



# **UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

Facultad de Ciencias Agrarias  
Escuela de Ingeniería en Alimentos

## **El efecto de la incorporación de distintos niveles de Materias Primas Vegetales sobre los Ácidos Grasos Poliinsaturados $\omega$ -3 y $\omega$ -6 en Salmonídeos**

Tesis presentada como parte de los  
requisitos para optar al grado de  
Licenciado en Ingeniería en Alimentos

**Daniela Paz Santibáñez Matzner**

Valdivia Chile 2003

## **PROFESOR PATROCINANTE**

Fernando Figuerola R.  
Ing. Agrónomo., M. S. Food Science  
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

---

## **PROFESORES INFORMANTES**

Suzanne Hodgkinson  
B. Sc., M. Sc., Ph. D.  
Instituto de Producción Animal

---

María Adela Martínez S.  
Bioquímico, Licenciado en Ciencias Biológicas  
Instituto de Farmacia

---

***Por las manos que con cariño desde niña han guiado  
mi camino y me han conseguido alcanzar una  
de tantas metas en la vida  
Con mucho amor a mis padres.***

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi profesor Fernando Figuerola por su constante apoyo durante la realización de mi tesis, y su apoyo tanto en la parte académica como personal.

A mis profesoras informantes María Adela y Suzanne por las ideas planteadas y sugeridas durante mi trabajo de tesis.

Al laboratorio CETECSAL por abrirme las puertas para la realización de mi trabajo, en especial a Jorge Ponce y Sergio Silva por su constante apoyo.

Al laboratorio de Farmacología de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile por brindarme un ambiente cálido de trabajo en los momentos de realización de mis análisis.

A la familia Scheihing-Riquelme en especial al tío Alejandro y la tía Laura que me brindaron cariño y me acogieron en su casa muchas veces durante mi estadía de estudiante en Valdivia.

A Carina, Pame, Pao, Daniel, Pato, Pamela y todos mis amigos y compañeros que compartieron mis momentos malos y buenos y estuvieron conmigo en mis fracasos y triunfos.

## INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Págin a
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	4
2.1	Lípidos	4
2.1.1	Estructura y composición química	4
2.1.2	Distribución de los lípidos en los peces	4
2.2	Ácidos grasos	5
2.2.1	Biosíntesis de los ácidos grasos	6
2.2.1.1	Competición en la biosíntesis de ácidos grasos	6
2.2.1.2	Competición en la formación y acción de los eicosanoides	10
2.2.1.3	Competición en la biosíntesis de fosfolípidos	11
2.2.3	Requerimiento y esencialidad de los ácidos grasos $\omega$ -3 y $\omega$ -6	11
2.3	Lípidos de fuentes marinas y no marinas en la alimentación de los peces	16
2.3.1	Fuentes lipídicas tradicionales	16
2.3.2	Fuentes alternativas de lípidos	17
2.3.2.1	Aceites vegetales	18
2.3.2.2	Grasas animales	19
2.4	Los ácidos grasos marinos como fuente de $\omega$ -3 en la alimentación humana	23

3	MATERIAL Y METODO	25
3.1	Lugar del ensayo	25
3.2	Preparación del ensayo	25
3.2.1	Dietas	25
3.2.2	Cultivo de los peces	26
3.2.3	Características de los tratamientos	27
3.2.3.1	Primera etapa	27
3.2.3.2	Segunda etapa	27
3.3	Metodología	29
3.3.1	Obtención de las muestras	29
3.3.2	Análisis proximales	29
3.3.3	Obtención de la materia grasa	29
3.3.4	Preparación de los ésteres metílicos	29
3.3.5	Análisis por cromatografía gas líquido	31
3.4	Frecuencia de muestreo	32
3.5	Cálculos y análisis estadístico	33
4	PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
4.1	Dietas experimentales	35
4.1.1	Datos proximales de las dietas	35
4.1.2	Ácidos grasos de las dietas experimentales	35
4.1.3	Eficiencia de alimentación y crecimiento	39
4.2	Músculos de Salmón Atlántico	42
4.2.1	Análisis generales del músculo	42
4.2.2	Ácidos grasos del músculo	44
4.3	Ácidos grasos $\omega$ -3 aportados a la dieta humana	52
5	CONCLUSIONES	55
6	RESUMEN	57

7 BIBLIOGRAFIA

59

**INDICE DE CUADROS**

Cuadro		Página
1	Composición de ácidos grasos de algunas materias grasas de origen animal, vegetal y marino	20
2	Contenido de materias primas marinas y vegetales en la formulación 30/43 y 30/40	26
3	Diseño experimental	28
4	Condiciones del cromatógrafo	32
5	Ácidos grasos identificados	32
6	Composición proximal de las dietas de la formulación 30/43	36
7	Composición proximal de las dietas de la formulación 30/40	36
8	Composición de ácidos grasos de las dietas de la formulación 30/43	37
9	Composición de ácidos grasos de las dietas de la formulación 30/40	38
10	Datos de crecimiento y conversión de alimento de la formulación 30/43	39
11	Datos de crecimiento y conversión de alimento de la formulación 30/40	40
12	Composición proximal de filetes corte <i>trim E</i> de las distintas dietas de la formulación 30/43	41
13	Composición proximal de filetes corte <i>trim E</i> de las distintas dietas de la formulación 30/40	42

14	Concentración (%p/p de ésteres metílicos) de ácidos grasos en los tejidos del músculo de salmón atlántico alimentados con diferentes tratamientos de la formulación 30/43	43
15	Concentración (%p/p de ésteres metílicos) de ácidos grasos en los tejidos del músculo de salmón atlántico alimentados con diferentes tratamientos de la formulación 30/40	44
16	Contenido total $\omega$ -3 , EPA y DHA en la formulación 30/43	54
17	Contenido total $\omega$ -3 , EPA y DHA en la formulación 30/40	54

**INDICE DE FIGURAS**

Figura		Página
1	Principales familias de ácidos grasos y sus productos de formación	9
2	Esquema de extracción en frío de la materia grasa	30
3	(a)Esquema de metilación directa del alimento (b) Esquema de metilación del músculo de salmón	31
4	Total ácidos grasos saturados en músculo de salmón en la formulación 30/43 y 30/40.	45
5	Total ácido linoleico en músculo de salmón en la formulación 30/43 y 30/40.	47
6	Total ácido $\alpha$ - linolénico en músculo de salmón en la formulación 30/43 y 30/40.	47
7	Total ácido eicosapentaenoico EPA en músculo de salmón en la formulación 30/43 y 30/40	48
8	Total ácido docosaheptaenoico DHA en músculo de salmón en la formulación 30/43 y 30/40	48
9	Relación $\omega$ -3/ $\omega$ -6 en músculo de salmón en la formulación 30/43 y 30/40	50

## 1. INTRODUCCION

El cultivo de peces salmonídeos en Chile ha experimentado un gran crecimiento y desarrollo en los últimos años, constituyendo uno de los principales productos exportados. Paralelamente, el auge de la salmonicultura exige la realización de investigaciones tendientes a generar un mayor conocimiento referente a los requerimientos nutricionales de los peces, con el fin de obtener un producto final de calidad superior.

Las principales fuentes de proteína y energía en las dietas para salmones, son la harina y el aceite de pescado, siendo este último el de mayor aporte de lípidos en la dieta. Hay que considerar también que el perfil de ácidos grasos y su contenido en los tejidos de salmones depende de muchos factores incluyendo la especie, contenido de proteína y otros nutrientes de la dieta (PIKE, 1990). Si bien es cierto Chile, actualmente, no tiene problemas de abastecimiento de estos insumos, su precio, calidad y disponibilidad serían factores limitantes en su utilización debido al incremento de cultivo de peces, especialmente salmonídeos en las últimas décadas, por lo cual no resulta práctico depender de una sola fuente lipídica y proteica.

Una alternativa es la utilización de materias primas vegetales, sin embargo, no deben olvidarse las influencias que éstas puedan tener en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados, debido a sus propios aportes de estos compuestos.

El perfil lipídico del pez está dado por los lípidos de la dieta, por lo cual se debe considerar que las harinas utilizadas para la obtención de proteínas afectan el contenido de lípidos del pez debido a los lípidos que éstas puedan aportar, aunque sea en un bajo porcentaje.

Específicamente, las condiciones que deberían cumplir las fuentes alternativas de materias primas vegetales, con relación a los lípidos en la dieta, se pueden resumir básicamente en: Evitar un alto nivel de depósitos

de ácido linoleico; mejorar la conversión de ácido  $\alpha$ -linolénico a ácidos grasos esenciales, ácido eicosapentaenoico (20:5 $\omega$ 3, EPA) y ácido docosahexaenoico (22:6 $\omega$ 3, DHA) y proveer energía suficiente en la forma de ácido graso monoenoico manteniendo altas tasas de crecimiento (BELL *et al.*, 2001).

Pero, estas alternativas presentan ciertas desventajas en el valor nutritivo aportado por la dieta a los peces, debido al bajo contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico ( $\omega$ -3) con relación al alto contenido de ácido linoleico ( $\omega$ -6) en el caso de los aceites vegetales. Esto lleva a una baja tasa de la relación de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3/ $\omega$ -6, lo que puede ocasionar problemas patológicos y nutricionales en los peces. Aún así constituyen una alternativa interesante de analizar, si los niveles de inclusión en la dieta son manejados, con el propósito de mantener una relación adecuada de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3/ $\omega$ -6, la cual trae consigo beneficios nutricionales para un buen desarrollo y crecimiento del pez.

La hipótesis de este trabajo, plantea que si se sustituye la materia prima de origen marino por materia prima de origen vegetal en la dieta de salmones Atlánticos no deberían existir diferencias estadísticamente significativas en la composición de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 en los tejidos de los salmones Atlánticos, alimentados a partir de dietas con distintos niveles de sustitución de aceite de pescado por aceite vegetal.

El objetivo general de este estudio es medir el efecto de diferentes niveles de incorporación de materia prima vegetal en las dietas sobre el contenido de ácidos grasos poliinsaturados y la relación  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 en salmónidos.

Los objetivos específicos del presente estudio son:

- Analizar la composición de ácidos grasos en las dietas estudiadas en dos etapas de alimentación de los peces.

- Analizar la composición de los ácidos grasos en los tejidos musculares de los salmones alimentados a partir de las diferentes dietas en dos etapas de alimentación.
- Analizar las diferencias que puedan existir entre las dietas con respecto a la relación  $\omega$ -3/ $\omega$ -6.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Lípidos

Los lípidos presentan una fuente de energía para los peces. También poseen otros roles importantes como el transporte de compuestos liposolubles (vitamina A, D, E y K), formar parte de elementos estructurales en membranas celulares y como precursores para la síntesis de un gran número de hormonas, pigmentos y factores de crecimientos (HEEN *et al.*, 1993).

**2.1.1 Estructura y composición química.** La clase de lípidos más frecuentes son los triglicéridos (lípidos neutros), los cuales están compuestos químicamente por estéres de glicerol y ácidos grasos (HEEN *et al.*, 1993). Usualmente éstos se intercambian con el agua en un total de un 80% así cuando el pez comienza a aumentar su contenido lipídico los triglicéridos aumentan hasta un 20% y el agua se reduce hasta un 60% (ACKMAN, 1996).

Todos lo peces tienen al menos un 0,6% de fosfolípidos (ACKMAN, 1996). Estos difieren de los triglicéridos por ser lípidos polares que contienen ácido graso, ácido fosfórico en forma de mono y diéster y una base nitrogenada, todos los cuales se esterifican con un alcohol polihidroxilado, glicerina e inositol (BRAVERMAN, 1980). Sus ácidos grasos poseen más insaturaciones que los ácidos grasos de los triglicéridos (FENNEMA, 1993). La clases más predominantes de fosfolípidos en el músculo del pescado son las fosfatidilcolina y la fosfatidiletanolamina (SHEWFTEL, 1981).

Los lípidos de los peces difieren de los lípidos de los mamíferos en su relación de ácidos grasos, en el largo de su cadena de carbonos (14-22 átomos de carbono) y en el número de dobles enlaces, conteniendo los mamíferos un mayor número de ácidos grasos saturados (HUSS, 1988). En peces el

contenido de ácidos grasos saturados varía entre un 15-18% aproximadamente, entre estos ácidos grasos se encuentran el ácido palmítico el cual representa 10-18% del total de ácidos grasos, el ácido mirístico y el ácido esteárico en pequeñas cantidades 1-2% del total de ácidos grasos (BORGSTROM, 1961).

Los lípidos de los peces están compuestos por un alto contenido de ácidos grasos insaturados de un alto grado de insaturaciones (cinco ó seis dobles enlaces) HEEN *et al.*, (1993); HUSS, (1988), proviniendo principalmente de tres familias o series; ácido oleico ( $\omega$ -9), ácido linoleico ( $\omega$ -6), y ácido  $\alpha$ -linolénico ( $\omega$ -3), derivada en cierta parte desde su ingestión alimenticia (HIGGS y DONG, 2000).

El número total de ácidos grasos poliinsaturados con cuatro, cinco o seis dobles enlaces es levemente menor en los lípidos de peces de agua dulce (aproximadamente 70%) que los lípidos de peces de agua de mar (aproximadamente 88%) sin embargo, la composición de lípidos no es completamente fija sino que puede variar debido a la alimentación del pez (HUSS, 1988).

**2.1.2 Distribución de los lípidos en los peces.** Los depósitos grasos están mayormente localizados en el tejido subcutáneo de la pared abdominal, en el colágeno entre las fibras musculares tanto de el músculo claro como oscuro y en la cabeza, sin embargo se debe tener en consideración la diferencia entre las distintas especies (HUSS,1988). Extracelularmente están en el tejido adiposo e intracelularmente en forma de gotitas y lipoproteínas (Hanson *et al.*, citado por AWAD *et al.*, 1969).

En pescados grasos, como el salmón, el atún o la anguila, que poseen entre un 15 a un 29% de lípidos, los glicéridos están impregnados en el tejido muscular, en una dispersión globular. En pescados magros, como el bacalao o la merluza, que poseen entre 0,2-0,6% de lípidos, los glicéridos se acumulan

en el hígado, en su mayor parte, una proporción pequeña se distribuye por debajo de la piel, y el músculo está prácticamente libre de triglicéridos y sólo tiene una proporción muy pequeña de fosfolípidos (PRIMO, 1997).

Los lípidos se encuentran ubicados en dos tipos de fibras, las oscuras y las claras. La clásica diferencia es la apariencia física de estas (SHEWFELT, 1981). El músculo oscuro tiene un alto contenido de lípidos, vitamina B y ácidos nucleicos, mientras el tejido claro posee mayor contenido de agua (Thurston y Mac Master; George; Braekkan; Love; Mustafa; Wittenberg; Moon y Johnston citado por SHEWFELT, 1981). Los lípidos contenidos en el músculo claro, contiene un alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados mayor que el de los lípidos del músculo oscuro (INGEMANSSON, 1991).

## **2.2 Ácidos grasos**

Los principales ácidos grasos en los peces, son los ácidos grasos poliinsaturados y su contenido depende de cada especie.

**2.2.1 Biosíntesis de los ácidos grasos.** Los ácidos grasos saturados y monoinsaturados pueden biosintetizarse a partir de hidratos de carbono y proteínas, por su parte, los ácidos grasos insaturados pueden ser sustratos de las desaturasas y de las elongasas que actúan sobre ácidos grasos de menor número de átomos de carbono transformándolo a ácidos grasos de cadenas más largas (FAO/OMS, 1997).

Los organismos animales, ya sean terrestres o acuáticos, no pueden introducir dobles enlaces entre el grupo metilo terminal y el primer doble enlace que aparece en la cadena hidrocarbonada del respectivo ácido graso. Lo que sólo puede hacer el organismo animal es elongar la cadena e introducir nuevos dobles enlaces a continuación de los originales y en dirección del grupo carboxílico de la molécula (MASSON y MELLA, 1985).

Teniendo una estructura básica terminal, el organismo animal sintetiza los ácidos grasos de cadena larga de 20 a 22 átomos de carbono con tres, cuatro, cinco o seis dobles enlaces pertenecientes a la familias  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6, que son indispensables para la formación de estructuras celulares, funciones normales de todos los tejidos, síntesis de prostaglandinas, etc. (MASSON y MELLA, 1985). Los miembros de las familias  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 son formados desde los respectivos ácidos grasos por un sistema común de enzimas, las desaturasas y las elongasas las cuales incrementan la insaturación y largo de la cadena respectivamente (HIGGS y DONG, 2000).

El hecho de que los ácidos grasos madre, linoleico y  $\alpha$ -linolénico, satisfagan los requerimientos de ácidos grasos esenciales, depende en parte de la capacidad de las especies involucradas, para alargar y desaturar los ácidos grasos madres a ácidos grasos de cadenas más largas con mayor número de insaturaciones. Varias especies acuáticas tienen la capacidad de elongar y desaturar a través de las enzimas encargadas de la elongación y de la desaturación de los ácidos grasos de 18 átomos de carbono a ácidos grasos de cadena más largas (20–22 carbonos), pero esta capacidad se ve limitada en muchas especies de peces marinos (PIKE, 1990; BRODTKORB *et al.*, 1997; Owen *et al.* citado por RUYTER *et al.*, 2000; BELL *et al.*, 2001).

