

Research Article

Efecto de reducir la frecuencia de alimentación en la supervivencia, crecimiento, conversión y conducta alimenticia en juveniles de salmón del Atlántico *Salmo salar* (Linnaeus, 1758): experiencia a nivel productivo

Héctor Flores¹ & Alex Vergara¹

¹Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte
Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

RESUMEN. En Chile, la mayoría de las empresas de cultivo de salmónes en la fase *parr* alimentan a los peces con 24 raciones/día; por otra parte, el alimento en el estómago de los peces, puede permanecer cerca de 4 a 5 h. Este trabajo evalúa en base a procedimientos y protocolos productivos, la disminución en la frecuencia de raciones de alimento y su efecto en la supervivencia, crecimiento, conversión y conducta de alimentación de los peces. Se trabajó en condiciones normales de producción comercial, con aproximadamente 1.200.000 peces de 0,17 g durante cuatro meses. Hubo dos tratamientos, el control con 24 raciones/día y el ensayo, que al inicio de la experiencia se entregó 12 raciones/día y al finalizar la experiencia se proporcionó 4 raciones/día. Se emplearon cinco estanques de 18 m³ para cada tratamiento. La disminución en la frecuencia de alimentación, no afectó la supervivencia de *Salmo salar*, se obtuvo mayor crecimiento en los peces del ensayo, con mejor conversión de alimento, se logró reducción de alimento depositado en el fondo de los estanques y se visualizó mejor apetito en los peces.

Palabras clave: ración de alimento, crecimiento, conducta alimenticia, *Salmo salar*, salmón del Atlántico, acuicultura, Chile.

Effect of reducing the feeding frequency on the survival, growth, conversion, and feeding behavior of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* (Linnaeus, 1758): an experience at the productive level

ABSTRACT. In Chile, most salmon-farming companies feed fish in the parr phase 24 rations/day. However, food can remain in fish stomachs for around four or five hours. Using productive procedures and protocols, this study evaluates less frequent food rations and how they affect the survival, growth, conversion, and feeding behavior of the fish. The study was conducted over four months under normal commercial production conditions, using approximately 1,200,000 fish of 0.17 g each. There were two treatments: the control, which received 24 rations/day, and the assay, which received 12 rations/day at the onset of the study and 4 rations/day at the end of this. Five tanks, each 18 m³, were used for each treatment. The lower feeding frequency did not affect the survival of *Salmo salar*. The fish in the assay obtained greater growth and had better food conversion rates. Less food was deposited on the bottom of the assay tanks, and the fish were observed to have better appetites.

Keywords: food ration, growth, feeding behavior, *Salmo salar*, Atlantic salmon, aquaculture, Chile.

Corresponding author: Héctor Flores (hflores@ucn.cl)

INTRODUCCIÓN

En Chile, la salmonicultura ha tenido un crecimiento sostenido durante los últimos años, demostrando su gran capacidad de desarrollo, llegando a ser uno de los principales productores y exportadores de salmón en

el mundo. El recurso más cultivado en Chile es salmón del Atlántico (*Salmo salar*) con una cosecha total de 204.013 ton el año 2009 (SERNAPESCA, 2009), posicionando al país junto a Noruega como los productores más importantes a nivel mundial, con un 78% del mercado mundial (FAO, 2010).

Para la industria del salmón, el reto actual consiste en mejorar la eficiencia en la producción, debiendo enfrentar cada vez mayores desafíos en precio, calidad y seguridad alimentaria. A raíz de esto, se ha incorporado una mayor tecnología en equipos y producción de alimentos, en normas y procedimiento en bioseguridad, además de la especialización y capacitación del personal en los centros de cultivo, situación que lleva emparejado un incremento en los costos de producción, que serán más altos en aquellas empresas con menor desarrollo tecnológico (Bjørndal, 2001). Por otra parte, la industria chilena del salmón, no utiliza una estrategia colaborativa, debido a la alta competitividad entre las distintas empresas (Fehlandt & Rodríguez, 2006), situación que no ocurre en Noruega (Tveteras, 2002).

Para que el cultivo de salmones a nivel nacional sea sustentable y rentable, es necesario mejorar en los próximos años en responsabilidad, con la cooperación y una actividad transparente por parte de las empresas y las organizaciones gubernamentales (Mohin, 2005).

Uno de los aspectos más relevantes en el cultivo de salmón, es la alimentación, que tiene un alto impacto en el costo de producción. Para minimizar estos costos, se ha introducido tecnología para distribuir el alimento, lo que ha implicado una reducción de la mano de obra directa de personal que se dedicado a esta actividad; también se ha modificado la formulación de las dietas, producto de la disminución de las capturas de recursos pesqueros orientados a la producción de harina y aceite de pescado, lo que ha obligado a investigar en la búsqueda de fuentes alternativas de proteínas y de aceites (Fernández & Briones, 2005), en harinas de origen animal y vegetal, tales como: de pluma fermentada, lombriz, habas, lupino, soya, guisantes (Carter & Hauler, 2000; Refstie *et al.*, 2000; Daroch, 2002; Krogdahl *et al.*, 2003; Opstvedt *et al.*, 2003; Glencross *et al.*, 2004, 2007; Mundheim *et al.*, 2004; Bertsch & Coello, 2005; Barrows *et al.*, 2007; Isea, 2008) y aceites de colza, linaza y palma (Gordon *et al.*, 2001, 2002; Bendiksen *et al.*, 2003).

