



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

MÁSTER INTER-UNIVERSITARIO EN ACUICULTURA

EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE LA HARINA DE PESCADO POR
UNA MEZCLA VEGETAL Y ANIMAL EN PIENSOS, EN EL
CRECIMIENTO Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE *Seriola dumerili*.

Trabajo Fin de Máster

NADHIA MARGARITH HERRERA CASTILLO

Directores:

Dra. Silvia Martínez Llorens
Profesora Titular de Universidad

Dra. Ana Tomás Vidal
Profesora Titular de Universidad

Valencia, 18 de septiembre del 2015

Dedico el éxito y la satisfacción de esta investigación a Dios, quien me regala los dones de la Sabiduría y Entendimiento, a la memoria de mi madre J.C.S, a la perseverancia, amor y lucha constante de mi padre M.H.D y al apoyo mis hermanos quienes un en la distancia siempre han estado conmigo.

AGRADECIMIENTOU

Dejo en constancia de mi sincero agradecimiento a mis profesores de la Universidad Politécnica de Valencia y Universidad de Valencia, quienes con su sabia enseñanza, consejos han permitido que logre un escalón más en el mundo académico y científico de la Acuicultura.

A mis tutoras, Dra. Silvia Martínez y Dra. Ana Tomás por su apoyo y por haberme asesorado en la redacción de la presente tesis de máster

Al Dr. Miguel Jover por brindarme una oportunidad de seguir cumpliendo una de mis metas, por su confianza depositada en mí, por sus conocimientos e inestimable experiencia.

A todos mis compañeros del departamento de Ciencia Animal con quienes he compartido todo este tiempo, especialmente al grupo de Acuicultura.

RESUMEN

Las dietas comerciales para la alimentación de los peces en general contienen altos niveles de harina y aceite de pescado. Dadas las preocupaciones sobre los futuros suministros y los precios cada vez más elevados aunado a la falta de investigación nutricional destinada a identificar ingredientes alternativos que requiere la *Seriola dumerili*, se realizó el estudio con el objetivo de determinar el efecto de la sustitución de la harina de pescado por una mezcla vegetal y animal (Gluten de trigo, gluten de maíz, krill desengrasado y harina de carne) en el crecimiento y composición nutricional. Para ello se formularon tres dietas, con un nivel de inclusión del 33% (FM 66), 66% (FM 33) y 0% (FM 100), por duplicado, se inició con peso promedio de 530 g y se alimentó a saciedad durante 84 días. Los resultados muestran que con la inclusión de harina vegetal y animal en la dieta FM 66 (33%), no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) en los parámetros de crecimiento y parámetros nutricionales con resultados similares al tratamiento control (FM 100). Aunque si afectó la supervivencia, CEC y la eficiencia de retención de aminoácidos, siendo los resultados inferiores ($P < 0,05$). Además la inclusión de 66% alteró significativamente la calidad nutricional del músculo con la disminución de MUFAs (ARA, EPA y DHA) y (PUFAs). Estos resultados confirman que la inclusión de un 33 % de ingredientes vegetales y animales no alteran los parámetros de producción ni la calidad nutricional del filete.

Palabras clave: Harina de pescado, seriola, ácidos grasos, aminoácidos

ABSTRACT

The commercial diets for feeding fish as general contain high levels of fishmeal and fish oil. Given concerns about the future supplies and the prices increasingly high united to the lack of nutritional investigation destined to identify alternative ingredients, which requires the *Seriola dumerili*. The study was realized with the aim of termine the effect of replacing fishmeal with a vegetable blend and animals (Wheat gluten, corn gluten, meat meal and krill defatted) in the growth and nutritional composition. For this they formulated three diets with a level of inclusion of 33% (FM 66), 66% (FM 33) y 0% (FM 100), by duplicate, was initiated with average weight of 530 g and was fed to satiation by 84 days. The results shows that with the inclusion of flour vegetable and animal in the diet of the FM 66 (33%), no significant difference was found ($P > 0, 05$) in growth parameters, nutritional parameters with similar results to the control treatment (FM 100) although yes affection survival, CEC and efficiency of retention of amino acids, being the inferior results ($P < 0, 05$). Besides the inclusion of 66%, alters significantly its nutritional quality of muscle with decreasing of MUFAs (ARA, EPA y DHA) y (PUFAs). These results confirm that the inclusion of 33% of vegetable and animal ingredients they are excellent protein ingredients which do not alter the production parameters neither the nutritional quality of the fillet.

Key words: Fish meal, seriola, fatty acids, amino acids.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE	I
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Especie alternativa para la acuicultura mediterránea	1
1.2. Harinas y aceites de pescado, problemática actual	4
1.2.1. Sustitución de la harina de pescado	5
1.2.2. Necesidades lipídica y ácidos grasos en los peces marinos	9
1.2.3. Alteración de la sustitución de la harina de pescado en la calidad de carne.	10
1.3. Calidad nutricional de la carne	11
II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	13
III. MATERIAL Y MÉTODOS	14
3.1. Diseño experimental	14
3.1.1. Dietas experimentales	14
3.1.2. Peces y desarrollo experimental	15
3.2. Procedimiento	16
A. Evaluación biométrica	16

B. Biometrías e índices biométricos	17
C. Análisis químicos	18
3.3. Análisis estadístico	19
IV. RESULTADOS	19
4.1. Parámetros de crecimiento y eficiencia nutritiva, composición aproximada y eficiencia en la retención	19
4.2. Composición nutricional de la carne	24
V. DISCUSIÓN	27
VI. CONCLUSIONES	32
VII. BIBLIOGRAFÍA	33

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fotografía de <i>Seriola dumerili</i> y su distribución geográfica.	2
Figura 2. Curvas comparativas de crecimiento de seriola, dorada y lubina, criadas en instalaciones experimentales en tierra	3
Figura 3. Producción y valor de <i>Seriola</i> sp. producida en el mundo	4
Figura 4. Crecimiento en peso medio de <i>Seriola dumerili</i> alimentadas con piensos en los que la harina de pescado se sustituyó por una mezcla de harinas vegetales y animales	20
Figura 5. Eficiencia de retención de aminoácidos de los peces alimentados con las tres dietas experimentales	23
Figura 6. Concentración de algunos ácidos grasos en músculo de <i>Seriola dumerili</i> , en las tres dietas experimentales.	26

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Necesidades aminoacídicas para peces continentales y marinos y espáridos, expresado en g/100 g proteína.	9
Tabla 2. Ingredientes y composición proximal de las dietas experimentales.	15
Tabla 3. Composición de aminoácidos de las dietas experimentales.	16
Tabla 4. Efecto de la sustitución de la harina de pescado con diferentes niveles de harinas vegetales y animales en los parámetros de crecimiento y eficiencia nutritiva de la <i>Seriola dumerili</i> .	21
Tabla 5. Composición aproximada y eficiencia en la retención (expresado como el porcentaje de peso en húmedo) de las dietas experimentales de la <i>Seriola dumerili</i> .	21
Tabla 6. Eficiencia de retención de aminoácidos de los peces alimentados con las tres dietas experimentales.	22
Tabla 7. Efecto de la sustitución de la harina de pescado con diferentes niveles de harinas vegetales y animales en parámetros biométricos de la <i>Seriola dumerili</i> .	23
Tabla 8. Composición aproximada de músculo (expresado como el porcentaje de peso en húmedo) de las tres dietas experimentales de la <i>Seriola dumerili</i> .	24
Tabla 9. Composición de lípidos en músculo de <i>Seriola dumerili</i> de las diferentes dietas experimentales expresado en mg ácidos grasos/g muestra húmeda.	25

ABREVIATURAS

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).
GB	Grasa bruta
PB	Proteína bruta
PUFA	Ácidos grasos poliinsaturados
w³	Omega 3
AA	Aminoácidos
AAE	Aminoácidos esenciales
AG	Ácidos grasos
AGE	Ácidos grasos esenciales
AP	Aceite de pescado
DHA	Ácido docosahexaenoico
EPA	Ácido eicosapentaenoico
GM	Gluten de maíz
GT	Gluten de trigo
HG	Harina de guisante
HP	Harina de pescado
HUFA	Ácidos grasos altamente insaturados
LA	Ácido linoleico
LNA	Ácido linolenico
MUFA	Ácidos monoinsaturados
PUFA	Ácidos grasos poliinsaturados
SFA	Ácidos grasos saturados
TCI	Tasa de crecimiento instantáneo
TAD	Tasa de alimentación diaria
ICA	Índice de conversión del alimento
CEC	Coefficiente de eficacia de crecimiento
VPP	Valor productivo de proteína
VPG	Valor productivo de grasa
VPE	Valor proteico energía
FC	Factor de condición
IVS	Índice viscerosomático

IGV	Índice de grasa visceral
IHS	Índice hepatoesomático
ICAR	Índice de la carne
IPNC	Índice de partes no comestibles
ID	Índice de descabezado
PP	Proteína vegetal

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ESPECIE ALTERNATIVA PARA LA ACUICULTURA MEDITERRÁNEA

En un esfuerzo por satisfacer la demanda mundial de productos del mar, la piscicultura comercial se ha disparado en los últimos años. A su vez, esto ha impulsado la producción de alimentos acuícolas (Song *et al.*, 2014). Según estadísticas de la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO 2012), la producción mundial de alimentos acuícolas comerciales aumentó de 7.6 toneladas (t) en 1995 a 29.7 t en 2011, con una tasa de crecimiento promedio anual de 11%. Se espera que la producción mundial de alimentos acuícolas para llegar a 51 t en 2015 y 71 t en 2020 (Connolly, 2014 y FAO, 2012).

En los últimos años, la acuicultura Mediterránea ha mostrado un descenso de precios de venta de la dorada y la lubina, por lo que buscan un aumento del rendimiento económico de sus instalaciones. Una alternativa al aumento del beneficio económico de las piscifactorías es la diversificación de especies. Es por ello, que la acuicultura mediterránea ha intentado seleccionar nuevas especies de peces marinos con el fin de diversificar su producción.

La seriola mediterránea o lecha *Seriola dumerili*, (Risso 1810), es un pez teleósteo perciforme perteneciente a la familia Carangidae. Es un pez carnívoro pelágico que está extendida a lo largo de la costa mediterránea (Fisher *et al.*, 1987), con distribución circunglobal (Figura 1). Esta especie vive a profundidades de 20-70 m, aunque también ha sido capturado a profundidades de hasta 360 m (Fisher *et al.*, 1981). Los juveniles son gregarios por naturaleza y, a menudo asociado con restos flotantes, junto con *Naucrates ductor* (pez piloto) y *Coryphaena hippurus* (dolphinfish común).

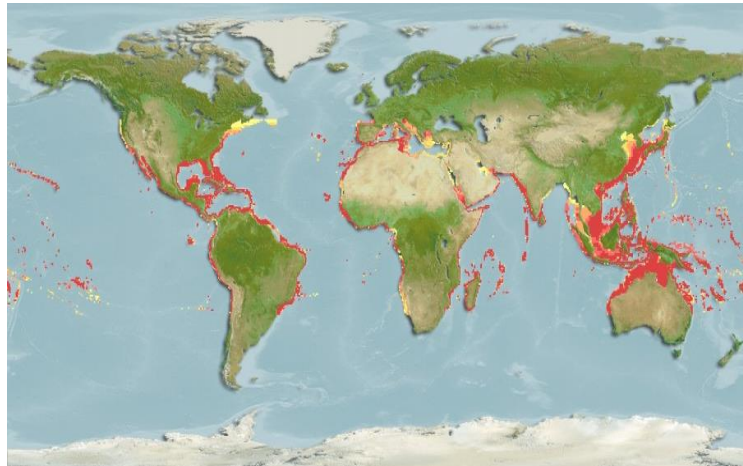


Figura 1. Fotografía de *Seriola dumerili* y su distribución geográfica (www.fishbase.com).

Una característica interesante de esta especie como candidata a la diversificación es el período natural de puesta en el Mediterráneo que se establece entre los meses de Mayo y Julio (Grau, 1992). El cual se produce antes que la dorada (*Sparus aurata*) (Enero – Marzo) y que la lubina (*Dicentrarchus labrax*) (Febrero – Marzo), lo que permitiría optimizar la utilización de los criaderos. Marino *et al.* (1995b) deducen que la diferenciación gonadal y su desarrollo parecen ser dependientes de la talla de los individuos, presenta una alta fecundidad cifrándose entre $1.1 \cdot 10^6$ y $1.8 \cdot 10^6$ huevos producidos por kg de hembra y año. Las técnicas de cultivo empleadas son las mismas que las puestas en Japón para la seriola japonesa (*Seriola quinqueradiata* Temminck y Schegel, 1844), el pez marino más producido en el mundo (Ikenoue y Kafuku, 1992 y Nakada, 2002), con una producción anual cercana a las 150 000 t una facturación superior a los 1000 millones de dólares (figura 3).

Dado a que presenta características importantes, como el rápido crecimiento, la *S. dumerili* es una especie interesante ya que puede superar 1 kg al año, 6 kg en 2.5 años y tiene una tasa de crecimiento 10 veces superior a la de la lubina en el mismo período de crecimiento (Muraccioli *et al.*, 2000). En la (Figura 2) se representa los crecimientos comparativos de la seriola, la dorada y la lubina en el mismo período de crianza Civa (2006). En el Mediterráneo, la producción se lleva a cabo en tanques de hormigón (García-Gómez, 1993 ; Greco *et al.*, 1993) y jaulas flotantes (Mazzola *et al.*, 1996), con altas tasas de supervivencia (Porrello *et al.*, 1993 ; Mazzola *et al.*, 1996). Como citan Muraccioli *et al.* (2000) su desarrollo se ha visto limitado por varias razones entre las que cabe citar la disponibilidad de juveniles, al no existir una producción industrial de los

mismos (Lazzari *et al.*, 2000), y por ciertos problemas relacionados con las patologías (Alcaide *et al.*, 2000; Montero *et al.*, 2001a; Rigos *et al.*, 2001), han hecho que los resultados obtenidos no permitan la producción comercial de esta especie a gran escala, de momento.

Sin embargo, en la actualidad, esta especie ya se produce en España por la empresa Futuna Blue, la cual lleva desde el 2013 produciendo y vendiendo alevines de seriola. (www.futunablue.com)

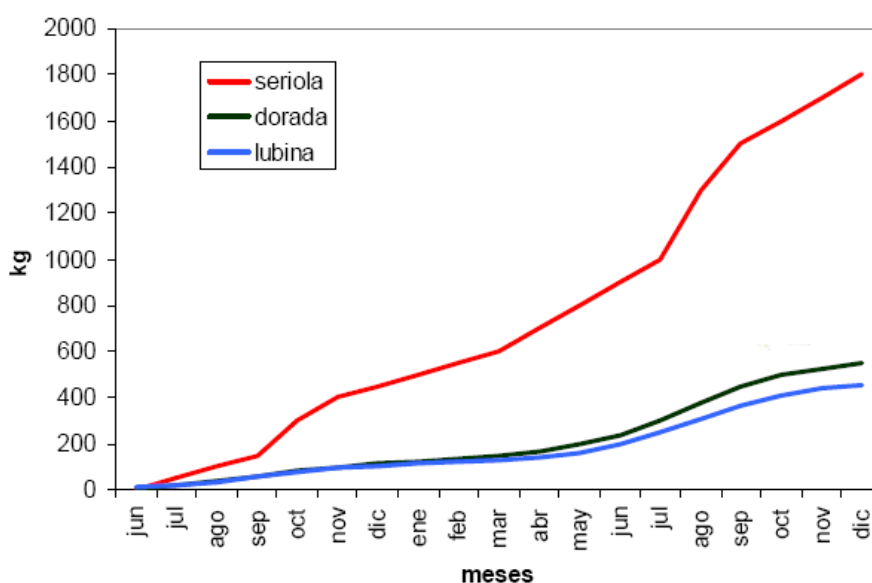


Figura 2. Curvas comparativas de crecimiento de seriola, dorada y lubina, criadas en instalaciones experimentales en tierra (Civa 2006).

