



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE HARINA DE PESCADO POR
UNA MEZCLA DE TURTÓ DE SOJA Y GLUTEN DE TRIGO EN
PIENSOS PARA TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

AUTORA:

ESTER JERUSALÉN LLEÓ

DIRECTORAS:

ANA TOMÁS VIDAL

SILVIA MARTÍNEZ LLORENS

SEPTIEMBRE 2017

RESUMEN

Con las previsiones del incremento de población para las próximas décadas, el sector de la acuicultura se hace necesario para contribuir al aporte de proteína de la población, ya que la mayor parte de los caladeros están actualmente sobreexplotados. La optimización en el manejo de la alimentación y la formulación de piensos para acuicultura se presentan como una de las soluciones más importantes para disminuir costes de producción en este sector. Originalmente los piensos acuícolas se formulaban en base a harinas y aceites de pescado obtenidos de la pesca extractiva, pero hoy en día éstos son recursos limitados e insostenibles, tanto desde un punto de vista ambiental, como económico.

El objetivo de este estudio será evaluar el crecimiento y los parámetros nutricionales de la trucha arco iris alimentada con diferentes piensos con altas sustituciones de harina de pescado por una mezcla de harinas vegetales, formada principalmente por turtó de soja y gluten de trigo.

Se emplearon grupos de 40 animales, con un peso medio inicial de 14g, ensayando cada pienso por triplicado. El experimento duró 78 días. La supervivencia media fue más del 50%.

Los resultados muestran de forma significativa ($p < 0,05$) que a mayores niveles de sustitución peores resultados de peso final, de tasa de crecimiento instantáneo (TCI), de índice de conversión del alimento (ICA) y del coeficiente de eficiencia del crecimiento (CEC). Mayores niveles de sustitución aumentan de forma significativa el índice viscerosomático (IVS) y el índice hepatosomático (IHS) y las eficiencias de retención fueron menores a menor cantidad de harinas de pescado en los piensos.

PALABRAS CLAVE

Trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*, harina de pescado, turtó de soja, gluten de trigo, acuicultura.

ABSTRACT

Based on projected population growth over the next few decades, the aquaculture sector has become necessary in order to provide for the population's protein requirements, since most of the fishing grounds are currently overexploited. The optimization of food management and the formulation of feeds in the aquaculture sector are one of the most important solutions in order to reduce the production cost in this sector. Originally, aquaculture feed was formulated based on fishmeal and fish oils obtained from commercial fishing, which is actually a limited and unsustainable resource, from an environment as well as from an economical point of view.

The objective of this study is to evaluate the growth and nutritional parameters of the rainbow trout, supplied with different feed, with a high substitution of fishmeal, for a mixture of vegetable meals, made up mainly of soybean press cake and wheat gluten.

Animals in groups of 40 and with an average starting weight of 14g were used. Every feed was tested three times. The experiment lasted 78 days. The average survival rate was slightly higher than 50% due to the high temperature.

The results show significantly ($p < 0.05$) that the higher the substitution levels, the worse the results in final weight, the instantaneous growth rate, the feed conversion index and the coefficient of growth efficiency. The higher substitution levels increase significantly the results of the viscerosomatic index and the hepatosomatic index. The results of the efficiencies retentions were lower than the least amount of fishmeal in the feed.

KEY WORDS

Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fishmeal, soybean press cake, wheat gluten, aquaculture.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Importancia del pescado en la dieta.....	1
1.2. El sector de la acuicultura.....	1
1.3. Importancia de la trucha arcoíris en el sector acuícola.....	2
1.4. Descripción de la trucha arcoíris.....	3
1.5. La alimentación en la acuicultura.....	4
1.6. Piensos alternativos en acuicultura.....	4
1.7. Fuentes proteicas en truchas.....	5
1.8. Problemas en la inclusión de materias primas vegetales en piensos acuícolas.....	5
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	7
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	8
3.1. Descripción de la instalación.....	8
3.2. Diseño del experimento.....	8
3.2.1. Condiciones de los animales.....	8
3.2.2. Piensos empleados.....	9
3.3. Metodología de trabajo.....	12
3.3.1. Control de la instalación y la calidad del agua.....	12
3.3.2. Control del crecimiento de los animales.....	12
3.3.3. Biometrías e índices biométricos.....	13

3.4.	Análisis químicos.....	14
3.4.1.	Materia seca.....	14
3.4.2.	Cenizas.....	15
3.4.3.	Proteína bruta.....	15
3.4.4.	Grasa bruta.....	16
3.5.	Análisis estadístico.....	16
4.	RESULTADOS.....	17
5.	DISCUSIÓN.....	21
6.	CONCLUSIONES.....	23
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	10
Tabla 2.....	10
Tabla 3.....	11
Tabla 4.....	12
Tabla 5.....	18
Tabla 6.....	19
Tabla 7.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	2
Figura 2.....	3
Figura 3.....	1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia del pescado en la dieta

El pescado es uno de los alimentos básicos de la dieta mediterránea, en la cual su consumo aporta calidad, por lo que numerosos especialistas recomiendan añadirlo con frecuencia en la dieta. Los pescados se caracterizan por su bajo contenido calórico, por ser una fuente de proteínas de alto valor biológico y además por aportar minerales (como calcio, yodo, zinc, hierro y selenio) y vitaminas (D, A y B). A su vez, numerosas especies son ricas en ácidos grasos poliinsaturados omega-3, los cuales se sabe que son beneficiosos en la protección frente a cardiopatías coronarias. Además ayudan al correcto desarrollo del cerebro y el sistema nervioso en embriones y niños (Marín et al. 2005; FAO, 2016).

En relación a lo explicado con anterioridad se considera al pescado como un alimento de alta calidad nutricional y fácil digestión. Su valor nutritivo y calidad varían en función de la especie, la edad, el medio en el que viven, el tipo de alimentación, etc (Marín et al. 2005).

Las proteínas que aporta el pescado son de alta calidad ya que proporcionan todos los aminoácidos esenciales para los humanos, con menos grasa en comparación con otras carnes, por lo que también se recomienda su consumo para corregir dietas desequilibradas y paliar la obesidad (Marín et al. 2005; FAO, 2016).

1.2. El sector de la acuicultura

Se conoce que las dos formas de obtención de esta materia prima, el pescado, son la pesca extractiva y la acuicultura. Según el análisis mundial del estado de la pesca y la acuicultura del 2016, la situación de los recursos pesqueros es negativa, ya que muchas de las poblaciones de peces se están explotando de forma insostenible, siendo imposible aumentar la producción de éstas a través de la pesca extractiva, por lo que a raíz del aumento de demanda de estas especies es necesario optar por otras fuentes de obtención más sostenibles, como es la acuicultura (FAO, 2016).

La acuicultura es “la producción en el agua de animales y plantas mediante técnicas encaminadas a hacer más eficiente su rendimiento”(APROMAR, 2017). Actualmente, a partir del 2015 la producción mundial de la acuicultura superó a la de la pesca, como se puede apreciar en la figura 1, la cual muestra la evolución de la producción de acuicultura y pesca mundial entre 1950 y 2015 (APROMAR, 2017).

Uno de los grandes desafíos a los que se enfrenta la humanidad en las próximas décadas es alimentar a la población del planeta teniendo en cuenta la limitada disponibilidad de los recursos y la sostenibilidad de éstos, la cual se prevé que aumentará a 9.600 millones de personas para el 2050 (APROMAR, 2017).