En el caso particular de la alimentación, una mala administración de las raciones y la cantidad de alimento no consumido, provoca serios problemas ambientales (Buschmann, 2002; Buschmann & Fortt, 2005; Buschmann *et al.*, 2006), por lo tanto, una mejora en el proceso de entrega de alimento, tiene efectos en aspectos económicos y ambientales, tal como lo plantean Omholt *et al.* (2004).

En Chile no existen antecedentes publicados para *Salmo salar* que aborden aspectos de su alimentación, crecimiento y supervivencia en sistemas productivos, sin embargo, se dispone de una buena cantidad de

trabajos respecto a salubridad e impacto de la actividad productiva en el ambiente. Lo más relacionado con alimentación, son los trabajos de Robert *et al.* (2001) y Venegas *et al.* (2003), referidos a la deformación mandibular por deficiencias de fósforo y vitamina C en la dieta; Montory & Barra (2006), que reportan la presencia de éteres polibromados (PBDEs) en tejido muscular, concentración que manifiesta una fuerte correlación con lo detectado en el alimento, lo que indica que podría ser su entrada principal a los peces. Referente a los costos productivos relacionados con alimentación, se cuenta con la contribución de Leyton *et al.* (2009), sobre reemplazo de harina de pescado por harinas vegetales y su influencia en los costos.

La frecuencia de alimentación varía a medida que los peces van creciendo, a fines de los años 90, la recomendación para truchas de 2,5 cm era de 10 a 12 raciones/día, llegando a entregar 1 a 2 raciones/día en los ejemplares adultos (Billard, 1991). En la industria nacional, la mayoría de las empresas dedicadas al cultivo de *Salmo salar*, entrega 24 raciones/día durante la fase en agua dulce, incluso hay entrega de microraciones principalmente en los sistemas de recirculación.

Aumentar el número de raciones es una estrategia que pretende dar oportunidades de alimentarse a la mayoría de los peces en cultivo (Farmer *et al.*, 1983; Thomassen & Fjaera, 1996) y romper la estructura jerárquica que se puede establecer en el sistema de cultivo, sin embargo, aún en circunstancias con suficiente adición de alimento, se puede producir jerarquía entre los peces, situación que es explicada por la inhibición de los peces pequeños en presencia de los grandes (Jobling, 1983).

Por otra parte, es necesario considerar que en algunos peces, el alimento puede mantenerse en el estómago de 6 a 24 h (Sveier *et al.*, 1999), tiempo que depende del tamaño de las partículas de alimento (Storebakken *et al.*, 1998). En el caso de la industria nacional, pruebas preliminares en juveniles de 1,5 g, dan cuenta que a las 5 h de consumido el alimento, el 50% de los peces aún tiene alimento en el estómago.

Los procedimientos tradicionales en la industria respecto a la entrega de alimento, dependen del tipo de empresa y de la tecnología productiva empleada, actividad que es programada para ser efectuada cada 1 ó 2 h, debido principalmente, al gran número de peces en cada estanque y para asegurar un adecuado consumo de alimento por parte de todos los individuos en cultivo. Con este protocolo, se pretende lograr un crecimiento uniforme, evitando así una alta dispersión de tallas. Este procedimiento, en la mayoría de las ocasiones no considera la saciedad de los peces,

entregando en algunos de los eventos programados, alimento que no será consumido, mientras que en otros, se dejará de entregar aún cuando los peces presenten un mayor apetito.

La industria nacional del cultivo de salmones y truchas, siempre está enfrentada a mejorar y optimizar sus procesos productivos, uno de ellos es buscar nuevas estrategias en el manejo alimentario, principalmente cuando se trabaja con importantes cantidades de peces y volúmenes de agua que no siempre son fáciles de manejar. Para contribuir al escaso conocimiento del proceso e indicadores productivos en la industria nacional, este trabajo estudia la entrega de alimento a juveniles de salmón del Atlántico, donde se evalúa el efecto en la supervivencia, crecimiento, conversión de alimento y conducta de los peces, al disminuir gradualmente la frecuencia de alimentación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó entre marzo y julio de 2007 en una piscicultura comercial ubicada en la región de La Araucanía, bajo el protocolo y procedimientos productivos de la empresa.

