

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI  
NATURAL



## **Efecto de la sustitución total del aceite de pescado en el análisis sensorial de la seriola mediterránea**

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS  
ALIMENTOS

ALUMNO: Iván Sanchis Jaén  
TUTORA: Ana Tomás Vidal  
COTUTORA: Silvia Martínez Llorens  
*Curso académico 2018/2019*  
VALÈNCIA, Julio de 2019

## RESUMEN EN CASTELLANO

**Título:** Efecto de la sustitución total del aceite de pescado en el análisis sensorial de la **seriola mediterránea**.

**Resumen:** El descenso en la fabricación de las principales materias primas que se utilizan en la acuicultura, principalmente la harina y el aceite de pescado, junto con el auge de esta actividad en la actualidad, son los motivos principales del aumento de precio de la producción de pescado, lo que ha promovido un aumento del interés en buscar fuentes más económicas de materias primas que sustituyan a las utilizadas habitualmente para conseguir que la acuicultura continúe siendo rentable.

El presente estudio muestra, mediante una prueba triangular, un análisis de aminoácidos libres separados mediante cromatografía líquida (HPLC), el método Ankom Technology Método 2 y el método adaptado de O'Fallon, cuáles son los efectos en las características organolépticas y en la composición de ácidos grasos del pez cuando se sustituyen completamente el aceite de pescado en el pienso de *Seriola dumerili* por una mezcla de aceites vegetales constituida por aceite de linaza, girasol y palma.

**Palabras clave:** Acuicultura, seriola, aceite de pescado, aceite vegetal, cromatografía, aminoácidos libres, análisis sensorial.

**Alumno:** Iván Sanchis Jaén

**Tutora:** Ana Tomás Vidal

**Cotutora:** Silvia Martínez Llorens  
València, Junio de 2018

## RESUMEN EN VALENCIÀ

**Títol:** Efecte de la substitució total de l'oli de peix en l'anàlisi sensorial de la **seriola mediterrània**.

**Resum:** El descens en la fabricació de les principals matèries primeres que s'utilitzen en l'aqüicultura, principalment la farina i l'oli de peix, juntament amb l'auge d'aquesta activitat en la actualitat, són els motius principals de l'augment de preu de la producció de peix, el que ha promogut un augment de l'interès en buscar fonts més econòmiques de matèries primeres que substituïsquen a les emprades habitualment per a aconseguir que l'aqüicultura continue sent rentable.

El present estudi mostra, mitjançant una prova triangular, una anàlisi d'aminoàcids lliures separats per una cromatografia líquida (HPLC), el mètode Ankom Technology Mètode 2 i el Mètode adaptat de O'Fallon, quins són efectes en les característiques organolèptiques i en la composició d'àcids grassos del peix quan es substitueix completament l'oli de peix en el pinso de *Seriola dumerili* per una barreja d'oli vegetal constituïda per oli de llinosa, gira-sol i palma.

**Paraules clau:** Aqüicultura, seriola, oli de peix, oli vegetal, cromatografia, aminoàcids lliures, anàlisi sensorial.

**Alumne:** Iván Sanchis Jaén

**Tutora:** Ana Tomás Vidal

**Cotutora:** Silvia Martínez Llorens

València, Juny de 2018

# ABSTRACT

**Title:** Effect of the total substitution of fish oil in the sensory analysis of the seriola Mediterranean.

**Abstract:** The decrease on the production of the main raw materials use in the aquaculture, mainly fishmeal and fishoil, besides the boom of this activity nowadays, are the cause of the price increase of the fish production. This has promoted a rise of the interest in searching sources cheaper of raw materials that replace those used already to get that the aquaculture remain profitable. The present study shows, through four different techniques as a triangular test, an analysis of free amino acids separated with high performance liquid chromatography (HPLC), the Ankom Technology metode 2 and the adapted method o'fallon, which are the effects in the organoleptic characteristics and the composition of the fish's fatty acids when the fishoil is completaly replace by a fishoil mix compoused by linseed, sunflower and palm oil in the Seriola dumerili's feed.

**Keywords:** Aquaculture, fish, seriola, fish oil, vegetable oil, feed, chromatography, free amino acids, sensory analysis.

**Student:** Iván Sanchis Jaén

**Professor:** Ana Tomás Vidal

**Co-tutor:** Silvia Martínez Llorens

València, June, 2018

# ÍNDICE.

1. Introducción. ....	1
1.1. Acuicultura.....	1
1.1.1 Acuicultura en el mundo.....	1
1.1.2. Acuicultura en Europa.....	5
1.1.3. Acuicultura en España.....	7
1.2. <i>Seriola dumerili</i> . ....	9
1.2.1. Anatomía. ....	9
1.2.2. Hábitat. ....	9
1.2.3. Producción y comercialización de <i>Seriola dumerili</i> . ....	10
1.2.4. Alimentación de la seriola.....	11
1.3. Sustitución del aceite de pescado. ....	11
1.4. Calidad del pescado. ....	11
1.5. Efecto de la alimentación sobre la calidad del filete de s. dumerili. ....	11
2. Justificación y objetivos. ....	15
2.1. Justificación. ....	15
2.2. Objetivos. ....	15
3. Material y métodos. ....	16
3.1. Peces. ....	16
3.1.1. Peces y desarrollo experimental. ....	16
3.1.2. Piensos experimentales.....	16
3.1.3. Preparación de la muestra.....	18
3.2. Análisis.....	19
3.2.1. Preparación de las muestras. ....	19
3.2.2. Determinación de materia seca. ....	19
3.2.3. Determinación de grasa bruta. ....	19
3.2.4. Determinación de ácidos grasos. ....	19
3.2.5. Análisis de aminoácidos libres. ....	19
3.2.6. Análisis sensorial.....	20
3.2.7. Análisis estadístico de los resultados.....	21
4. Resultados.....	22
4.1. Composición del músculo. ....	22
4.2. Análisis de aminoácidos libres.....	25
4.3. Análisis sensorial. ....	27
5. Discusión.....	28
6. Bibliografía. ....	30

# ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.

## **Figuras.**

- Figura 1. Producción de Lubina (en toneladas) en España en los últimos años.
- Figura 2. Producción de Dorada (en toneladas) en España en los últimos años.
- Figura 3. Producción de Rodaballo (en toneladas) en España en los últimos años.
- Figura 4. Producción de Corvina (en toneladas) en España en los últimos años.
- Figura 5. Curvas comparativas de crecimiento de seriola, dorada y lubina, criadas en instalaciones experimentales en tierra.

## **Tablas.**

- Tabla 1. Producción de pescado a nivel mundial en millones de toneladas en los últimos años.
- Tabla 2. Harina de pescado producida a nivel mundial en toneladas.
- Tabla 3. Países con mayor producción de harina de pescado (toneladas) en los últimos años.
- Tabla 4. Países con mayor producción de aceite de pescado (toneladas) en los últimos años.
- Tabla 5. Especies producidas en la UE por volumen y valor en 2015.
- Tabla 6. Mayores países productores de harina de pescado en la Unión Europea en 2016 y 2017.
- Tabla 7. Formulación (g kg<sup>-1</sup>) y composición nutritiva (%) de cada uno de los piensos.
- Tabla 8. Composición de ácidos grasos (g 100 g<sup>-1</sup> en peso húmedo) en los piensos experimentales administrados a los ejemplares de *Seriola dumerili*.
- Tabla 9. Hojas de respuestas del análisis sensorial.
- Tabla 10. Composición (% humedad) en músculo de *Seriola dumerili* alimentada con el pienso control FO 100 y el pienso FO 0.
- Tabla 11. Perfil de ácidos grasos (mg FA/100 mg muestra) en el músculo *S. dumerili* alimentada con los piensos FO 100 y el pienso FO 0.
- Tabla 12. Perfil de aminoácidos libres de los diferentes tipos de pescado en mgAA/100g de pescado.

## ABREVIATURAS

- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- IEO: Instituto Español de Oceanografía.
- EE. UU.: Estados Unidos.
- ARA: Ácido araquidónico.
- ALA: Ácido  $\alpha$ -linolénico.
- EPA: Ácido eicosapentaenoico.
- DHA: Ácido docosahexaenoico.
- PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados.
- HUFA: Ácidos grasos altamente insaturados.

## **1. Introducción.**

El consumo de pescado ha aumentado considerablemente en las últimas décadas. En 2015, el 17% de la proteína animal consumida fue de pescado, lo que supuso alrededor de 20,2 kg de proteína consumida por persona, más del doble que en la década de los 60 teniendo en cuenta que en 1961 se consumieron aproximadamente 9 kg por persona.

Este aumento del consumo de pescado hace que sea necesario obtener formas más eficientes y seguras de obtenerlo (FAO, 2018a).

### **1.1. Acuicultura.**

Según la FAO, la acuicultura es “el cultivo de organismos acuáticos tanto en zonas costeras como del interior que implica intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción” (FAO, 2018b).

En las tres últimas décadas, la acuicultura ha sido el subsector de producción alimentaria que más ha crecido, de hecho, en la actualidad varios países obtienen más pescado a partir de la acuicultura que a través de la pesca (FAO, 2015).

Una de las ventajas de la acuicultura es que ayuda a combatir la sobreexplotación de los recursos marinos que va en aumento desde hace muchos años y así permitir reestablecer las poblaciones naturales de los ecosistemas marinos (FAO, 2015).

La disminución actual de los recursos marinos hace necesario que las investigaciones se centren en obtener mayor cantidad de alimento intentando explotar lo menos posible los recursos naturales, es decir, reducir el consumo de los recursos naturales que se están agotando y sustituirlos por otros más baratos y que se encuentran en mayor cantidad (FAO, 2015).

Otro problema que se presenta en la actualidad es el aumento de la población que hace que sea necesario un aumento de la producción alimentaria para poder satisfacer a la mayor cantidad de personas. Por esto se busca la manera de obtener más bienes y servicios a partir de una menor cantidad de recursos y de energía intentando aprovechar los subproductos de la industria lo máximo posible (FAO, 2015).

Esto se puede observar por ejemplo en la utilización de la harina de pescado en dietas de salmón donde en los últimos años ha disminuido su uso en el pienso (de 45 % en 1995 a 25 % en 2008, y está previsto que descienda a 12 % en 2020) sustituyéndose por ingredientes de origen vegetal (FAO, 2015).

#### **1.1.1 Acuicultura en el mundo.**

Debido al aumento general del consumo de pescado a nivel mundial desde 1960, la acuicultura ha ganado importancia y ha aumentado su producción de forma importante y, aunque este cambio en la producción está empezando a estabilizarse, sigue siendo uno de los sectores de la alimentación con mayor crecimiento. De esta forma, se produjeron 80 millones de toneladas de pescado comestible en 2016 a nivel mundial (110,2 millones de toneladas si se tiene en cuenta la producción de plantas acuáticas) de los cuales 54,1 millones de toneladas fueron peces de aleta; 17,1 millones de toneladas fueron de moluscos; 7,9 millones de toneladas de crustáceos y 900 mil toneladas de otros animales acuáticos como medusas comestibles o erizos de mar (FAO, 2018a) y se espera que de aquí a 10 años más del 60% del pescado producido provenga de la acuicultura (Park *et al.*, 2017).



El país que más pescado produjo en 2016 fue China, seguido de países como India, Indonesia, Vietnam, Bangladesh, Egipto y Noruega. Es más, Asia representó un 89% de la producción mundial de pescado (FAO, 2018a).

También es importante la producción de harina y aceite de pescado ya que son los ingredientes necesarios de pienso para peces, por lo que al aumentar la producción en la acuicultura se hace necesario aumentar la producción de estos compuestos (SEAFISH, 2018).

De toda la harina de pescado producida, un 69% se utilizó para fabricación de pienso para peces, pudiéndose también utilizar para otro tipo de animales como por ejemplo aves. Esto contrasta con la década de los 60 donde prácticamente toda la harina de pescado que se producía se utilizaba para alimentar a animales de granja (SEAFISH, 2018).