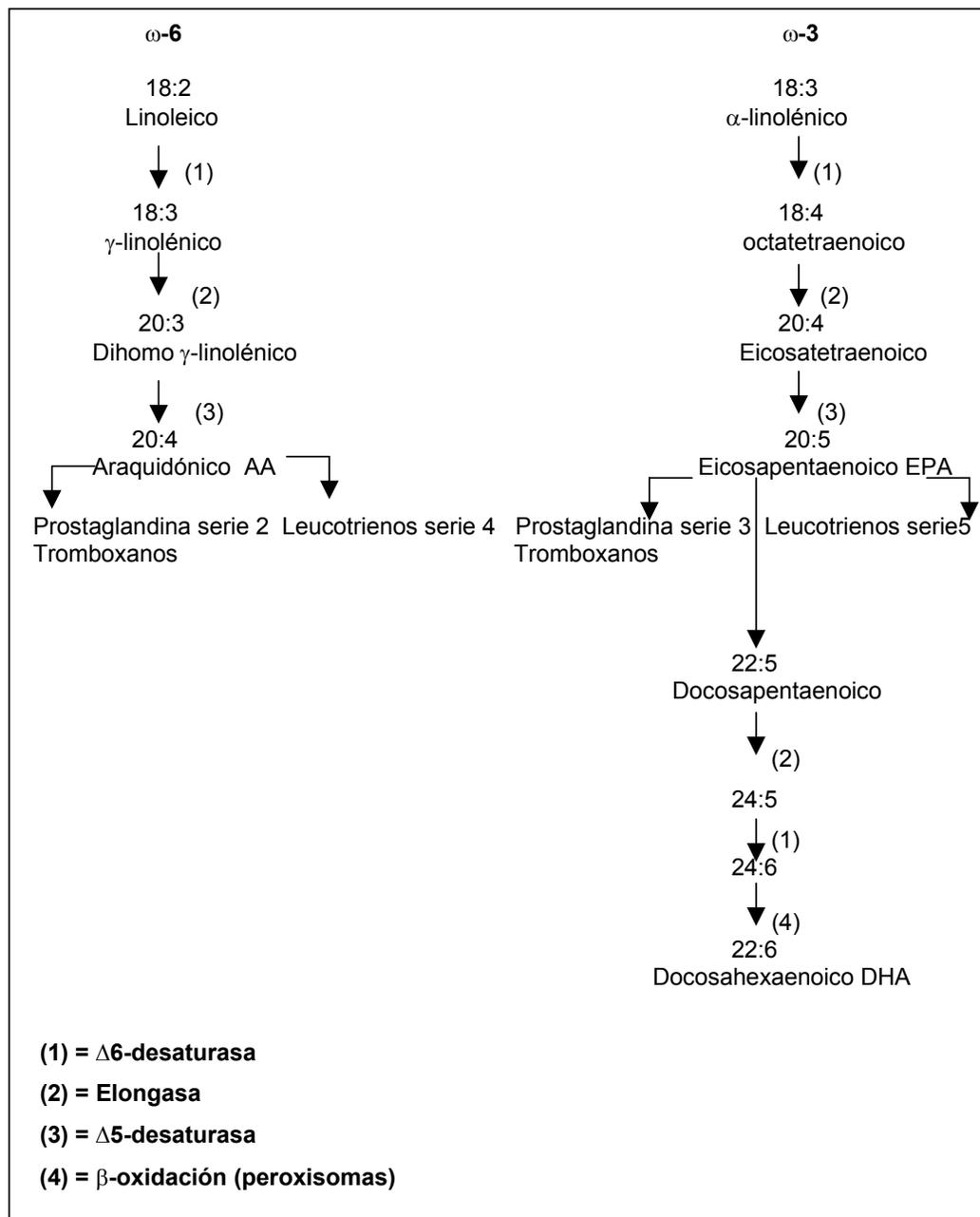
Los peces de aguas dulces (por ejemplo la trucha arcoiris) pueden metabolizar el ácido linoleico por la  $\Delta$ 6-desaturasa a ácido  $\gamma$ -linolénico y consecuentemente a ácido araquidónico por la  $\Delta$ 5-desaturasa (Henderson y Tocher citado por BELL *et al.*, 1991). Especies marinas, como el turbot presentan una deficiencia de la  $\Delta$ 5-desaturasa y por esto tienen la necesidad de obtener los ácidos eicosapentaenoico 20:5 $\omega$ -3 (EPA) y ácido docosahexaenoico 22:6 $\omega$ -3 (DHA) en su dieta (Bell *et al.* y Owen *et al.* citados por BELL *et al.*, 1991 y Takeuchi *et al.* citados por RUYTER *et al.*, 2000). Cowey citado por PIKE (1990) reafirma lo anteriormente dicho y sostiene que los ácidos linoleico y  $\alpha$ -linolénico deben ser suministrados preformados en la dieta de los peces, porque al igual que los mamíferos no

tienen la capacidad de sintetizar *de novo* el primer miembro de la serie de ácidos grasos, para su mantención o función celular. Estudios realizados en peces Anadromous y salmones Atlánticos muestran la incapacidad de desaturar y elongar el ácido linoleico 18:2  $\omega$ -6 durante su fase de vida en el mar, pero esta incapacidad parece no presentarse durante la fase de agua dulce (ACKMAN y TAKEUCHI, 1986; BELL *et al.*, 1989).

Los ácidos grasos de 20 átomos de carbonos, derivados desde ácidos grasos esenciales son precursores de dos grupos de eicosanoides, prostaglandinas y leucotrienos, las cuales son sustancias mediadoras, con diversas acciones fisiopatológicas, incluyendo respuestas inmunes y procesos inflamatorios. Algunas de estas sustancias regulan las reacciones fisiológicas e inmunológicas; ambas inmunidades no específicas (innatas), como por ejemplo la producción de fagocitos (células destructoras), reacciones inflamatorias e inmunidades específicas (adquiridas), incluyendo la producción de anticuerpos de células B y T (LALL, 2000). En la FIGURA 1 se puede ver las familias de ácidos grasos  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3 y sus productos de formación, debido a la acción de desaturasas y elongasas.

**2.2.1.1 Competición en la biosíntesis de ácidos grasos.** Las razones para entender la bioquímica de los ácidos grasos esenciales y optimizar su contenido en la dieta es conocer las interacciones competitiva entre las diferentes series de ácidos grasos, ya sea la competición entre los ácidos grasos de la serie  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3, los ácidos grasos monoinsaturados y entre los ácidos grasos de diferente largo de cadenas e insaturaciones.

Los primeros miembros de cada familia de ácidos grasos compiten por la misma  $\Delta$ 6-desaturasa, cuya velocidad de conversión aumenta con el número de dobles enlaces. Esta enzima de actividad altamente regulada o limitante de la velocidad se encuentra bajo el control de muchos factores dietéticos y hormonales (Brenner citado por FAO/OMS, 1997; SOWIZRAL *et al.*, 1990), y se cree que es importante en la síntesis de ácido docosahexaenoico (DHA).



**FIGURA 1. Principales familias de ácidos grasos y sus productos de formación ( FAO/OMS, 1997 y HIGGS y DONG, 2000)**

Este tipo de efecto puede explicar porque las ingestiones elevadas de ácido linoleico reducen el nivel de ácido docosahexaenoico (DHA). Del mismo modo la actividad de la Δ5-desaturasa está modulada por factores dietéticos y hormonales (FAO/OMS, 1997).

En el caso de especies que consumen cantidades considerables de ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) y cantidades pequeñas de ácido  $\alpha$ -linolénico en dietas naturales, requieren en menor cantidad o no requieren la biotransformación de ácido  $\alpha$ -linolénico a EPA, y poseen una reducida o una nula actividad de la enzima  $\Delta 5$ -desaturasa. Por otra parte, se ha demostrado que los salmónidos, en una extensión limitada, pueden producir EPA de los ácidos  $\alpha$ -linolénicos y DHA del EPA, la presencia de ácidos grasos  $\omega$ -6 poseen un uso preferencial de saturasas que bloquean efectivamente la elongación de la cadena del ácido  $\alpha$ -linolénico a EPA y DHA (HIGGS y DONG, 2000).

**2.2.1.2 Competición en la formación y acción de los eicosanoides.** Los eicosanoides están envueltos en la regulación del sistema inmune por efectos directos en las células tal como macrófagos y linfocitos o efectos indirectos vía citoquinas (Rowley citado por LALL, 2000). La naturaleza de los lípidos en la dieta y la concentración de ácidos grasos tiene un efecto directo en el metabolismo de los ácidos grasos y funciones inmune, incluyendo la competencia de los ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 durante el metabolismo de éstos (LALL, 2000).

El ácido araquidónico 22:6 $\omega$ -6 (AA) y el ácido eicosapentaenoico 20:5 $\omega$ -3 (EPA) compiten por la cicloxigenasa y la lipoxigenasa que producen, respectivamente, prostaglandinas, tromboxanos de la serie 2 y leucotrienos de la serie 4 desde el AA y prostaglandinas y tromboxanos de la serie 3 y leucotrienos de la serie 5 desde el EPA. El EPA inhibe la formación de eicosanoides desde el AA, y además los eicosanoides producidos por éste interfieren en la acción de los eicosanoides formados por el AA. Los eicosanoides producidos desde el AA son generalmente más activos biológicamente que los producidos desde el EPA y los eicosanoides respectivos compiten por los mismos receptores de las membranas celulares (BELL *et al.*, 1991; SARGENT *et al.*, 1999b). Una adecuada relación de EPA:AA en la dieta puede mejorar la acción fisiológica de los eicosanoides (SARGENT *et al.*, 1999a).

**2.2.1.3 Competición en la biosíntesis de fosfolípidos.** Los niveles de ácidos grasos disponibles en la dieta de los peces determinan la composición de los ácidos grasos de los tejidos musculares (SARGENT *et al.* , 1999b).

Recientes estudios con dietas que contenían diferentes niveles de ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 desde aceites de pescado y vegetales, muestran modificación en los fosfolípidos en rodaballos y salmones Atlánticos (BELL *et al.*, 1991). Estos cambios en la composición de los fosfolípidos afecta la síntesis de los precursores eicosanoides (BELL *et al.*, 1991; Lall citado por LALL, 2000).

**2.2.3 Requerimiento y esencialidad de los ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6.** En general, los lípidos son un importante productor de energía para los peces, además de desarrollar un importante rol en la regulación del metabolismo y la resíntesis de lípidos, existiendo además ácidos grasos que tienen carácter esencial (STEFFENS, 1987; TORTENSEN *et al.*, 2000). Es importante definir claramente entre los requerimientos de lípidos dietarios como el de los ácidos grasos esenciales (AGE) de los peces.

Los requerimientos dietarios de lípidos y ácidos grasos en la dieta varían entre las especies. Especies salmonídeas, requieren frecuentemente una mayor cantidad de lípidos en la dieta (usualmente mayor o igual a 150 g/kg de dieta) en relación a peces de especies no salmonídeas y otras especies marinas, ahorrando así proteínas de la dieta para el crecimiento, mejorando la eficiencia de retención de energía y obteniendo la cantidad requerida de energía digerible en la dieta (HIGGS y DONG, 2000).

Los niveles de lípidos en la dieta, tienen una influencia en la composición de ácidos grasos y muestran también un efecto en la composición química del

músculo de los peces (PIKE, 1990). Estudios de diferentes niveles de lípidos en dietas para salmón Atlántico, muestran relación con características de calidad sensorial y nutricional (HEMRE y SADNES, 1999).

Pareciera ser que el contenido óptimo de lípidos de un alimento para peces depende de muchos factores incluyendo la especie, contenido de proteína y otros nutrientes de la dieta, tipo de lípido, forma física del alimento e ingesta de éste. Los productores de alimentos para peces consideran que niveles entre 20 y 30% de la dieta son óptimos para los salmonídeos (PIKE, 1990).

Los ácidos grasos esenciales son aquellos que deben suministrarse en la dieta debido a que su requerimiento es importante, para prevenir deficiencias en el organismo. Bajo este nombre se puede considerar a dos grupos de ácidos grasos los de la serie  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6.

De lo mencionado anteriormente, en relación a los compuestos formados a partir de la familia  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6, se desprende la importancia que los ácidos  $\alpha$ -linolénico ( $\omega$ -3) y ácido linoleico ( $\omega$ -6), ácidos grasos precursores de cada serie, sean aportados por la dieta y defina su carácter de esencial. Peces marinos requieren particularmente ácido graso  $\omega$ -3 de cadena larga como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) (IBEAS *et al.*, 1997). El requerimiento de ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 son considerados esenciales para el crecimiento normal, utilización de alimento y viabilidad reproductiva de los peces (HIGGS Y DONG, 2000).

Si hay deficiencia de ácidos grasos esenciales, de todas formas el organismo animal, ya sea terrestre o acuático, debe sintetizar ácidos grasos de cadena larga, y recurre para ello al ácido esteárico C18:0, procediendo a insaturarlo originando el ácido oleico C18:1  $\omega$ -9, luego alarga la cadena, la vuelve a insaturar formando el ácido eicosatrienoico C20:3 $\omega$ -9 (MASSON y MELLA, 1985).

El ácido eicosatrienoico (20:3 $\omega$ -9) es normalmente un indicador de deficiencia de ácidos grasos esenciales  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 (GREENE y SELIVONCHICK, 1990; LOWELL, 1998). Estudios en peces alimentados con dietas deficientes en grasas realizados por CASTELL *et al.*, (1972) y RUYTER *et al.*, (2000) mostraron un nivel mayor de presencia de ácido eicosatrienoico (20:3  $\omega$ -9), debido a la deficiencia de ácidos grasos esenciales en la dieta con que fueron alimentados. Cuando hay suficiente aporte de ácidos grasos esenciales en la dieta el ácido eicosatrienoico (20:3  $\omega$ -9) sólo se encuentra en trazas (FAO/OMS, 1997).

La deficiencia de ácidos grasos puede tener como consecuencia una disminución en el crecimiento, despigmentación, necrosis, funcionamiento anormal del sistema nervioso, síntomas de estrés, elevado contenido de agua en el músculo, alteraciones a nivel estructural de las membranas celulares del cuerpo (TACON, 1995; LOWELL, 1998).

Los ácidos grasos esenciales y sus requerimientos varían dependiendo de la especie ( Tinoco y Watanabe citados por CASTRO, 1989). Varios trabajos realizados en nutrición de peces, incluyendo especies salmonídeas, muestran un requerimiento en la dieta de ácidos grasos  $\omega$ -3, pudiendo crecer sin problemas con dietas bajas en ácidos grasos  $\omega$ -6. Experimentos realizados en trucha arcoiris alimentadas con dietas altas en ácidos grasos  $\omega$ -3, muestran la capacidad de crecer y llevar a cabo en forma correcta su ciclo de vida, lo que no ocurre si son alimentadas con dietas que sólo poseen ácidos grasos  $\omega$ -6 (HEEN *et al.*, 1993).

Los ácidos grasos de cadena larga especialmente el EPA, DHA (serie  $\omega$ -3) y el AA (serie  $\omega$ -6) en peces y animales terrestres cumplen funciones bioquímicas, celulares y fisiológicas, similares las cuales se encuentran dentro de dos categorías: a) Un rol aparente generalizado es mantener la estructura y función integral de las membranas celulares y b) un rol más específico como precursores de los grupos eicosanoides (SARGENT *et al.*, 1999a ).

Los ácidos grasos  $\omega$ -3 poseen efectos positivos en respuestas inmunes de los peces (LALL, 2000). Una insuficiencia de este ácido graso especialmente de DHA puede tener como consecuencia un deterioro del desarrollo neuronal y visual (SARGENT *et al*, 1999b ).

Los ácidos grasos esenciales juegan un rol fisiológico importante en los componentes de las membranas de fosfolípidos y como precursores de eicosanoides biológicamente activos (ERDAL,1991; IBEAS *et al.*, 1997), por lo tanto, en dietas enriquecidas con ácidos grasos  $\omega$ -3 mejoran la estabilidad de las membranas celulares, lo cual es importante en los animales acuáticos, para mantener el funcionamiento de flexibilidad y permeabilidad en las membranas de los fosfolípidos durante fluctuaciones de temperaturas en el agua (ERDAL,1991; SARGENT *et al*, 1999a; LOWELL, 1998; Erdal *et al.*; Klinger *et al.*; citados por LALL, 2000). Estudios realizados en alimentación de peces y la relación de la temperatura del agua y los fosfolípidos de las membranas, muestran que con un alto nivel de ácido graso  $\omega$ -3 en las dietas mejora la respuesta de las funciones inmunes a temperaturas bajas, en cambio peces alimentados con un alto nivel de ácidos grasos  $\omega$ -6 mejora el factor de resistencia a enfermedades a altas temperaturas (Lingeenfelser *et al.* citado por LALL,2000) . Las respuestas fisiológicas a las fluctuaciones de temperaturas del agua, puede deberse a la función de los ácidos grasos  $\omega$ -3 en mantener la fluidez de la membrana fosfolipídica (LALL,2000), la cual, depende de la composición de ácidos grasos en los fosfolípidos, ácidos grasos altamente insaturados como el EPA y DHA, son más fluidos que los ácidos grasos saturados a bajas temperaturas (LOWELL,1998).

Los ácidos grasos  $\omega$ -3 son esenciales no solamente para un óptimo crecimiento y eficiencia de alimentación, si no también por su eficacia inmunológica y funciones cardiovasculares (SUZUKI *et al.*, 1986; LALL, 2000). Las prostaglandinas sintetizadas a partir de los ácidos grasos  $\omega$ -6 presentan

importantes funciones reproductivas y sobre la regulación respiratoria (HEEN *et al.*, 1993).

El alto contenido de ácidos grasos  $\omega$ -6 en la dieta puede llevar al desarrollo de severas cardiopatías y problemas en el crecimiento del pez. Estas respuestas patológicas pueden ser por la elevación del AA en los fosfolípidos de los tejidos. Los eicosanoides producidos por el AA tienen una mayor actividad biológica que los producidos por el EPA, por lo cual su alto contenido en la dieta no es recomendado, pequeñas cantidades de ácidos grasos  $\omega$ -6, son suficientes para cumplir su rol en la dieta sin producir efectos adversos (HIGGS y DONG, 2000).

En estudios realizados por BELL *et al.*, (2002) se concluye que la relación  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 debe ser adecuada para prevenir cardiopatías susceptibles al estrés producido en peces. Por lo tanto, es importante controlar una adecuada cantidad de lípidos, de ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 en la dieta de los peces, para obtener un buen desarrollo del pez y una buena acción inmunológica, lo cual repercute benéficamente en las necesidades de la salud humana (FAIR *et al.*, 1993; CASTELL *et al.*, 1994; HIGGS y DONG, 2000).

Salmones y truchas requieren sobre un 1-2% de ácido graso  $\omega$ -3 y trazas de ácidos grasos  $\omega$ -6 en la dieta para prevenir signos de deficiencia de ácidos grasos (CASTELL *et al.*, 1972; Watanabe *et al.* citado por LOWELL, 1998). Se ha demostrado según estudios realizados en truchas, que el EPA y DHA son más efectivos que el  $\alpha$ -linolénico y que sus efectos son acumulativos, siendo suficientes 0,25% de cada uno para cubrir los requerimientos de ácidos grasos esenciales (PIKE, 1990 y HEEN *et al.*, 1993). En consecuencia la recomendación para asegurar un equilibrio balanceado es niveles de 20% para el  $\alpha$ -linolénico o 10% de lípidos de ácidos grasos de cadena larga (EPA y DHA), cuando son alimentados con dietas ricas en grasas (HEEN *et al.*, 1993).

Los lípidos marinos deberían contener suficientes ácidos grasos  $\omega$ -6, sin sobrepasar el límite que afecte un óptimo crecimiento, para cubrir los requerimientos de estos ácidos grasos en la dieta en que el aceite de pescado es la principal fuente de lípidos que se agrega a la dieta (PIKE, 1990 y HARDY , 1998).

