

UNIVERSIDAD CATOLICA DE TEMUCO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE ACUICULTURA



**“REEMPLAZO PARCIAL DEL ACEITE DE PESCADO POR ACEITE DE SOYA  
(*Glycine max*) EN DIETAS PELLETIZADAS PARA TRUCHA ARCOIRIS  
(*Oncorhynchus mykiss*). EFECTOS EN PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y  
PERFIL DE ACIDOS GRASOS”**

**IVAN EDGARDO OJEDA OJEDA**

2005

UNIVERSIDAD CATOLICA DE TEMUCO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE ACUICULTURA



**“REEMPLAZO PARCIAL DEL ACEITE DE PESCADO POR ACEITE DE SOYA  
(*Glycine max*) EN DIETAS PELLETIZADAS PARA TRUCHA ARCOIRIS  
(*Oncorhynchus mykiss*). EFECTOS EN PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y  
PERFIL DE ACIDOS GRASOS”**

Tesis de grado presentada como parte de los  
requisitos para optar al grado de Licenciado  
en Ciencias de la Acuicultura.

Iván Edgardo Ojeda Ojeda

Profesor Guía: Dr. Patricio Dantagnan D.

TEMUCO  
2005



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE ACUICULTURA**

**ACTA DE DEFENSA DE TESIS N° 007/2005**

En ceremonia presidida por la Secretaria Académica de la Escuela de Acuicultura de la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Católica de Temuco, quién actuó como Ministro de Fe, se procedió a la calificación de la Defensa de Tesis:

***“Reemplazo Parcial del Aceite de Pescado por Aceite de Soya (*Glycine max*) en Dietas Pelletizadas para Trucha Arcoiris (*O. Mykiss*). Efectos en Parámetros Productivos y Perfil de Ácidos Grasos”***

presentada por el señor **IVÁN EDGARDO OJEDA OJEDA**, alumno de la carrera de Ingeniería en Acuicultura, con Registro Académico N° 1996001903.

La Comisión de Defensa de Tesis estuvo constituida por:

Dr. Patricio Dantagnan Dantagnan	Profesor Guía, Docente de la Escuela de Acuicultura de la Universidad Católica de Temuco.
Sr. Aliro Bórquez Ramírez	Profesor Informante, Docente de la Escuela de Acuicultura de la Universidad Católica de Temuco.
Sr. Patricio Sáez Albornoz	Profesor Informante, Investigador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Católica de Temuco.
Sra. Denis Alfaro Castillo	Ministro de Fe. Docente y Secretaria Académica de la Escuela de Acuicultura de la Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco.

**CALIFICACIÓN DE LA TESIS : 6,1 (seis coma 01/00 décimas)**

**CALIFICACIÓN DEL EXAMEN : 5,9 (cinco coma 09/00 décimas)**

Temuco, septiembre 02 del 2005, 16:45 horas

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar esta etapa tan importante de mi vida quiero agradecer primero que nada a Dios por estar conmigo siempre, tomar mi mano para guiar mis pasos y sostenerme en los momentos que mas débil me sentí; Agradecer a mis papis los que con su esfuerzo, paciencia, enseñanzas y valores hicieron de mi el hombre y profesional que soy; A mi hermanita Verónica por sus consejos; Agradezco también a los profesores los que de una u otra manera ayudaron a mi formación y finalización de este proceso; A mis familiares, amigos y todas las personas que estuvieron ahí para ayudarme siempre que lo requerí.

GRACIAS A TODOS

## RESUMEN

Las fuentes de obtención de aceite de pescado son cada vez más limitadas y el continuo crecimiento de la producción acuícola dicta que los substitutos al aceite de pescado encontrados no deben comprometer la salud de los peces ni tampoco su calidad. En este estudio se investigó la factibilidad de usar aceite de soya como reemplazo del aceite de pescado en dietas para trucha arcoiris. Las dietas experimentales se ensayaron en triplicado y consistieron en: 100% aceite de pescado y 0% de aceite de soya (D0); 25% de aceite de soya y 75% de aceite de pescado (D25); 50% de aceite de soya y 50% de aceite de pescado (D50); 75% de aceite de soya y 25% de aceite de pescado (D75) por un tiempo de 8 semanas. No hubo efectos de las dietas sobre la tasa de crecimiento ni en el factor de conversión. El perfil de ácidos grasos en el músculo fue correlacionado en forma positiva con la inclusión dietética del aceite de soya de manera tal que las concentraciones de 18:2n-6, SAFA, MUFA y PUFA se elevaron con el aumento del aceite de soya en la dieta. La concentración de EPA (20:5n-3) se mantuvo constante con el aumento de los niveles de aceite de soya mientras que la concentración del DHA (22:6n-3) se incrementó a medida que la inclusión de aceite de soya en la dieta se hizo mayor. La relación EPA / DHA en el músculo, mostró que la inclusión de aceite de soya en la dieta no altera la proporción natural de este cociente. Sin embargo, hubo reducciones significativas en el cociente de n-3/n-6 PUFA en el músculo.

**Palabras claves:** Reemplazo de aceite de pescado • Trucha arcoiris • Aceite de soya • Rendimientos Productivos • Composición de ácidos grasos.

## SUMMARY

Supplies of fish oils are limited and continued growth of aquaculture production dictates that substitutes must be found that do not compromise fish health and product quality. In this study the suitability of soybean oil as a replacement for fish oil in diets of rainbow trout was investigated. Triplicate groups of rainbow trout were fed three practical-type diets and one control diet in which the added lipids was either: 100% fish oil and 0% soybean oil (D0); 25% soybean oil and 75% fish oil (D25); 50% soybean oil and 50% fish oil (D50); 75% soybean oil and 25% fish oil (D75) for 8 weeks. There were no effects of diets on growth rate or feed conversion ratio. Fatty acids compositions of muscle total lipid were correlated with dietary soybean oil inclusion such that the concentrations of 18:2n-6, SAFA, MUFA and PUFA increased with increasing dietary soybean oil. The concentration of EPA (20:5n-3) was stayed constant with increasing levels of dietary soybean oil whereas the concentration of DHA (22:6n-3) increased with increasing dietary soybean oil. The EPA/DHA relation in the muscle, showed that the inclusion of soya oil in the diet don't alter the natural proportion of this quotient. However, at levels of soybean inclusion of dietary lipid, significant reductions in muscle on the n-3/n-6 PUFA ratio occur.

**Keywords:** Fish oil replacement • Rainbow trout • soybean oil • Growth performance • Fatty acids composition.

## INDICE

		Pagina
	Resumen	I
	Summary	II
1	Introducción	1
2	Revisión Bibliográfica	3
2.1	Acuicultura en Chile	3
2.2	Nutrición de peces	4
2.3	Los ácidos grasos	4
2.3.1	Los ácidos grasos esenciales	6
2.4	Aceite de pescado: problemas de abastecimiento	7
2.5	Investigación y desarrollo de insumos alternativos al aceite de pescado en Chile y el mundo.	9
2.6	El mercado de los aceites vegetales	11
2.7	La Soya, su producción y beneficios para la salud humana	13
3	Objetivos	16
3.1	Objetivo General	16
3.2	Objetivo Especifico	16
4	Hipótesis	17
5	Materiales y Métodos	18
5.1	Ingredientes	18
5.2	Dietas	18
5.3	Condiciones Experimentales para la Evaluación de las Dietas	21
5.4	Parámetros productivos evaluados	22

5.4.1	Crecimiento	22
5.4.2	Efectividad del Alimento	23
5.5	Métodos Analíticos de composición Proximal	23
5.5.1	Humedad	23
5.5.2	Cenizas	24
5.5.3	Proteínas	24
5.5.4	Extracto etéreo	24
5.5.5	Fibra	25
5.6	Análisis de ácidos grasos	25
5.7	Análisis estadísticos	26
6	Resultados	27
6.1	Crecimiento y Parámetros Productivos	27
6.2	Composición proximal de los peces	28
6.3	Perfil de ácidos grasos	30
7	Discusión	38
8	Conclusiones	44
9	Bibliografía	46

# 1. Introducción

Los peces marinos tales como arenques, caballa y salmones, representan prácticamente la única fuente de ácidos grasos del tipo n-3 altamente insaturados (HUFA), específicamente el ácido Eicosapentanoico (EPA) (20:5n-3) y del ácido Docosahexanoico (DHA) (22:6n-3). Los beneficios para la salud humana que tiene el consumo estos ácidos grasos ha sido objeto de variados estudios (Horrocks et al, 1999; Simopoulos, 1999). Sin embargo, la captura de peces a nivel mundial actualmente ha declinado debido a la pesca excesiva y a los cambios medio ambientales, razón por la cual las crecientes demandas por productos de las pesquerías han debido ser resueltas por la acuicultura (Sargent et al, 1999).

La producción acuícola ha tenido un crecimiento superior al 10% anual desde 1984 y se espera que esta producción aumente al doble o más en la próxima década (Sargent, 1999).

Tradicionalmente, la acuicultura ha utilizado productos de las industrias pesqueras tales como la harina y el aceite de pescado. El uso de este último además, es compartido por otras industrias tales como farmacéuticas, fábricas de alimentos para animales domésticos, etc.

Sin embargo, de la producción mundial de aceite de pescado, en 1996, de las 1,4 millones de toneladas métricas, 576.000 fueron utilizadas para la producción de salmones y truchas y se estima que para el año 2010, la acuicultura usará mas del 85% del aceite de pescado disponible en el mundo dejando con ello solo un 15% para otro tipo de fines (Pike, 1996).

Mientras tanto, la reducción en la producción de aceite de pescado debido al estancamiento en industrias pesqueras y fenómenos naturales tales como El Niño

ha llevado a la investigación de las fuentes lipídicas alternativas para el uso en la producción de salmónidos.

Los alimentos comerciales para salmónidos son generalmente ricos en aceites los que constituyen entre el 25% y el 35% de la dieta en las diferentes etapas de crecimiento en agua de mar. Los lípidos contenidos en el alimento proporcionan PUFA esenciales para el crecimiento y desarrollo normal de células y tejidos (Sargent et al, 1995) además de ser una fuente importante de energía para los salmónidos (Sargent et al, 1989). Por lo tanto, cuando pensamos en un aceite vegetal como potencial sustituto del aceite de pescado, debemos considerar la disponibilidad de energía así como también el contenido de PUFA disponible.

Los alimentos para salmónidos en cultivo actualmente poseen una alta calidad y son ricos en n-3 HUFA además de poseer un alto cociente n-3/n-6 PUFA (Bell et al, 1998).

Claramente, productores y consumidores de salmón desean minimizar cualquier reducción en la calidad, en términos de salud de los peces cultivados, sus cualidades organolépticas y beneficios en la dieta humana, que pudiera presentar la sustitución de aceite de pescado por aceites vegetales (Bell et al, 2002).

## **2. Revisión bibliográfica.**

### **2.1 Acuicultura en Chile**

La acuicultura es la producción, procesamiento y venta de organismos biológicos de un sistema acuático y ha existido por varios milenios, aunque es un campo relativamente nuevo para el público en general. Las milenarias culturas de China, Japón y otras regiones del lejano Oriente han practicado la acuicultura durante siglos (Wheaton, 1993).

Desde sus modestos comienzos hasta inicios de este siglo, la industria del salmón en Chile se ha convertido en parte integral de la economía nacional. Durante el año 2003, las exportaciones de salmón y trucha representaron el 5,6% de los envíos totales de Chile al exterior y el 52% de las exportaciones pesqueras. Solo en los dos primeros meses del año 2004, las exportaciones de salmón y trucha crecieron un 21%, según informó la Asociación de la Industria del Salmón de Chile AG (Salmón Chile).

En la actualidad, Chile es el segundo gran productor mundial de salmón, superado sólo por Noruega y el primero en salmón y trucha. Este éxito es el resultado tanto de las iniciativas del gobierno como de los esfuerzos de las empresas privadas las que se caracterizan por tener cada una, producciones que van desde las 10.000 y 50.000 toneladas por año.