La situación del aceite de pescado es similar, ya que en 2016 alrededor de un 75% del aceite producido se utilizó para acuicultura (SEAFISH, 2018).

En cuanto a la pesca, en 2016 se pescaron 90,9 millones de toneladas de pescado, siendo ligeramente inferior que en los dos años anteriores. De todos los peces obtenidos a través de la pesca, un 87,2% del pescado provino de la pesca en aguas marinas y el otro 12,8% se obtuvo de la pesca en aguas continentales (FAO, 2018a).

Entre 2015 y 2016 hubo una disminución de la captura marina de 1,9 millones de toneladas (de 81,2 millones de toneladas en 2015 a 79,3 millones de toneladas en 2016), siendo China el país con mayor producción mundial de capturas marinas (FAO, 2018a).

La pesca de captura en aguas continentales produjo 11,6 millones de toneladas en 2016 a nivel mundial (un 12,8% de la producción de pesca mundial), un 2% más que en 2015. De los pescados producidos por la pesca continental, un 80% se produce en 16 países, la mayoría asiáticos (FAO, 2018a).

El país con mayor pesca continental en 2016 fue China (2,32 millones de toneladas), seguido de India (1,46 millones de toneladas) y Bangladesh (1,05 millones de toneladas) (FAO, 2018a).

La acuicultura continental se basa en la producción de pescado en agua dulce utilizando mayoritariamente estanques excavados, canales de crianza, tanques sobre el suelo, corrales o jaulas (FAO, 2018a).

En 2016, el 64,2% de los peces comestibles producidos provinieron de esta técnica, o lo que es lo mismo, 51,4 millones de toneladas: 47,5 millones fueron peces de aleta, es decir, un 92,5% del total producido mediante la acuicultura continental (FAO, 2018a).

La diferencia entre la acuicultura marina y la costera es que la marina se produce en el mar mientras que la costera se produce en zonas adyacentes al mar construidas total o parcialmente por el hombre (FAO, 2018a).

En total, se produjeron 28,7 millones de toneladas de peces comestibles mediante estos métodos, sin embargo, los peces de aleta solo representan 6,6 millones de toneladas, ya que más de la mitad de la producción proviene de moluscos con concha (un 58,8%) (FAO, 2018a).

Según la tabla 1, la producción pesquera total mundial (excluidas plantas acuáticas) alcanzó los 167,2 millones de toneladas en 2014, de las que 93,4 millones de toneladas se obtuvieron a través de la pesca y 73,8 millones de toneladas se produjeron mediante la acuicultura, sin embargo, la producción mundial de la

acuicultura sigue creciendo y ahora proporciona la mitad de todos los peces destinados para consumo humano (SEAFISH, 2018).

**Tabla 1. Producción de pescado a nivel mundial en millones de toneladas en los últimos años.**

	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Producción de captura total</b>	93,4	92,6	90,1	90,4
<b>Producción de la acuicultura total</b>	73,8	76,6	80	83,6
<b>Producción total de pescado</b>	167,2	169,2	170,1	174
<b>Pescado utilizado para la fabricación de harina y aceite de pescado</b>	15,8	15,1	14,3	15,6

Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos de SEAFISH (2018).

En 2004 se consumieron más peces de piscifactoría que obtenidos a través de la pesca y en 2017 la captura de pescado disminuyó alrededor de 3 millones de toneladas (se pescó 90,4 millones de toneladas ese año) en comparación con 2014, mientras que la producción de pescado a través de la acuicultura aumentó en 10 millones de toneladas (produciéndose 83,6 millones de toneladas en 2017), lo que demuestra el aumento actual de la acuicultura frente al descenso de la pesca (SEAFISH, 2018).

En 2014, 21 millones de toneladas de pescado (el 33,4% de las capturas totales) se destinaron a usos no alimentarios de los cuales el 76% (15,8 millones de toneladas) se redujo a harina de pescado y aceite de pescado, el resto se usó para cultivo, cebo, farmacia, alimentación directa en acuicultura y ganado (SEAFISH, 2018).

Aunque se haya incrementado la producción de pescado producido mediante acuicultura, la producción de harina de pescado ha disminuido en los últimos años, de esta forma, en 2016 se produjeron alrededor de 4450 millones de toneladas mientras que en 1990 se produjeron 6500 millones de toneladas, tal y como aparece reflejado en la tabla 2. Esto se debe a que en la actualidad no se suele utilizar el pescado entero si no que se suelen sustituir por subproductos (SEAFISH, 2018).

**Tabla 2. Harina de pescado producida a nivel mundial en toneladas.**

<b>Año</b>	<b>Toneladas de harina de pescado producidas a nivel mundial</b>
1990	6.380.000
1995	6.833.000
2000	7.125.000
2005	6.022.700
2010	4.645.000
2014	4.549.000
2015	4.751.000
2016	4.445.000

Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos de SEAFISH (2018).

Los países dónde mayor cantidad de harina de pescado se produjo en los últimos años fueron Perú, China, Tailandia, Vietnam, Estados Unidos y Chile, tal y como se puede observar en la tabla 3 (SEAFISH, 2018).

**Tabla 3. Países con mayor producción de harina de pescado (toneladas) en los últimos años.**

	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Media</b>
<b>Perú</b>	841.000	1.115.000	524.000	852.000	633.000	835.000
<b>China</b>	535.000	560.000	450.000	400.000	460.000	519.000
<b>Tailandia</b>	487.000	450.000	460.000	420.000	386.000	462.000
<b>Vietnam</b>	245.000	275.000	310.000	285.000	288.000	279.000
<b>EE.UU.</b>	259.000	235.000	223.000	263.000	252.000	244.000
<b>Chile</b>	483.000	320.000	397.000	322.000	234.000	381.000
<b>Japón</b>	186.000	183.000	186.000	184.000	177.000	185.000
<b>Dinamarca</b>	89.000	139.000	165.000	206.000	166.000	150.000
<b>India</b>	67.000	76.000	120.000	103.000	153.000	92.000

Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos de SEAFISH (2018).

A pesar de que la harina y el aceite de pescado aporten los mejores ingredientes para los peces, también son caros (a lo que hay que sumar los ya nombrados problemas de sostenibilidad), por lo que estos ingredientes se utilizan cada vez de forma más selectiva, disminuyendo su concentración en piensos y aumentándolo solo

en las fases donde es más importante la presencia de estos, principalmente en criaderos, para reproductores y en las dietas finales (SEAFISH, 2018).

De esta forma, la producción mundial de aceite de pescado en 2016 fue de 878000 millones de toneladas, siendo los países que más produjeron en los últimos años Perú, Estados Unidos, Chile, China y Japón (tabla 4) (SEAFISH, 2018).

**Tabla 4. Países con mayor producción de aceite de pescado (toneladas) en los últimos años.**

	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Media</b>
<b>Perú</b>	195.000	178.000	115.000	94.000	114.000	140.000
<b>Estados Unidos</b>	63.000	104.000	80.000	83.000	101.000	86.000
<b>Chile</b>	140.000	103.000	144.000	107.000	81.000	115.000
<b>China</b>	45.000	50.000	45.000	40.000	65.000	70.000
<b>Japón</b>	55.000	54.000	62.000	60.000	62.000	59.000
<b>Noruega</b>	41.000	42.000	58.000	51.000	61.000	51.000
<b>Vietnam</b>	30.000	40.000	53.000	48.000	49.000	44.000
<b>Dinamarca</b>	33.000	43.000	51.000	55.000	48.000	46.000
<b>Islandia</b>	56.000	46.000	32.000	48.000	28.000	42.000

Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos de SEAFISH (2018).

### **1.1.2. Acuicultura en Europa.**

En 2015 se invirtieron alrededor de 4140 millones de euros en acuicultura en la Unión Europea, lo que supuso un incremento de 300 millones de euros respecto al año anterior (un 8% más que en 2014) y un aumento en la producción de pescado de 54401 toneladas en comparación con el producido en 2014 (EUMOFA, 2017).

Los 5 principales grupos de productos derivados del mar producidos en la Unión Europea son: salmónidos, bivalvos, pescado de agua dulce y lubina (*Dicentrarchus labrax*) y dorada (*Sparus aurata*), tal y como se pueden comprobar la tabla 5 (EUMOFA, 2017).

**Tabla 5. Especies producidas en la UE por volumen y valor en 2015.**

<b>Especies producidas en la UE por volumen</b>	<b>Especies producidas en la UE por valor económico</b>
Mejillón (38%)	Salmón (24%)
Trucha (15%)	Trucha (15%)
Salmón (11%)	Dorada (11%)
Ostra (7%)	Ostra (11%)
Dorada (6%)	Mejillón (10%)
Carpa (6%)	Lubina (10%)
Otros (17%)	Otros (19%)

Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos de EUMOFA (2017).

En términos generales, se produjo un descenso en la producción de la acuicultura en la UE entre los años 2006 y 2014 pero a partir de 2015 se ha producido un aumento significativo (EUMOFA, 2017).

La producción europea total de harina de pescado y aceite de pescado es de aproximadamente 500,000 toneladas métricas de harina de pescado y 190,000 toneladas de aceite de pescado por año producidos principalmente por pequeñas especies oleaginosas y de vida corta poco utilizadas para consumo humano como bacaladilla (*Micromesistius poutassou*), capelán (*Mallotus villosus*), lanzón (*Ammodytes tobianus*), faneca (*Trisopterus esmarkii*) y espadín (*Sprattus sprattus*), así como los subproductos del sector de procesamiento del pescado de consumo. La producción varía de acuerdo con el acceso de la materia prima, pero la tendencia general en los últimos 5-10 años ha sido una caída en la producción (SEAFISH, 2018).

Los mayores países productores de harina de pescado son Dinamarca, Noruega, Islandia y España. Con un total de 748000 millones de toneladas en 2017 (50000 millones de toneladas en España) (SEAFISH, 2018).

**Tabla 6. Mayores países productores de harina de pescado en la Unión Europea en 2016 y 2017.**

	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Dinamarca</b>	166000	215000
<b>Noruega</b>	143000	169000
<b>Islandia</b>	91000	110000
<b>España</b>	55000	50000
<b>Reino Unido</b>	44000	71000
<b>Polonia</b>	30000	34000

Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos de SEAFISH (2018).

### **1.1.3. Acuicultura en España.**

La producción de pescado a través de la acuicultura en España ha aumentado desde que apareció en los años 60, sin embargo, este aumento no ha conseguido compensar la disminución de la producción a través de la pesca que hay en España desde los años 70.

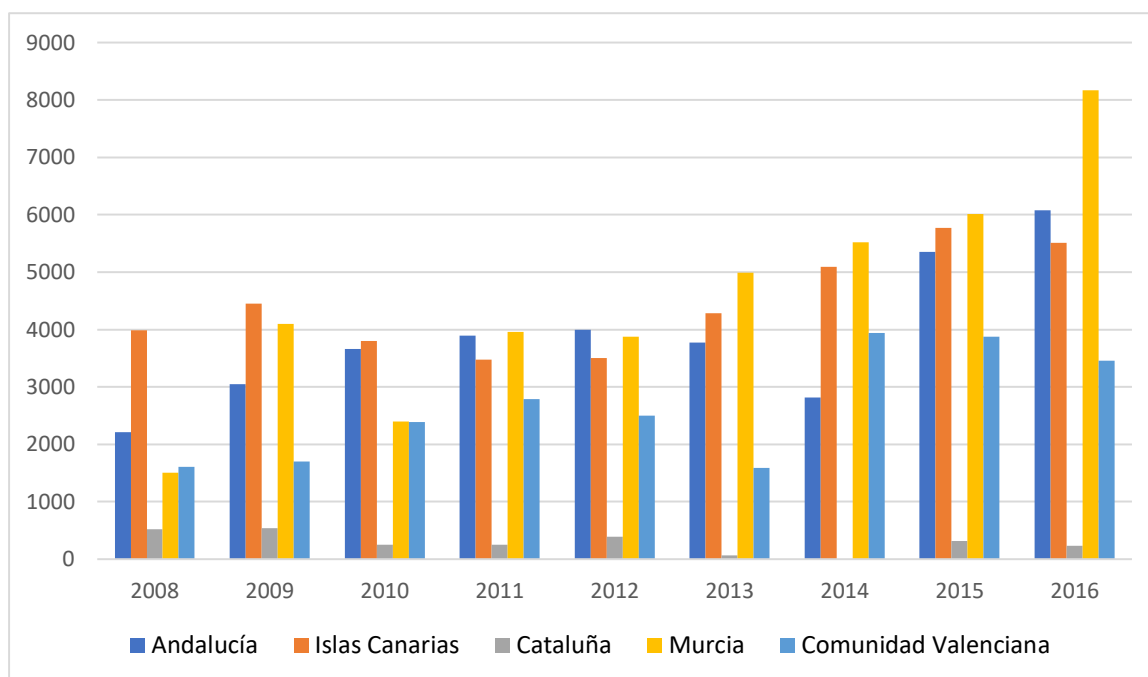
En 2015, la acuicultura ingresó casi 595 millones de euros, de los cuales 522 millones provinieron de la acuicultura marina y los otros 73 millones de la continental (MAPAMA, 2018).