Otra característica fundamental es su buena adaptación a la cautividad, aceptando una alimentación artificial (García-Gómez, 2000). Se han realizado algunos estudios para determinar la necesidad nutricional de la seriola, la cual fluctuaría de acuerdo a los niveles de sustitución de harina de pescado (HP). Aunque, como citan García-Gómez y Díaz (1995), los científicos japoneses han tenido éxito con la reproducción y crianza larvario de *Seriola dumerili* (llamada en Japón Kampachi) desde 1979 y con más éxito desde 1987 (Masuma *et al.*, 1990; Tachihara *et al.*, 1993), dado que su desarrollo a nivel industrial es limitado, la crianza se realice fundamentalmente capturando juveniles del medio natural. Finalmente, su alto valor comercial (10-20 € / kg) hacen de ella una especie con grandes posibilidades en el cultivo intensivo.

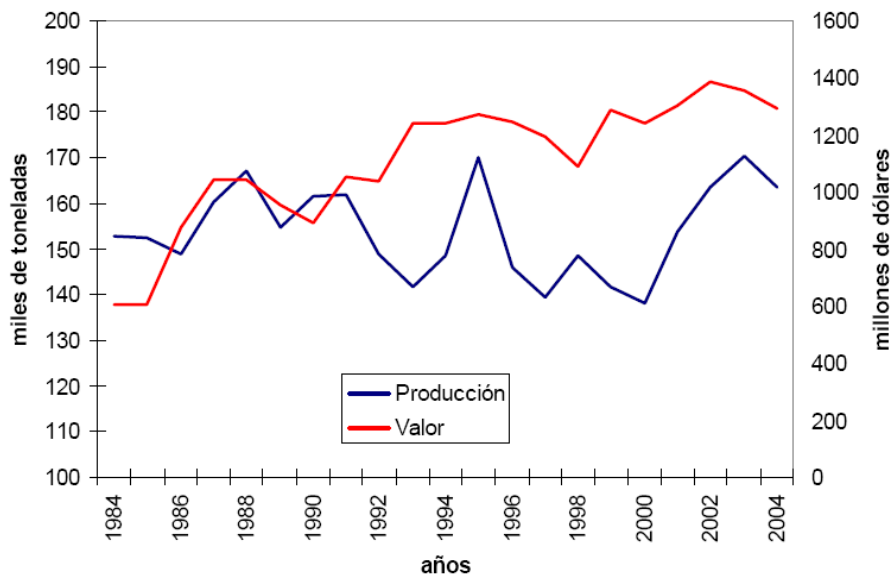


Figura 3. Producción y valor de *Seriola* sp. producida en el mundo (fuente FAO).

1.2. HARINAS Y ACEITES DE PESCADO, PROBLEMÁTICA ACTUAL

La acuicultura intensiva de especies carnívoras, específicamente la de salmónidos y peces marinos, es altamente demandante de alimentos de alto costo, ricos en proteína y lípidos. Los costos por concepto de alimento representan sobre el 67% de los costos operacionales en el cultivo de especies salmónidas (Refstie, 2000) esto debido a que los principales insumos son harina y aceite de pescado. El reemplazo de proteína dietaria por lípidos, en los últimos años, ha reducido el costo de la proteína, sin embargo el problema subsiste, ya que el abastecimiento de ambos ingredientes provienen de una misma fuente (Hardy, 1994). Existe un fuerte esfuerzo para definir y desarrollar nuevas fuentes de proteínas costos efectivos que puedan al menos, parcialmente, disminuir el alto costo y la dependencia de la harina de pescado en la formulación de las dietas (Hardy, 2006).

Por tanto las harinas y aceites de pescado tradicionalmente fueron la base de la alimentación de las especies acuícolas hasta hace unas décadas, debido a que eran accesibles en precio, cantidad y calidad, presentando buena digestibilidad en los peces. Sin embargo, su precio se ha ido incrementando con la demanda, especialmente dada por las economías emergentes como la de China, al igual que su producción ha disminuido en parte por anomalías atmosféricas como “El Niño”, que produjo la disminución de captura del boquerón en Perú (www.fao.org). A esto, se ha asociado en las últimas décadas la posible contaminación de las harinas y el aceites de pescado por contaminantes orgánicos (PCB, PCDD, PCDF y pesticidas organohalogenados), lo que estaría

produciendo pescado de crianza contaminado (Bell *et al.*, 2005; Bell y Waagbø, 2008), amenazando de esta manera la producción acuícola. Por todo ello, se están buscando fuentes alternativas a las harinas y aceites de pescado, que compitan en calidad, precio y sostenibilidad.

En este sentido la harina de pescado (HP) se convierte en un ingrediente importante en formulación de dietas para peces marinos carnívoros (10-60% en peso seco; Albert y Metian, 2008) ya que proporcionan proteínas de alta calidad y ácidos grasos esenciales, en proporciones casi ideales para la mayoría de las especies de teleósteos de alto valor. Sin embargo el aumento del precio y la disminución de la producción de HP, lo convierte en uno de los ingredientes más caros que se utilizan en altos porcentajes para la fabricación de piensos. Además, las dietas altas en HP resultan en una traza de fósforo significativo al medio ambiente (Yang *et al.*, 2011). Por lo tanto, la futura expansión de la acuicultura probablemente depende de otros ingredientes además de HP.

En este sentido y dadas las necesidades mundiales de harina de pescado y aceite de pescado para la acuicultura (FAO, 2002), existe una creciente demanda de una visión más clara sobre el potencial de las fuentes alternativas de proteínas en los alimentos acuícolas (New y Wijkström, 2002). No obstante existen limitaciones en el uso de fuentes de proteína alternativas que pueden ser debido a tres factores: (1) tasa de alimentación inferior con sustitución de HP por las proteínas alternativas (Williams y Barlow, 1996 y Robaina *et al.*, 1997), (2) Menor digestibilidad con la incorporación de proteína alternativa (Bureau *et al.*, 1999) y (3) Desequilibrio de los aminoácidos esenciales en las proteínas alternativas (Ai y Xie, 2005). Pero debido al interés por la sustitución de HP por fuentes de proteína más sostenibles y renovables se viene aplicando sustituciones parciales de HP en la producción de peces teleósteos marinos de interés para la zona del Mediterráneo (Alexis, 1997 ; Alexis y Nengas, 2001).

1.2.1. SUSTITUCIÓN DE LA HARINA DE PESCADO

Se están realizando estudios que se centran en el uso de proteínas animales o vegetales para sustituir la HP en la formulación de pienso para peces. Los sustitutos parciales a las harinas de pescado que se han empleado hasta el momento son, por una parte harinas de origen animal, tales como harina de carne y huesos, harina de aves, harina de sangre y

hemoglobina, harina de krill, tanto en especies marinas tales como la dorada y el fletan o eurihalinas como el salmón (Martínez-Llorens *et al.*, 2008; Suontama *et al.*, 2007; Hansen *et al.*, 2010) o dulceacuícolas como la trucha o la perca americana (Stone *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010). También se han empleado harinas de organismos unicelulares tales como levaduras, algas, bacterias y hongos en especies marinas como la lubina (Oliva-Teles y Gonçalves, 2001), el salmón (Storebakken *et al.*, 2004; Berge *et al.*, 2005; Aas *et al.*, 2006), o en especies dulceacuícolas tales como el pacú y la trucha (Ozorío *et al.*, 2010; Soler-Vila *et al.*, 2009). De las cuales la harina de subproductos de aves de corral, harina de carne y huesos y harina de sangre, como fuentes de proteína animal son las más prometedoras debido a su alto contenido de proteína, precio razonable y suministro constante, estos ingredientes han sido utilizados con éxito en la alimentación de varias especies de peces, como trucha arco iris (Bureau *et al.*, 2000), tambor o ballesta (Kureshy *et al.*, 2000), Tilapia del Nilo (El-Sayed, 1998) y el bagre africano (Goda *et al.*, 2007). Sin embargo, no ha sido hasta el año 2014, cuando se ha permitido su uso en España para incluirlos en piensos para peces.

Es por ello, que hasta el momento los grandes esfuerzos de la investigación se han centrado en la evaluación de los diversos ingredientes de proteína vegetal PP como alternativas sostenibles a la HP. La sustitución de HP por una mezcla de fuentes PP en alimentos para peces es actualmente una tendencia importante en la acuicultura (Gatlin *et al.*, 2007; Hardy, 2010; Tacon y Metian, 2008). Sin embargo, los productos vegetales ofrecen fuentes de proteínas más sostenibles para los alimentos acuícolas a pesar de que a menudo contienen factores anti-nutricionales, que pueden afectar el rendimiento del crecimiento y la salud de los peces (Francis *et al.*, 2001 y Gatlin *et al.*, 2007). La harina de gluten de maíz ha demostrado ser una buena alternativa para la sustitución de HP en alimentos de salmón, siendo baja en factores anti-nutricionales (Mente *et al.*, 2003), y el gluten de trigo tiene una alta digestibilidad y palatabilidad aunque los precios tienden a fluctuar debido a la restricciones en su producción y la demanda (Hardy, 1996). Los concentrados de proteína de soja (SPC) son buenas fuentes para la sustitución parcial de HP para muchas especies de peces incluyendo al salmón sin reducir el crecimiento (Refstie *et al.*, 2001), aunque los problemas con daño intestinal han sido observados en inclusiones de soja mayores del 20% de algunos productos sobre todo en salmónidos (Baeverfjord y Krogdhal, 1996 y Knudsen *et al.*, 2007).

Por otra parte y debido a la necesidad de disminuir los costos de alimentación se están realizando estudios respecto a los requerimientos nutricionales en *S. dumerili*, ya que estos son escasos, no obstante hay estudios de sustitución parcial de HP en diferentes formulaciones de dietas para especies del género *Seriola*, incluyendo *Seriola quinquerradiata*, *Seriola lalandi* y *Seriola dumerili* (Jover *et al.*, 1999; García-Gómez, 2000; Watanabe *et al.*, 2000; Tomás *et al.*, 2005; 2008; Miranda y Peet, 2008; Moran *et al.*, 2009; Booth *et al.*, 2010) y la mayoría de ellas están relacionadas con la optimización de los niveles proteicos, mediante la sustitución de harinas de pescado por otras fuentes animales o vegetales. Se sabe que las especies del género *Seriola* necesitan niveles relativos altos de proteínas (45-55%) en la alimentación para un máximo crecimiento, probablemente porque estas especies son altamente dependientes de las proteínas para crecer y obtener energía (Jover *et al.*, 1999; Takakuwa *et al.*, 2006; Tomás *et al.*, 2008). Así mismo estudios realizados por Viyakarn (1992) en la sustitución de diferentes niveles de soja 0 y 50%, a intervalos 10% en seriolas japonesas de 40 g y 350 g y Shimeno (1993a) que incluyó harina de soja desengrasada en seriolas japonesas 230 g tuvieron como resultados que a sustituciones de hasta un 30% no mostraba efectos negativos en la salud del pez. Del mismo modo, Watanabe (1995) incluyó harina de soja entre 0 y 30% en piensos extrusionados secos en seriolas japonesas de 160 y 1200 g, determinando que conforme disminuía el porcentaje de harina de soja incrementaba el crecimiento y el ICA, en tanto que Tomás (2005) sustituyó harina de pescado en un 20, 30, 40 y 50% por turtó de soja en *S.dumerili* obteniendo como resultado que a sustituciones mayores de un 40% influye negativamente en el crecimiento y parámetros nutritivos.

Mientras que para *Seriola quinquerradiata* se han realizado varios estudios con fuentes alternativas de proteínas sostenibles; harina de soja (Shimeno *et al.*, 1993a), harina de gluten de maíz, harina de carne y huesos, harina de colza (Shimeno *et al.*, 1993c) harina proteica de malta (Shimeno *et al.*, 1994) y harina de plumas (Shimeno *et al.*, 2000) y el uso combinado de varias harinas (Shimeno *et al.*, 1993a; Watanabe *et al.*, 1995; Hosokawa *et al.*, 2001b). Sustituciones mayores de HP por proteínas alternativas provocan menores crecimientos y desarrollo de condiciones fisiológicas anormales, como anemia y alteraciones hepáticas. Takagi *et al.* (2008) mencionan las causas de menor crecimiento y anomalías fisiológicas en relación con la concentración de niveles de taurina, ya que este sulfoácido es rico en harinas de pescado y no está presente en las fuentes proteicas vegetales. Los niveles de taurina son considerados como un factor

nutricional esencial en el mantenimiento de la normalidad en las condiciones fisiológicas de los peces. Los peces alimentados con dietas sin harinas de pescado se alimentan activamente al principio y crecen de manera normal, pero después el crecimiento se estanca, y se presenta una gran mortalidad debido a infecciones bacterianas y hipercolesterolemia (Maita *et al.*, 1998), anomalías hepáticas y anemia (Maita *et al.*, 1997). Goto *et al.* (2007) observaron que los suplementos de taurina en las dietas sin harina de pescado no sólo mejoraban el crecimiento y la utilización de la dieta, incrementando la actividad de las aminotransferasas, sino también reducía las alteraciones hepáticas, la hipercolesterolemia y la anemia.

El valor nutricional de un ingrediente de proteína alternativa es dependiente de la capacidad de los peces para digerir y absorber sus nutrientes (Allan *et al.*, 2000) junto con el tipo, cantidad y localización de las enzimas digestivas en el tracto gastrointestinal (Debnath *et al.*, 2007). Los principales enzimas digestivos responsables de descomponer los nutrientes son proteasas, lipasas y amilasas. La capacidad de utilización y el transporte de nutrientes pueden ser limitados por la producción de enzimas digestivas o por los mecanismos de transporte de nutrientes (Debnath *et al.*, 2007). Los estudios han encontrado que los niveles de secreción de proteasas, lipasas y amilasas cambian en respuesta al nivel de inclusión ingrediente (Lhoste *et al.*, 1994).

Debido a ello debe existir un equilibrio entre los aminoácidos esenciales (AAE) y los no esenciales (AANE) en toda materia prima, para que exista un buen aprovechamiento de la proteína, ya que de acuerdo con Marcoulli *et al.* (2004) una alta proporción de AANE podrían afectar negativamente la eficiencia proteica, lo que podría ocasionar una reducción del crecimiento de los peces afectando a su vez a la salud del animal y un exceso sólo incrementaría la excreción de amoníaco Gatlin (2010). Asimismo, Wilson (2002) recomienda para especies marinas entre un 1 y 6%, dependiendo del tipo de aminoácido, coincidiendo estos valores con los comentados por Tibaldi y Kaushik (2003) para los espáridos, como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Necesidades aminoacídicas para peces continentales y marinos y para espáridos, expresado en g/100 g proteína.

