativa, de las descargas de fósforo (P) y nitrógeno (N) es uno de los primeros pasos a cumplimentar en la evaluación de la factibilidad de desarrollo de la acuicultura

en jaulas en un determinado sitio (Beveridge, 1983, 1996). Los impactos de las descargas de desechos son particularmente importantes en sitios poco profundos con bajo recambio de agua. El Lago Fagnano es un sitio con un muy bajo recambio de agua, pero, sin embargo, es un lago muy grande y muy profundo (ver Tabla 1).

2. Características Generales de los Cultivos en Jaulas de “Smolts” en Lagos

En los lagos situados en zonas desarrolladas, la industria de la acuicultura es un usuario más de los recursos del ecosistema acuático. Uno de los principales interesados en un medio ambiente de alta calidad relativa es la propia industria, ya que un medio acuático relativamente saludable es una de las condiciones necesarias para el buen crecimiento de los peces y, por lo tanto, la obtención de beneficios económicos. Sin embargo, un sitio puede cumplir con las condiciones apropiadas para instalar acuicultura de salmón en jaulas pero ello de ninguna manera indica que se vean minimizados otros efectos generalmente valorados como negativos. Para los lagos, los impactos más relevantes son las cargas de fósforo y nitrógeno que, si fueran desproporcionadas a la profundidad y recambio de agua del lago, provocarían un enriquecimiento excesivo de sus aguas, déficits de oxígeno en el hipolimnio, y cambios en la composición de la comunidad de peces. Aún con cargas de nutrientes intermedias y adecuadamente controladas, el desarrollo de floraciones algales en las inmediaciones de los agrupamientos de jaulas, puede ser de común suceso y deberán ser cuidadosamente monitoreadas. Las cargas de antibióticos y otras sustancias químicas utilizadas como medicinas para los peces o como anti “fouling” de las bolsas-red, deberá ser también cuidadosamente normalizado. Sin embargo, al igual que los escapes, un ligero enriquecimiento del lago puede constituirse en un impacto positivo sobre el aprovechamiento humano de los salmónidos introducidos y aún de ciertos componentes de la biota nativa. Todos estos impactos deberían ser considerados en la evaluación ambiental de todo proyecto productivo, así como proponer aplicar las medidas de prevención y mitigación adecuadas. Los impactos producidos por los peces muertos durante la cría generalmente se manejan con técnicas similares a las aplicadas en las modernas industrias agropecuarias y de producción de alimentos. Otros impactos generalmente no deseados de los

cultivos de peces en jaulas flotantes incluyen a los impactos sobre el paisaje, el carácter de uso de los sitios (por ej. reservas naturales o zonas protegidas) y el uso turístico-pesquero de los sitios. Algunos de estos impactos se resuelven con leves modificaciones en la ubicación de los agrupamientos de jaulas, otros en el campo general del manejo científico de los lagos, y por último, en la arena de las decisiones sobre el desarrollo.

3. Características Morfológicas e Hidrológicas del Lago Fagnano

Las características morfométricas del Lago Fagnano fueron tomadas de (Quiros, 1990) (ver Tabla 1). En Chile no existe información adecuada sobre la descarga media anual del Lago Fagnano a través del Río Azopardo (Gobierno Chileno, com. pers). Tampoco son suficientes los aforos de ríos realizados del lado argentino como par realizar una aceptable estimación de la misma. Frente a la necesidad de contar con una estimación del recambio de agua medio anual del lago, se utilizaron dos formas extremas y contrastantes para realizarla. La primera de ellas considera que toda el agua que precipita en la cuenca entra al lago como escorrentía superficial y profunda. Esta es obviamente una grosera sobrestimación. La segunda, estima los caudales de descarga de los principales afluentes al lago, y corrige hacia arriba para tomar en cuenta los afluentes no aforados. Esta última posiblemente sea más adecuada o una subestimación. Este último método fue, básicamente, el utilizado por Iturraspe y Schroder (1985) para estimar las descargas medias mensuales de las distintas vertientes de la Isla Grande.