En 2016, se obtuvieron casi 557 millones debido a la acuicultura marina y 83 millones a través de la acuicultura continental, un poco menos de 640 millones de euros en total, lo que supone un incremento respecto a 2015 tanto en la acuicultura marina como en la continental (MAPAMA, 2018).

En términos de peso, en 2015 se produjeron alrededor de 290000 toneladas de pescado a través de la acuicultura, de los cuáles las principales especies producidas fueron el mejillón (225,3 toneladas), la lubina (21,3 toneladas), la dorada (16,2 toneladas) y la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) (12,2 toneladas) (APROMAR, 2017).

En cuanto a la producción de peces marinos a través de la acuicultura se obtuvieron 48000 toneladas de pescado en 2015 y 47600 en 2016, después de permanecer constante desde 2009 (48000 toneladas) (APROMAR, 2017).

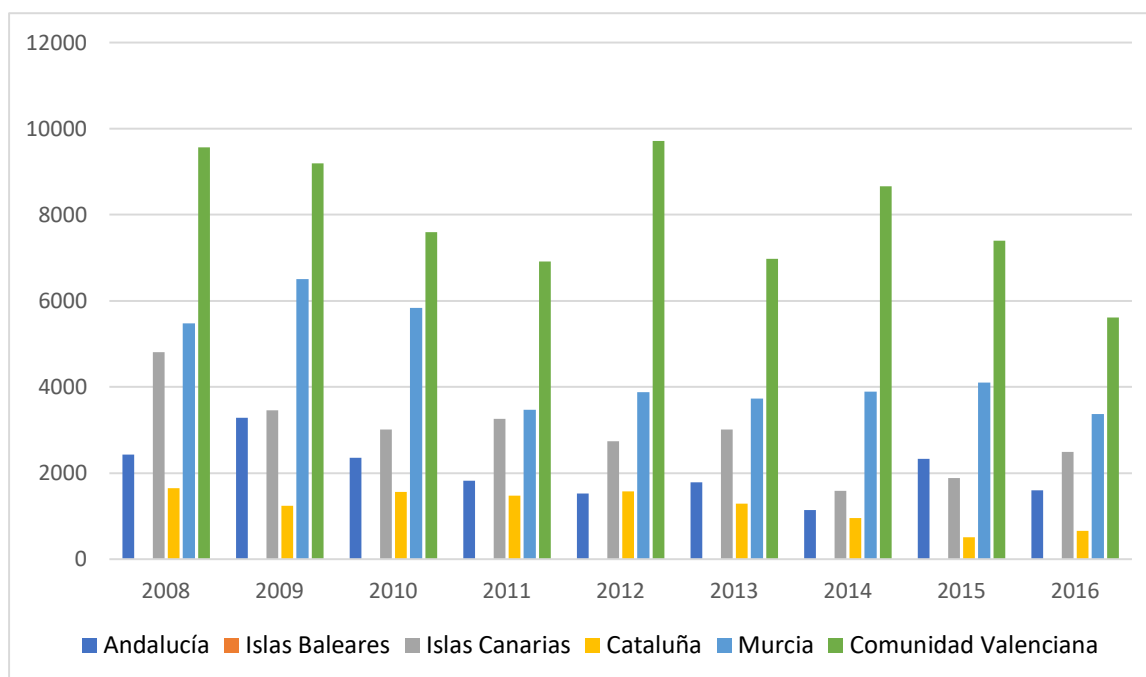
El pescado más producido en España a través de la acuicultura en 2016 fue la lubina de la que se obtuvieron 23445 toneladas, un 9,9% más que en 2015 (21324 toneladas). Los lugares donde más lubina se produjo fueron Murcia (8164 toneladas, 35%), Andalucía (6081 toneladas, 26%), Canarias (5507 toneladas, 23%), Comunidad Valenciana (3457 toneladas, 15%) y Cataluña (236 toneladas, 1%), lo cual representa un 97,1% de la producción total (Figura 1) (APROMAR, 2017).



**Figura 1. Producción de Lubina (en toneladas) en España en los últimos años.**

Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos de APROMAR (2017).

El segundo pescado más producido mediante la acuicultura marina es la dorada, de la cual se obtuvieron 13740 toneladas en 2016, es decir, un 15,3% menos que en 2015. Los mayores productores en 2016 de dorada en España fueron la Comunidad Valenciana (donde se produjeron 5617 toneladas, el 40,9% de la producción total en España), Murcia (donde se obtuvieron 3368 toneladas, el 24,5%), las islas Canarias (2492 toneladas que representan el 18,1% del total), Andalucía (1605 toneladas, es decir, el 11,7%) y Cataluña (730 toneladas, que representan el 4,8% restante) (Figura 2). De esta forma, el 95,1% de la dorada producida en España se debe a la acuicultura, proviniendo el 3,9% restante de la pesca (APROMAR, 2017).



**Figura 2. Producción de Dorada (en toneladas) en España en los últimos años.**

Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos de APROMAR (2017).

## 1.2. *Seriola dumerili*.

### 1.2.1. Anatomía.

La *Seriola dumerili*, pez limón o seriola es un pez teleósteo, pelágico y carnívoro del género Carangiade que normalmente mide entre 100 y 130 centímetros, aunque se pueden encontrar algunos ejemplares de hasta 190 centímetros. Está formado por pequeñas escamas de color plateado en los laterales del animal, ligeramente pardas en el dorso y de color blanco metalizado en el vientre y con una línea lateral arqueada formada por escamas no modificadas (Debelius, 1998) (Louisy, 2006) (MAPAMA, 2015).

Presenta un cuerpo estrecho con el dorso más ancho que el vientre (pudiendo llegar a ser cóncavo en los peces más grandes), las aletas pectorales y la primera aleta dorsal pequeñas y una segunda aleta dorsal más grande que la aleta anal (Debelius, 1998) (Louisy, 2006) (MAPAMA, 2015).

### 1.2.2. Hábitat.

Esta variedad se suele encontrar en el mar Mediterráneo y en la zona comprendida entre el sur de Inglaterra y Marruecos (MAPAMA, 2015).

Habita a unas profundidades de entre 10 y 130 metros, aunque en la mayor parte de su vida se encuentran entre los 20 y los 70 metros. Son animales bentónicos, es decir, habitan la profundidad del mar hasta que en primavera migran hacia la costa donde se reproducen habitualmente entre finales de primavera y principios de verano. Los alevines se sitúan debajo de objetos flotantes hasta que alcanzan un tamaño de unos 35 centímetros (habitualmente tardan entre 3 y 5 meses en alcanzar este tamaño) para luego vivir en la costa agrupados en otro banco de seriolas o nadando junto con otras especies de animales marinos hasta los 2 años (Debelius, 1998) (Louisy, 2006) (MAPAMA, 2015).



### 1.2.3. Producción y comercialización de *Seriola dumerili*.

El sector de la acuicultura busca nuevas alternativas para mejorar su rentabilidad y una mayor diversificación de especies para obtener nuevos mercados y satisfacer las necesidades del consumidor, por lo que muchas empresas acuicultoras han demostrado un gran interés por la *S. dumerili*. Ésta especie reúne muchas características que satisfacen los criterios de selección de nuevas especies para la acuicultura, entre ellas su excelente calidad de la carne, alta demanda, un buen precio de mercado y un rápido crecimiento en su medio natural (Andaloro *et al.*, 1992; Thompson *et al.*, 1999), de ahí que su homóloga japonesa (*Seriola quinqueradiata*) se produzca con tan gran popularidad en Japón, debido a la gran exigencia que conlleva el tipo de carne en la elaboración del sushi y sashimi.

Si se compara el crecimiento de la dorada y la lubina con el de la *Seriola* en el mismo periodo de producción (Figura 5), se puede comprobar cómo ésta última experimenta un crecimiento mucho más rápido, siendo 10 veces superior en el caso de la lubina, pudiendo superar el kilo en un año (Gándara, 2006). Otra característica importante es su buena adaptación a la cautividad, con altos índices de crecimiento y supervivencia cuando se alimenta con peces de bajo valor o alimento seco (García, 1993; García y Díaz, 1995).

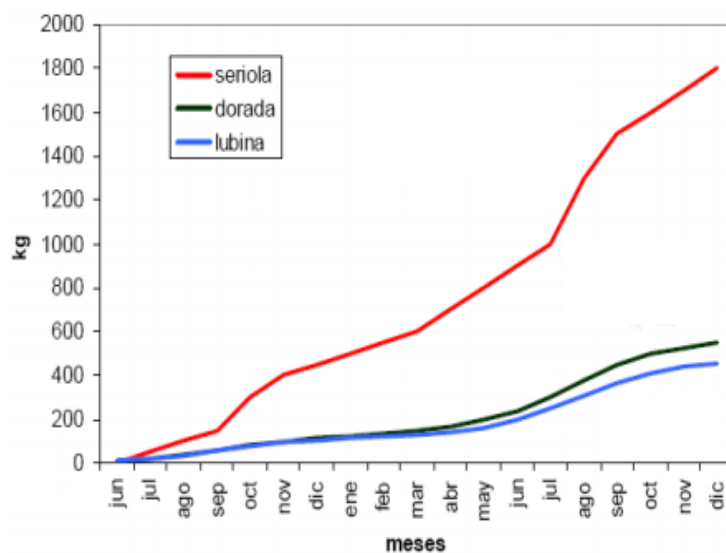


Figura 5. Curvas comparativas de crecimiento de *seriola*, *dorada* y *lubina*, criadas en instalaciones experimentales en tierra.

Fuente: De la Gándara (2006)

En cuanto al comercio de *S. dumerili*, éste se ha basado principalmente en la captura de alevines del medio para ser engordados hasta el tamaño comercial, debido a que era muy difícil reproducir esta especie en cautividad. Fue en 2002 cuando se consiguió el desove natural de las seriolas juveniles capturadas sin inducción hormonal, llevado a cabo por el IEO (Jerez *et al.*, 2006). La empresa PROMAN S.L. consiguió reproducir esta especie en cautividad y producir comercialmente alevines en 2008 y la empresa Futuna Blue España S.L. consiguió efectuar con éxito sus primeras ventas comerciales de seriola en 2013 (MISPECES.COM, 2008, 2009, 2010a, 2010b; FUTUNA BLUE ESPAÑA S.L., 2013).

#### **1.2.4. Alimentación de la seriola.**

A pesar de las ventajas descritas arriba de la producción de la *S. dumerili*, son pocos los estudios que se han realizado sobre esta especie, sin embargo, sí que existen algunos estudios realizados sobre peces del mismo género, incluyendo *Seriola quinqueradiata*, *Seriola lalandi* y algunos realizados sobre *Seriola dumerili* (Takii *et al.*, 1990; Takeuchi *et al.*, 1992; Masumoto *et al.*, 1996; Jover *et al.*, 1999; García-Gómez, 2000; Watanabe *et al.*, 2000; Tomás *et al.*, 2005; 2008; Miranda and Peet, 2008; Moran *et al.*, 2009; Booth *et al.*, 2010) (Suz, 2014).