Se percibe además una fuerte concentración en la capacidad de producción de los principales insumos, alimentos, medicinas, balsas jaulas, entre otros lo que significa una cantidad de empleos directos de más de 20 mil personas y de 10 mil de forma indirecta (Comunicación personal con Daniel Rebolledo)

## **2.2 Nutrición de peces**

La investigación sobre nutrición de peces y crustáceos ha estado orientada principalmente hacia el conocimiento de los requerimientos nutricionales o nivel mínimo de nutrientes que deben ser suministrados en la dieta de un animal para obtener un buen crecimiento y óptima sobrevivencia (Rodríguez, 1994). Al respecto, Coutteau (1996) señala que la producción eficiente de peces radica en la elaboración de dietas formuladas para satisfacer los requerimientos nutricionales específicos para cada especie cultivada, y aunque todos los nutrientes son importantes, los requerimientos de lípidos y ácidos grasos esenciales han probado ser los más críticos y variables entre las diferentes especies. Por esto, es que en el último tiempo, se ha tendido a trabajar sobre las relaciones en las dietas como lo es la relación entre ácidos grasos n-3 y n-6, tanto en su conjunto como individualmente.

## **2.3 Los ácidos grasos.**

Los ácidos grasos, componentes básicos de los lípidos, corresponden a un grupo de ácidos orgánicos, que poseen un único grupo carboxilo (-COOH). Su fórmula básica es  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-COOH}$ . Químicamente, son ácidos orgánicos de más de seis átomos carbonos y según su cantidad de carbonos en la molécula, cambian su punto de fusión. A mayor cantidad de carbonos, aumenta su punto de fusión, y viceversa. Así mismo, la presencia de enlaces dobles en la molécula, reduce su punto de fusión.

Los ácidos grasos pueden ser clasificados de acuerdo a la cantidad de dobles enlaces presentes en su molécula. De acuerdo con esto, los ácidos grasos se clasifican en:

- Ácidos grasos saturados, en donde químicamente, todos los átomos de carbono (menos el átomo terminal) están unidos a dos átomos de hidrógeno, es decir, que están “saturados” de hidrógeno. Este tipo de grasas provienen en su mayoría del reino animal y son sólidas a temperatura ambiente. Su consumo en seres humanos está relacionado con un aumento del colesterol sanguíneo y con la aparición de enfermedades cardiovasculares.
- Ácidos grasos insaturados, en donde se presentan uno o más dobles enlaces entre los carbonos, que producen una rígida torcedura en la cadena hidrocarbonada. Dentro de esta clasificación entran los ácidos monoinsaturados y los poliinsaturados. Estos provienen en general del reino vegetal (a excepción del pescado que es muy rico en poliinsaturados) y son líquidos a la temperatura ambiente.

Tanto los ácidos grasos saturados como insaturados pueden combinarse con el glicerol para formar triacilglicerol o triglicéridos (TAG), los que sirven parcialmente como recurso metabólico de energía y comúnmente son la mayor reserva energética en salmónidos (Mayzaud et al., 1998).

Los ácidos grasos pueden ser además divididos en 2 grupos: los ácidos grasos no esenciales, como las grasas saturadas y monoinsaturadas, que el cuerpo puede sintetizar y que no necesita incorporarlas a través de la dieta, y los ácidos grasos esenciales, que no pueden ser producidos por el organismo y por lo tanto deben ser incorporados a través de la dieta.

### **2.3.1 Los ácidos grasos esenciales (AGE)**

Son ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, forman parte de las estructuras celulares básicas e intervienen en los procesos metabólicos en mamíferos.

La característica bioquímica que distingue a los AGE es el doble enlace que presentan dentro de los últimos 7 carbonos de la cadena a partir del grupo metilo terminal, ocupando la posición 3 (serie n-3 u Omega 3) o la posición 6 (serie n-6 u Omega 6).

Los n-6 se encuentran principalmente en los aceites vegetales, representados por el ácido Linoleico (C18:2n-6) y su metabolito el ácido Araquidónico (AA, C20:4n-6); los ácidos grasos de la serie n-3 son constituyentes de los aceites de pescado, encontrándose en mayor concentración los derivados del ácido Linolénico (C18:3n-3), los ácidos Eicosapentaenoico (EPA, C20:5, n-3) y Docosahexaenoico (DHA, C22:6, n-3) que no se encuentran presentes ni en los alimentos proteicos vegetales ni animales y que los peces marinos requieren para un óptimo crecimiento (Sargent et al. 1989).

Una disminución de la cantidad de ácidos grasos n-3 y n-6 puede traer consigo malformaciones y alteraciones en la calidad de las ovas y las larvas de los peces además de no presentar un atractivo nutricional para la alimentación humana.

La relevancia que tienen los ácidos grasos poliinsaturados radican en que son importantes para mantener las membranas de todas las células, para producir las prostaglandinas que regulan muchos procesos corporales, por ejemplo, la inflamación y para la coagulación de la sangre. Además, en los peces, son importantes en la formación de diversos tejidos como son el sistema nervioso central y la biogénesis de la retina; ambos tejidos son especialmente ricos en ácido Docosahexaenoico (DHA) y, al contrario de los vertebrados superiores donde el desarrollo neural ocurre casi

exclusivamente en el útero, el desarrollo neural en peces ocurre en gran parte al estado de vida libre (Mourente, 1996).

Por otra parte, los AGE son necesarios en la dieta para que las vitaminas liposolubles de los alimentos (A, D, E y K) puedan ser absorbidas y para regular el metabolismo del colesterol (<http://www.ivu.org/ave/grasos.html>).

Varios estudios realizados en las últimas décadas (Gonzalez et al, 2001; Land, 1986) han demostrado que el consumo permanente de estos ácidos grasos en cantidades adecuadas, disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares, produce un efecto inhibitorio sobre el desarrollo de ciertos tipos de cánceres, estimula las funciones inmunológicas, mejoran la fertilidad y son requeridos para un desarrollo normal del cerebro y de la visión en el feto humano.

#### **2.4 Aceite de pescado: problemas de abastecimiento**

En la actualidad, una de las materias primas que puede llegar a frenar el desarrollo de la industria salmonera nacional y extranjera, es la disponibilidad de aceite de pescado. Este, constituye uno de los componentes fundamentales en la dieta de los salmónidos.

En los últimos 10 años, la producción mundial de aceite de pescado ha ido decayendo desde los 1.2 millones de ton a 779 mil ton en 2004. Para el año 2005 se espera que la producción siga disminuyendo hasta alcanzar un valor cercano a los 712 mil ton, lo que significaría una reducción del 8,6% respecto al año anterior ([www.aqua.cl](http://www.aqua.cl)).

No existe posibilidad de aumentar estos volúmenes ya que la producción de aceite está vinculada a la extracción de recursos pesqueros y éstos, además de

estar fuertemente regulados legalmente por la cantidad a pescar en la mayoría de los países productores, se encuentran desde hace casi una década en su capacidad máxima sostenida de captura la cual asciende a los 6 millones de toneladas anuales (Comunicación personal profesor Aliro Bórquez).

Chile, uno de los principales productores de aceite de pescado, es actualmente un proveedor ciento por ciento confiable. Aún cuando las cantidades elaboradas han bajado drásticamente desde que rigen los límites máximos de captura, la calidad del aceite de pescado ha mejorado notablemente ([www.aqua.cl](http://www.aqua.cl)).

Varias proyecciones realizadas tanto por la industria salmonera, por la FAO y por investigadores científicos, coinciden que para el año 2010 el abastecimiento de aceite de pescado será crítico para el desarrollo de la acuicultura a nivel mundial ([www.fao.org](http://www.fao.org)). En Chile esta situación ya es crítica dado que la producción nacional de aceite de pescado alcanza las 130 mil toneladas y los requerimientos de la industria son de unas 211 mil toneladas anuales ([www.agroeconomico.cl](http://www.agroeconomico.cl)).

Prácticamente la totalidad de la producción de aceite de pescado es usada dentro de la industria del salmón razón por la cual este año, la industria acuícola nacional deberá importar 100 mil toneladas puesto las 100 mil que le entregan los pesqueros locales no alcanzan a cubrir su demanda. Por lo tanto, se requiere buscar - desde ya- alternativas de reemplazo de esta materia prima.

De acuerdo con el informe mensual elaborado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), el precio promedio FOB de las exportaciones de aceite de pescado, realizadas en el período enero-febrero 2005, mostró disminuciones de 11,7% en relación a lo obtenido en igual período del año anterior ([www.aqua.cl](http://www.aqua.cl)).

Si Chile quiere mantener su expectante segundo lugar a nivel mundial como productor de salmón y trucha de cultivo, con proyecciones de crecimiento del 10% anual, debe seguir el ejemplo en investigación y desarrollo de sus competidores directos, como Noruega y Escocia, los cuales desde larga data trabajan en la sustitución de materias primas, proteicas y lipídicas, que permitan disminuir las tasas de conversión a menos de 1 y promuevan un mayor crecimiento de los peces (Alarcón, 2000).

## **2.5 Investigación y desarrollo de insumos alternativos al aceite de pescado en Chile y el mundo.**

Debido principalmente a la escasez de aceite de pescado que se está dando en el mercado, desde hace un tiempo se habla de que a mediano plazo se comenzarían a utilizar aceites de vegetales en la composición de las dietas para salmones.

La diferencia entre Chile y países como Noruega, Escocia y Canadá que invierten en investigación y desarrollo está el hecho de que en los últimos trabajan con dietas que contienen hasta 30 insumos distintos, los que mezclados en diferentes proporciones aseguran un buen porcentaje de proteínas, un adecuado perfil de aminoácidos, buena digestibilidad, sabor y cantidad ideal de grasas para que el pez crezca satisfactoriamente (Aquanoticias Internacional, 1998).

Según Den Bieman (citado por Alarcón, 2000) la búsqueda de nuevas materias primas es un desafío enfocado a minimizar el impacto que generan las fluctuaciones en la disponibilidad de los recursos marinos. Se espera que a futuro sea cada vez más común que las dietas contengan lípidos y proteínas provenientes de vegetales.

La crisis de precios de la industria salmonera y el cada vez más elevado costo del aceite de pescado, ha provocado que las plantas de alimentos estén apurando la entrada en escena de las alternativas vegetales. Para ello están en una etapa de concienciar a los productores de las ventajas comparativas de utilizar aceite vegetal en ciertos porcentajes y que no tiene incidencia en la calidad y sabor del producto. Esta es la tendencia que se viene en las dietas y el gran desafío de la industria de alimentos para salmónes (Salmonicultura, 2002). Es por esto, que algunas empresas se han abocado ya desde 1996 a investigar posibilidades aplicables al sector nacional y es así como desde hace algunos años, en Chile y el mundo se vienen generando interesantes resultados sobre sustitución de aceite de pescado, por ejemplo, por aceite de soya (Caballero et al, 2001; Guillou et al, 1995), aceite de maravilla (Gunasekera et al 2002) o aceite de raps (Bell et al 2002; Guillou et al, 1995), con el fin principal de enfrentar futuros eventos de escasez de aceite de pescado.

Cualquier cambio en la calidad del producto que se presentase por la adición de aceites vegetales en las dietas de salmónidos debe ser minimizado al máximo a fin de mantener la salud de los peces así como también el buen aporte nutritivo en la dieta humana. De acuerdo con esto, Bell et al (2002) dice cualquier sustitución debiera cumplir con los siguientes criterios:

- Proporcionar la energía suficiente en forma de ácidos grasos monoinsaturados para mantener un alto crecimiento y ahorro de proteína.
- Limitar la deposición excesiva de ácido linoleico (18:2n-6).
- Maximizar la conversión de ácido linolénico (18:3n-3) a EPA (20:5n-3) y DHA (22:6n-3)

## **2.6 El mercado de los aceites vegetales**

Desde el año 2001, la industria chilena del sector ha vivido un proceso de contracción debido a que el precio de los aceites en el mercado internacional ha sufrido la disminución mas acentuada de los últimos veinte años. Esto trajo consigo que en Chile el número de empresas se halla reducido casi en un 70%.

