



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

EFECTOS DE LA SUSTITUCIÓN DEL ACEITE DE PESCADO POR UNA MEZCLA DE ACEITES VEGETALES EN EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL FILETE DE LA *Seriola dumerili*

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA SEGURIDAD
Y CALIDAD ALIMENTARIA

ALUMNA: PAULA ISABEL GIMÉNEZ BENITO

TUTORA ACADEMICA: ANA TOMÁS VIDAL
COTUTORA: SILVIA MARTÍNEZ LLORENS

Curso Académico:2016/2017

VALENCIA, 11 DE SEPTIEMBRE DE 2017

EFECTOS DE LA SUSTITUCIÓN DEL ACEITE DE PESCADO POR UNA MEZCLA DE ACEITES VEGETALES EN EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL FILETE DE LA *Seriola dumerili*.

Paula Isabel Giménez Benito¹

1. Grupo de Acuicultura y Biodiversidad. Departamento de Ciencia Animal. Universitat Politècnica de València. C/Camino de Vera s/n, 46022 Valencia (España).

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la inclusión de los altos niveles dietarios de aceites vegetales en sustitución al aceite de pescado en el perfil de ácidos grasos del filete de la *Seriola dumerili*. Se formularon 4 piensos, dos de ellos contenían diferentes cantidades de aceites vegetales (palma, girasol y linaza) en sustitución de aceite de pescado en un 75 y un 100% (FO 25 y FO 0, respectivamente) y un pienso se utilizó como control (FO 100), el cual contenía aceite de pescado como única fuente lipídica. Además, se formuló un cuarto pienso (FO 0+) que contenía la misma composición que FO 0 con la adición de los probióticos *Lactobacillus brevis* y *L. buchneri*.

La inclusión de aceites vegetales produjo modificaciones en la composición del músculo blanco y rojo de *S. dumerili*, que mostró diferencias significativas en el contenido de grasa y en el perfil de ácidos grasos, que fue el reflejo de la composición de cada pienso experimental. El contenido de *n*-3 HUFA se redujo en los peces alimentados con piensos con mezcla de aceites vegetales (FO 25, FO 0 y FO 0+) y en contraste, se produjeron incrementos en la cantidad de ácido oleico (18:1*n*-9), ácido linoleico (18:2*n*-6) y ácido linolénico (18:3*n*-3). No se observaron beneficios con el aporte de probióticos en el perfil de ácidos grasos del filete de *S. dumerili*.

Los índices de calidad lipídica indicaron que la carne era nutricionalmente adecuada.

PALABRAS CLAVE: ácidos grasos, sustitución aceite de pescado, aceites vegetales, *Seriola dumerili*.

RESUM

L'objectiu d'aquest treball va ser avaluar la inclusió dels alts nivells dietaris d'olis vegetals en substitució a l'oli de peix en el perfil d'àcids grassos del filete de la *Seriola dumerili*. Es van formular 4 pinsos, dos dels quals contenen diferents quantitats d'olis vegetals (palma, gira-sol i llinós) en substitució a l'oli de peix en un 75% i un 100% (FO 25 i FO 0, respectivament), i un pinso es va utilitzar com a control (FO 100), el contingut del qual era oli de peix com a única font lipídica. A més, es va formular un quart pinso (FO 0+) que contenia la mateixa composició que FO 0 amb l'addició dels probiòtics *Lactobacillus brevis* y *L. buchneri*.

La inclusió d'olis vegetals va produir modificacions en la composició del múscul blanc i roig de *S. dumerili*, que va mostrar diferències significatives en el contingut de greix i en el perfil d'àcids grassos, que va reflectir la composició de cada pinso experimental. El contingut de *n*-3 HUFA es va reduir en els peixos alimentats amb pinsos amb mesclades d'olis vegetals (FO 25, FO 0 y FO 0+) i en contrast es van produir increments en la quantitat d'àcid oleic (18:1 n -9), linoleic (18:2 n -6) i linolenic (18:3 n -3). No es van observar beneficis amb l'aportació de probiòtics en el perfil d'àcids grassos del filet de *Seriola dumerili*.

Els índexs de qualitat lipídica van indicar que la carn era nutricionalment adequada.

PARAULES CLAU: àcids grassos, substitució a l'oli de peix, olis vegetals, *Seriola dumerili*.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the inclusion of high dietary levels of vegetable oils in replacement of fish oil in the fatty acid profile of the fillet of *Seriola dumerili*. Four diets were formulated, two of them containing a blend of vegetable oils (palm, sunflower and linseed) in replacement of fish oil at 75% and 100% (FO 25 and FO 0 diets, respectively), and one diet was formulated as control, containing fish oil as its only lipidic source. Additionally, a fourth diet was formulated (FO 0+), containing the same composition as FO 0, with the addition of the probiotics *Lactobacillus brevis* and *L. buchneri*.

The inclusion of vegetable oils produced changes in the composition of the white and red muscle of *Seriola dumerili*, showing significant differences in fat content and muscle fatty acid profile, which was a reflection of the composition of each experimental diet. The *n*-3 HUFA content was reduced in fish fed with a blend of vegetable oils (FO 25, FO 0 y FO 0+), and in contrast, increases in the amount of oleic acid (18:1-9), linoleic acid (18:2-6) and linolenic acid (18:3-3) were found. No benefits were observed from the addition of probiotics in the fatty acid profile of the of *Seriola dumerili* fillet.

The indexes of lipidic quality indicated that the meat was nutritionally adequate.

KEYWORDS: fatty acids, fish oil replacement, vegetable oils, *Seriola dumerili*.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Panorama actual: consumo de pescado y necesidad de fuentes alternativas de aceite de pescado.

El pescado es un alimento con un alto valor nutritivo, fuente de proteínas, aceites y nutrientes esenciales. Su incorporación a la dieta representa un factor importante para mejorar la nutrición y la salud humana debido a varios motivos: la proteína del pescado tiene una biodisponibilidad mayor, aproximadamente entre un 5% y un 15% más que la derivada de fuentes vegetales, y tiene un alto contenido de aminoácidos esenciales (APROMAR, 2016). Además, posee un alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, especialmente los omega-3 (DHA y EPA) y omega-6 (ARA), que proporcionan múltiples efectos beneficiosos en la edad infantil (desarrollo cerebral) (Carlson et al., 1993), y en la edad adulta prevención del Alzheimer (Dangour et al., 2012) y protección frente a enfermedades cardiovasculares (Delgado-Lista et al., 2012) e inflamatorias (Miles y Calder, 2012). En adición, el pescado es una fuente importante de vitaminas (D, A y B) y de minerales (calcio, fósforo, yodo, zinc, hierro y selenio).

En el 2016, el consumo de productos acuáticos per cápita anual en los hogares españoles (sin contabilizar el consumo en restauración y otros canales extradomésticos) fue de 25,49 kg. Se estima que para 2024 la producción mundial de pescado procedente de captura y acuicultura alcance 204 millones de toneladas, con un crecimiento global del 27% respecto al periodo 2012-2014. Este crecimiento de la producción cubrirá la demanda de pescado y productos pesqueros que se ha incrementado considerablemente en últimos años (OCDE/FAO, 2015).

Este incremento en el consumo de pescado ha llevado a que el sector acuícola sea una de las actividades industriales en alza, y por tanto con unas demandas de harinas y aceites de pescado también en aumento (Mundheim et al., 2004), ya que son las principales fuentes proteicas y lipídicas de los piensos para peces. Según OCDE/FAO (2015), se estima que para 2024 la producción de harina de pescado y aceite de pescado, en peso del producto, debe llegar a 5,1 y 1,1 millones de toneladas respectivamente.

En este sentido, las investigaciones en acuicultura se centran en estudiar diferentes fórmulas para reducir al máximo la inclusión de harinas y aceites de pescado en piensos para peces, ya que son recursos cada vez más limitados. Si estos productos marinos no son sustituidos por materias primas alternativas, la acuicultura se verá claramente perjudicada, ya que dejará de ser una actividad sostenible (Hardy, 2010).

1.2 Importancia de los ácidos grasos altamente insaturados (HUFA) en peces marinos

Todos los vertebrados, incluido el hombre, tienen unos requerimientos dietarios mínimos de ciertos ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). En líneas generales, los ácidos grasos esenciales son el ácido linoleico (18:2*n*-6) y el ácido α -linolénico (18:3*n*-3), resultando fundamental su incorporación a través de la dieta

Sin embargo, las formas biológicamente activas de estos ácidos grasos esenciales (AGE), que se encuentran en elevadas cantidades en todos los tejidos animales, son sus homólogos altamente insaturados de 20 y 22 átomos de carbono (HUFA). Dentro de este grupo, destacan el ácido araquidónico (ARA, 20:4 n -6) y ácido docosapentaenoico (DPA, 22:5 n -6) entre los n -6 y el ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5 n -3) y el docosahexaenoico (DHA, 22:6 n -3) entre los n -3.