Debido al creciente interés en la sustitución parcial de harina de pescado en la alimentación de las especies del género seriola, muchos de estos estudios se han centrado en observar cómo afecta la sustitución de harina de pescado por harina de origen vegetal o animal o de cómo conseguir una mayor optimización de los niveles proteicos ya que el género seriola necesita niveles elevados de proteína para obtener un crecimiento adecuado (entre un 45 y un 55% de la cantidad total de la dieta) (Suz, 2014).

Por otra parte, la creciente demanda de aceite de pescado, el cuál aporta a la dieta del animal y de los consumidores ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y omega-6 importantes para el correcto funcionamiento del organismo y la prevención de enfermedades y carencias, presenta un interés cada vez mayor para conseguir obtener esta materia prima o materias similares de forma rentable. (Giménez, 2017).

#### **1.3. Sustitución del aceite de pescado.**

De todo el pescado producido, cada año se destinan aproximadamente 15 millones de toneladas a la fabricación de harina y aceite de pescado. (FAO, 2018a).

A nivel nutricional, el aceite de pescado es fácil de digerir. Además, contiene ácidos grasos ricos en HUFA, principalmente EPA y DHA, vitaminas liposolubles A y D y en algunos casos presentan astaxantina, haciendo que sean un ingrediente importante a nivel nutricional, sin embargo, son fácilmente oxidables por lo que es necesario añadir antioxidantes como BHT, BHA y etoxiquina (Guillume *et al.*, 2014).

Este compuesto, se obtiene a través de especies de pescado que son poco demandados para consumo directo o a través de los subproductos de la industria pesquera. Sin embargo, estos productos son cada vez más caros debido a la poca disponibilidad de este producto en comparación con la alta demanda de productos acuícolas (FAO, 2018a). Por este motivo se está buscando sustituir este componente por otros ingredientes como aceite vegetal, que a pesar de no ser tan rico en ácidos grasos ricos en HUFA, es uno de los mejores sustitutos (Shepherd y Bachis, 2014).

Entre los aceites vegetales usados como sustitutos los más habituales son aceite de soja, palma, colza, lino y girasol los cuales son más económicos y abundantes que el aceite de pescado y con menor éxito se ha intentado sustituir el aceite con grasas procedentes de cerdo, vaca o pollo (Shepherd y Bachis, 2014).

#### **1.4. Calidad del pescado.**

El pescado es uno de los alimentos más interesantes a nivel nutricional debido a su alto contenido proteico y su elevada biodisponibilidad. La proteína de pescado tiene desde un 5% a un 15% más de disponibilidad que las proteínas obtenidas de vegetales. Además, también es importante su contenido en aminoácidos esenciales, como la lisina y la metionina. En cuanto a la grasa, la mayoría de las especies de pescado, principalmente las

especies grasas, presentan un alto contenido en ácidos grasos n-3 de cadena larga. De hecho, el aceite de pescado representa la fuente más rica disponible en ácidos grasos altamente insaturados de cadena larga, importantes en la alimentación humana. En general, el pescado también presenta minerales como calcio, zinc, hierro, fósforo, selenio o yodo además de vitaminas A, D y B (FAO, 2018a).

### **1.5. Efecto de la alimentación sobre la calidad del filete.**

En cambio, la sobreexplotación de los productos pesqueros hace que sea indispensable buscar fuentes alternativas a estos, por ello la sustitución de harina y/o aceite de pescado por otra fuente vegetal ayuda a la conservación de los recursos naturales además de disminuir la descarga de fósforo y abaratar costes en la producción del pienso (De Francesco *et al.*, 2004). Sin embargo, en los alimentos para peces marinos, como es la seriola, el uso de aceites vegetales como única fuente de lípidos está limitado por la baja capacidad de estas especies para convertir los ácidos grasos n-6 y n-3 de cadena media, como el ácidos linoleico y linolénico, abundantes en muchos aceites vegetales, en ácidos grasos esenciales para los peces marinos y ricos en aceite de pescado, como son el araquidónico (ARA), eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA). Por este motivo, la sustitución de aceite de pescado por aceites vegetales solo sería posible cuando estos ácidos grasos estén presentes en las dietas en cantidades suficientes para cumplir con los requisitos de ácidos grasos esenciales.

Las formas más utilizadas para medir la calidad y la frescura de un filete de pescado suelen ser métodos que se basan en cambios físicos (como cambios de textura o de hidratación), cambios químicos (de alteración de proteínas), sensoriales (cambios en el olor o el sabor) o microbiológicos. De todos estos, uno de los aspectos más importantes a la hora de medir la calidad del pescado es el perfil de ácidos grasos, los cuales están afectados por la cantidad de harina y el aceite de pescado, como se ha demostrado en diferentes trabajos realizados con seriola y en otras especies (Puig, 2007).

Diferentes estudios demuestran que la sustitución de la harina no supone ninguna disminución de la calidad organoléptica en el producto final. Algunos ejemplos de estos estudios han sido el realizado con trucha arco iris alimentada con harina vegetal (Smith *et al.*, 1988), el estudio sobre la sustitución de la harina del pienso por un concentrado de proteína de soja (Kaushik *et al.*, 1995) o el estudio que compara la carne obtenida de pescado (besugo rojo) alimentada con y sin harina de pescado (Aoki *et al.*, 1996) (De Francesco *et al.*, 2004).

Existen otros estudios que defienden que esa sustitución se puede hacer sin afectar al crecimiento del pez ni a la calidad de la carne del pescado cuando se utiliza harina procedente de la soja (Park *et al.*, 2017). Sin embargo, la inclusión de aceites vegetales en las dietas de pescado también modifica los perfiles de ácidos grasos corporales y puede afectar significativamente la calidad de la carne de los peces y las características sensoriales (Izquierdo *et al.*, 2005). En estudios llevados a cabo con dorada, (Izquierdo *et al.*, 2003), un panel de degustación capacitado demostró una muy buena aceptación de los filetes de dorada alimentada con aceites vegetales y los filetes no se consideraron significativamente diferentes del aceite de pescado alimentado solo con pescado. No obstante, la modificación de los perfiles de ácidos grasos en los filetes de pescado afectó a la reducción en los ácidos grasos altamente insaturados n-3 (HUFA), y particularmente en el ácido eicosapentaenoico (EPA) (Izquierdo *et al.*, 2003; 2005). Esto desde el punto de vista de la calidad del pescado

es muy importante pues el consumo de alimentos ricos en HUFA n-3 como pescado, tiene un efecto positivo en la salud humana (Ackman, 2001), como la prevención de patologías cardiovasculares y enfermedades autoinmunes (Hwang, 1989).

A pesar de las ventajas de la cría de seriola, se han realizado pocos estudios en la actualidad sobre esta especie y la mayoría de los estudios publicados buscan sustituir la harina de pescado en el pienso por harina vegetal sin tener en cuenta las mejoras que podría tener la sustitución del aceite.

En un estudio realizado con *S. dumerili*, se estudió como afectaba la sustitución de aceite de pescado por aceite vegetal a través de 3 dietas diferentes: una en la que todo el aceite del pienso proviene de pescado, otra en la que todo el aceite es de una mezcla de aceite de origen vegetal formada por aceite de palma y aceite de linaza y la última en la que la mitad del aceite proviene de pescado y la otra mitad de la mezcla anterior de aceite vegetal. El resultado del estudio fue que prácticamente no se vio ninguna diferencia significativa en la mayoría de los factores que se estudiaron, sin embargo, sí que se obtuvieron diferencias significativas en la composición de ácidos grasos de los diferentes órganos del pez siendo el hígado el órgano más afectado por la ingesta de aceite vegetal. El perfil de ácidos grasos del filete refleja la composición de las dietas con las que habían sido alimentados los peces (Monge *et al.* 2017).

En otro estudio realizado con otras especies de acuicultura, como es la dorada, se observó que la sustitución completa o parcial de aceite de pescado por aceite vegetal en la dieta presenta efectos negativos para el animal, afectando principalmente a su crecimiento y a la conversión del alimento. También se observó un cambio en la composición de ácidos grasos: en los peces alimentados con una dieta basada en aceite vegetal se observó una mayor cantidad de ácido oleico y linoleico que en los peces alimentados con aceite de pescado, pero presentaban una menor cantidad de ARA (ácido araquidónico), y ácidos grasos omega-3 como DHA (ácido docosahexaenoico) y EPA (ácido eicosapentaenoico) (Grasso *et al.*, 2008).

Sin embargo, en otro estudio realizado sobre la misma especie en el que se sustituyó el aceite de pescado por aceite de soja y aceite de linaza se observó que esta sustitución no afecta significativamente al crecimiento del pescado pero sí a la composición de ácidos grasos en el músculo de forma que el consumo de aceite vegetal redujo el contenido de ácidos grasos muy insaturados (ARA, EPA y DHA) y aumentó el contenido de ácidos grasos menos insaturados (ácidos linoleico y linolénico) (Piedecausa *et al.*, 2007).

Más estudios realizados sobre la sustitución parcial del aceite en dorada sustituyendo de un 60% a un 80% del aceite de pescado por aceite vegetal de colza, de linaza o de soja demostraron que una sustitución del 60% no tiene efectos importantes ni en el crecimiento ni en el uso del alimento pero que una sustitución del 80% sí que presenta efectos perjudiciales en estos. Además, en este estudio también se demostró que una dieta con un menor contenido en aceite de pescado disminuye los ácidos grasos altamente insaturados en el músculo, sin embargo, al añadir durante cierto tiempo a la dieta de estos peces una mayor cantidad de aceite de pescado, se volvía a recuperar el contenido de DHA y ARA en el músculo, pero no el de EPA.

En cuanto a la calidad sensorial, el pescado alimentado con el pienso que presentaba una sustitución del 80% del aceite de pescado por aceite de soja presentó una mayor jugosidad (Izquierdo *et al.*, 2005).

Se obtuvieron los mismos resultados en otro estudio realizado con lubina europea en el que se observó una disminución de ácidos grasos omega-3 DHA y EPA y un aumento de ácido oleico, ácido linoleico y ácido linolénico en el músculo del pescado al sustituir un 60% del aceite de la dieta por una mezcla de aceite de colza, de aceite de linaza y de aceite de palma en diferentes proporciones. Además, al volver a alimentar al pescado con aceite de pescado durante 20 semanas no se observaron diferencias significativas en la composición de la carne, por lo que en este caso la reincorporación de aceite de pescado en la dieta no tuvo efectos sobre el músculo (Mourente *et al.*, 2006).

Lo mismo sucedió en otro estudio realizado también sobre lubina dónde se sustituyó un 60% del aceite de pescado en 3 dietas diferentes por aceite de colza, aceite de linaza y aceite de oliva respectivamente durante 34 semanas. Una vez pasado ese tiempo, se alimentó a todo el pescado con una dieta a base de aceite de pescado durante 14 semanas. Aunque la composición lipídica en el músculo fue similar a la de los estudios anteriores, al alimentar al pescado solo con aceite de pescado se recuperaron los niveles de ácidos grasos altamente insaturados que se habían perdido con la dieta, aunque en el caso del EPA no se consiguió la misma concentración que en los peces que se habían alimentado en todo momento solo con aceite de pescado (Mourente *et al.*, 2005).

En otro estudio se estudió las diferencias en filete de trucha arco iris alimentada con un pienso a base de aceite de pescado y con una mezcla de aceite vegetal que contenía un 55% de aceite de colza, un 30% de aceite de palma y un 15% de aceite de linaza. En este estudio, la sustitución total del aceite no produjo ninguna diferencia ni en el crecimiento ni en la eficacia de la alimentación ni en la composición de lípidos de la carne (Richard *et al.*, 2006).

