

# **Evaluación de metales pesados en *Seriola dumerili* alimentada con diferentes niveles de harina de pescado**

Irati Rodríguez Iturbe

2019-2020

Tutoras: Ana Tomás Vidal – Silvia Martínez Llorens

## Resumen

En el presente Trabajo de Fin de Master se va a analizar si diferentes niveles de harina de pescado en piensos influyen en la concentración de metales pesados del filete de la *Seriola dumerili*. El objetivo de este estudio es estudiar los niveles de metales pesados y sus eficiencias de retención en *Seriola dumerili* alimentada con piensos con diferentes niveles de harina de pescado durante todo el periodo de engorde. Se ha podido concluir que cuanto menor es la concentración de harina de pescado en la alimentación de *S. dumerili*, menor es la concentración de metales en la carne, por lo que se recomienda la sustitución de esta materia prima o reducir la concentración de esta en el diseño de piensos.

**Palabras clave:** *Seriola dumerili*, metales pesados, harina de pescado, mercurio, cadmio y arsénico.

## Abstract

In the present Master's degree final project will be analyzed if different levels of fishmeal in the feed influence in the concentration of heavy metals of the *Seriola dumerili* filet. The purpose of this study is to consider the heavy metals levels and their retention efficiencies in the *Seriola dumerili* fed with different fishmeal levels feeds in the fattening period. It has been concluded that the lower the concentration of fishmeal in *S.dumerili's* food, the lower the concentration of metals in meat, therefore, it is recommended to replace this raw material or to reduce its concentration in feed design.

**Keywords:** *Seriola dumerili*, heavy metals, fish flour, mercury, cadmium and arsenic.

## ABREVIATURAS

Ag: plata.

As: arsénico.

Au: oro.

Cd: cadmio

CEC: Coeficiente de Eficacia de Crecimiento.

Cr: cromo.

Cu: cobre.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FC: Factor de condición.

Hg: mercurio.

ICA: Índice de Conversión del Alimento.

íCAR: Índice de Calidad de la Carne.

ID: Índice de Descabezado.

IGV: Índice de la Grasa Visceral.

IHS: Índice Hepatosomático.

IPNC: Índice de Partes No Comestibles.

IVS: Índice Viscero Somático.

LAC: Laboratorio de Acuicultura.

Pb: plomo.

PCB: bifenilos policlorados.

PCDD: dioxina.

PCDF: dibenzofuranos policlorados.

Pt: platino.

PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados.

TAD: Tasa de Alimentación Diaria.

TCI: Incremento de peso durante todo el experimento.

Ti: titanio.

UE: Unión Europea.

Zn: zinc.

## ÍNDICE

Antecedentes	5
Introducción	6
Harinas de pescado	6
Seguridad alimentaria: metales pesados	9
<i>Seriola dumerili</i>	11
Taxonomía	11
Distribución geográfica y hábitat	12
Biología y características distintivas	13
Crecimiento	13
Comportamiento alimentario	13
Producción y comercialización	13
Estudios y proyectos sobre las necesidades proteicas y fuentes alternativas a las harinas de pescado	15
Justificación y objetivos	16
Material y métodos	17
Resultados	27
Discusión	34
Conclusión	36
Bibliografía	37

## 1. ANTECEDENTES

Según la Organización para la Agricultura y la Alimentación de Naciones Unidas (FAO, 2020), desde 1970 hasta la fecha, las capturas en aguas marinas han permanecido estables, alrededor de 80 millones de toneladas a nivel global, pero en la década de los 90 la pesca extractiva empezó a experimentar los límites de los recursos pesqueros, lo que indica que los océanos se estaban explotando cerca de su producción máxima. Actualmente, la pesca extractiva cubre con dificultad la creciente demanda mundial de pescado para consumo humano, por lo que año tras año, la acuicultura va creciendo y contribuyendo en el suministro mundial de pescado, crustáceos y moluscos. Según la FAO (FAO, 2018), la acuicultura supondrá la única posibilidad de mantener la proporción actual de pescado en la dieta, y prevé que alcance al menos el 50% de la producción pesquera total en 2025.

El estancamiento de la pesca extractiva, hace de la acuicultura una clara y futura fuente de recursos pesqueros, siendo actualmente, la única alternativa viable para suministrar mariscos y algunos nutrientes esenciales para la dieta humana.