### **2.3 Lípidos de fuentes marinas y no marinas en la alimentación de peces**

La fuente de alimentación lipídica, refleja la composición de ácidos grasos en lo tejidos musculares de los peces MUGRDITCHIAN *et al.* (1981); HARDY *et al.* (1987); LIE *et al.* (1988); POLVI y ACKMAN, (1992); TORTENSSSEN *et al.* (2000), BELL *et al.* (2001). Es por esto importante el conocimiento del origen de la fuente lipídicas en las dietas y la influencia de éstas sobre el contenido de ácidos grasos en las distintas especies de peces.

**2.3.1 Fuentes lipídicas tradicionales.** Tradicionalmente los peces han sido alimentados con ingredientes de origen marino que contienen un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados y con un alto contenido de ácidos grasos  $\omega$  - 3 (TORTENSEN, 2000). El aceite de pescado es la fuente tradicional de lípidos para la alimentación de peces, posee la cantidad necesaria de ácidos grasos esenciales, contiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3 que se depositan en el músculo de los peces, permitiendo un óptimo crecimiento, un buen desarrollo, un alto índice de sobrevivencia y una buena conversión del alimento debido a una alta digestibilidad en los peces, la cual es mayor al ser más insaturados lo ácidos grasos (DOSANJH *et al.*, 1984; THOMASSEN y ROSJO; 1989; PIKE, 1990; FAIR *et al.*, 1993; HEMRE y SADNES, 1999, HIGGS y DONG, 2000 ).

En muchos casos la harina de pescado contenida en los alimentos para peces, tratada con antioxidantes, aporta también niveles suficiente de ácidos grasos  $\omega$ -3 de cadena larga, satisfaciendo los requerimientos de estos ácidos grasos en los peces de cultivos (PIKE, 1990).

Si bien la utilización de materias de origen marino constituye una opción importante, en la alimentación de peces se debe considerar su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, los cuales están propensos a la oxidación, lo que puede llegar a afectar el valor nutritivo de las proteínas, la destrucción de algunas vitaminas, alterando la salud del pez (CASTELL *et al.*, 1972; NRC citado por DOSANJH *et al.*, 1984). Además es conveniente destacar el incremento del cultivo de peces especialmente de salmón en los últimos años por lo cual es recomendable buscar otras alternativas sustitutas de materias primas de pescado económicamente competitivos para poder suplir la demanda, sin agotamiento de recursos (HIGGS y DONG, 2000).

Otras alternativas de fuentes lipídicas, son aceites vegetales con alto contenido del ácido  $\alpha$ -linolénico y grasa animal, considerando también el nivel de lípidos mínimos que puedan aportar las harinas vegetales.

**2.3.2 Fuentes alternativas de lípidos.** Los sustitutos de aceites de pescado deben considerar los siguientes criterios:

- Evitar el exceso de depósitos de ácido linoleico
- Mejorar la conversión de ácido  $\alpha$  - linolénico a EPA y DHA y
- Proveer energía suficiente en la forma de ácido graso monoenoico manteniendo altas tasas de crecimiento (BELL *et al.*, 2001).

**2.3.2.1 Aceites vegetales.** En el presente, los productos de la industria del salmón son de una alta calidad nutricional con una abundancia de ácidos grasos  $\omega$ -3 y una alta tasa de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3/ $\omega$ -6. Al mismo tiempo, la inclusión de otros sustitutos lipídicos se han ido elevando, es así el caso de los materias primas vegetales en las cuales se ha estudiado su efecto en el crecimiento y la salud del salmón, presentándose como una alternativa para tener en cuenta (BELL *et al.*, 2001).

Estas constituyen una fuente alternativa sustentable de aceite de pescado, dependiendo su grado de sustitución, requerimientos lipídicos para la obtención

de los ácidos grasos esenciales, la estabilidad oxidativa de los lípidos, sus costos de incorporación y los efectos en la composición final de ácidos grasos en los filetes de pescados (HIGGS y DONG, 2000). Sin embargo, debe tenerse presente que las materias primas vegetales no contienen un alto contenido de ácidos grasos  $\omega$ -3 de cadenas largas (más de 18 carbonos) y de más de tres dobles enlaces. Éstas, al contrario, contienen niveles altos de ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos  $\omega$ -6 (TORTENSEN, 2000). Debido principalmente a su alto contenido de ácido linoleico de los aceites vegetales, la relación de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 es generalmente baja (THOMASSEN y ROSJO, 1989).

Se han estudiado como posibles fuentes sustitutas, el aceite de soya, el aceite de canola, la lecitina de soya, el aceite de maíz, el aceite de girasol, el aceite de linaza, el aceite de raps, el aceite de maní. Estos aceites son variables en su contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico y ácido linoleico variando por ejemplo desde un 5-7% de ácido  $\alpha$ -linolénico en el aceite de soya a un 40% aproximadamente de ácido  $\alpha$ -linolénico en el aceite de linaza (GREENE y SELIVONCHICK, 1990).

Muchos estudios han demostrado que cantidades moderadas de aceites vegetales en la dieta no trae consigo impactos negativos en el desarrollo del pez, sin embargo, debe tenerse en cuenta su perfil de ácidos grasos y la sustancias propias que no son naturales en el pez (KIESSLING *et al.*, 2001).

**2.3.2.2 Grasas animales.** La incorporación de grasa de pollo, manteca de cerdo y grasa de vacuno se han considerado, como fuentes de alternativas lipídicas, en las cuales se deben considerar como antecedente, la dieta del animal, su edad y especie que pueden afectar la alimentación del pez (HIGGS y DONG, 2000).

El grupo principal de ácidos grasos de la grasa de pollo y manteca de cerdo corresponde a los ácidos grasos monoinsaturados, siendo el ácido oleico el

mayor componente. El ácido linoleico se encuentra aproximadamente en un 21% en la grasa de pollo. El grupo de los ácidos grasos poliinsaturados es minoritario en todas estas materias grasas mencionadas (MASSON y MELLA,1985).

En el CUADRO 1 se puede apreciar la composición en ácidos grasos de algunas materias de origen animal, vegetal y marino.

**2.3.3 Efectos sobre el crecimiento y composición de ácidos grasos producidos por fuentes lipídicas sustitutas.** En general las fuentes alternativas de lípidos, ya sean vegetal o animal, deben dar la seguridad de un normal crecimiento, entregar los niveles requeridos de ácidos grasos y reflejar una composición adecuada de lípidos en el tejido muscular del pez. Al elegir las dietas de alimentación debe tenerse en cuenta, el balance adecuado entre los ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$  -3 y  $\omega$  -6, para no producir efectos anormales en el crecimiento y desarrollo del pez (HIGGS y DONG, 2000). Por lo tanto al considerar reemplazar aceite de pescado por aceite vegetal o animal se debe tener en cuenta los niveles óptimos para el crecimiento y utilización del alimento y además la mantención de la función inmune y prevención de enfermedades en el cultivo de peces (LALL, 2000).

**CUADRO 1 . Composición en ácidos grasos de algunas materias grasas de origen animal, vegetal y marino**

Ácidos grasos	Manteca de cerdo	Grasa de vacuno	Grasa de pollo	Aceite de maíz	Aceite de girasol	Aceite de soya	Aceite de linaza	Aceite de jurel	Aceite de sardina española
<b>SATURADOS</b>									
Ac. Láurico	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-
Ac. Mirístico	2,4	3,4	0,9	Tr	-	Tr	-	2,1	7,0
Ac. Decapentanoico	-	0,8	-	-	-	-	-	0,3	Tr
Ac. Palmítico	24,9	25,1	21,0	10,7	6,8	10,7	9,8	21,8	23,3
Ac. Decaheptaenoico	-	1,7	0,3	-	-	-	-	1,1	1,1
Ac. Esteárico	14,0	22,6	8,2	2,8	4,2	3,6	8,7	8,2	4,1
Ac. Araquídico	1,0	Tr	-	-	Tr	0,3	-	0,2	0,4
Ac. Behénico	-	-	-	0,1	-	0,1	-	-	-
<b>MONOINSATURADOS</b>									
Ac. Miristoleico	-	1,6	-	-	-	-	-	Tr	0,6
Ac. Palmitoleico	3,5	3,2	6,6	Tr	-	0,2	-	4,4	7,9
Ac. Oleico	46,1	36,8	40,5	26,1	19,7	22,0	23,5	15,3	10,5
Ac. Eicosanoico	-	-	0,4	-	-	0,1	-	1,7	1,4
Ac. Erúcico	-	-	-	-	-	-	-	1,3	-
<b>POLIINSATURADOS</b>									
Ac. Linoleico	8,1	4,2	21,0	57,7	69,3	56,7	16,8	1,3	1,4
Ac. $\alpha$ - linolénico	-	Tr	0,8	2,2	-	7,0	41,1	-	-
Ac. Decaotatetraenoico	-	-	-	-	-	-	-	0,8	2,7
Ac. Araquidónico	-	-	-	-	-	-	-	2,1	3,2
Ac. Eicosapentaenoico	-	-	-	-	-	-	-	9,4	11,7
Ac. Docosapentaenoico	-	-	-	-	-	-	-	4,5	3,2
Ac. Docosahexaenoico	-	-	-	-	-	-	-	25,1	20,4
<b>TOTAL AC. SATURADOS</b>	42,3	53,7	30,4	13,6	11,0	14,7	18,5	33,7	35,9
<b>TOTAL AC. MONOINSATURADOS</b>	49,6	41,6	47,5	26,1	19,7	22,3	23,5	22,7	20,4
<b>TOTAL AC. POLIINSATURADOS</b>	8,1	4,2	21,8	59,9	69,3	63,7	57,9	43,2	42,6

FUENTE: MASSON Y MELLA 1985

Estudios realizados en salmón Atlántico (*Salmo salar*) y brook charr (*Salvelinus fontinalis*) por Tortensen *et al.* citados por BELL *et al.*, (2001) y por GUILLOU *et al.* (1995), no mostraron diferencias significativas en el crecimiento o tasa de conversión de alimento en peces alimentados con dietas tradicionales (aceite de pescado) y dietas vegetales (principalmente aceite de palma, aceite de girasol, aceite de soya y aceite de canola). Esto puede deberse según estudios realizados por HARDY *et al.* (1987), a que el salmón Atlántico tiene la habilidad fisiológica de concentrar selectivamente los ácidos grasos cuando recibe una cantidad dietaria suficiente de estos, independiente del tipo de aceite o grasa que predomine en su dieta.

Debe tenerse en cuenta las implicaciones que pueden traer la incorporación de aceite vegetal sin un nivel de restricción, en el desarrollo del pez y en el consumidor del producto. Estudios realizados por ARZEL *et al.* (1994) en trucha café (*Salmo trutta*) y TOMASSEN y ROSJO (1989) en salmón Atlántico, mostraron una pequeña disminución de la calidad organoléptica debido a inclusión en sus dietas de lípidos de origen vegetal. Además se debe tener en cuenta que un cambio de aceite puede afectar al organismo en diferentes niveles como por ejemplo, al sustituir el aceite de pescado con aceite de raps, se debe considerar el alto contenido de ácido erúcico y sus consecuencias. La incorporación de aceite de linaza en alimento para peces ha presentado problemas en la función del tracto gastrointestinal y su integridad, llevando a la destrucción y pérdida de vísceras, debido a que grandes cantidades de este aceite causa una masiva acumulación de lípido en los intestinos, estos efectos son probablemente causados por el deterioro de la síntesis de lipoproteínas y transporte de lípidos. Estos problemas se pueden controlar, con un adecuado nivel de sustitución en las dietas (KIESSLING *et al.*, 2001).

En el caso de sustitutos lipídicos animales como grasa de pollo, manteca de cerdo y sebo de vacuno se obtuvieron datos similares a los citados

anteriormente, con similares tasas de conversión de alimento y ausencia de deformaciones fisiológicas (GREENE y SELIVONCHICK, 1990).

La sustitución de aceite de pescado en la dieta, activa la desaturación hepática y además la elongación. Estas reacciones, dependiendo la fuente lipídica, no siempre llegan hasta el producto final EPA y DHA sino pueden llegar hasta productos intermedios como el ácido eicosatetraenoico, las reacciones pueden proceder lentamente influenciado significativamente por los cambios inducidos en la dieta en la composición de los ácidos grasos de los tejidos lipídicos (BELL *et al.*, 2001).

En trucha arcoiris se ha comprobado la eficiencia de su complejo de enzimas de elongar y desaturar el ácido  $\alpha$ -linolénico a EPA y DHA, en dietas suplementadas con aceite de soya y aceite de linaza, viendo su efectividad en el crecimiento y reproducción de la trucha arcoiris, debido a la incorporación de estos dos vegetales. Sin embargo, hay aspectos que investigar en relación a las acciones metabólicas en relación a las distintas dietas suministradas (GREENE y SELIVONCHICK, 1990).

Los beneficios de la sustitución de aceites de pescado por aceite vegetales minimizando el agotamiento de EPA y DHA, minimizando los depósitos de ácido linoleico y maximizando la desaturación y elongación del ácido  $\alpha$ -linolénico a EPA y DHA, permiten a la vez tasas de crecimiento equivalentes a las conseguidas con aceite de pescado. Sin embargo se debe considerar su alto contenido de ácido linoleico y sólo trazas de ácido  $\alpha$ -linolénico, al momento de realizar la proporción de su contenido en la dieta para no alterar la relación ideal de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 (BELL *et al.*, 2001)

BELL *et al.* (1993) realizaron estudios en salmones *postsmolts*, los cuales fueron alimentados con aceites de pescado, aceite de girasol y aceite de linaza

por un cierto periodo de tiempo. En general se pudo apreciar un incremento del ácido linoleico, ácido gama linoleico, ácido dihomo- $\gamma$ -linoleico y ácido araquidónico y un decrecimiento del ácido eicosapentaenoico en el aceite de girasol comparado con las otras dietas. Esto tuvo como consecuencia una disminución en la relación de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3/ $\omega$ -6, lo cual llevó a un desarrollo de histopatologías cardiacas en peces alimentados con aceite de girasol.

La presencia de niveles sustanciales de ácido  $\alpha$ -linolénico en la dieta es importante, porque impiden un exceso de transformación de ácido linoleico a ácido araquidónico, debido a su competencia entre la desaturación hepática y elongación de los ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6, sin embargo esto es aún un tema de estudio (Brenner y Horrobin citado por BELL *et al.*, 2001).

El balance entre la baja y alta actividad de los eicosanoides depende en gran parte de la relación  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 y la inclusión de otros aceites en la dieta no deben afectar esta relación, así lo demuestran resultados obtenidos por BELL *et al.*, (2001) en los cuales la relación  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 era baja en dietas con bajo contenido de aceite de pescado produciendo cambios en el metabolismo de los ácidos grasos, especialmente cuando los salmones son sometidos a estrés. Por lo tanto, el uso de aceite de pescado con altos contenidos en ácidos grasos  $\omega$ -3 puede ser sustituido en parte por aceites con niveles importantes de ácidos grasos  $\omega$ -3 de origen vegetal o animal (KIESSLING *et al.*, 2001).

#### **2.4 Los ácidos grasos marinos como fuente de $\omega$ -3 en la alimentación humana**

Los lípidos marinos presentes en la gran mayoría de pescados y aceites de pescados, son ricos en ácidos grasos altamente poliinsaturados, especialmente los de la serie  $\omega$ -3 (EPA y DHA). Estos ácidos grasos son componentes importantes del cerebro en el tejido nervioso humano, en la retina y en los

espermios entre otros (PIKE, 1990). Los estudios epidemiológicos, clínicos y bioquímicos han sugerido ser recomendados en la dieta humana, debido a sus efectos benéficos, los cuales han sido asociados a una favorable protección de enfermedades cardiovasculares, artritis, desordenes renales y posiblemente cáncer (HARDY *et al.*, 1987; TORTENSEN *et al.*, 2000).

Estos ácidos grasos de cadena más larga son considerados más beneficiosos que los de cadena más corta. La mayoría de los lípidos animales y vegetales tienen un bajo contenido de  $\omega-3$  y los que poseen son de cadena más corta (18:3) (MASSON y MELLA, 1995).

A medida que se adquiera más conciencia de los beneficios para la salud que contiene el consumo de pescado, es probable que la calidad nutricional del pescado con respecto a su contenido de EPA y DHA y la relación de los ácidos grasos  $\omega-3/\omega-6$  se convierta en uno de los factores que determinen su aceptación por parte del consumidor (PIKE, 1990).

Debido a la gran producción de salmón a nivel nacional es posible el aumento de su consumo. Es por esto un aspecto interesante de conocer y estudiar el efecto de la modificación de la dieta natural de estos peces, con ingredientes vegetales, de tal manera de no alterar una adecuada relación  $\omega-3/\omega-6$  que afecta en forma directa el desarrollo del pez y posteriormente el efecto en el consumidor humano.

### 3. MATERIAL Y METODO

#### 3.1 Lugar del ensayo

Las muestras de alimento, la materia grasa extraída del músculo de salmón, así como los datos de los análisis proximales de la dieta en cada formulación (30/43 y 30/40), se obtuvieron en dependencias del laboratorio de análisis químico de CETECSAL S. A., ubicado en Castro X Región. Los análisis del perfil de ácidos grasos del alimento y músculo de salmón se realizaron en el Instituto de Farmacología de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Austral de Chile, Valdivia, X Región.

#### 3.2 Preparación del ensayo

Para llevar acabo el estudio de esta tesis, se debieron tomar en cuenta varios parámetros, los cuales hicieron posibles la evaluación del estudio.

**3.2.1 Dietas.** Las formulaciones isocalóricas e isoproteícas para dos etapas de crecimiento del salmón y sus dietas correspondientes fueron diseñadas por la Empresa Salmofood S.A Castro X Región. Las formulaciones (30/43 y 30/40) están creadas para cubrir las necesidades nutricionales y de energía requeridas por el pez, éstas variaron según la cantidad de total de lípidos y proteínas que requiere el pez en estas etapas de crecimiento según ÅSGARD<sup>1</sup>, KJØNNØY<sup>2</sup>, STOREBAKKEN<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Comunicación personal de la empresa Torbjon Åsgard, AKVASFORSK Sunndalsora Noruega

<sup>2</sup> Comunicación personal de la empresa Magne Kjønnøy, AKVASFORSK

<sup>3</sup> Comunicación personal de la empresa Trond Storebakken, AKVAFORSK Ås Noruega

Para cada formulación fueron diseñadas ocho dietas, éstas se diferenciaron en su contenido de materias primas marinas (aceite de pescado y harina de pescado) y por su sustitución con materias primas vegetales (aceite vegetal y harina vegetal) las cuales se aprecian en el CUADRO 2. Las fuentes sustitutas de aceite de pescado en las dietas fueron, aceites de soya (96%) y aceite de maní (4%) y la sustitución de harinas de pescado por una mezcla de harinas vegetales. La composición específica de los ingredientes y su contenido, no se puede dar a conocer por privacidad de la Empresa. Cada formulación constó de una dieta control, la cual es utilizada por la Empresa, en ésta no se sustituyó el aceite de pescado por aceite vegetal y se utilizó el rango mayor de harina de pescado, la cual correspondió a la dieta 5 de cada formulación.