Se puede concluir que una sustitución parcial del aceite de pescado por aceite de origen vegetal puede no tener efectos adversos en el crecimiento, pero una cantidad elevada de aceite vegetal afecta a la composición de ácidos grasos en el pescado sustituyendo los ácidos grasos altamente saturados por otros menos insaturados, lo que tiene una repercusión directa en la calidad de éste (Jover, 2016).

## **2. Justificación y objetivos.**

### **2.1. Justificación.**

Hasta hace unos años, los ingredientes más importantes en la fabricación de piensos para peces eran la harina y el aceite de pescado, sin embargo, el aumento de la producción de la acuicultura y la disponibilidad cada vez más escasa de estos ingredientes hizo necesario buscar alternativas para fabricar el alimento. Una de las opciones más estudiadas ha sido la sustitución de harinas y aceites de pescado por materias primas de origen vegetal que, en la actualidad están permitidas, pero se desconoce si puede causar efectos perjudiciales en el crecimiento, la digestibilidad o la calidad final del pescado. Se sabe que la inclusión de aceites vegetales en las dietas influye en la calidad nutricional de la carne de pescado en salmónidos y en peces marinos (Yildiz y Sener, 1997), ya que la composición de ácidos grasos de la carne de pescado generalmente refleja la composición de ácidos grasos de la dieta ingerida. De hecho, la sustitución de los aceites vegetales por aceite de pescado produce un aumento del ácido linoleico en el caso de los aceites de soja o colza o un aumento del ácido linolénico en el caso de la linaza y, en consecuencia, una disminución de los ácidos grasos altamente insaturados, conocidos por sus beneficios para la salud en humanos (Sargent et al., 2001).

Además, las principales especies producidas por la acuicultura española como la dorada y la lubina han sufrido una disminución en sus precios por lo que las piscifactorías necesitan trabajar en otras especies de las que se obtengan un mayor margen de beneficios como en el caso de la *S. dumerili*, la cual presenta una velocidad de crecimiento rápida además de una carne de buena calidad y un bajo precio debido a su alta demanda en el mercado haciendo que sea una especie interesante para su producción y comercio. Sin embargo, son pocos los estudios que se centran en la *S. dumerili* y en cómo afecta la sustitución de las materias primas en la calidad, de hecho, la mayoría de los estudios relacionados con este tema se centran en la sustitución de harina de pescado sin tener en cuenta el aceite.

En este trabajo se estudiará el efecto de la sustitución de aceite de pescado por una mezcla de aceite vegetal en la dieta de la seriola para ver cómo influye en la calidad de la carne, poniendo especial atención en las propiedades organolépticas como la textura, sabor y aspecto visual, así como a la composición de ácidos grasos en el músculo una vez sacrificado.

### **2.2. Objetivos.**

Por ello, el objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de la sustitución del aceite de pescado por aceites vegetales en piensos de *S. dumerili* sobre la calidad del filete. Para ello, se analizaron los filetes de los peces alimentados con piensos con y sin aceite de pescado y así conocer el perfil de ácidos grasos y aminoácidos libres de los mismos. Asimismo, se llevará a cabo un análisis sensorial del filete mediante una prueba discriminativa consistente en una prueba triangular, y así relacionarlo con las posibles diferencias en la composición del filete.

### **3. Material y métodos.**

#### **3.1. Peces.**

##### **3.1.1. Peces y desarrollo experimental.**

El experimento se llevó a cabo con 40 ejemplares de *Seriola dumerili*, suministrados por la empresa Futuna Blue, S.L. (Cádiz), distribuidos aleatoriamente en 4 tanques de hormigón de 400 litros cada tanque (10 seriolas en cada tanque) y se dejaron aclimatar durante un periodo de un mes hasta que alcanzaron un peso medio de 500 g. Durante la fase de aclimatación, se alimentaron con un pienso control hasta saciedad aparente dos veces al día de lunes a sábado.

Una vez acabado la fase de climatización, se alimentaron las Seriolas de manera natural hasta saciedad aparente dos veces al día (a las 9:00 y a las 16:00) 6 días a la semana (de lunes a sábado) de forma lenta y dosificada para una adecuada ingesta durante 84 días, hasta obtener un peso medio de 1150 g.

Para evitar que los peces se estresasen, cuando se producía alguna baja, se llevaba a cabo la alimentación de manera normal y después se retiraban los peces muertos con ayuda de un salabre. Una vez retirados del tanque, se pesaban y se anotaba dicho valor en un estadillo, así como el tanque al que pertenecía. Semanalmente, se llevaban a cabo controles sobre los parámetros fisicoquímicos de la instalación, aunque el oxígeno y la temperatura se realizaban diariamente.

##### **3.1.2. Piensos experimentales.**

Se diseñaron 2 dietas con el fin de tener una proteína digestible del 50% y una grasa bruta del 14%. La composición proximal de las dietas experimentales se muestra en la Tabla 7 y la descripción de las dietas se detalla a continuación:

- El pienso FO100 o pienso control contenía como única fuente lipídica aceite de pescado
- En el pienso F00 la harina de pescado fue sustituida totalmente por una mezcla de ingredientes vegetales (linaza, girasol y palma)

**Tabla 7. Formulación (g kg<sup>-1</sup>) y composición nutritiva (%) de cada uno de los piensos.**

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

\* Las vitaminas y la mezcla mineral (los valores son g kg<sup>-1</sup>, excepto aquellos en paréntesis): Pre mezcla: 25; Colina: 10; DL-a-tocoferol: 5; ácido ascórbico: 5; (PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ca<sub>3</sub>: 5. Composición Pre mezcla: acetato de retinol: 1000000 IU kg<sup>-1</sup>; calciferol: 500 UI kg<sup>-1</sup>; DL-a-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.

Los piensos experimentales utilizados en este trabajo se elaboraron mediante el proceso de cocción-extrusión en la Fábrica de Piensos del Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de València. Para ello, se empleó un extruder semiindustrial de la casa Clextal modelo BC45.

También se analizó el contenido en ácidos grasos de los piensos (Tabla 8) mediante el método de síntesis directa de ésteres metílicos O'Fallon et al., (2007)



**Tabla 8. Composición de ácidos grasos (g 100 g<sup>-1</sup> en peso húmedo) en los piensos experimentales administrados a los ejemplares de *Seriola dumerili*.**

	<b>FO 100</b>	<b>FO 0</b>
<b>14:0</b>	0,32	0,18
<b>15:0</b>	0,002	0,002
<b>16:0</b>	1,84	2,12
<b>17:0</b>	0,05	0,02
<b>18:0</b>	0,49	0,53
<b>∑ Saturados</b>	2,71	2,85
<b>16:1</b>	0,41	0,20
<b>18:1 n-9</b>	2,64	3,66
<b>18:1 n-7</b>	0,38	0,27
<b>22:1 n-9</b>	0,03	0,007
<b>∑ Ms</b>	3,47	4,15
<b>18:2 n-6</b>	1,23	1,67
<b>∑ n-6 PUFA</b>	1,37	1,73
<b>18:3 n-3</b>	0,22	1,64
<b>20:3 n-3</b>	0,015	0,006
<b>20:5 n-3 EPA</b>	0,56	0,31
<b>22:5 n-3</b>	0,12	0,05
<b>22:6 n-3 DHA</b>	1,26	0,48
<b>∑ n-6 PUFA</b>	2,19	2,48
<b>∑ n-3 HUFA</b>	1,96	0,84
<b>EPA/DHA</b>	0,45	0,65
<b>DHA/EPA</b>	2,23	1,54
<b>n-3/n-6</b>	1,59	1,43

∑ Ms: Sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; ∑ n-6 PUFA: Sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados de cadena n-3; ∑ n-3 PUFA: Sumatorio ácidos grasos poliinsaturados de cadena n-3. ∑ n-3 HUFA.

### **3.1.3. Preparación de la muestra.**

Durante los 84 días que duró el experimento, se alimentaron 2 de los tanques con un tipo de pienso (FO100) mientras que los peces de los otros dos tanques se alimentaron con FO0 hasta obtener un peso medio de 1150 gramos.

Al finalizar la prueba, se sacrificaron y se filetearon todos los pescados obteniendo dos filetes por cada uno, se envasaron en bolsas de plástico cerradas mediante vacío y se almacenaron en un congelador del departamento de Ciencia Animal.

## 3.2. Análisis.

### 3.2.1. Preparación de las muestras.

Al realizar cada análisis, se sacaron las muestras necesarias y se dejaron descongelar a temperatura ambiente durante 24 horas.

### 3.2.2. Determinación de materia seca.

La determinación de materia seca se realizó siguiendo el método oficial de la AOAC (1990) según el cual se secó el alimento a 150° hasta obtener un peso constante y se calculó el porcentaje mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

Este análisis se realizó por triplicado.

### 3.2.3. Determinación de grasa bruta.

La grasa bruta se extrajo siguiendo el Ankom Technology Method 2, 2009 y se comparó la cantidad obtenida de aceite con el peso total del filete de pescado tal y como indica la siguiente fórmula:

$$\text{Grasa bruta} (\%) = \frac{\text{Peso de aceite}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

Este análisis se realizó por triplicado.

### 3.2.4. Determinación de ácidos grasos.

Para determinar el perfil de ácidos grasos se hizo una extracción mediante el protocolo adaptado de O'Fallon *et al.* (2007) y se obtuvo la cantidad de cada ácido graso mediante cromatografía de gases.

### 3.2.5. Análisis de aminoácidos libres.

También se evaluaron las posibles diferencias en el sabor mediante el análisis de aminoácidos libres en el filete a través de cromatografía de líquidos (HPLC).

Para ello se utilizaron los siguientes reactivos:

- Disolución HCl 0.1N
- Tampón fosfato disódico (PO<sub>4</sub>HNa<sub>2</sub>) 5 mM, pH 7,4 con 5% ACN
- Patrón interno: disolución de alfa-aminobutírico 2,5 mM
- ACN
- Reactivo de secado: 3,5 mL de metanol, 0,5 mL de agua, 0,5 mL de trietanolamina y 0,5 mL de fenilisotiocianato
- Reactivo de derivatización: 1 mL de metanol, 1 mL de acetato de sodio 1M y 0,5 mL de trietanolamina
- Reactivo de dilución: Tampón fosfato disódico (PO<sub>4</sub>HNa<sub>2</sub>) 5 mM, pH 7,4 con 5% ACN

Se pesaron 2 gramos de carne de pescado libre de tejido conjuntivo, se le añadieron 10 mL de HCl 0.1N y se homogeneizó mediante el Ultraturrax. Una vez homogeneizado se centrifugó en frío a 10000 g durante 20 minutos y el sobrenadante resultante se filtró a través de filtro PVDF de 0,45 micras.

Del filtrado se mezclaron 300 µL con 50 µL de patrón interno y con 875 µL de acetonitrilo y se dejó en reposo hasta el día siguiente.

Después de refrigerar, se centrifugó a 10000 g durante 5 minutos y se evaporaron a sequedad 300 µL del sobrenadante en un evaporador centrífugo a 1750 rpm a una temperatura de 42°C a vacío durante 35 minutos. A continuación, se añadieron 20 µL de reactivo de secado, se agitó y se volvió a evaporar a sequedad durante 20 minutos. Al residuo se le añadieron 15 µL de reactivo de derivatización (PITC). La mezcla agitada se dejó reposar durante 20 minutos y se volvió a secar a sequedad durante 20 minutos. El resultado se diluyó con 250 µL de reactivo de dilución y se centrifugó. Finalmente se cogieron 200 µL de centrifugado y se pincharon 20 en HPLC.

Para el HPLC se utilizaron las siguientes condiciones:

- Fase A: Tampón acetato sódico 70 mM pH 6,55 con 2,5% de acetonitrilo.

- Fase B: 450 mL de acetonitrilo, 400 mL de agua y 150 mL de metanol.