Tabla 1. Características morfométricas e hidrológicas de los lagos Fagnano y Yehuín (Quiros, 1990). A, superficie áreal; Zmean, profundidad media; V, volumen; Tw, tiempo de permanencia medio anual del agua; Ao (superficie áreal de la cuenca de drenaje, km²).

	A (km ²)	Zmean (m)	V (hm ³)	Tw (años)	A/Ao
Fagnano	580	80.7	46806	> 25	0.22
Yehuín	43.5	42.7	1857	?	?

La estimación del área superficial de la cuenca fue estimada a partir de la cartografía del IGM (1:250000) y la superficie del lago de Quirós (1990). Las precipitaciones pluviales en Tolhuin al igual que las descargas para los ríos Milna, Tuerto, Valdez, Turbio y Claro fueron provistas por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Tierra del Fuego. Esta información es, sin embargo, escasa y con muchos datos faltantes en las breves series históricas. Como era de esperar, el primer método subestimaría el tiempo de permanencia del agua en el lago (24 años) pero el segundo lo sobrestimaría en mucho (64 años). La bibliografía limnológica y la experiencia indica que el tiempo de permanencia esté más cercano a los 24 que a los 64 años (Tabla 1). Sin embargo, cuando se lo compara con el de otros lagos patagónicos el Lago Fagnano tiene características típicas de un pequeño lago de cabecera (alta relación A/Ao) pero es un gran lago profundo situado en las cercanías de la descarga de la cuenca. El lago Fagnano presenta una estratificación térmica que solo se rompe hacia fines del invierno. Por esa razón, gran parte de sus nutrientes quedan como no disponibles para el crecimiento algal durante el verano.

Para los cálculos subsiguientes se considerará un tiempo de permanencia del agua de 24-25 años, lo cual conduce a tomar el principio de precaución a favor del lago.

Tabla 2. Características morfométricas e hidrológicas de la cuenca del lago Fagnano. Ao, superficie áreal de la cuenca de drenaje, km²; A, superficie áreal del lago; V, volumen; Tw, tiempo de permanencia medio anual del agua.

A + Ao	3206.5	km ²
Ao	2626.5	km ²
A/Ao	0.22	
precipitación media anual (mm/año)	600	mm/año
volumen entrada anual 1	1924	hm ³ /año
volumen lago	46806	hm ³
tiempo de permanencia del agua 1	24	años
volumen entrada anual 2	732	hm ³ /año
volumen lago	46806	hm ³
tiempo de permanencia del agua 2	64	años

Las aguas del Lago Fagnano circulan de este a oeste, pero esta circulación se ve levemente impedida por la preponderancia de vientos del Oeste y Sudoeste.

4. Características Limnológicas del Lago Fagnano

Poco se conoce sobre la estructura y el funcionamiento del lago Fagnano como ecosistema. De los pocos muestreos puntuales realizados en algunos años aislados (Mariazzi et al., 1987; Quirós et al., 1988; Quirós, 1990, Vigliano, inf. no publicada) también es poco lo que se puede extrapolar sobre sus características, salvo en lo que respecta a su funcionamiento como lago templado frío, de aguas transparentes, ultraoligo u oligotrófico, es decir, con muy bajos niveles de nutrientes y de biomasa algal. Algunas de sus características en verano y en primavera se presentan en la Tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3. Características limnológicas de los lagos Fagnano y Yehuín en verano (1986, Quiros et al., 1988). TP, concentración de fósforo total; TN, concentración de nitrógeno total; Chl, concentración de clorofila *a* equivalente; SDL, transparencia del agua.

	TP (mg/m ³)	TN (mg/m ³)	Chl (mg/m ³)	SDL (m)
Fagnano	2	410	0.49	11.5
Yehuín	3	522	0.35	13.8

Tabla 4. Características limnológicas de los lagos Fagnano y Yehuín en primavera (1984?, Mariazzi et al., 1987). TP, concentración de fósforo total; TN, concentración de nitrógeno total; Chl, concentración de clorofila *a*; SDL, transparencia del agua.