Esta baja sin embargo, se ha ido paralizando paulatinamente debido a que el mercado internacional de los aceites ha comenzado a cambiar positivamente con alzas de precios que incluso están traspasándose parcialmente al mercado interno chileno. Este importante aumento en los precios externos cambia la tendencia de un rubro prácticamente extinto en Chile (Revista del Campo, 2001).

El aumento del precio internacional de los aceites vegetales, en conjunto con la demanda de proteínas para la alimentación animal (cerdos, aves y salmones), han motivado una reacción de la industria local, por cuanto las intenciones de siembra, dadas a conocer recientemente, muestran un incremento importante en el área del cultivo de oleaginosas ([www.agroeconomico.cl](http://www.agroeconomico.cl)).

Se estima que en el decenio próximo la producción y el consumo de aceites vegetales en el mundo, tendrán un alto crecimiento cercano casi al 5% anual, con una recuperación de los bajos precios vigentes en la actualidad. La gran importancia de Argentina y Brasil en la producción mundial de soya (y maravilla el primero), así como la de otros países con los cuales Chile tiene acuerdos comerciales bilaterales (Bolivia), fundamentan la suposición que Chile mantendrá su condición dominante de importador de aceite y proteínas vegetales (INDAP, 1999).

La producción de aceites vegetales en Latinoamérica obtenidos de materias primas cosechadas se debe en mayor parte al cultivo de tres especies principales: soya, algodón y palma aceitera. En Bolivia un 95% del total de aceites obtenidos de

especies cosechadas localmente es aceite de soya. En Ecuador el 80%, aproximadamente, del aceite producido por las cosechas locales, es aceite de palma. Este mismo aceite representa un 74% de la producción aceitera de Colombia. En los restantes países de la región, Brasil es exportador de un 30% de los aceites y grasas que produce, mientras que la producción de oleaginosas en Venezuela y Perú cubre entre 20 y 30% del consumo local. El resto es importado, principalmente aceite de soya, complementado, al menos en Venezuela, con aceite de girasol y de algodón. En Ecuador y Bolivia la producción de materia prima local cubre casi toda la demanda. En Colombia el aumento de la producción de aceite de palma está substituyendo progresivamente las importaciones, las cuales ya en 1985 representaban un 40% del total (IICA, 1987).

Dentro de América latina, los países de mayor consumo de aceites vegetales son Ecuador y Venezuela y los menores consumos de aceites vegetales los presentan Bolivia y Perú.

Chile actualmente requiere aproximadamente 180.000 toneladas de aceite vegetal para el consumo nacional y solo es capaz de producir un 10 a 15% de ese valor, es decir unas 20.000 toneladas. Las oleaginosas cultivadas para producir aceites en Chile son principalmente raps y maravilla, y hace 30 años se cultivo soya con intentos fallidos.

El raps es el cultivo más importante de oleaginosas en Chile y abastece el 10% de la necesidad nacional de aceite vegetal. En cuanto a la maravilla esta solo es utilizada en mayor proporción para exportación de semillas.

## **2.7 La Soya, su producción y beneficios para la salud humana**

La soya es una leguminosa anual que está presente en la cadena alimenticia desde hace más de 5.000 años. Por muchos años, ha sido un producto básico de la dieta asiática. Recién en el año 1800 se introdujo la soya en los Estados Unidos. En la actualidad, este mismo producto ha sido modernizado tecnológicamente de diversas formas para atraer a los consumidores interesados en la salud. ([www.solae.com](http://www.solae.com)).

El aceite de soya, representa el 18% del grano y contiene un alto porcentaje de ácidos grasos esenciales poliinsaturados (Tabla 1), y una cantidad apreciable de caroteno. Además, por su composición de ácidos grasos, el aceite de soya se considera de muy buena calidad para consumo humano, comparable a la maravilla, y muy superior al aceite de raps que se comercializa en Chile (Revista del Campo, 2001).

El mayor productor mundial de soya es Estados Unidos, país que ya en 1988 y 1989 sembraba más de 23 millones de hectáreas y producía cerca de 42 millones de toneladas, con un rendimiento medio de 18 quintales por hectárea. Actualmente la producción alcanza las 50 millones de hectáreas de las más de 76 millones existentes a nivel mundial (Hettich, 2004)

En Brasil y Argentina la soya era sólo un cultivo incipiente hace 20 años. Brasil, en 1988 y 1989 sembró 12,2 millones de hectáreas, produjo 23 millones de toneladas y alcanzó un rendimiento de 18,9 quintales por hectárea. En el mismo año, Argentina sembró 4 millones de hectáreas de soya y produjo 6,6 millones de toneladas con un rendimiento de 16,5 quintales por hectárea ([www.fao.org](http://www.fao.org)). Hoy en día, Argentina es el principal productor de soya en Latinoamérica con un 58% de exportación seguido de Brasil.

Estados Unidos, Argentina y Brasil, son exportadores de soya en grano y aceite, y generan un considerable flujo de recursos como resultado de esta actividad ([www.odepa.cl](http://www.odepa.cl)).

Chile por su parte, ha conocido dos intentos de introducir la soya en su agricultura. El primero hace unos 30 años, cuando la soya se consideraba básicamente un cultivo oleaginoso, se desconocía la importancia de su proteína y no se tenía la infraestructura industrial para procesarla. Además, el contenido de aceite de la soya de esos tiempos, alrededor de 20%, no lo hacía competitivo con la maravilla, el principal cultivo oleaginoso entonces vigente, cuyo contenido de aceite era de al menos un 45%. La segunda instancia de introducción de la soya ocurrió en la década del 70, cuando una empresa nacional se instaló con una capacidad industrial para procesar la producción de unas 25.000 hectáreas de soya.

Desafortunadamente esa empresa quebró, por razones del todo ajenas a la soya, y nuevamente el cultivo desapareció (Revista Tattersall, 1989) dejando a Chile desde entonces solo como un importador de aceite de soya.

Por ultimo, cabe señalar la razón del uso del aceite de soya es que contiene ácidos grasos que son esenciales en nuestras dietas. Estos ácidos, ricos en enlaces no saturados, deben obtenerse de los alimentos porque nuestro cuerpo es incapaz de producirlos. El singular perfil en ácidos grasos de la soya tiene importantes implicaciones para la salud. Los ácidos linoléico y ácido linolénico, son dos de las grasas que ayudan a disminuir el nivel total de colesterol en la sangre cuando se les sustituye por grasas saturadas en la dieta diaria. El ácido linoléico es un componente muy importante del tejido cerebral y de las membranas celulares y se requiere para el crecimiento y el desarrollo de los niños. Cuando, la dieta carece, de ácido linoléico, virtualmente todos los órganos son dañados. El sistema nervioso

central, los ojos y las plaquetas del torrente sanguíneo son particularmente vulnerables a la deficiencia de ácido linoléico. El ácido linoléico reduce respuestas inflamatorias y puede ser benéfico para personas con enfermedades como la artritis reumatoide.

El ácido linoléico y los n-3 por su parte protegen contra los ataques cardíacos y los infartos, además tienen un papel muy importante en la reducción de la inflamación de las articulaciones asociada con la artritis reumatoide.

El ácido linoléico protege contra enfermedades cardiovasculares. Por ejemplo, la gente que consume ácido linoléico regularmente tiene menor riesgo de sufrir ataques cardíacos e infartos que la gente con poco consumo de este ácido graso (Revista Campo Sureño, 2004).

Tabla 1: Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite de soya (Fuente: Masson et al, 1985)

		% Esteres metílicos
C14:0	Ácido Mirístico	trazas
C16:0	Ácido Palmítico	10,7
C18:0	Ácido Esteárico	3,6
C20:0	Ácido Araquídico	0,3
C22:0	Ácido Behénico	0,1
C16:1	Ácido Palmitoléico	0,2
C18:1n9c	Ácido Oléico	22
C20:1n9	Ácido Eicosenoico	0,1
C18:2n6c	Ácido Linoléico	56
C18:3n3	Ácido Linolénico	7
SAFA		14,7
MUFA		22,3
PUFA		63

## **3. Objetivos**

### **3.1 Objetivo General.**

- Evaluar el reemplazo parcial de aceite de pescado por aceite de soya en dietas pelletizadas para trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*).

### **3.2 Objetivos Específicos.**

- Evaluar el efecto del aceite de soya sobre los parámetros productivos (SGR, FC, IP, EFC).
- Evaluar el efecto del aceite de soya sobre la calidad de los ácidos grasos n-3 y n-6 en el músculo de los peces.

## 4. Hipótesis

$H_0$ = La inclusión de aceite de soya en las dietas no afecta los parámetros productivos ni el perfil de ácidos grasos en el músculo.

$H_a$ = La inclusión de aceite de soya en las dietas afecta los parámetros productivos y el perfil de ácidos grasos en el músculo.

## **5. Materiales y Métodos**

### **5.1. Ingredientes**

Para elaborar las dietas se utilizaron los siguientes ingredientes:

- Aceite de pescado facilitado por la empresa Salmo Food
- Harina de trigo blanca sin polvos de hornear marca Selecta
- Premix vitamínico y mineral facilitado por la empresa Salmo Food
- Harina de pescado tipo Prime, adquirida en empresa pesquera de la ciudad de Talcahuano
- Aceite de Soya comercial

Todas las harinas utilizadas fueron tamizadas para obtener un tamaño de partícula de 300 micras.

### **5.2. Dietas**

Los tratamientos consistieron en una dieta control y tres dietas experimentales. La dieta 1 (D25) con 75% de aceite de pescado y 25% de aceite de soya, la dieta 2 (D50) con 50% de aceite de pescado y 50% de aceite de soya, la dieta 3 (D75) con 25% de aceite de pescado y 75% de aceite de soya y por último la dieta control (D0) con un 100% de aceite de pescado y 0% de aceite de soya.

Para la fabricación de las dietas experimentales, los ingredientes secos, excepto la harina de trigo, fueron mezclados durante 30 min en una mezcladora Kitchenaid modelo K5SS. La harina de trigo fue gelatinizada mezclándola con agua

destilada sometiéndola a un proceso de hervor por 10 min. La harina gelatinizada se dejó enfriar y se mezcló con el aceite de pescado y de soya para el caso de las dietas experimentales y solo con aceite de pescado para el caso de la dieta control.

Por último, se unieron las mezclas húmedas y secas por 30 min en la mezcladora. Para la pelletización de las dietas se usó una moledora de carne RCA de 1 HP con una matriz con orificios de 3.5 mm. Los pellets húmedos fueron secados en una estufa durante 48 h a 65 °C y picados posteriormente con tijera.

En las tablas 3 y 4 se muestran respectivamente la formulación y composición proximal de las dietas; y en la tabla 5 su perfil de ácidos grasos.

Tabla 3: Formulación de las dietas experimentales.

Ingredientes (%)	DIETAS			
	D0	D25	D50	D75
Harina de pescado	50	50	50	50
Aceite de pescado	9	6.75	4.5	2.25
Aceite de Soya	0	2.25	4.5	6.75
Harina de trigo	39	39	39	39
Premix Salmofood	2	2	2	2

Tabla 4: Composición proximal de las dietas experimentales.

	DIETAS			
	D0	D25	D50	D75
M. Seca (%)	92.78	90.86	93.17	95.11
Cenizas (%MS)	10.17	10.16	10.13	10.16
E. Etéreo (%MS)	13.31	13.65	12,45	11.60
Fibra Cruda (%MS)	0.41	0.52	0.26	0.70
Proteína (%MS)	42.85	42.16	40.64	38.22
E.N.N	33.27	33.51	41.33	43.93

Tabla 5: Composición de ácidos grasos de las dietas experimentales expresados en porcentaje de área.