- Columna: Movapack C-18 (Waters, S.A.) 300 mm x 3,9 i.d. (5 µm tamaño partícula). Precolumna Novapack 20 mm

Temperatura: 52°C UV a 254 nm 1mL/min 0,5 AUFS gasto fase A: 63 mL fase B: 22 mL

### **3.2.6. Análisis sensorial.**

Se realizó un análisis sensorial según la normativa UNE-EN ISO 4120/2004 en la que se describe la metodología que se debe seguir para realizar una prueba triangular de un análisis sensorial.

Para el análisis se realizó una prueba triangular siguiendo la norma UNE 87-006-92 donde se presentaron 3 muestras de pescado codificadas con números de 3 cifras elegidos aleatoriamente, pero intentando que todos los trozos del mismo triángulo pertenecieran a la misma zona del pescado, de las cuales dos correspondían al mismo filete de pescado y una a un filete alimentado con el otro tipo de pienso. El catador debía elegir cual era la muestra diferente de las otras dos guiándose por diferencias como el sabor, textura o aspecto. Además, se informó a los colaboradores de que esta prueba era de "juicio forzado" y que por tanto era necesario indicar qué muestra era diferente de las otras dos incluso si el catador no era capaz de identificar ninguna diferencia.

Esta prueba se realiza para averiguar si existen diferencias significativas a nivel sensorial entre dos alimentos obtenidos de forma diferente. En el caso del presente trabajo, eran trozos de filete de seriola alimentados con diferentes niveles de aceite de pescado.

Para preparar las muestras se descongelaron los filetes de pescado, envasados al vacío y congelados tras el sacrificio, 24 horas antes de la realización de la prueba y se sometieron a una ligera cocción en un baño a vapor. Posteriormente se procedió a la apertura de los envases de donde se obtuvieron 10 filetes de pescado alimentado con el pienso FO100 y otros 10 filetes de pescado alimentado con el FO0 y cada filete se dividió en 9 trozos. Para formar los triángulos, se cogieron dos trozos de uno de los dos filetes de pescado y un trozo del filete de pescado alimentado con el otro pienso, obteniendo por cada par de filetes 6 triángulos, 120 triángulos entre los 20 filetes. Una vez preparados los triángulos, se almacenaron en una estufa a temperatura ambiente.

La cata se hizo en la sala de catas del departamento de Ciencia Animal de donde se sacó para cada catador dos triángulos acompañados de la hoja de respuestas correspondientes, un bolígrafo y un vaso de agua. Las 3

posibles hojas de respuestas son las mostradas en la tabla 9, siendo la muestra diferente de cada triángulo remarcada:

**Tabla 9. Hojas de respuestas del análisis sensorial.**

<b>Juego 1</b>	645 (A)	996 (B)	326 (B)
<b>Juego 2</b>	862 (A)	223 (A)	756 (B)
<b>Juego 3</b>	918 (A)	335 (B)	477 (A)
<b>Juego 4</b>	624 (B)	970 (A)	364 (A)
<b>Juego 5</b>	544 (B)	681 (B)	199 (A)
<b>Juego 6</b>	653 (B)	749 (A)	522 (B)

Siendo A una muestra perteneciente al filete FO100 y B una muestra perteneciente al filete FO0.

Una vez realizada la cata se sumó el número de respuestas correctas dadas por los catadores y se comparó con el resultado obtenido en la fórmula siguiente, basada en la aproximación de la distribución binomial a la normal, la cual proporciona el número real de juicios a obtener con un error como máximo de 1 unidad para saber si hay diferencias significativas entre las muestras.

$$x = 0,4174z * \sqrt{n} + \frac{2n + 3}{6}$$

Siendo:

x el número mínimo de respuestas que hay que acertar para demostrar que existen diferencias significativas entre las muestras.

Z la variable dependiente del intervalo de confianza, siendo 1,64 para alfa=0,05; 2,33 para alfa=0,01 y 3,1 para alfa=0,001

n el número de pruebas realizadas, en este caso 120.

### **3.2.7. Análisis estadístico de los resultados.**

Se realizó un ANOVA simple con cada uno de los aminoácidos analizados para estudiar si existen diferencias significativas entre los dos tipos de pescado. Para ello, se compararon las medias de cada aminoácido con el método Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa Statgraphics Centurion XVI (Manugistics Inc., Rockville, MD, EE. UU).

## 4. Resultados.

### 4.1. Composición del músculo.

En la tabla 10 se muestra la composición en porcentaje de grasa y agua en el músculo de las seriolas alimentadas con cada uno de los piensos.

**Tabla 10. Composición (% humedad) en músculo de *Seriola dumerili* alimentada con el pienso control FO 100 y el pienso FO 0.**

	<b>FO 100</b>	<b>FO 0</b>
<b>% Grasa</b>	21,68 ± 1,22	23,23 ± 1,10
<b>% Humedad</b>	70,71 ± 0,40	71,61 ± 0,56

Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias, p-value<0,05 (n=10). Test de Newman-Keuls.

Aunque el pescado alimentado con pienso FO0 presentó ligeramente una mayor cantidad de concentración de grasa y de humedad, no se muestran diferencias significativas para asegurar que la variación del pienso afecta a la concentración de estos compuestos.

El perfil de ácidos grasos del músculo de las seriolas alimentadas con los dos piensos se muestra en la Tabla 11.

En la tabla 11 se puede observar que aunque la mayoría de ácidos grasos no difieren mucho entre los dos tratamientos, sí que hay algunos que presentan diferencias significativas como el ácido oleico (18:1 n-9), el ácido linoleico (18:2 n-6), el ácido docosadienoico (22:2 n-6), el ácido  $\alpha$ -linolénico o ALA (18:3 n-3), el ácido eicosapentaenoico o EPA (20:5 n-3) y el ácido docosahexaenoico o DHA (22:6 n-3). De esta forma, los ácidos oleico, linoleico y linolénico que son ácidos grasos insaturados se encuentran en mayor cantidad en el pescado al que se le ha suministrado aceite vegetal mientras que el ácido docosadienoico y los ácidos grasos omega-3 EPA y DHA se encuentran en mayor cantidad en el pescado alimentado con aceite de pescado los cuales presentan una mayor cantidad de insaturaciones, por lo que se puede deducir que el pienso que contiene aceite de pescado aporta al animal una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga mientras que el pienso que contiene aceite vegetal aporta una mayor cantidad de ácidos grasos menos insaturados.

**Tabla 11 a. Perfil de ácidos grasos (mg FA/100 mg muestra) en el músculo *S. dumerili* alimentada con los piensos FO 100 y el pienso FO 0.**

	<b>FO 100</b>	<b>FO 0</b>
<b>14:0</b>	0,448 <sup>b</sup> ±0,024	0,313 <sup>a</sup> ±0,021
<b>15:0</b>	0,056 <sup>b</sup> ±0,003	0,031 <sup>a</sup> ±0,003
<b>16:0</b>	2,94 ±0,169	3,03 ±0,153
<b>17:0</b>	0,076 <sup>b</sup> ±0,004	0,050 <sup>a</sup> ±0,004
<b>18:0</b>	1,151 ±0,062	1,303 ±0,056
<b>20:0</b>	0,070 ±0,004	0,068 ±0,003
<b>22:0</b>	0,024 <sup>a</sup> ±0,003	0,035 <sup>b</sup> ±0,003
<b>24:0</b>	0,016 ±0,001	0,018 ±0,001
<b>16:1</b>	0,743 <sup>b</sup> ±0,036	0,501 <sup>a</sup> ±0,033
<b>17:1</b>	0,065 <sup>b</sup> ±0,003	0,036 <sup>a</sup> ±0,002
<b>18:1 n-9t</b>	0,060 ±0,003	0,056 ±0,003
<b>18:1 n-9c</b>	5,363 <sup>a</sup> ±0,374	6,710 <sup>b</sup> ±0,339
<b>18:1 n-7</b>	0,812 <sup>b</sup> ±0,038	0,682 <sup>a</sup> ±0,034
<b>20:1</b>	0,343 <sup>b</sup> ±0,015	0,161 <sup>a</sup> ±0,013

**Tabla 11 b (continuación). Perfil de ácidos grasos (mg FA/100 mg muestra) en el músculo *S. dumerili* alimentada con los piensos FO 100 y el pienso FO 0.**

<b>22:1 n-9</b>	0,057 <sup>b</sup> ±0,003	0,026 <sup>a</sup> ±0,003
<b>24:1</b>	0,068 <sup>b</sup> ±0,004	0,041 <sup>a</sup> ±0,004
<b>18:2 n-6</b>	2,787 <sup>a</sup> ±0,187	3,503 <sup>b</sup> ±0,170
<b>20:2 n-6</b>	0,169 <sup>b</sup> ±0,008	0,104 <sup>a</sup> ±0,007
<b>22:2 n-6</b>	0,082 <sup>b</sup> ±0,004	0,039 <sup>a</sup> ±0,003
<b>18:3 n-6</b>	0,028 ±0,002	0,027 ±0,002
<b>20:3 n-6</b>	0,020 <sup>b</sup> ±0,001	0,011 <sup>a</sup> ±0,001
<b>20:4 n-6 (AA)</b>	0,154 <sup>b</sup> ±0,005	0,102 <sup>a</sup> ±0,005
<b>22:4 n-6</b>	0,079 <sup>b</sup> ±0,003	0,037 <sup>a</sup> ±0,003
<b>18:3 n-3</b>	0,784 <sup>a</sup> ±0,151	2,318 <sup>b</sup> ±0,137
<b>20:3 n-3</b>	0,039 <sup>a</sup> ±0,003	0,053 <sup>b</sup> ±0,003
<b>20:5 n-3 (EPA)</b>	0,620 <sup>b</sup> ±0,045	0,480 <sup>a</sup> ±0,041
<b>22:5 n-3</b>	0,333 <sup>b</sup> ±0,014	0,223 <sup>a</sup> ±0,012
<b>22:6 n-3 (DHA)</b>	2,267 <sup>b</sup> ±0,088	1,348 <sup>a</sup> ±0,079

Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias, p-valor<0,05 (n=10). Test de Newman-Keuls. Σ Ms: Sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; Σ n-3 PUFA: Sumatorio ácidos grasos poliinsaturados de cadena n-3. Σ HUFA: Sumatorio de ácidos grasos altamente insaturados.

#### 4.2. Análisis de aminoácidos libres.

El perfil de aminoácidos libres para el pescado alimentado con FO 100 y el pescado alimentado con el pienso FO 0 se muestran en la tabla 12.

Tabla 12 a. Perfil de aminoácidos libres de los diferentes tipos de pescado en mgAA/100g de pescado.

	<b>FO 0</b>	<b>FO 100</b>
<i>Ácidos esenciales</i>		
<b>Arginina</b>	39,57 ±5,305	49,26 ±4,963
<b>Fenilalanina</b>	1,48 ±0,092	1,56 ±0,086
<b>Histidina</b>	52,49 ±3,947	51,16 ±3,692
<b>Isoleucina</b>	1,70 ±0,136	1,82 ±0,127
<b>Leucina</b>	2,45 ±0,161	2,63 ±0,150
<b>Lisina</b>	78,79 ±5,866	80,82 ±5,487
<b>Metionina</b>	1,93 ±0,120	1,85 ±0,113
<b>Treonina</b>	38,68 ±5,374	48,60 ±5,027
<b>Triptófano</b>	0,00 ±1,059	1,35 ±0,991
<i>Semiesenciales</i>		
<b>Cistina</b>	12,37 <sup>a</sup> ±0,316	13,78 <sup>b</sup> ±0,295
<b>Taurina</b>	11,38 ±0,92	12,65 ±0,860
<b>Tirosina</b>	1,87 ±0,168	1,72 ±0,157



**Tabla 12 b (Continuación). Perfil de aminoácidos libres de los diferentes tipos de pescado en mgAA/100g de pescado.**

<i>No esenciales</i>		
<b>Ác. Aspártico</b>	0,36 ±0,068	0,53 ±0,063
<b>Ác. Glutámico</b>	8,97 ±0,815	9,07 ±0,762
<b>Alanina</b>	1,12 ±0,084	1,23 ±0,079
<b>Anserina</b>	6,96 ±1,231	6,78 ±1,152
<b>Aspargina</b>	5,40 ±3,157	0,77 ±2,953
<b>Citrulina</b>	15,11 ±4,085	9,96 ±3,821
<b>Glicina</b>	13,17 ±1,316	16,42 ±1,231
<b>Glutamina</b>	0,56 <sup>a</sup> ±0,236	1,84 <sup>b</sup> ±0,221
<b>Hidroxiprolina</b>	5,30 ±1,477	3,19 ±1,281
<b>Ornitina</b>	15,62 ±4,830	27,28 ±4,518
<b>Prolina</b>	0,25 ±0,281	0,67 ±0,263
<b>Serina</b>	13,54 ±1,398	11,69 ±1,308
<b>Valina</b>	2,55 ±0,170	2,59 ±0,159
<b>β-Alanina</b>	0,06 ±0,045	0,00 ±0,042

Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias, p-value<0,05 (n=10). Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas a p<0.05. Test de Newman-Keuls.