Se emplearon aproximadamente un total de 1.200.000 juveniles de *Salmo salar* de igual longitud total (LT), peso total (PT) y edad, distribuidos en 10 estanques cilíndricos de 18 m³, cinco para el control y cinco para el ensayo, todos los estanques se mantuvieron en idénticas condiciones, bajo techo, con un fotoperiodo de 24 h luz, en iguales condiciones de flujo de agua y temperatura (12°C).

La cantidad diaria de alimento a entregar en los estanques control y ensayo se determinó en base al porcentaje del peso corporal, utilizando como referencia la tabla de alimentación propuesta por la empresa productora de alimentos Alitec S.A. El control consistió en alimentar bajo el régimen productivo normal de la empresa, para ello se determinó la cantidad de alimento diario a entregar, que se distribuyó en 24 raciones administradas cada 1 h.

Para el ensayo, el día (24 h) fue dividido en tres eventos de alimentación, el primero entre 01:00 y 05:00 h, donde se entregaron cinco raciones; el segundo evento entre las 11 y las 13 h, con entrega de tres raciones y el tercer evento, se realizó entre las 18:00 y 21:00 h y se entregaron cuatro raciones. El número de raciones por evento fue disminuyendo a medida que pasó el tiempo de experimentación, llegando al final de la experiencia con una entrega en el primer evento de dos raciones, en el segundo y tercer evento de una ración (Tabla 1).

Diariamente se retiró de cada estanque los peces muertos y los ejemplares con problemas, llevando un registro de la cantidad de peces retirados, que permitió determinar el porcentaje de supervivencia, %S = (Nf/Ni) 100, donde Nf corresponde número final de peces, mientras que Ni, es el número inicial.

Para determinar el crecimiento se realizaron muestreos aproximadamente cada 30 días, donde se registró el peso total (PT, g) a 100 ejemplares por estanque, usando como indicador la tasa de crecimiento (SGR; *standard growth rate*) de acuerdo a lo propuesto por Thorpe *et al.* (1982), donde SGR = [(Ln(Pf)-Ln(Pi)/tiempo) 100, donde Ln es logaritmo natural, Pf el peso final y Pi el peso inicial de los peces.

La dispersión de tallas de los peces se determinó mediante el coeficiente de variación, CV = (desviación estándar/promedio PT) 100.

Diariamente se cuantificó el alimento entregado, y se determinó la tasa de conversión biológica (FCRb, feed conversion rate biology) y económica del alimento (FCRe, feed conversion rate economic), de acuerdo a lo propuesto por Thodesen *et al.* (1999). Las formulas son: FCRb = Ae/(Bf-Bi-Bin+Bc+Bm) y FCRe = Ae/(Bf-Bi-Bin+Bc), donde Ae corresponde al alimento entregado (kg), Bf es la biomasa final (kg), Bi es la biomasa inicial (kg), Bin es la biomasa ingresada durante el cultivo (kg), Bc es la biomasa cosechada (kg) y Bm es la biomasa muerta (kg).

Para inferir el grado de apetito en los peces, se usó un criterio de observación cualitativa, relacionado con la conducta que manifestaba la mayor parte de los ejemplares; así, en el caso que la mayoría se alimentaba en superficie, a media agua, o no ingiere alimento, fue catalogado como apetito bueno, regular y bajo respectivamente.

Los estanques correspondientes al control y ensayo se limpiaban diariamente entre las 08:00 y 09:00 h AM, momento en que se registró la presencia de alimento en el fondo del estanque. Se utilizó los criterios de bajo, medio y alto cuando la cobertura del alimento no consumido era menor al 10%, entre 11 y 40% y mayor al 40%, respectivamente. Se discriminó entre alimento y heces por la forma de la partícula.

Al inicio del experimento, se evaluó estadísticamente la existencia de diferencias entre las réplicas y entre los tratamientos (ANDEVA), previa revisión de las premisas que los datos presenten normalidad y homocedasticidad de varianzas; para el crecimiento se aplicó un análisis de covarianza (ANCOVA), previo ajuste con logaritmo natural (Conover, 1980). Todos los análisis se efectuaron a un nivel de significancia de $P < 0,05$ según lo recomendado por Zar (1999).

Tabla 1. Ración de alimento entregado a juveniles de *Salmo salar*, para los grupos experimental y control.
Table 1. Food rations given to *Salmo salar*, juveniles inexperimental and control groups.

Peso total peces (g)	Ensayo			Control
	Evento 1	Evento 2	Evento 3	
	01:00-5:00	11:00-13:00	18:00-21:00	
0,0 – 1,0	5	3	4	24
1,1 – 3,0	4	3	3	24
3,1 – 4,0	3	2	3	24
4,1 – 5,0	3	2	2	24
5,1 – 6,0	2	1	1	24

RESULTADOS

Se empleó un total de 1.220.739 ejemplares de *Salmo salar*, de un peso total promedio de $0,17 \pm 0,01$ g, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los pesos de cada uno de los tratamientos ensayo ($P = 0,466$); control ($P = 0,992$), como tampoco entre las distintas réplicas.