	DIETAS			
	D0	D25	D50	D75
% de Lipidos	10,12	11,36	9,92	9,94
C12:0 Acido Láurico	0,09	0,05	0	0
C13:0 Acido Tridecanoico	0,05	0	0	0
C14:0 Acido Mirístico	6,28	4,96	3,42	2,53
C15:0 Acido Pentadecanoico	0,81	0,64	0,48	0,41
C16:0 Acido Palmítico	20,61	19,24	17,22	16,84
C17:0 Acido Heptadecanoico	1,47	1,39	1,23	1
C18:0 Acido Esteárico	6,29	6,05	5,84	5,82
C20:0 Acido Araquídico	0,3	0,25	0,12	0,17
C21:0 Acido Henicosanoico	0,19	0	0	0,05
C23:0 Acido Tricosanoico	0,18	0	0,47	0,07
C24:0 Acido Lignocérico	0,51	0,28	3,02	0,27
C14:1 Acido Miristoléico	0,16	0,17	0,09	0,1
C15:1 Acido Pentadecenoico	0,18	0,08	0	0
C16:1 Acido Palmitoléico	5,92	4,59	3,23	2,42
C17:1 Acido Heptadecenoico	1,3	1,3	0,76	0,63
C18:1n9t Acido Elaidico	16,43	18,92	16,52	20,5
C18:1n9c Acido Oléico	1,71	0	1,43	0
C20:1n9 Acido Eicosenoico	2,86	1,35	1,46	1,17
C22:1n9 Acido Erúcico	0,41	0,19	0	0,1
C24:1n9 Acido Nervónico	0,38	0,39	1,46	0,26
C18:2n6t Acido Linoléaidico	1,22	1,07	0,77	0,45
C18:2n6c Acido Linoléico	6,35	15,82	21,38	31,76
C18:3n3 Acido Linolénico	1,2	2,12	2,67	1,77
C18:3n6 Acido g-linolénico	0,13	0,1	0,07	0,13
C20:2 Acido Eicosadienoico	0,33	0,31	0,21	0,22
C20:3n3 Acido Eicosatrienoico	0,13	0,06	0,09	0
C20:3n6 Acido Eicosatrienoico	0,07	0	0,45	0,07
C20:4n6 Acido Araquidónico	1,33	1,16	1,07	0,89
C20:5n3 Acido Eicosapentaenoico	11,15	9,25	7,11	5,19
C22:2 Acido Docosadienoico	0	0	0,7	0
C22:6n3 Acido Docosahexaenoico	11,96	10,28	8,72	7,18
SAFAs	36,79	32,86	31,8	27,16
MUFAs	29,34	26,99	24,96	25,18
PUFAs	33,86	40,16	43,23	47,67
∑ n-3	1,48	1,23	0,92	0,58
∑ n-6	30,92	29,5	29,1	27,2

### 5.3. Condiciones Experimentales para la Evaluación de las Dietas

El experimento se desarrolló durante los meses de Diciembre (2003) a Febrero de 2004 en el centro experimental piscicultura “Los Laureles” perteneciente a la Escuela de Acuicultura de la Universidad Católica de Temuco. El trabajo se realizó con 360 truchas arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) obtenidas de la misma piscicultura, con un peso inicial de  $14 \pm 2.56$  gr y una longitud estándar de  $10 \pm 0.67$  cm. Para aclimatar los peces a sus nuevas condiciones de cautiverio, éstos fueron mantenidos por 7 días en estanques de  $0.3 \text{ m}^3$  y alimentados con pellet extruido comercial. Antes de distribuir a los peces en los estanques experimentales de crecimiento, fueron mantenidos en ayuno por 48 h para pesarlos y medirlos.

Para la realización del estudio, se utilizaron 12 estanques circulares de fibra de vidrio de  $0.3\text{m}^3$  y  $0.28\text{m}^3$  útiles. El agua utilizada, proviene del río Curaco, que es la fuente de agua de la piscicultura. El agua ingresa a los estanques por gravedad con una tasa de cambio de 1/hora y una temperatura promedio de  $15^\circ\text{C}$ . Los peces fueron distribuidos al azar en grupos de 30 peces por estanque a una carga inicial promedio de  $0.42 \text{ kg/m}^3$  y a su vez, las dietas para cada estanques fueron también distribuidos al azar. Los tratamientos fueron ensayados en triplicado, la alimentación se hizo de forma manual a 1.9% peso corporal, y diariamente se controlaron los gramos de alimento entregados a los estanques.

El tiempo de duración del bioensayo fue de 8 semanas y se realizaron 3 muestreos: uno al inicio del experimento, otro a la mitad de tiempo de experimentación y al final, para con ello evitar el estrés de los peces. Para la realización de éste muestreo se utilizó una balanza electrónica marca Toledo, un

ictiometro y una solución sedante de Benzocaína (BZ-20 Veterquímica) para facilitar el manejo de los peces. Para la recuperación de los peces se utilizó un tanque de 40 l con agua fresca para luego vaciar el agua y los peces de vuelta al estanque de origen donde se finalizó la recuperación.

A la quinta semana se realizó además una limpieza de los estanques para remover así los sedimentos atrapados en el desagüe como también el musgo que se encontraba adherido a las paredes de ellos. Los estanques fueron limpiados de uno en uno. Para ello se utilizó una “quecha”, un balde de 20 l donde se puso a los peces mientras se hacía la limpieza con una escobilla. Una vez limpio, el estanque se enjuagó con agua limpia y llenado para posteriormente volver los peces a él.

#### **5.4. Parámetros Productivos Evaluados**

##### **5.4.1 Crecimiento**

Al finalizar el experimento, se valoró el crecimiento en peso y longitud estándar en cada estanque y además se evaluó el incremento en biomasa y el porcentaje de crecimiento diario a través de la ecuación de Ricker(1975).

$$\text{Incremento en Peso} = \text{Peso final} - \text{Peso inicial}$$

$$\text{SGR} = \frac{(\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial})}{t \text{ (días)}} \times 100$$

#### 5.4.2. Efectividad del Alimento

Se evaluó mediante el Factor de Conversión del Alimento (FC) que corresponde a la relación entre el alimento entregado (g) y el peso ganado (g). Para conocer el rendimiento de las dietas se determinó la Eficiencia del Factor de Conversión (EFC) que corresponde a la relación entre el peso corporal ganado (g peso húmedo) por alimento seco entregado expresado como porcentaje.

$$FC = \frac{\text{Alimento entregado (g)}}{\text{Ganancia en peso (g)}}$$
$$EFC = \frac{\text{Incremento en peso (g)}}{\text{Alimento entregado (g)}} \times 100$$

#### 5.5. Métodos Analíticos de composición Proximal

Todos los análisis fueron realizados en duplicado, para el análisis de los tejidos, dietas y, según las técnicas del método AOAC (1995).

##### 5.5.1. Humedad

La humedad de las muestras se determinó por desecación en estufa a 105°C hasta peso constante, según método AOAC (1995).

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{\text{Masa muestra seca } 105^{\circ}\text{C} \times 100}{\text{Masa inicial muestra}}$$
$$\% \text{ Humedad} = 100 - \% \text{ Materia seca}$$

### 5.5.2. Cenizas

El contenido en cenizas se determinó mediante la calcinación de la muestra en mufla a 550°C por tres horas, hasta obtener una masa constante según método AOAC (1995).

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{\text{Masa final} \times 100}{\text{Masa inicial}}$$

### 5.5.3. Proteínas

El contenido de proteínas (%N x 6.25) se determina a partir de la composición de nitrógeno total de las muestras, mediante la técnica Kjeldhal. El método consiste en la digestión de las muestras con ácido sulfúrico concentrado a 400°C a la que se adiciona un catalizador seguido de una destilación con Na(OH) al 40% en presencia de una solución indicadora con ácido bórico al 4%. Por último se realiza una titulación con HCl 0.1 N. (Referencia AOAC 1995).

$$\text{Proteína (\%)} = \frac{(\text{Valor HCl ml} - \text{Valor media blanco ml}) \times 0.1 \times 14.007 \times 6.25 \times 100}{\text{Peso de la muestra (mg)}}$$

### 5.5.4. Extracto Etéreo.

El contenido de extracto etéreo en las muestras se determinó mediante el método de extracción en caliente de grasa, con equipo Soxhlet usando éter de petróleo (40 - 60°), según método AOAC (1995).

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{\text{Masa muestra final} \times 100}{\text{Masa muestra inicial}}$$

### 5.5.5. Fibra.

El contenido de fibra según método AOAC (1995), fue determinado mediante una digestión ácida de las muestras desgrasadas con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,225N), seguida de una digestión básica con NaOH (0,313N). A continuación se secó el residuo obtenido en una estufa a 105 °C hasta peso constante, se pesó y se calcinó a 550 °C durante 30 minutos en mufla para pesar al final el residuo restante.

$$\% \text{ Fibra} = \frac{\text{Peso de la muestra seca a } 105^{\circ}\text{C} - \text{Peso de la muestra calcinada a } 550^{\circ}\text{C} \times 100}{\text{Peso de la muestra desgrasada}}$$

### 5.6. Análisis de Ácidos Grasos

Las muestras de músculo dorsal fueron maceradas hasta lograr una masa homogénea. A continuación se procedió a la extracción de los lípidos, a partir de 0.1g de muestra, utilizando como solvente cloroformo: metanol (2:1) y como antioxidante butilhidroxitolueno (BHT) 0.01%. De acuerdo a los procedimientos descritos por Folch *et al.* (1957).

La determinación del perfil de ácidos grasos del músculo se realizó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard modelo HP6890 GC System, equipado con un detector FID y una columna SP2380 (30m de largo, 0.25mm diámetro interno, 0.20 µm espesor de film), usando el Helio como gas transportador.

Los ácidos grasos fueron identificados por referencia del estándar Superco-37 (para 37 ácidos grasos) y cuantificados mediante el software HPCHEM Stations,

siendo expresaron como porcentaje de área, de acuerdo al total de los ácidos grasos identificados.

### **5.7. Análisis Estadísticos**

Los datos obtenidos para los parámetros productivos en las dietas fueron sometidos a análisis de varianza ANOVA y las diferencias entre las medias fueron comparadas a través del test de Tukey con un valor de significancia de 95% ( $P < 0.05$ ). Para el caso de los ácidos grasos, los datos de porcentaje de área fueron transformados con la raíz del arcoseno para alcanzar la homogeneidad de varianza para luego tratarlos como en el caso de los parámetros productivos. El software utilizado fue “Stadística”.

## 6. Resultados

No se registraron mortalidades durante las 8 semanas de experimentación, observándose además una buena aceptabilidad del alimento por parte de los peces lo que se traduce en el buen tamaño de éste. Las pérdidas de alimento fueron casi nulas ya que los peces tomaron todo el alimento de la columna de agua además del alimento que llegaba al fondo del estanque.

### 6.1 Crecimiento y Parámetros Productivos

La tabla 6 muestra los resultados productivos de incremento en peso, factor de conversión e índice de crecimiento específico (SGR). Al comparar las cuatro dietas se observa que la inclusión de aceite de soya no produjo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los pesos medio finales, así como tampoco en los incrementos de la biomasa final.

Tabla 6

Resultados productivos al cabo de 8 semanas de experimentación.

Parámetro/ Dieta	D0	D25	D50	D75
<b>Peso Inicial (g)</b>	14.17 ± 1.56	14.01 ± 2.56	14.18 ± 0.32	14.03 ± 2.42
<b>Peso final. (g)</b>	39.03 ± 1.40	40.17 ± 1.46	38.40 ± 1.25	39.07 ± 0.29
<b>Longitud inicial (cm)</b>	10.75 ± 0.67	10.75 ± 0.67	10.75 ± 0.67	10.75 ± 0.67
<b>Longitud final (cm)</b>	14.63 ± 0.23	14.80 ± 0.20	14.80 ± 0.36	14.80 ± 0.20
<b>Incremento peso</b>	25.03 ± 1.40	26.17 ± 1.46	24.40 ± 1.25	25.07 ± 0.29
<b>Biomasa final (kg/m3)</b>	3.90 ± 0.14	4.02 ± 0.15	3.84 ± 0.12	3.91 ± 0.03
<b>% IP</b>	178.81 ± 10.01	186.90 ± 10.41	174.29 ± 8.92	179.05 ± 2.06
<b>FC</b>	1.10 ± 0.13	1.09 ± 0.07	1.11 ± 0.01	1.09 ± 0.11
<b>EFC</b>	92.69 ± 5.19	96.89 ± 5.40	90.35 ± 4.62	92.81 ± 1.07
<b>SGR</b>	1.8 ± 0.06	1.8 ± 0.06	1.7 ± 0.06	1.8 ± 0.01

Cada valor representa el promedio de las 3 réplicas ± su desviación estándar

Además, al cabo de las 8 semanas de experimentación el crecimiento de los peces expresados como incremento en peso superaron el 170%. Junto con esto se vio también que las biomásas finales de cada uno de los estanques de experimentación no presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre ellas.