**CUADRO 2. Contenido de materias primas marinas y vegetales en la formulaciones 30/43 y 30/40.**

Etapa I				
Formulación	Tratamiento	% Harina de pescado	% aceite marino	% aceite vegetal
30 /43	D1	20-25	100	0
30 /43	D2	20-25	80	20
30 /43	D3	20-25	60	40
30 /43	D4	20-25	40	60
30 /43	D5 (control)	40-45	100	0
30 /43	D6	40-45	80	20
30 /43	D7	40-45	60	40
30 /43	D8	40-45	40	60
Etapa II				
Formulación	Tratamiento	% Harina de Pescado	% aceite marino	% aceite vegetal
30 /40	D1	20-25	100	0
30 /40	D2	20-25	80	20
30 /40	D3	20-25	60	40
30 /40	D4	20-25	40	60
30 /40	D5 (control)	40-45	100	0
30 /40	D6	40-45	80	20
30 /40	D7	40-45	60	40
30 /40	D8	40-45	40	60

**3.2.2 Cultivo de peces.** Los peces fueron cultivados en el centro de cultivo perteneciente a CETECSAL, ubicado en Liucura; Isla Lemuy, X Región. La fecha de inicio del ensayo fue el 25 de Marzo del 2002, con una cantidad de 12.000 peces de un peso inicial de 100 gramos donde se mantuvieron en una misma jaula hasta duplicar su peso, luego del cual se distribuyeron uniformemente en 24 jaulas hasta los 400 gramos de peso aproximadamente con un mismo régimen de alimentación.

**3.2.3 Características de los tratamientos.** A partir de las 24 jaulas, se formaron grupos triplicados de salmones, dispuestos al azar, los cuales fueron alimentados con ocho dietas distintas a partir de una misma formulación, utilizada para la alimentación del pez en cada etapa de desarrollo. En el CUADRO 3 se puede apreciar el diseño experimental.

**3.2.3.1 Primera etapa.** Cada grupo triplicado de peces fue alimentado con una de las ocho dietas de la formulación 30/43 (lípidos/proteínas). El peso inicial de los peces al comenzar esta etapa fue de 400 gramos aproximadamente y duró hasta la obtención de la duplicación de su peso (800-900 gramos) en los peces de la dieta control (dieta 5).

**3.2.3.2 Segunda etapa.** Cada grupo triplicado de peces fue alimentado con una de las ocho dietas de la formulación 30/40 (lípidos/proteínas). El peso inicial de los peces al comenzar esta etapa fue de 800-900 gramos aproximadamente y duró hasta la obtención de la duplicación de su peso (1800 –1900 gramos) en los peces de la dieta control (dieta 5).

### **3.3 Metodología**

La metodología seguida fue realizada de igual forma par las dos etapas en estudio.

**CUADRO 3. Diseño experimental.**

Jaula 14 Dieta 8	Jaula 13 Dieta 4	Jaula 2 Dieta 3	Jaula 1 Dieta 2
Jaula 16 Dieta 6	Jaula 15 Dieta 1	Jaula 4 Dieta 6	Jaula 3 Dieta 5
Jaula 18 Dieta 8	Jaula 17 Dieta 4	Jaula 6 Dieta 7	Jaula 5 Dieta 3
Jaula 20 Dieta 5	Jaula 19 Dieta 2	Jaula 8 Dieta 1	Jaula 7 Dieta 4
Jaula 22 Dieta 7	Jaula 21 Dieta 6	Jaula 10 Dieta 3	Jaula 9 Dieta 7
Jaula 24 Dieta 5	Jaula 23 Dieta 1	Jaula 12 Dieta 8	Jaula 11 Dieta 2

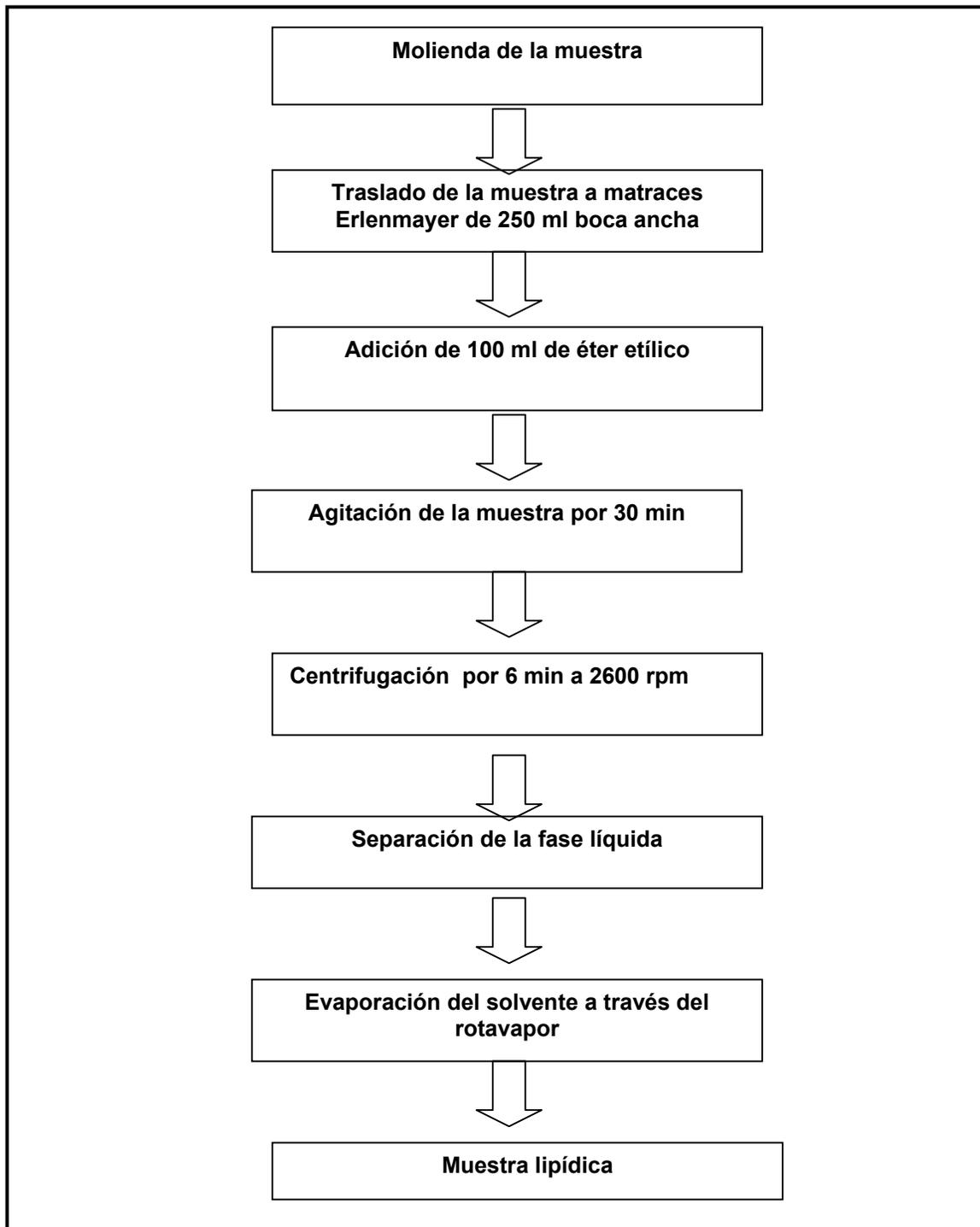
**3.3.1 Obtención de las muestras.** Las muestras de alimentos fueron obtenidas al inicio de la alimentación de los peces con las distintas formulaciones. Las muestras de músculos de salmones fueron obtenidas al finalizar cada etapa de alimentación a partir de diez salmones tomados de cada jaula en forma aleatoria, los cuales fueron eviscerados y fileteado, obteniendo filetes *trim E*, es decir, filete sin piel, sin espinas y grasa peritoneal.

**3.3.2 Análisis proximales.** El laboratorio CETECSAL S.A Castro X Región realizó a los alimentos proporcionados a los peces y a los músculos alimentados con las distintas dietas, los análisis de humedad por el método de gravimétrico (MATISSEK, 1992), análisis de cenizas por el método de determinación de cenizas totales (MATISSEK, 1992), análisis de lípidos totales por el método de extracción directa de Soxhlet y extracción por tratamiento ácido (MATISSEK, 1992) y determinación del contenido protéico total por la determinación de nitrógeno por el método Kjeldahl (MATISSEK, 1992).

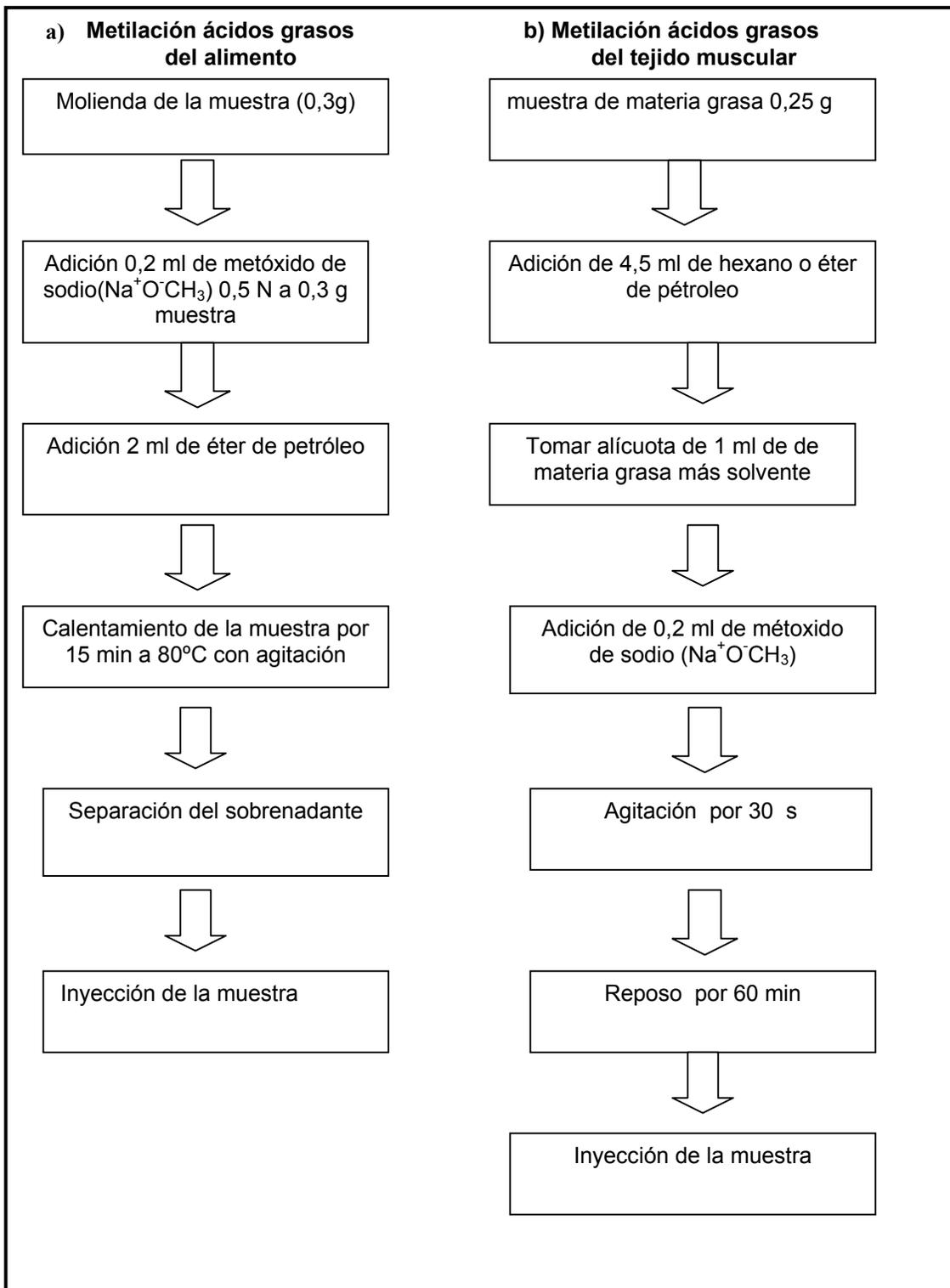
**3.3.3 Obtención de materia grasa.** Los filetes *trim E* de salmones, fueron sometidos a extracción en frío de la materia grasa, para la cual se utilizó éter etílico (punto de ebullición 34°C). La extracción de la materia grasa se detalla en la FIGURA 2.

**3.3.4 Preparación de los ésteres metílicos.** En el análisis de los ácidos grasos las muestras de alimentos fueron metiladas directamente según el método usado por CANTELLOPS *et al.*, (1999) para la determinación de lípidos en fórmulas para infantes. En la FIGURA 3(a) se ve el esquema de metilación directa del alimento. Para el análisis de los ácidos grasos del músculo del salmón fue metilada la materia grasa extraída de éstos por el método propuesto por CANTELLOPS *et al.*, (1999) para productos infantiles con mayor porcentaje de agua. En la FIGURA 3 (b) se puede ver el esquema de metilación del músculo de salmón.

**3.3.5 Análisis por cromatografía de gas líquido.** El análisis para la determinación de los ácidos grasos del alimento y el tejido muscular se realizó en un equipo cromatográfico de gases Perkin – Elmer con un detector de ionización de llama (FID) a 260°C. Las condiciones del análisis cromatográfico se muestran en el CUADRO 4.



**FIGURA 2.** Esquema de extracción en frío de la materia grasa.



**FIGURA 3 (a) Esquema de metilación directa del alimento  
(b) Esquema de metilación del músculo de salmón.**

**CUADRO 4. Condiciones del cromatógrafo.**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>COLUMNA</b>	Capilar de sílice fundida 30m x 0,53mm x 0,5 µl
<b>FASE ESTACIONARIA</b>	Omega / Wax
<b>TEMPERATURAS</b>	
Horno inicial	60°C
Tiempo inicial	2 min
Incremento	6°C/min
Temperatura final	250°C
Tiempo final	26,5 min
Inyector	250°C
Detector	300°C
<b>DURACIÓN TOTAL</b>	60 minutos
<b>GAS DE ARRASTRE</b>	Nitrógeno
<b>FLUJO DEL GAS</b>	20 ml/min
<b>VOLÚMEN DE INYECCION</b>	0,3µl
<b>MODO DE INYECCION</b>	Manual
<b>DETECTOR</b>	FID

El cromatógrafo se estandarizó para el reporte de 21 peaks de ácidos grasos los cuales se nombran en el CUADRO 5.

**CUADRO 5 . Ácidos grasos a identificar.**

<b>Acido graso</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Acido graso</b>	<b>Nombre común</b>
MeC 12:0	Láurico	MeC17:1	cis10heptadecenoico
MeC14:0	Mirístico	MeC18:1n-9	Oleico
MeC 15:0	Pentadecanoico	MeC22:1n-9	Erúcido
MeC 16:0	Palmítico	MeC18:2 n- 6	Linoleico
MeC 17:0	Heptadecaenoico	MeC 20:4n-6	Araquidónico
MeC 18:0	Araquídico	MeC18:3 n-3	Linolénico
MeC20:0	Eicosanoico	MeC18:4n-3	Octadecatetraenoico
MeC22:0	Behénico	MeC 20:4n-3	Eicosatetraenoico
MeC24:0	Lignocérico	MeC20:5 n-3	Eicosapentaenoico
MeC15:1	cis10pentadecenoico	MeC22:6n-3	Docosahexaenoico
MeC16:1 n-7	Palmitoleico		

**3.4 Cálculos y análisis estadísticos.** Para el cálculo del factor de conversión de alimento, se utiliza la ecuación 1, en la cual se toma como variable, la cantidad de alimento suministrado y los incrementos de peso ganado.

$$FCR = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrados en x periodo}}{\text{Incremento del peso de la poblacion en x periodo}} \quad (\text{Ec. 1})$$

La tasa de crecimiento GF3 acumulado, que indica principalmente el tiempo en que el pez demora en crecer, fueron calculados para cada etapa a partir de la ecuación 2 propuesta por ASGARD<sup>4</sup>, donde se toma en cuenta el peso inicial al comienzo del ensayo con el peso final de cada etapa, en relación a las Unidades Térmicas Acumuladas (Temperatura °C x N° de días), la cual es muy importante, ya que los peces son especies poiquiloterms, lo que quiere decir que la temperatura corporal de ellos dependerá del medio donde vivan y crecerán en función de esta temperatura.

$$GF3 = \frac{W_f^{1/3} - W_i^{1/3}}{UTM} \times 1000 \quad (\text{Ec. 2})$$

donde:

Wf = peso final

Wi = peso inicial (del inicio de la primera etapa del ensayo)

UTM = Unida Térmica Acumulada

Los resultados obtenidos en porcentaje p/p de ésteres metílicos de los análisis cromatográficos fueron transformados para su análisis estadístico con la función arcoseno de la raíz cuadrada de la fracción del resultado. Proponiéndose a realizar.

---

<sup>4</sup> Comunicación personal Torbjon Asgard AKVAFORSK Sunndalsora Noruega.

- Diseño multifactorial de dos factores categóricos, lípidos (4 niveles) y proteínas (2 niveles) ( $4^1 \times 2^1$ ) en cada etapa.
- Diseño factorial simple de un sólo factor, formulación (8 niveles) ( $8^1$ ) en cada etapa.

A partir de estos análisis se evaluó el contenido de ácidos grasos saturados, ácido linoleico; ácido araquidónico (AA); ácido  $\alpha$ -linolénico; ácido eicosapentaenoico (EPA); ácido docosahexaenoico (DHA); dando mayor énfasis al total de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 su relación y la relación de los ácidos grasos esenciales AA/EPA; AA/DHA y EPA/DHA, en los salmones.

Se analizó las distintas formulaciones a través de un análisis de varianza, con un nivel de confianza de un 95% y test múltiple rango de Tuckey para ver si existían diferencias estadísticamente significativas entre las dietas modificadas y la dieta control.

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados que se muestran en este capítulo, se obtuvieron a partir del análisis de dos etapas de crecimiento de los peces. En conjunto estas dos etapas conforman un periodo de 3 meses, luego de las cuales el salmón llega a su fase final, duplicando el peso obtenido en la etapa dos hasta su peso final de desarrollo.