Supervivencia

Después de 105 días de experimentación, la supervivencia en todas las replicas fue superior al 89%, mientras que la supervivencia total para el control fue de $91,9 \pm 1,91\%$ y para el ensayo de $93,6 \pm 0,83\%$ (Fig. 1). Durante toda la experiencia, no se detectó diferencias estadísticas significativas entre las replicas de cada tratamiento, ni entre los dos tratamientos durante toda la experiencia ($P = 0,097$).

Crecimiento

El incremento en peso de los peces al final de la experiencia no mostró diferencias entre las replicas (ensayo $P = 0,653$; control $P = 0,393$), lo que llevó a agrupar todos los datos y ser analizados como dos tratamientos.

El incremento en peso total fue importante en los 105 días de experimentación, alcanzando valores para el control y ensayo de $4,92 \pm 0,14$ y $5,18 \pm 0,10$ g respectivamente (Fig. 2). El ensayo representó un crecimiento superior al control en un 5,3%, sin embargo, no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos ($P = 0,011$). La tasa específica de crecimiento (SGR) promedio fue de $3,20 \pm 0,03$ % para el control y $3,25 \pm 0,02$ % para el ensayo (Fig. 2).

Después de 105 días de experimentación el coeficiente de variación (CV) en PT para el control fue de $28,45 \pm 0,36\%$ y para el ensayo de $24,81 \pm$

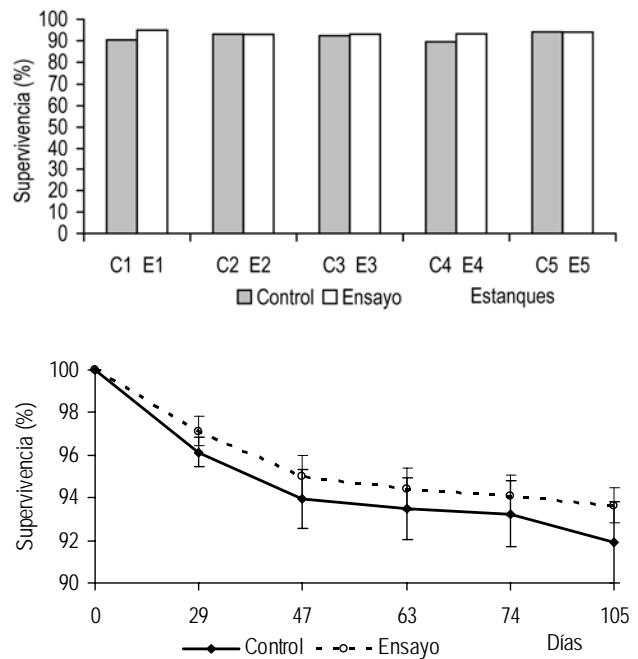


Figura 1. Supervivencia (%) de juveniles de *Salmo salar* sometidos a dos estrategias de alimentación. Izquierda: supervivencia al final del experimento para las replicas de cada tratamiento; derecha: supervivencia promedio y desviación estándar para los tratamiento control y ensayo.

Figure 1. Survival (%) of juvenile *Salmo salar* subjected to two feeding strategies. Left: survival at the end of the experiment for each treatment replicas; right: average survival and standard deviation for treatment control and assay.

0,24% (Figura 9); existiendo diferencia estadísticamente significativa entre ambos tratamientos ($P = 0,013$).

Conversión de alimento

La tasa de conversión biológica del alimento (FCRb), para el control fue de $1,05 \pm 0,05$ y para el ensayo de

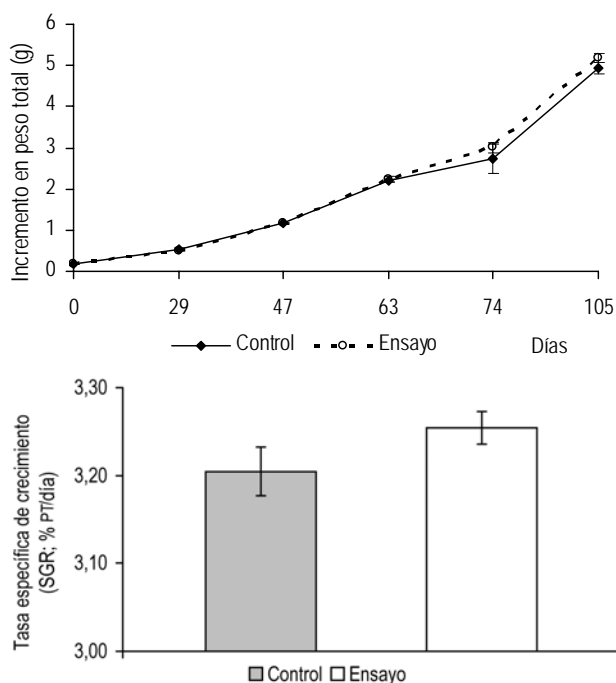


Figura 2. Crecimiento en juveniles de *Salmo salar* sometidos a dos estrategias de alimentación. Izquierda: incremento en peso total (PT, g); derecha: tasa específica de crecimiento SGR al finalizar la experiencia; % PT/día).