AAE	Arg	Fen	His	Iso	Leu	Lis	Met	Treo	Val
Continental y marinos	2.9-6.0	2.6-5.0	1.2-2.5	2.2-4.0	3.3-5.3	3.2-6.1	1.6-4.0	1.8-5.0	2.2-4.0
Espáridos	3.8-5.4	2.9-4.0	1.2-1.7	2.6	3.0-4.4	5.0	2.1-2.4	2.6-2.8	2.8-3.0

Arg: Arginina; Fen: Fenilalanina; His: Histidina; Iso: Isoleucina; Leu: Leucina; Lis: Lisina; Met: Metionina; Treo: Treonina; Val: Valina. Wilson (2002); Tibaldi & Kaushik (2003).

Si se considera el perfil aminoacídico propuesto por Wilson (2002) y se toma como base la harina de pescado como fuente ideal para la alimentación de peces, se puede observar que la mayoría de las harinas vegetales empleadas para la acuicultura presentarían deficiencias en algunos AAE, como es el caso de la harina de guisante, altramuz, el turtó de soja y girasol, que presentan deficiencias en la mayoría de los AAE, por lo cual la sustitución total de la harina de pescado por éstas estaría muy limitada. Sólo los concentrados proteicos podrían sustituir en mayor proporción a la harina de pescado, de forma individual, aunque requerirían la suplementación de algunos AAE, como el concentrado proteico de guisante (CPG) o el turtó de girasol (TG) que son deficiente en metionina y lisina respecto a la harina de pescado.

Otro aspecto a tener en cuenta en toda fuente alternativa a la harina de pescado, aparte de un adecuado contenido proteico y/o perfil aminoacídico, es también la palatabilidad, ya que ésta es la suma de muchas características dietéticas y que además existe una fuerte interacción entre el sabor y la calidad nutricional del alimento (Gatlin *et al.*, 2007). El efecto negativo sobre la palatabilidad de las materias primas se ha observado en doradas alimentadas con harinas y concentrados proteicos vegetales, produciendo un descenso en los índices de crecimiento a medida que se incrementaba la inclusión de estas fuentes vegetales (Gómez-Requeni *et al.*, 2004; Sitjà-Bobadilla *et al.*, 2005).

1.2.2. NECESIDADES LIPÍDICA Y DE ÁCIDOS GRASOS EN LOS PECES MARINOS

Los lípidos son componentes importantes del pienso para los peces, especialmente el aceite de pescado, porque proveen una fuente de energía concentrada que es normalmente bien utilizada, además aporta ácidos grasos esenciales (AGE) y es una fuente muy rica de vitaminas liposolubles (A, D) Halver (2002). Así mismo, los aceites marinos que contienen ácidos grasos altamente insaturados (HUFA) de la series *n*3, tal

como el ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5n3) y el ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6n3), satisfacen las necesidades en AGE a los peces marinos, dada la limitada capacidad de éstos para elongar y desaturar cadenas de ácidos grasos más cortas en comparación con las especies continentales (Turchini *et al.*, 2009). Las necesidades en n3 HUFA generalmente han sido estimadas en un 10 a un 20% de los lípidos del pienso. De igual forma se ha visto que algunas especies marinas también pueden tener una necesidad específica para el ácido araquidónico (ARA, 20:4n6).

Los ácidos grasos poliinsaturados son casi exclusivamente sintetizados por las plantas. Los animales pueden convertir de una forma de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) a otra a través de la elongación y desaturación, pero muy pocos pueden sintetizar de nuevo. Los PUFAS no son primariamente empleados como fuente de energía, de hecho se sugiere que ciertos tipos de PUFAS, en especial el ARA, afectan a la fisiología animal a través de su impacto en la fluidez de la membrana celular y la producción de eicosanoides, los cuales incluyen las prostaglandinas, tromboxanos, leucotrienos, ácidos grasos (AG) hidróxidos y lipoxilenos, los cuales afectan a un amplio rango de procesos fisiológicos como la supervivencia, crecimiento, conversión alimenticia, fecundidad, eclosión de huevos y la tolerancia al estrés osmótico (Brett *et al.*, 1997).

1.2.3. ALTERACIÓN EN LA SUSTITUCIÓN DE HARINA PESCADO EN LA CALIDAD DE CARNE

Si bien el desarrollo de nuevas fuentes proteicas es importante, existe la necesidad de investigar la sustentabilidad de tales productos en las dietas para la acuicultura, poniendo atención no sólo al desempeño en el crecimiento sino también a la calidad del pescado. La composición de ácidos grasos de la dieta influye fuertemente en la composición de ácidos grasos del músculo de pescado (Sargent *et al.*, 2002 y Xue *et al.*, 2006). Estos cambios se pueden encontrar cuando los perfiles de ácidos grasos de la dieta se modifican, a través de un cambio en las fuentes de proteínas o lípidos de la dieta, con los cambios resultantes observados en los perfiles de ácidos grasos del músculo (De Francesco *et al.*, 2004a ; De Francesco *et al.*, 2004b y Xue *et al.*, 2006).

Así pues los efectos de sustitución de harina de pescado en la dieta de peces, sobre todo los ácidos grasos del tejido han recibido menos atención. Aunque las concentraciones de proteínas totales y perfiles de aminoácidos de las proteínas

alternativas son a menudo consideraciones primarias en los estudios de sustitución de harina de pescado, el contenido de grasa total y perfil de ácidos grasos de las fuentes alternativas de proteínas a menudo difieren considerablemente de los de la harina de pescado y requieren consideración. Los lípidos totales de sub productos de aves de corral (PBM) se encuentran en un rango aproximado 11-13% (Yu, 2008) en su mayoría 16: 0, 18: 1 n_9 y 18: 2 n_6 (NRC, 2011). Sin embargo, PBM puede contener otros ácidos grasos, incluyendo n_3 LC-PUFA, dependiendo de la dieta de las aves de corral (NRC, 2011). La torta de soja desengrasada contiene sólo 1.5% de lípidos compuestos un 51% por 18: 2 n_6 , 7% 18: 3 n_3 y n_3 no LC PUFA (NRC, 2011). Los lípidos totales en la harina de pescado oscila entre 7-10% y se caracteriza por tener concentraciones significativas de AGPI-CL n_3 (NRC, 2011). Por lo tanto, la sustitución de harina de pescado con proteínas alternativas, altera la proporción $n_3:n_6$ de la dieta. Estos cambios generalmente resultan en perfiles de ácidos grasos del tejido alterados que pueden afectar el metabolismo y la salud de los peces.

En estudios realizados sobre la sustitución de la harina de pescado con una fuente de proteína animal demostró un efecto significativo en la corvina amarilla (*Pseudosciaena crocea*). En este estudio, los peces alimentados con una dieta en la que se sustituyó el 75% de harina de pescado por harina de carne y huesos los niveles de 18: 1 n_9 fueron superiores y los de 20: 4 n_6 y n_3 PUFA, significativamente inferiores. En general, de acuerdo con los resultados de Valente *et al.* (2011) , se observa un aumento de 18: 2 n_6 y n_6 , mientras que los n_3 disminuyen en el músculo y el hígado, así como en todo el cuerpo, de los peces alimentados con dietas de proteínas animales, comparando con peces alimentados con dietas a base de proteína marina. Así mismo Aoki *et al.* (2000) demostraron que el crecimiento, la eficiencia del alimento y las condiciones fisiológicas no se vieron afectados por la sustitución de la harina y el aceite de pescado en un 50% en dietas experimentales con fuentes alternativas (vegetales y animales) de proteínas y lípidos.

1.3. CALIDAD NUTRICIONAL DE LA CARNE

Los aspectos de la calidad sobre los cuales puede actuar la nutrición pueden resumirse en color, sabor, estructura, textura, estabilidad, olor, apariencia de aceptabilidad y valor nutritivo. Aquellos aspectos de la calidad que influyen nuestros sentidos son conocidos como características organolépticas de un producto. Por tanto la

finalidad de toda producción o crianza de peces es ofrecer un alimento de alto valor nutritivo, especialmente el marino, cuyo contenido en ácidos grasos poliinsaturados (EPA, DHA, ARA) lo ha colocado dentro de los alimentos prioritarios para una buena alimentación humana. Así, la sustitución del aceite y harina de pescado en la alimentación de especies acuícolas ha dado como resultado una modificación inevitable en la composición de los ácidos grasos del filete del pescado, y como consecuencia la pérdida de las características particulares asociadas a la mejora de la salud por el consumo del pescado y los alimentos marinos. Dado que el perfil de ácidos grasos no sólo está influenciado por el alimento, sino la especie, su hábito alimenticio (herbívoro, omnívoro o carnívoro) y su hábitat (continental o marino), por lo que los peces pueden llegar a tener una menor o mayor capacidad de bioconvertir parte de los AG de su alimento en AGE, especialmente HUFAS (Turchini *et al.*, 2009) modificando estos AG en beneficio no sólo del animal, sino del ser humano que es el objetivo de toda producción acuícola.

Si bien la utilización de nuevas fuentes proteicas es importante, existe la necesidad de investigar, la sostenibilidad de tales productos en dietas para acuicultura, poniendo atención no sólo al desempeño en el crecimiento sino que también en la calidad del pescado. La optimización de la calidad del pescado puede ser la vía para mejorar la aceptación del consumidor y dar mayor rentabilidad a los productos de crianza. Por lo cual el valor nutritivo y las propiedades organolépticas son dos características que unidas a la frescura definen la percepción de la calidad de los peces por el consumidor. Las dos primeras son altamente dependientes de la composición química de los peces, que a su vez dependerá de parámetros intrínsecos del animal, factores ambientales y alimentación (Grigorakis, 2007).

Además de los cambios histológicos, alteraciones morfológicas, hipercolesterolemia y anemia, con altas sustituciones de harina de pescado, también se han observado en muchos trabajos cambios en la calidad de carne. La calidad de la carne está definida por las propiedades organolépticas y el valor nutricional como es percibida por el consumidor (Grigorakis, 2007). Un estudio previo demostró que la sustitución total de HP por una mezcla de proteínas vegetales en la trucha arco iris afectó no sólo al crecimiento y la alimentación, sino también a la calidad de la carne, incluyendo la calidad

sensorial y la composición de nutrientes, durante el período de alimentación de 24 semanas (De Francesco *et al.*, 2004a). Sin embargo, Kaushik *et al.*, (1995) no encontraron efectos importantes sobre la calidad de la carne cuando la HP fue completamente sustituida por un concentrado de proteína de soja en la trucha arco iris durante un periodo de alimentación de 12 semanas.

Por tanto, una mezcla de varias fuentes de proteína vegetales y animales podría ser una forma potencial de reemplazar a un mayor nivel de HP en los piensos para peces, y esta estrategia se ha aplicado ya con éxito en varias especies (Zhang *et al.*, 2012).

III. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La continua expansión de la acuicultura y la decreciente disponibilidad mundial de harinas y aceites de pescado, están obligando a la industria a explorar materias primas alternativas para la alimentación de los peces. Actualmente las fuentes vegetales de proteína y lípidos se consideran ingredientes válidos, pero su inclusión en la dieta de los peces puede tener efectos adversos sobre el valor nutritivo del pescado para consumo humano, así como sobre el crecimiento y la salud de los peces, afectando la eficiencia de la producción. Debido a ello, se está realizando la búsqueda de fuentes alternativas y la combinación de varias de ellas, para encontrar niveles óptimos de inclusión en los piensos de las distintas especies y disminuir así la dependencia de la acuicultura a las harinas y aceites de pescado.

En los últimos años, la acuicultura Mediterránea ha mostrado un descenso de precios de venta de la dorada y la lubina, por lo que se busca un aumento del rendimiento económico de sus instalaciones. Una alternativa al aumento del beneficio económico de las piscifactorías es la diversificación de especies. En este sentido, se ha mostrado un gran interés en especies de rápido crecimiento como la *Seriola dumerili*, considerando que este tipo de especies puede mejorar la competitividad de las empresas. Esta es una especie muy prometedora para la acuicultura por la excelente calidad de su carne, su alta demanda y precio de mercado y sobre todo su rápido crecimiento en cautividad. Sin embargo, los estudios nutricionales en *S. dumerili* son escasos y los pocos trabajos sobre el uso de fuentes alternativas en su dieta se centran únicamente en la sustitución de harinas de pescado por una única fuente proteica, como la harina de soja.

Numerosos estudios se han realizado en especies marinas sobre el efecto de crecimiento en la alimentación con dietas con diferentes niveles de harinas vegetales y animales y el efecto sobre la composición nutricional. Sin embargo, las investigaciones en *Seriola dumerili* son escasas. Es por ello que en el presente trabajo se planteó como objetivo: Evaluar el efecto de la inclusión de mezclas vegetales y animales en piensos para *Seriola dumerili* sobre el crecimiento y la composición nutricional de la carne. Los objetivos específicos fueron:

- Evaluar el efecto de la sustitución de la harina de pescado por una mezcla vegetal y animal en dietas para *Seriola dumerili* en el crecimiento y los parámetros de eficiencia nutritiva.
- Evaluar el efecto de la sustitución de la harina de pescado por una mezcla vegetal y animal sobre la composición nutricional de la carne en *Seriola dumerili*.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Diseño experimental

3.1.1. Dietas experimentales

Se diseñaron 3 dietas con el fin de tener una proteína digestible del 50% y una grasa bruta del 14%, en función de los resultados previos de una prueba previa de digestibilidad. La formulación y composición proximal de las dietas experimentales se muestran en la Tabla 2 y 3 la descripción de las dietas se detalla a continuación:

- El pienso FM 100 o pienso control contenía como única fuente proteica y lipídica, harina y aceite de pescado, respectivamente.
- El pienso FM 33, la harina de pescado se sustituyó en un 66% por una mezcla de ingredientes vegetales y animales (gluten de trigo, gluten de maíz, krill desengrasado y harina de carne).
- El pienso FM 66 la harina de pescado fue sustituida en un 33% por una mezcla de ingredientes vegetales y animales (gluten de trigo, gluten de maíz, krill desengrasado y harina de carne).

Tabla 2. Ingredientes y composición proximal de las dietas experimentales (g/kg de muestra).

PIENSO	FM100	FM66	FM33
Ingredientes			
Harina de pescado	525	350	175
Trigo	235	108	43
Gluten de trigo	130	130	140
Gluten de maíz		100	100
Krill desengrasado		120	230
Harina de carne		80	198
Aceite de pescado	90	92	88
Metionina			3
Lisina			3
Complejo vitamínico-mineral	20	20	20
Composición			
MS (%)	93.7	93.5	93.9
PB(%ms)	51.6	56.4	63.9
PD(%ms)	49.5	50	50.2
GB(%ms)	14.3	14.3	14.3
Energía (kJ.g⁻¹)	23.88	24.14	23.65

¹ Vitaminas: A: 10000 UI/kg; D3: 3000 UI/kg; E: 120 mg; k3: 10 mg; B1: 25 mg; B2: 25 mg; B6: 16,5 mg; B12: 0,03 mg; H: 0,76 mg; Ácido Pantoténico: 80 mg; Ácido Nicotínico: 150 mg; Ácido Fólico: 7,5 mg; Inositol: 75 mg.

Se añadieron aminoácidos sintéticos para paliar las posibles deficiencias en las dietas en aminoácidos esenciales (Tabla 3). 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 semi-industrial de la casa Cleextral modelo BC45.