Los peces de agua dulce poseen suficiente actividad enzimática para producir ARA, EPA y DHA si sus precursores, linoleico y linolénico están presentes en la dieta (Izquierdo et al., 2005). Sin embargo, esta actividad enzimática se encuentra muy restringida en los peces marinos, que no pueden sintetizarlos de *novo* y resulta necesario incluirlos en los piensos. Por ello, en peces marinos son estos ácidos grasos los que se consideran esenciales (Izquierdo et al., 2005).

1.3 *Seriola dumerili*

La especie *Seriola dumerili*, más conocida como pez limón o jurel del mediterráneo, se incluye en el género de los perciformes y pertenece a la familia *Carangidae*. Es una especie pelágica y es común encontrarla en aguas azules oceánicas, aunque el desove lo realiza cerca de las costas. Su alimentación se basa en peces y crustáceos de caparazón blando, aunque los ejemplares más pequeños (menores de 8 cm de longitud), se alimentan principalmente de zooplancton (Badalamenti et al., 1995). Es un pez muy apreciado en Europa y América del Norte. Su carne se considera de alta calidad al poseer un bajo contenido en grasa, y además posee un gran valor comercial (Nakada, 2000).

Sobre los requerimientos de ácidos grasos esenciales y metabolismo de esta especie, diversos estudios han obtenido resultados similares en cuanto al nivel de lípidos y HUFA necesarios en los piensos. Al parecer, con un 15% de contenido en lípidos y un contenido de n -3 HUFA del 2.1 a 3,1% se obtienen las mejores tasas de crecimiento y eficiencia del alimento (Takeuchi et al., 1992).

En cuanto a los requerimientos de AGE, son mayores para el DHA y EPA que para el ARA, ya que son los ácidos grasos mayoritarios en las membranas celulares y juegan un papel importante en sus funciones y propiedades (Sargent et al., 1999).

1.4 Los aceites vegetales como fuente de sustitución del aceite de pescado

En los últimos años, los esfuerzos se han centrado en sustituir el aceite de pescado en los piensos por grasas o aceites procedentes de plantas y animales terrestres (Bowyer et al., 2012).

En el caso de los aceites vegetales, numerosos estudios han demostrado que son una opción viable. Pueden sustituir cantidades sustanciales de aceite de pescado sin afectar al crecimiento ni a la eficiencia del alimento, siempre y cuando se proporcionen las cantidades adecuadas de AGE (Turchini et al., 2009). Esto se ha comprobado tanto en especies marinas (Regost et al., 2003), como en salmónidos (Bell et al., 2003).

Los aceites de palma, soja, colza y girasol son los más empleados en la sustitución de aceites de pescado (Benedito Palos, 2010). Se caracterizan por ser pobres en ácidos grasos *n*-3 y ricos en *n*-6 y *n*-9, principalmente ácido linoleico (18:2*n*-6) y oleico (18:1*n*-9). La proporción de cada uno en el pienso varía en función de factores nutritivos y económicos, por lo que la mejor solución es una combinación de las diversas fuentes vegetales (Tabla 1) que compensen las deficiencias y mejoren el perfil de ácidos grasos de la mezcla, con el fin de sustituir la mayor cantidad de aceite de pescado con el menor coste.

En cuanto a los aceites procedentes de grasas animales (Tabla 1), son ricos en ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y en *n*-6 PUFA, pero al igual que los aceites vegetales, carecen de ácidos grasos altamente insaturados (HUFA) como el DHA y EPA (Higgs et al., 2006). Estudios realizados con estas grasas concluyeron que la sustitución del aceite de pescado utilizando un 100% de grasa de ave (rica sobre todo en ácido oleico (18:1*n*-9) (Huang et al., 2008)), no redujo el crecimiento de la especie *Seriola lalandi* (Bowyer et al., 2012). Sin embargo, una sustitución total con de aceite de res sí que afectó al valor nutricional y la composición de ácidos grasos en juveniles de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Bayraktar y Bayır, 2012).

TABLA 1. Contenido en ácidos grasos de las fuentes lipídicas más empleadas en acuicultura, expresado en porcentaje de área (Nogales, 2011).

ACEITE/GRASA	AGS	MUFA	LA	ARA	LNA	EPA
Aceites de pescado						
Anchoa	28,8	24,9	1,2	0,1	0,8	17
Capelin	20,0	61,7	1,7	0,1	0,4	4,6
Sábalo atlántico	30,5	24,8	1,3	0,2	0,3	11,0
Arenque	20,0	56,4	1,1	0,3	0,6	8,4
Hígado de bacalao	19,4	46,0	1,4	1,6	0,6	11,2
Aceites vegetales						
Palma	48,8	37,0	9,1	--	0,2	--
Soja	14,2	23,2	51,0	--	6,8	--
Canola	4,6	62,3	20,2	--	12,0	--
Girasol	10,4	19,5	65,7	--	--	--
Algodón	45,3	17,8	51,5	--	0,2	--
Cacahuete	11,8	46,2	32,0	--	--	--
Maíz	12,7	24,2	58,0	--	0,7	--
Linaza	9,4	20,2	12,7	--	53,3	--
Grasas animales						
Grasa de vacuno	47,5	40,5	3,1	0,4	0,6	--
Grasa de pollo	28,5	43,1	19,5	--	1	--
Manteca de cerdo	38,6	44,0	10,2	--	1	--

AGS: Ácidos grasos saturados; MUFA: Ácidos grasos monoinsaturados; LA: Ácido linoleico; ARA: Ácido araquidónico; LNA: Ácido linolénico; EPA: Ácido eicosapentaenoico.

La alta sustitución de harinas y aceites de pescado en piensos para peces carnívoros puede provocar consecuencias negativas sobre el crecimiento, salud intestinal y sistema inmune de los peces. Para subsanar este problema, actualmente se incluyen aditivos como los probióticos en los piensos. Se ha demostrado que la adición de probióticos mejora la digestibilidad de los nutrientes y fortalece el sistema inmune de los peces (Akhter et al., 2015). De hecho, en otras especies como la tilapia (*Oreochromis niloticus*) y el lenguado (*Solea senegalensis*) se ha

comprobado que el uso de probióticos en piensos mejora no solo la digestibilidad de los nutrientes sino también la supervivencia (Aly et al., 2008).

1.5 Impacto de altos niveles dietarios de aceites vegetales en la calidad del filete del pescado

El hecho de que la dependencia de las fuentes de lípidos de origen marino haya disminuido, y de que progresivamente se estén introduciendo mayores cantidades de aceites de origen vegetal en los piensos comerciales, ha afectado a la calidad de los filetes reduciendo los niveles de ácidos grasos altamente insaturados *n*-3.

Diversos estudios han demostrado que el hecho de utilizar fuentes de ácidos grasos de origen vegetal en la alimentación de los peces origina una variación en su perfil lipídico. En numerosas especies como la seriola de aleta amarilla (*Seriola lalandi*), la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), la dorada (*Sparus aurata*), el lenguado de California (*Paralichthys californicus*), y el bacalao de Murray (*Maccullochella peelii*), se ha comprobado que los piensos formulados con aceites vegetales conducen a modificaciones de la composición corporal (Caballero et al., 2002; Izquierdo et al., 2005; Badillo-Zapata et al., 2010), y en especial a la composición de los ácidos grasos, donde se observan incrementos en la cantidad de ácido oleico (18:1*n*-9), ácido linoleico (18:2*n*-6) y ácido linolénico (18:3*n*-3), en combinación con una reducción en la proporción de ácidos grasos altamente insaturados *n*-3 y ácidos grasos saturados (Benedito-Palos, 2009).

2. OBJETIVO

La *Seriola dumerili* es una de las principales especies candidatas a la diversificación de la acuicultura marina mediterránea, principalmente basada en la producción de dorada y lubina. Los estudios respecto a los requerimientos nutricionales de *S. dumerili* son escasos y la mayoría de ellos están relacionados con la optimización de los niveles proteicos, o en la sustitución de harinas de pescado por otras fuentes animales o vegetales. Hasta el momento se han realizado pocos trabajos de fuentes lipídicas alternativas al aceite de pescado y han empleado otro tipo de mezclas vegetales.