Figure 2. Growth in juvenile *Salmo salar* subjected to two feeding strategies. Left: total weight gain (PT, g); right: specific growth rate SGR at the end of the experience, % PT/day).

0,99 ± 0,04, mientras que la tasa de conversión económica del alimento (FCRe) fue de 1,15 ± 0,07 y para el ensayo de 1,06 ± 0,05 (Fig. 3). Ambos índices muestran la misma tendencia, sine embargo se ajusta mejor para los análisis productivos la FCRb ya que considera la mortalidad en su determinación.

Apetito de los peces

El apetito, observado diariamente en los peces, para ambos tratamientos fue distinto. Se manifestó una mejor conducta de consumo de alimento en los peces sometidos a un menor número de raciones de alimento/día (ensayo, 73% bueno) y una menor respuesta en los peces que tenían un mayor número de raciones (control, 46% bueno) (Fig. 4).

Alimento en el fondo de los estanques

El alimento que se deposita diariamente en el fondo de los estanques, producto de alimento no consumido, es mayor en los estanques en que los peces se alimentan con mayor frecuencia (control), donde en el 25% de los días, el alimento sobrante cubre más del 40% del fondo de los estanques y en un 23% de las veces cubre

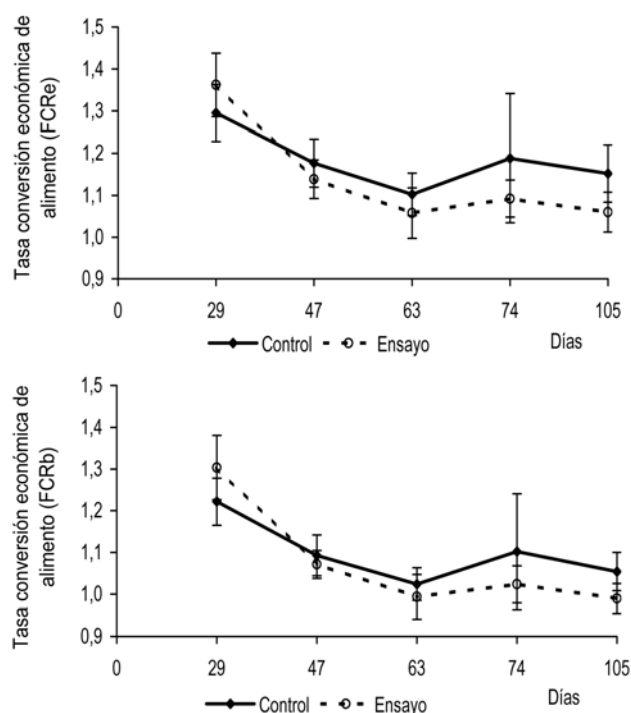


Figura 3. Conversión de alimento en juveniles de *Salmo salar* sometidos a dos estrategias de alimentación. Izquierda: tasa de conversión biológica (FCRb); derecha: tasa de conversión económica (FCRe).

Figure 3. Food conversion in juvenile *Salmo salar* subjected to two feeding strategies. Left: biological conversion rate (FCRb); right: economic conversion rate (FCRe).

entre el 11 y el 39% del fondo. En el tratamiento de menor frecuencia de alimentación, para el mismo criterio (> 40% cobertura), fue sólo de un 9% (Fig. 5). Lo que demostró la importante pérdida de alimento en el tratamiento control.

Durante los 105 días de la experiencia, se utilizaron 6.173 kg de alimento para el control y 5.658 kg para el ensayo, lo que implica un ahorro en alimento de 8,3%.

DISCUSIÓN

La supervivencia promedio fue entre 91,9 y 93,6% para el ensayo y control respectivamente, sólo una réplica (control) mostró supervivencia menor al 90%. Estos resultados son concordantes con los de la industria nacional para esta fase de cultivo y levemente mejor a lo descrito por Bjørndal (1987), resultados que permiten asegurar que una disminución en la frecuencia de alimentación, no afecta la supervivencia en juveniles de *Salmo salar*.

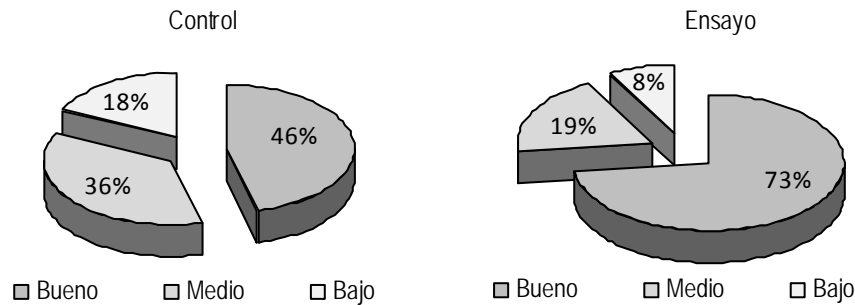


Figura 4. Apetito en juveniles de *Salmo salar* sometidos a dos estrategias de alimentación.