3.1.2. Peces y desarrollo experimental

El experimento se inició el día 18 de agosto de 2014, con seriolas con un peso medio de 500 g, y se prolongó durante 84 días, tras un período de adaptación de un mes, hasta que las seriolas alcanzaron un peso comercial de aproximadamente 1000 g. Un número inicial de 60 seriolas se distribuyeron de manera aleatoria (10 seriolas por tanque) en 6 tanques de hormigón de 4000 litros cada uno.

La alimentación se realizó de manera manual hasta la saciedad aparente, de forma lenta y dosificada para una correcta ingesta, dos veces al día (una por la mañana a las 9:00 y otra por la tarde a las 16:00 h), seis días a la semana, de lunes a sábado. Para evitar que los peces se estresasen y no ingiriesen alimento, 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 físico-químicos de la instalación, aunque oxígeno y temperatura se realizaban diariamente.

Tabla 3. Composición de aminoácidos de las dietas experimentales

DIETAS EXPERIMENTALES			
	FM 100	FM 66	FM 33
<i>AEE (g 100 g⁻¹)</i>			
Arginina	3.06	2.89	3.08
Histidina	1.02	1.14	0.98
Isoleucina	2.24	2.48	2.26
Leucina	3.73	4.78	4.31
Lisina	2.90	2.64	2.68
Metionina	0.96	0.89	0.97
Fenilalanina	2.24	2.44	2.24
Treonina	1.92	1.78	1.71
Valina	2.77	2.90	2.74
<i>AANE (g 100 g⁻¹)</i>			
Alanina	2.60	3.02	2.91
Ác. Aspártico	3.73	4.20	4.16
Cisteína	0.42	0.45	0.41
Ác. Glutámico	9.49	11.73	10.58
Glicina	2.55	2.99	2.93
Prolina	2.80	3.57	3.31
Serina	1.76	1.94	1.87
Tirosina	1.50	1.50	1.50

AAE: Aminoácidos esenciales

AANE: Aminoácidos no esenciales

3.2. Procedimiento

Al inicio y al final de la prueba se sacrificaron 5 peces de cada tanque, para determinar los parámetros biométricos, y la composición corporal inicial y final, y con ello, las retenciones de los diferentes nutrientes.

A. Evaluación Biométrica

Durante el periodo de experimentación cada mes y en ayuno se llevaba a cabo la evaluación de los ejemplares de seriola, midiendo el peso individual (g). Para no causar

estrés y facilitar su manejo, se agregó al agua unas gotas de esencia de clavo como anestésico (30 mg por litro de agua).

Parámetros de crecimiento y eficiencia nutritiva evaluados:

❖ **Tasa de crecimiento instantáneo (TCI), (%/día):**

$$TCI = \frac{\ln \text{Peso final}(g) - \ln \text{Peso inicial}(g)}{\text{Tiempo}(días)} \times 100$$

❖ **Tasa de alimentación diaria (TAD), (%/día):**

$$TAD = \frac{\text{Ingesta total}(g)}{(\text{Biomasa media}(g) \times \text{Tiempo}(días))} \times 100$$

❖ **Coefficiente de eficacia del crecimiento(CEC):**

$$CEC = \frac{\text{Incremento de biomasa}(g)}{\text{Proteína ingerida}(g)} \times 100$$

❖ **Índice de conversión del alimento (ICA):**

$$ICA = \frac{\text{Ingesta total}(g)}{\text{Incremento de biomasa}(g)}$$

B. Biometrías e índices biométricos:

Finalizado el experimento se evaluó la retención de los nutrientes y los índices biométricos, para ello se sacrificaron a los peces en una disolución con agua y sobredosis de esencia de clavo y hielo (>100 ppm). Se tomaron las siguientes medidas, para la obtención de los datos biométricos:

- **Longitud total (cm):** medida desde el extremo de la mandíbula hasta el extremo de los radios de la aleta caudal.
- **Peso total (g):** peso individual de cada pez sacrificado.
- **Peso de la canal (g):** peso individual de cada pez sin contenido visceral.
- **Peso visceral (g):** peso del contenido visceral del pez (hígado, digestivo, grasa visceral, corazón, gónadas y bazo).
- **Peso del hígado (g):** peso del hígado entero y la vesícula biliar.
- **Peso de la cabeza, de las aletas y del raquis:** peso individual de la cabeza, las aletas y del raquis una vez sacrificado al pez.
- **Peso del filete:** peso individual de los lomos de filete de cada pez.

Para el cálculo de los índices biométricos se emplearan las siguientes expresiones:

❖ **Factor de condición (FC):**

$$FC = \frac{\text{Peso total}(g)}{\text{Longitud total}^3(cm)}$$

❖ **Índice viscerosomático (IVS), (%):**

$$IVS = \frac{\text{Peso total vísceras}(g)}{\text{Peso total}(g)} \times 100$$

❖ **Índice hepatosomático (IHS), (%):**

$$IHS = \frac{\text{Peso hígado}(g)}{\text{Peso total}(g)} \times 100$$

❖ **Índice de grasa visceral (IGV), (%):**

$$IGV = \frac{\text{Peso grasa mesentérica}(g)}{\text{Peso total}(g)} \times 100$$

❖ **Índice de la carne (ICAR) (%):**

$$ICAR = \frac{\text{Peso del filete}(g)}{\text{Peso total}(g)} \times 100$$

❖ **Índice de partes no comestibles (IPNC) (%):**

$$IPNC = \frac{\text{Peso aletas}(g) + \text{Peso raquis}(g) + \text{Peso vísceras}(g) + \text{Peso cabeza}(g)}{\text{Peso total}(g)} \times 100$$

❖ **Índice de descabezado (ID) (%):**

$$ID = \frac{\text{Peso total}(g) - \text{Peso cabeza}(g) - \text{Peso vísceras}(g)}{\text{Peso total}(g)} \times 100$$

C. Análisis químicos

Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de la Unidad de Alimentación del Departamento de Ciencia Animal de la Universitat Politècnica de València. Cada análisis se realizó por triplicado. Las muestras se conservaron durante el período de análisis fue en un refrigerador a 4-5°C.

Para el análisis químicos de la composición de las dietas y la composición del pescado, se siguió el procedimiento de la metodología de la AOAC (1900) procedimientos: materia seca (105 °C hasta peso constante), cenizas (combustión a 550

°C hasta peso constante) y el contenido de la proteína mediante el método de Dumas (método 968.06) en un equipo determinador de nitrógeno llamado LECO modelo CN628, utilizándose el factor de conversión de nitrógeno de N x 6.25. Siguiendo el método de Bosch *et al.* (2006), se analizaron los aminoácidos de las diferentes muestras mediante el sistema Waters HPLC (Waters 474; Waters, Milford, MA, EE.UU.) que consiste en dos bombas (Modelo 515; Waters), un muestreador automático (Modelo 717; Waters), un detector de fluorescencia (Modelo 474; Waters) y módulo de control de temperatura. El ácido butírico amino se añadió como un patrón estándar interno antes de la hidrólisis. Los aminoácidos eran derivados con 6-aminoquinolil-Nhidroxysuccinimidyl carbamato (AQC). Se determinaron metionina y cisteína por separado como metionina sulfona y ácido cisteico después de la oxidación con ácido perbórico. Los aminoácidos se separaron con una Columna C-18 de fase inversa (Waters Acc.Tag; 150 mm x 3,9 mm) y fueron luego transformados en metionina y la cisteína. Para determinar el contenido de grasa bruta se siguió el procedimiento de la metodología de la AOCS (método 2) en un extractor de grasa llamado ANKOM XT10. Para la extracción de los ácidos grasos de los lípidos totales se realizó una transmetilación, Christie (1982), y se separaron por cromatografía de gases en las condiciones descritas por Izquierdo *et al.*, (1992).

3.3. Análisis estadístico

Se utilizó la prueba de Newman-Keuls para evaluar las diferencias específicas entre las dietas en el nivel $p = 0,05$ (Statgraphics, Estadística Graphics System, versión Plus 5.1, Herndon, Virginia, EE.UU.). StatGraphics Plus 5.1 (Copyright 1994 -2001, Statistical Graphics Corp.). Para determinar las diferencias estadísticas entre las variables de los diferentes tratamientos, se hizo un análisis de varianza multivariante. Los resultados se expresaron como la media \pm el error estándar de la media, indicándose, el número de observaciones (n).

IV. RESULTADOS

4.1. Parámetros de crecimiento y eficiencia nutritiva, Composición aproximada y eficiencia en la retención

En la siguiente figura 4, se muestra el crecimiento medio de la *S. dumerili* alimentada con piensos con diferentes niveles de harina de pescado. Al inicio del experimento, las seriolas alimentados con la dieta FM 33 fueron las que más peso

presentaban en comparación con las otras dos dietas. Sin embargo, aproximadamente al mes, el crecimiento de los peces alimentados con el tratamiento FM 33 fue menor, hasta el final del experimento, siendo además con esta la dieta con la que los peces presentaron menor supervivencia (Tabla 4).

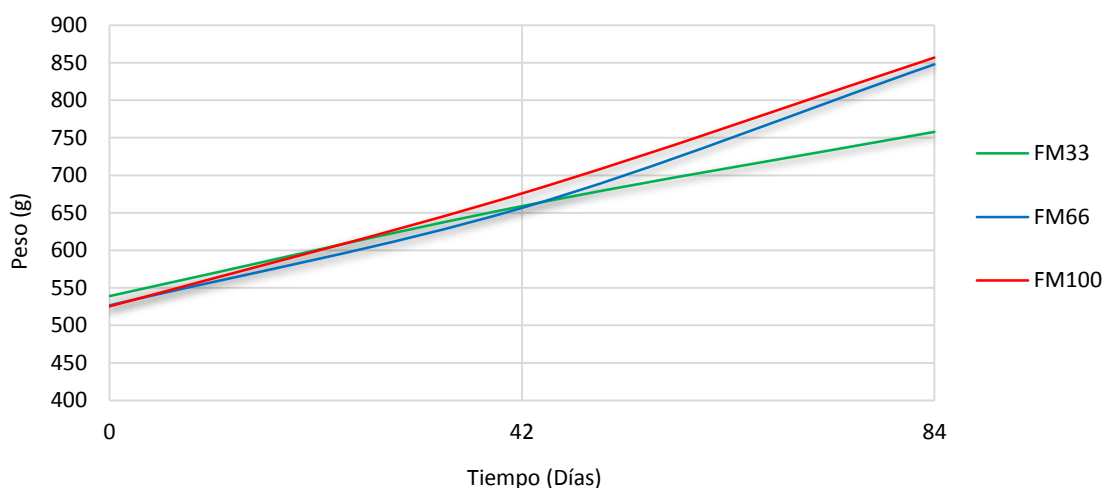


Figura 4. Crecimiento en peso medio de *Seriola dumerili* alimentadas con piensos en los que la harina de pescado se sustituyó por una mezcla de harinas vegetales y animales.

En la Tabla 4, se muestran los parámetros de crecimiento y eficiencia nutritiva en función de las dietas empleadas. Al final del experimento, no se presentaron diferencias estadísticas significativas en el crecimiento. Sin embargo, los peces alimentados con la diete FM 33, presentaron una baja supervivencia (42%), pero sin diferencias significativas con el pienso FM 100. Esta alta mortalidad fue debida a que las seriolas presentaron una infección por *Vibrio sp.*, que afectó con menos intensidad a los peces alimentados con el pienso FM 66.

No se hallaron diferencias estadísticas en el ICA, aunque sí en el CEC, que muestra la baja eficiencia del alimento de los peces alimentados con el pienso FM 33.

Tabla 4. Efecto de la sustitución de la harina de pescado con diferentes niveles de harinas vegetales y animales en los parámetros de crecimiento y eficiencia nutritiva de la *Seriola dumerili*.

	FM100	FM66	FM33	ESM
Peso inicial	539	527	525	11.85
Peso final	850	843	770	47.02
Supervivencia	60 ^b	73 ^a	42 ^b	3.38
TCI	1.12	1.09	0.88	0.13
TAD	1.80	1.65	1.65	0.29
ICA	1.85	1.65	2.70	0.23
CEC	1.30 ^a	1.35 ^a	0.86 ^b	0.05

Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias (n=2), p-value< 0.05. Test de Newman-Keuls

Covariable: Peso inicial (g).

TCI, Tasa de crecimiento instantáneo (% día⁻¹) = 100 x ln (peso final / peso inicial) / días;

ICA, Índice de conversión del alimento = ingesta total del pienso (g) / incremento de la biomasa (g);

TDA, Tasa de Alimentación Diaria (% día) = 100 x ingesta total (g) / biomasa media (g) x día;

CEC, Coeficiente de eficacia de crecimiento (g pez / g proteína ingerida) = Incremento en la biomasa (g) / Proteína ingerida (g);

S, Supervivencia (%) = (Peces finales / Peces iniciales) * 100

En cuanto a la composición del pez entero (Tabla 5), no se hallaron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, los peces alimentados con la dieta FM 33 presentan una menor eficiencia de la retención de la grasa, que con los otros dos tratamientos. En cuanto al VPP, también los peces alimentados con el pienso FM 33 presentaron una menor eficiencia de retención, apoyando los datos obtenidos en el CEC para esta dieta FM 33. Igualmente, los peces alimentados con el pienso FM33 también presentaron una baja eficiencia de retención energética (VPE, 16,51%) en comparación con los alimentados con el pienso FM 100.

Tabla 5. Composición aproximada y eficiencia en la retención (expresado como el porcentaje de peso en húmedo) de las dietas experimentales de la *Seriola dumerili*.

	FM100	FM66	FM33	SEM
Proteína (%)	19,25	19,50	17,35	0,71
Grasa (%)	6,80	6,45	4,35	0,62
Cenizas (%)	2,82	2,90	3,30	0,33
Energía (kJ)	6,34	6,28	5,98	0,19
VPP (%)	26,99 ^{ab}	29,95 ^a	13,35 ^b	3,46
VPG (%)	35,42 ^a	32,16 ^a	2,60 ^b	7,86
VPE (%)	21,09 ^a	17,20 ^b	16,51 ^b	2,82

En los parámetros de la Energía y de las Cenizas todos los tratamientos son n= 4. Para el resto de parámetros n=2. Letras distintas indican diferencias estadísticas entre las medias. Test de Newman-keuls (P-valor < 0.05).

VPP= Valor productivo de proteína (%) = Proteína retenida (proteína del pez final * Biomasa final (g)) *100 – Proteína pez inicial x biomasa inicial (g) / Proteína ingerida (Kg alimento ingerido *% proteína bruta)

VPG= Valor productivo de grasa (%) = Grasa retenida (grasa del pez final * Biomasa final (g)) *100 – grasa del pez inicial x biomasa inicial (g) / Grasa ingerida (Kg alimento ingerido *% grasa bruta)

VPE= Valor Productivo de Energía (%) = Energía retenida (Energía del pez final * Biomasa final (g)) *100 – Energía del pez inicial x biomasa inicial (g) / energía ingerida (Kg alimento ingerido *% proteína bruta)

En la Tabla 6 y Figura 5, se muestra la eficiencia de retención aminoacídica de los peces alimentados con las diferentes dietas. Se puede observar que existe una menor retención respecto a los aminoácidos ingeridos en el tratamiento FM 33 en comparación con las otras dos dietas, especialmente en metionina y fenilalanina. Esto pone de nuevo de manifiesto, la baja eficiencia de retención proteica en los peces alimentados con esta dieta.