De acuerdo con los resultados expresados en la tabla 6, la efectividad de las dietas obtenida a través del factor de conversión fue muy similar en todos los tratamientos y no presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) observándose un valor mínimo de 1.09 para las dietas D25 y D75; y máximo de 1.11 para la dieta D50. La eficiencia del factor de conversión no mostró diferencias significativas ( $p>0.05$ ), el valor más bajo se encontró en la dieta D50 con un porcentaje que rodea el 90% y el más alto en la dieta D25 donde el porcentaje fue cercano al 96%.

Los valores obtenidos para la tasa de crecimiento específica (SGR) en la dieta control es semejante a la obtenida en las dietas D25 y D75 con un valor de 1.8, la dieta D50 mostró un valor de 1.7 pero esto no representa ninguna diferencia estadística ( $p>0.05$ ).

La longitud de los peces no evidenció diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos.

## **6.2 Composición proximal de los peces**

Los resultados de materia seca y cenizas no mostraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en los peces alimentados con las dietas experimentales y el control solo se observa que a medida que aumenta la inclusión de aceite de soya en

la dieta la cantidad de cenizas en el músculo disminuye pero no en forma significativa ( $p>0.05$ ).

La tabla 7 muestra la composición final de los músculos de los peces.

Tabla 7: Composición corporal de los peces al cabo de 8 semanas de experimentación expresados en porcentajes (%)

	Inicial	D0	D25	D50	D75
(%)					
Materia seca	21.12	22.77 ± 0.46	22.45 ± 0.41	22.66 ± 0.71	21.68 ± 1.39
Proteínas	68.02	71.05 ± 1.63	73.06 ± 2.00	69.18 ± 0.23	71.00 ± 0.63
E. Etéreo	11.26	9.25 ± 0.65	9.07 ± 1.58	9.97 ± 0.29	9.75 ± 0.74
Cenizas	6.49	6.01 ± 0.24	5.78 ± 0.11	5.64 ± 0.09	5.60 ± 0.33
Fibra	0.27	0.51 ± 0.19	0.94 ± 0.24	0.50 ± 0.30	0.04 ± 0.02
E.N.N	3.96	3.17 ± 1.16	1.16 ± 0.79	4.72 ± 0.41	3.62 ± 0.32

Cada valor es su promedio ± su desviación estándar (n=3 réplicas)

Al comprar el nivel de proteínas en el músculo, se ve que el mayor porcentaje se encuentra en la D25 con un porcentaje cercano al 83% y el menor es el obtenido para la D50 con un porcentaje alrededor de 79,18%. A pesar de lo anterior, los resultados de porcentaje de proteínas no presentan diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre ellos y el grupo control.

El porcentaje de fibra en el músculo mostró diferencias significativas entre la dieta D75 y las demás ( $p<0.05$ ). Por otro lado, el extracto no nitrogenado (E.N.N) presentó diferencias significativas solo para la dieta D25 ( $p<0.05$ ) en relación con el resto de las dietas.

Finalmente, se obtuvo que los resultados de extracto etéreo no presentaron diferencias estadísticas ( $p>0.05$ ) entre las dietas experimentales y el control mostrando valores que oscilaron entre los 9.07% a 9.97%.

### 6.3 Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos en base seca al final del experimento se presenta en la tabla 8

Tabla 8: Perfil de ácidos grasos del músculo en base seca al cabo de 8 semanas

	DIETAS				
	Inicial	D0	D25	D50	D75
% Lípidos base seca	59,11	41,88± 13,39	45,44 ±15,05	44,41±15,82	70,05±4,42
C14:0 Acido Mirístico	2,80	2,29 ± 0,66 <sup>a</sup>	2,18 ± 0,97 <sup>a</sup>	1,72 ± 0,65 <sup>a</sup>	2,06 ± 0,07 <sup>a</sup>
C15:0 Acido Pentadecanoico	0,16	0,33 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,33 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,26 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,01 <sup>a</sup>
C16:0 Acido Palmítico	12,29	10,26 ± 3,22 <sup>a</sup>	10,57 ± 3,52 <sup>a</sup>	9,38 ± 2,71 <sup>a</sup>	14,12 ± 0,99 <sup>a</sup>
C17:0 Acido Heptadecanoico	1,02	0,52 ± 0,17 <sup>a</sup>	0,66 ± 0,21 <sup>a</sup>	0,57 ± 0,17 <sup>a</sup>	0,64 ± 0,29 <sup>a</sup>
C18:0 Acido Esteárico	3,41	2,91 ± 0,98 <sup>a</sup>	2,93 ± 0,93 <sup>a</sup>	2,77 ± 0,93 <sup>a</sup>	4,04 ± 0,25 <sup>a</sup>
C20:0 Acido Araquídico	0,31	0,20 ± 0,07	0,22 ± 0,09	0,28 ± 0,11	0,60 ± 0,79
C22:0 Acido Behénico	0	0 ± 0,00	0,07 ± 0,07	0,09 ± 0,08	0,21 ± 0,18
C15:1 Acido Pentadecenoico	0,04	0,02 ± 0,04	0 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,05
C16:1 Acido Palmitoléico	3,92	2,50 ± 0,71	2,31 ± 1,04	1,92 ± 0,87	2,42 ± 0,19
C17:1 Acido Heptadecenoico	0,79	0,50 ± 0,13	0,47 ± 0,19	0,40 ± 0,14	0,42 ± 0,17
C18:1n9t Acido Elaidico	10,35	4,58 ± 4,18 <sup>a</sup>	6,18 ± 0,74 <sup>a</sup>	4,31 ± 3,74 <sup>a</sup>	4,13 ± 6,99 <sup>a</sup>
C18:1n9c Acido Oléico	1,78	4,71 ± 6,20 <sup>a</sup>	3,38 ± 3,75 <sup>a</sup>	5,10 ± 7,55 <sup>a</sup>	10,12 ± 8,00 <sup>a</sup>
C20:1n9 Acido Eicosenoico	0,16	0,95 ± 0,34	0,90 ± 0,46	0,80 ± 0,39	0,46 ± 0,38
C24:1n9 Acido Nervónico	1,41	0,19 ± 0,01	0,18 ± 0,07	0,23 ± 0,19	0,30 ± 0,12
C18:2n6t Acido Linoléaidico	0,54	0,31 ± 0,03	0,28 ± 0,02	0,24 ± 0,03	0,34 ± 0,04
C18:2n6c Acido Linoléico	1,84	1,71 ± 0,09 <sup>a</sup>	4,35 ± 0,98 <sup>b</sup>	6,17 ± 0,76 <sup>c</sup>	13,66 ± 0,43 <sup>d</sup>
C18:3n3 Acido Linolénico	0,48	0,34 ± 0,08	0,53 ± 0,19	0,41 ± 0,42	1,37 ± 0,53
C18:3n6 Acido g-linolénico	0,04	0,01 ± 0,01	0,03 ± 0,03	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,03
C20:2 Acido Eicosadienoico	0,09	0,05 ± 0,08	0,17 ± 0,15	0,28 ± 0,01	0,61 ± 0,05
C20:3n3 Acido Eicosatrienoico	0,06	0,11 ± 0,05	0,10 ± 0,06	0,07 ± 0,08	0,15 ± 0,12
C20:3n6 Acido Eicosatrienoico	0,19	0,05 ± 0,03	0,18 ± 0,22	0,05 ± 0,02	0,11 ± 0,01
C20:4n6 Acido Araquidónico	0,71	0,48 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,43 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,45 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,72 ± 0,05 <sup>abc</sup>
C20:5n3 Acido Eicosapentaenoico	5,79	3,12 ± 0,10	2,97 ± 0,30	2,33 ± 0,51	3,63 ± 0,15
C22:6n3 Acido Docosahexaenoico	10,13	5,70 ± 0,31	6,18 ± 1,12	6,48 ± 1,16	9,46 ± 0,37
SAFA	20,76	16,51 ± 5,19 <sup>a</sup>	16,95 ± 5,82 <sup>a</sup>	15,07 ± 4,48 <sup>a</sup>	22,00 ± 0,64 <sup>a</sup>
MUFA	18,48	13,45 ± 4,24 <sup>a</sup>	13,43 ± 4,97 <sup>a</sup>	12,79 ± 5,39 <sup>a</sup>	17,91 ± 1,95 <sup>a</sup>
PUFA	19,87	11,87 ± 0,52 <sup>bcd</sup>	15,21 ± 1,82 <sup>abd</sup>	16,53 ± 0,12 <sup>abd</sup>	30,13 ± 0,39 <sup>abc</sup>
Σn-3	16,46	9,27 ± 0,40 <sup>ad</sup>	9,78 ± 1,44 <sup>ad</sup>	9,29 ± 0,68 <sup>ad</sup>	14,62 ± 0,57 <sup>abc</sup>
Σn-6	3,32	2,55 ± 0,19 <sup>bcd</sup>	5,27 ± 0,95 <sup>abd</sup>	6,96 ± 0,77 <sup>abd</sup>	14,90 ± 0,43 <sup>abc</sup>
Σn-3/n-6	4,96	3,64 ± 0,18 <sup>bcd</sup>	1,90 ± 0,47 <sup>abd</sup>	1,35 ± 0,25 <sup>abd</sup>	0,98 ± 0,06 <sup>abd</sup>
ΣEPA/DHA	0,57	0,55 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,49 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,38 ± 0,01 <sup>a</sup>

Cada valor es el promedio de 3 réplicas ± su desviación estándar

Valores en una misma fila con superíndices diferentes muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Al comparar la cantidad de ácidos grasos saturados totales (SAFA) entre las 3 dietas experimentales D25, D50, D75 y la dieta control se observa que el mayor valor lo presenta la dieta D75 y el menor la dieta D50 con un 22% y 15.07% respectivamente lo que no representa diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ).

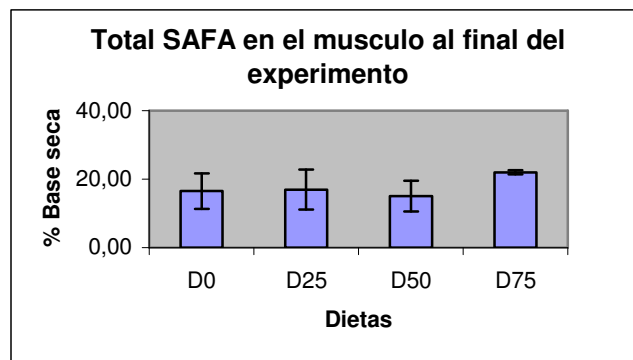


Figura 1. Contenido de ácidos grasos saturados totales (SAFA) en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

Dentro de los ácidos saturados, el ácido palmítico (C16:0) es el más abundante presentando una leve tendencia a aumentar a medida que se eleva el porcentaje de aceite de soya en las dietas, este aumento sin embargo no es estadísticamente significativo ( $p > 0,05$ ).

Para el caso de los ácidos grasos monosaturados totales (Figura 2) (MUFA) no se evidenciaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las dietas experimentales y control observándose solo que dentro de éstos, el ácido Oleico (C18:1n-9) es el más abundante, presentando una mayor porcentaje en la dieta D75 y uno menor en la dieta D25 pero sin registrar diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

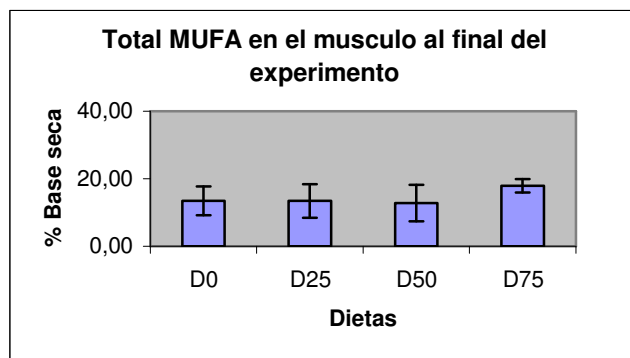


Figura 2. Contenido de ácidos grasos monosaturados totales (MUFA) en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

No hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) al comparar la cantidad de ácido Elaidico (C18:1n-9t) (configuración “trans” del ácido Oleico) presente en las dietas experimentales y el control, solo se observa un mayor porcentaje en los peces alimentados con 25% aceite de soya y un valor menor en los peces alimentados con 75% de aceite de soya.