Una mayor demanda de pescado conlleva, por lo tanto, a incrementar la producción del sector acuícola para poder satisfacer las necesidades, con el consiguiente aumento de la demanda del pienso para peces. Los piensos tienen como ingredientes principales aceite y harina de pescado, que sirven para garantizar el contenido óptimo de aminoácidos y otros nutrientes necesarios para el buen crecimiento de los peces y la adecuada calidad de la carne. Se elaboran con el 56% y 87% de la producción global de aceite y harina de pescado, respectivamente.

Cabe la posibilidad de que en los próximos diez años la producción de aceite de pescado no satisfaga la demanda de la acuicultura (Kaushik, 2004; Tacon, 2005), y una situación parecida ocurre con la harina de pescado cuya producción ha permanecido estable desde 1980 (FAO, 2020).

Los recursos limitados, el aumento de la demanda y el precio de harina y aceite de pescado, son factores que han llevado al sector acuícola a buscar fuentes alternativas de proteínas y lípidos que resulten sostenibles en dicha industria. También habría que considerar los aspectos de calidad y seguridad del pescado en lo que a metales pesados se refiere, puesto que la dieta es la principal vía de exposición humana a estos metales (Castro-Gonzalez y Mendez-Armentab, 2008).

## 2. INTRODUCCIÓN

El consumo per cápita de los alimentos que engloba el total de pesca se sitúa en los 23,07 kg/persona/año en 2018, una cantidad un 2,8% menor respecto a 2017. De entre los diferentes productos, el más consumido son los pescados frescos, con una ingesta media de 10,07 kg (-4,5% en comparación con 2017). Le siguen las conservas de pescado y molusco, cuyo consumo per cápita aumenta un 1,2% y es de 4,47 kg. Luego, con una variación del consumo -6,0% (la mayor de todas), se sitúan los mariscos/moluscos frescos, cuya ingesta media es de 3,31 kg. Finalmente, se encuentran los pescados congelados con un consumo per cápita de 2,46 kg, seguido de los mariscos/moluscos congelados y cocidos, cuya ingesta media es de 2,20 kg y 0,56 kg respectivamente (MAPA, 2018).

El pescado es una fuente vital de alimento para cientos de millones de personas en todo el mundo. En 2008, alrededor del 81% (115 millones de toneladas) de las estimaciones de la producción mundial de pescado se utilizó como alimento humano con un promedio per cápita de 17 kg (FAO, 2010a). El consumo de pescado proporciona una importante fuente de proteínas, ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), vitaminas liposolubles y minerales esenciales, que se asocian con los beneficios para la salud y el crecimiento normal (Daviglius et al., 2002; Wim et al., 2007). Según las estadísticas de la FAO en 2015, el pescado representó alrededor del 17% de la proteína animal y el 7% de todas las proteínas consumidas por la población mundial (FAO, 2018).

### 2.1 Harinas de pescado

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”. A esto, se ha asociado en las últimas décadas la posible contaminación de las harinas y el aceite 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.

Las proteínas alternativas no pueden sustituir totalmente a la harina de pescado cuando se utilizan como único ingrediente. La sustitución total de la harina de pescado presenta algunas limitaciones en las dietas de los peces, debido a la falta de aminoácidos esenciales, a antinutrientes que se encuentran particularmente en las proteínas vegetales (Krogdahl et al., 2010), como inhibidores de tripsina, fitasas o saponinas, o alto contenido en fibra (Francis et al., 2001), que pueden causar, entre otros una disminución de la actividad de las enzimas proteolíticas, alteración de la funcionalidad e inflamación intestinal (Estruch et al., 2018a), o cambios en la microbiota (Estruch et al., 2015) que pueden derivar desde una reducción de la digestibilidad de las proteínas (Monge-Ortiz et al., 2016), hasta una inmunosupresión y altas mortalidades (Estruch et al., 2018b). El mejor crecimiento y las mejores eficiencias de retención de nitrógeno se producen cuando se utiliza una combinación de fuentes de proteínas, con el fin de complementar las deficiencias de aminoácidos entre una fuente con otras limitantes, como se ha comprobado en los trabajos realizados previamente en *Sparus aurata* (Kissil y Lupatsch, 2004; Sánchez-Lozano et al., 2009), y otras especies, como *Salmon salar* (Espe, 2006).