Tabla 6. Eficiencia de retención de aminoácidos de los peces alimentados con las 3 dietas experimentales.

Aminoácidos	FM 100	FM 66	FM 33	SEM
AAE (g 100 g⁻¹)				
Arginina	42.44 ^a	37.89 ^a	17.79 ^b	2.82
Histidina	52.68 ^a	44.00 ^a	4.56 ^b	2.38
Isoleucina	17.99 ^a	16.36 ^a	5.99 ^b	2.19
Leucina	18.5 ^a	14.92 ^a	6.24 ^b	1.66
Lisina	46.11 ^{ab}	49.17 ^a	18.71 ^b	6.23
Metionina	31.03 ^a	31.05 ^a	2.17 ^b	2.76
Fenilalanina	13.33 ^a	12.33 ^a	1.78 ^b	1.97
Treonina	48.25 ^a	29.1 ^b	8.58 ^c	12.86
Valina	17.96 ^a	19.47 ^a	6.97 ^b	2.11
AANE (g 100 g⁻¹)				
Alanina	34.96 ^a	28.79 ^{ab}	16.44 ^b	3.42
Ác. Aspártico	39.85 ^a	33.15 ^a	7.03 ^b	1.99
Cisteína	8.83	20.80	14.48	5.64
Ác. Glutámico	22.59 ^a	18.14 ^b	6.73 ^c	0.86
Glicina	36.94	36.23	17.57	5.90
Prolina	26.73 ^a	22.72 ^{ab}	9.36 ^b	3.12
Serina	31.96 ^a	30.51 ^a	2.08 ^b	1.23
Tirosina	30.16 ^a	31.22 ^a	6.38 ^b	1.28

n= 2. Letras distintas indican diferencias estadísticas entre las medias. Test de Newman-keuls (P-valor < 0.05).

AAE: Aminoácidos esenciales

AANE: Aminoácidos no esenciales

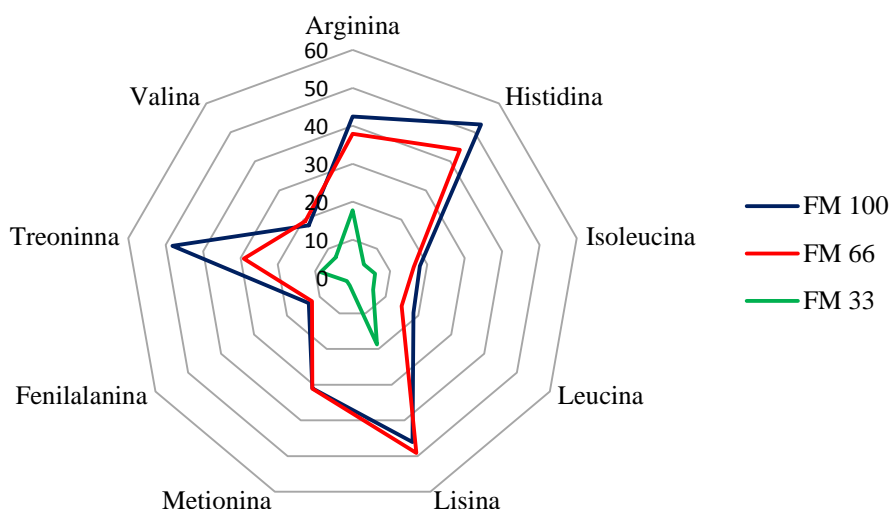


Figura 5. Eficiencia de retención de aminoácidos de los peces alimentados con las tres dietas experimentales.

En la Tabla 7 se presentan los índices biométricos de las *S. dumerili* alimentadas con las dietas en las que la harina de pescado se sustituyó por una mezcla vegetal y animal, se puede observar, que no se han encontrado diferencias significativas ($P < 0.05$) en ninguno de los parámetros biométricos calculados en función de la dieta, a excepción del factor de condición.

Tabla 7. Efecto de la sustitución de la harina de pescado con diferentes niveles de harinas vegetales y animales en parámetros biométricos de la *Seriola dumerili*.

	FM100	FM66	FM33	SEM
FC	1.55 ^a	1.58 ^a	1.38 ^b	0.06
IVS	4.84	5.41	4.83	0.42
IGV	0.09	0.13	0.02	0.05
IHS	0.98	0.92	1.01	0.05
ICAR	46.65	46.61	47.21	1.13
IPNC	50.29	49.58	50.48	0.84
ID	65.21	64.86	64.46	1.27

Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre las medias, p -value < 0.05 ($n=10$). Test de Newman-keuls

FC, Factor de condición (cm) = $\text{Peso total (g)} * 100 / \text{Longitud total}^3$

IVS, Índice viscerosomático (%) = $\text{Peso total vísceras (g)} * 100 / \text{Peso total (g)}$;

IGV, Índice de grasa visceral (%) = $\text{Peso grasa visceral (g)} * 100 / \text{Peso total (g)}$;

IHS, Índice hepatosomático (%) = $\text{Peso hígado (g)} * 100 / \text{Peso total (g)}$;

ICAR, Índice de la carne (%) = $\text{Peso filete o lomo (g)} / \text{Peso total (g)} * 100$;

IPNC, Índice de partes no comestibles (%) = $((\text{Peso aletas (g)} + \text{Peso raquis (g)} + \text{Peso cabeza (g)} + \text{Peso vísceras (g)}) * 100) / \text{Peso total (g)}$;

Las dietas FM 100 (control) y FM 66 fueron las que mayor factor de condición alcanzaron siendo menor la dieta FM 33. El índice viscerosomático, IVS no se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Los valores obtenidos son relativamente bajos si se comparan con otras especies como la dorada (7%), la lubina (10%) y la corvina (9%) de tamaño comercial, son más elevados. El índice

hepatosomático o IHS, no presento diferencia significativa ($P>0.05$) en ninguno de los tratamientos, por tanto no afectan al hígado, vísceras ni a la grasa. Sin embargo, conforme se va sustituyendo porcentajes altos de harina de pescado el hígado tiende ligeramente a tener un peso menor como se observa en el tratamiento FM 33. Por otra parte el índice de grasa visceral (IGV), presenta niveles bajos en general, sobre todo si comparamos con las especies de acuicultura de mayor venta en el mercado español como son la dorada (2.6%), la lubina (5.5%) o la corvina (4%) lo que podría explicarse como un mayor aprovechamiento de la canal de la seriola.

4.2. Composición nutricional de la carne

En la Tabla 8, se muestra el porcentaje en macronutrientes en el filete de las seriolas alimentadas con los diferentes piensos experimentales. Se puede observar que los peces alimentados con el pienso FM 33, presentan un menor contenido en grasa del filete (1.44%), y por lo tanto un mayor contenido de humedad (75.40%) y menor nivel energético (4.76 kJ g^{-1}) que los demás tratamiento.

Tabla 8. Composición aproximada de músculo (expresado como el porcentaje de peso en húmedo) de las tres dietas experimentales de la *Seriola dumerili*.

	FM100	FM66	FM33	SEM
Humedad (%)	71.36 ^b	70.87 ^b	75.40 ^a	1.118
Proteína (%)	19.35 ^b	22.58 ^a	19.35 ^b	0.570
Grasa (%)	5.03 ^a	2.70 ^b	1.44 ^b	0.499
Cenizas (%)	1.65 ^b	1.74 ^b	1.87 ^a	0.035
Energía (kJ/g)	5.69 ^a	5.91 ^a	4.76 ^b	0.125

En los parámetros de humedad y Cenizas todos los tratamientos son n= 4. Para el resto de parámetros n=2. Letras distintas indican diferencias estadísticas entre las medias. Test de Newman-keuls (P -valor < 0.05).

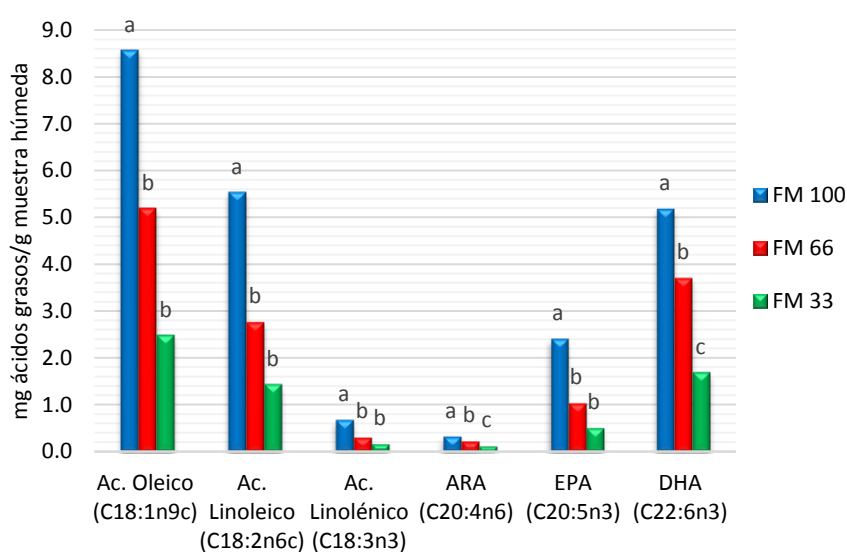
El perfil de ácidos grasos (AG) del músculo de *S. dumerili* se presenta en la Tabla 9, donde se observa en términos generales que el filete de los peces alimentados con la dieta FM 100, presentaron un mayor contenido en ácidos grasos, ya que presentaban un mayor contenido en lípidos (Tabla 8). Sin embargo, la incorporación de los diferentes niveles de ingredientes vegetales y animales en las dietas, mostró cambios significativos ($P<0.05$) de los ácidos grasos saturados totales (SFAs) del músculo entre tratamientos. En los SFAs, el ácido graso más abundante es el ácido palmítico (C16:0), el que presenta una tendencia a disminuir su contenido en el músculo, conforme aumenta el nivel de sustitución de la harinas de fuentes vegetal y animal, siendo significativo el FM 100 respecto a FM 66 y FM 33 ($P<0.05$).

Tabla 9. Composición de lípidos en músculo de *Seriola dumerili* de las diferentes dietas experimentales expresado en mg ácidos grasos/g muestra húmeda.

Ácidos Grasos	FM100	FM66	FM33	ESM
Ácidos Grasos Saturados				
C14:0	1.40 ^a	0.73 ^b	0.38 ^b	0.13
C15:0	0.06	0.08	0.09	0.01
C16:0	6.62 ^a	3.95 ^b	2.23 ^b	0.59
C17:0	0.17 ^a	0.10 ^b	0.04 ^b	0.02
C18:0	2.24 ^a	1.57 ^b	0.95 ^c	0.17
C20:0	0.16 ^a	0.09 ^b	0.05 ^b	0.02
C22:0	0.04 ^a	0.02 ^{ab}	0.02 ^b	0.01
C24:0	0.04 ^a	0.02 ^b	0.02 ^b	0.004
SFAs	10.73^a	6.56^b	3.78^b	0.36
Ácidos Grasos Monoinsaturados				
C14:1	0.14 ^a	0.08 ^b	0.03 ^b	0.02
C16:1	1.95 ^a	0.10 ^b	0.46 ^b	0.16
C17:1	0.09 ^a	0.06 ^b	0.02 ^c	0.01
C18:1n-7	1.37 ^a	0.91 ^b	0.36 ^c	0.14
C18:1n9c	8.57 ^a	5.20 ^b	2.48 ^b	0.84
C20:1	0.53 ^a	0.36 ^{ab}	0.10 ^b	0.08
C22:1n9	0.09 ^a	0.05 ^b	0.02 ^b	0.01
C24:1	0.18 ^a	0.1 ^b	0.07 ^b	0.02
MUFAs	12.92^a	6.86^b	3.54^b	0.48
Ácidos Grasos Poliinsaturados				
C18:2n6c (LA)	5.54 ^a	2.77 ^b	1.44 ^b	0.48
C18:3n3 (LNA)	0.69 ^a	0.31 ^b	0.17 ^b	0.11
C18:3n6	0.05 ^a	0.02 ^b	0.01 ^b	0.003
C20:3n3	0.05 ^a	0.03 ^{ab}	0.01 ^b	0.01
C20:3n6	0.04 ^a	0.02 ^{ab}	0.01 ^b	0.01
C20:4n6 (ARA)	0.33 ^a	0.23 ^b	0.12 ^c	0.02
C20:5n3 (EPA)	2.41 ^a	1.04 ^b	0.51 ^b	0.2
C22:5n3	0.92 ^a	0.54 ^b	0.28 ^c	0.05
C22:4n6	0.14 ^a	0.06 ^b	0.03 ^b	0.01
C20:2	0.42 ^a	0.22 ^b	0.07 ^c	0.04
C22:2	0.21 ^a	0.11 ^b	0.04 ^c	0.017
C22:6n3 (DHA)	5.18 ^a	3.71 ^b	1.69 ^c	0.34
PUFAs	12.92^a	6.86^b	3.54^b	0.47
n-3 HUFA	8.51 ^a	5.29 ^b	2.48 ^c	0.57
n3	9.26 ^a	5.64 ^b	2.67 ^c	0.65
n6	6.10 ^a	3.11 ^b	1.61 ^b	0.5
n3/n6	1.53 ^a	1.85 ^{ab}	1.65 ^b	0.09
EPA/DHA	0.46 ^a	0.28 ^b	0.30 ^b	0.03

Letras distintas indican diferencias estadísticas entre las medias. Test de Newman-keuls (P-valor < 0, 05). n=4
 PUFA= (C18:2n6) + (C18:3n3) + (C20:4n6) + (C22:6n3)
 Ω_3 HUFA= (C22:5n3) + (C20:5n3) + (C22:6n3)

Los ácidos grasos mono-insaturados (MUFAs) y ácidos grasos poli-insaturados (PUFAs) en el músculo de *S. dumerili* mostraron una tendencia a disminuir conforme aumentaba el nivel de incorporación de harina vegetal y animal en las dietas (Tabla 9). Las concentraciones de MUFAs del músculo mostraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre tratamientos. La dieta FM 100 obtuvo el nivel más alto significativamente respecto a los tratamientos FM 66 y FM 33. La concentración total de ácidos poliinsaturados de la serie *n6* en el músculo presentó diferencias significativas ($P<0.05$), siendo la dieta FM 100 significativa mayor que las FM 66 y FM 33, producto de la mayor concentración de los ácidos linoléico (18:2*n6*) y araquidónico (22:4*n6*) en el músculo.



Letras distintas indican diferencias estadísticas entre las medias.

Figura 6. Concentración de algunos ácidos grasos en músculo de *Seriola dumerili*, en las tres dietas experimentales.

La concentración total de ácidos poli-insaturados de la serie *n3* en el músculo mostró diferencias significativas entre los tratamientos. El ácido linolénico (18:3*n3*), osciló entre 0,69 y 0,31 mg / g de muestra húmeda (en la dietas FM 100 y FM 66, respectivamente, con diferencias significativas entre ellos (Figura 6), así mismo la concentración del ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5*n3*), varió entre 2,41, 1,04 y 0,51 mg /g de muestra húmeda en los músculos de los peces FM 100, FM66 y FM 33, respectivamente con diferencia significativas entre los tratamientos. La concentración del ácido docosahexaenoico (DHA; 22:6*n3*) en el músculo mostró diferencias entre todos los tratamientos, siendo el nivel de los filetes del FM 100 significativamente superior ($P<0.05$) al resto de tratamientos.