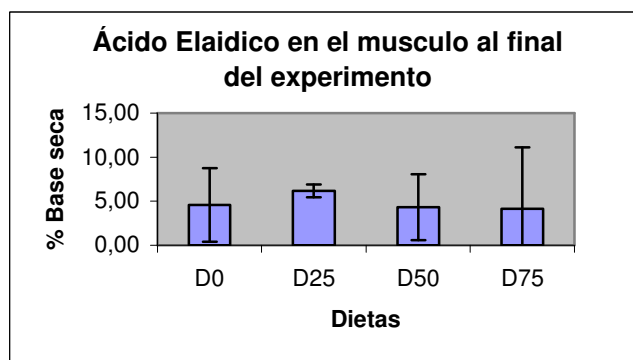


Figura 3. Contenido de ácidos elaidico en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

Con lo que respecta a los ácidos grasos poliinsaturados totales (PUFA) presentes en el músculo de los peces, el mayor porcentaje se registró en la dieta

D75 y el menor en la dieta D0 mostrando estos valores diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre las dietas y el control no así entre la dieta D25 y la dieta D50.

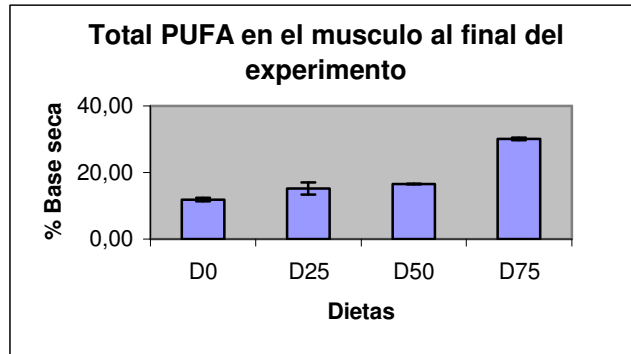


Figura 4. Contenido de ácidos grasos poliinsaturados totales (PUFA) en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

El ácido graso más abundante dentro de este grupo corresponde al ácido linoléico (18:2n-6) cuyo porcentaje mayor se encuentra en la dieta D75 con un porcentaje promedio del 13.66% y la menor cantidad es la que se observa en la dieta D0 con un porcentaje promedio del 1.71% lo cual originó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

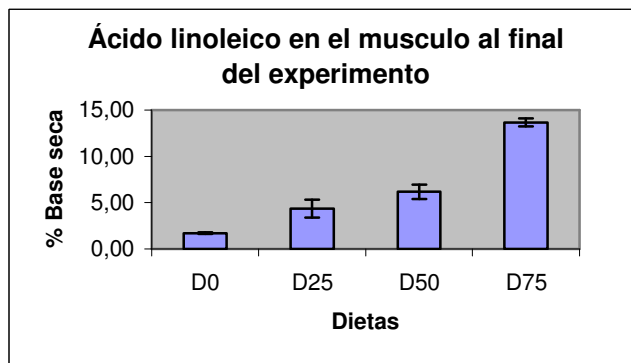


Figura 5. Contenido de ácidos Linoleico (18:2n-6) en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

Por su parte, el ácido araquidónico (C20:4n-6) presenta diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la dieta D75 y las otras dietas. Por otro lado, las dietas D25, D50 y D0 no mostraron diferencias estadísticas entre ellas ( $p > 0.05$ ).

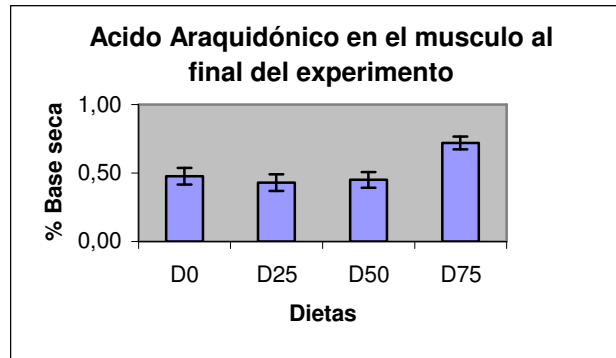


Figura 6. Contenido de ácido Araquidónico (18:2n-6) en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

El total n-6 PUFA fue significativamente diferente en todos los grupos ( $p < 0.05$ ) salvo entre las dietas D25 y D50 entre sí ( $p > 0.05$ ) con un valor menor para los peces alimentados con 0% aceite de soya y el valor más alto para los peces alimentados con 75% aceite de soya.

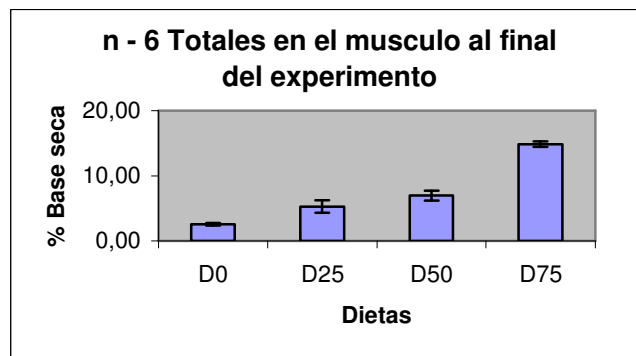


Figura 7. Contenido de n-6 PUFA en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

El total ácidos grasos de la serie n-3 fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) en la dieta D75 con respecto a las demás dietas experimentales las que no evidenciaron diferencias significativas entre ellas y el control ( $p > 0.05$ ).

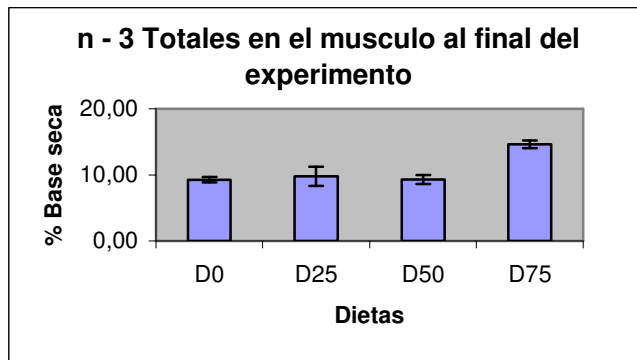


Figura 8. Contenido de n-3 PUFA en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

La cantidad de ácido eicosapentanoico (20:5n-3 EPA) presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) solo entre las dietas D50 y D75.

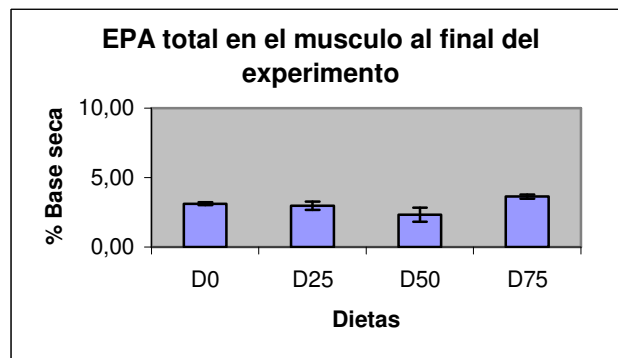


Figura 9. Contenido de EPA en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

Por otro lado, el porcentaje ácido docosahexanoico (22:6n-3 DHA) fue mayor en la dieta D75 en comparación con las otras dietas lo que hizo que se presenten en

ella diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) respecto de las otras dietas experimentales y el control.

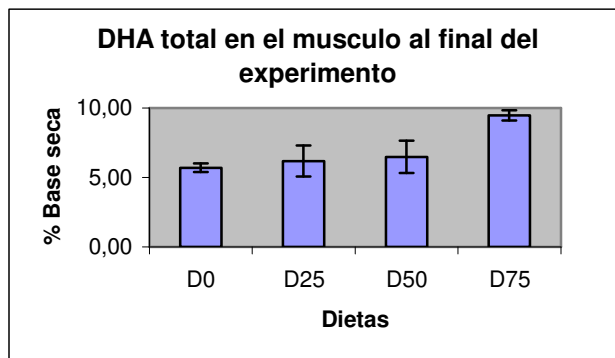


Figura 10. Contenido de DHA en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

Al analizar los ácidos grasos poliinsaturados en conjunto, se hará mención solamente a la relación n-3/n-6 así como también a la relación EPA/DHA.

El mayor valor en la relación n-3/n-6 lo muestra la dieta D0 mientras que el menor valor está representado por la dieta D75. Esto presenta una elevada diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

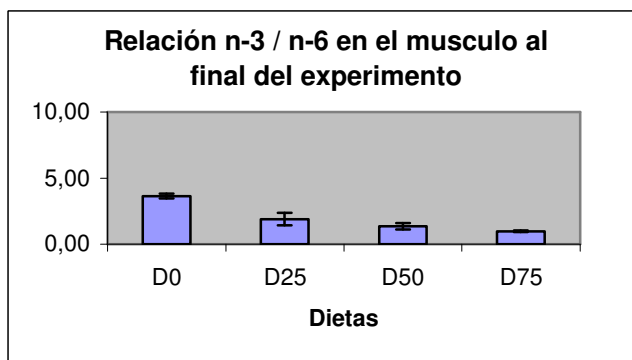


Figura 11. Relación n-3/n-6 PUFA en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

Finalmente, al hacer la comparación estadística de la relación EPA/DHA entre las dietas, se obtuvo que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las dietas observándose valores cercanos a la proporción 1:2 o 0,5.

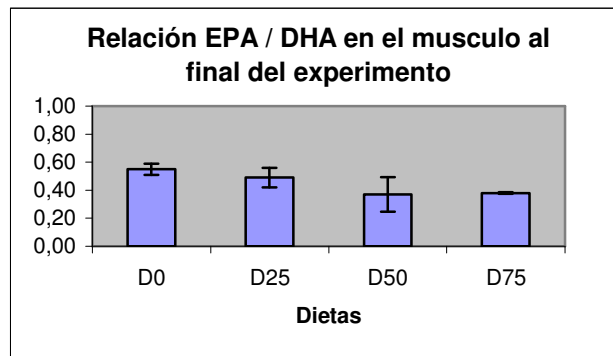


Figura 12. Relación EPA/DHA en el músculo de trucha arcoiris alimentados con cuatro dietas.

## 7. Discusión

De los resultados obtenidos, se observa que el reemplazo de aceite de pescado por aceite de soya en rangos de 25%, 50% y 75% no presenta efectos significativos en el factor de conversión e incremento en peso. La misma tendencia es compartida entre las diversas investigaciones llevadas a cabo en el uso de diferentes tipos de aceite como sustituto del aceite de pescado en la formulación de dietas para Salmónidos. (Bell et al., 2002; Caballero et al., 2002; Regost et al., 2003; Hardy et al., 1987).

La tasa de crecimiento de los peces expresada mediante la tasa de crecimiento específico (SGR), no presentó diferencias entre los tratamientos. Tocher., et al (2000) y Dosanjh., et al (1988), sostienen que el reemplazo de la fuente lipídica animal por una vegetal no afecta el crecimiento de los peces. Bell., et al (2001) al reemplazar hasta el 50% de la fuente lipídica con aceite de raps en dietas de salmón atlántico no encuentra diferencias significativas. Por otra parte, Caballero., et al (2002) en una experiencia de 64 días demostró que cambiar la fuente lipídica animal por una vegetal hasta en un 50% no produce efectos adversos en el crecimiento de trucha arcoiris. Esto, se debe a la capacidad que la trucha arcoiris posee de adaptarse a las dietas que contienen proteínas vegetales dentro del primer mes de alimentación (Refstie et al, 1997 citado por Serrano, 2004).