Debido al alto precio del aceite de pescado, es necesario formular piensos comerciales con aceites alternativos a éste, pero que cubran las necesidades nutricionales de la especie en cuestión y no produzcan efectos negativos en el crecimiento, supervivencia, ni en la calidad del producto final.

Es por ello, que el presente trabajo tiene por objetivo determinar el efecto de los altos niveles dietarios de una mezcla de aceites vegetales en el perfil de ácidos grasos del filete de *Seriola dumerili*. Igualmente pretende valorar si la adición de probióticos en piensos con altos niveles de aceites vegetales proporciona una mejora el perfil de ácidos grasos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Condiciones del experimento

Para el presente estudio se utilizaron 48 ejemplares de *Seriola dumerili*, que se mantuvieron en las instalaciones de acuicultura que posee el Departamento de Ciencia Animal de la Universitat Politècnica de València. Estas instalaciones cuentan con sistema de recirculación de agua marina de 75 m³ de capacidad. Los peces se obtuvieron de la empresa Futuna Blue S.L. (Cádiz). Un mes antes de iniciar el experimento, los peces se aclimataron a las nuevas condiciones del laboratorio. Durante este tiempo se alimentaron con un pienso control hasta saciedad aparente dos veces al día, seis días a la semana.

Una vez se inició la prueba, el fotoperiodo fue natural y las condiciones de iluminación similares en todos los tanques. La alimentación de los peces durante el experimento se realizó a saciedad aparente 2 veces por día (09:00 y 16:00 h), durante 6 días a la semana y por un periodo total de 109 días.

3.2 Formulación de los piensos experimentales

TABLA 2. Formulación (g kg⁻¹) y composición nutritiva (%) de cada uno de los piensos.

Materia prima	FO 100	FO 25	FO 0
Harina de pescado	350	350	350
Harina de trigo	100	100	100
Gluten de trigo	140	140	140
H. soja desengrasada	185	185	185
H. de carne de Ibérico	110	110	110
Aceite de pescado	95	24	0
Aceite de linaza	--	28	38
Aceite de girasol	--	21	28
Aceite de palma	--	22	29
*Mix de vitaminas y minerales	20	20	20
Composición (% peso húmedo)			
Materia seca	87,4	88,8	89,6
Proteína digestible	51,4	53,8	52,4
Grasa bruta	13,9	13,4	14,8
Cenizas	7,3	9,1	7,4
Humedad	12,6	11,2	10,4
Energía bruta (MJ Kg ⁻¹)	21,2	21,1	21,7

* Mix de vitaminas y minerales (los valores son g kg⁻¹, excepto aquellos en paréntesis): Pre mezcla: 25; Colina: 10; DL- α -tocoferol: 5; ácido ascórbico: 5; (PO₄)₂Ca₃: 5. Composición Pre mezcla: acetato de retinol: 1000000 IU kg⁻¹; calciferol: 500 UI kg⁻¹; DL- α -tocoferol: 10; menadiona sodio bisulfito: 0,8; hidroclorehidrato de tiamina: 2,3; riboflavina: 2,3; clorhidrato de piridoxina: 15; cianocobalamina: 25; nicotinamida: 15; ácido pantoténico: 6; ácido fólico: 75; inositol: 15; betaína: 100; polipéptidos 12: 0,65; biotina: 0,07; ácido ascórbico: 0.65.

Se formularon cuatro piensos isolipídicos (15%GB, grasa bruta) e isoproteicos (50%PD, proteína digestible). Dos de ellos contenían una mezcla de aceites vegetales (linaza, girasol y palma) en sustitución al aceite de pescado en un 75 y un 100% (FO 25 y FO 0, respectivamente) y un pienso se utilizó como control (FO 100), el cual contenía aceite de pescado como única fuente lipídica (Tabla 2). Además, se formuló un cuarto pienso, FO 0+, que contenía la misma composición que FO 0, aunque a FO 0+ se le

adicionaron los probióticos *Lactobacillus brevis* y *L. buchneri*. La mezcla de probióticos se preparaba diariamente para que conservara todas sus propiedades. Se aplicaba con un pulverizador una cantidad de 5 ml por cada 500 g de pienso seco.

Los piensos (Tabla 2) fueron preparados en la fábrica de piensos del Departamento de Ciencia Animal de la Universitat Politècnica de València. Para ello se empleó un extruder semiindustrial de la casa Clextral modelo BC45.

Además de los macronutrientes, de cada pienso se analizó el contenido en ácidos grasos mediante el método de síntesis directa de ésteres metílicos (FAME), siguiendo el protocolo adaptado de O'Fallon et al., 2007. Los resultados se reflejan en la Tabla 3.

TABLA 3: Composición en ácidos grasos (g 100 g⁻¹ en peso húmedo) de los piensos experimentales suministrados a los ejemplares de *Seriola dumerili*.

	FO 100	FO 25	FO 0	FO 0+
14:0	0,319	0,249	0,185	0,160
15:0	0,002	0,003	0,002	0,002
16:0	1,839	2,045	2,122	1,894
17:0	0,052	0,025	0,018	0,016
18:0	0,494	0,510	0,528	0,482
20:0	--	--	--	--
22:0	--	--	--	--
24:0	--	--	--	--
Σ S	2,707	2,831	2,855	2,554
16:1	0,411	0,289	0,204	0,180
17:1	--	--	--	--
18:1 n-9c	2,643	3,096	3,663	3,270
18:1 n-9t	--	--	--	--
18:1 n-7	0,384	0,307	0,273	0,245
20:1	--	--	--	--
22:1 n-9	0,031	0,004	0,007	0,008
24:1	--	--	--	--
Σ Ms	3,470	3,695	4,147	3,703
18:2 n-6	1,233	1,395	1,666	1,508
18:3 n-6	0,010	0,009	0,010	0,008
20:2 n-6	--	--	--	--
20:3 n-6	0,010	0,004	0,004	0,005
20:4 n-6 (ARA)	0,099	0,061	0,039	0,036
22:2 n-6	--	--	--	--
22:4 n-6	--	--	--	--
Σ n-6 PUFA	1,375	1,488	1,730	1,567
18:3 n-3	0,218	1,095	1,637	1,444
20:3 n-3	0,015	0,008	0,006	0,005
20:5 n-3 (EPA)	0,566	0,453	0,311	0,283
22:5 n-3	0,126	0,076	0,047	0,046
22:6 n-3 (DHA)	1,264	0,795	0,480	0,448
Σ n-3 PUFA	2,189	2,427	2,481	2,227
Σ n-3 HUFA	1,956	1,324	0,838	0,777
EPA/DHA	0,448	0,569	0,648	0,632
n-6/n-3	0,628	0,613	0,697	0,704

Σ S: Sumatorio de ácidos grasos saturados; Σ Ms: Sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; Σ n-6 PUFA: Sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados n-6; Σ n-3 PUFA: Sumatorio ácidos grasos poliinsaturados n-3. Σ n-3 HUFA: Sumatorio de ácidos grasos altamente insaturados n-3.

Los piensos se asignaron de forma aleatoria y por triplicado a los tanques.

3.3 Obtención de los filetes

Los peces se sacrificaron empleando una sobredosis del anestésico aceite de clavo (conteniendo 87% de eugenol), a razón de 30mg/L. Después se realizó la disección y se extrajeron los filetes (12 por tratamiento). Posteriormente, cada filete se separó en músculo rojo y músculo blanco.

Para cada ejemplar, se realizó un triturado del músculo rojo y blanco separadamente hasta obtener una pasta fina y homogénea (la piel y los huesos se retiraron previamente).

El siguiente paso fue depositar esta pasta en placas Petri en capas de 3-4 mm, que se congelaron a -80°C durante un día como primer paso para su liofilización. Seguidamente, se realizó la sublimación para eliminar el agua del triturado.

Una vez obtenido el liofilizado, se trituró de nuevo y se depositó en botes que se identificaron con el número de tanque, el tipo de pienso y el número asignado al pez. Por último, las muestras (48 de músculo rojo y 48 de músculo blanco) se almacenaron en el congelador a -21°C.

3.4 Procedimiento analítico

3.4.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Para obtener la materia seca del liofilizado, cada día se extraía un número de muestras liofilizadas del congelador, se dejaban 24 horas en refrigeración a 4°C para su descongelación y después se extraían y se dejaban otras 24 horas con la tapa del bote abierta para que se estabilizaran con la humedad del ambiente.

Todos los análisis se realizaron por triplicado, a excepción de los ácidos grasos que se realizaron mediante un único análisis.