### 4.1 Dietas experimentales

Las dietas fueron analizadas al comienzo de cada etapa de alimentación estudiada, con el fin de tener sus resultados como antecedentes para finalmente analizar los músculos de los salmones alimentados.

**4.1.1 Datos proximales de las dietas.** La composición proximal de las dietas, se muestran en los CUADROS 6 y 7, acá se observa la característica isocalórica e isoprotéica de éstas. Estos datos fueron obtenidos con el objetivo de tenerlos como referencia, pero no se les aplicó análisis estadístico.

**4.1.2 Ácidos grasos de las dietas experimentales.** Los datos de composición del perfil de ácidos grasos de las dietas fueron obtenidos al comienzo de cada etapa. La composición de las dietas de las formulaciones 30/43 y 30/40, refleja la composición de los aceites y grasas que componen los niveles de lípidos establecidos en los distintos tratamientos. En los CUADROS 8 y 9 se observan los resultados del perfil de ácidos grasos totales de las dietas, expresados en %p/p de ésteres metílicos los cuales se presentan en los cuadros según orden de elusión en el análisis cromatográfico.

**CUADRO 6. Composición proximal de las dietas de la formulación 30/43.**

	[Unidad]	D1	D2	D3	D4	D5*	D6	D7	D8
<b>Humedad</b>	%(g/100)	6,8	6,4	6,5	6,6	4,1	5,1	6,2	6,2
<b>Cenizas</b>	%(g/100)	6,9	6,5	6,7	6,6	7,9	7,7	7,7	7,7
<b>Lípidos Soxhlet</b>	%(g/100)	27,4	27,4	27,8	26,5	27,9	28,1	27,7	27,0
<b>Lípidos Hidrólisis</b>	%(g/100)	29,4	29,6	29,4	28,0	29,9	30,1	29,4	28,6
<b>Proteínas</b>	%N*6,25	44,8	43,7	43,3	44,0	45,5	44,7	42,9	45,9

D5= dieta control

**CUADRO 7. Composición proximal de las dietas de la formulación 30/40.**

	[Unidad]	D1	D2	D3	D4	D5*	D6	D7	D8
<b>Humedad</b>	%(g/100)	8,7	8,5	8,5	8,3	5,7	7,1	7,4	7,4
<b>Cenizas</b>	%(g/100)	6,2	6,1	6,1	6,1	6,9	7,0	7,0	6,6
<b>Lípidos Soxhlet</b>	%(g/100)	27,3	27,5	26,4	27,6	29,6	30,0	29,5	29,3
<b>Lípidos Hidrólisis</b>	%(g/100)	29,4	29,7	28,3	29,8	31,7	32,2	31,4	31,3
<b>Proteínas</b>	%N*6,25	38,0	37,3	37,6	37,6	41,7	40,1	40,4	41,1

D5= dieta control

La presencia de ácido  $\alpha$ -linolénico aumenta con un mayor contenido de materia prima vegetal, esto debido a que las materias primas vegetales, especialmente el aceite de soya, contiene 7-8% de este ácido graso en su composición lipídica (MASSON y MELLA, 1985).

Los ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 presentan un comportamiento inverso, al aumentar el contenido de materia prima vegetal los ácidos grasos  $\omega$ -6 aumentan y el contenido de ácidos grasos  $\omega$ -3 disminuye, esto se debe a que el contenido de ácido linoleico (18:2 n-6) principal componente de los ácidos grasos de la serie  $\omega$ -6 aumenta y el ácido eicosapentaenoico 20:5 n-3

EPA) y ácido docosahexaenoico 22:6 n-3 (DHA), mayores componentes de los ácidos grasos de la serie  $\omega$ -3, disminuye. Por lo cual, la relación de los ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3/ $\omega$ -6, es menor en las dietas con mayor contenido de materia prima vegetal.

**CUADRO 8. Composición de ácidos grasos de las dietas de la formulación 30/43.**

Acidos grasos	D1	D2	D3	D4	D5(control)	D6	D7	D8
MeC12:0	0,11	0,06	0,09	0,07	0,09	0,10	0,06	0,06
MeC14:0	7,39	5,99	4,36	4,86	7,13	6,37	4,74	3,80
MeC15:0	0,64	0,52	0,17	0,44	0,64	0,58	0,45	0,28
MeC16:0	21,19	18,80	16,95	18,23	21,11	20,06	18,12	17,05
MeC17:0	1,89	1,44	1,16	1,33	1,84	1,58	1,29	1,02
MeC18:0	4,92	4,74	5,40	5,11	5,25	5,19	5,30	5,29
MeC20:0	1,73	1,57	1,38	1,47	1,83	1,50	1,45	0,83
MeC22:0	1,14	0,63	0,56	0,65	0,85	0,71	0,54	0,41
MeC24:0	1,68	1,24	1,21	1,23	1,46	1,31	1,05	0,83
<b>ac.grasos saturados</b>	<b>40,68</b>	<b>35,00</b>	<b>31,28</b>	<b>33,40</b>	<b>40,20</b>	<b>37,40</b>	<b>32,98</b>	<b>29,57</b>
MeC15:1	0,10	0,09	0,06	0,07	0,11	0,07	0,06	0,15
MeC16:1n-7	7,10	5,86	4,48	4,96	7,17	6,23	4,98	3,96
MeC17:1	1,09	0,94	0,36	0,38	0,62	0,51	0,46	0,36
MeC18:1n-9	16,24	17,34	19,06	18,83	16,52	17,44	18,46	19,70
MeC22:1	1,25	1,08	0,95	1,01	1,32	1,03	0,89	0,63
<b>ac.grasos monoinsaturados</b>	<b>25,79</b>	<b>25,31</b>	<b>24,91</b>	<b>25,25</b>	<b>25,74</b>	<b>25,28</b>	<b>24,86</b>	<b>24,80</b>
MeC18:2 n-6	5,66	12,60	19,63	24,82	4,38	11,70	18,87	26,16
MeC20:4n-6	0,66	0,60	0,49	0,48	0,74	0,57	0,52	0,39
<b>total n-6</b>	<b>6,32</b>	<b>13,20</b>	<b>20,12</b>	<b>25,30</b>	<b>5,11</b>	<b>12,27</b>	<b>19,39</b>	<b>26,55</b>
MeC18:3n-3	0,96	1,89	3,04	2,54	0,96	1,70	2,69	3,67
MeC18:4n-3	2,10	1,87	1,44	1,49	2,08	1,73	1,44	1,14
MeC20:5n-3	6,86	5,57	4,07	5,13	6,65	5,89	5,33	3,88
MeC22:6 n-3	7,44	7,22	6,99	6,22	8,20	7,50	6,53	5,54
<b>total n-3</b>	<b>17,96</b>	<b>16,56</b>	<b>15,53</b>	<b>15,37</b>	<b>17,89</b>	<b>16,82</b>	<b>15,99</b>	<b>14,23</b>
<b>ac.grasos poliinsaturados</b>	<b>24,28</b>	<b>29,76</b>	<b>35,65</b>	<b>40,68</b>	<b>23,01</b>	<b>29,09</b>	<b>35,39</b>	<b>40,8</b>
n3/n6	2,85	1,25	0,77	0,62	3,50	1,37	0,82	0,54
AA/EPA	0,16	0,09	0,12	0,09	0,11	0,10	0,10	0,1
AA/DHA	0,09	0,08	0,07	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07
EPA/DHA	0,56	0,87	0,58	0,87	0,82	0,78	0,82	0,7

**CUADRO 9. Composición de ácidos grasos de las dietas de la formulación 30/40.**

Acidos grasos	D1	D2	D3	D4	D5(control)	D6	D7	D8
MeC12:0	0,06	0,00	0,05	0,00	0,09	0,07	0,05	0,05
MeC14:0	5,95	5,78	4,35	3,55	7,34	6,25	0,10	4,05
MeC15:0	0,59	0,38	13,68	0,39	0,62	0,44	6,98	0,41
MeC16:0	15,71	16,51	1,03	12,83	17,44	17,49	1,08	14,08
MeC17:0	1,39	1,25	1,00	0,96	1,14	1,33	1,65	0,93
MeC18:0	4,45	4,26	4,21	4,41	4,17	4,26	1,08	4,20
MeC20:0	2,69	2,35	2,36	2,28	2,51	1,71	16,65	2,34
MeC22:0	0,92	0,44	0,76	0,67	0,59	0,41	0,54	0,61
MeC24:0	1,41	1,32	1,04	1,14	1,27	1,28	2,48	0,60
<b>ac.grasos saturados</b>	<b>33,18</b>	<b>32,29</b>	<b>28,46</b>	<b>26,23</b>	<b>35,17</b>	<b>33,24</b>	<b>30,62</b>	<b>27,26</b>
MeC15:1	0,13	0,07	0,08	4,30	0,08	0,08	0,10	0,03
MeC16:1n-7	6,73	6,76	5,11	4,30	8,04	7,24	6,98	4,94
MeC17:1	1,27	1,03	0,99	0,89	1,21	1,07	1,08	0,91
MeC18:1n-9	16,92	17,97	16,97	16,98	16,15	17,75	16,65	18,34
MeC20:1	0,30	0,23	0,24	0,28	0,25	0,12	0,54	0,64
MeC22:1	3,23	2,74	2,49	2,30	2,69	2,27	2,48	2,27
<b>ac.grasos monoinsaturados</b>	<b>28,58</b>	<b>28,80</b>	<b>25,89</b>	<b>29,06</b>	<b>28,42</b>	<b>28,53</b>	<b>27,83</b>	<b>27,12</b>
MeC18:2 n-6	5,78	14,00	20,33	24,46	4,81	13,23	17,59	23,21
MeC20:4n-6	0,51	0,46	0,77	0,57	0,55	0,48	0,42	0,42
<b>total n-6</b>	<b>6,29</b>	<b>14,45</b>	<b>21,10</b>	<b>25,03</b>	<b>5,36</b>	<b>13,71</b>	<b>18,02</b>	<b>23,63</b>
MeC18:3n-3	1,70	2,32	3,72	3,69	1,46	1,95	2,90	4,57
MeC18:4n-3	2,42	1,97	1,97	1,87	2,45	1,73	1,91	1,87
MeC20:5n-3	5,37	5,85	4,80	3,51	5,26	4,77	3,09	3,04
MeC22:6 n-3	7,75	6,24	6,44	5,97	7,47	7,44	4,97	4,12
<b>total n-3</b>	<b>17,25</b>	<b>16,38</b>	<b>16,93</b>	<b>15,04</b>	<b>16,64</b>	<b>15,90</b>	<b>12,88</b>	<b>13,60</b>
<b>ac.grasos poliinsaturados</b>	<b>23,54</b>	<b>30,84</b>	<b>38,03</b>	<b>40,07</b>	<b>22,00</b>	<b>29,60</b>	<b>30,89</b>	<b>37,23</b>
n3/n6	2,74	1,13	0,80	0,60	3,10	1,16	0,71	0,58
AA/EPA	0,09	0,08	0,16	0,16	0,11	0,10	0,14	0,14
AA/DHA	0,07	0,07	0,12	0,09	0,07	0,06	0,09	0,10
EPA/DHA	0,69	0,94	0,74	0,59	0,70	0,64	0,62	0,74

**4.1.3 Eficiencia de alimentación y crecimiento.** Los análisis fueron divididos en dos etapas. La primera etapa tuvo una duración de 55 días y 629,59 UTM (Unidades Térmicas Acumulada), desde que los peces empezaron a ser alimentados con la fórmula 30/43 con un peso promedio inicial de 402 +/- 25,7

gramos hasta un peso final promedio de 913+/- 48,7 gramos. La segunda etapa duró 96 días y 998,40 UTM (Unidades Térmicas Acumulada), desde el comienzo de alimentación de los peces con la formulación 30/40 con un peso promedio inicial 913 +/- 48,7 gramos hasta un peso final promedio de 1817+/- 82,7 gramos. En el CUADRO 10 y 11 se muestran los datos de conversión de alimento y tasas de crecimiento acumulados de los salmones estudiados, con sus respectivos promedios y desviación estándar en cada tratamiento de las distintas etapas.

Los datos FCR se refieren a la tasa de conversión de alimento, la cual indica los kilos de alimentos necesarios para obtener un kilo de peso en el pez. Mientras más bajo este factor mejor es la conversión del alimento por parte del salmón. Los datos de conversión de alimento analizados estadísticamente no presentan diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos en ninguna de las dos etapas.

**CUADRO 10. Datos de crecimiento y conversión de alimento de la formulación 30/43.**

Dietas	FCR	GF3 acumulado
1	1,0+/-0,1	3,6+/-0.4
2	1,1+/-0,1	3,6+/-0.3
3	1,0+/-0,1	3,6+/-0.1
4	1,0+/-0,1	3,9+/-0.3
5	1,0+/-0,1	3,6+/-0.3
6	1,0+/-0,0	3,6+/-0.1
7	1,0+/-0,0	3,7+/-0.1
8	1,0+/-0,0	3,9+/-0.1

Esto coincide con resultados similares en estudios realizados en dietas con aceites de soya y canola en salmón Coho DOSANJH *et al.* (1984); trucha

arcoiris GREENE y SELIVONCHICK (1990) ,trucha café ARZEL *et al.*, (1994) y salmón Atlántico HARDY *et al.* (1987); THOMASSEN y ROSJO (1989) ; POLVI y ACKMAN (1992) y KOSCHIO *et al.*, (1994), en los cuales los valores de FCR no presenta diferencia significativa entre los tratamientos.

**CUADRO 11. Datos de crecimiento y conversión de alimento de la formulación 30/40.**

Dietas	FCR	GF3 Acumulado
1	1,2+/-0,1	3,0+/-0.1
2	1,3+/-0,1	2,9+/-0.1
3	1,4+/-0,3	2,8+/-0.2
4	1,2+/-0,2	3,1+/-0.1
5	1,1+/-0,0	2,9+/-0.1
6	1,1+/-0,0	3,0+/-0.1
7	1,2+/-0,1	3,0+/-0.1
8	1,1+/-0,1	3,0+/-0.2

Las tasas de crecimiento GF3 acumuladas analizadas estadísticamente no presentan diferencia estadísticamente significativa en ninguna de las dos etapas, las tasas de crecimiento no fueron influenciadas por los factores porcentaje de aceite de pescado y porcentaje de harina de pescado.

## 4.2 Músculo de salmón Atlántico

El músculo de los salmones en estudio fue sometido a los siguientes análisis al final de cada etapa de alimentación.

**4.2.1 Análisis generales del músculo.** Los CUADROS 12 y 13 presentan los datos del análisis proximal de los músculos con sus promedios y desviación estándar de cada tratamiento en las distintas etapas.

El porcentaje de humedad es similar a los obtenidos en estudios realizados por BELL *et al.*, (1991); KIESSLING *et al.*, (2001). Se puede ver en estos resultados la ausencia de problemas de retención de agua en los salmones alimentados con las distintas dietas estudiadas, lo cual es un signo de deficiencia de ácidos grasos esenciales, llevando esto a problemas de permeabilidad en las membranas, (CASTELL *et al.*, 1972). Estudios anteriores de aceites vegetales como sustitutos de aceites de pescado en dietas de salmón Atlántico, realizados por HARDY *et al.* (1987), llevaron a discusiones similares, observando que la composición proximal de los salmones no se ve afectada por la fuente lipídica de la dieta.

En ambas etapas (formulación 30/43 y 30/40) sólo el contenido de proteínas presentó diferencia estadísticamente significativa entre sus tratamientos. En la etapa 1 las dietas 3, 4, 6, 7 y 8 y en la etapa 2 las dietas 6, 7 y 8, presentaron resultados similares a los obtenidos en los salmones alimentados con la dieta 5 (dieta control) respectiva en cada etapa. El contenido de proteínas en los alimentos solo fue influenciado por el factor porcentaje harina de pescado, el grupo de salmones alimentados con 40-45 % de harina de pescado en las dietas presentan mayor contenido de proteínas.

**CUADRO 12. Composición proximal de filetes cortes *trim E* de los salmones con las dietas de la formulación 30/43.**

Dietas	% Humedad	% Cenizas	% Lípidos	% Proteínas
1	69,7+/-0,5	1,4+/-0,0	8,3+/-0,5	20,4+/-0,3 <sup>bc</sup>
2	69,6+/-0,9	1,3+/-0,1	8,8+/-0,6	20,2+/-0,2 <sup>c</sup>
3	69,1+/-0,2	1,4+/-0,1	8,5+/-0,3	20,7+/-0,3 <sup>abc</sup>
4	69,5+/-0,4	1,4+/-0,1	7,6+/-0,1	20,6+/-0,5 <sup>abc</sup>
5	69,8+/-0,7	1,5+/-0,2	7,5+/-0,6	21,1+/-0,3 <sup>a</sup>
6	69,8+/-1,0	1,4+/-0,2	7,8+/-0,9	20,9+/-0,2 <sup>a</sup>
7	69,8+/-0,8	1,4+/-0,2	7,7+/-0,9	20,9+/-0,3 <sup>a</sup>
8	68,9+/-0,6	1,6+/-0,1	8,9+/-0,2	20,9+/-0,6 <sup>a</sup>

\*letras distintas indican diferencia estadísticamente significativas al 5% del rango múltiple de Tuckey, entre los salmones alimentados a partir de las diferentes dietas.

**CUADRO 13. Composición proximal de filetes cortes *trim E* de los salmones con las dietas de la formulación 30/40.**

Dietas	% Humedad	% Cenizas	% Lípidos	% Proteínas
1	67,9+/-0,5	1,5+/-0,3	10,2+/-0,3	20,2+/-0,2 <sup>c</sup>
2	68,2+/-0,4	1,8+/-0,2	9,9+/-0,4	20,3+/-0,3 <sup>bc</sup>
3	68,1+/-0,2	1,9+/-0,1	9,5+/-0,3	20,6+/-0,3 <sup>b</sup>
4	67,8+/-0,7	1,7+/-0,1	9,7+/-0,9	20,6+/-0,2 <sup>b</sup>
5	67,6+/-0,7	1,5+/-0,3	9,7+/-0,7	21,4+/-0,3 <sup>a</sup>
6	68,3+/-0,1	1,6+/-0,3	9,1+/-0,1	21,3+/-0,4 <sup>a</sup>
7	67,7+/-0,4	1,6+/-0,3	9,6+/-0,8	21,3+/-0,4 <sup>a</sup>
8	67,8+/-1,3	1,7+/-0,0	9,7+/-1,9	21,0+/-0,3 <sup>a</sup>

\*letras distintas indican diferencia estadísticamente significativas 5% del rango múltiple de Tuckey, entre salmones alimentados a partir de las diferentes dietas.