El valor del factor de conversión del alimento (FC) está estrechamente relacionado con la digestibilidad y utilización metabólica de las dietas (Morales et al., 1994). Caballero et al (2001) señala que un valor elevado en el FC sería producto de una baja digestibilidad del alimento así como también de un pobre aporte de lípidos por parte de la dieta. Los resultados del FC cercanos a 1 en este estudio

reflejarían una buena digestibilidad y aporte de lípidos, estos últimos, si bien están por debajo del 16% mínimo requerido para trucha arcoiris, fueron suficientes para mantener un FC bajo.

Caballero et al (2002), sostiene además que el reemplazo parcial de la fuente lipídica animal por una vegetal como soya, raps, palma u oliva, no causa efectos en la tasa de crecimiento de los peces pero sí, disminuye el factor de conversión. Torstensen., et al (2000) y Bell., et al (2002) por su parte, usando aceites de palma y maravilla mezclados con aceite de capelín, obtuvieron un factor de conversión que fluctuó entre el 0,85 y 0,9 respectivamente. Esto, hace suponer una buena digestibilidad de los lípidos de origen vegetal en los salmónidos y un buen aporte de energía para ellos.

En términos generales, los índices productivos obtenidos por los peces alimentados con aceite de soya, independientes de su nivel de inclusión, son similares a los observados en la dieta control.

La sustitución de lípidos animales por lípidos vegetales como el aceite de soya en las dietas no produjo diferencias en el análisis proximal de los peces. Estos mismos efectos son observados en otros trabajos realizados en trucha arcoiris (Yu et al., 1977; Reinitz and Yu, 1981; Boggio et al., 1985), salmón del atlántico (Hardy et al., 1987) y juveniles de salmón del pacifico (Mugrdictchian et al., 1981).

Las cantidades de proteína aportadas por la dieta fueron las necesarias para asegurar un buen crecimiento. Blanco (1995) señala que para conseguir un crecimiento óptimo en trucha arcoiris, las dietas deben contener proteínas del orden del 35-50%. Las variaciones observadas en las concentraciones de proteínas para la dieta D50 y D75, se deben a que en la dieta, el valor de proteína bruta fue levemente menor no mermando con esto el buen crecimiento de los peces.

El contenido de cenizas en el músculo no presentó diferencias significativas y la disminución de ellas a medida que aumenta el nivel de inclusión del aceite de soya es también observada por Bell, et al (2002) usando aceite de raps y Hardy, et al (1987) con aceite de soya mezclado con aceite de arenque y menhaden en dietas de salmón atlántico. Esta disminución en el contenido de cenizas, estaría relacionada con el crecimiento experimentado durante la etapa juvenil. El cual es caracterizado por una predisposición de la masa muscular a incrementarse de manera más rápida que la masa ósea, ocasionando una disminución en las concentraciones de calcio y fósforo (Shearer, 1994), componentes minerales de las cenizas. Por otra parte, la concentración de fósforo en el pez puede ser afectada por la existencia de insumos vegetales en la dieta. Bergheim et al (1995), al utilizar dietas con un 58% de soya, ha reportado una disminución en el contenido de fósforo en los peces de 12.8 a 8.2 g kg<sup>-1</sup>, lo que igualmente disminuiría el contenido de cenizas.

La composición de ácidos grasos en el músculo de los peces esta en directa relación con el perfil de ácidos grasos contenidos en las dietas. Los cambios en la composición del tejido del músculo ocurren entre 4 a 6 semanas después de iniciada la alimentación (Guillou et al., 1995). Esto concuerda plenamente con los resultados obtenidos en este estudio (ver tabla 8) y es además es corroborado por observaciones realizadas anteriormente en distintas especies de salmónidos (Watanabe, 1982; Bell et al., 1986; Guillou et al., 1995; Bell et al., 2001; Campbell et al., 2001; Caballero et al., 2002).

La cantidad de ácidos grasos saturados SAFA presentes en el músculo tendió a elevarse levemente en la dieta D75, contrario a lo que se hubiese esperado ya que al incrementar la inclusión de aceites de origen vegetal, decrece el

porcentaje de SAFA debido a la deplección del ácido palmítico (Gómez et al, 1993), principal ácido graso saturado componente del músculo de trucha arcoiris en cultivo (Sánchez et al., 1992). Esto último se avala con las investigaciones de Bell et al. (2002) usando aceite crudo de palma, aceite de raps y aceite de soya en dietas de salmón atlántico (*Salmo salar*).

Los altos índices de crecimiento en los salmones de cultivo son debidos al uso de dietas de alta de energía, ricas en MUFA, principalmente el ácido oleico (Bell et al., 2001). Los niveles de MUFA se ven afectados al utilizar ingredientes vegetales en el alimento ya que incitan a la acumulación del 18:1n-9 en el músculo (Gómez et al., 1993; Guillou et al., 1995; Bell et al., 2001; Campbell et al., 2001; Caballero et al., 2002), debido a que los salmónidos son incapaces de desaturar el 18:1n-9 en presencia de 18:3n-3 o 18:2n-6 dietario (Montero et al., 2001).

Otro de los efectos provocados por la inclusión de aceites vegetales es que a medida que la cantidad de aceite de soya en las dietas se hace mayor, los niveles en las familias de ácidos grasos n-3 y n-6 en el músculo se acrecientan. El mayor aumento, sin embargo, se experimenta en los ácidos grasos de la serie n-6 debido por un lado a la gran cantidad de 18:2n-6 presente en el aceite de soya y por otro a la acción enzimática de la  $\Delta 6$  desaturasa por la cual compiten como sustrato tanto el 18:2n-6 como el 18:3n-3 (Storebakken et al., 2000) de manera que al existir un alto contenido de 18:2n-6 en la dieta, puede inhibir el metabolismo de 18:3n-3 provocando una baja actividad de desaturación para la serie n-3 y un aumento en los n-6 PUFA totales en el músculo (Serrano, 2004). Sin embargo, los altos niveles de n-3 presentes en el músculo a pesar de la inclusión del aceite de soya podrían deberse a la deposición y retención selectiva de los ácidos grasos de la familia n-3

cuya concentración es siempre más alta que la entregada en la dieta (Bell et al., 2001).

Las variaciones en los niveles de 20:4n-6 presentes en el músculo se deben a la capacidad que tienen los salmónidos de convertir a través de una vía enzimática el ácido linoleico (18:2n-6) a ácido araquidónico (20:4n-6) (Guillou et al., 1995). Además, la incorporación de ácido linoleico en la dieta a través del aceite de soya se traduce en una elevación de las concentraciones de los ácidos araquidónico (20:4n-6), docosapentaenoico (22:5n-6) y docosatrienoico (20:3n-9), en el organismo de la trucha (Steffens, 1987).

En general, reemplazar aceite de pescado por aceite vegetal ha resultado en una baja de los ácidos grasos de cadena larga n-3, EPA y DHA, y altos niveles de ácidos grasos de 18 carbonos, ácido oleico, ácido linoleico, ácido linolénico en los tejidos de varias especies de salmónidos como la trucha (Boggio et al., 1985; Greene and Selivonchick, 1990), salmón del atlántico (Hardy et al., 1987; Polvi and Ackman, 1992; Bell et al., 1993), trucha café (Arzel et al., 1994) y brook charr (Guillou et al., 1995).

Los valores registrados para EPA y DHA muestran que este último se encuentra en una proporción de casi el doble en comparación al EPA o sea muy cercanos a la relación 1:2. Esto, de acuerdo con Gómez et al., (1993), y Bell et al., (2001) sería el resultado de una acumulación selectiva del DHA en el músculo, aunque exista una reducción de este ácido graso en la dieta, debido a una mayor actividad de desaturación en los hepatocitos de salmonídeos alimentados con aceites vegetales (Tocher et al., 2001). Dentro del mismo análisis, Bromage & Roberts (1995) señalan que en salmón y bacalao silvestre la proporción EPA / DHA

es aproximadamente de 1:2. Por lo tanto, la alimentación con aceite de soya estaría manteniendo una característica natural de los peces.

Por otra parte, muchos peces de agua fría incluyendo los salmónidos pueden convertir ácido linolénico (18:3n-3) a EPA (20:5n-3) y luego a DHA (22:6n-3) (Castell et al., 1972; Sargent et al., 1995; Buzzy et al., 1997); por la misma vía enzimática de desaturación y elongación que pueden convertir, como se señaló anteriormente, ácido linoleico (18:2n-6) a ácido araquidónico (20:4n-6) (Guillou et al., 1995).

Tocher et al (2001) descubre que en trucha café y salmones alimentados con una dieta que contenga aceite vegetal aumentan los niveles de 18:2n-6, el total de n-6 PUFA, 18:3n-3, 18:4n-3, 20:3n-3 y 20:4n-3 pero disminuyen los niveles de 22:6n-3 y la relación n-3/n-6 presente en el músculo.

La disminución y alteración en la relación n-3/n-6 se explica tanto por un incremento en la concentración de 18:2n-6 (Campbell *et al.*, 2001) proveniente del aceite de soya como al mismo tiempo por un aumento en menor cantidad de los ácidos grasos de la serie n-3. Además, el reemplazo de aceite de pescado por aceite de soya incrementa el porcentaje de ácidos grasos dienos y n-6 sobre todo debido a los crecientes niveles de 18:2n-6 en los tejidos de la trucha arcoiris (Hardy et al, 1987). Otra de las causas atribuibles al descenso o alteración de esta relación n-3/n-6 es la temperatura del agua de cultivo. La temperatura del agua esta en directa relación con los valores de la proporción n-3/n-6, por lo tanto, si la temperatura del agua disminuye, la proporción n-3/n-6 disminuirá y viceversa (Castell, 1979). Cabe señalar por último que este desequilibrio en los ácidos grasos dietarios, afectaría de forma negativa la acumulación de grasas en el hígado (Robaina, 1998).

## 8. Conclusiones

1. El reemplazo parcial de aceite de pescado por aceite de soya (*Glycine max*) en dietas pelletizadas para trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) no afecta los rendimientos productivos en los peces.
2. El perfil de ácidos grasos presentes en el músculo de los peces depende de forma directa de los ácidos grasos contenidos en la dieta.
3. La incorporación parcial de aceite de soya en las dietas no afecta el porcentaje del total de ácidos saturados (SAFA) en el músculo de trucha arcoiris.
4. La cantidad de ácidos grasos monoinsaturados totales (MUFA) presentes en el músculo de trucha arcoiris no es afectado por la inclusión del aceite de soya.
5. Las cantidades totales de ácidos poliinsaturados de la serie n-3 y n-6 en el músculo de trucha arcoiris son afectadas por la inclusión de aceite de soya.
6. La relación n-3/n-6 se hace menor en el músculo a medida que aumenta la inclusión de aceite de soya.

7. La relación EPA/DHA en el músculo de trucha arcoiris alimentados con aceite de soya mantuvo niveles similares a los observados en el medio natural.
8. Las concentraciones de ácido docosahexaenoico (DHA) en el músculo aumentan a medida que la inclusión de aceite de soya es mayor.
9. El ácido Araquidónico en el músculo aumenta debido a la inclusión de 18:2n-6 presente en el aceite de soya.