3.4.2 DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA

La determinación de la materia seca del filete liofilizado se realizó siguiendo los métodos oficiales de Análisis AOAC (1990): 105° C hasta peso constante.

3.4.3 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

La determinación de cenizas se realizó siguiendo los métodos oficiales de Análisis AOAC (1990): incineración a 550° C hasta peso constante.

3.4.4 DETERMINACIÓN DE GRASA BRUTA

La extracción de grasa bruta se realizó siguiendo Ankom Technology Método 2, (2009), basado en la determinación rápida de aceite/grasa utilizando la extracción de solvente a alta temperatura. El fundamento es la solubilidad de la grasa bruta en un solvente orgánico, concretamente en éter

dietílico en ebullición (40-60°C). Se empleó el Sistema de extracción ANKOM XT10.

3.4.5 DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS

El procedimiento para la determinación de ácidos grasos de las muestras de músculo liofilizado se realizó siguiendo el protocolo adaptado de O'Fallon et al., 2007. Posteriormente se analizaron por cromatografía de gases en un cromatógrafo Finnigan Focus 6C (AI 3000).

3.5 Análisis estadístico

El tratamiento de datos se realizó mediante el programa estadístico Statgraphics Centurion Versión 17.2.02

Los datos se evaluaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Para determinar diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó el test de comparación de medias de Newman-Keuls, con un nivel de significación del 5%.

4. RESULTADOS

4.1 Composición en músculo blanco y músculo rojo

La composición (% materia seca) en el músculo blanco y rojo de *Seriola dumerili* alimentada con los diferentes piensos se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4: Composición (% materia seca) en músculo blanco y rojo de *Seriola dumerili* alimentada con los diferentes piensos experimentales.

	FO 100	FO 25	FO 0	FO 0+
Músculo blanco				
% Grasa	21,68 ± 1,22	22,17 ± 1,10	23,23 ± 1,10	23,81 ± 1,10
% Cenizas	6,12 ± 0,17	5,86 ± 0,15	5,79 ± 0,15	5,84 ± 0,15
Músculo rojo				
% Grasa	17,92 ± 1,13	17,27 ± 1,03	17,42 ± 1,19	17,03 ± 1,03
% Cenizas	6,58 ± 0,18	6,36 ± 0,16	7,87 ± 0,19	6,53 ± 0,16

Valores expresados en % de materia seca de muestra. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas a $p < 0.05$. Test de Newman-Keuls. Los valores representan la media \pm error estándar ($n = 12$).

Tanto en el músculo blanco como en el rojo, el contenido en cenizas y grasa bruta no mostraron diferencias significativas entre el pienso control (FO 100) y los piensos con diferentes porcentajes de mezclas de aceites vegetales (FO 25 y FO 0). Cabe destacar que, en el músculo blanco reflejó mayor cantidad de grasa que el músculo rojo, y se observó un incremento progresivo al aumentar la cantidad de mezcla de aceites vegetales en el pienso. Sin embargo, en el músculo rojo la cantidad de grasa se mantuvo prácticamente sin variación.

4.2 Perfil de ácidos grasos en músculo blanco y músculo rojo.

El perfil de ácidos grasos del músculo blanco y rojo de los ejemplares de *Seriola dumerili* alimentados con los diferentes piensos se muestra en las Tablas 5 y 6, respectivamente.

TABLA 5: Perfil de ácidos grasos (mg FA/100 mg muestra) en el músculo blanco de *S. dumerili* alimentada con los piensos FO 100, FO 25, FO 0 Y FO 0+.

	FO 100	FO 25	FO 0	FO 0+
14:0	0,448 ^b ± 0,024	0,365 ^a ± 0,021	0,313 ^a ± 0,021	0,322 ^a ± 0,021
15:0	0,056 ^c ± 0,003	0,043 ^b ± 0,003	0,031 ^a ± 0,003	0,032 ^a ± 0,003
16:0	2,94 ± 0,169	3,00 ± 0,153	3,03 ± 0,153	3,06 ± 0,153
17:0	0,076 ^c ± 0,004	0,060 ^b ± 0,004	0,050 ^{ab} ± 0,004	0,050 ^a ± 0,004
18:0	1,151 ± 0,062	1,254 ± 0,056	1,303 ± 0,056	1,317 ± 0,056
20:0	0,070 ± 0,004	0,067 ± 0,003	0,068 ± 0,003	0,068 ± 0,003
22:0	0,024 ^a ± 0,003	0,029 ^{ab} ± 0,003	0,035 ^b ± 0,003	0,034 ^b ± 0,003
24:0	0,016 ± 0,001	0,017 ± 0,001	0,018 ± 0,001	0,017 ± 0,001
16:1	0,743 ^b ± 0,036	0,589 ^a ± 0,033	0,501 ^a ± 0,033	0,510 ^a ± 0,033
17:1	0,065 ^c ± 0,003	0,044 ^b ± 0,002	0,036 ^a ± 0,002	0,036 ^a ± 0,002
18:1n-9t	0,060 ± 0,003	0,053 ± 0,003	0,056 ± 0,003	0,056 ± 0,003
18:1n-9c	5,363 ^a ± 0,374	5,831 ^{ab} ± 0,339	6,710 ^{bc} ± 0,339	6,801 ^c ± 0,339
18:1n-7	0,812 ^b ± 0,038	0,720 ^{ab} ± 0,034	0,682 ^a ± 0,034	0,682 ^a ± 0,034
20:1	0,343 ^c ± 0,015	0,222 ^b ± 0,013	0,161 ^a ± 0,013	0,162 ^a ± 0,013
22:1n-9	0,057 ^c ± 0,003	0,039 ^b ± 0,003	0,026 ^a ± 0,003	0,027 ^a ± 0,003
24:1	0,068 ^c ± 0,004	0,055 ^b ± 0,004	0,041 ^{ab} ± 0,004	0,045 ^a ± 0,004
18:2n-6	2,787 ^a ± 0,187	3,169 ^{ab} ± 0,170	3,503 ^b ± 0,170	3,570 ^b ± 0,170
20:2n-6	0,169 ^c ± 0,008	0,127 ^b ± 0,007	0,104 ^a ± 0,007	0,106 ^a ± 0,007
22:2n-6	0,082 ^c ± 0,004	0,056 ^b ± 0,003	0,039 ^a ± 0,003	0,039 ^a ± 0,003
18:3n-6	0,028 ± 0,002	0,026 ± 0,002	0,027 ± 0,002	0,027 ± 0,002
20:3n-6	0,020 ^c ± 0,001	0,015 ^b ± 0,001	0,011 ^a ± 0,001	0,012 ^a ± 0,001
20:4n-6 (ARA)	0,154 ^c ± 0,005	0,122 ^b ± 0,005	0,102 ^a ± 0,005	0,104 ^a ± 0,005
22:4n-6	0,079 ^c ± 0,003	0,053 ^b ± 0,003	0,037 ^a ± 0,003	0,037 ^a ± 0,003
18:3n-3	0,784 ^a ± 0,151	1,675 ^b ± 0,137	2,318 ^c ± 0,137	2,343 ^c ± 0,137
20:3n-3	0,039 ^a ± 0,003	0,046 ^{ab} ± 0,003	0,053 ^c ± 0,003	0,053 ^c ± 0,003
20:5n-3 (EPA)	0,620 ^b ± 0,045	0,581 ^{ab} ± 0,041	0,480 ^a ± 0,041	0,495 ^a ± 0,041
22:5n-3	0,333 ^c ± 0,014	0,279 ^b ± 0,012	0,223 ^a ± 0,012	0,224 ^a ± 0,012
22:6n-3 (DHA)	2,267 ^c ± 0,088	1,722 ^b ± 0,079	1,348 ^a ± 0,079	1,390 ^a ± 0,079

Valores expresados en % de materia seca de muestra. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas a $p < 0.05$. Test de Newman-Keuls. Los valores representan la media ± error estándar (n = 12).

TABLA 6: Perfil de ácidos grasos (mg FA/100 mg muestra) en el músculo rojo de *S. dumerili* alimentada con piensos FO 100, FO 25, FO 0 Y FO 0+.