Por esta razón, la combinación de proteínas animales con proteínas vegetales en las dietas de los peces podría ser beneficiosa para paliar las deficiencias de aminoácidos de algunas fuentes de proteínas, reduciendo así los compuestos de antinutrientes y evitando la suplementación con aminoácidos sintéticos, la falta de palatabilidad (Oliva-Teles, 2012) y otras afecciones como el "hígado verde" (Takagi et al., 2005), muy concurrente en especies del género *Seriola*.

Por lo tanto, la evaluación de los ingredientes de los piensos es crucial para la investigación nutricional y el desarrollo de piensos para las especies de acuicultura (Glencross et al., 2007). Es necesario optimizar las fuentes alternativas de proteínas y sus niveles de inclusión en las dietas de los peces para que la producción acuícola sea más eficiente y rentable.

Por otro lado, debido a que la mayoría de los metales traza tienden a acumularse en los diferentes órganos del cuerpo, estos metales son peligrosos para los peces y a su vez producen serios problemas tanto en el hombre como en los animales (Marzouk, 1994). Los peces pueden absorber los elementos disueltos y metales traza de sus dietas de alimentación y del agua circundante, lo que conduce a su acumulación en diversos tejidos en cantidades significativas, y exhibe efectos toxicológicos en los criterios de selección (McCarthy y Shugart, 1990).

Las concentraciones de metales pesados suelen estar determinadas por variables como la contaminación del agua, la actividad minera y las actividades de tratamiento de efluentes en la región pesquera (Kulkarni, 2005). Muchos iones de metales pesados como  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Au}^{3+}$ ,  $\text{Pt}^{4+}$  y  $\text{Ti}^+$  son preocupantes porque son altamente tóxicos y están presentes en diversas corrientes de desechos que pueden contaminar el medio ambiente. Por lo tanto, la separación y prevención segura, eficiente y rentable de estos metales tóxicos es de gran preocupación en el escenario ambiental de hoy en día (De Rore et al., 1994).

Los desechos generados por la industria de elaboración de pescado consisten principalmente en las partes digestivas, el hígado, el riñón y la piel de los peces y cefalópodos, que suelen estar contaminados con altos niveles de metales pesados tóxicos, son los que se utilizan habitualmente para la producción de harinas de pescado, por lo que es probable que la harina de pescado o de calamar producida esté contaminada con estos metales pesados (Murthy et al., 2013).

Los niveles más altos de metales pesados observados podrían atribuirse al hecho de que los órganos internos forman las principales zonas de acumulación de metales pesados (Murthy et al., 2013). Los valores de cadmio analizados en órganos como el hígado/hepatopáncreas, piel e intestino, especialmente en cefalópodos superaban el límite aceptable según las normas de la UE (más de  $> 3$  ppm) (Murthy et al., 2008; 2009).

Frente a los beneficios que presenta su consumo, uno de los principales problemas que afecta al pescado es el nivel de contaminantes químicos (tanto orgánicos como inorgánicos) que pueden incorporar las distintas especies comerciales (Hites et al., 2004; Corsolini et al., 2005; Dórea, 2008). Este hecho podría llegar a limitar su consumo en determinados grupos de riesgo (niños, mujeres embarazadas y lactantes). En los piensos comerciales de uso en acuicultura, el aceite de pescado es la fuente más importante de contaminantes orgánicos persistentes (policlorobifenilos, policlorobifenilos de tipo dioxina, pesticidas organoclorados e hidrocarburos policíclicos aromáticos), mientras que las harinas de origen marino suelen contener metales pesados (mercurio, cadmio, arsénico, etc.) (Smith y Gangolli, 2002; Dórea, 2009). Por consiguiente, para garantizar la seguridad alimentaria de los consumidores, la UE ha establecido unos límites máximos para la mayoría de estos compuestos, tanto en el pienso como en el pescado destinado al consumo (Reglamento (CE) número 199/2006 de la Comisión de 3 de febrero de 2006). Por todo ello, el control de las materias primas utilizadas en la formulación de los piensos es esencial para garantizar la disminución, si no la ausencia, de contaminantes que podrían acumularse en el pescado. En

este sentido, la sustitución de las harinas y los aceites de pescado por ingredientes vegetales en los piensos puede reducir el nivel de compuestos orgánicos persistentes y metales pesados en el pescado. De este modo, diversos estudios revelan una reducción sustancial de los niveles de residuos de organoclorados tanto en salmón atlántico (Bell et al., 2005; Berntssen et al., 2005) como en trucha arcoíris (Drew et al., 2007).