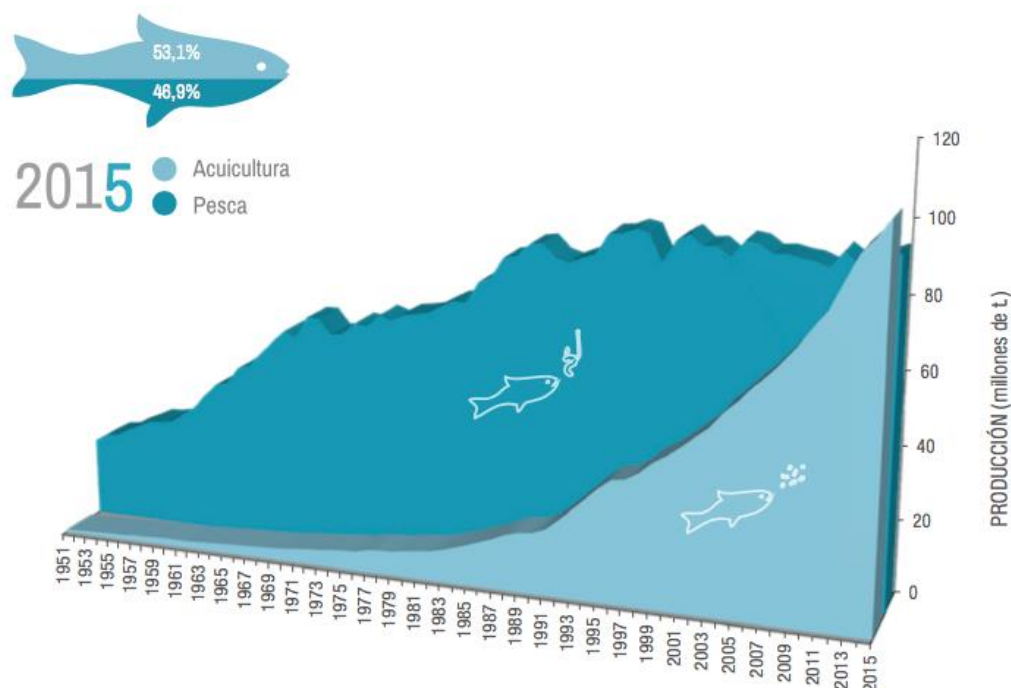


Figura 1. Evolución de la producción de acuicultura y pesca entre los años 1950 y 2015 (APROMAR, 2017).

En consecuencia a la previsión del aumento de población en los próximos años, se prevé que la producción pesquera total (tanto de pesca de captura como de acuicultura) aumente hasta las 196 millones de toneladas para 2025. Debido a la imposibilidad del sector pesquero y al auge de la acuicultura, ésta enorme demanda se cubrirá principalmente con productos procedentes de la producción acuícola, la cual se prevé que aporte 102 millones de toneladas para 2025. Por lo que la acuicultura será el mayor proveedor de recursos pesqueros en el futuro, ayudando a la recuperación de las poblaciones salvajes (FAO, 2016).

1.3. Importancia de la trucha arcoíris en el sector acuícola

Dentro del sector de la acuicultura la demanda de trucha y salmón en su conjunto ha ido creciendo, hasta que a partir del 2013 son el producto individual más importante en función de su valor. Actualmente la demanda está creciendo de forma sostenida gracias al sector acuícola (FAO, 2016).

Respecto a la importancia de la trucha en la acuicultura española, ésta es la principal especie de la acuicultura continental en España, tratándose de un sector bien consolidado y estable con necesidad de innovaciones y en expansión (MAPAMA, 2010). En el 2011 el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente registró 183 granjas acuícolas continentales, 140 en tierra firme y 43 en enclaves naturales (Maraver, 2013).

Su producción es altamente eficiente gracias a que utiliza sistemas bien establecidos y una gran mecanización en las operaciones. En los últimos años se están abriendo nuevas líneas de investigación para mejorar la eficacia de producción, comercialización y calidad del producto (MAPAMA, 2010).

1.4. Descripción de la trucha arcoíris

La trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*, se caracteriza por poseer el cuerpo alargado con forma fusiforme y presentar una aleta adiposa. Tiene escamas pequeñas de colores tornasolados, posee una coloración azul verdosa con una banda rosada sobre la línea lateral, por debajo de esta es de color plateada y vientre blanco. Su coloración varía en función de su hábitat, alimentación, tamaño y estado sexual (APROMAR, 2017; MAPAMA, 2010).

Respecto a su tamaño alcanza normalmente entre los 20-40 cm y pesa de 500 g a 6 kg (APROMAR, 2017), siendo su longitud máxima registrada de 122 cm y peso máximo de 25.4 kg (Gall et al. 1992).

Respecto a la biología de esta especie se caracteriza por ser una especie anádroma, presentando un ciclo de vida en agua marina con la puesta en agua dulce. La reproducción tiene lugar por primera vez al tercer año de vida en hembras y al segundo año en machos (APROMAR, 2017; Gall et al. 1992).

Las hembras producen de 700 a 4000 huevos por cada puesta. Éstos se caracterizan por ser de gran tamaño en comparación con los huevos de otras especies, midiendo de 3 a 7 mm, en proporción al tamaño de la hembra (APROMAR, 2017; Gall et al. 1992).

En cuanto a su distribución geográfica, habita en muchos hábitats diferentes de todo el mundo en zonas subtropicales. Tolerancia de temperatura de 0 a 30°C. Se alimenta principalmente de invertebrados como insectos, moluscos y crustáceos, huevos y pequeños peces (MAPAMA, 2010; Gall et al. 1992).



Figura 2. Dibujo de una trucha arcoíris (Evermann, 1907).

1.5. La alimentación en la acuicultura

La acuicultura es un sector que ha ido creciendo durante las últimas décadas, lo que ha conllevado a un aumento de la demanda de piensos para abastecer a la producción acuícola. Uno de los pilares más importantes para disminuir costos es la alimentación, ya que supone entre el 40-60% de los costes totales de producción, por lo que es de gran importancia mejorar la eficiencia de la alimentación acuícola para disminuir gastos (García et al. 2010; Peters et al. 2004).

La harina de pescado ha sido y es actualmente la materia prima base de los piensos para peces, constituyendo la fuente principal de proteínas gracias a su óptimo perfil de aminoácidos esenciales, a su vez aporta ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales por lo que por estas razones y junto a su alta digestibilidad y exquisita palatabilidad convierten a este ingrediente tradicionalmente en la fuente proteica de los piensos para peces carnívoros (García et al. 2010; Peters et al. 2004).

En la actualidad los caladeros están llegando a su límite máximo de explotación, de los cuales se extraen los pescados de bajo valor comercial para realizar las harinas y aceites de pescado. Éste hecho restringe el uso de estas materias primas, a la vez que presiona los precios de mercado. Por lo que es importante encontrar nuevas fuentes alternativas de proteínas y lípidos para la alimentación acuícola, que reducirían los costes de producción y ayudarían a mejorar la sostenibilidad de los caladeros (García et al. 2010; Peters et al. 2004).

1.6. Piensos alternativos en acuicultura

Los nuevos alimentos formulados deben estar basados en ingredientes de bajo coste que aporten los nutrientes necesarios que permitan a los peces crecer y mantenerse sanos. Para suplir estas nuevas necesidades, se han aumentado los esfuerzos en la investigación enfocada en la búsqueda de materias primas alternativas que aporten los requerimientos nutricionales suficientes para el óptimo desarrollo de los peces (Canseco et al. 2015).

El origen de las nuevas alternativas de las materias primas en sustitución a la harina y el aceite de pescado puede provenir de diferentes fuentes, las cuales son: 1) de origen animal, 2) de origen vegetal y 3) de organismos unicelulares. Actualmente las materias primas más empleadas para este uso son las materias primas vegetales, principalmente de semillas oleaginosas, que presentan una amplia disponibilidad en el mercado y tienen precios más bajos y estables que las harinas de pescado, como es el caso de la harina de soja (Canseco et al. 2015).

En general, se ha podido comprobar que los animales alimentados con piensos sin harina de pescado, comen activamente al principio y se desarrollan acorde a la normalidad, pero su desarrollo se para después y aparece una alta mortalidad asociada

a infecciones bacterianas e hipercolesterolemia junto con anomalías hepáticas y anemia (Maita et al. 1998).

Para que no se presenten los problemas mencionados anteriormente, debe haber un equilibrio entre los aminoácidos esenciales (EAAs) y aminoácidos no esenciales (NEAA) en la materia prima alternativa o en la mezcla de ellas (Marcouli et al. 2004). Si existe una alta proporción de NEAA podría afectar negativamente la eficiencia de la proteína, lo que podría llevar a una reducción de crecimiento de los peces, lo que afectaría su salud, y un exceso aumentaría la excreción de amoníaco (Buentello et al. 2010).