El aumento de los PUFAs totales del músculo de la serie *n6*, afectó a la relación *n3/n6* ($P>0.05$) la cual fue disminuyendo en cuanto aumentaba la inclusión de ingredientes vegetales y animales (gluten de trigo, gluten de maíz, krill desengrasado y harina de carne) en las dietas. A su vez, la relación EPA/DHA en el músculo, aunque muestra valores semejantes ($P>0.05$) entre los tratamientos FM 100 y FM 66, estos coeficientes fueron significativamente mayores a la dieta FM 33.

V. DISCUSIÓN

Las proteínas alternativas son candidatos importantes para sustituir la harina de pescado especialmente en dietas de especies carnívoras (Opstvedt *et al.*, 2003; Refstie *et al.*, 2001; Carter y Hauler, 2000). No obstante, presentan algunos inconvenientes como que no siempre presentan un alto nivel de proteína, poseen baja palatabilidad, son deficientes en algunos aminoácidos y presentan algunos factores anti-nutricionales (Francis *et al.* 2001). Este estudio ha demostrado que una mezcla de ingredientes vegetales y animales (gluten de trigo, gluten de maíz, krill desengrasado y harina de carne) tiene el potencial como sustituto a un 33% de la harina de pescado en las dietas para *S. dumerili*.

En términos generales los crecimientos obtenidos por los peces alimentados con la sustitución de fuentes vegetales y animales, independientemente de su nivel de inclusión, son similares a los conseguidos por la dieta control (Tabla 4). En el trabajo realizado tras 84 días de experiencia los peces alimentados con pienso seco sustituido a la HP por dieta vegetal y animal al 0%, 33% y 66% ganaron peces promedios de 331 g la dieta FM 100, 316 g la FM 66 y 245 g la FM 33, siendo mayor el crecimiento que el obtenido por García-Gómez (1993) con pienso húmedo, ganando 335 g en 150 días. En otras especies, las sustituciones de harinas de pescado por otras fuentes proteicas alternativas no han obtenido sustituciones totales en la gran mayoría de los casos, sin afectar al crecimiento, parámetros nutritivos o mortalidad, como es el caso de De Francesco *et al.* (2007); Días *et al.* (2009) y Sánchez-Lozano *et al.* (2009) en dorada, que consiguieron los mejores resultados, a partir de mezclas, con inclusiones del 50-75%, con sólo 130-200 g/kg harina de pescado. A pesar de que sí existen ya otros en los que sí se han conseguido el 100% de sustitución (Tomás *et al.*, 2011), ha sido con dietas enriquecidas con un alto porcentaje de aminoácidos sintéticos, lo cual las hace inviables

económicamente, y con una especie como la dorada, con un crecimiento bastante menor que la seriola como ya se ha indicado anteriormente.

A pesar de no haber diferencias en el crecimiento, al hacer una sustitución de harina de pescado al 66% por ingredientes vegetales y animales (dieta FM 33), se produjo una disminución de la eficiencia alimentaria y una alta mortalidad (42%). Una posible causa de esto es la menor disponibilidad de aminoácidos esenciales, lo que deriva en una menor digestibilidad proteica, lo cual se ha visto en los estudios de digestibilidad realizados en paralelo a esta prueba de crecimiento, en los que la dieta FM 33 presentó un 82% de digestibilidad proteica, frente a un 87 y 93% de la dieta FM 100 y FM 66, respectivamente. Las carencias metionina causan reducidos índices de crecimiento, ineficiencia en la conversión y una disminución en la supervivencia Goff y Gatlin (2004). Por esta razón en dietas que contienen altos niveles de proteínas vegetales, la suplementación con metionina y/o lisina es obligatoria a fin de no comprometer los parámetros productivos (Lunger *et al.*, 2007). En el estudio realizado, a la dieta del FM 33 se le incorporaron 3 g/kg de metionina y lisina, aun así la mortalidad fue alta, sin embargo no afectaron los rendimientos productivos como crecimiento, aunque sí a la eficiencia alimentaria.

Esta variación estuvo de acuerdo con los modelos que estima la sustitución máxima harina de pescado que debería ser de 54.86 – 59.02% sin efectos negativos sobre el crecimiento y la salud de los peces (De Francesco *et al.*, 2007; Días *et al.*, 2009 y Sánchez-Lozano *et al.*, 2009). El nivel de inclusión de proteína vegetal que se puede incluir en los piensos para peces, sin efectos negativos, varía dependiendo de la especie y la mezcla de proteínas. Varias especies de peces marinos como el rodaballo (Day y Plascencia, 2000) y la *Seriola lalandi* sólo podían tolerar hasta un 20% concentrado de proteína de soja incluso suplementado con metionina, aunque en este caso no se utilizó una mezcla vegetal y animal, que está mucho más equilibrada. La combinación de las proteínas animales y vegetales empleadas, compensa la deficiencia de aminoácidos que hay individualmente en las fuentes proteicas y por lo tanto asegura el balance aminoácido de las dietas. Sin embargo, mayores sustituciones no parecen recomendables en seriola, como también han observado Watanabe *et al.* (1997) y Aoki *et al.* (1999) con una dieta sin harina de pescado, que provocaba un mal crecimiento y condiciones de salud en la seriola japonesa.

La eficiencia retención de proteínas y aminoácidos esenciales se ha utilizado como un determinante de requerimientos de aminoácidos (Rodehutschord *et al.*, 1997). En el estudio actual, los valores de retención de proteínas se redujeron con la creciente inclusión de ingredientes vegetales y animales (gluten de trigo, gluten de maíz, krill desengrasado y harina de carne). Sin embargo, todo el nivel de proteína corporal no se vio afectada significativamente por la inclusión. La dieta FM 33 en general y para todos los aminoácidos, fue significativamente ($P < 0.05$) inferior en cuanto a eficiencia de retención, y especialmente en metionina que fue el aminoácido menos retenido. Esta baja eficiencia de retención se ha observado en otras especies carnívoras, como la dorada Sánchez - Lozano *et al.* (2010), cuando se añaden aminoácidos sintéticos, ya que es posible que la absorción a través del tracto digestivo sea mucho antes que los aminoácidos que tienen que ser hidrolizados y después absorbidos (De Francesco *et al.*, 2007).

La cantidad y calidad de la proteína dietética no sólo afecta al metabolismo del nitrógeno, sino al metabolismo lipídico y a la acumulación y calidad de los lípidos en los peces (Shimeno *et al.*, 1993a; Resgot *et al.*, 1999; Lupatsch *et al.*, 2003). La proteína dietética se relaciona además con la textura (Johnston *et al.*, 2002) y la susceptibilidad a la oxidación de los lípidos del músculo y por tanto con sus características organolépticas (López-Bote *et al.*, 2001; Lupastch *et al.*, 2003). En el presente trabajo, el total de los niveles de grasa y energía bruta corporales se redujeron con el aumento de inclusión 33% y 66% (Tabla 5). Esta menor eficiencia lipídica de los peces alimentados con dichas dietas puede deberse en parte a ciertos factores antinutritivos que limitan la digestión de la grasa, y por lo tanto su absorción, lo que también deriva en una menor eficiencia energética. Además, el cambio en la eficiencia de la digestión y absorción de los lípidos de la dieta puede haber contribuido a la reducción de toda la grasa corporal total y el nivel de energía bruta. En el estudio actual, el nivel lipídico en el filete disminuyó con la sustitución de harina de pescado en la dieta, demostrando que *Seriola dumerili* es susceptible a los componentes mencionados que alteran la digestión y la absorción de la grasa. Por lo general, la inclusión de proteínas vegetales reduce la digestibilidad lipídica, es especies como el salmón (Storebakken *et al.*, 2000b) y son varias las razones que se atribuyen a esta disminución de la digestibilidad:

- El contenido en celulosa y NSP (polisacáridos no amiláceos) de las fuentes proteicas vegetales (Aslaksen *et al.*, 2007), los estudios lo relacionan

directamente con el contenido de estos compuestos con un efecto negativo en la digestión de los lípidos.

- Por la baja actividad del ALP (fosfatasa alcalina) en salmón, enzima que está involucrado en la absorción lipídica (Zhang *et al.*, 1996), y su actividad suele disminuir en los peces alimentados con altos contenidos en harinas vegetales.
- También puede ser atribuido al menor contenidos de aminoácidos azufrados (cisteína, metionina), que pueden conllevar a una disminución de la taurina, reduciéndose su conjugación con las sales biliares y por lo tanto reduciendo la absorción de lípidos (Krogdahl *et al.*, 2003).

Los análisis de composición corporal indican que existe una relación directa entre la ingesta lipídica y proteica en el almacén de grasa corporal (hecho éste que se pone de manifiesto, así mismo, en el factor de condición), al menos en la parte analizada (músculo), aunque en otras partes se producen acúmulos que pueden ser aún de mayor importancia, como la cabeza y las branquias, como ha sido puesto de manifiesto por Oku y Ogata (2000). La seriola japonesa desarrolla un depósito muscular lipídico, especialmente en el músculo ventral (Shimizu *et al.*, 1973) y muestra una capacidad de deposición lipídica en las vísceras como respuesta a la ingesta lipídica. En el estudio realizado se observa que no existe diferencia significativa en el IVS entre los tratamientos que fluctúa entre 4.83 y 5.41%.

La composición de ácidos grasos en el músculo de *S. dumerili* está directamente relacionada al perfil de ácidos grasos en las respectivas dietas (Bell *et al.*, 2001; Nanton *et al.*, 2007). Las inclusiones de vegetales en las dietas, tienen influencia en la composición del perfil de ácidos grasos del músculo, su elevada proporción de ácidos grasos de la serie n6 podría desequilibrar la relación n3/n6 Robaina (1998). Este coeficiente en el músculo, se ve ligeramente afectado por las dietas en el presente estudio, por la abundancia de PUFA de la serie n3 aportado por el aceite y harina de pescado y en parte compensado por los ingredientes de harina vegetal y animal. Al utilizar otras harinas vegetales, en los que se observa una reducción de la relación n3/n6, producto de un incremento del 18:2n6 como también de un decrecimiento en el porcentaje de n3 PUFA (Gomes *et al.*, 1993), al incrementar la inclusión ingredientes vegetales y animal en las dietas, se advierte una ligera disminución en el porcentaje total de SAFA, estadísticamente significativa (P<0,05). Esto se explica por la reducción del ácido palmítico en las dietas con niveles

más altos de sustitución, resultado coincidente con Gomes *et al.* (1993) al usar una sustitución creciente de colza en dietas para trucha arco iris. No obstante, las principales diferencias en el contenido de ácidos grasos en los filetes de las seriolas han sido debidas a la mayor acumulación de lípidos en el músculo de los peces alimentados con la dieta FM 100, promovida por una mejor digestión y absorción lipídica.

En general, el reemplazo de harina de pescado con proteínas de origen vegetal (ricas en ácidos grasos $n6$) en dietas para *S. dumerili*, tiene como resultado la disminución del nivel de ácidos grasos de cadena larga (eicosapentaenoico, EPA y docosahexaenoico, DHA), como se muestra en la figura 6. Este incremento se debería a una competencia enzimática entre el 18:2 $n6$ y 18:3 $n3$ (Storebakken *et al.*, 2000b) de manera que al existir una alta cantidad de 18:2 $n6$ en la dieta provoca una baja actividad de desaturación para la serie $n3$ y un aumento de los $n6$ PUFA totales en el músculo. En el presente estudio, se observa claramente este hecho respecto de la dieta control FM 100. Los niveles de 20:4 $n6$ variaron entre los tratamientos con diferencias significativas ($P < 0.05$), este comportamiento manifiesta una conversión del 18:2 $n6$ a 20:4 $n6$, producto de la competencia entre los PUFA de la serie $n3$ y $n6$ por las vías de saturación del hígado (Storebakken *et al.*, 2000b, Bell *et al.*, 2001).

Un indicador del sistema inmunológico son los eicosanoides compuestos similares a las hormonas que tienen diversas funciones fisiológicas que afectan la coagulación de la sangre, la respuesta inmune, la respuesta inflamatoria, el ritmo cardiovascular, la función renal, la función neural y la reproducción (Sargent *et al.*, 2002), indican que los PUFA 20: 4 $n6$, 20: 5 $n3$, 20: 3 $n6$ y 20: 4 $n3$ son precursores de los eicosanoides. Por lo tanto, la fuente de proteína y lípidos en la dieta puede afectar a la respuesta inmune de peces (Torstensen y Tocher, 2011). Así mismo elevados producción de eicosanoides desarrollo las histopatologías cardíacas (Bell *et al.*, 1993). Esto podría explicar la alta mortalidad con la dieta FM 33, es decir, que la supervivencia de estos peces fuera menor como consecuencia de que el sistema inmunológico estuviera afectado por la inferioridad de la ingesta de PUFAs respecto a los demás tratamientos.

Los productos de la industria de la acuicultura de alta calidad nutricional, están caracterizados por su abundancia en HUFA de la serie $n3$ y una alta relación $n3/n6$ PUFA. Es por ello que productores y consumidores desean minimizar cualquier efecto

desfavorable, que surge al incluir ingredientes vegetales, en términos de crecimiento y salud de los peces (Bell *et al.*, 2001), además de los efectos benéficos para la salud humana, tales como prevención de enfermedades cardiovasculares (Corraze, 1999). Al utilizar la composición de ácidos grasos, como un indicador de la calidad de la carne para el consumo humano, el uso de ingredientes de harina vegetal y animal hasta un nivel de inclusión de 33% (dieta FM 66), no alteró de forma significativa su calidad nutricional respecto a la dieta control FM 100.