	TP (mg/m ³)	TN (mg/m ³)	Chl (mg/m ³)	SDL (m)
Fagnano	12	?	0.27	9.0
Yehuín	28	?	0.51	12.0

Tabla 5. Concentraciones de fósforo total (TP) y de nitrógeno total (TN) en aguas superficiales del lago Fagnano en marzo de 2002.

	TP (mg/m ³)	TN (mg/m ³)
Fagnano	7	163



5. Carga de nutrientes al Lago Fagnano

5.1. Carga de nutrientes debida al cultivo de “smolt”

Como una primera aproximación a la localización de una producción de 800 tn/año de “smolt” de salmón del Atlántico en el Lago Fagnano, en primer lugar se calcularon las cargas totales de fósforo y nitrógeno (Tabla 6). El contenido de nutrientes en el alimento a ser utilizado se supuso como el correspondiente a los valores medios generalmente utilizados por la industria para el cultivo de “smolt” en lagos (BC, 1997), 1.15% de fósforo y 7.6% de nitrógeno. Para los cálculos realizados se consideraron dos tasas de conversión del alimento por parte de los peces (FCR iguales a 1.5 y 1.0); la industria moderna usualmente reporta tasas de conversión del alimento ligeramente superiores a uno para su producción de “smolt” en lagos.

El contenido de P de los peces cosechados fue estimado como un 0.48% de P por peso húmedo de salmónido (Beveridge, 1983). La relación TN:TP para los peces en general, es ligeramente menor a 5. Según esas estimaciones, la cosecha de una tonelada de salmón equivale a una salida de 4.8 kg de fósforo y 24.0 kg de nitrógeno. Para cada una de las alternativas de producción consideradas, se calcularon las entradas netas anuales por unidad de área de sitio para el fósforo y el nitrógeno (Tabla 7). Como es de esperar, las diferencias en la tasa de conversión se ven reflejadas en las cargas por unidad de área a los sitios preseleccionados (ver Tabla 7). Por sus menores cargas de nutrientes, la alternativa 1a aparece como la ambientalmente más deseable. La misma ejemplifica como la carga de nutrientes debida al cultivo de peces es directamente proporcional a la tasa de conversión del alimento por parte de los mismos.

Tabla 6. Cargas anuales de fósforo (P) y de nitrógeno (N) en (kg/año) para una producción total anual de “smolt” de salmón del Atlántico de 800 tn.

alternativa	FCR	alimento			carga total		nutriente cosechado		carga neta		
		(kg)	%P	%N	P	N	P	N	P	N	
						(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
1a	1	800000	1.15	7.6	9200	60800	3840	19200	5360	41600	
1b	1.5	1200000	1.15	7.6	13800	91200	3840	19200	9960	72000	

•
•
•
•
•
•
•
•

Tabla 7. Cargas anuales netas de fósforo (P) y de nitrógeno (N) por unidad de área (kg/ha/año) para una producción total anual de “smolt” de salmón del Atlántico de 800 tn en el Lago Fagnano.

cultivo de “smolt”			
alternativa	FCR	P carga areal (kg/ha/año)	N carga areal (kg/ha/año)
1a	1	0.09	0.72
1b	1.5	0.17	1.24

5.2. Carga de nutrientes debida a la Ciudad de Tolhuin

Para el cálculo de las descargas de nutrientes debidas a la Ciudad de Tolhuin fueron utilizados coeficientes de descarga medio por persona para países desarrollados, incluido el uso de detergente hogareño. Esta es una grosera simplificación principalmente porque no todos los nutrientes de las descargas cloacales alcanzan el lago. Sin embargo, no se consideró la presencia de ganado en la cuenca o en las cercanías de la propia ciudad (no debiendo olvidarse que una vaca equivale aproximadamente a cuatro humanos adultos). Por otra parte, en la distribución porcentual de la carga de nutrientes al lago Fagnano, el incluir esta población dará idea del orden de magnitud en el cual influyen los humanos a la carga total al lago.