Muchas de las harinas vegetales empleadas en el diseño de los piensos tienen deficiencias en algunos EAA, y requieren de suplementos de algunos EAA como la metionina y lisina. Hay que tener en cuenta otro aspecto en las fuentes alternativas a la harina de pescado y es la palatabilidad, existe una relación entre el sabor y la calidad nutricional del alimento (Gatlin et al. 2007).

1.7. Fuentes proteicas en truchas

En trucha la fuente proteica alternativa a la harina de pescado más empleada y estudiada es la harina de soja (Kaushik et al. 1995; Refstie et al. 1997; 2000; Morris et al. 2005; Gaylord et al. 2006; Heikkinen et al. 2006; Ogunkoya et al. 2006; Romarheim et al. 2006; 2008; Glencross et al. 2008; Yang et al. 2010), además se ha experimentado con otras materias primas como concentrado proteico de patata, semilla de algodón o proteína de canola (Xie et al. 1997; Cheng. 2002; Glencross et al. 2004; Thiessen et al. 2004; Palmegiano et al. 2006; Drew et al. 2007; Soler-Vila et al. 2009). Otros ingredientes empleados de origen animal son la harina de plumas y carne, el krill o la proteína de origen bacteriano (Bureau et al. 2000; Yoshitomi et al. 2006; 2007; Aas et al. 2006).

Se ha observado que los resultados más destacables son los obtenidos utilizando piensos que mezclan varios ingredientes, ya que de esta forma es más fácil que se suplan los requerimientos nutricionales de los animales. La mezcla complementa las deficiencias de aminoácidos esenciales, y en otras especies, ha dado buenos resultados de crecimiento (Gaylord et al. 2006).

1.8. Problemas en la inclusión de materias primas vegetales en piensos acuícolas

El primero de los problemas es seleccionar adecuadamente la materia o materias primas que se van a utilizar como sustituto de las harinas y los aceites de pescado, para ello deben de analizarse los perfiles nutricionales de las materias primas vegetales y asegurarse de que estas aportan los requerimientos nutricionales suficientes de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales que requieren los animales, ya que si este no es el caso se deberán de incluir suplementos en los piensos. El principal inconveniente

en la inclusión de materias primas vegetales suele ser que el perfil de aminoácidos, presentando deficiencias de algún tipo de aminoácido esencial.

Por otro lado se ha comprobado que el uso de materias primas provenientes de derivados de plantas como semillas de leguminosas, semillas oleaginosas, hojas, concentrados de proteína de hojas y harinas de tubérculos presentan una gran cantidad de sustancias antinutricionales para los peces, lo que limita el uso de estas materias primas en la acuicultura (Francis et al. 2001).

Muchos de los derivados de plantas que son candidatos potenciales a usarse como sustitutos de las harinas y aceites de pescado en piensos contienen una gran variedad de sustancias antinutricionales, lo que supone problemas en la inclusión de estos materiales en el alimento acuícola. Existen numerosos estudios respecto a la inclusión de este tipo de materias primas y su efecto en el crecimiento de los peces (Francis et al. 2001).

Los antinutrientes se definen como sustancias que por sí mismas o a través de sus productos metabólicos interfieren en como el ser vivo utiliza el alimento, afectando a la salud de éstos. Este tipo de sustancias se dividen en cuatro grupos: 1) factores que afectan en la utilización de la proteína y la digestión, como los inhibidores de proteasas, lectinas y taninos; 2) factores que afectan en la utilización de los minerales, como fitatos, pigmentos de gossipol, oxalatos y glucosinolatos; 3) antivitaminas y 4) diversas sustancias como micotoxinas, nitratos, alcaloides, etc. El tratamiento más habitual empleado para destruir los antinutrientes es en tratamiento térmico (Francis et al. 2001).

La soja es deficiente en algunos aminoácidos esenciales en peces, como la metionina. El gluten de trigo es deficiente en lisina. Por lo que para el uso de esta mezcla es necesario la suplementación con aditivos que aporten los nutrientes necesarios para lograr el correcto crecimiento de los animales (Sandholm et al. 1976).

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La trucha es uno de los peces más importantes en la acuicultura europea, siendo en España la principal especie de la acuicultura continental, lo que justifica que se hagan estudios para mejorar la eficiencia de su producción y disminuir costes haciendo más rentable esta actividad.

Una de las mejores formas de disminuir costes de producción es mejorando el coste de la alimentación, ya que éste puede suponer entre el 40-60% del total de los costes de producción. El elevado coste del pienso se deben al empleo de harinas y aceites de pescado provenientes de la pesca extractiva, que a pesar de ser excelentes desde el punto de vista nutritivo son ingredientes muy caros. Además, el uso de harinas y aceites de pescado es insostenible también desde un punto de vista medioambiental, ya que su sobreexplotación ha desencadenado una disminución de las poblaciones de peces pelágicos en los caladeros. Por lo tanto, debido a la limitación que suponen estos ingredientes, se ha fomentado la búsqueda de materias primas para su inclusión en piensos para peces, en las que destacan las de origen vegetal por ser más económicas. Sin embargo, se ha visto que altas inclusiones de estos ingredientes conllevan carencias nutricionales, por lo que se siguen estudiando nuevas fórmulas que mejoren la digestibilidad y a su vez aporten los nutrientes necesarios para el correcto crecimiento y bienestar de los animales.

En la actualidad se emplean piensos con únicamente 130-200 g/kg de harina de pescado en la formulación, ya que se ha comprobado que los peces requieren de esta mínima cantidad de inclusión en los piensos para un correcto crecimiento.

Por todo ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento y los parámetros nutricionales de la trucha arco iris alimentada con diferentes piensos con altas sustituciones y sustitución total de la harina de pescado por una mezcla de harinas vegetales, formada principalmente por turtó de soja y gluten de trigo.

Los piensos ensayados fueron los siguientes:

HP 20: Pienso control con un 20% de harina de pescado en su formulación

HP 10: Pienso con un 10% de harina de pescado

HP 0: Pienso sin harina de pescado

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la instalación

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Acuicultura (LAC) del Departamento de Ciencia Animal de la de la Universitat Politècnica de València. Los peces se dispusieron en una línea compuesta por 18 tanques de experimentación, las cuales están integradas en un circuito cerrado de recirculación de agua, que puede ser dulce o salada. Los tanques cilíndricos utilizados son de fibra de vidrio con capacidad de 1750 litros.

El sistema de recirculación está compuesto por una red de tuberías y canales que aportan y retiran el agua de los tanques, el agua retirada es conducida a un filtro rotatorio que actúa eliminando las partículas sólidas suspendidas en el agua, al filtrarla por una malla de 70 micras. La eliminación de las partículas retenidas en la malla se realiza mediante un chorro de agua dulce a presión.

El agua tras pasar por el filtro mecánico pasa por un aljibe general y después por un biofiltro que reduce la concentración de amonio en el agua procedente de las excreciones de los animales y la descomposición de la materia fecal y el pienso no consumido. En el biofiltro el agua entra por goteo a través de una manguera con un compresor de aire, el agua cae a las biobolas cuya superficie alberga colonias de bacterias que realizan la depuración biológica del agua. A continuación, el agua pasa por otro aljibe y después es conducida a los tanques gracias a las bombas de impulsión.

La temperatura de la instalación se controla y mantiene mediante una bomba de calor/frío. La aireación tiene lugar mediante un sistema de bombas y electrosoplantes que captan el aire del exterior, lo filtran y lo suministran a los tanques a través de difusores porosos que aseguran que el tamaño y la distribución de las burbujas de aire sea uniforme. Existe un sistema de emergencia de inyección de oxígeno en el agua que actuaría en caso de producirse un fallo en el sistema de aireación.

3.2. Diseño del experimento

3.2.1. Condiciones de los animales

Los animales fueron comprados a una empresa de truchas local con un peso medio de 14 g. Una vez llegaron a las instalaciones de la UPV, se pesaron y se distribuyeron en los tanques, donde se incluyeron un total de 40 truchas en cada uno. Antes del inicio del experimento, mientras se aclimataban los peces, se les alimentó con un pienso comercial durante dos semanas.

Las truchas fueron alimentadas manualmente a saciedad aparente. El alimento se suministró dos veces al día, uno en la mañana sobre las 9 horas y otro en la tarde

sobre las 16 horas. Los sábados se les proporcionó solamente una única toma en la mañana, y los domingos no se les alimentó.