Figure 4. Appetite in juvenile *Salmo salar* subjected to two feeding strategies.

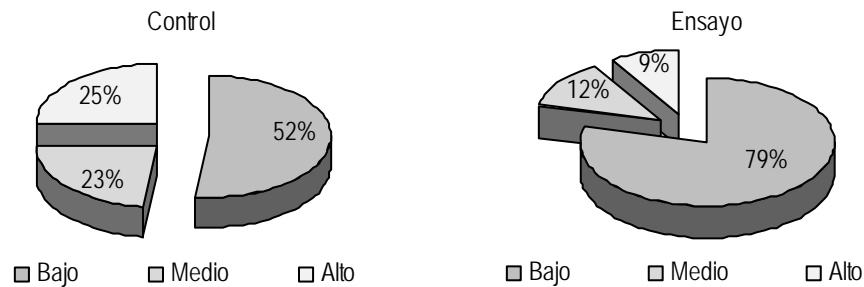


Figura 5. Alimento depositado en el fondo de los estanques de cultivo de juveniles de *Salmo salar* sometidos a dos estrategias de alimentación.

Figure 5. Food placed in the bottom of culture ponds of juvenile *Salmo salar* subjected to two feeding strategies.

El incremento en peso total para el control y ensayo tuvo aumentos de 189 y 205% respectivamente. La tasa de crecimiento específico (SGR) durante toda la experiencia fue disminuyendo en el tiempo, pero se mantuvo entre los valores considerados normales para este ciclo productivo de acuerdo a lo indicado por Berge & Storebakken (1996), quienes obtuvieron índices de 2,97 a 3,45%/día. Es importante destacar que en las cuatro primera semanas de cultivo, el ensayo fue superior en 0,5%/día a lo señalado por Maage *et al.* (1989). La tasa de crecimiento fue mayor a lo reportado por Austreng *et al.* (1987), quienes para la misma temperatura, obtuvieron valores de 2,8 a 3,0%/día. Al finalizar el experimento los peces del ensayo alcanzan la talla de traslado al lago (5 g) ocho días antes que el grupo control.

La conversión económica y biológica de alimento, desde el inicio de la experiencia comenzó a disminuir según transcurrió el experimento. El promedio general de la conversión económica fue de 1:1 resultado que es coincidente con lo indicado por Bórquez *et al.* (1996) y Fivelstad *et al.* (1999). La disminución de este índice tiene importancia debido al impacto económico y ambiental que el proceso de alimentación genera, aspectos que ya Omholt *et al.* (2004) habían indicado. Los resultados obtenidos, tanto el factor de

conversión económico como el biológico, presentan diferencias entre el ensayo y el control los cuales son atribuibles a la distinta estrategia de alimentación utilizada.

Paspatis & Boujard (1996) indican la importancia de un adecuado aprovechamiento del alimento y el costo económico y ambiental que este genera. Los registros de alimento no consumido y que se deposita en el fondo de los estanques, para el ensayo fue considerado bajo en 79% de las veces observadas y solo 52% para el control; situación que demuestra que un menor número de raciones implica una menor pérdida de alimento, depositándose menor cantidad de materia orgánica en el fondo de los estanques, lo que previene la aparición de organismos patógenos. Además, indica un mejor aprovechamiento del alimento entregado, lo que se comprueba mediante el factor de conversión de alimento que fue mayor para el ensayo.

En el ensayo, los peces pasan un mayor tiempo de ayuno entre una ración de alimento y otra, situación que estimula su apetito y que se ratifica al observar en un 73% de las veces una conducta de subir a consumir alimento. En el caso del control fue considerado un alto apetito sólo en un 46%. Metcalfe *et al.* (1995) señalan que las habilidades competitivas en los peces, son determinantes en las tasas de crecimiento en juve-

niles de primera alimentación, donde no todos los juveniles están en condiciones de ir a buscar el alimento a la superficie.

La alimentación de juveniles en su fase de agua dulce es preponderante, para preparar a los peces a que pueda ocurrir en ellos los cambios fisiológicos que determinan la transformación *parr-smolt*, variaciones en la ración diaria de alimento en el largo plazo incide en la esmoltificación producto de cambios en el crecimiento (Berril *et al.*, 2006). Situación que sugiere disminuir el alimento, sin que esta disminución signifique que los peces sientan que esta restricción tiene un impacto negativo, debido principalmente a que la entrega restringida de alimento provoca el establecimiento de jerarquía, que en la mayoría de los casos se visualiza por la presencia de aletas dorsales y pectorales dañadas (Moutou, 1998; Ytrestøyl *et al.*, 2005).