## 9. Bibliografía

- Alarcón, P. 2000. Reemplazo parcial de la harina de pescado por lupino blanco (*Lupinus albus*) en dietas para salmón del atlántico (*Salmo salar*) cultivado en agua dulce: efecto del tratamiento aplicado al lupino. Tesis de grado Universidad Católica de Temuco. Chile. 76 pp.
- Aquanoticias Internacional. 1998. En busca del equilibrio perfecto, nuevas formulaciones en dietas para salmón. 10 (43): 6-14.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemist. 16th Edition. AOAC: Washington, DC. 1018 pp.
- Arzel, J., Lopez, F.X.M., Metailler, R. et al., 1994. Effect of dietary lipid on growth performance and body composition of brown trout (*Salmo trutta*) reared in seawater. *Aquaculture* 123, 361-375.
- Bell, M.; Henderson, R. and Sargent, J. 1986. The Role of polyunsaturated fatty acids infish. *Comparative Biochemistry and Physiology* 83B (4): 711-719.
- Bell, J.G., Dick, J.R., Sargent, J.R., 1993. Effects of diets rich in linoleic or alpha - linolenic acid on phospholipid fatty acid composition and eicosanoid production in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Lipids* 28, 819-826.
- Bell, J. G., McEvoy, J., Webster, J. L., McGhee, F., Millar, R. M. & Sargent, J. R. 1998. Flesh lipid and carotenoid composition of Scottish farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Agric. Food Chem.* 46:119-127.
- Bell, J Gordon; McEvoy, John; Tocher, Douglas; McGhee, Fiona; Campbell, Patrick and Sargent, John. 2001. Replacement of fish oil with rapessed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) Affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *Journal of nutrition* 131: 1535 – 1543.
- Bell, J Gordon; Henderson, R James Tocher, Douglas R McGhee, Fiona et al. 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. *American Institute of Nutrition*. 8 pp.
- Bergheim, A., Sveier, H. 1995. Replacement of fish meal in salmonid diets by soya meal reduces phosphorus excretion. *Aquaculture* 3: 265 – 268.
- Blanco, C.1995. La trucha cría industrial. Mundi-Prensa. España. 503 pp.
- Bromage, N. & Roberts, R. 1995. Broodstock Management and Egg and Larval Quality. Ed. Blackwell Science Ltd. 424 pp.

- Boogio, S. M., Hardy, R.W., Babbit, J.K., Brannon, E.L., 1985. The influence of dietary lipid source and alpha-tocopheryl acetate level on product quality rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 51, 13-24.
- Buzzi M., Henderson R. J., Sargent J. R. 1997. Biosynthesis of docosahexaenoic acid proceeds via 24-carbon intermediates. *Comp. Biochem. Physiol.* 116B:263-267.
- Caballero, M.J., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., and Izquierdo M.S. 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture (Article in press)*
- Campbell, P., Smullen, R. and Hillestad, M. 2001. GIFAS 2000 alternative raw materials (Sunflower and Rapeseed meal). *Biomar Report N° 2208*. 18 pp.
- Castell J. D., Lee D. J., Sinnhuber R. O. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout: lipid metabolism and fatty acid composition. *J. Nutr.* 1972;102:93-99.
- Castell J. D., 1979. Review of lipid requirements of finfish. En: J.E. Halver and K Tiews (Editors), *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Hamburg, 20-23 June 1978, Vol. I. Heenemann, Berlin, pp. 59-84.
- Coutteau, P. 1996. Determination of fatty acid requirements during weaning and first on growing of marine fish using a standard diet. *Proceedings of a workshop on Fish and Mollusc Larviculture*. 45 – 55. Impresora Creces, Santiago, Chile.
- Dosanjh, B.S., Higgs, D.A., McKenzie, DJ., RandaH, DJ., Eales, J.G., Rowshandeli, N., Rowshandeli, M., Deacon, G., 1998. Influence of dietary blends; of menhaden oil and canola oil on growth, muscle lipid composition and thyroidal status of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in sea water. *Fish Physiol. Biochem.* 19, 123-134.
- D.I.G. 2001. Diagnostico Sector Leguminosas de Grano – Lupino y Taller Estratégico del sector.
- Folch, J.; Less, H. and Sloane-Stanley, G.H. 1957. A simple method for the insolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol.Chem.*, 726: 497-509 pp.
- Gómez, E.; Corraze, G. and Kaushik, S. 1993. Effect of dietary incorporation of a coextruded plant protein (rapeseed and peas) on growth, nutrient utilization and muscle fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* (113): 339-353 pp.

- González, F; Bas, F; Covarrubias, M; Ortega, K. 2001. El rol de los Omega 3 en la salud humana. Depto. de Ciencias Animales. PUC. 6 pp.
- Greene, D.H.S., Selivonchick, D.P., 1990. Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hemathology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 89, 165 -182.
- Guillou, A.; Soucy P.; Khalil, M. and Adambounou, L. 1995. Effects of dietary vegetable and marine lipid on growth, muscle fatty acid composition and organoleptic quality of flesh of brook charr (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture* 136: 351-362.
- Gunasekera, R. ; Leelarasamee, K. ; De Silva, S. 2002. Lipid and fatty acids digestibility of three oil types in the Australian shortfin eel, *Anguilla australis*. *Aquaculture* 203: 335 – 347
- Hardy, R.W., Scott, T.M., and Harrell L.W., 1987. Replacement of Herring oil with Menhaden oil, Soybean oil, or Tallow in the Diets of Atlantic Salmon Raised in Marine Net- Pens. *Aquaculture*, 65: 267 – 277.
- Hettich, C. 2004. Evaluación de la digestibilidad de dietas en trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*): sustitución parcial de harina de pescado por tres niveles de harina de lupino blanco (*Lupinus albus*). Tesis de grado Universidad Católica de Temuco. Chile. 61 pp.
- Horrocks, L. A. & Yeo, Y. K. (1999) Health benefits of docosahexaenoic acid (DHA). *Pharmacol. Res.* 40:211-225
- Indap. 1999. Precios y Mercados para Rubros de la Pequeña Agricultura. Ministerio de Agricultura. Boletín N°15. Temuco. Chile.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 1987. Diagnostico de la Producción e Investigación Oleaginosas de Uso Alimenticio. Quito. Ecuador. 257 pp.
- Jacobsen J.A. & Hansen L.P. 2000. Hábitos Alimenticios del Salmón del Atlántico en Diferentes Etapas de la Vida en el Mar. Ed. Hills D. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford. 52 pp.
- Lands, W.E.M., 1986. Fish and human health. Academic Press, INC., Orlando, FL, 170 pp.
- Masson, L.; Mella, M., 1985. Materias grasas de consumo habitual y potencial en Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 31 pp.

- Mayzaud, R. O.; Mayzaud, P. & Audet, C., 1998. Changes in lipid classes and trypsin activity during the early development of brook charr, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill), fry. *Aquaculture Research*. 29: 137–152.
- Montero, D., Robaina, L., Socorro, J., Vergara, J.M., Tort, L. & Izquierdo, M.S., 2001. Alteration of liver and muscle fatty acid composition in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles held at high stocking density and fed an essential fatty acid deficient diet. *Fish Physiol. Biochem.*, 24: 63-72.
- Morales, A.; Cardenete, G.; de la Higuera, M. and Sanz, A. 1994. Effects of dietary protein source on growth, feed conversion and energy utilization in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 124: 117-126.
- Mourente, G. 1996. Lipid and polyunsaturated fatty acid (PUFA) nutrition and neural system development in early stages of farmed marine fish. *Proceedings of a workshop on Fish and Mollusc Larviculture*. 23-29. Impresiones Creces, Santiago, Chile.
- Mugrditchian, D.S., Ardí, R.W. and Iwaoka, W.T., 1981. Linseed oil and animal fat as alternative lipid sources in dry diets for chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 25: 161 – 172.
- Pike, I. (1996) Future role of fish meal and oil in salmon diets. *Salmon News* 4/5:3-5
- Polvi, S. M., Ackman, R.G., 1992. Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle lipids and their response to alternative dietary fatty acids sources. *J. Agric. Food Chem.* 40, 1001 – 1007.
- Regost, C., Arzel, J., Robin, J., Rosenlund, G., Kaushik, S.J. 2003. Total replacement of fish oil in turbot (*Psetta maxima*). 1. Growth performance, flesh fatty acid profile and lipid metabolism. *Aquaculture* 217: 465 – 482.
- Reinitz, G.L., Yu, T.C., 1981. Effects of dietary lipids on growth and fatty acid composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 35, 19-27.
- Revista Campo Sureño. 2004. Las bondades del aceite de canola. Nº 971. 12 pp.
- Revista del Campo de El Mercurio. 2001. Vuelco en los aceites. Nº 1363. 15 pp.
- Revista Tatersall. 1989. Mercado de los aceites vegetales. Nº 21. 60 pp.
- Ricker, W. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish Res. Bd. Canadá* (191): 1-382.

- Robaina, L. 1998. Utilización nutritiva de fuentes de proteína alternativas a la harina de pescado en dietas de engorde para Dorada (*Sparus aurata*). Informes técnicos Instituto Canario de Ciencias Marinas. (4). 195 pp.
- Rodríguez, C. 1994. Estudio de los requerimientos de ácidos grasos esenciales de la dorada europea (*Sparus aurata*, L) durante las dos primeras semanas de alimentación. Tesis doctoral. Universidad de La Laguna; Facultad de Biología; Depto. de Biología Animal. Gran Canaria. España. 257 pp.
- Salmonicultura. 2002; 27: 12-13
- Salmonicultura. 2003; 38: 14
- Salmonicultura, 2003; 39: 19-20
- Sargent, J. R., Henderson, R. J. & Tocher, D. R. (1989) The lipids. Halver, J. E. eds. Fish Nutrition. Academic Press New York, NY. 1989:154-218
- Sargent J. R., Bell J. G., Bell M. V., Henderson R. J., Tocher D. R. Requirement criteria for essential fatty acids. J. Appl. Ichthyol. 1995; 11:183-198.
- Sargent, J. R. & Tacon, A.G.J. (1999) Development of farmed fish: a nutritionally necessary alternative to meat. Proc. Nutr. Soc. 58:377-383
- Serrano, E. 2004. Reemplazo parcial de harina de pescado por harina de lupino blanco (*lupinus albus*) en dietas extruidas para trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*): efectos sobre los índices productivos y la composición de ácidos grasos en el músculo. Tesis de grado Universidad Católica de Temuco. Chile. 72 pp.
- Simopoulos, A. P. (1999) Essential fatty acids in health and chronic disease. Am. J. Nutr. 70:560S-569S.
- Shearer, K. 1994. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. Aquaculture 119: 63-88.
- Steffens, W. 1987. Principios fundamentales de la Alimentación de los Peces. Ed. Acribia. España. 275 pp.
- Storebakken, T.; Refstie, S.; Ruyter, B.; 2000. In: Drackley, J.K. (Ed.), Soya in Animal Nutrition. Federation of Animal Science Societies, 127-170 pp.
- Tocher D. R., Bell J. G., Dick J. R., Henderson R. J., McGhee F., Mitchell D. F., Morris P. C. Polyunsaturated fatty acid metabolism in Atlantic salmon

(*Salmo salar*) undergoing parr-smolt transformation and the effects of dietary linseed and rapeseed oils. Fish Physiol. Biochem. 2000;23:59-73

- Torstensen B. E., Lie O., Froyland L. Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)—effects of capelin oil, palm oil and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources. Lipids 2000;35:653-664.
- Watanabe, T. 1982. Lipid nutrition in fish. Comparative Biochemistry and Physiology 73B(1): 3 -15 pp.
- Wheaton, F. 1993. Acuicultura. Diseño y Construcción de Sistemas. A.G.T. Editor. México. 630 pp.
- Yu, T.C., Sinnhuber, R.O and Putnam, G.B., 1977. Use of swine fat as an energy source in trout rations. Prog. Fish-cult., 39(2): 95-97
- Zaldívar, F. 2002. Las harinas y aceites de pescado en la alimentación acuícola. En: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México. 25 pp.
- Zaldivar, F. 2004. Variaciones en la oferta de harina y aceite de pescado-competencia con otros destinos- y una mirada a las nuevas exigencias internacionales. Conferencias Aqua Sur 2004. Puerto Montt. Chile. 15 pp.

#### **Comunicaciones personales**

- Bórquez Ramírez Aliro. 2005. Ingeniero en Acuicultura, Ms. Cs. Acuicultura, PhD © Nutrición en Acuicultura, Docente Universidad Católica de Temuco.
- Rebolledo Daniel. 2004. director ejecutivo del Instituto Tecnológico del Salmón, Intesal).

#### **Páginas Web consultadas**

- <http://www.agroeconomico.cl>
- <http://www.aqua.cl>
- <http://www.fao.org>
- <http://www.ivu.org/ave/grasos.html>
- <http://www.odepa.cl>
- <http://www.solae.com>