Al estudiar la concentración de aminoácidos libres en los dos tipos de pescado se ha observado que no se encuentran diferencias significativas en ninguno de los aminoácidos a excepción de la cistina, la cuál se encuentra en mayor cantidad en el pescado FO100 (13,78 mg/100g de pescado) que en el FO0 (12,37mg/100g

de pescado) y la glutamina, que también es mayor en FO100 (1,84mg/100g de pescado) que en FO0 (0,56mg/100g de pescado).

#### **4.3. Análisis sensorial.**

Para poder asegurar que existen diferencias significativas entre las dos muestras diferentes de pescado en el análisis sensorial, hay que obtener un total de 48 respuestas acertadas para un intervalo de confianza de 0,05; 51 respuestas para un intervalo de confianza de 0,01 y 55 respuestas correctas para un intervalo de 0,001 según la fórmula del apartado anterior.

En el análisis realizado, se obtuvieron un total de 54 respuestas acertadas, por lo que se puede concluir con un 99% de posibilidades de que hay diferencias significativas entre las dos muestras.

Al estudiar los comentarios descritos por los jueces, la mayoría de los que encontraron diferencias comentaron que el pescado FO100 tenía más sabor y presentaba una mayor jugosidad en comparación con el pescado FO0. Sin embargo, pocos observaron diferencias en otras propiedades organolépticas como el aroma o la apariencia.

## 5. Discusión.

Estudios previos, en peces carnívoros, han demostrado que aproximadamente 2/3 del aceite de pescado podría sustituirse por mezclas de aceites vegetales sin comprometer el crecimiento de los peces (Benedito-Palos et al., 2008; Izquierdo et al., 2003; Mourente y Bell, 2006; Monge-Ortiz et al., 2018). Sin embargo, otros autores (Nasopoulou y Zabetakis (2012), Regost et al. (2003), Sales y Glencross (2011) también han podido comprobar que la sustitución total del aceite de pescado afecta negativamente la producción de algunas especies, mientras que otras no alteran ni al crecimiento ni a la eficiencia nutritiva (Glencross et al., 2016; Mozanzadeh et al., 2016). En consecuencia, la sustitución de aceite de pescado debe estudiarse cuidadosa y específicamente para cualquier especie.

Los resultados de crecimiento del presente trabajo demostraron que es posible sustituir hasta el 100% del aceite de pescado por aceite vegetal sin perjudicar el crecimiento de la *Seriola dumerili*, en un período de 109 días. Así, es muy importante conocer el efecto que tendría la sustitución de aceite de pescado en la dieta de ésta especie en las características organolépticas y en la calidad del filete, ya que si la producción no se ve afectada y con ello se puede conseguir reducir de forma importante el precio de la alimentación (los precios de los aceites vegetales son muy inferiores al del aceite de pescado, además de ser más sostenibles) sería un gran avance en la producción de la seriola.

Sin embargo, en el presente trabajo, al igual que en otros estudios similares, se ha comprobado que una sustitución completa del aceite de pescado en el pienso de *Seriola dumerili* por una mezcla de aceite vegetal puede afectar a las características organolépticas del producto final. El sabor y la textura son las características que más varían al cambiar la composición del pienso, obteniendo un pescado con un sabor más suave y menos jugoso en el pescado alimentado con aceite vegetal lo que puede suponer un rechazo por parte del consumidor. Aun así, no hay grandes cambios en la composición de la carne del pescado alimentado con cualquiera de los dos piensos, a excepción de la composición en ácidos grasos en los que se puede apreciar una disminución de los ácidos grasos de origen marino (n-3 de cadena larga) y un aumento de los habituales en aceites vegetales, al sustituir el aceite de pescado, al igual que sucede en otros estudios realizados con *S. dumerili*, dorada y lubina (Monge et al. 2017; Grasso et al., 2008 y Mourente et al., 2006). Los ácidos grasos que más aumentaron a nivel muscular con la inclusión vegetal fueron los ácidos grasos oleico (n-9) y los ácidos grasos de la serie n-6 linoleico y n-3, como el linolénico, mientras que se produce un descenso en la cantidad de ácidos grasos altamente insaturado n-3 como son ácido docosadienoico, ácido eicosapentanoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). La seriola, como especie marina no es capaz de sintetizar ácidos grasos de cadena larga a partir de ácidos grasos de cadena media, y por lo tanto, se ve reflejado en el músculo. Una de las características más habituales de los ácidos grasos es aportar jugosidad al alimento, por lo que se puede deducir que un pescado con perfiles diferentes de ácidos grasos puede presentar cambios sensoriales perceptibles como la jugosidad, tal y como sucede en el pescado alimentado con aceite vegetal. A parte de las alteraciones observadas a nivel sensorial, el consumo de ácidos grasos de la serie n-3 es esencial para el ser humano al prevenir patologías cardiovasculares y enfermedades autoinmunes (Hwang, 1989), además de reducir el riesgo de muerte prematura y de producir otros efectos beneficiosos en el organismo (Kidd, 2007) y de participar en

la formación de prostaglandinas, las cuales tienen propiedades vasodilatadoras. Por otra parte, una proporción elevada de ácidos grasos n-6/n-3 también puede tener efectos perjudiciales para la salud, por lo que es preferible obtener una relación de ácidos grasos más equilibrada.

Aunque la concentración de aminoácidos libres en el músculo o en el hígado varía en función de la especie, las condiciones de la producción o el tiempo y temperatura de almacenamiento (ya que, durante la descomposición del pescado, las bacterias degradan las proteínas obteniendo así una mayor cantidad en aminoácidos libres, lo que puede suponer un indicador de la descomposición del pescado), es uno de los nutrientes que mayor calidad nutricional aporta al pescado (Calanche *et al.*, 2019) y también intervienen en la formación de proteínas, imprescindibles para el adecuado desarrollo del pez (Martínez *et al.*, 2007). Entre todos los aminoácidos estudiados, solo la cistina y la glutamina han disminuido significativamente al variar la alimentación debido a que estos dos aminoácidos se suelen encontrar en carne animal pero no en semillas oleaginosas como en girasol, palma o colza. Los aminoácidos libres aportan aroma al pescado y son fáciles de digerir, por lo que una menor concentración de éstos en la carne del pescado no solo es responsable de una pérdida en la calidad sensorial, sino que además disminuye su valor nutricional. También son responsables del sabor dulce del pescado, por lo que la pérdida de sabor detectada durante el análisis sensorial puede deberse a la disminución de aminoácidos. Esto mismo es lo que se observó en estudios previos en los cuales se sustituyó la harina de pescado del pienso de dorada por harina de soja (Martínez *et al.*, 2007), observando que la inclusión de harina vegetal produjo un pescado con menor sabor y jugosidad. Sin embargo, la variación de los aminoácidos es pequeña, por lo que este cambio en el sabor observado en el presente experimento puede deberse también a la disminución de ácidos grasos de origen marino, los cuáles pueden aportar sabor al filete de pescado. Además, hay estudios que asocian la presencia de glutamina con un sabor amargo, por lo que su disminución puede ser beneficiosa para obtener un producto de mejor calidad.

## 6. Bibliografía.

- ACKMAN, R. G. (2001). *Fish is more than a brain food*. IIFET 2000 Proceedings.
- ANDALORO, F.; POTISCHI, A.; PORRELLO, S. (1992). *Contribution to the knowledge of growth of greater amberjack, *Seriola dumerili* (Cuv., 1817) in the Sicilian Channel (Mediterranean Sea)*. Rapp. Comm. Intern. Mer Méditer., 33: 282.
- AOAC Association of official Analytical Chemists (1990). *Official Methods of Analysis*. 15ªed. Arlington, USA.
- AOAC Association of official Analytical Chemists (2000). *Official Methods of Analysis*. 17ªed. Gaithersburg, USA.
- AOKI, H.; SHIMAZU, H.; FUKUSHIGE, T.; AKANO, H.; YAMAGATA, Y.; WATANABE, T. (1996). *Flesh quality in red sea bream fed with diet containing a combination of different protein sources as total substitution for fish meal*. *Bulletin of the Fisheries Research Institute of Mie (Japan)*, 6: 47–54.
- APROMAR (2017). *La acuicultura en España 2017*, visto el 11 de Julio de 2018 [https://drive.google.com/file/d/0B4\\_4E-v9oqL\\_WC11QTZ1WIZtalk/view](https://drive.google.com/file/d/0B4_4E-v9oqL_WC11QTZ1WIZtalk/view)
- BENEDITO, L.; NAVARRO, J.; SITJÀ, A.; BELL, J.; KAUSHIK, S.; PÉREZ, J. (2008). *High levels of vegetable oils in plant protein-rich diets fed to gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): growth performance, muscle fatty acid profiles and histological alterations of target tissues*. *British Journal of Nutrition*, 100(5), 992-1003.
- BOOTH, M.A.; ALLAN, G.L.; PIROZZI, I. (2010). *Estimation of digestible protein and energy requirements of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* using a factorial approach*. *Aquaculture*, 307 (3-4): 247-259.
- CALANCHE, J.; TOMÁS, A.; MARTÍNEZ, S.; JOVER, M.; ALONSO, V.; RONCALÉS, P.; BELTRÁN, J. (2019). *Relation of quality and sensory perception with changes in free amino acids of thawed seabream (*Sparus aurata*)*. *Food Research International*, 119: 126-134.
- DE FRANCESCO, M.; PARISI, G.; MÉDALE, F.; LUPI, P.; KAUSHIK, S.; POLI, B. (2004). *Effect of long-term feeding with a plant protein mixture based diet on growth and body/fillet quality traits os large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)*. *Aquaculture*, 236: 413-429
- DEBELIUS, H. (1998). *Guía de peces del mediterráneo y atlántico*. Grupo editorial M&G difusión. Madrid.
- DE-LA-GÁNDARA, F. (2006). *¿Por qué no se ha desarrollado el cultivo de *Seriola dumerili* en el Mediterráneo?*
- EUMOFA, OBSERVATORIO EUROPEO DEL MERCADO DE LOS PRODUCTOS DE LA PESCA Y DE LA ACUICULTURA (2017). *El mercado pesquero de la Unión Europea*. Edición 2017.
- FAO (2015). *Investigación y educación en pro del desarrollo de la acuicultura*. Octava reunión del subcomité de pesca. Brasil, Octubre de 2015, visto el 10 de Septiembre de 2018. [http://www.fao.org/fi/static-media/MeetingDocuments/COFI\\_AQ/2015/8Rev1s.pdf](http://www.fao.org/fi/static-media/MeetingDocuments/COFI_AQ/2015/8Rev1s.pdf)

FAO (2018a). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. Edición 2018, Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FAO (2018b). *Papel de la FAO en la acuicultura*, visto el 18 de noviembre de 2018. <http://www.fao.org/aquaculture/es/>

GARCÍA, A. (1993). Primeras experiencias de crecimiento de juveniles de seriola mediterránea (*Seriola dumerili*, Risso 1810) alimentados con una dieta semihúmeda. *Bol. Inst. Esp. Oceanog.*, 9 (2): 347-360.