VI. CONCLUSIONES

- La mezcla de proteínas vegetales y animales empleada para sustituir la harina de pescado en dietas para *Seriola dumerili* no presentó diferencias significativas en el crecimiento, pero en cambio hubo un detrimento importante en cuanto a la supervivencia y la eficiencia alimentaria con un 66% de sustitución.
- La eficiencia de retención de aminoácidos de *Seriola dumerili* disminuyó con el aumento de sustitución de harina de vegetales y animal por la harina de pescado, siendo significativamente inferior la dieta del FM 33. En las dietas FM 100 y FM 66 no hubo diferencias significativas.
- En cuanto a la composición del filete, los peces alimentados con la dieta FM 33, presentaron un menor contenido en lípidos. Es por ello, que los ácidos grasos mono-insaturados (MUFAs) ARA, EPA y DHA en el músculo de la *Seriola dumerili* fueron menores.
- Por lo tanto, no se recomiendan sustituciones del 66% de la harina de pescado, durante el periodo de engorde, en la seriola ya que perjudican la supervivencia, la eficiencia nutritiva y la composición nutricional del filete.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aas, T.S., Grisdale–Helland, B., Terjesen, B.F., Helland, S.J., 2006.** Improved growth and nutrient utilisation in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing a bacterial protein meal. *Aquaculture*, 259: 365 – 376.
- AOAC., 1990.** Official Methods of Analysis, 15th end. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA, 1298 pp.
- Aoki, T., Bell, A., Yokoyama, H., Takahashi, M., Maruyama, K., 1999.** Single and nested polymerase chain reaction assays for the detection of *Microsporidium seriolae* (Microspora), the causative agent of Beko disease in yellowtail *Seriola quinqueradiata*. 37(2):127-134.
- Aoki, H., Sanada, Y., Furuichi, M., Kimoto, R., Maita, M., Akimoto, A., Yamagata; Watanabe, T., 2000.** Partial or complete replacement of fish meal by alternate protein sources in diets for yellowtail and red seabream. *Suisanzoshoku*, 48: 53–63.
- Ai, Q.H., Xie, X.J., 2005.** Effects of replacement of fish meal by soybean meal and supplementation of methionine in fish meal/ soybean meal-based diets on growth performance of the Southern catfish *Silurus meridionalis*. *J. World Aquac. Soc.* 36, 498–507.
- Allan, G.L., Rowland, S.J., Mifsud, C., Glendenning, D., Stone, D.A., Ford, A., 2000.** Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: V. Least-cost formulation of practical diets. *Aquaculture*, 186: 327–340.
- Albert, G.J., Metian, T.M., 2008.** Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture* 28, 5146–5158.
- Alcaide, E., Sanjuan, E., De La Gandara, F., Garcia-Gomez, A., 2000.** Susceptibility of Amberjack (*Seriola dumerili*) to bacterial fish pathogens. *Bull.Eur.Ass.Fish Pathol.* 20(3): 153- 156.
- Alexis, M.N., 1997.** Fish meal and fish oil replacers in Mediterranean marine fish diets. In: Tacon, A., Basurco, B. (Eds.), *International Cent. for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, CIHEAM, Zaragoza (Spain). Cah. Options Mediterr., vol. 22, pp. 183 – 204.*
- Alexis, M.N., Nengas, I., 2001.** Current State of Knowledge Concerning the Use of Soy Products in Diets for Feeding Sea Bass and Seabream. *Needs for Future Research Publ. American Soybean Assn., Brussels, Belgium. No. 5, 32 pp.*
- Aslaksen, M.A., Kraugerud, O.F., Penn, M., Svihus, B., Denstadli, V., Jorgensen, H.Y., Hillestad, M., Krogdahl, A., Storebakken, T., 2007.** Screening of nutrient digestibilities and intestinal pathologies in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with legumes oil seeds or cereals. *Aquaculture* 272, 541–555.
- Baeverfjord, G., Krogdahl, Å., 1996.** Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and distal intestine: a comparison with the intestines of fasten fish. *J Fish Dis* 19, 375–387.
- Bell, J.G., Dick, J.R., McVicar, A.H., Sargent, J.R., Thompson, K.D., 1993.** Dietary sunflower, linseed and fish oils affect phospholipid fatty acid composition, development of cardiac lesions, phospholipase activity and eicosanoid production in Atlantic salmon (*Salmo salar*) Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids, 49 (1993), pp. 665–673.
- Bell, J.G., McEvoy, J., Tocher, D.R., McGhee, F., Campbell, P.J., Sargent, J.R., 2001.** Replacement of Fish Oil with Rapeseed Oil in Diets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Affects Tissue Lipid Compositions and Hepatocyte Fatty Acid Metabolism. *J. Nutr.*, 131: 1535-1543.
- Bell, J.G., McGhee, F., Dick, J.R., Tocher, D.R., 2005.** Dioxin and dioxin–like polychlorinated biphenyls (PCBs) in Scottish farmed salmon (*Salmo salar*): effects of replacement of dietary marine fish oil with vegetable oils. *Aquaculture*, 243: 305 – 314.

- Bell, J.G., Waagbø, R., 2008.** Safe and Nutritious Aquaculture Produce: Benefits and Risks of Alternative Sustainable Aquafeeds. In: Aquaculture in the Ecosystem. (Holmer et al. (Eds)). Springer, Bergen, Norway. 185 – 225 pp.
- Berge, G., Baeverfjord, G., Skrede, A., Storebakken, T., 2005.** Bacterial protein growth on natural gas as protein source in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in saltwater. *Aquaculture*, 244: 233 – 240.
- 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.
- Bosch L., Alegria A., Farré R., 2006.** Application of the 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate (AQC), reagent to the RP-HPLC determination of amino acids in infant foods. *Journal of Chromatography B* 831 (1–2): 176–183. DOI: 10.1016/j.jchromb.2005.12.002.
- Bureau, D.P., Harris, A.M., Cho, C.Y., 1999.** Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout. *Aquaculture*, 180: 345–358
- Bureau, D.P., Harris, A.M., Bevan, D.J., Simmons, L.A., Azevedo, P.A., Cho, C.Y., 2000.** Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture* 181, 281–291.
- Brett, M.T., Dörthe, C., Müller–Navarra, T., 1997.** The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic foodweb processes. *Freshwater Biology*, 38: 483 – 499.
- Connolly, A., 2014.** Alltech vice president takes mysticism out of aquafeed production figures. *Glob. Aquacult. Advocate* 17 (2), 10–11.
- Carter, C., Hauler, R., 2000.** Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*, 185:299-311.
- Civa., 2006.** ¿Por qué no se ha desarrollado el cultivo de *Seriola dumerili* en el Mediterráneo? Comunicación técnica revisado 07/08/2015 <http://www.civa2006.org.326-340>.
- Christie, W.W., 1982.** Lipids Analysis. 2nd edn. Pergamon Press, Oxford, p.93.
- Corraze, G., 1999.** Nutrition lipidique. In: Nutrition et alimentation des poissons et crustacés. Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P. & Metailler, R. ed., pp. 147-169. Editions INRA-IFREMER. France.
- Day O.J., Plascencia G.H., 2000.** Soybean protein concentrate as a protein source for turbot *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture Nutrition* 6, 221-228.
- Debnath, D., Pal, A.K., Sahu, N.P., Yengkokpam, S., Baruah, K., Choudhury, D., Venkateshwarlu, G., 2007.** Digestive enzymes and metabolic profile of Labeo rohita fingerlings fed diets with different crude protein levels. *ScienceDirect. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B* 146 (2007) 107–114.
- De Francesco, M., Parisi, G., Médale, F., Lupi, P., Kaushik, S.J., Poli, B.M., 2004a.** Effect of long-term feeding with a plant proteinmixture based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 236, 413–429.
- De Francesco, M., Parisi, G., Perez-Sanchez, J., Gomez-Requeni, P., Medale, F., Kaushik, S.J., Mecatti, M., Poli, B.M., 2004b.** Effect of high-level fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growth and body/fillet quality traits. *Aquaculture Nutrition* 13, 361–372.
- EL-Haroun, E.R., Azevedo, P.A., Bureau, D.P., 2009b.** High dietary incorporation levels of rendered animal protein ingredients on performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972). *Aquaculture* 290, 269–274.
- De Francesco, M., Parisi, G., Perez–Sanchez, J., Gomez–Requeni, P., Medale, F., Kaushik S.J., Mecatti, M., Poli, B.M. 2007.** Effect of high level fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growth and body/fillet quality traits. *Aquaculture Nutrition*, 13: 361 – 372.
- Días, J., Conceição, L., Ramalho Ribeiro, E.C., Borges, A., Valente, L.M.P., Dinis, M.T., 2009.** Practical diet with low fish–derived protein is able to sustain growth performance in gilthead seabream (*Sparus aurata*) during the growth–out phase. *Aquaculture*, 293: 255 – 262.

- El-Sayed, A.F.M., 1998.** Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia. *Aquac. Res.* 29, 275–280.
- FAO., 2002.** The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries Department, Rome. 159 pp.
- Gomes, E.F., Rema, P., Kaushik, S.J., 1995.** Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture* 130, 177 – 186.
- FAO., 2012.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Feeding the growth. Aquaculture Sector: An Analysis. Sixth session of the subcommittee on aquaculture. Committee on Fisheries, Cape Town, South Africa.
- Fisher, W., Bauchot, M.L., Schneider, M., 1987.** Fiche FAO Identification des especes pour les besoins de la peche. (Rev. 1). Mediterranean et Mer Noire (Zone de peche 37). FAO Project GCP/INT/422/EEC, 1529 pp.
- Fisher, W., Bianchi, G., Scott W.B., 1981.** FAO specie identification sheets for fishery purposes. Eastern Central Atlantic fishing area 34, 47 (in part). *Canad. Funds in Trust.* Ottawa, Department of Fisheries and Oceans Canada, FAO of the U.N., 3.
- Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2001.** Antinutritional factors present in plant derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197–227.
- Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gibson Gaylord, T., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, A., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza, E.J., Stone, D., Wilson, R., Wurtele, E., 2007.** Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38: 551 – 579.
- Gatlin, D.M., 2010.** Principles of Fish Nutrition. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication. Department of Wildlife and Fisheries Sciences United States Department of Agriculture. National Institute of Food and Agriculture. Texas – U.S.A. 1 – 7.
- Garcia-Gomez, A., 1993.** Primeras experiencias de crecimiento de juveniles de *Seriola mediterranea* (*Seriola dumerili*, Risso, 1810) alimentados con una dieta semihumeda. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 9 (2), 347–360.
- Garcia-Gomez, A., Diaz, M. V., 1995.** Culture of *Seriola dumerilii*. *Cah.Options Méditerran.* 16: 103- 114.
- Garcia-Gomez, A., 2000.** Recent advances in nutritional aspects of *Seriola dumerili*. *Cah.Options Méditerran.* 47: 249- 257.
- Goda, A.M., El-Haroun, E.R., Kabir, C.M.A., 2007.** Effect of totally or partially replacing fish meal by alternative protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks. *Aquac. Res.* 38, 279–287.
- Goff, J.B., Gatlin, D.M., 2004.** Evaluation of different sulfur amino acid compounds in the diet of red drum, *Sciaenops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine. *Aquaculture*, 241, 465–477.
- Gomes, E.F., Corraze, G., Kaushik, S.J., 1993.** Effects of dietary incorporation of a co-extruded plant protein rapeseed and peas on growth, nutrient utilization and muscle fatty acid composition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 113: 339–353.
- Gomez-Requeni, P., Mingarro, M., Calduch-Giner, J.A., Medale, F., Martin, S.A.M., Houlihan, D.F., Kaushik, S., Perez-Sanchez, J., 2004.** Protein growth performance, amino acid utilisation and somatotrophic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 232: 493 – 510.
- Goto, T., Akiyama, E., Sato, C., Ukawa, M., Takagi, S., 2007.** Dietary taurine supplementation alters hepatic aminotransferase activities in yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed on soybean [Glycine max] protein diet. *Aquaculture Science*, 55 (3): 475-476.
- Grau, A., 1992.** Aspectos histológicos, ciclo reproductor y principales procesos patológicos de *Seriola dumerili*, Risso 1810 (Carangidae). Universitat Autònoma de Barcelona.

- Greco, S., Caridi, D., Cammaroto, S., Genovese, L., 1993.** Preliminary studies on artificial feeding of amberjack fingerlings. In: Barnabe, G., Kestemond, P. (Eds.). Production, Environment and Quality. Bordeaux Aquaculture 1992. EAS, Special publication Ghent, Belgium 1993, 18, 247–254.
- Grigorakis, K., 2007.** Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review. Aquaculture 272, 55–75.
- Hardy, R. W., 1994.** Recent advances in aquaculture IV. Aquaculture, 123:173-174.
- Hardy, R.W., 1996.** Alternative protein sources for salmon and trout diets. Anim. Feed Sci. Technol. 59, 71–80.
- Hardy, R. W., 2006.** Worldwide fish meal production outlook and the use of alternative protein meals for aquaculture. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suarez y otros. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. pp. 410-419.
- Hardy, R.W., 2010.** Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal Aquaculture Research, 41 pp. 770–776.
- Hansen, J.Ø., Penn, M., Øverland, M., Shearer, D., Krogdahl, Å, Mydland, L.T., Storebakken, T., 2010.** High inclusion of partially deshelled and whole krill meals in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 310: 164 – 172.
- Halver, J.E., 2002.** The Vitamins. In: Fish Nutrition. (Eds: J.E. Halver y R.W. Hardy) 3er Edition. Academic Press. Elsevier Science Imprint. Amsterdam – Boston – London – New York – Oxford – Paris – San Diego – San Francisco – Singapore – Sydney – Tokyo. 810pp.
- Hosokawa, H., Kurohara, K., Masumoto, T., Shimeno, S., Sakamoto, R., 2001b.** Inclusion of combined alternative protein sources to yellowtail diet and amino acid supplementation. Suisanzoshoku, 49: 383–388.
- Ikenoue, H., Kafuku, T., 1992.** Yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). En Developments in Aquaculture & Fisheries Science. (24). 131 - 143.
- Izquierdo, M.S., Arakawa, T., Takeuchi, T., Haroun, R., Watanabe, T., 1992.** Effect of n–3 HUFA levels in Artemia on growth of larval japanese flounder (*Paralichthys olivaceous*). Aquaculture 105, 73–82.
- Johnston, I.A., Manthri, S., Alderson, R., Campbell, P., Mitchell, D., Whyte, D., Dingwall, A., Nickell, D., Selkirk, C., Robertson, B., 2002.** Effects of dietary protein level on muscle cellularity and flesh quality in Atlantic salmon with particular reference to gaping. Aquaculture 210: 259-283.
- Jover, M., Garcia-Gomez, A., Tomas, A., De La Gandara, F., Perez, L., 1999.** Growth of mediterranean yellowtail (*Seriola dumerilii*) 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.
- Knudsen, D., Uran, P., Arnous, A., Koppe, W., Frøkiaer, H., 2007.** Saponin-containing subfractions of soybean molasses induce enteritis in the distal intestine of Atlantic salmon. J. Agric. Food Chem. 55, 2261–2267.
- Krogdahl, Å., Bakke-McKellep, A.M., Baeverfjord, G., 2003.** Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquacult. Nutr. 9, 361–371.
- Kureshy, N., Davis, D.A., Aronld, C.D., 2000.** Partial replacement of fish meal with meat-and-bone meal, flash-dried poultry by product meal, enzyme digested poultry by-product meal in practical diets for juvenile red drum. N. Am. J. Aquac. 62, 266–272.