Además, algunos estudios han observado que la harina de pescado que se produce industrialmente contiene una mayor cantidad de metales pesados. Por lo que al sustituir la harina de pescado por otras alternativas también se disminuiría la concentración de los metales.

## 2.2. Seguridad alimentaria: metales pesados

Dado que el pescado constituye una parte importante de la dieta humana, no es de extrañar que los aspectos de calidad y seguridad del pescado sean de particular interés. En los últimos decenios, las concentraciones de metales pesados en el pescado se han estudiado ampliamente en diversos lugares del mundo. Dado que la dieta es la principal vía de exposición humana a los metales pesados (Castro-Gonzalez y Mendez-Armentab, 2008), el mayor interés se centró en las especies comerciales comestibles.

Los peces producidos pueden absorber elementos disueltos y metales traza de sus dietas de alimentación y el agua circundante, lo que lleva a su acumulación en varios tejidos en cantidades significativas (McCarthy y Shugart, 1990) y exhiben efectos toxicológicos en organismos objetivo (Ali y Abdel-Satar, 2005).

Se podría estimar la ingesta media diaria de metales por persona, multiplicando la cantidad media de pescado consumido por persona por la concentración media de cada metal en los peces. Por lo que se podría decir que la dosis de un metal tóxico que se obtiene de los peces no sólo depende de la concentración de un metal específico en el pescado, sino también de la cantidad de pescado (ingesta) consumido.

Aunque es bien sabido que el músculo del pescado no es un tejido activo en la acumulación de metales pesados (Bahnasawy et al., 2009), algunos estudios se ocuparon de las concentraciones de metales pesados en los músculos de los peces, porque es la porción más consumida. Además, se documentó que algunos peces de las regiones contaminadas pueden acumular cantidades sustanciales de metales en sus tejidos que a veces superan los niveles máximos aceptables (Kalay et al., 1999).

Muchos investigadores indicaron que la bioacumulación de metales pesados de los peces depende de las especies, hábitos de alimentación (como carnívoros, herbívoros, omnívoros y limnívoros) y los hábitats de las especies están fuertemente relacionados con la acumulación (Al-majed y Preston, 2000; Yilmaz, 2005). Además, a las diferencias de especies, las variaciones de las concentraciones de metales pesados en las diferentes especies de peces también pueden atribuirse a la variedad de razones que incluyen: tamaño (peso y longitud del cuerpo), sexo, edad y las tasas de crecimiento de las especies de peces, así como los tipos de tejidos analizadas, y las condiciones fisiológicas (Canli y Atli, 2003; Raja et al., 2009; Naeem et al., 2011).

Las diferencias en los medios acuáticos en relación con el tipo y el nivel de la contaminación del agua, la forma química del metal en el agua, la temperatura del agua, valor de pH, concentración de oxígeno disuelto, transparencia del agua, son otros factores que influyen en las concentraciones de metales pesados en las diferentes especies de peces.

También está documentado que las ubicaciones geográficas y la temporada de captura podrían llevar a diferentes concentraciones de metales incluso en la misma especie de peces (Dural et al., 2007; Bahnasawy et al., 2009). Kilgour (1991) indicó que los animales que tienen una estrecha relación con sedimento, muestran concentraciones corporales relativamente altas de metales.

Los metales pesados, como Cu, Zn, Pb, Hg, As, Cr y Cd, son constituyentes normales del medio ambiente marino y siempre se encuentran rastros en los organismos marinos (Johnston, 1976). Por lo tanto, las personas que consumen grandes cantidades de pescado o mariscos de zonas estuarias o costeras asociadas a la industria química corren el riesgo de intoxicación por metales pesados (Mahmood et al., 1995). Por otra parte, ya se sabe que los metales pesados de los sistemas acuáticos quedan atrapados en el sedimento (Juanicó et al., 1995) y podrían bioacumularse a través de los organismos que se alimentan de él (Tarifeno et al., 1982; Liang et al., 1999).