	FO 100	FO 25	FO 0	FO 0+
14:0	0,261 ^{ab} ± 0,031	0,306 ^b ± 0,028	0,199 ^a ± 0,032	0,193 ^a ± 0,028
15:0	0,015 ± 0,004	0,019 ± 0,004	0,015 ± 0,005	0,016 ± 0,004
16:0	2,129 ± 0,147	2,524 ± 0,134	2,276 ± 0,155	2,202 ± 0,134
17:0	0,065 ^c ± 0,003	0,050 ^b ± 0,003	0,038 ^a ± 0,004	0,036 ^a ± 0,003
18:0	0,967 ^a ± 0,066	1,160 ^b ± 0,061	1,079 ^{ab} ± 0,070	1,049 ^{ab} ± 0,061
20:0	0,050 ± 0,004	0,048 ± 0,003	0,056 ± 0,004	0,055 ± 0,003
22:0	0,018 ^a ± 0,002	0,026 ^b ± 0,002	0,026 ^b ± 0,002	0,025 ^b ± 0,002
24:0	0,013 ± 0,001	0,016 ± 0,001	0,015 ± 0,001	0,014 ± 0,001
16:1	0,476 ^b ± 0,027	0,434 ^b ± 0,024	0,324 ^a ± 0,028	0,318 ^a ± 0,024
17:1	0,047 ^c ± 0,002	0,035 ^b ± 0,002	0,025 ^a ± 0,002	0,025 ^a ± 0,002
18:1 _{n-9t}	0,046 ± 0,003	0,044 ± 0,002	0,042 ± 0,003	0,042 ± 0,002
18:1 _{n-9c}	3,959 ^a ± 0,326	4,847 ^{ab} ± 0,298	4,978 ^b ± 0,344	4,873 ^b ± 0,298
18:1 _{n-7}	0,622 ^b ± 0,038	0,615 ^b ± 0,034	0,516 ^{ab} ± 0,040	0,509 ^a ± 0,034
20:1	0,285 ^c ± 0,015	0,176 ^b ± 0,013	0,117 ^a ± 0,015	0,116 ^a ± 0,013
22:1 _{n-9}	0,054 ^c ± 0,004	0,031 ^b ± 0,004	0,020 ^{ab} ± 0,004	0,019 ^a ± 0,004
24:1	0,062 ^c ± 0,004	0,044 ^b ± 0,003	0,032 ^a ± 0,004	0,031 ^a ± 0,003
18:2 _{n-6}	1,928 ^a ± 0,157	2,497 ^b ± 0,143	2,493 ^b ± 0,165	2,434 ^b ± 0,143
20:2 _{n-6}	0,118 ^c ± 0,006	0,098 ^b ± 0,006	0,071 ^a ± 0,006	0,072 ^a ± 0,006
22:2 _{n-6}	0,060 ^c ± 0,004	0,041 ^b ± 0,003	0,026 ^a ± 0,004	0,028 ^a ± 0,003
18:3 _{n-6}	0,019 ± 0,006	0,018 ± 0,005	0,016 ± 0,006	0,026 ± 0,005
20:3 _{n-6}	0,016 ^b ± 0,002	0,012 ^{ab} ± 0,002	0,012 ^{ab} ± 0,002	0,008 ^a ± 0,002
20:4 _{n-6} (ARA)	0,135 ^c ± 0,006	0,108 ^b ± 0,006	0,085 ^a ± 0,006	0,083 ^a ± 0,006
22:4 _{n-6}	0,075 ± 0,004	0,049 ± 0,003	0,033 ± 0,004	0,033 ± 0,003
18:3 _{n-3}	0,429 ^a ± 0,105	1,298 ^b ± 0,096	1,552 ^b ± 0,111	1,524 ^b ± 0,096
20:3 _{n-3}	0,029 ^a ± 0,003	0,042 ^b ± 0,003	0,043 ^b ± 0,003	0,043 ^b ± 0,003
20:5 _{n-3} (EPA)	0,480 ^b ± 0,026	0,438 ^b ± 0,023	0,336 ^a ± 0,027	0,334 ^a ± 0,023
22:5 _{n-3}	0,315 ^b ± 0,019	0,266 ^b ± 0,017	0,202 ^a ± 0,02	0,198 ^a ± 0,017
22:6 _{n-3} (DHA)	2,067 ^c ± 0,099	1,566 ^b ± 0,09	1,171 ^a ± 0,104	1,168 ^a ± 0,09

Valores expresados en % de materia seca de muestra. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas a $p < 0.05$. Test de Newman-Keuls. Los valores representan la media ± error estándar (n = 12).

El pienso que contenía aceite de pescado como única fuente lipídica (FO 100) presentó una mayor cantidad de ácidos grasos altamente insaturados *n-3* de origen marino (EPA y DHA). Este aumento se reflejó tanto en músculo blanco como rojo (Tablas 5 y 6).

En los piensos formulados con las mezclas de aceites vegetales (palma, girasol y linaza) en diferentes porcentajes se observó que a medida que la cantidad de aceite vegetal aumentaba en la alimentación, se produjo una disminución significativa en el contenido de *n-3* HUFA. Esta reducción fue mucho más marcada para el DHA (que pasó de 2,26mg a 1,34mg de ácido graso/100g de muestra en el músculo blanco y de 2,06mg a 1,17mg de ácido graso/100g de muestra en el músculo rojo) que para el EPA. La reducción en el músculo rojo resultó muy marcada, pues supuso aproximadamente un 40%.

Los ácidos grasos mayoritarios en los ejemplares alimentados con las mezclas vegetales fueron el 18:1*n-9* (ácido oleico), 18:2*n-6* (linoleico), 16:0 (palmítico) y 18:3*n-3* (linolénico), respectivamente. Aunque ambos músculos mostraron aumentos en los mismos ácidos grasos, los valores más elevados los presentó el músculo blanco (con mayor cantidad de grasa) (Tabla 5).

El ácido oleico (18:1*n-9*) destacó dentro de los ácidos grasos monoinsaturados, ya que presentó valores muy por encima del resto de ácidos grasos. Este ácido graso presentó diferencias estadísticamente significativas entre piensos tanto en músculo blanco como el rojo, aunque podemos destacar los altos valores hallados en el músculo blanco, que llegaron hasta 6,71mg en el pienso FO 0 (Tabla 5), debido lógicamente a que estos peces fueron alimentados con el pienso que contenía un mayor porcentaje de este ácido graso.

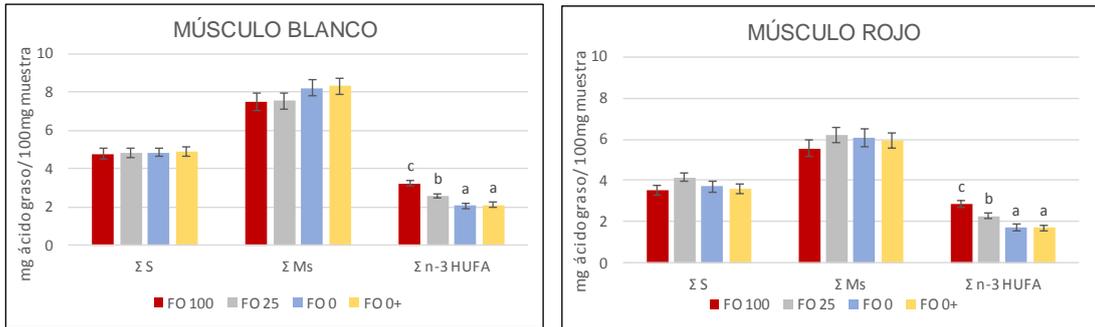
El ácido linoleico (18:2*n-6*) predominó sobre el linolénico (18:3*n-3*), y este aumento fue estadísticamente significativo en ambos músculos, aunque en el músculo rojo obtuvo valores bastante inferiores al blanco (relacionado como ya hemos indicado anteriormente con la cantidad de grasa de cada uno de los músculos). Si observamos las cifras obtenidas para el pienso FO 0 en músculo blanco y rojo, el ácido linoleico presentó cantidades de 3,50mg y 2,49mg/100g de muestra, respectivamente; y una disminución similar se observó para el ácido linolénico, que presentó valores de 2,31 y 1,55mg/100g de muestra, respectivamente.

El ácido graso saturado que se encontró en mayores cantidades tanto en músculo blanco como rojo fue el ácido palmítico (16:0), que fue superior a medida que aumentó la cantidad de aceite vegetal en el pienso, aunque no mostró diferencias significativas.