- Lazzari, A., Fusari, A., Boglione, C., Marino, G. y De Francesco, M., 2000.** Recent advances in reproductional and rearing aspects of *Seriola dumerilii*. Cah. Options Méditerran. 47: 241- 247.
- Lee, K., Powell, M., Barrows, F., Smiley, S., Bechtel, P., Hardy, R., 2010.** Evaluation of supplemental fish bone meal made from Alaska seafood processing by product and dicalcium phosphate in plant protein based diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 302: 248 – 255.
- Lhoste, E.F., Fiszlewicz, M., Gueugneau, A.M., Tranchant, T., Corring, T., 1994.** Early adaptation of pancreas to a protein-enriched diet: role of cholecystokinin and gastrinreleasing peptide. Pancreas 9, 624-632.
- López-Bote, C.J., Diez, A., Corraze, G., Arzel, J., Alvarez, M., Dias, J., Kaushik, S.J., Bautista, J.M., 2001.** Dietary protein source affects the susceptibility to lipid peroxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle. Animal Science 73 (3):443-449.
- Lunger, Angela N., McLean, E., Gaylord, T.G., Kuhn, D., Craig, S.R., 2007.** Taurine supplementation to alternative dietary proteins used in fish meal replacement enhances growth of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). Aquaculture, 271: 401–410.
- Lupatsch, I., Kissil, WM. G. and Salan, D., 2003.** Comparisson of energy and protein efficiency among three fish species gilthead sea bream (*Sparus aurata*); European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and white grouper (*Epinephelus aeneus*): energy expenditure for protein and lipid deposition. Aquaculture 225: 175-189
- Maita, M., Aoki, H., Yamagata, Y., Watanabe, K., Satoh, S., Watanabe, T., 1997.** Green liver observed in yellowtail fed non-fish meal diet. Nippon Suisan Gakkaishi, 63: 400–401 (in Japanese).
- Maita, M., Aoki, H., Yamagata, Y., Satoh, S., Okamoto, N., Watanabe, T., 1998.** Plasma biochemistry and disease resistance in yellowtail fed a non-fish meal diet. Fish Pathol., 33.
- Masuma, S., Kanematu, M., Teruya, K., 1990.** Embryonic and morphological development of larvae and juveniles of the amberjack, *Seriola dumerili*. Jap. Journal of Ichthyology. 37: 164- 169.
- Marino, G., Porrello, S., Andaloro, F., Massari, A., Mandich, A., 1995b.** Aspects of reproductive biology of Mediterranean amberjack (*Seriola dumerilii* Risso, 1810): Gonadal development. Cah.Options Méditerran. 16: 115- 124.
- Martínez-Llorens, S., Tomás, A., Moñino, A., Gómez, J., Pla, M., Jover, M., 2008.** Blood and haemoglobin meal as protein sources in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) Effects on growth, nutritive efficiency and fillet sensory differences. Aquaculture Research, 39: 1028 – 1037.
- Marcouli, P.A., Alexis, M.N., Andriopoulou, A., Iliopoulou-Georgudaki, J., 2004.** Development of a reference diet for use in indispensable amino acid requirement studies of gilthead seabream *Sparus aurata* L. Aquaculture Nutrition, 10: 335 – 343.
- Mazzola, A., Sara, G., Favaloro, E., Mirto, S., 1996.** Sistemi di maricoltura open-sea per l’allevamento di *Seriola dumerili* (Pisces, Osteichthyes) nel Golfo di Castellammare (Sicilia Occidentale). Biol. Mar. Medit. 3 (1), 176–185.
- Mente, E., Degura, S., Santos, M.G., Houlihan, D., 2003.** White muscle free amino acid concentrations following feeding a maize gluten dietary protein in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture 225, 133–147.
- Miranda, I.T., Peet, C., 2008.** Seafood report: farmed yellowtail (*Seriola* spp.). Monterey Bay Aquarium Monterey Bay, California.
- Montero, F. E., Garcia-Gomez, A., De La Gandara, F., Raga, J. A., 2001a.** Parásitos del cultivo de la lecha (*Seriola dumerili*) en el Mediterráneo Español. Monografías del Instituto Canario de Ciencias Marinas. 4: 513- 518.
- Morán, 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.

- Muraccioli, P., De La Gandara, F., Garcia-Gomez, A., 2000.** Intensive farming potential of *Seriola dumerili* (Risso 1810) in Corsica. *Cah.Options Méditerran.* 47: 267- 273.
- Nakada, M., 2002.** Yellowtail culture development and solutions for the future. *Reviews in Fisheries Science.* 10 (3-4): 559- 575.
- Nanton, D., A., Vegusdal, A., Maria, A., Ruyter, B., Baeverfjord, G., Bente 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.
- New, M.B., Wijkstrom, U.N., 2002.** Use of fish meal and fish oil in aquafeeds: further thoughts on the fish meal trap. *FAO Fish. Circ.* 975. Rome, 61 pp.
- NRC (National Research Council), 2011.** Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington, D.C.
- Oku, H., Ogata, H. Y., 2000.** Body lipid deposition in juvenile of red sea bream *Pagrus major*, yellowtail *Seriola quinqueradiata*, and japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fisheries Science.* 66: 25- 31.
- Oliva-Teles, A., Gonçalves, P., 2001.** Partial replacement of fishmeal by brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in diets for sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 202: 269 – 278.
- Opstvedt, J., Aksnes, A., Hope, B., Pike, I.H., 2003.** Efficiency of feed utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins. *Aquaculture*, 221(1-4):365-379.
- Ozorio, R.O.A., Turini, B.G.S., Môro, G.V., Oliverira, L.S.T., Portz, L., Cyrino, J.E.P., 2010.** Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacú (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewers yeast (*Sccharomyces cerevisiae*) levels. *Aquaculture Nutrition*, 16: 276 –283.
- Porrello, S., Andaloro, F., Vivona, P., Marino, G., 1993.** Rearing trial of *Seriola dumerili* in a floating cage. In: Barnabe, G., Kestemont, P. (Eds.), *Production, Environment and Quality*. Bordeaux Aquaculture 1992. EAS, Special publication Ghent, Belgium 1993, 18, 299–307.
- Refstie, S., Korsøen, Ø.J., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Lein, I., Roem, A.J., 2000.** Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 190, 49–63.
- Refstie, S., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Roem, A.J., 2001.** Longterm protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture* 193, 91–106.
- Regost, C., Arzel, J., Kaushik, S.J., 1999.** Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 180: 99-117.
- Rigos, G., Pavlidis, M., Divanach, P., 2001.** Host susceptibility to *Cryptocaryon* sp infection of Mediterranean marine broodfish held under intensive culture conditions: a case report. *Bull.Eur.Ass.Fish Pathol.* 21(1): 33- 36.
- Robaina, L., Moyano, F.J., Izquierdo, M.S., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D., 1997.** Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutrition and histological implications. *Aquaculture* 157, 347–359.
- Robaina, L., Izquierdo, M.S., Moyano, F.J., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D., 1998.** Increase of the dietary n-3/n-6 fatty acid ratio and addition of phosphorus improves liver histological alterations induced by feeding diets containing soybean meal to gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture* 161, 281–293.
- Rodehutscord, M., Becker, A., Pack, M., Pfeffer, E., 1997.** Response of rainbow trout *Ž. Oncorhynchus mykiss* to supplements of individual essential amino acids in a semipurified diet, including an estimate of the maintenance requirement for essential amino acids. *J. Nutr.* 127, 1166–1175.
- Sánchez-Lozano, N.B., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover Cerdá, M., 2009.** Effect of highlevel fish meal replacement by pea and rice concentrated protein on growth, nutrient utilization and fillet quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*, L.) *Aquaculture*, 298: 83 – 89.

- Sánchez-Lozano N.B., Martínez-Llorens S., Tomás-Vidal A. & Jover Cerdá M., 2010.** Amino acid retention of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed with pea protein concentrate. *Aquaculture Nutrition* 17, 604 – 614.
- Sargent, J., Tocher, D.R., Bell, J.G., 2002.** The lipids, In: Halver, J.E. (Ed.), *Fish Nutrition*, 2nd ed. Academic Press, London, pp. 181–257.
- Shimeno, S., Hosokawa, H., Fujita, T., Mima, T., Ueno, S., 1993a.** Sparing of fish meal by inclusion of combinations of several protein sources in yellowtail diet. *Suisanzoshoku*, 41: 135–140 (in Japanese, with English abstract).
- Shimeno, S., Masumoto, T., Hujita, T.; Mima, T., Ueno, S., 1993c.** Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59: 137–143 (in Japanese, with English abstract).
- Shimeno, S., Mima, T., Kinoshita, H., Kishi, S., 1994.** Inclusion of malt protein flour to diet for fingerling yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 60: 521–525 (in Japanese, with English abstract).
- Shimeno, S., Matsumoto, M., Hosokawa, H., Masumoto, T., Ukawa, M., 2000.** Inclusion of poultry feather meal in diet for fingerling yellowtail. *Suisanzoshoku*, 48: 99–104 (in Japanese, with English abstract).
- Shimizu, Y., Tada, M., Endo, K., 1973.** Seasonal variations in chemical constituents of yellowtail muscle. I. Water, lipid, and crude protein. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 39: 993- 999.
- Sitja-Bobadilla, A., Pena-Llopis, S., Gomez-Requeni, P., Medale, F., Kaushik, S., Perez-Sanchez, J., 2005.** Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defense mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 249, 387–400.
- Song, Z., Li, H., Wang, J., Li, P., Sun, Y., Zhang, L., 2014.** Effects of fishmeal replacement with soy protein hydrolysates on growth performance, blood biochemistry, gastrointestinal digestion and muscle composition of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture* 426–427, 96–104
- Soler-Vila, A., Coughlan, S., Guiry, M.D., Kraan, S., 2009.** The red alga *Porphyra dioica* as a fish-feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effects on growth, feed efficiency, and carcass composition. *Journal of Applied Phycology*, 21: 617 – 624.
- Suontama, J., Karlsen, O., Moren, M., Hemre, G., Melle, W., Langmyhr, E., Mundheim, H., Ringoe, E., Olsen, R.E., 2007.** Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed diets supplemented with krill or amphipods. *Aquaculture Nutrition*, 13: 241 – 255.
- Storebakken, T., Refstie, S., Ruyter, B., 2000b.** Soy products as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture. In Drackley, J.K. (Ed.), *Soy in Animal Nutrition*. Federation of Animal Science Societies, pp.127-170.
- Storebakken, T., Baeverfjord, G., Skrede, A., Olli, J.J., Berge, G.M., 2004.** Bacterial protein grown on natural gas in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in freshwater. *Aquaculture*, 241: 413 – 425.
- Stone, D.A.J., Gaylord, G.T., Johanse, K., Overturf, K., Sealey, W.M., Hardy, R.W., 2008.** Evaluation of the effects of repeated fecal collection by manual stripping on the plasma cortisol levels, TNF- α gene expression, and digestibility and availability of nutrients from hydrolyzed poultry and egg meal by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture*, 275: 250 – 259.
- Tachihara, K., Ebisu, R., Tukashima, Y., 1993.** Spawning, eggs, larvae and juvenile of the purplish amberjack *Seriola dumerili*. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 59(9): 1479- 1488.
- Tacon, G., Metian, M., 2008.** Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture*, 285 (2008), pp. 146–158.
- Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Endo, M., Yamashita, H., Ukawa, M., 2008.** Taurine is an essential nutrient for yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed non-fish meal diets based on soy protein concentrate. *Aquaculture*, 280: 198-205.

- Takakuwa, F., Fukada, H., Hosokawa, H., Masumoto, T., 2006.** Optimum digestible protein and energy levels and ratio for greater amberjack *Seriola dumerili* fingerling. *Aquaculture Research*, 37: 1532–1539.
- Tibaldi, E., Kaushik, S.J., 2003.** Aminoacids requirements of Mediterranean fish species. *Cahiers Options Méditerranéennes*. Vol. 63.
- Tomás, A., De La Gándara, F., García-Gómez, 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.
- Tomás, A., De La Gándara, F., García-Gómez, A., Pérez, L., Jover, M., 2008.** Effect of the protein/energy ratio on the growth of Mediterranean yellowtail (*Seriola dumerili*). *Aquaculture Research*, 39: 1141–1148.
- Tomás, A., Martínez-Llorens, S., Jesus-Moriñigo, J.V., Planas, B., M. Jover., 2011.** ¿Piensos sin harina de pescado? Sí es posible. Libro Resúmenes XIII CNA. Castelldefels.
- Torstensen, B.E., Tocher, D.R., 2011.** The effects of fish oil replacement on lipid metabolism of fish. In: Turchini, G.M., Ng, W.-K., Tocher, D.R. (Eds.), *Fish Oil Replacement and Alternative Lipid Sources in Aquaculture Feeds*. Taylor & Francis, CRC Press, Boca Raton, pp. 405–437.
- Turchini, G.M., Torstensen, B.E., Ng, W-K., 2009.** Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 1: 10 – 57.
- Valente, L.M.P., Linares, F., Villanueva, J.L.R., Silva, J.M.G., Espe, M., Escórcio, C., Pires, M.A., Saavedra, M.J., Borges, P., Medale, F., Álvarez-Blázquez, B., Peleteiro, J.B., 2011.** Dietary protein source or energy levels have no major impact on growth performance, nutrient utilisation or flesh fatty acids composition of market-sized *Senegalese sole*. *Aquaculture* 318, 128–137.
- Viyakarn, V., Watanabe, T., Aoki, H., Tsuda, H., Sakamoto, H., Okamoto, N., Iso, N., Satoh, S., Takeuchi, T., 1992.** Use of soybean meal as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58: 1991–2000.
- Watanabe, T., Aoki, H., Viyakarn, V., Maita, M., Yamagata, Y., Satoh, S., Takeuchi, T., 1995.** Combined use of alternative protein sources as a partial replacement for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Suisanzoshoku*, 43: 511–520 (in Japanese, with English abstract).
- Watanabe, T., V. Kiron, and S. Satoh., 1997.** Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture* 151: 185–207.
- 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.
- Willams, K.C., Barlow, C.G., 1996.** Nutritional research in Australia to improve pelleted diets for grow-out barramundi. In: Kongkeo, H., Cabanban, A.S. (Eds.), *Aquaculture of Coral Fishes and Sustainable Reef Fisheries*. NACA and Pacific, Bangkok, Thailand.
- Wilson, R.P., 2002.** *Amino Acids and Proteins*. (Eds: J.E. Halver y R.W. Hardy) 3er Edition. Academic Press. Elsevier Science Imprint. Amsterdam – Boston – London – New York – Oxford – Paris – San Diego – San Francisco – Singapore – Sydney – Tokyo. 810pp.
- Xue, M., Luo, L., Wu, X.F., Ren, Z.L., Gao, P., Yu, Y., Pearl, G., 2006.** Effects of six alternative lipid sources on growth and tissue fatty acid composition in Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*). *Aquaculture* 260, 206–214.
- Yang, Y.H., Wang, Y.Y., Lu, Y., Li, Q.Z., 2011.** Effect of replacing fishmeal with soybean meal on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus excretion on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquac. Int.* 19 (3), 405–419.

- Yoshitomi, B., Aoki, M., Oshima, S., Hata, K., 2006.** Evaluation of krill (*Euphausia superba*) meal as a partial replacement for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture*, 261: 440 – 446.
- Yu, Y., 2008.** Replacement of fish meal with poultry by-product meal and hydrolyzed feather meal in feeds for finfish. In: Lim, C., Webster, C.D., Lee, C.S. (Eds.), *Alternative Protein Sources in Aquaculture Diets*. The Haworth Press, Taylor and Francis Group, New York, USA, pp. 51–93.
- Zhang, Y.X., Øverland, M., Shearer, K.D., Sørensen, M., Mydland, L.T., Storebakken, T., 2012.** Optimizing plant protein combinations in fish meal-free diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by a mixture model. *Aquaculture* 360–361, 25–26.
- Zhang, Y., Shao, J.S., Xie, Q.M. & Alpers, D.H., 1996.** Immunolocalization of alkaline phosphatase and surfactant-like particle proteins in rat duodenum during fat absorption. *Gastroenterol.*, 110, 478–488.

PÁGINA WEB

- Fotografía y distribución geográfica de *Seriola dumerili*: <http://www.fishbase.org/summary/1005>. Accedido el 25 de julio del 2015.
- Datos de producción de *Seriola dumerili* : <http://www.futunablue.com/paginas/lenguado.html>. Accedido 20 de agosto del 2015.
- El estado de los recursos pesqueros: <http://www.fao.org/docrep/005/y7300s/y7300s04.htm>. Accedido el 02 de julio del 2015.