Para saber cuánta cantidad de pienso consumían los animales al día, los botes se pesaban al final del mismo, para poder calcular los diferentes parámetros nutritivos.

La alimentación se hizo intentado distribuir los pellets de pienso de la mejor forma posible, y lentamente para que el pienso no se perdiese en el fondo del tanque.

Para obtener los datos de crecimiento los peces se pesaban cada 14 días, antes de cada muestreo se dejaba a los peces ayunando el día anterior, haciendo coincidir este día con el domingo, en los muestreos se obtenía el peso de cada organismo o grupo de ellos, para facilitar el manejo de los animales y reducir su estrés se empleaba esencia de clavo como anestésico.

Al día 78 días del experimento, éste se dio por finalizado debido a la alta mortalidad de los peces.

3.2.2. Piensos empleados

Los piensos ensayados en el presente estudio, se fabricaron en la fábrica de piensos del Departamento de Ciencia Animal de la Universitat Politècnica de València, por el proceso de cocción-extrusión. La máquina empleada fue un extruder semi-industrial marca Clestral modelo BC45.

Se elaboraron 3 piensos, un pienso control HP 20 que contenía un 20% de harina de pescado, un pienso HP 10 en el cual se incluyó un 10% de harina de pescado y un pienso sin harina de pescado (HP0).

Todos los piensos formulados fueron isoproteicos e isolipídicos y se formularon en base a los requerimientos nutricionales para trucha recomendados por NRC (2011), por lo que los piensos que tenían una mayor sustitución para alcanzar los mínimos requerimientos nutricionales necesarios se suplementaron con taurina (semi-esencial), fosfato cálcico y aminoácidos sintéticos.

A continuación podemos ver la composición (Tabla 1), el valor nutricional (Tabla 2) y el contenido en aminoácidos (Tabla 3) de los tres piensos experimentales.

Tabla 1: Composición en gramos por kilogramo de los tres piensos experimentales (HP0, HP10 y HP20).

Ingredientes (g/kg)	HP0	HP10	HP20
Harina de pescado	0	100	200
Trigo	116	158	201
Gluten de trigo	214	201	180
Soja	400	300	200
Aceite de soja	88	89	90
Aceite de pescado	100	91	82
Fosfato cálcico	38	33	28
Taurina	20	10	5
Metionina	4	2	0
Lisina	8	6	4
Valina	2	0	0
Mezcla vitamínico-mineral *	10	10	10

*Mezcla vitamínico-mineral/kg, vitamina A 1,000,000 UI, vitamina D3 100,000 UI, vitamina E (alfatocoferol) 4000 mg, vitamina B12 6 mg, vitamina B6 1.22 g, vitamina K3 100 mg, vitamina B1 1.28 g, vitamina B2 2.50 g, ác. nicotínico 10 g, pantotenato de calcio 4.60 g, biotina 100 mg, ác. fólico 500 mg, L-lisina 33 g, L-treonina 19g.

Tabla 2: Valor nutricional de los piensos experimentales.

Composición química (%materia seca)	HP0	HP10	HP20
Materia seca (%DM)	91,3	91,2	91,2
Proteína bruta (%PB)	44,6	44,0	43,4
Grasa bruta (%GB)	19,1	19,0	19,2
Cenizas (%)	4,2	6,8	7,5
Carbohidratos*(%CHO)	32,2	30,2	29,9
Energía** (kJ/g)	22,49	22,63	23,35

*Carbohidratos (%)= 100 – (%PB - %GB - %Ceniza)

**Energía (KJ/g)= (%C x 51,8/100) – (%N x 19,4/100)

Tabla 3: Contenido en aminoácidos esenciales y no esenciales (AAE y AANE g/100g) de los piensos experimentales.

Aminoácidos Esenciales			
(AAE* g/100g de materia húmeda)	HP0	HP10	HP20
Histidina	1,32	0,87	1,04
Arginina	6,52	2,99	3,22
Valina	2,33	1,59	1,74
Metionina	0,70	0,67	0,54
Lisina	2,90	2,74	2,14
Isoleucina	3,25	2,32	2,55
Leucina	3,25	2,32	2,55
Fenilalanina	2,12	1,34	1,55
Treonina	1,79	1,22	1,41

Aminoácidos No Esenciales			
(AANE** g/100g de materia húmeda)	HP0	HP10	HP20
Aspártico	4,12	3,08	3,13
Serina	2,77	1,79	1,96
Glutámico	13,94	9,77	9,53
Glicina	2,17	1,61	1,94
Alanina	1,75	1,42	1,60
Prolina	4,60	3,36	3,53
Cisteína	0,65	0,73	0,53
Tirosina	1,42	0,89	1,00

*AAE: Aminoácidos esenciales

**AANE: Aminoácidos no esenciales

Los piensos primero se formularon, seguidamente se pesó la cantidad adecuada de cada ingrediente y luego se mezclaron los componentes, primero los ingredientes secos y a continuación los húmedos. Los materiales fueron mezclados en una mezcladora durante aproximadamente 20 minutos, los aceites se añadieron cuando el resto de los ingredientes estaban bien mezclados.

Para producir los pellets de pienso se introdujo la mezcla en la extrusionadora, la cual trabajó a 100 rpm, 40-50atm y 100-110°C, obteniendo pellets de 2-3 mm, en función del tamaño de las truchas.

3.3. Metodología de trabajo

3.3.1. Control de la instalación y la calidad del agua

Para comprobar el correcto funcionamiento de la instalación y asegurarse del bienestar de los animales y la buena calidad del agua se revisó diariamente el normal funcionamiento de todos los equipos del laboratorio, además se registró la muerte de los animales si se daba el caso junto al peso de los mismos.

Se controló diariamente la concentración de oxígeno en el agua y la temperatura, ambos parámetros se midieron con un oxímetro portátil (Oxyguard Handy Polaris), el cual tomaba la medición al introducir la sonda en el agua.

El pH y las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos en el agua también se medían diariamente, el pH se media con el pH-metro y los compuestos nitrogenados mediante test colorimétricos (MERK), por comparación visual.

Las condiciones en las que se realizó el experimento se muestran en la tabla 4, la salinidad fue 0 ya que se utilizó agua dulce.

Tabla 4. Condiciones físico-químicas que se mantuvieron durante el experimento.

Parámetros físico-químicos	
Temperatura (OC)	17,10 ±0,17
Oxígeno (mg/l)	7,97 ±0,05
pH	8,57 ±0,03
Amonio (mg/l)	0,0 ±0,00
Nitritos (mg/l)	0,08 ±0,01
Nitratos (mg/l)	35,42 ±2,30

Los valores representan la media ± el error estándar.

3.3.2. Control del crecimiento de los animales

Cada 14 días se realizó el control del crecimiento de los animales con un muestreo, para ello los peces debían de ayunar las 24 horas anteriores. Los peces de cada tanque se disponían en un tanque de plástico con inyección de aire, de ahí eran pasados a un cubo de agua con aceite de clavo (anestésico). Con un salabre se sacaban

los peces, alrededor de 5 individuos y se pesaban con una balanza de precisión. El peso se anotaba en el estadillo, y los peces se disponían en otro cubo con agua con aireación y seguidamente se devolvían al tanque donde pertenecían. En los muestreos de inicio y final del experimento los animales se pesaron de forma individual.

Los índices de crecimiento y eficacia de la alimentación utilizados en el presente trabajo se calcularon a partir de las siguientes fórmulas:

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

$$TCI = \frac{\text{Ln peso medio final} - \text{Ln peso medio inicial}}{\text{Tiempo}} \times 100$$

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

$$TAD = \frac{\text{Ingesta total}}{\left(\frac{\text{Biomasa final} + \text{Biomasa inicial}}{2}\right) \times \text{Tiempo}} \times 100$$

- ❖ Coeficiente de eficacia de crecimiento (CEC):

$$CEC = \frac{(\text{Biomasa final} - \text{Biomasa inicial})}{\text{Proteína ingerida}}$$

- ❖ Índice de conversión del alimento (ICA):

$$ICA = \frac{\text{Ingesta total}}{(\text{Biomasa final} - \text{Biomasa inicial})}$$

3.3.3. Biometrías e índices biométricos

Al final del experimento se separaron 5 individuos de cada tanque para determinar sus índices biométricos. Para ello se tomaron las medidas de diferentes parámetros como: La longitud total (cm) (medida desde el extremo de la mandíbula hasta los últimos radios de la aleta caudal), el peso total (g), el peso en canal (g) (peso del animal sacrificado tras extraerle las vísceras), el peso visceral (g) (peso de las vísceras solas), el peso del hígado (g) (peso del hígado entero y la vesícula biliar) y el peso de la grasa visceral (g).