**4.2.2 Ácidos grasos de los músculos.** Los CUADROS 14 y 15 muestran la composición del perfil de ácidos grasos con sus respectivos promedios y desviación estándar de cada tratamiento en las distintas etapas.

La alteración de la fuente de lípidos con relación a la dieta control en las dos formulaciones estudiadas, reflejó diferencias en el perfil de ácidos grasos saturados de los diferentes grupos de salmón correspondientes a las distintas dietas experimentales y la dieta control. En ambas etapas (formulación 30/43 y 30/40) todas las dietas difieren de la dieta 5 (dieta control). El análisis multifactorial muestra al estudiar ambos casos (formulación 30/43 y 30/40) que no hubo interacción entre los factores y que solo el porcentaje de aceite de pescado influyó sobre el contenido de ácidos grasos saturados.

La FIGURA 4 muestra el total de ácidos grasos saturados en los músculos de los salmones estudiados en ambas etapas. La concentración de ácidos grasos saturados en los músculos varió de acuerdo al contenido de materia prima vegetal.

**CUADRO 14. Concentración (%p/p de ésteres metílicos) de ácidos grasos en los tejidos del músculo de salmón Atlántico alimentados con diferentes tratamientos de la formulación 30/43.**

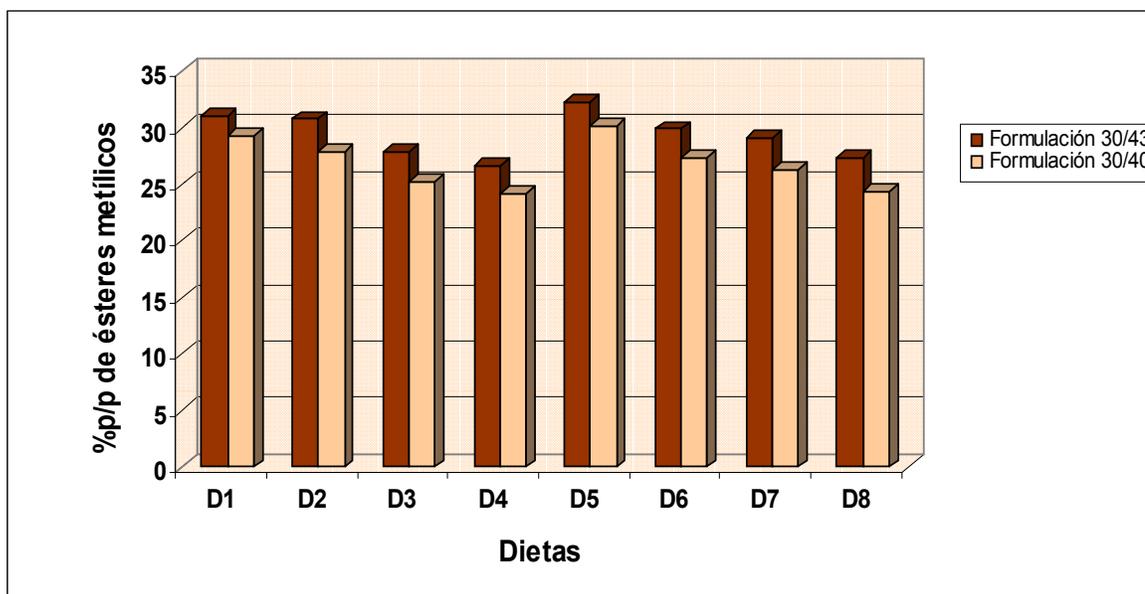
Acidos grasos	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
$\Sigma$ saturados	31,1+/-2 <sup>b</sup>	30,8+/-2,2 <sup>bc</sup>	27,9+/-2,2 <sup>e</sup>	26,6+/-1,2 <sup>f</sup>	32,3+/-2,5 <sup>a</sup>	29,9+/-1,8 <sup>cd</sup>	29,1+/-1,7 <sup>d</sup>	27,4+/-1,9 <sup>ef</sup>
$\Sigma$ monoinsaturados	27,1+/-1,6 <sup>a</sup>	28,9+/-1,7 <sup>a</sup>	27,9+/-1,7 <sup>b</sup>	26,85+/-1,3 <sup>b</sup>	29,0+/-1,0 <sup>a</sup>	27,0+/-1,7 <sup>b</sup>	27,5+/-0,5 <sup>b</sup>	28,0+/-1,0 <sup>b</sup>
MeC18:2n-6	6,2+/-1,1 <sup>f</sup>	11,2+/-1,3 <sup>d</sup>	17,5+/-1,9 <sup>c</sup>	21,6+/-2,0 <sup>a</sup>	5,7+/-3,6 <sup>g</sup>	9,6+/-1,0 <sup>e</sup>	16,8+/-1,3 <sup>e</sup>	19,9+/-1,7 <sup>b</sup>
MeC20:4n-6	0,8+/-0,2 <sup>a</sup>	0,4+/-0,2 <sup>b</sup>	0,6+/-0,1 <sup>b</sup>	0,6+/-0,1 <sup>b</sup>	0,8+/-0,1 <sup>a</sup>	0,8+/-0,1 <sup>a</sup>	0,6+/-0,1 <sup>b</sup>	0,6+/-0,1 <sup>b</sup>
$\Sigma$ $\omega$ -6	7,0+/-1,2 <sup>f</sup>	11,8+/-1,4 <sup>d</sup>	18,1+/-1,81 <sup>c</sup>	22,2+/-2,0 <sup>a</sup>	6,5+/-3,5 <sup>g</sup>	10,8+/-1,0 <sup>e</sup>	17,4+/-1,3 <sup>c</sup>	20,5+/-1,7 <sup>b</sup>
MeC18:3n-3	1,9+/-0,6 <sup>d</sup>	2,3+/-0,4 <sup>c</sup>	2,9+/-0,3 <sup>b</sup>	3,5+/-0,4 <sup>a</sup>	1,7+/-0,6 <sup>d</sup>	2,3+/-0,4 <sup>c</sup>	2,9+/-0,3 <sup>b</sup>	3,4+/-0,4 <sup>a</sup>
MeC20:5n-3	5,6+/-1,1 <sup>ab</sup>	5,0+/-0,7 <sup>c</sup>	4,5+/-0,5 <sup>d</sup>	3,5+/-0,6 <sup>f</sup>	5,9+/-1,0 <sup>a</sup>	5,5+/-0,6 <sup>b</sup>	4,6+/-0,5 <sup>d</sup>	3,9+/-0,4 <sup>e</sup>
MeC22:6n-3	9,1+/-1,7 <sup>a</sup>	8,2+/-1,9 <sup>b</sup>	7,6+/-1,2 <sup>b</sup>	5,7+/-1,2 <sup>d</sup>	9,7/-2,3 <sup>a</sup>	9,6/-1,6 <sup>a</sup>	7,6+/-1,2 <sup>b</sup>	6,5+/-1,0 <sup>c</sup>
$\Sigma$ $\omega$ -3	18,0+/-2,0 <sup>a</sup>	16,8/-2,4 <sup>b</sup>	16,2/-1,4 <sup>b</sup>	13,8/-1,5 <sup>d</sup>	18,8/-2,5 <sup>a</sup>	18,7+/-1,7 <sup>a</sup>	16,3+/-1,4 <sup>b</sup>	14,9+/-1,1 <sup>c</sup>
$\Sigma$ poliinsaturados	25,0+/-0,2 <sup>e</sup>	28,5/-3,1 <sup>d</sup>	34,3+/-2,5 <sup>bc</sup>	36,0+/-2,3 <sup>a</sup>	25,3/-3,0 <sup>e</sup>	29,1/-2,1 <sup>d</sup>	33,7+/-1,8 <sup>c</sup>	35,5+/-1,8 <sup>ab</sup>
$\omega$ -3/ $\omega$ -6	2,6/-0,5 <sup>b</sup>	1,4+/-0,2 <sup>d</sup>	0,9+/-0,1 <sup>e</sup>	0,6+/-0,1 <sup>f</sup>	3,2+/-0,9 <sup>a</sup>	1,8+/-0,2 <sup>c</sup>	0,9+/-0,1 <sup>e</sup>	0,7+/-0,1 <sup>f</sup>
AA/EPA	0,15+/-0,12ab	0,12+/-0,03c	0,14+/-0,03bc	0,16+/-0,04a	0,13+/-0,03bc	0,14+/-0,03ab	0,13+/-0,03bc	0,15+/-0,04ab
AA/DHA	0,09+/-0,03b	0,07+/-0,02c	0,08+/-0,02bc	0,10+/-0,02a	0,08+/-0,02bc	0,08+/-0,02bc	0,08+/-0,02bc	0,09+/-0,02ab
EPA/DHA	0,66+/-0,10	0,63+/-0,13	0,60+/-0,11	0,63+/-0,16	0,63+/-0,11	0,58+/-0,10	0,61+/-0,07	0,62+/-0,10

\*letras distintas en cada fila indican diferencias estadísticamente significativas al 5% del test de rango múltiple de Tuckey.

**CUADRO 15. Concentración (%p/p de ésteres metílicos) de ácidos grasos en los tejidos del músculo de salmón Atlántico alimentados con diferentes tratamientos de la formulación 30/40.**

Acidos grasos	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
$\Sigma$ saturados	29.3+/-2.3 <sup>b</sup>	27.9+/-2.0 <sup>c</sup>	25.3+/-1.1 <sup>e</sup>	24.2+/-1.5 <sup>f</sup>	30.2+/-1.6 <sup>a</sup>	27.3+/-1.3 <sup>c</sup>	26.3+/-1.1 <sup>d</sup>	24.4+/-1.4 <sup>f</sup>
$\Sigma$ monoinsaturados	30.4+/-2.5	29.9+/-2.6	29.7+/-2.6	29.8+/-1.9	31.2+/-2.4	30.3+/-1.2	29.0+/-0.6	29.7+/-1.3
MeC18:2n-6	8.0+/-1.5 <sup>f</sup>	13.4+/-1.5 <sup>d</sup>	18.0+/-1.7 <sup>c</sup>	22.3+/-1.5 <sup>a</sup>	6.9+/-1.2 <sup>g</sup>	12.4+/-0.8 <sup>e</sup>	18.0+/-1.2 <sup>c</sup>	19.8+/-1.6 <sup>b</sup>
MeC20:4n-6	0.7+/-0.1	0.7+/-0.1	0.6+/-0.1	0.6+/-0.1	0.7+/-0.1	0.6+/-0.1	0.6+/-0.0	0.6+/-0.0
$\Sigma$ $\omega$ -6	8.7+/-1.5 <sup>f</sup>	14.1+/-1.4 <sup>d</sup>	18.7+/-1.6 <sup>c</sup>	22.9+/-1.5 <sup>a</sup>	7.6+/-1.1 <sup>g</sup>	13.0+/-0.8 <sup>e</sup>	18.6+/-1.2 <sup>c</sup>	20.4+/-1.6 <sup>b</sup>
MeC18:3n-3	1.6+/-0.5 <sup>f</sup>	2.6+/-0.7 <sup>d</sup>	3.3+/-0.7 <sup>bc</sup>	4.0+/-0.7 <sup>a</sup>	2.0+/-0.4 <sup>e</sup>	2.8+/-1.0 <sup>d</sup>	2.9+/-0.6 <sup>cd</sup>	3.4+/-1.1 <sup>b</sup>
MeC20:5n-3	6.0+/-1.4 <sup>a</sup>	4.5+/-0.5 <sup>b</sup>	3.7+/-0.5 <sup>d</sup>	3.5+/-0.3 <sup>d</sup>	6.2+/-0.8 <sup>a</sup>	4.6+/-0.4 <sup>b</sup>	4.0+/-0.4 <sup>c</sup>	3.6+/-0.3 <sup>d</sup>
MeC22:6n-3	10.4+/-1.8 <sup>a</sup>	8.2+/-1.0 <sup>b</sup>	6.7+/-0.6 <sup>c</sup>	6.2+/-0.5 <sup>d</sup>	10.6+/-1.6 <sup>a</sup>	8.2+/-0.6 <sup>b</sup>	7.1+/-0.7 <sup>c</sup>	6.2+/-0.5 <sup>d</sup>
$\Sigma$ $\omega$ -3	20,12+/-3.2 <sup>a</sup>	17.4+/-1.7 <sup>b</sup>	15.8+/-1.0 <sup>c</sup>	15.7+/-1.2 <sup>c</sup>	20.6+/-2.4 <sup>a</sup>	17.6+/-1.1 <sup>b</sup>	15.8+/-1.0 <sup>c</sup>	15.0+/-1.1 <sup>c</sup>
$\Sigma$ poliinsaturados	28.8+/-3.8 <sup>d</sup>	31.5+/-2.4 <sup>c</sup>	34.5+/-1.7 <sup>b</sup>	38.7+/-2.2 <sup>a</sup>	28.3+/-2.4 <sup>d</sup>	30.6+/-1.4 <sup>c</sup>	34.4+/-1.6 <sup>b</sup>	35.5+/-2.4 <sup>b</sup>
$\omega$ -3/ $\omega$ -6	2.4+/-0.5 <sup>a</sup>	1.2+/-0.2 <sup>c</sup>	0.9+/-0.1 <sup>d</sup>	0.7+/-0.1 <sup>e</sup>	2.8+/-0.6 <sup>a</sup>	1.4+/-0.1 <sup>b</sup>	0.9+/-0.1 <sup>d</sup>	0.7+/-0.1 <sup>e</sup>
AA/EPA	0.13+/-0.03 e	0.15+/-0.04 cd	0.18+/-0.05 ab	0.17+/-0.03 ab	0.12+/-0.02 e	0.14+/-0.02 d	0.16+/-0.02 bc	0.18+/-0.02 a
AA/DHA	0.07+/-0.01 d	0.9+/-0.02 c	0.10+/-0.02 ab	0.10+/-0.01 b	0.07+/-0.01 d	0.08+/-0.01 c	0.09+/-0.01 b	0.10+/-0.01 a
EPA/DHA	0.58+/-0.09	0.56+/-0.06	0.56+/-0.07	0.56+/-0.03	0.59+/-0.05	0.56+/-0.05	0.57+/-0.05	0.58+/-0.06

\*letras distintas en cada fila indican diferencias estadísticamente significativas al 5% del test de rango múltiple de Tuckey.



**FIGURA 4. Total ácidos grasos saturados en músculo de salmón en la formulación 30/43 y formulación 30/40.**

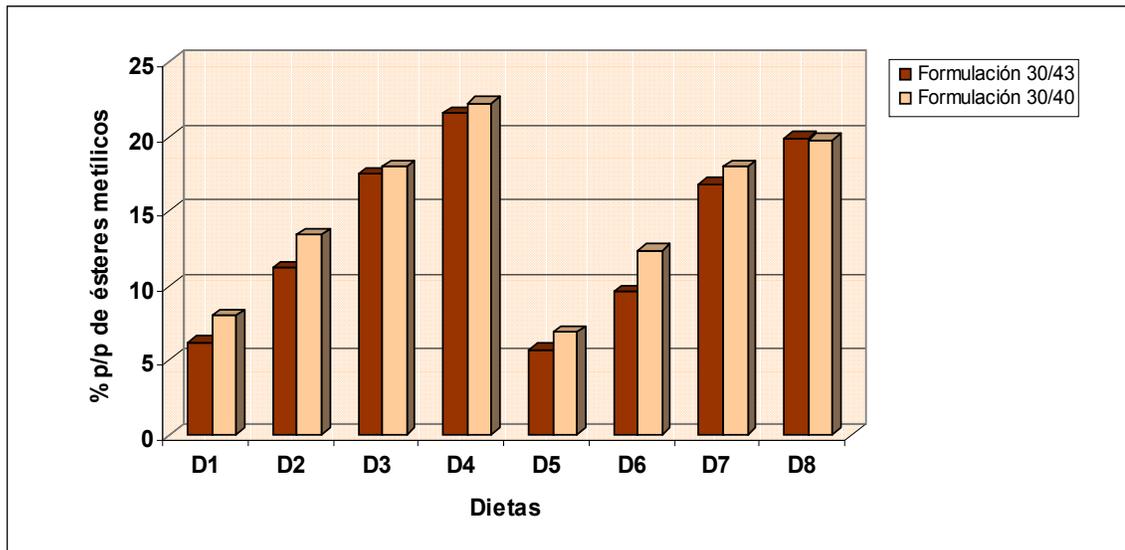
Al aumentar el contenido de aceites vegetales se presentó una disminución de los ácidos grasos saturados, sus valores fluctúan entre 32,3% (salmones alimentados con la dieta 5) y 26,6% (salmones alimentados con la dieta 4) para la etapa 1 (formulación 30/43), y entre 30,2% (salmones alimentados con la dieta 5) y 24,2 % (salmones alimentados con la dieta 4) para la etapa 2 (formulación 30/40). HARDY *et al.*, (1987) obtuvo resultados similares, en peces alimentados con mayor contenido de aceite vegetal (aceite de soya), el contenido de ácidos grasos saturados en sus tejidos disminuyó con relación a la dieta control (100% aceite de pescado)

El contenido de ácidos grasos monoinsaturados en ambas formulaciones (30/43 y 30/40) no presenta diferencia estadísticamente significativa entre los salmones alimentados con las distintas dietas, por lo cual los factores en estudio, porcentaje de aceite de pescado y harina de pescado no influenciaron sobre el contenido de ácidos grasos monoinsaturados en los músculos de los salmones.