Tabla 8. Cargas anuales netas de fósforo (P) y de nitrógeno (N) por unidad de área (kg/ha/año) estimada para Tolhuin y la población humana en la cuenca.

Tolhuin	2500 hab.
kg P/pers./año	1.16
kg N/pers./año	3.94
kg P/año	2900
kg N/año	9850
carga areal al lago (kg/ha/año)	
carga P	0.05
carga N	0.17

•
•
•
•
•
•
•

5.3. *Carga de nutrientes desde la cuenca de drenaje*

Poco se conoce, además, sobre el grado de desarrollo detallado de la cuenca del lago. Esto dificulta el calcular las cargas de nutrientes de origen natural y de origen antrópico hacia el lago. Los coeficientes de exportación medios de nutrientes (en kg/ha/año) para cuencas boscosas del hemisferio norte son apreciablemente más altos que los correspondientes a los bosques patagónicos a la altura del sur de Río Negro. Las características de los suelos y las menores concentraciones en las precipitaciones podrían ser sus causas explicativas (Fernando Pedrozzo, Lino Pizzolon, com. personales). Debido a ello, dos alternativas de desarrollo de cuenca fueron analizadas (cuenca de bosque templado medio, con mayores coeficientes de exportación, y cuenca boscosa altamente prístina, con coeficientes de exportación apreciablemente bajos) (Tabla 9). Con los coeficientes de exportación y las áreas de la cuenca y el lago se estimaron las respectivas cargas superficiales al Lago Fagnano.

Tabla 9. Coeficientes de exportación y carga anual por unidad de área de fuentes naturales en la cuenca del lago Fagnano.

supuesto cuenca media de bosque templado	P	N
exportacion cuenca (kg/ha/yr)	0.236	2.86
carga anual al lago (kg/yr)	61985.6	751181.6
carga areal al lago (kg/ha/yr)	1.1	13.0
supuesto cuenca de bosque altamente prístina	P	N
exportación cuenca (kg/ha/yr)	0.019	1.38
carga anual al lago (kg/yr)	4990.4	362458.3
carga areal al lago (kg/ha/yr)	0.1	6.2

6. Contribución Relativa del Cultivo de “Smolt” a la Carga Total Estimada de Nutrientes

Antes de la instalación de cultivos de “smolt” en jaulas, y como es de esperar para una cuenca prácticamente no desarrollada, la mayor carga y proporción de los nutrientes, provienen de las entradas naturales difusas desde la cuenca de drenaje del lago (Tablas 10 y 11). Aun después de la instalación de 800 tn de “smolt” las cargas de P y N por unidad de área, permanecen relativamente bajas.

•
•
•
•
•
•
•
•

Posiblemente los coeficientes de exportación de la cuenca de drenaje del Lago Fagnano se encuentren en valores intermedios a los coeficientes de exportación extremos aquí utilizados (Reckhow et al., 1980). Es evidente que cuanto menores sean los coeficientes de exportación mayor será la importancia relativa de la cría de 800 tn de “smolt”, en cualquiera de sus dos alternativas (ver Tabla 7). Es de notar que, cualquiera sean los coeficientes de exportación de la cuenca, en la alternativa 1a el cultivo de 800 tn de “smolt” sería equivalente a la carga de nutrientes de la ciudad de Tolhuin con el doble de habitantes que la actual. Ese número de personas es posible que actualmente se alcance durante algunos meses del pico de turistas en la región.

Tabla 10. Contribuciones relativas a la carga de nutrientes por unidad de área. Cálculo basado en la media de la información disponible para sitios similares.