Conocidos los valores de los parámetros anteriores se procedió a calcular los índices biométricos aplicando las siguientes fórmulas:

- ❖ Factor de condición (FC), (%):

$$FC = \frac{\text{Peso total}}{\text{Longitud total}^3} \times 100$$

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

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

- ❖ Índice hepatosomático (IHS), (%):

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

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

$$IGV = \frac{\text{Peso grasa visceral}}{\text{Peso total}} \times 100$$

3.4. Análisis químicos

Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de la Unidad de Alimentación del Departamento de Ciencia Animal de la Universitat Politècnica de València. Los análisis de la composición corporal de los animales se realizaron triturando 5 peces de cada tanque con una picadora, cada análisis se realizó por triplicado. Cada mezcla de peces triturados se dispuso en placas Petri y se puso a congelar.

3.4.1. Materia seca

Para determinar la materia seca de las muestras, primero se colocaron los crisoles vacíos y rotulados a estufa durante 24 horas a 105°C para eliminar cualquier resto de contaminantes que pudiera haber en los crisoles, después se colocaron en el desecador para su enfriamiento y se pesaron. Se colocó 2,5g de cada muestra por triplicado en los crisoles y se pusieron a deshidratar en estufa a 105°C durante 24 horas, después se dejaron enfriar en el desecador y seguidamente se midió el peso de los crisoles con una balanza de precisión. Para calcular el porcentaje de materia seca se utilizó la siguiente fórmula:

A = Peso del crisol.

B = Peso del crisol con la muestra húmeda.

C = Peso del crisol con la muestra desecada.

$$\% \text{Materia seca} = \frac{(C - A)}{(B - A)} \times 100$$

3.4.2. Cenizas

Una vez determinado el porcentaje de materia seca se pre-calcinaron las mismas muestras en una placa calefactora con campana de humos, hasta que la muestra dejó de emitir humo, después con pinzas se introdujeron los crisoles en la mufla y se dejaron durante 5 horas a 550°C.

A continuación se apagó la mufla y se dejó enfriar por una hora antes de abrirla, se sacaron los crisoles y se introdujeron en el desecador para que perdieran temperatura, después se realizó el pesado de las muestras.

El cálculo del porcentaje de cenizas se determinó mediante la siguiente fórmula:

A = Peso del crisol.

B = Peso del crisol con la muestra húmeda.

C = Peso del crisol con las cenizas.

$$\%Cenizas = \frac{(C - A)}{(B - A)} \times 100$$

3.4.3. Proteína bruta

En la determinación de la proteína bruta se empleó el Leco CN628 que aplica el método Dumas para obtener la cantidad de nitrógeno que tiene la muestra.

Para determinar la cantidad de nitrógeno se mezcló la muestra con óxido de cobre, en una atmósfera con dióxido de carbono. La reacción forma gases que se reducen por el cobre, el nitrógeno molecular se determinó por medición volumétrica.

El resultado de la cantidad de nitrógeno la realiza el Leco CN628 directamente al introducirle 0,25g de la muestra liofilizada en pequeños papelitos de papel de aluminio.

Los cálculos que se realizaron para determinar la proteína bruta fueron:

A = Peso de la muestra en seco.

B = Milímetros gastados de HCl (valor leído en la unidad de destilación).

f = Factor de HCl.

$$\%PB = \frac{(B \times 0,1 \times f \times 14 \times 0,001 \times 6,25 \times 100)}{A} = \frac{B \times 0,875}{A}$$

3.4.4. Grasa bruta

La grasa bruta se determinó siguiendo Ankom Technology Método 2 (2009), el cual se basa en la determinación rápida de aceite/grasa utilizando la extracción de solvente a alta temperatura. Para ello se empleó el sistema de extracción ANKOM XT10. El fundamento del método que utiliza es la solubilidad de la grasa bruta en un solvente orgánico, en este caso se empleó éter dietílico en ebullición (40-60°C).

La fórmula empleada para el cálculo del porcentaje de grasa bruta es la siguiente:

A = Peso de la muestra.

B = Peso del vaso receptor.

C = Peso del vaso receptor con el extracto.

$$\%Grasa\ bruta = \frac{(C - B)}{A} \times 100$$

3.5. Análisis estadístico

Para comprobar si existen diferencias significativas en el crecimiento y los parámetros nutricionales de los animales alimentados con los diferentes piensos formulados se ha realizado un análisis de varianza multivariante, el test de Newman-Keuls, con el que se ha comparado las diferencias de las medias individuales de los parámetros e índices.

En el análisis de los parámetros de crecimiento se empleó el peso inicial como covariable para que se corrigieran las diferencias en el peso inicial de los animales. Los datos se han expresado como una media, más menos el error estándar de la media.

La inferencia se realizó en un intervalo de confianza del 95%. Los análisis estadísticos se hicieron con el programa Statgraphics Centurion XVI.II.

4. RESULTADOS

En la Figura 3 podemos ver la evolución del peso medio de las truchas a lo largo de los 78 días de alimentación con los tres piensos experimentales, y a partir del primer muestreo (14 días) se puede observar que el peso de los peces alimentados con el pienso HP20 fue mayor que con el resto de los piensos, tendencia que continua hasta el final de la prueba.

Los resultados finales de crecimiento y los parámetros nutritivos de los alevines de trucha alimentados con los piensos experimentales durante un periodo de 78 días se muestran en la tabla 5.

El pienso HP20 el cual presentaba un mayor nivel de inclusión de harina de pescado fue el que dio un mayor crecimiento, significativamente diferente al resto de los grupos. El pienso que ocasionó el crecimiento más bajo ha sido el que no contenía harina de pescado (HP0). El pienso HP10 presentó mayor crecimiento que HP0, pero menor que HP20 (tabla 5).