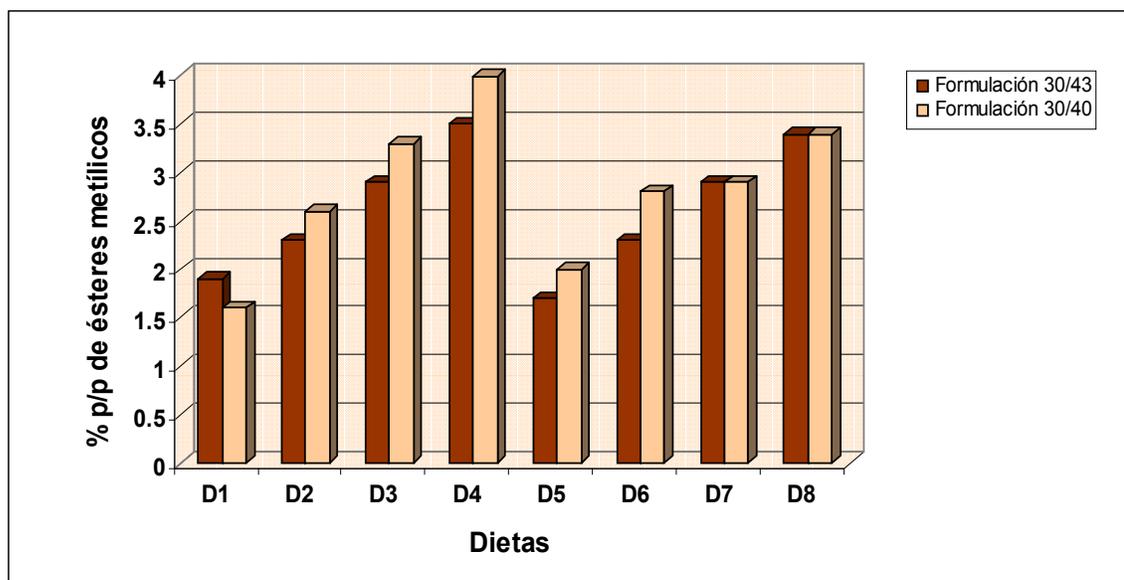
La alteración de la fuente de lípidos con relación al grupo de salmones alimentados con la dieta 5 (dieta control) en las dos formulaciones estudiadas, reflejó diferencias en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados de los diferentes grupos de salmón alimentados a partir de las distintas dietas experimentales y la dieta control en cada etapa. En ambas etapas (formulación 30/43 y 30/40) sólo los salmones alimentados a partir de la dieta 1 son similares en su contenido de ácidos grasos poliinsaturados a los alimentados a partir de la dieta 5 (dieta control).

El contenido de ácidos grasos poliinsaturados en los diversos músculos analizados, esta en función de su respectiva concentración en la dieta, influenciada además por la composición de los lípidos. Esto es particularmente evidente en las dietas de las dos formulaciones estudiadas, las cuales presentan diferencias significativas en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados al aumentar el contenido de materia prima vegetal. Estos resultados están de acuerdo con observaciones similares en estudios realizados por MUGRDITCHIAN *et al.* (1981); HARDY *et al.* (1987); LIE *et al.* (1989); POLVI y ACKMAN (1992); TORTENSSEN *et al.* (2000), BELL *et al.* (2001), los cuales sostienen que los ácidos grasos del tejido muscular son un reflejo de los ácidos grasos ingeridos en la alimentación.

A medida que es mayor el porcentaje de materia prima vegetal hay un aumento de los ácidos grasos poliinsaturados, los valores varían entre 36,0% (salmones alimentados con dieta 4) y 25,0% (salmones alimentados con la dieta 1) en la etapa 1 (formulación 30/43), y entre 38,7% (salmones alimentados con la dieta 4) y 28,3% (salmones alimentados con la dieta 5) en la etapa 2 (formulación 30/40). Esto debido al aumento del ácido linoleico (18:2 n-6) y ácido  $\alpha$ -linolénico (18:3 n-3) y a la disminución del ácido eicosapentaenoico (20:5 n-3) EPA y del ácido docosahexaenoico (22:6 n-3) DHA, lo que se muestra en las FIGURAS 5, 6, 7 y 8.

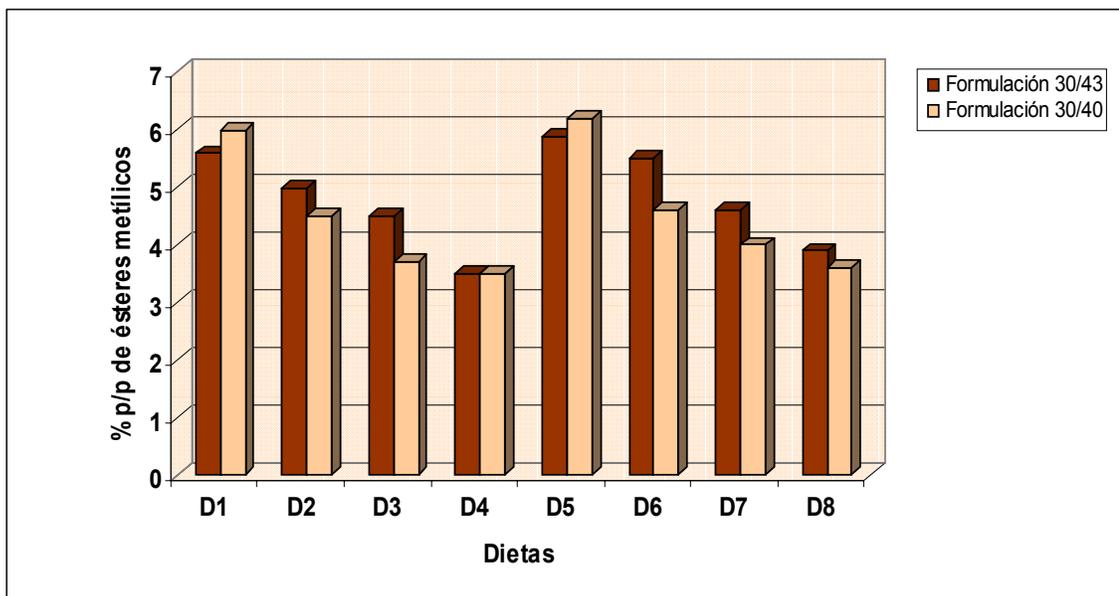


**FIGURA 5.** Total ácido linoleico en músculo de salmón en la formulación 30/43 y formulación 30/40.

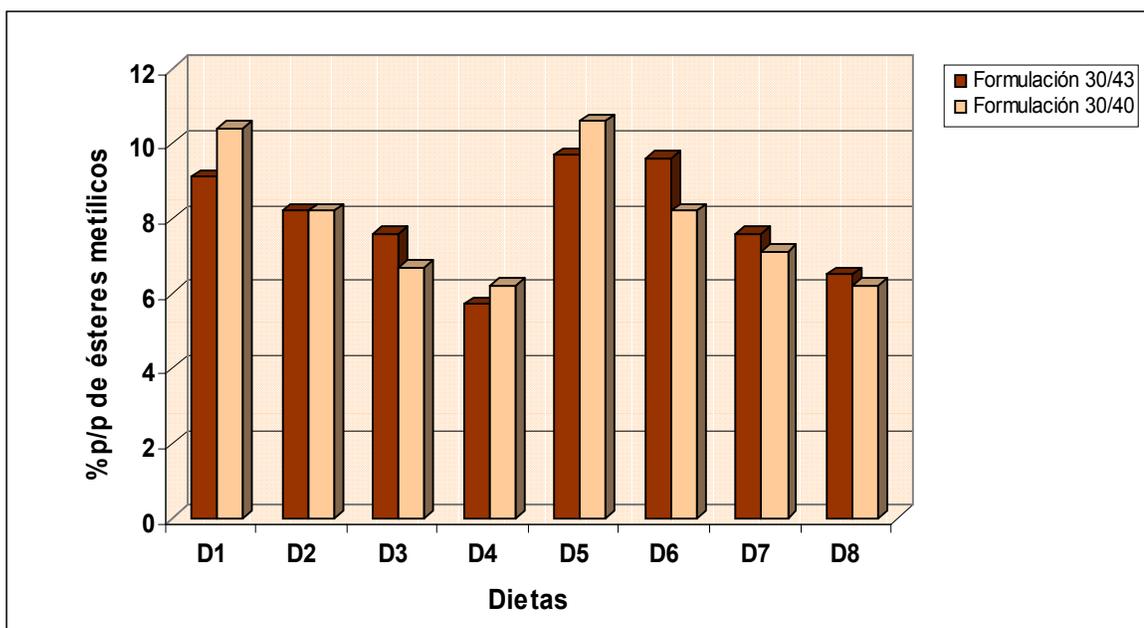


**FIGURA 6.** Total ácido  $\alpha$ -linolénico en músculo de salmón en la formulación 30/43 y formulación 30/40.

Al analizar por separado cada ácido graso nombrado, se confirma lo anteriormente mencionado, cada uno presenta diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de ambas etapas.



**FIGURA 7. Total ácido eicosapentaenoico EPA en músculo de salmón en la formulación 30/43 y formulación 30/40.**



**FIGURA 8. Total ácido docosahexaenoico DHA en músculo de salmón en la formulación 30/43 y formulación 30/40.**

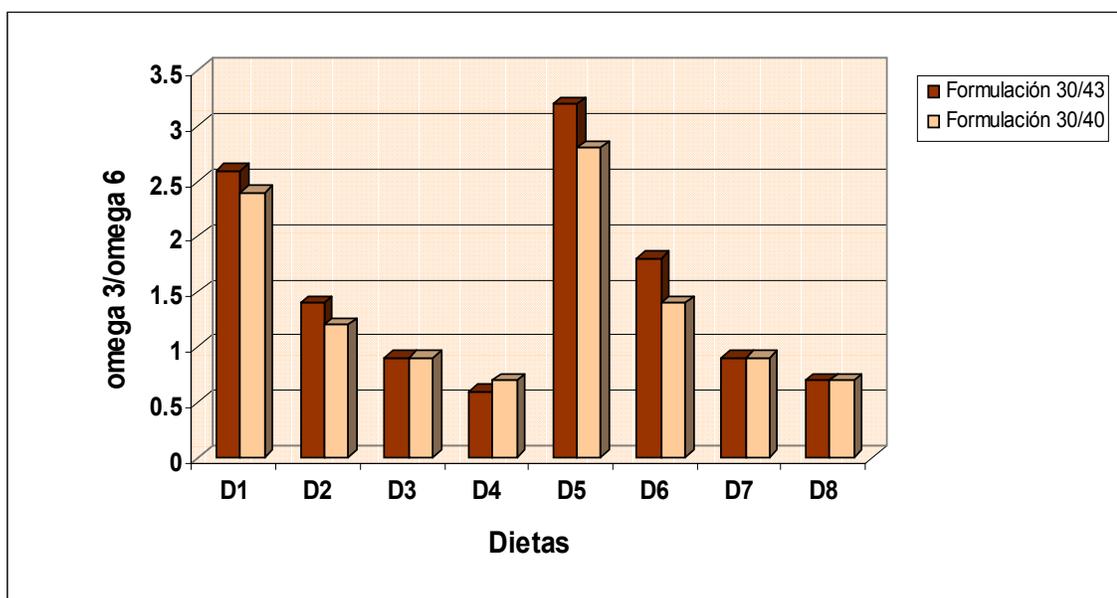
El estudio de los factores porcentaje aceite de pescado y porcentaje harina de pescado sobre el contenido de ácido linoleico, ácido  $\alpha$ -linolénico, EPA y DHA

en los tejidos musculares de los salmones en la etapa 1 (formulación 30/43), da como resultado que el porcentaje de aceite de pescado sea el único factor que influye sobre el contenido de los dos primeros ácidos grasos, en cambio el contenido de EPA y DHA está influenciado por ambos factores. En la etapa 2 (formulación 30/40) el ácido linoleico y el DHA sólo se ven influenciados por el porcentaje de aceite de pescado y el EPA y ácido  $\alpha$ -linolénico por ambos factores. Esta variación de los ácidos grasos poliinsaturados entre tratamientos, se debe a que las materias primas vegetales usadas en las dietas presentan un mayor porcentaje de ácido linoleico y  $\alpha$ -linolénico y ausencia de EPA y DHA en su composición lipídica (MASSON y MELLA, 1985).

Los resultados mencionados anteriormente llevan a presentar diferencias estadísticamente significativas en el contenido total de ácidos grasos  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3, aumentando y disminuyendo respectivamente a medida que aumentaba el porcentaje de inclusión de aceite vegetal, lo cual hace variar la relación entre ellos. Estos resultados son similares a los discutidos por estudios realizados por REINITZ y YU ,(1981); SUZUKI *et al.*,(1986); HARDY *et al.*,(1987), en trucha arcoiris, salmón Atlántico y otras especies de salmonídeos, en el cual el incremento en el porcentaje de dienos y ácidos grasos  $\omega$ -6 en dietas en las cuales se reemplazó el aceite de pescado con aceites vegetales como la soya, se debió principalmente al incremento de niveles de ácido linoleico en sus tejidos.

Al analizar los resultados de la relación  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos en ambas etapas (formulación 30/43 y 30/40) los resultados de la relación de los ácidos grasos  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 en los músculos de los salmones en la etapa 1 y 2 se muestran en la FIGURA 9. En ambas etapas los dos factores influyen sobre la relación de los ácidos grasos  $\omega$ -3/ $\omega$ -6. En la etapa 1 (formulación 30/43) los valores varían

entre 3,2 (salmones alimentados con la dieta 5) y 0,6 (salmones alimentados con la dieta 4), presentando todas las dietas diferencias estadísticamente significativas entre ellas. En la etapa 2 (formulación 30/40) los valores varían entre 2,8 (salmones alimentados con la dieta 5) y 0,7 (salmones alimentados con las dietas 4 y 8), con respecto a la salmones alimentados con la dieta 1 no presentaron diferencias estadísticamente significativa con la dieta 5 (dieta control). THOMASSEN y ROSJO, (1989) obtuvieron en estudios similares con inclusión de aceite de soya, valores entre 0,3 y 1,4 en los salmones atlánticos alimentados con estas dietas y la dieta control (100% aceite de pescado) .



**FIGURA 9 . Relación  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 en músculo de salmón en la formulación 30/43 y formulación 30/40.**

El contenido de ácido araquidónico (AA) presenta sólo diferencia estadísticamente significativa en la etapa 1 (formulación 30/43) en la cual los dos factores, porcentaje de aceite de pescado y porcentaje harina de pescado influyeron sobre el contenido de AA en los músculos de los salmones estudiados, los contenidos varían entre 0,8% (salmones alimentados con las dietas 1, 5 y 6) y 0,4% (salmones alimentados con la dieta 2). En la etapa 2 (formulación 30/40) el contenido de ácido araquidónico no presenta diferencias

estadísticamente significativa entre las dietas. Estudios realizados por BELL *et al.*, (2001) obtuvieron resultados similares en el contenido de AA, y plantean que lo ocurrido puede deberse a la presencia considerable de niveles de ácido  $\alpha$ -linolénico en las materias primas vegetales usadas, las cuales interaccionan con el exceso de ácido linoleico, pudiendo de esta forma bajar la tasa de conversión de él hacia el AA, por una acción competitiva entre los ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 en la cadena de la desaturación y elongación hepática. Sin embargo, requerirían aún estudios más complejos para el total entendimiento de la variación simultánea de los precursores de los ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6,  $\alpha$ -linolénico y ácido linoleico, y sus productos finales AA, EPA y DHA, por efecto de las elongaciones y desaturaciones en los distintos músculos analizados. La relación de ácidos grasos esenciales AA/EPA y AA/DHA presenta diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, debido a la variación del EPA y DHA entre los músculos de los salmones de ambas etapas (formulación 30/43 y 30/40). Sólo el factor porcentaje de aceite de pescado influye sobre las relaciones AA/EPA y AA/DHA en ambas etapas. En la etapa 1 (formulación 30/43) los valores varían entre 0,16 (salmones alimentados con la dieta 4) y 0,12 (salmones alimentados con la dieta 2) para el AA/EPA y 0,10 (salmones alimentados con la dieta 4) y 0,07 (salmones alimentados con la dieta 2) para AA/DHA. En la etapa 2 (formulación 30/40) los valores varían entre 0,18 (salmones alimentados con las dietas 3 y 8) y 0,13 (salmones alimentados con la dieta 1) para AA/EPA y 0,10 (salmones alimentados con las dieta 3, 4 y 8) y 0,07 (salmones alimentados con las dietas 5 y 1) para AA/DHA. BELL *et al.*, (1991) observo que salmones Atlánticos alimentados con dietas ricas en aceites vegetales tienden a reducir el contenido de EPA y DHA por lo cual existe un cierto incremento en la relación AA/EPA y AA/DHA en los tejido musculares de los peces.

La relación entre los ácidos grasos EPA y DHA no presenta diferencia estadísticamente significativa en ninguna de las etapas (formulación 30/43 y

30/40) y esto se debe a que estos ácidos grasos varían en las mismas proporciones dentro de las dietas. SARGENT *et al.*, (1999b) en un estudio de investigación de lípidos en la nutrición de peces marinos durante su desarrollo, sostiene que valores EPA/DHA 1:2 es una relación óptima que indica niveles adecuados de éstos en la dieta, esto debido a que un nivel mayor de DHA reduce los niveles de EPA, alterando la relación AA/EPA, afectando de este modo la interacción en la producción de eicosanoides a partir del EPA y AA.

Es importante, por lo tanto, tener en cuenta en dietas con alternativas de materias primas vegetales como sustitutos de materias primas marinas, la importancia del adecuado balance entre los ácidos grasos esenciales (AA, EPA y DHA) simultáneamente, debido a las interacciones de sus productos una vez incorporados en los tejidos musculares de las especies estudiadas (SARGENT *et al.*, 1999a y LALL, 2000).

Como resumen de acuerdo a los resultados obtenidos y sobre la base de diversos estudios realizados por distintos autores, entre ellos, REINITZ y YU (1981); SUZUKI *et al.* (1986); HARDY *et al.* (1987); THOMASSEN y ROSJO (1989); BELL *et al.* (1991), BELL *et al.* (2000), BELL *et al.*, (2001), BELL *et al.* (2002), se puede predecir que la inclusión de materias primas vegetales como sustitutos de aceite de pescado, influyen sobre el contenido de ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 reflejando el contenido de la fuente lipídica de la dieta. Esta sustitución parece no afectar la conversión de alimento ni la tasa de crecimiento de los peces.

#### **4.3 Ácidos grasos $\omega$ -3 aportados a la dieta humana**

El contenido de estos ácidos grasos en la fracción lipídica del salmón puede pasar a ser un factor de importancia en la calidad del producto final, debido a sus efectos en la salud humana, los cuales han sido asociados a una protección favorable de enfermedades cardiovasculares, artritis, desórdenes renales y ser

componentes importantes de tejidos cerebrales, visuales, etc. (HARDY *et al.*, 1987; PIKE, 1990 y TORTENSEN *et al.*, 2000).

Se han establecido recomendaciones para el consumo de ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3, especialmente altamente insaturados. La Fundación Británica para la Nutrición (British Nutrition Foundation) estima que el consumo diario total de EPA y DHA, debería ser en la población adulta entre 1,0 a 1,25 g/día (Newton citado por VALENZUELA *et al.*, 2000). Un informe de un Comité Internacional de Expertos, Simopoulos citado por VALENZUELA *et al.*, (2000), sugiere que la ingesta adecuada para los adultos debe ser de 0,8 a 0,9 g/día, considerando una dieta que aporta 2000 kcal/día. Aunque las cifras son relativamente parecidas, en lo que se llega a un acuerdo, es que la alimentación occidental es pobre en estos nutrientes, debido a un bajo consumo de alimentos de origen marino, especialmente peces grasos, como el salmón Atlántico.