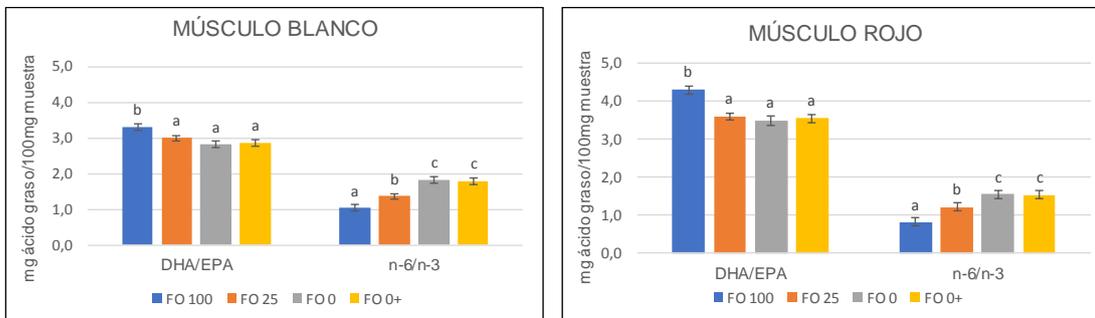
A continuación, se representan gráficamente los sumatorios totales de los diferentes grupos de ácidos grasos analizados (Fig.1 y Fig.2), así como los ratios DHA/EPA y *n-6/n-3* en músculo blanco y músculo rojo (Fig.3 y Fig.4) de *Seriola dumerili* alimentada con los diferentes piensos.

Si observamos los sumatorios de los diferentes grupos de ácidos grasos en músculo blanco y rojo, destaca el grupo de ácidos grasos monoinsaturados (Σ Ms) por presentar los valores más altos. Este aumento destacó en el músculo blanco (Figura 1), donde, los piensos con mayor porcentaje vegetal (FO 0 y FO 0+) sobrepasaron los 8mg /100mg de

muestra. Sin embargo, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre piensos.



Figuras 1 y 2: Sumatorios de ácidos grasos en músculo blanco y rojo de *Seriola dumerili* alimentada con los diferentes piensos. ΣS : Sumatorio de ácidos grasos saturados; ΣMs : sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; $\Sigma n-3$ HUFA: sumatorio de ácidos grasos altamente insaturados de cadena $n-3$.



Figuras 3 y 4: Ratio DHA/EPA y ratio $n-6/n-3$ en músculo blanco y rojo de *Seriola dumerili* alimentada con los diferentes piensos.

En lo que respecta al sumatorio total de ácidos grasos saturados (ΣS) en músculo blanco y rojo, tampoco se observan diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes piensos. En cambio, en el músculo blanco los valores se encuentran más elevados (todos los piensos sobrepasan los 4mg/100 mg de muestra) debido a que contiene mayor cantidad de grasa.

En cuanto al sumatorio de ácidos grasos altamente insaturados de cadena $n-3$ ($\Sigma n-3$ HUFA), se observan diferencias estadísticamente significativas entre el pienso FO 100, el FO 25 y el FO 0 (con y sin probiótico), que muestran la misma tendencia en ambos músculos. Se observó que el pienso FO 100 presentó los valores más elevados, que fueron disminuyendo al aumentar la cantidad de aceite vegetal.

Al comparar el pienso FO 0 con el FO 0+ en los diferentes grupos de ácidos grasos representados, ambos con la misma composición en aceites vegetales y con la única diferencia de la incorporación de los probióticos *Lactobacillus brevis* y *L. buchneri* en FO 0+, observamos que el músculo blanco presentó valores de ácidos grasos más elevados que el músculo rojo. Sin embargo, no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Si observamos los gráficos con el índice DHA/EPA, en ambos músculos se observa la misma tendencia: se observan diferencias estadísticamente significativas entre el pienso FO 100, que presenta los valores más elevados, y los piensos con inclusión de aceites vegetales, que muestran los índices más reducidos. También observamos que el músculo rojo presenta

un índice superior a los 4mg de ácido graso/100mg de muestra y en el blanco supera levemente los 3mg.

Por último, si comparamos el índice $n-6/n-3$ en músculo blanco y rojo, encontramos que el músculo blanco presenta los índices más elevados. Cabe resaltar que aparecen diferencias estadísticamente significativas entre el pienso FO 100 y los piensos FO 25, FO 0 y FO 0+ de cada músculo, presentando el índice más bajo el pienso FO 100 e incrementándose progresivamente conforme aumenta la proporción de aceite vegetal en los piensos.

5. DISCUSIÓN

Tras analizar los resultados obtenidos en cuanto a la composición del filete de seriola alimentada con diferentes niveles de aceites vegetales en sustitución al aceite de pescado, podemos decir que la composición grasa del filete no mostró diferencias significativas entre tratamientos, y que el músculo blanco estudiado mostró un mayor porcentaje de grasa con respecto al rojo, aumento característico de los tejidos de almacén de lípidos. Estos resultados respaldan estudios realizados en especies como el salmón (Nanton et al., 2007).

Los resultados del presente trabajo corroboran que el perfil lipídico del músculo de los peces refleja el perfil de ácidos grasos del alimento ingerido, tal y como también se ha observado en experimentos similares en otras especies como la dorada, rodaballo, fletán o salmón atlántico (Sargent et al., 1999). Los peces alimentados con el pienso FO 100, sin aceite vegetal, presentaron el contenido más elevado de ácidos grasos esenciales (EPA, DHA y AA). Sin embargo, en los piensos con inclusión de la mezcla de palma, girasol y linaza, las concentraciones de AGE $n-3$ HUFA disminuyeron progresivamente conforme aumentaba la cantidad de aceite vegetal. Estos resultados respaldan otros estudios realizados en otros peces marinos como la dorada (Bouraoui et al., 2010), en los que también se observó que la sustitución de aceites de pescado por aceites vegetales produjo una reducción en los niveles de $n-3$ HUFA, que disminuyeron drásticamente en el músculo de los peces alimentados con bajos niveles de aceite de pescado.

Se sabe que los ácidos grasos esenciales son necesarios para alcanzar el correcto crecimiento, desarrollo y reproducción del pez (Sargent et al., 1999; Tocher, 2003). No obstante, es posible que los requerimientos en EPA y DHA estén sobreestimados, ya que, estudios como el de Guillaume et al. (2004) comprobaron que las necesidades en EPA y DHA de los juveniles de seriola se situaba en un 0,5%, mientras que en el presente estudio el contenido fue del 0,3% y no provocó efectos negativos sobre el crecimiento (Cruz, 2015).

Los resultados obtenidos en el presente estudio para los piensos con sustitución parcial o total de aceite de pescado mostraron en ambos músculos un predominio de 18:1 $n-9$ (ácido oleico), 18:2 $n-6$ (linoleico), 16:0 (palmítico) y 18:3 $n-3$ (linolénico), respectivamente. Sin embargo, el ácido oleico, 16:0 y DHA, fueron los ácidos grasos predominantes en músculo blanco y rojo de seriolas que se alimentaron con mayor cantidad de aceite de pescado. Estos resultados respaldan estudios como el Carpenne et al.,

(1998), donde se comparan las proporciones de ácidos grasos linoleico y DHA en músculo blanco y rojo de ejemplares de dorada salvaje y en granja. Los resultados en los ejemplares en granja presentaron cantidades más elevadas de 18:2*n*-6 (característico de las dietas vegetales) y más bajas de DHA, mientras que los ejemplares que se alimentaron con alimento natural, obviamente rico únicamente en aceite de pescado, obtuvieron valores elevados para el DHA, mientras que el ácido linoleico aparecía disminuido.

A pesar del aumento estadísticamente significativo observado en los ácidos grasos linoleico y linolénico en las piensos vegetales, la cantidad en AGE (ARA, EPA y DHA) disminuyó significativamente en el músculo blanco y rojo de *S. dumerili*, lo que confirma su baja capacidad para convertir el ácido linoleico (18:2*n*-3) en ácido araquidónico (ARA), y el ácido linolénico (18:3*n*-3) en EPA y DHA (Sargent et al., 2002), como es el caso de otros peces teleósteos marinos.

En cuanto a los resultados obtenidos con el pienso FO 0+ con respecto al FO 0, no se observaron beneficios con la adición de probiótico. En otras especies, se ha comprobado que la adición de probiótico mejora la digestibilidad de los nutrientes, tal y como se ha demostrado en tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lenguado (*Solea senegalensis*), donde se observó que el uso de probióticos en piensos mejoraba la digestibilidad de los nutrientes y la supervivencia en peces (Aly et al., 2008). Otros estudios han comprobado que la adición de probióticos incrementa el crecimiento y mejora los parámetros inmunológicos de los peces sin dejar residuos tóxicos (Nimrat et al. 2011). En el presente trabajo estos parámetros no se han valorado y no se han encontrado trabajos en los que se evalúe el efecto de la adición de probióticos sobre la calidad de la carne, concretamente sobre el contenido de ácidos grasos en el músculo.