La carne (músculo) es el órgano de pescado más importante en lo que respecta a la acumulación de compuestos tóxicos porque es el más consumido. Jezierska y Witeska (2001), en un examen exhaustivo de los metales pesados en los peces, afirman que "el hígado y los riñones de los peces son los órganos más cargados". Los músculos, en comparación con otros tejidos, suelen contener bajos niveles de metales. A veces, incluso cuando la concentración en el hígado es alta, los niveles musculares pueden ser indetectables. El Hg es probablemente la única excepción en la que la concentración de carne puede superar a la de otros órganos.

Numerosos estudios recientes han confirmado que el hígado, los riñones, las branquias y las espinas de los peces tienen concentraciones mucho más altas de metales pesados que los músculos y la piel, con la excepción del Hg (Hamza-Chaffai et al., 1996; Zhou et al., 1998; Storelli y Marcotrigiano, 2001; Wong et al., 2001; Coetzee et al., 2002; Farkas et al., 2002). Los resultados de numerosos experimentos y mediciones realizados también confirman este hecho: con la excepción del Hg, la concentración de metales pesados en la carne era generalmente menor que en el hígado y los huesos.

Liang et al. (1999) estudiaron las cantidades de Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni presentes en seis especies de peces, estas fueron criadas en aguas residuales tratadas secundariamente durante más de 1 año; encontraron acumulación de metales pesados en los sedimentos del estanque y en la red alimentaria (fito y zooplancton), pero las concentraciones en la carne de pescado estaban dentro del rango permitido por las normas alimentarias.

Feldite et al., 2008 añadieron metales pesados a los piensos, tras un periodo de alimentación se analizaron los metales Cd y Pb. El cadmio no se detectó, incluso cuando su concentración en el pienso era 8 veces superior a la permitida en el estándar alimentario, y sólo superaba el estándar permitido cuando su concentración en el pienso era superior a 9-10 veces este estándar. El Pb en la carne siempre estuvo por debajo del estándar.

Por otra parte, el cadmio y el plomo tienden a acumularse en las branquias, porque tienen superficies muy grandes que facilitan la rápida difusión de los metales tóxicos, y probablemente, esto sugiere que los metales acumulados en las branquias se concentran principalmente en el agua (Dural et al. 2007; El-Moselhy et al., 2014).

### 2.3. *Seriola dumerili*

#### 2.3.1. Taxonomía

La *Seriola mediterránea* o *Seriola dumerili* (Risso, 1810) (Figura 1), es un pez teleosteo perciforme perteneciente a la familia *Carangidae*, al orden *Perciformes* y a la clase *Actinopterygii* y dentro del género *Seriola* existen 47 especies.

García-Gómez y Díaz (1995) aclaran que esta especie recibe distintos nombres comunes a lo largo de los diferentes países del Mediterráneo y de Europa.



**Figura 1.** Ejemplar de *Seriola dumerili*. Fuente: <http://www.flmnh.ufl.edu>

### 2.3.2. Distribución geográfica y hábitat

La seriola se encuentra en las regiones subtropicales a lo largo de todo el mundo (Figura 2). En la región del Pacífico indo-occidental, esta especie se ha encontrado en SudÁfrica, el Golfo Pérsico, Sur de Japón y las Islas Hawaianas, sur de Nueva Caledonia, y las Islas Mariana y Carolina en Micronesia. En el Oeste del Océano Atlántico, la seriola se sitúa en Nueva Escocia, Canadá, Sur de Brasil incluyendo las Islas Bermudas, el Golfo de México y el Mar Caribe. Sin embargo, la seriola mediterránea se suele confundir bastante a menudo con la *Seriola carpenteri*, debido a referencias pasadas (Gándara et al., 2003).

La seriola es un pez tanto epibéntico como pelágico, esto es vive tanto en la columna de agua del océano como sobre la superficie del fondo marino. Se trata de una especie subtropical que se encuentra a menudo cerca de arrecifes o en hoyos profundos en mar abierto. Puede aparecer a una profundidad de entre 18 - 72 metros, pero también se han encontrado alrededor de los 360 metros. Los ejemplares juveniles viajan formando grupos de pequeño o mediano tamaño, mientras que los adultos viajan en solitario.



**Figura 2.** Distribución geográfica de la *Seriola dumerili*. Fuente: <http://www.fishbase.org>

### 2.3.3. Biología y características distintivas

La seriola puede alcanzar una longitud total que ronda los 1,9 metros. Aunque se ha registrado un peso máximo para esta especie de 80,6 kg, normalmente suele estar alrededor de 18 kg. Las hembras tienen un tamaño mayor y tienen una duración de vida mayor que los machos. Se cree que la esperanza de vida máxima está entorno a los 17 años.