Los resultados obtenidos al disminuir el número de raciones de alimento, no solo demuestra que los peces son capaces de crecer normalmente y que la empresa puede mantener sus indicadores productivos, también se logra un ahorro en alimento (8,3%) y por otra parte, hay un beneficio ambiental al desperdiciarse una menor cantidad de alimento, aspectos que deben ser cuantificados, contribuyendo a que la industria del cultivo de salmones sea sustentable.

REFERENCIAS

- Austreng, E., T. Storebakken & T. Åsgård. 1987. Growth rate estimates for cultured Atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture*, 60: 157-160.
- Barrows, F., D.A.J. Stone & R.W. Hardy. 2007. The effects of extrusion conditions on the nutritional value of soybean meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 265: 244-252.
- Bendiksen, E.A., O.K. Berga, M. Jobling, A.M. Arnesen & K. Måsøval. 2003. Digestibility, growth and nutrient utilization of Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) in relation to temperature, feed fat content and oil source. *Aquaculture*, 224: 283-299.
- Berge, G. & T. Storebakken. 1996. Fish protein hydrolyzate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Aquaculture*, 145: 205-212.
- Berrill, K., M. Porter & N. Bromage. 2006. The effect of daily ration on growth and smoltification in 0+ and 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Aquaculture*, 257: 470-481.
- Bertsch, B. & N. Coello. 2005. A biotechnological process for treatment and recycling poultry feathers as a feed ingredient. *Biores. Technol.*, 96: 1703-708.
- Billard, R. 1991. La salmonicultura en agua dulce. In: *Acuicultura*. Ediciones. Omega, Barcelona, pp. 481-793.
- Bjørndal, T. 1987. Industrial structure and cost of production in the Norwegian Aquaculture industry. *Perspectivas de la salmonicultura en Chile*, Seminario Internacional, Fundación Chile, Santiago, 1(11): 46 pp.
- Bjørndal, T. 2001. The competitiveness of the Chilean salmon aquaculture industry. Centre for Fisheries Economics, Working Paper, N°3/01: 30 pp.
- Bórquez, A., I. Valdebenito, P. Dantagan & J. Bariles. 1996. Producción y alimentación de salmónidos cultivados en América Latina y el Caribe. FAO, Roma, 88 pp.
- Buschmann, A. 2002. Impacto ambiental de la salmonicultura en Chile: la situación de la Xª Región de Los Lagos. *Análisis de Políticas Públicas*, 16: 11 pp.
- Buschmann, A. & A. Fortt. 2005. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. *Rev. Ambiente Des.*, 21(3): 58-64.
- Buschmann, A., V.A. Riquelme, M.C. Hernández-González, D. Varela, J.E. Jiménez, L.A. Henríquez, P.A. Vergara, R. Guíñez & L. Filún. 2006. A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. *J. Mar. Sci.*, 63: 1338-1345.
- Carter, C.G. & R.C. Hauler. 2000. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*, 185: 299-311.
- Conover, W. 1980. *Practical nonparametric statistics*. John Wiley, Nueva York, 493 pp.
- Daroch, E. 2002. Sustitución parcial de la harina de pescado por harina de haba (*Vicia faba* var. *minor* (Harz) Beck) en la formulación de alimento para salmónidos. Tesis Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 106 pp.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. Fisheries and aquaculture information and Statistics Service. [<http://www.fao.org>]. Reviewed: 25 October 2010.
- Farmer, G.J., D. Ashfield & T.R. Goff. 1983. A feeding for juvenile Atlantic salmon. *Can. Manuscript Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1718: 13 pp.
- Fehlandt, A. & P. Rodríguez. 2006. La influencia de los "cluster" regionales y las redes sociales en la cooperación entre empresas: Situación de la industria del salmón. Tesis de Licenciatura en Administración, Universidad Austral de Chile, 50 pp.