En lo que respecta a la calidad de los filetes desde el punto de vista de los beneficios aportados al consumidor, se emplean los índices de aterogenidad (IA) y trombogenicidad (IT), que valoran los alimentos en cuanto a su capacidad para prevenir procesos inflamatorios, trombogénicos, vaso activos, arritmogénicos y carcinogénicos (Dubnov-Raz y Berry, 2008). Cuanto más bajos son estos índices en los alimentos consumidos, mejor se valora el alimento.

El índice aterogénico es un indicador que valora la contribución de las grasas de un alimento a la generación de placas de ateroma (depósitos de lípidos) en las arterias. El índice trombogénico nos ayuda a determinar el contenido equilibrado de los ácidos grasos del alimento y mide la capacidad potencial de un alimento para producir trombosis o embolias. Este índice depende fundamentalmente del contenido en *n*-3 PUFA. También se utiliza el índice *n*-6/*n*-3, mediante el cual valoramos lo cardiosaludables que son los ácidos grasos presentes en el alimento.

En la Tabla 7 se reflejan los valores calculados del Índice de aterogenidad (IA), Índice de trombogenicidad (IT) y cociente *n*-6/*n*-3 de los filetes de los peces alimentados con los cuatro piensos experimentales FO 100, FO 25, FO 0 y FO 0+. Los valores hacen referencia al músculo blanco, que es el que mayor cantidad de grasa presentaba.

TABLA 7: Índices de aterogenicidad (IA) y teratogenicidad (IT) y cociente *n-6/n-3* obtenidos en músculo blanco de los filetes de las seriolas alimentadas con los diferentes piensos experimentales.

	FO 100	FO 25	FO 0	FO 0+
<i>n-6/n-3</i>	0,816 ^a ± 0,039	1,221 ^b ± 0,035	1,553 ^c ± 0,041	1,543 ^c ± 0,035
IA	0,299 ^a ± 0,011	0,330 ^b ± 0,010	0,291 ^b ± 0,011	0,286 ^c ± 0,010
IT	0,220 ^a ± 0,009	0,214 ^a ± 0,008	0,178 ^b ± 0,008	0,226 ^a ± 0,008

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas a $p < 0.05$. Test de Newman-Keuls. Los valores representan la media ± error estándar ($n = 12$). Índice de aterogenicidad (IA) = $[(C12:0 + (4 * C14:0) + C16:0)] / [\sum MUFA + n-6 PUFA + n-3 PUFA]$; Índice de trombogenicidad (IT) = $(C14:0 + C16:0 + C18:0) / [(0.5 * \sum MUFA + 0.5 * n-6 PUFA + 3 * n-3 PUFA) + (n-3 PUFA / n-6 PUFA)]$

Como puede comprobarse, el índice *n-6/n-3* presentó el valor más reducido en el pienso con mayor inclusión de aceite de pescado (FO 100). En el resto de piensos el índice empeoró significativamente conforme aumentaba la mezcla de aceites vegetales. Esto resulta lógico, ya que el aceite de pescado contiene mayor cantidad de ácidos grasos *n-3* que los piensos con adición de aceites vegetales, donde predominan los ácidos grasos *n-6*. A pesar de este aumento, en ningún caso podemos considerar que este ratio del filete de las seriolas alimentadas con el pienso sin aceite de pescado sea perjudicial como alimento, ya que para considerar este ratio peligroso o poco saludable debería exceder de 5 (Nogales, 2011).

En lo que respecta al índice aterogénico (IA) encontramos que los valores empeoran significativamente al aumentar la cantidad de aceite vegetal, aunque son valores tan bajos que en ningún momento se pueden considerar peligrosos. De igual forma ocurre con el índice trombogénico (IT). Otro estudio realizado en sargo picudo (*Diplodus puntazzo*) (Nogales., 2011) obtuvo resultados muy similares en estos índices al sustituir el aceite de pescado por aceite de soja en diferentes porcentajes.

En la Tabla 8 se comparan los índices de aterogenicidad (IA) y teratogenicidad (IT) y cociente *n-6/n-3* de la seriola de nuestro estudio con resultados obtenidos en otros peces marinos y animales terrestres. Si comparamos el valor del ratio *n-6/n-3* obtenido en *Seriola dumerili* alimentada con el pienso que incluía mayor cantidad de mezcla de aceites vegetales (ratio 1,55), con los de lubina salvaje (ratio 0,58) y los de la carne de diferentes animales de ganadería terrestre (Tabla 8) podemos decir que la carne de pescado, tiene un ratio *n-6/n-3* mucho más saludable que el de los animales terrestres y que, a pesar de que el de la seriola es mayor que el de la lubina salvaje, dista mucho del 5 que hemos comentado anteriormente.

Al comparar el índice de trombogenicidad (IT) obtenido en seriolas alimentadas con mayor cantidad de mezcla de aceites vegetales (ratio 0,26, Tabla 8) con el valor para la lubina salvaje, se observa que el valor es ligeramente superior. Sin embargo, también dista mucho de los valores obtenidos en los animales terrestres, donde el valor más elevado lo presenta la ternera (ratio 1,87). Por este motivo también puede considerarse más saludable.

TABLA 8: Índice de Aterogenicidad (IA), Índice de Trombogenicidad (IT) y relación *n-6/n-3* en algunos de los animales marinos y terrestres más consumidos.

	Seriola	Lubina ¹	Anchoa ¹	Conejo ²	Cerdo ³	Cordero ⁴	Pollo ⁵	Ternera ⁶
<i>n-6/n-3</i>	1,55	0,58	0,10	4,98	10,32	2,50	8,57	6,06
IA	0,25	0,45	1,35	0,62	0,52	0,90	0,58	0,84
IT	0,26	0,25	0,45	0,87	1,23	1,00	0,56	1,87

¹ (Valfre et al., 2003); ² (Volek y Marounek, 2011); ³ (Razmaite et al., 2011); ⁴ (Vacca et al., 2008); ⁵ (Laudadio y Tufarelli, 2010); ⁶ (Mele et al., 2008).

Por último, si comparamos el índice de aterogenicidad (IA) de la seriola (0,25, Tabla 8) con los valores para la lubina o para el resto de animales terrestres presenta los valores más reducidos, por lo que igualmente podemos considerar la carne saludable.

Los resultados obtenidos para los índices de calidad nutricional de lípidos en *Seriola dumerili* indican que la composición lipídica del filete fresco es nutricionalmente adecuada para el consumo humano, si bien, a mayores inclusiones de mezcla de aceite vegetal los índices se ven repercutidos. Resultados similares se obtuvieron para otras especies como el sargo picudo (Nogales, 2011), donde tanto los parámetros de calidad nutricional como de salud humana (basados en el IA, IT y *n-6/n-3*) mostraron que los filetes de sargo picudo alimentado con diferentes proporciones de aceite de soja son igual de nutritivos y saludables que los que contenían el 100% de aceite de pescado.

6. CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados obtenidos en este estudio, podemos decir que:

- Los altos niveles dietarios de aceites vegetales en los piensos para *S. dumerili* producen modificaciones en la cantidad de grasa y en el perfil de ácidos grasos de músculo blanco y rojo, sobre todo en lo que respecta al aporte de *n-3* HUFA en el filete, los cuales se vieron significativamente reducidos.
- La composición en ácidos grasos del músculo blanco y rojo de *S. dumerili* fue el reflejo de los niveles presentes en cada pienso experimental, y se ha confirmado la baja capacidad de *S. dumerili* para convertir el ácido linoleico en ácido araquidónico (ARA), y el ácido linolénico (18:3*n-3*) en EPA y DHA, ya que las cantidades de estos ácidos grasos precursores se incrementaron notablemente en las dietas con aceites vegetales, pero no se observó aumento en los HUFA.
- Los índices de calidad nutricional lipídica obtenidos han demostrado que los filetes de seriola son nutricionalmente aptos para consumo humano y que su ingesta no repercute desfavorablemente en la salud del consumidor y siguen aportando los beneficios asociados.
- En lo que respecta a la adición de probióticos en el pienso FO 0+, podemos decir que parece que no mejora la digestibilidad de los nutrientes para *S. dumerili*, pues no se observaron incrementos significativos en el perfil de ácidos grasos con respecto al pienso que no lo adicionaba (FO 0).