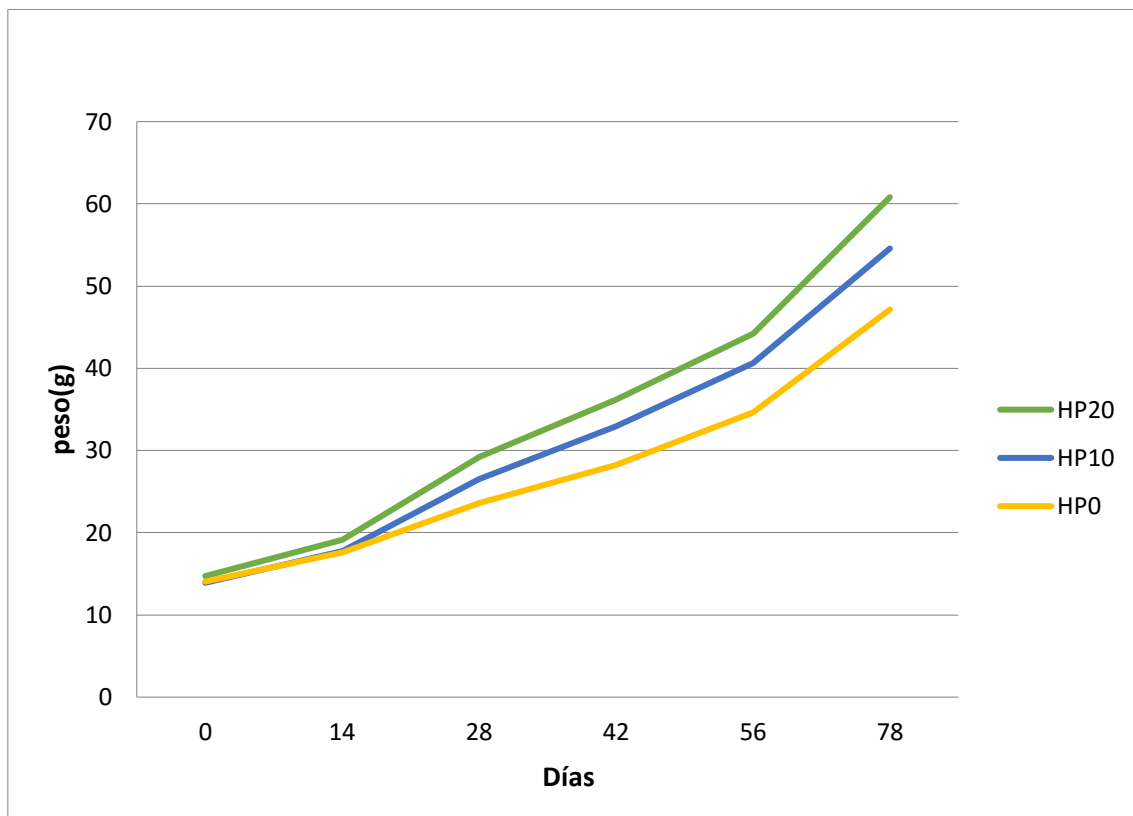


Figura 3. Evolución del crecimiento de alevines de trucha alimentados con diferentes piensos durante la prueba de pre-engorde.

Tabla 5. Crecimiento y parámetros nutritivos de los alevines de trucha alimentados con los tres piensos experimentales al final del periodo de pre-engorde (78 días).

	HPO	HP10	HP20
Peso inicial (g)	14,0 ±0,37	13,9 ±0,37	14,7 ±0,37
Peso final (g)	46,7c ±16,2	53,7b ±16,9	62,2a ±1,83
Supervivencia (%)	55,99 ±8,35	55,36 ±8,67	51,15 ±9,36
TCl (%/día)	1,51c ±0,04	1,73b ±0,04	1,89a ±0,05
TAD (%/día)	1,83 ±0,03	1,83 ±0,03	1,77 ±0,04
ICA	1,57b ±0,05	1,40ab ±0,05	1,27a ±0,07
CEC	1,61b ±0,06	1,78b ±0,06	2,00a ±0,06

Los valores representan la media \pm error estándar (n = 3). Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas a $p < 0.05$. Test de Newman-Keuls. TCl: Tasa de crecimiento instantáneo; TAD: Tasa de alimentación diaria; ICA: Índice de conversión del alimento. CEC: Coeficiente de eficacia del crecimiento.

La supervivencia de los animales alimentados con diferentes tratamientos no presentó diferencias significativas (tabla 5), cabe destacar que el valor de la supervivencia para todos los grupos no fue el esperado, ya que alcanzó valores de alrededor del 50%. La mortalidad fue más acentuada al final del experimento, donde la temperatura estaba en valores superiores a los óptimos para la producción de trucha.

Respecto a la Tasa de crecimiento instantáneo (TCl), como se observa en la tabla 5, los peces alimentados con el pienso HP20, presentaron un TCl significativamente mayor (1,89%/día) que los grupos alimentados con los piensos HP10 y HPO. Los peces alimentados con el pienso HPO, mostraron el TCl más bajo (1,51%/día).

La tasa de alimentación diaria (TAD) no presentó diferencias significativas entre los grupos alimentados con los diferentes piensos (tabla 5). Esto indica que la cantidad de alimento consumido al día por los diferentes grupos es muy similar, siendo de 1,83%/día para HPO, 1,83%/día para HP10 y 1,77%/día para HP20.

El índice de conversión del alimento (ICA) correspondiente a los peces alimentados con el pienso HP20 (1,27) fue significativamente menor que el de los alimentados con el pienso HPO, sin mostrar ambos tratamientos diferencias estadísticas significativas con el grupo H10 (tabla 5). Estos resultados muestran que los animales necesitan menos cantidad de pienso HP20 respecto a los otros para engordar un kilo.

El coeficiente de eficiencia del crecimiento (CEC) fue significativamente mayor en los peces alimentados con el pienso HP20 (2,00) respecto a los otros piensos, por lo

que la calidad de la proteína disponible es mayor, ya que comiendo la misma ingesta de proteína crecen más. (tabla 5).

Tabla 6. Resultados biométrico de los animales alimentados con los tres piensos al final del periodo de pre-engorde (78 días).

	HPO	HP10	HP20
FC (%)	1,03 ±0,026	1,08 ±0,025	1,08 ±0,025
IVS (%)	16,14b ±0,49	14,87b ±0,47	13,27a ±0,50
IHS (%)	1,86b ±0,12	1,89b ±0,11	1,49a ±0,11
IGV (%)	0,5a ±0,13	1,04b ±0,13	0,62a ±0,13

Los valores representan la media \pm error estándar (n = 5). Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas a $p < 0.05$. Test de Newman-Keuls. FC: Factor de condición; IVS: Índice viscerosomático; IHS: Índice hepatosomático; IGV: Índice de grasa visceral.

En la tabla 6 se expresan los resultados de los análisis biométricos de los animales a los 78 días. Los resultados del factor de condición (FC) muestran que no hay diferencias significativas entre los animales alimentados por los diferentes piensos.

El índice viscerosomático (IVS) relaciona el peso total de las vísceras con el peso total del organismo. Los resultados de este índice muestran que los animales alimentados con el pienso HP20 presentaron esta relación significativamente más baja que la obtenida con los otros dos piensos (tabla 6).

El índice hepatosomático (IHS) relaciona el peso del hígado del pez con el peso total del individuo. Los piensos con mayores niveles de sustitución presentaron un mayor IHS (tabla 6).

El índice de grasa visceral (IGV) relaciona el peso de la grasa del individuo con su peso total. Los resultados indicaron que los niveles de grasa en las vísceras de los animales alimentados con los piensos HP20 y HPO son significativamente similares (0,62% y 0,5% respectivamente), pero menores que los alimentados con el pienso HP10 (1,04%) (tabla 6).

Tabla 7. Resultados de la composición nutricional (% de materia húmeda) y eficiencia de retención de los animales alimentados con los tres piensos al final del periodo de pre-engorde (78 días).

	HPO	HP10	HP20
Materia seca (%)	26,80 ±0,53	28,56 ±0,53	28,97 ±0,53
PB (%)	16,28 ±0,21	16,02 ±0,25	16,70 ±0,25
GB (%)	8,16 ±0,41	9,67 ±0,43	9,82 ±0,47
Cenizas (%)	2,52 ±0,08	2,56 ±0,09	2,41 ±0,09
VPP (%)	24,30c ±1,5	26,50b ±1,5	31,36a ±1,5
VPG (%)	27,61b ±2,37	38,45a ±2,37	42,86a ±2,73
Energía (kJ/g)	23,59b ±0,14	23,80b ±0,14	24,51a ±0,14

Los valores representan la media \pm error estándar (n = 3). Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas a $p < 0.05$. Test de Newman-Keuls. PB: Proteína bruta; GB: Grasa bruta; VPP: Valor productivo de la proteína; VPG: Valor productivo de la grasa.

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a la composición del cuerpo entero de los peces alimentados con los diferentes piensos a los 78 días. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, únicamente en el caso de la energía para el pienso HP20 (24,51kJ/g) que fue mayor significativamente en comparación con los otros piensos (HPO: 23,59kJ/g y HP10: 23,80kJ/g) (tabla 7).

Los resultados del valor productivo de la proteína (VPP) mostraron que el aprovechamiento de la proteína del pienso HP20 fue mayor (31,36%), respecto a los otros piensos (HPO: 24,30% y HP10: 26,50%). El valor productivo de la grasa (VPG) del pienso HP20 (42,86%) también dio mayores resultados que el de los otros piensos, siendo significativamente diferente de HPO (tabla 7).

5. DISCUSIÓN

Analizando los resultados obtenidos, se confirma que la sustitución total de harina de pescado por la mezcla de turtó de soja y gluten de trigo no es adecuada para la trucha arcoíris producida a altas temperaturas, como se aprecia con los bajos resultados que ha dado de crecimiento y de parámetros nutricionales en comparación con el pienso con un 20% de harina de pescado. Además el pienso que contenía un 10% de harina de pescado tampoco ha alcanzado los resultados esperados.