Según los requerimientos diarios de ácidos grasos esenciales EPA y DHA en la salud humana, los músculos de salmones analizados en el presente estudio, aportan por cada 100 gramos, cantidades considerablemente similares a las establecidas en literatura, lo que se puede observar en los CUADROS 17 y 18,

El contenido de ácido grasos  $\omega$ -3 en los salmones Atlánticos según los autores SIMOPOULOS *et al.*, (1986), PIKE, (1990) y NETTLETON, 1995. en 100 gramos de filete fluctúan entre 0,2 a 0,7 gramos en el contenido de EPA, entre 0,7 a 1,2 gramos en el contenido de DHA y 1,5 a 2,0 gramos en el contenido total de ácidos grasos  $\omega$ -3.

Al comparar los valores obtenidos por 100 gramos de filetes en los salmones en estudio, éstos están dentro de los rangos, por lo cual no tienen problema de deficiencia de aporte de estos ácidos grasos. Sin embargo, hay que considerar, que los valores establecidos en estos resultados corresponden a peces que

aún no cumplen su proceso final de desarrollo, por lo cual sus valores debieran ser un poco más altos en peces con mayor porcentaje de lípidos.

**CUADRO 16. Contenido total  $\omega$ -3, EPA y DHA en la formulación 30/43.**

<b>DIETAS (formulación 30/43)</b>	<b>EPA (20:5 n-3) (g/100g)</b>	<b>DHA (22:6 n-3) (g/100g)</b>	<b>Total <math>\omega</math>-3 (g/100g)</b>
<b>1</b>	0,46	0,76	1,49
<b>2</b>	0,44	0,72	1,48
<b>3</b>	0,38	0,65	1,38
<b>4</b>	0,27	0,43	1,05
<b>5</b>	0,44	0,73	1,41
<b>6</b>	0,43	0,75	1,46
<b>7</b>	0,35	0,59	1,26
<b>8</b>	0,35	0,58	1,33

**CUADRO 17. Contenido total  $\omega$  -3 , EPA y DHA en la formulación 30/40**

<b>DIETAS (formulación 30/40)</b>	<b>EPA (20:5 n-3) (g/100g)</b>	<b>DHA (22:6 n-3) (g/100g)</b>	<b>Total <math>\omega</math> -3 (g/100g)</b>
<b>1</b>	0,61	1,06	2,05
<b>2</b>	0,45	0,81	1,72
<b>3</b>	0,35	0,64	1,50
<b>4</b>	0,34	0,60	1,52
<b>5</b>	0,60	1,03	2,00
<b>6</b>	0,42	0,75	1,60
<b>7</b>	0,38	0,68	1,52
<b>8</b>	0,35	0,60	1,46

Se puede decir que dietas con materias primas de origen marina sustituidas en parte por materias primas de origen vegetal, no influyen mayoritariamente sobre el contenido de los ácidos grasos de la serie  $\omega$ -3 en el salmón y su aporte es el adecuado para su consumo y su posterior beneficio a la salud humana.

## 5. CONCLUSIONES

- La sustitución de fuentes tradicionales por materia prima de origen vegetal en las dietas de salmón Atlántico, no presenta diferencias en las tasas de crecimiento durante su desarrollo, ni en el factor de conversión del alimento.
- La composición de los lípidos en los músculos de salmones Atlántico, es el reflejo de la composición lipídica de los alimentos.
- La sustitución de hasta un 60% de materias primas de pescado por materias primas vegetales en las dietas, indican niveles adecuados de la relación EPA/DHA en el tejido muscular del salmón Atlántico.
- En salmones Atlánticos alimentados hasta con un 60% de materias primas vegetales, no se ve afectado el aporte de ácidos grasos  $\omega$ -3 especialmente de cadena larga (EPA y DHA) a la alimentación humana.
- La inclusión de ciertos niveles de materias primas vegetales en las dietas de salmón Atlántico, trae como consecuencia un aumento de los ácidos grasos precursores de ácidos grasos esenciales, ácido linoleico (serie  $\omega$ -6) y ácido  $\alpha$ -linolénico (serie  $\omega$ -3), y una disminución de los ácidos grasos  $\omega$ -3, especialmente EPA y DHA. Esto debido a la ausencia de ellos en su composición lipídica, y a la baja capacidad de desaturación y elongación del salmón en esta etapa de su desarrollo. Por

lo tanto, para no afectar seriamente la relación de los ácidos grasos  $\omega$ -3/ $\omega$ -6, y la de sus ácidos grasos esenciales, es recomendable el uso de materia primas vegetales en combinación con fuentes marinas que contengan en gran cantidad los ácidos grasos esenciales de la serie  $\omega$ -3 (EPA y DHA).

## 6. RESUMEN

La principal fuente de energía y proteína en dietas para peces, son el aceite y harina de pescado. Debido al incremento de la acuicultura, especialmente de los salmonídeos en las últimas décadas, se ha buscado alternativas a las materias primas de origen marino. Una de las alternativas es la sustitución con materias primas de origen vegetal.

Se estudiaron efectos de incorporación de materias primas vegetales (aceite de soya, aceite de maní y harina vegetal) en la composición de ácidos grasos en grupos triplicados de salmón Atlántico (*Salmo salar*). Éstos fueron analizados en dos etapas de desarrollo, con dos formulaciones distintas. Cada formulación contenía ocho dietas. Los factores involucrados en el estudio fueron los distintos niveles de aceite de pescado (100%, 80%, 60% y 40%) y los niveles de harina de pescado (40-45% y 20-25%) en las dietas.

Las materias primas vegetales sustitutas no afectaron las tasas de crecimiento y el factor de conversión de alimento en ambas etapas. La composición de ácidos grasos del músculo reflejó la composición lipídica de las dietas. El contenido de ácidos grasos poliinsaturados en los músculos analizados, presentó diferencias significativas. El total de ácidos grasos  $\omega$ -3 disminuyó al aumentar el contenido de materia prima vegetal, efecto contrario se observó en los ácidos grasos  $\omega$ -6. Debido a esto, la relación  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 presentó diferencias estadísticamente significativas, disminuyendo al aumentar el contenido de materia prima vegetal. La relación de ácidos grasos esenciales ácido araquidónico (20:4 n-6 AA)/ácido eicosapentaenoico (20:5 n-3 EPA) y ácido araquidónico (20:4 n-6 AA)/ácido docosahexaenoico (22:6 n-3 DHA) también presentó diferencias estadísticamente significativas, la relación EPA/DHA no presentó diferencias observándose relaciones cercanas 1:2. El aporte nutricional de ácidos grasos  $\omega$ -3 no se vió afectado por una sustitución de hasta un 60% por parte de materias primas vegetales

## SUMMARY

The main energy and protein source in fish diet are, they are the oil and fish meal. Due to the increment on the aquaculture activity, especially of salmon in the last decades, it is not advisable to depend on a single source of lipids and proteins. An alternative is the substitution plant origin.

The effects of incorporation of material of plant origin (soya oil, peanut oil and vegetable meal) on the composition of the salmon muscle, were studied in triplicated groups of Atlantic salmon (*Salmo salar*). The salmon were analyzed in two development stages, fed in each one with one of eight different The factors involved in the study were the different levels of fish oil (100%, 80%, 60% and 40%) and levels of fish meal (40-45% and 20-25%) in diet.

The materials of plant origin substitutes did not affect the rate of growth and the feed conversion factor in any of the stages. The composition of fatty acids of the muscle reflected the lipid composition of the diets. The polyunsaturated fatty acid content in the analyzed muscles presented significant differences. The total  $\omega$ -3 fatty acids decreased when material plant increased the opposite effect it was observed in  $\omega$ -6 fatty acids. Due to this, the relationship  $\omega$ -3 /  $\omega$ -6 presented significant differences. The relationship of essential fatty acids AA/EPA (20:4 n-6 acid araquidonic/20:5 n-3 acid eicosapentaenoic) and AA/DHA (20:4 n-6 acid araquidonic/ 22:6 n-3 acid docosahexaenoic) presented significant differences, the relationship EPA/DHA did not present differences and relationship near 1:2 observed.

The contribution of  $\omega$ -3 essential fatty acids from salmon to the human feeding, it was not affected significantly by the substitution substitution of up to 60% by materials of plant .

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ACKMAN, R. y TAKEUCHI, T. 1986. Comparison of fatty acids and lipids of smolting hatchery-fed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Lipids* 21:117-120.
- ACKMAN, R. 1996. Factors of quality in meal of fish and food lipids for fish. *Avances de Nutrición Acuícola* III. 455-505.
- ARZEL, J., MARTINEZ, F. METAILLER, R., STEPHAN, G. VIAU, M., GANDEMER, G. y GUILLAUME, J. 1994. Effects of dietary lipid on growth performance on body composition on brown trout (*Salmo trutta*) reared in seawater. *Aquaculture*. 123:361-375.
- AWAD, A., POWRIE, W. D. y FENNEMA, O. 1969. Deterioration of fresh –water whitefish muscle during frozen storage at –10°C. *Aquaculture*. 34:1-9.
- BELL, M., YOUNGSON, A., MITCHELL, A. y COWEY, C. 1989. The effect of enhanced intake of linoleic acid on the fatty acid composition of tissue polar lipids of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Lipids* 24:240-242.
- BELL, J.G., RAYNARD, R. S., SARGENT, J. R. 1991. The effects of dietary linoleic acid on the fatty acid composition of individual phospholipids and

lipoxygenase products from gills and leucocytes of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Lipids* 26:445-450.

BELL, J. G., DICK, J. K., McVICAR, A. H., y SARGENT, J. R. 1993. Dietary sunflower, linseed and fish oil affect phospholipid fatty acid composition, development of cardiac lesions, phospholipase activity and eicosanoid production in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Prostaglandins Leukotriens essentielles fatty acids* 49:665-673. Original no consultado. Abstract index medline.

BELL, J. G., McEVOY, J., TOCHER, D. R., McGHEE, F., CAMPBELL P.J., y SARGENT, J.R. 2001. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid composition y hepatocyte fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition*. 131:1535-1543.

BELL, J. G., HENDERSON, J. TOCHER, D. R., McGHEE, F. DICK, J. PORTER, A. SMULLEN, R. y SARGENT, J. R. 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. *Journal of Nutrition*. 132:222-230.

BRAVERMAN.1980. *Introducción a la Bioquímica de los Alimentos*. Ed. Omega, Barcelona, España. 355p.

BORGSTROM, G. 1961. *Fish as Food*. Academic Press New York and London. 725p.

BRODTKORB, T.; ROSENLUND, G. y LIE, O. 1997. Effects of dietary levels of 20:5 n-3 and 22:6n-3 on tissue lipid composition in juvenile Atlantic

salmon, (*Salmo salar*), with emphasis on brain and eye. *Aquaculture Nutrition*.3:175-187.

CANTELLOPS, D., EITENMILLER, R. y LONG.A. 1999. Determination of lipids in infant formula powder by direct extraction methylation of lipids and fatty acid methyl esters (FAME) analysis by gas chromatography. *Journal of AOAC International*. 82 .N°:1128-1139.

CASTELL, J. SINNHUBER, R., WALES, y LEE, D. 1972. Essential fatty acid in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal Nutrition* 102:87-92.

CASTELL, J. ,BELL, J, TOCHER, D. y SARGENT, J.1994. Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*. 128:315-333.

CASTRO, E. 1989. Avances tecnológicos recientes en nutrición y tecnología de alimentos para salmonídeos a nivel mundial. *Recursos Marinos, Fundación Chile*. Chile. 16p.

DOSANJH, B., HIGSS, D., PLOTNIKOFF, M., McBRIDE, J. MARKERT, J. y BUCKLEY, J. 1984. Efficacy of canola oil, pork lard and marine oil singly and in combination as supplemental dietary lipid sources for juvenile Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*.36 :333-345

ERDAL, J., EVENSEN, O., KAURSTAD, O., LILLEHAUG, A, SOLBAQK, R. y THOURD, K. 1991. Relationship between diet and immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) after feeding various levels of ascorbic acid and omega-3 fatty acids. *Aquaculture*.98:363-379.

- FENNEMA, O.R. 1993. Química de los Alimentos. Editorial Acribia Zaragoza España. 1094p.
- FAO/OMS. FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. 1997. Las grasas y aceite en la nutrición humana. Informe de una consulta de expertos ( 19-26 de octubre de 1993). FAO, Roma, Italia. 168p.
- FAIR , P. H , WILLIAMS, W. P. y SMITH, T. I. J. 1993. Effects of dietary menhaden oil on growth and muscle fatty acid composition of hybrid striped bass, *Morone chrysops* X *M. Saxatilis*. Aquaculture 116:171-189.
- GREENE, D. H. S. y SELIVONCHICK, D. P. 1990. Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 89:165-182.
- GUILLOU, A., SOUCY, P., KHALIL, M. y ADAMBOUNOU, L. 1995. Effects of dietary vegetable and marine lipid on growth, fatty acid composition and organoleptic quality of flesh of brook charr. Aquaculture 136:351-362.
- HARDY, R. W., SCOTT. T. M. y 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.
- HEEN, K., MONAHAN, R. L. y UTTER, F. 1993. Salmon Aquaculture. Hasteted, New York, USA. 278P.
- HEMRE, G. I. y SADNES, K. 1999. Effects of dietary lipid level on muscle composition in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture Nutrition 5:9-16.

HIGGS, J. y DONG, F. 2000. Encyclopedia of Aquaculture. New York, USA.

HUSS, H. H. 1988. El pescado fresco “ su calidad y cambios de calidad”. FAO , Roma, Italia. 132 p.

IBEAS, C. CEJAS, J. R. FORES, R. BADÍA, P. GÓMEZ, T. HÉRNADEZ, A. L. 1997. Influence of eicosapentanoic to docosahexanoic acid ratio (EPA/DHA) of dietary lipid on growth and fatty acid composition of gilthead seabream. *Aquaculture* 150:91-102.

INGEMANSSON, T. 1991. Lipids in light and dark muscle of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the Science Food and Agriculture* 57:443-447.

KIESSLING, A., OLSEN, R., PICKOVA, J. y RINGOE, E. 2001. Advantages-advantages of using vegetable oils to salmonids. *Aquaculture Books abstract*. Original no consultado. Abstract ASFA.

KOSHIO, S. ACKMAN, R. y LALL. 1994 .Effects of oxidized herring and canola oils in diets on growth, survival and flavor of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 42:1164-1169.

LALL, S. P. 2000. Nutrition and Health of Fish. *Avances en nutrición acuícola V.* 13-23.

LIE, O., LIED, E. y LAMBERTSEN, G. 1986. Liver retention of fat of fatty acids in cod (*Gadus morhua*) fed different oils. *Aquaculture* 59:187-196.

- LIE, Ø., WAAGBØ y SADNES, K. 1988. Growth and chemical composition of adult Atlantic Salmon (*Salmon salar*) fed dry silage based diets. *Aquaculture* 69:343-353.
- LOWELL, T. 1998. Nutrition and feeding of fish. Keuwer Academic, Boston, USA. 54p.
- MASSON, L. y MELLA, M. A. 1985. Materia grasa de consumo habitual y potencial en Chile: Composición de ácidos grasos. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 31p.
- MATISSEK, R. SCNEPEL, F-M. STEINER, G. Análisis fundamentos- métodos- aplicaciones. Ed. Acribia Zaragoza, España.
- MUGRDITCHIAN, D., HARDY, R. y IWAOKA, W. 1981. Linseed oil animal fat as alternative sources in dry diets for Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture* 25: 161-172.
- NETTLETON, J. 1995. Omega – 3 fatty acid and health. Chapman & May. New York. USA. pp 21-30
- PIKE, I. 1990. El rol del aceite de pescado en alimentos para peces de cultivo. Boletín Técnico de la Asociación Internacional de Productores de Harina de Pescado. 15p.
- POLVI, S. y ACKMAN, R. 1992. Atlantic Salmon (*Salmo salar*) muscle lipids and their response to alternative fatty acid sources. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 40:1001-1007.
- PRIMO, E. 1997. Química de los Alimentos. Sintesis, Madrid, España. 462 p.

- REINITZ, G y YU. 1981. Effects of dietary lipids on growth and fatty acid composition of rainbow trout (*Salmo gairdenri*). *Aquaculture* 22:359-366
- RUYTER, B., RØSJO, C., EINEN, O. y THOMASSEN, M. S. 2000. Essential fatty acids in Atlantic salmon: time course of changes in fatty acid composition of liver, blood and carcass induced by a diet deficient in n-3 and n-6 fatty acids. *Aquaculture Nutrition* 6:109-117
- SARGENT, J., BELL, G., McEVOY, L., TOCHER, D. y ESTEVEZ, A. 1999a. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177:191-199.
- SARGENT, J., McEVOY .L., ESTEVEZ, A., BELL, G., BELL, M., HENDERSON J. y TOCHER. D. 1999b. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions. *Aquaculture* 179:217-229.
- SHEWFTEL, R. 1981 . Fish muscle lipolysis – a review. *Journal of Food Chemistry* 5 :79-100.
- SIMOPOULOS, A., KIFER, R. y MARTIN, J. 1986. The health effects of polyunsaturated fatty acid in seafoods. Academic Press, Inc.150p.
- SOWIZRAL, K. C., RUMSEY, G. L. y KINSELLA, J. E. 1990. Effects of dietary  $\alpha$ -linolenic acid on n-3 fatty acids of rainbow trout lipids. *Lipids* 25(5):246-253.
- SUZUKI, H., OKAZAKI, K., HAYAKAWA, S., WADA, S. y TAMUA, S. 1986. Influence of commercial dietary fatty acids on polyunsaturated fatty acids of

cultured freshwater fish and composition with those of wild fish of same species. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*.34:58-60.

STEFFENS, W. 1987. *Principios Fundamentales de la Alimentación de los Peces*. Editorial Acribia S.A, Zaragoza, España. 275p.

TACON, A. 1995. *Ictiopatología Nutricional*. Documento técnico de Pesca 330. FAO, Roma, Italia. 77 p.

THOMASSEN, M. S. y RØSJO, C. 1989. Different fats in feed for salmon : Influence on sensory parameters, Growth rate and fatty acids in muscle and heart. *Aquaculture* 79 :129-135.

TORSTENSEN, B., LIE, Ø. y FRØYLAND, L. 2000. Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) -effects of capelin, palm oil, and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources. *Lipids* 35:653-664.

VALENZUELA, A., MANCINI, J., TOUSSANINT, G., UAUY, R. y PINEDA, J. 2000. *Acidos Grasos Poliinsaturados de Cadena Larga*. Departamento de Nutrición y Salud Humana . División de Vitaminas Roche México. N° 4.