		(kg/ha/año)				
		fósforo	nitrógeno	%P	%N	
cuenca		1.07	12.95	82.8	90.2	
Tolhuin		0.05	0.17	3.9	1.2	
cultivo de smolt	FCR = 1.5	0.17	1.24	13.3	8.6	alt. 1b
después		1.29	14.36			
antes		1.12	13.12			

		(kg/ha/año)				
		fósforo	nitrógeno	%P	%N	
cuenca		1.07	12.95	88.2	93.6	
Tolhuin		0.05	0.17	4.1	1.2	
cultivo de smolt	FCR = 1.0	0.09	0.72	7.6	5.2	alt. 1a
después		1.21	13.84			
antes		1.12	13.12			

Tabla 11. Contribuciones relativas a la carga de nutrientes por unidad de área. Cálculo basado en el supuesto que la cuenca del lago sea altamente prístina.

		(kg/ha/año)				
		fósforo	nitrógeno	%P	%N	
cuenca		0.09	6.25	28.0	81.6	
Tolhuin		0.05	0.17	16.2	2.2	
cultivo de smolt	FCR = 1.5	0.17	1.24	55.8	16.2	alt. 1b
después		0.31	7.66			
antes		0.14	6.42			

		(kg/ha/año)				
		fósforo	nitrógeno	%P	%N	
cuenca		0.09	6.25	37.7	87.6	
Tolhuin		0.05	0.17	21.9	2.4	
cultivo de smolt	FCR = 1.0	0.09	0.72	40.5	10.1	alt. 1a
después		0.23	7.14			
antes		0.14	6.42			

Sin embargo, la respuesta de que va a pasar en el lago si se instalan 800 tn/año de cultivo de “smolt” que aún sin respuesta. A esa pregunta se pretenderá responder en el próximo numeral.

7. Estimación de Cambio del “Estado Trófico” del L. Fagnano frente a la Instalación de Cultivo de “Smolt”

La metodología utilizada es la que normalmente se aplica a nivel mundial para manejar las entradas de nutrientes, provenientes de fuentes diversas, a los lagos. Las primeras aplicaciones de este método a la cría de peces en lagos fueron realizadas a comienzos de la década de los 80 (Beveridge, 1983) y posteriormente desarrollada y mejorada (Beveridge, 1996). Bajo el supuesto de instalar 800 tn/año de “smolt” de salmón del Atlántico, aquí será aplicada al lago Fagnano. La relación entre el nitrógeno total y el fósforo total (TN:TP) para el lago Fagnano, dentro de la poca precisión de la información disponible, es alta (TN:TP > 100, Tabla 3). Ello estaría indicando que, como la mayor parte de los

lagos templado fríos, profundos, el fósforo sería el factor limitante de la producción biológica (EPA, 2000). Por lo tanto, el análisis será basado en el P como nutriente limitante de la producción biológica del lago Fagnano (Quiros, 1990).

Sólo una parte del P que entra a un lago es exportado a través de su descarga. Cuanto más tiempo permanece el agua en un lago (mayor tiempo de permanencia) mayor probabilidad existe de que el P quede retenido, en forma particulada, en los sedimentos del lago. La fracción del fósforo total (TP) que queda retenido en los sedimentos del lago se denomina el coeficiente de retención (R). Para calcular el R del lago Fagnano se utilizaron los modelos de Larsen y Mercier (1973):

$$R = 1/(1 + 0.747 (1/Tw)^{0.507})$$

y Kirchner and Dillon (1975):

$$R = 0.426 \exp(-0.271 Q/A) + 0.574 \exp(0.00949 Q/A)$$

con $A = 580 \text{ km}^2$; $Tw = 24 \text{ años}$; $Q = 730 \text{ hm}^3/\text{año}$

La estimación de fracción del P total (R) que es retenido por los sedimentos del lago Fagnano es de 0.87-0.88; muy alta debido principalmente a su bajo tiempo de residencia del agua (Tw), bajo caudal de salida (Q) y alta profundidad media. La concentración de fósforo total en el lago [P], antes y después de instalar 800 tn/año de “smolt” fue estimada con el modelo de regresión de Dillon y Rigler (1974):

$$[P] = L (1 - R) / (Z \text{ mean}/Tw)$$

a partir de la información disponible y estimada. Los resultados para los supuestos de cuenca de bosques y de cuenca de bosques altamente prístina se detallan en la Tabla 12.