El crecimiento general de las truchas, en comparación con otros trabajos, fue menor. Esto puede deberse a una mayor proporción de proteína en los piensos y/o a una mayor disponibilidad de la proteína por kilo de alimento, y también a que presentan una mayor calidad nutritiva de la proteína. Además cuanto más harina de pescado presentan los piensos es mejor la digestibilidad del alimento (Pokniak et al. 2010). Además también afectó la temperatura, en este caso estaba en un rango superior al óptimo para la especie, por lo cual, la ingesta por parte de los animales también se vio influida (Pokniak et al. 2010). Del mismo modo, los resultados de la supervivencia fueron influenciados a su vez por las condiciones de la producción, ya que debido a un fallo en la bomba que controlaba la temperatura, ésta estuvo en valores muy superiores a los habituales para la producción de trucha. La alta inclusión de harinas vegetales en piensos para peces carnívoros se probó con éxito, tanto a nivel de crecimiento, como a nivel de supervivencia (Monge et al. 2016). Sin embargo, cuando se somete a los peces a una situación de estrés, como en el presente estudio, los resultados pueden no ser satisfactorios, mostrando una mortalidad elevada, especialmente en los peces alimentados sin harina de pescado (Monge et al. 2017).

En otros estudios con truchas se ha visto resultados similares al del presente estudio como el de Médale et al. (1998) donde sustituyeron hasta el 75% de la harina de pescado por concentrado proteico de soja sin efectos negativos en la ingesta y el crecimiento de la trucha arcoíris, aunque con resultados negativos al sustituir el 100%. Mambrini et al. (1999) sustituyeron hasta el 90% de la harina de pescado por una mezcla de turtó de soja y gluten de trigo con buenos resultados, además probaron que el concentrado de proteína de soja puede sustituir hasta el 50% de la proteína de la harina de pescado en piensos para trucha arcoíris.

Sandholm et al. (1976) descubrieron que la soja tiene inhibidores de la tripsina (factores antinutricionales) que causan efectos negativos en la tasa de crecimiento instantáneo y la digestibilidad proteica de la trucha arcoíris. La soja es deficiente en algunos aminoácidos esenciales en peces como la metionina y el gluten de trigo en lisina influyendo en los valores de crecimiento de los peces. Sin embargo en otros trabajos, como el de Zhang et al. (2012), donde se sustituyó el 95% de la harina de pescado no se obtuvieron diferencias en el crecimiento de las truchas.

Como se ha comentado anteriormente los piensos eran isoproteicos e isolipídicos y se formularon siguiendo las necesidades nutritivas recomendadas por NRC (2011), por lo que las diferencias significativas encontradas en el crecimiento, los

parámetros nutricionales e índices corporales no han sido causadas por falta de nutrientes en los piensos, aunque posiblemente sí por la disponibilidad de los mismos.

Este hecho ha sido observado en estudios anteriores, en los que se ha demostrado que el aumento de fuentes proteicas vegetales disminuye la digestibilidad de los nutrientes y por lo tanto su biodisponibilidad para el crecimiento y otras funciones vitales. Esto se debe a varios factores, pero principalmente a los ciertos factores antinutritivos que aparte de reducir la digestibilidad, alteran la histología intestinal, provocando en muchos casos inflamación e incluso enteritis.

A parte de las sustancias antinutricionales que poseen las materias primas vegetales, éstos también tienen mayor contenido en carbohidratos y fibra, lo que influye en la absorción de los nutrientes, ya que disminuyen el tiempo del tránsito intestinal ocasionando una incorrecta digestión del alimento y absorción de los nutrientes, reduciendo la disponibilidad de los aminoácidos (Jobling, 1981). A su vez, los carbohidratos forman complejos con las proteínas disminuyendo la digestibilidad del alimento. Las sustituciones de harinas de pescado por otras fuentes proteicas no han podido ser totales en muchas especies, viéndose que afectan al crecimiento, los parámetros nutritivos o la mortalidad. Los estudios que si lo han conseguido fueron gracias a enriquecer los piensos con aditivos sintéticos de alto coste, imposibilitando la producción de estos nuevos formulados debido a los gastos que conllevan (Sus, 2014).

Además se ha observado que los piensos no presentaron problemas respecto a la palatabilidad, como es el caso de otros estudios de peces alimentados con fuentes vegetales (Gomez et al. 2004) ya que la tasa de alimentación diaria es muy similar en todos los grupos. El consumo similar del pienso en todos los tipos de formulados es predecible ya que estaban formulados para que el contenido energético de las dietas fuera constante, se conoce que los peces, mamíferos y aves regulan su ingesta en función de la densidad energética de los alimentos, a pesar de que también puede darse que varíen la ingesta debido a encontrar ingredientes en los piensos con poca palatabilidad, aunque este no es el caso del presente estudio.

Los altos resultados de los índices IVS e IHS para los piensos con mayor contenido de turtó de soja y gluten de trigo pueden haberse dado debido a que esta mezcla es de difícil digestión para la trucha. Por lo que el tamaño de las vísceras puede haber aumentado para mejorar la digestibilidad del alimento. Además numerosos estudios concuerdan con que altos niveles de sustitución provocan un aumento de la grasa en el hígado, aumentando el índice hepatosomático, y el contenido de vesículas lipídicas en peces carnívoros (Sus, 2014).

6. CONCLUSIONES

- 1- En el presente estudio se ha comprobado que sustituciones mayores del 20% de harina de pescado en trucha arcoíris tiene efectos negativos en el crecimiento, parámetros nutricionales e índices corporales.
- 2- La mezcla de turtó de soja y gluten de trigo no es conveniente para sustituir la harina de pescado en piensos de trucha.
- 3- La inclusión de materias primas vegetales produjo un aumento de los índices IVS y IHS.
- 4- Las retenciones de proteína y grasa fueron menores debido a la presencia de sustancias antinutricionales y/o la presencia de fibra y carbohidratos.

Por todo ello, existe la necesidad de estudiar formas de inhibir las sustancias antinutricionales y los componentes que perjudican a los peces, para que los piensos sean correctos, permitiendo la adecuada absorción de los nutrientes y así poder sustituir el 100% de la harina de pescado, creando piensos más económicos y más comprometidos con el medio ambiente.

7. BIBLIOGRAFÍA:

A

Aas, T, S. Grisdale-helland, B. Terjesen, B, F. Helland, S, J. (2006). Improved growth and nutrient utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing a bacterial protein meal. *Aquaculture*. 259: 365-376 pp.

APROMAR. (2017). La acuicultura en España 2017. Asociación Empresarial de Acuicultura de España (APROMAR). España. 93 pp.

Arregui Maraver, L. (2013). El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Madrid: Fundación Observatorio Español de Acuicultura. 6-7 pp.

B

Buentello, J. Neill, W. Gatlin, III, D. (2010). Effects of dietary prebiotics on the growth, feed efficiency and non-specific immunity of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus* fed soybean-based diets. *Aquaculture Research*. 41(3): 411-418 pp.

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 pp.

C

Cheng, Z. Hardy, R. (2002). Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 212: 361-372 pp.

D

Drew, M, D. Ogunkoya, A, E. Janz, D, M. Van Kessel, A, G. (2007). Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 267: 260-268 pp.

E

Eleazar Fabián Canseco, L. Casas Lemini, J. Fernández Suárez, A. Rodríguez Flores, R. Ramírez López, H. Chávez Galavíz, Á. Vázquez Lozada, O. Duran Alonso, S. (2015).

Desarrollo de alimentos formulados para especies acuícolas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 2(1): 40-48 pp.

Evermann, B, W. Goldsborough, E, L. (1907). The fishes of Alaska. *Bull. U.S. Bur. Fish.* 26: 219-360 pp.

F

FAO. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.

Francis, G. Makkar, H. and Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*. 199(3-4): 197-227 pp.

G

Gall, G, A, E. Crandell, P, A. (1992). The rainbow trout. *Aquaculture*. 1-10 pp.

García, A. Muy-Rangel, D. Puello-Cruz, A. Villa-López, Y. Escalane-Rojas, M. Preciado-Iñiguez, K. (2010). Uso de ingredientes de origen vegetal como fuentes de proteína y lípidos en alimentos balanceados para peces marinos carnívoros. En: Cruz-Suarez, L.E. Ricque-Marie, D. Tapia-Salazar, M. Nieto-López, M.G. Villarreal-Cavazos, D. A. Gamboa-Delgado, J. *Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L. México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 321-340 pp.