- Fernández, J. & L. Briones. 2005. Estudio de la cadena productiva del salmón, a través de un análisis estratégico de costos. *Capic Rev.*, 3: 1-37.
- Fivelstad, S., A. Bergheim, H. Kløften, R. Haugen, T. Lohne & A.B. Olsen. 1999. Water flow requirements in the intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry: growth and oxygen consumption. *Aquacult. Eng.*, 20: 1-15.
- Glencross, B., C.G. Carter, N. Duijster, D.R. Evans, K. Dods, P. McCafferty, W.E. Hawkins, R. Maas & S. Sipsas. 2004. A comparison of the digestibility of a range of lupin and soybean protein products when fed to either Atlantic salmon (*Salmo salar*) or rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 237: 333-346.
- Glencross, B., M. Booth & G.L. Allan. 2007. A feed is only as good as its ingredients—a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquacult. Nutr.*, 13: 17-34.
- Gordon, J.B., J. McEvoy, D.R. Tocher, F. McGhee, P.J. Campbell & J.R. Sargent. 2001. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *J. Nutr.*, 131(5): 1535-1543.
- Gordon, J.B., R.J. Henderson, D.R. Tocher, F. McGhee, J. R. Dick, A. Porter, R.P. Smullen & J.R. Sargent. 2002. Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism. *J. Nutr.*, 132(2): 222-230.
- Isea, F. 2008. Efecto de diferentes formulaciones alimenticias a base de materias primas no convencionales de origen animal y vegetal usadas en la alimentación de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Tesis de Doctorado en Ciencias Aplicadas, Universidad de Los Andes, Venezuela, 99 pp.
- Jobling, M. 1983. Effect of feeding frequency on food intake and growth of Arctic charr. *Salvelinus alpinus* (L.). *J. Fish Biol.*, 23: 177-85.
- Krogdahl, A., A.M. Bakke-McKellep & G. Baeverfjord. 2003. Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquacult. Nutr.*, 9: 361-371.
- Leyton, P., S. Refstie, J. Árnason, G. Lehnebach & T. Åsgård. 2009. Sustainable and cost-efficient replacement of the fish meal by animal and plant protein in feeds for Atlantic Salmon *Salmo Salar*. *Aquaculture Europe 2009*, Trondheim, Norway. EAS Spe. Publ., 169: 515-516.
- Maage, A., H. Sveier & K. Julshamn. 1989. A comparison of growth rate and trace element accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry fed four different commercial diets. *Aquaculture*, 79(1-4): 267-273.
- Metcalf, N.B., A.C. Taylor & J.E. Thorpe. 1995. Metabolic rate, social status and life-history strategies in Atlantic salmon. *Anim. Behav.*, 49: 431-436.
- Mohin, T. 2005. Análisis del desarrollo sustentable en la industria del salmón en Chile. ISP Collection. Paper, 448. http://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/448.
- Montory, M. & R. Barra. 2006. Preliminary data on polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in farmed fish tissues (*Salmo salar*) and fish feed in Southern Chile. *Chemosphere*, 63(8): 1252-1260.
- Moutou, K.A., I.D. McCarthy & D.F. Houlihan. 1998. The effect of ration level and social rank on the development of fin damage in juvenile rainbow trout. *J. Fish Biol.*, 52: 756-770.
- Mundheim, H., A. Aksnes & B. Hope. 2004. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. *Aquaculture*, 237: 315-331.
- Omholt, M., J. Arve & T. Sigholt. 2004. Dynamic modelling of pellet distribution in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) cages. *Aquacult. Eng.*, 31(2004): 51-72.
- Opstvedta, J., A. Aksnes, B. Hope & I.H. Pike. 2003. Efficiency of feed utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins. *Aquaculture*, 221: 365-379.
- Paspatis, M. & T. Boujard. 1996. A comparative study of automatic feeding and self-feeding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets of different energy levels. *Aquaculture*, 145: 245-257.
- Refstie, S., Ø.J. Korsøen, T. Storebakken, G. Baeverfjord, I. Lein & A.J. Roem. 2000. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture*, 190: 49-63.
- Roberts, R.J., R.W. Hardy & S.H. Sugiura. 2001. Screamer disease in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Chile. *J. Fish Dis.*, 24: 543-549.
- Sveier, H., E. Wathne & E. Lied. 1999. Growth, feed and nutrient utilization and gastrointestinal evacuation time in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): the effect of dietary fish meal particle size and protein concentration. *Aquaculture*, 180: 265-282.
- Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA). 2009. Anuario Estadístico de Pesca. Servicio Nacional de Pesca. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Chile.

- Storebakken, T., I. Kvien, K. Shearen, B. Grisdallen-Helland & S. Helland. 1998. Estimation of gastrointestinal evacuation rate in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using inert markers and collection of faeces by sieving: evacuation of diets fish meal, soybean meal or bacterial meal. *Aquaculture*, 172: 291-299.
- Tveteras, R. 2002. Industrial agglomeration and production costs in Norwegian salmon aquaculture. *Mar. Res. Econ.*, 17: 1-22.
- Thodesen, J., B. Grisdalen-Helland, S.J. Helland & B. Gjerde. 1999. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 180: 3-4.
- Thomassen, J.M. & S.O. Fjaera. 1996. Studies of feeding frequency for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquacult. Eng.*, 15(2): 149-157.
- Thorpe, J.E., C. Talbot & C. Villarreal. 1982. Bimodality of growth and smolting in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 28: 123-132.
- Venegas, F., E. Montiel, P. Forno & M. Rojas. 2003. Histología de la deformación mandibular en salmones del sur de Chile (*Salmo salar*). *Int. J. Morphol.*, 21(3): 211-219.
- Ytrestøyl, T., G. Struksnæs, W. Koppe & B. Bjerkeng. 2005. Effects of temperature and feed intake on astaxanthin digestibility and metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Comp. Biochem. Physiol., Part B*, 142: 445-455.
- Zar, J. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 663 pp.

Received: 23 February 1011; Accepted: 5 March 2012