•
•
•
•
•
•
•
•

Tabla 12. Carga de fósforo total antes y después de instalar 800 tn/año de cultivos de “smolt”. Cálculos basados en el modelo de Dillon y Rigler (1974). L, carga de P por unidad de superficie de lago; [P], concentración de P total en el lago.

Cálculo basado en la media de la información disponible para sitios similares

L antes	1.12	kg/ha/a#o
L después 1.5	1.29	kg/ha/a#o
L después 1.0	1.21	kg/ha/a#o
[P] antes calculada	4.3	mg/m3
[P] después calculado 1.5	5.0	mg/m3
[P] después calculado 1.0	4.7	mg/m3

Cálculo basado en el supuesto que la cuenca del lago sea altamente prístina

L antes	0.14	kg/ha/a#o
L después 1.5	0.31	kg/ha/a#o
L después 1.0	0.23	kg/ha/a#o
[P] antes calculada	0.5	mg/m3
[P] después calculado 1.5	1.2	mg/m3
[P] después calculado 1.0	0.9	mg/m3

El único valor de [P] en verano, relativamente cercano al valor medio anual, es del verano de 1986 (Quiros et al., 1988) e igual a 2 mg/m3. Este valor es intermedio a los calculados en la Tabla 12. De la Tabla 12 también se puede estimar que la instalación de 800 tn/año en el peor de los casos solo duplicaría, como promedio, la concentración de fósforo total en el lago, manteniéndolo en un estado de oligotrofia.

Otra forma de encarar el problema es fijar que tipo de lago se quiere luego de instalar una determinada actividad que descarga nutrientes y a partir de ello estimar que carga de nutriente se puede tolerar. En el caso del lago Fagnano lo aplicaremos (según Beveridge, 1984) a las tres concentraciones de TP de las cuales se dispone para el lago Fagnano (ver Tablas 3, 4 y 5). Para ello utilizaremos la siguiente expresión:

•
•
•
•
•
•
•
•



$$L_{smolt} = Z_{mean} \cdot \Delta [P] / T_w \cdot (1 - R)$$

con $\Delta [P] = [P]_{despues} - [P]_{antes}$, siendo $[P]_{antes}$ la concentración conocida, antes de la instalación, y $[P]_{despues}$ la concentración deseada, luego de la instalación. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Estimación de la carga de fósforo total deseada luego de la instalación de cultivos de “smolt”.

cálculo con [P] verano después máximo deseado

[P] verano antes	2	mg/m ³
[P] verano después máximo deseado	4	mg/m ³
delta [P]	2	mg/m ³
L _{smolt} permitido	49.9	mg/m ² /año
L _{smolt} permitido	0.50	kg/ha/año

cálculo con [P] primavera después máximo deseado

[P] primavera antes	12	mg/m ³
[P] primavera después máximo deseado	20	mg/m ³
delta [P]	8	mg/m ³
L _{smolt} permitido	199.7	mg/m ² /año
L _{smolt} permitido	2.00	kg/ha/año

En ambos casos, aceptar la duplicación de la concentración de fósforo total en el lago, conduce a cargas de fósforo “permitidas” superiores a las ocasionadas por la instalación de 800 tn de “smolt”. En otras palabras, la instalación de 800 tn de “smolt” en el lago Fagnano no llegaría a duplicar su concentración actual de fósforo total.

•
•
•
•
•
•
•
•

Tabla 14. Comparación de las cargas de fósforo total “deseadas” ocasionadas por la instalación de cultivos de “smolt” con la carga ocasionada por la instalación de 800 tn de “smolt”.