GARCÍA, A.; DÍAZ, M.V. (1995). Culture of *Seriola dumerili*. Cahiers Options Méditerranéennes. *Marine Aquaculture Finfish Species Diversification*, vol. 16. CIHEAM, Zaragoza, Spain: 103-114.

GIMÉNEZ, P.I. (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*. Trabajo fin de máster universitario en gestión de la seguridad y calidad alimentaria. Universitat Politècnica de València.

GLENCROSS, B.; BLYTH, D.; IRVIN, S.; BOURNE, N.; CAMPET, M.; BOISOT, P.; Wade, N. (2016). An evaluation of the complete replacement of both fishmeal and fish oil in diets for juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 451: 298-309.

GRASSO, V.; MONTERO, D.; ACOSTA, F. (2008). La inclusión de aceites vegetales en el pienso: Efecto sobre algunos parámetros del sistema inmune de juveniles de dorada (*Sparus aurata*, L.). *Vector Plus*, 31.

GUILLUME, J.; KAUSHIK, S.; BERGOT, P.; MÉTAILLER, R. (2014). *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Editorial Mundi-prensa. Madrid.

HWANG, D. (1989). *Essential fatty acids and immune response*. The FASEB Journal, 3(9): 2052-2061.

IZQUIERDO, M. S.; MONTERO, D.; ROBAINA, L.; CABALLERO, M. J.; ROSENLUND, G.; GINÉS, R. (2005). Alterations 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.

IZQUIERDO, M. S.; OBACH, A.; ARANTZAMENDI, L.; MONTERO, D.; ROBAINA, L.; ROSENLUND, G. (2003). Dietary lipid sources for seabream and seabass: growth performance, tissue composition and flesh quality. *Aquaculture Nutrition*, 9(6): 397-407.

JEREZ, S.; SAMPER, M.; SANTAMARÍA, F.J.; VILLAMANDOS, J.E.; CEJAS, J.R.; FELIPE, B.C.; (2006). Natural spawning of greater amberjack (*Seriola dumerili*) kept in captivity in the Canary Islands. *Aquaculture*, 252: 199-207.

JOVER, M. (2016). Futuro de la alimentación de los peces en granjas marinas. *AquaTIC*, 37: 78-89.

JOVER, M.; GARCÍA, A.; TOMÁS, A.; DE LA GÁNDARA, F.; PÉREZ, L. (1999). Growth of the Mediterranean yellowtail (*Seriola dumerili*) fed extruded diets containing different levels of protein and lipid. *Aquaculture*, 179: 25-33.

KAUSHIK, S.J.; CRAVEDI, J.P.; LALLES, J.P.; SUMPTER, J.; FAUCONNEAU, B.; LAROCHE, M. (1995). Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential

estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 133: 257– 274.

KESTIN, S.; WARRIS, P.(2001). *Farmed Fish Quality*. Blackwell Science Ltd, UK.

KIDD, M. (2007). Omega-3 DHA and EPA for cognition, behavior, and mood: clinical findings and structural-functional synergies with cell membrane phospholipids. *Alternative medicine review*, 12(3), 207.

LOUISY, P. (2006). *Guía de identificación de los peces marinos de Europa y del Mediterráneo*. Ediciones Omega. Barcelona.

MAPAMA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2018). *Estadísticas pesqueras*. Edición abril 2018.

MAPAMA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2015). *Pez de limón*, visto el 20 de Mayo de 2018 [http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/0059pez-limon\\_tcm30-102569.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/0059pez-limon_tcm30-102569.pdf)

MARTÍNEZ, S.; MOÑINO, A.; TOMÁS, A.; SALVADOR, V.; PLA, M.; JOVER, M. (2007). Soybean meal as a protein source in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) diets: effects on growth and nutrient utilization. *Aquaculture Research*, 38(1): 82-90.

MASUMOTO, T.; RUCHIMATA, T.; ITOB, Y.; HOSOKAWA, H.; SHIMENO, S. (1996). Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture*, 146 (1-2): 109-119.

MIRANDA, I.T.; PEET, C. (2008). *Seafood report: farmed yellowtail (Seriola spp.)*. Monterey Bay Aquarium Monterey Bay, California.

MISPECES.COM, 2008 (Abril). *PROMAN comercializará en junio alevines de seriolas listas para engordar en jaulas*, visto el 11 de Enero de 2018. <http://www.mispecies.com/noticias/2008/abr/080407-alevines-seriolaproman.asp>

MISPECES.COM, 2009 (Julio). *Por cuarto año consecutivo PROMAN vuelve a obtener puestas naturales de pez limón*, visto el 11 de Enero de 2018. <http://www.mispecies.com/noticias/2009/jul/090724-proman-puestaspez-limon-seriola.asp>

MISPECES.COM, 2010a (Marzo). *PROMAN saca a la venta los primeros lotes europeos de seriola producida íntegramente en acuicultura*, visto el 11 de Enero de 2018. <http://www.mispecies.com/noticias/2010/mar/100305-proman-seriolarestaurantes.asp>

MISPECES.COM, 2010b (Septiembre). *PROMAN inicia nueva campaña de comercialización de seriola (pez limón)*, visto el 11 de Enero de 2018. <http://www.mispecies.com/noticias/2010/sep/100917-promancomercializa-seriola.asp>

MONGE, R.; TOMÁS, A.; GALLARDO, F. J.; ESTRUCH, G.; GODOY, S.; JOVER, M.; MARTÍNEZ, S. (2018). Partial and total replacement of fishmeal by a blend of animal and plant proteins in diets for *Seriola dumerili*: Effects on performance and nutrient efficiency. *Aquaculture Nutrition*, 24(4): 1163-1174.

MONGE, R.; TOMÁS, A.; RODRIGUEZ, D.; MARTÍNEZ, S.; PÉREZ, J. A.; JOVER, M.; LORENZO, A. (2017). Replacement of fish oil with vegetable oil blends in feeds for greater amberjack (*Seriola dumerili*) juveniles: Effect on growth performance, feed efficiency, tissue fatty acid composition and flesh nutritional value. *Aquaculture Nutrition*, 24(1): 605-615.

MORAN, D.; PETHER, S.J.; LEE, P.S. (2009). Growth, feed conversion and fecal discharge of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) fed three commercial diets. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.*, 43 (4): 917-927.

MOURENTE, G.; BELL, J. G. (2006). Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils (rapeseed, linseed and palm oils) in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) over a long term growth study: effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 145(3-4): 389-399.

MOURENTE, G.; GOOD, J. E.; BELL, J. G. (2005). Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E2 and F2 $\alpha$ , immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Aquaculture Nutrition*, 11(1): 25-40.

MOZANZADEH, M.; AGH, N.; YAVARI, V.; MARAMMAZI, J.; MOHAMMADIAN, T.; Gisbert, E. (2016). Partial or total replacement of dietary fish oil with alternative lipid sources in silvery-black porgy (*Sparidentex hasta*). *Aquaculture*, 451: 232-240.

NASOPOULOU, C.; ZABETAKIS, I. (2012). Benefits of fish oil replacement by plant originated oils in compounded fish feeds. A review. *LWT-Food Science and Technology*, 47(2): 217-224.

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 of Animal Science*, 85: 1511-1521.

PARK, H.; WEIER, S.; RAZVI, F.; PEÑA, P. A.; SIMS, N. A.; LOWELL, J.; HUNGATE, C.; KISSINGER, K.; KEY, G.; FRASER, P.; NAPIER, J. A.; CAHOON, E.B.; CLEMENTE, T.E. (2017). Towards the development of a sustainable soya bean-based feedstock for aquaculture. *Plant biotechnology journal*, 15(2): 227-236.

PIEDECAUSA, M. A.; MAZÓN, M. J.; GARCÍA, B. G.; HERNÁNDEZ, M. D. (2007). Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture*, 263(1-4): 211-219.

PUIG, J. V. (2007). *Métodos físicos y químicos para la evaluación de la calidad y frescura de los recursos y productos marinos*. Universidad Central de Venezuela.

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(1-4): 465-482.

RICHARD, N.; KAUSHIK, S.; LARROQUET, L.; PANSERAT, S.; CORRAZE, G. (2006). Replacing dietary fish oil by vegetable oils has little effect on lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *British journal of Nutrition*, 96(2): 299-309.



SALES, J.; GLENCROSS, B. (2011). A meta-analysis of the effects of dietary marine oil replacement with vegetable oils on growth, feed conversion and muscle fatty acid composition of fish species. *Aquaculture Nutrition*, 17(2): e271-e287.

SARGENT, J. R.; BELL, J. G.; MCGHEE, F.; MCEVOY, J.; WEBSTER, J. L. (2001). *The nutritional value of fish*. Farmed fish quality: 3-12.

SEAFISH (2018). *Fishmeal and fish oil facts and figures*, visto el 22 de Septiembre de 2018 [http://www.seafish.org/media/publications/Seafish\\_FishmealandFishOil\\_FactsandFigures2018.pdf](http://www.seafish.org/media/publications/Seafish_FishmealandFishOil_FactsandFigures2018.pdf)

SHEPHERD, J.; BACHIS, E. (2014). Changing supply and demand for fish oil. *Aquaculture Economics & Management*, 18(4): 395-416.

SMITH, R.R.; KINCAID, H.L.; REGENSTEIN, J.M.; RUMSEY, G.L. (1988). Growth, carcass composition, and taste of rainbow trout of different strain fed diets containing primarily plant or animal protein. *Aquaculture*, 70: 309– 321.

SUZ, S. (2014). *Formulación de piensos sostenibles para la producción de *Seriola dumerili**. Trabajo fin de grado en ingeniería forestal y del medio natural. Universitat Politècnica de València.

TACON, A. G.; HASAN, M. R.; METIAN, M. (2011). Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: trends and prospects. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 564.

TAKEUCHI, T.; ARAKAWA, T.; SATOH, S.; WATANABE, T. (1992). Supplemental effect of phospholipids and requirement of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid of juvenile Striped Jack. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(4): 707-713.

TAKII, K.; SHIMENO, S.; NAKAMURA, M.; ITOH, Y.; OBATAKE, A.; KUMAI, H.; TAKEDA, M. (1990). Evaluation of soy protein concentrate as a partial substitute for fish meal protein in practical diet for yellowtail. *Proc. III Int. Sym. on Feeding and Nutrition in Fish, Toba (Japan)*, 1989: 281-288.

THOMPSON, B.A.; BEASLEY, M.; WILSON, C.A. (1999). Age distribution and growth of greater amberjack, *Seriola dumerili*, from the north-central Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 97 (2): 362-371.

TOMÁS, A.; DE LA GÁNDARA, F.; GARCÍA, A.; CERDÁ, M. J. (2008). Effect of the protein/energy ratio on the growth of Mediterranean yellowtail (*Seriola dumerili*). *Aquaculture Research*, 39: 1141–1148.

TOMÁS, A.; DE LA GÁNDARA, F.; GARCÍA, A.; PÉREZ, L.; JOVER, M. (2005). Utilization of soybean meal as an alternative protein source in the Mediterranean yellowtail, *Seriola dumerili*. *Aquaculture Nutrition*, 11: 333–340.

WATANABE, K.; URA, K.; YADA, T.; KIRON, V.; SATOH, S.; WATANABE, T. (2000). Energy and protein requirements of yellowtail for maximum growth and maintenance of body weight. *Fisheries Science*, 66: 1053–1061.

YILDIZ, M.; SENNER, E. (1997). Effect of dietary supplementation with soybean oil, sunflower oil or fish oil on the growth of seabass (*Dicentrarchus labrax* L. 1758). *Cahiers Options Mediterraneennes (CIHEAM)*.