- Para finalizar, se ha demostrado que la inclusión de aceites vegetales en los piensos para *S. dumerili* es factible. Sin embargo, es importante estudiar los hábitos alimenticios de cada especie en la naturaleza y en cada etapa de su vida. De esta forma podremos determinar sus requerimientos nutricionales específicos (incluidos los AGE) y formular los piensos más adecuados para ellos.

7. REFERENCIAS

- Akhter, N.; Wu, B.; Memon, A.; Mohsin, M. 2015. Probiotics and prebiotics associated with aquaculture: A review. *Fish & Shellfish Immunology* **45**: 733-741.
- Aly, S.; Abdel-Galil, A.; Abdel-Aziz, G.; Mohamed, M. 2008. Studies on *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus*, as potential probiotics, on the immune response and resistance of tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections. *Fish Shellfish Immunology* **25**: 128–136.
- APROMAR. 2016. Informe: La acuicultura en España 2016. Dirección URL: <http://www.apromar.es/content/la-acuicultura-en-españa-2016>. Consulta [25 Abr. 2017].
- Badalamenti, F.; D' Anna, G.; Lopiano, L.; Scilipoti, D.; Mazzola, A. 1995. Feeding habits of young-of-the-year greater amberjack *Seriola dumerili* (Risso, 1810) along the N/W Sicilian coast. *Scientia Marina* **59** (3-4): 317-323.
- Badillo-Zapata, D.; Correa-Reyes, G.; DAbramo, L.R.; Lazo J.P.; Toro-Vázquez J.F.; Viana, M.T. 2010. Efecto de sustituir el aceite de pescado dietético con aceites vegetales en la composición de ácidos grasos del tejido muscular de juveniles de lenguado de California (*Paralichthys californicus*). *Ciencias Marinas* **36** (2): 121-133.
- Bayraktar, K.; Bayır, A. 2012. The effect of the replacement of fish oil with animal fats on the growth performance, survival and fatty acid profile of rainbow trout juveniles, *Oncorhynchus mykiss*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **12** (3).
- Bell, J.G.; McGhee, F.; Campbell, P.J.; Sargent, J.R. 2003. Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil "wash out". *Aquaculture* **218** (1-4): 515.
- Benedito Palos, L. 2010. Sustitución de aceites de pescado en dietas de engorde de dorada (*Sparus aurata*) ricas en proteínas vegetales. Efectos sobre el crecimiento y los perfiles de ácidos grasos. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- Bouraoui, L.; Sánchez-Gurmaches, J.; Cruz-García, L.; Gutiérrez, J.; Benedito-Palos, L.; Pérez-Sánchez, J.; Navarro, I. 2010. Effect of dietary fishmeal and fish oil replacement on lipogenic and lipoprotein lipase activities and plasma insulin in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Nutrition* **17**: 54-63.
- Bowyer, J.N.; Qin, J.G.; Smullen, R.P.; Stone, D.A.J. 2012. Replacement of fish oil by poultry oil and canola oil in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) at optimal and suboptimal temperatures. *Aquaculture* **356-357**: 211-222.
- Caballero, M.J.; Obach, A.; Rosenlund, G.; Montero, D.; Gisvold, M.; Izquierdo, M.S. 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **214**: 253-271.
- Carlson, S.E.; Werkman, S.H.; Rhodes, P.G.; Tolley, E.A. 1993. Visual-acuity development in healthy preterm infants: effect of marine-oil supplementation. *American Journal of Clinical Nutrition* **58**, 35–42.
- Carpene, E.; Martin, B.; Dalla Libera, L. 1998. Biochemical differences in lateral muscle of wild and farmed gilthead sea. *Fish Physiology and Biochemistry* **19** (3): 229–238.
- Cruz, C. A. 2015. Sustitución del aceite de pescado en piensos para *Seriola dumerili* (Pisces: Carangidae): Efectos en el crecimiento, parámetros nutritivos, composición corporal y calidad del filete. Trabajo Fin de Máster. Universitat Politècnica de València.
- Dangour, A.D.; Andreeva, V.A.; Sydenham, E.; Uauy, R. 2012. Omega 3 fatty acids and cognitive health in older people. *British Journal of Nutrition* **107**, S152–S158.

Delgado-Lista, J.; Perez-Martinez, P.; Lopez-Miranda, J.; Perez-Jimenez, F. 2012. Long chain omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: a systematic review. *British Journal of Nutrition* **107**, S201–S213.

Dubnov-Raz G.; Berry, E. M. 2008. High ω_6 : ω_3 Fatty Acid Ratio. The Israeli Experience. In: *Wild-Type Food in Health Promotion and Disease Prevention*. F. De Meester & R.R. Watson (Eds). Humana Press Inc. Totowa - New York - USA, 574.

FAO. 2016-2017. "Cultured Aquatic Species Information Programme. *Seriola dumerili*." Jerez, S.; Vassallo, R. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department, [en línea]. Rome. Dirección URL: <http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Seriola_dumerili/en>. [Consulta: 25 Abr. 2017].

Guillaume, J.; Kaushik, S.; Bergot, P.; Metailler, R. 2004. *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Edic. Mundi-Prensa de España, S.A.

Hardy, R. 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research* **41** (5): 770–776.

Higgs, D.A.; Balfry, S.K.; Oakes, J.D.; Rowshandeli, M.; Skura, B.J.; Deacon, G. 2006. Efficacy of an equal blend of canola oil and poultry fat as an alternative dietary lipid sources for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in sea water. I: effects on growth performance, and whole body and fillet proximate and lipid composition. *Aquaculture Research* **37**: 180–191.

Huang S.S.Y.; Fu, C.H.L.; Higgs, D.A.; Balfry S.K.; Schulte P.M.; Brauner C.J. 2008. Effects of dietary canola oil level on growth performance, fatty acid composition and ionregulatory development of spring chinook salmon parr, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture* **274**: 109–117.

Izquierdo, M. 2005. Essential fatty acid requirements in Mediterranean fish species. *Cahiers Options Méditerranéennes* **63**: 91- 102.

Izquierdo, M.; Montero, D.; Robaina, L.; Caballero, M.J.; Rosenlund, G.; Ginés, R. 2005. Alternations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. *Aquaculture* **250** (1- 2): 431-444.

Miles, E.A. & Calder, P.C. 2012. Influence of marine n-3 polyunsaturated fatty acids on immune function and a systematic review of their effects on clinical outcomes in rheumatoid arthritis. *British Journal of Nutrition*. **107**, S171–S184.

Mundheim, H., Aksnes, A.; Hope, B. 2004. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. *Aquaculture* **237** (1): 315-331.

Nakada, M. 2000. Yellowtail and related species culture. In Stickney, R.R. (Ed.), *Encyclopedia of Aquaculture*. Wiley, London, 1007–1036.

Nanton, D.A.; Vegusdal, A.; Rora, A.M.B.; Ruyter, B.; Baeverfjord, G.; Torstensen, B.E. 2007. Muscle lipid storage pattern, composition, and adipocyte distribution in different parts of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed fish oil and vegetable oil. *Aquaculture* **265**: 230-243.

Nimrat, S.; Vuthiphandchai, V. 2011. In vitro evaluation of commercial probiotic products used for marine shrimp cultivation in Thailand. *African Journal of Biotechnology* **10**: 4643-4650.

Nogales, S. 2011. Efecto de la inclusión de fuentes proteicas y lipídicas en la alimentación del sargo picudo "Diplodus puntazzo". Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

OCDE/FAO. 2015. *Perspectivas Agrícolas*. OECD Publishing, París.

O'Fallon, J. V.; Busboom J. R.; Nelson M. L.; Gaskins C. T. 2007. A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues oils, and feedstuffs. *Journal Animal Science* **85**: 1511-1521.

Regost, C.; Arzel, J.; Robin, J.; Rosenlund, G.; Kaushik, S.J. 2003. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): 1. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. *Aquaculture* **217**: 465-482.

Sargent, J.R.; Bell, J.G.; Tocher, D.; Estevez, A. 1999. Recent development in the essential fatty acids nutrition of fish. *Aquaculture* **177**: 191-199.

Sargent, J.R., Tocher, D.R., Bell, J.G. 2002. The lipids. In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), *Fish Nutrition*. San Diego, California: Elsevier (Academic Press), 181–257.

Takeuchi, T.; Shiina, Y.; Watanabe, T.; Sekiya, S.; Imaizumi, K. 1992. Suitable levels of n-3 highly unsaturated fatty acids in diets for fingerlings of yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi* **58**: 1341–1346.

Tocher, D.R. 2003. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science* **11**: 107-184.

Turchini, G.M.; Torstensen, B.E.; Ng, W.-K.; 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture* **1**: 10–57.