		Carga de P por “smolt” kg/ha/año
Lsmolt 800 tn	alt. 1b	0.17
Lsmolt 800 tn	alt. 1a	0.09
Lsmolt permitida para lago “deseado”	verano	0.50
Lsmolt permitida para lago “deseado”	primavera	2.00

Otra manera de visualizar los efectos de la instalación de 800 tn de “smolt” sobre la calidad de agua del lago Fagnano, es la de utilizar modelos de regresión obtenidos a partir de información de lagos patagónicos profundos (n = 37) durante el verano (Quiros, 1990) para estimar la transparencia del agua y la biomasa algal media luego de la instalación de cultivos de “smolt”. Estos modelos relacionan la concentración de fósforo total (TP, mg/m³) con la transparencia del agua (SDL, m) y la biomasa algal expresada como concentración de clorofila a equivalente (Chl, mg/m³). A saber,:

$$\begin{aligned} \text{Chl} &= 0.102 \text{ TP}^{1.20} & R^2 &= 0.75 \\ \text{SDL} &= 28.85 \text{ TP}^{-0.79} & R^2 &= 0.78 \\ \text{SDL} &= 6.44 \text{ Chl}^{-0.59} & R^2 &= 0.84 \end{aligned}$$

Para una duplicación de la concentración de fósforo total, la transparencia del agua disminuiría, en el peor de los casos, en 2 metros (Tabla 14). Este resultado, traducido a la instalación de 800 tn de “smolt” (ver Tabla 13), representa un lago Fagnano con una transparencia del agua de más de 10 m. Según este parámetro el lago Fagnano seguiría siendo un lago oligotrófico luego de la instalación de 800 tn de “smolt”. La biomasa algal aumentaría como máximo un 5% (Tabla 15). Nuevamente, según este último parámetro, el lago Fagnano seguiría siendo un lago oligotrófico luego de la instalación de 800 tn de “smolt”.

Si bien todas las evaluaciones realizadas indican que la instalación de 800 tn de “smolt” en el lago Fagnano, no provocaría grandes cambios en sus características medias, la instalación podría provocar efectos negativos en

•
•
•
•
•
•
•
•

algunos sitios específicos. La instalación debería ser objeto de un cuidadoso seguimiento por parte de los organismos de control..

Tabla 15. Estimación de la transparencia del agua en metros (SDL) y de la biomasa algal como concentración de clorofila a (Chl) luego de una duplicación en la concentración de fósforo total ([P]).

[P] verano antes	2	mg/m3
[P] verano después, máximo deseado	4	mg/m3
[Chl] antes	0.49	mg/m3
[SDL] antes	11.5	m
[Chl] después	0.54	mg/m3
[SDL] después 1	16.7	m
[SDL] después 2	9.3	m



Bibliografía

BC. 1997. The Salmon Aquaculture Review. Final Report. Environmental Assessment Office, British Columbia Province. Canada. 5 volúmenes.

Beveridge, M. 1983. *Cage and Pen Fish Farming. Carrying capacity models and environment impact*. FAO (Rome). Fish. Tech. Pap. 255, 131 p.

Beveridge, M. 1996. *Cage Aquaculture* (2nd Ed.). Fishing News Books, Blackwell Sciences Ltd., Oxford, UK, 346 p.

IFP. 1986. Perspectivas de desarrollo de cultivos marinos, XI Región, Provincia de Aysén. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 217 p.

Quirós, R., L. Luchini, G. Wicki, y E. Errazti. 1993. Evaluación e identificación de sitios aptos para el desarrollo de la acuicultura sobre la zona costera de la Isla Grande de Tierra del Fuego y sus aguas interiores. Informe Final. CFI – Provincia de Tierra del Fuego. 3 volúmenes.

Reckhow, K.H., M.N. Beaulac, and J.T. Simpson. 1980. Modeling phosphorus loading and lake response under uncertainty: A manual and compilation of export coefficients. EPA 440/5-80-011. US EPA, Washington, D.C. 214 p.