Gatlin III, D, M. Barrows, F, T. Brown, P. Dabrowski, K. Gibson, G, T. Hardy, W, R. Herman, E. Hu, G. Krogdahl, A. Nelson, R. Overturf, K. Rust, M. Sealey, W. Skonberg, D. Souza, E. Stone, D. Wilson, R. Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*. 38: 551-579 pp.

Gaylord, T. Teague, A. Barrows, F. (2006). Taurine supplementation of all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the aquaculture society*. 37: 509-517 pp.

Glencross, B. Evans, D. Hawkins, W. Jones, B. (2004). Evaluation of dietary inclusion of yellow lupin (*Lupinus luteus*) kernel meal on the growth, feed utilization and tissue histology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 235: 411-422 pp.

Glencross, B. Hawkins, W. Evans, D. Rutherford, N. Mccafferty, P. Dods, K. Spsas, S. (2008). Assessing the implications of variability in the digestible protein and

energy value of lupin kernel meals when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*. 277: 251-262 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 pp.

Gómez, R, P. Mingarro, M. Calduch G, J, A. Médale, F. Martin, S, A, M. Houlihan, D, F. Kaushik, S. Pérez, S, J. (2004). Protein growth performance, amino acid utilization and somatotropic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*. 232: 493-510 pp.

H

Heikkinen, J. Vielma, J. Kemilainen, O. Tirola, M. Eskelinen, P. Kiuru, T. Navia, D. Wright, A. (2006). Effects of soybean meal based diet on growth performance, gut histopathology and intestinal microbiota of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 261: 259-268 pp.

J

Jobling, M. (1981). Temperature tolerance and the final preferendum-rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. *Journal of Fish Biology*. 19(4): 439-455 pp.

K

Kaushik, S, J. (1998). Whole body amino acid composition of European seabass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Sparus aurata*) and turbot (*Psetta maxima*) with an estimation of their IAA requirement profiles. *Aquatic Living Resources*. 11(5): 355-358 pp.

M

Maita, M. Aoki, H. Satoh, S. Okamoto, N. (1998). Watanabe Plasma biochemistry and disease resistance in yellowtail fed a non-fish meal diet. *Fish Pathol*. 33 (2): 59-63 pp.

Mambrini, M. Roem, J. Carvedi, J. Lalles. Jaushik. (1999). Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate and of DL-methionine supplementation in high-energy, extruded diets on the growth and nutrient utilization. *Journal of Animal Science*. 77: 2990 -2999 pp.

MAPAMA. (2010). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. *Trucha Arcoíris*. España.
<http://www.mapama.gob.es/app/jacumar/especies/Documentos/Trucha.pdf>

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*. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2004.00308.x. 10: 335-343 pp.

Médale, F. Boujard, T. Vallée, F. Blanc, D. Mambrini, M. Roem, A. Kaushik, J, S. (1998) Voluntary feed intake, nitrogen and phosphorus losses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed increasing dietary levels of soy protein concentrate. *Aquatic Living Resources*. 11: 239-246 pp.

Monge O, R. Martínez L, S. Márquez, L. Moyano, F. Jover C, M. Tomás V, A. (2016). Potential use of high levels of vegetal proteins in diets for market-sized gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Archives of animal nutrition*, 70(2).

Monge O, R. Tomás, V, A. Gallardo, A, F, J. Estruch, G. Godoy, O, S. Jover, C, M. Martínez, L, S. (2017). Partial and total fishmeal replacement by a blend of animal and plant proteins in diets for *Seriola dumerili* (Risso, 1810): Effects on performance and nutrient efficiency. *Aquaculture nutrition* (en revisión).

Morris, P, C. Gallimore, P. Handley, J. Hide, G. Haughton, P. Black, A. (2005). Full-fat soya for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in freshwater: Effects on performance, composition and fish fatty acid profile in absence of hind-gut enteritis. *Aquaculture*. 248: 147- 161 pp.

N

NRC (National Research Council, U. S). (2011). Committee on animal nutrition board on agriculture. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp.

O

Ogunkoya E. Page, G. Adewolu, M. Bureau, D. (2006). Dietary incorporation of soybean meal and exogenous enzyme cocktail can affect physical characteristics of fecal material egested by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 254: 466-475 pp.

P

Palmeigiano, G, B. Daprà, F. Forneris, G. Gai, F. Gasco, L. Guo, K. Peiretti, P, G. Sicuro, B. Zoccarato, I. (2006). Rice protein concentrate meal as a potential ingredient in

practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 258: 357-367 pp.

Peters D, R. Rodríguez de H, S. Hernández R, J. Mejías D, A. León N, A. (2004). Determinación del nivel óptimo de sustitución de la harina de pescado por harina de hidrolizado de plumas en el alimento para tilapia roja, *Oreochromis sp.* *Scientific Journal from the Experimental Faculty of Sciences*, 12(1): 13-14 pp.

Pokniak R, J. Espinoza L, M. Haardt W, E. Galleguillos M, C. (2010). Dietas de engorde con diferentes niveles de proteína para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Avances en Ciencias Veterinarias*, [online] 9(2). Available at: <http://www.avancesveterinaria.uchile.cl/index.php/ACV/article/view/4738/4624>.

R

Refstie, S. Helland, S. Storebakken, T. (1997). Adaptation to soybean meal in diets for rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 153: 263-272 pp.

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 pp.

Romarheim, O, H. Skrede, A. Gao, Y. Krogdahl, Å. Denstadli, V. Lilleeng, E. Storebakken, T. (2006). Comparison of white flakes and toasted soybean meal partly replacing fish meal as protein source in extruded feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 256: 354–364 pp.

Romarheim, O, H. Skrede, A. Penn, M. Mydland, L. Krogdahl, Å. Storebakken, T. (2008). Lipid digestibility, bile drainage and development of morphological intestinal changes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing defatted soybean meal. *Aquaculture*. 274: 329-338 pp.

S

Sandholm, M. Smith, J, R, R. Shih, H, C. Scott, M, L. (1976). Determination of antitrypsin activity on agar plates; Relationship between antitrypsin and biological value of soybean for trout. *Journal of Nutrition*. 106 pp.

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(5): 617-624 pp.

Sus, C, S. (2014). *Formulación de piensos sostenibles para la producción de *Seriola dumerili**. Grado. Universitat Politècnica de València.

T

Thiessen, D, L. MAENZ, D, D. Newkirk, R, W. Classe, H, L. DRew, M, D. (2004). Replacement of fishmeal by canola protein concentrate in diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture nutrition*. 10: 379-388 pp.

V

Villarino Marín, A. Moreno Posada, P. and Ortuño Soriano, I. (2005). *Valor nutritivo del pescado*. En: J. Román Martínez Álvarez, C. Gómez Candela, J. Aranceta Bartrina, A. Villarino Marín, P. Moreno Posada, C. Iglesias Rosado, C. de Arpe Muñoz, I. Ortuño Soriano, P. A. Pons Carreras and M. Cáceres Tejeda. *Nutrición y Salud*. Madrid: José Antonio Pinto Fontanillo. 51-62 pp.

X

Xie, S. Jokumsen, A. (1997). Incorporation of potato protein concentrate in diets for rainbow trout: effect on feed intake, growth and feed utilization. *Aquaculture nutrition*. 3: 223-226 pp.

Y

Yang, Y, H. Wang, Y, Y. Lu, Y. Li, K, Z. (2010). Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus excretion on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International*, doi: 10.1007/s10499-010-9359-y.

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 pp.

Yoshitomi, B. Aoki, M. Oshima, S. (2007). Effect of total replacement of dietary fish meal by low fluoride krill (*Euphausia superba*) meal on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in fresh water. *Aquaculture*. 266: 219-225 pp.

Z

Zhang, Y. Øverland, M. Shearer, K. Sørensen, M. Mydland, L. Storebakken, T. (2012). Optimizing plant protein combinations in fish meal-free diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by a mixture model. *Aquaculture*. 360-361: 25-36 pp.