### 2.3.4. Crecimiento

Su rápido crecimiento hace que esta especie sea interesante desde el punto de vista de la producción acuícola. Holthus y Lovatelli (2008) afirmaron que la seriola tiene un crecimiento muy rápido pudiendo alcanzar el kilo en un año. También afirmaron que la temperatura óptima para su crecimiento estaba entre 20 y 24º C, siendo mortales temperaturas inferiores a los 9ºC, y que los límites más bajos de salinidad que toleraba la especie son de 16 ‰.

### 2.3.5. Comportamiento alimentario

Como se ha podido comprobar en numerosos estudios publicados sobre la alimentación de la *Seriola dumerili* en la naturaleza, es una especie oportunista que se alimenta de peces bentónicos o pelágicos.

Badalamenti et al. (1995) realizaron un análisis de los contenidos estomacales de la seriola mediterránea y afirmaron que se presentaban tres fases diferentes de predación, dependiendo del tamaño de los ejemplares: hasta los 8 cm se alimentaban exclusivamente de zooplancton, entre los 8 y 12 cm incorporaban a su dieta elementos bentónicos y nectónicos (son organismos pelágicos que se pueden desplazar activamente independientemente de las corrientes, a diferencia del plancton) a parte del zooplancton y a partir de los 12 cm sólo se alimentaban a base de nectónicos y nectobentónicos (que se mueven cerca del fondo).

Las menores de 18,5 cm de longitud, mostraron un régimen planctónico a base de larvas de decápodos, de anfípodos y de gasterópodos pelágicos, mientras que las adultas mostraron un régimen alimenticio piscívoro. Tras examinar el contenido estomacal de los adultos vieron que las presas más frecuentes fueron: *Boops*, *Loligo spp.*, *Sardinella aurita*, *Sardina pilchardus* y *Sepia officinalis* (Andaloro y Pipitone, 1995).

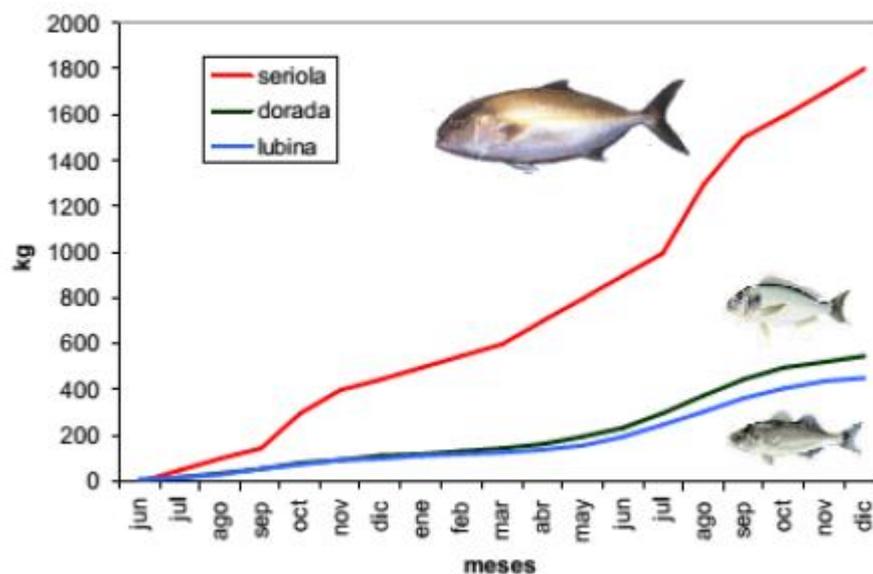
### 2.3.6. Producción y comercialización

El sector de la acuicultura busca nuevas alternativas para mejorar su rentabilidad y una mayor diversificación de especies para mejorar la rentabilidad de la producción, obtener

nuevos mercados y satisfacer las necesidades del consumidor, por lo que muchas empresas acuicultoras han demostrado un gran interés por la *Seriola dumerili*.

Ésta especie reúne muchas características que satisfacen los criterios de selección de nuevas especies para la acuicultura, entre ellas su excelente calidad de la carne, alta demanda, un buen precio de mercado y un rápido crecimiento en su medio natural (Andaloro et al., 1992; Thompson et al., 1999), de ahí que su homóloga japonesa (*S. quinqueradiata*) se cultive con gran popularidad en Japón, debido a la gran exigencia que conlleva el tipo de carne en la elaboración del sushi y sashimi.

Como se puede observar en la figura 3 la seriola tiene un crecimiento mucho más rápido que la dorada y la lubina, este crecimiento es 10 veces superior que, en el caso de la lubina, pudiendo incluso superar el kilo en un año (Gándara, 2003). Otra característica importante es su buena adaptación a la cautividad, con altos índices de crecimiento y supervivencia cuando se alimenta con peces de bajo valor o alimento seco (García, 1993; García y Díaz, 1995).



**Figura 3.** Crecimiento de seriola, dorada y lubina, criadas en instalaciones experimentales en tierra (De la Gándara, 2003).

En cuanto al comercio de *Seriola dumerili*, éste se ha basado principalmente en la captura de alevines del medio para ser engordados hasta el tamaño comercial, debido a que era muy difícil reproducir esta especie en cautividad. Fue en 2002 cuando se consiguió el desove natural de las seriolas juveniles capturadas sin inducción hormonal, llevado a cabo por el IEO (Jerez et al., 2006). La empresa PROMAN S.L. consiguió reproducir esta especie en

cautividad y producir comercialmente alevines en 2008, fue la empresa Futuna Blue España S.L. quien consiguió efectuar con éxito sus primeras ventas comerciales de seriola en 2013, (Mispeces.com, 2008, 2009, 2010a, 2010b; Futuna Blue España S.L., 2013).

### 2.3.7. Estudios y proyectos sobre las necesidades proteicas y fuentes alternativas a las harinas de pescado

No existen muchos estudios que estudien los requerimientos nutricionales de *S. dumerili*, mientras que si hay publicaciones en los que se estudia el efecto de diferentes formulaciones de dietas para especies del género seriola, incluyendo *Seriola quinqueradiata*, *Seriola lalandi* y *Seriola dumerili* (Takii et al., 1990; Takeuchi et al., 1992; Masumoto et al., 1996; Jover et al., 1999; García-Gómez, 2000; Watanabe et al., 2000; Tomás et al., 2005 y 2008) y la mayoría de ellas están relacionadas con la optimización de los niveles proteicos, o con la sustitución de harinas de pescado por otras fuentes animales o vegetales. Según estos estudios, se sabe que las especies del género seriola crecen mejor con piensos con altos niveles proteicos (55%), debido a que se trata de una especie que tiene un crecimiento muy elevado (Masumoto et al., 1998; Jover et al., 1999; Tomás et al., 2008).

Se han llevado a cabo numerosos estudios con distintas fuentes proteicas en seriola japonesa para poder sustituir la harina de pescado de las dietas por otras fuentes proteicas alternativas y poder llevar a cabo una línea más sostenible en el sector de la acuicultura. Numerosos investigadores (Viyakarn et al., 1992; Shimeno et al., 1992, 1993a, 1993b, 1993c y 1994; y Watanabe et al., 1992) probaron con la soja, que presentaba muy buenos resultados, tenía un precio asequible y no presentaba problemas de palatabilidad para los peces.

Sustituciones de la harina de pescado por la de soja en un 30 o 40% no tienen efectos negativos en el crecimiento de la *Seriola* japonesa.

Recientemente se han comenzado a llevar a cabo estudios en *Seriola dumerili* como los descritos en *S. quinqueradiata*, por ser ambas especies muy similares en cuanto a características ecológicas y morfológicas.

Tomás et al. (2005) estudiaron la sustitución de la harina de pescado por turtó de soja, obteniendo un máximo de sustitución del 30% sin afectar al crecimiento y parámetros nutritivos. Una sustitución completa de la harina de pescado no resultó viable para alimentación de *S. dumerili* (Monge et al., 2018), ya que causaba una disminución en la eficiencia de retención de los aminoácidos esenciales digestibles y de la energía a largo plazo. Además, causaba una elevada mortalidad debido a la escasa respuesta inmunológica a los

patógenos oportunistas. Con un 66% de sustitución de la harina de pescado por una mezcla vegetal y animal se obtuvo un buen crecimiento y eficiencia de los nutrientes además de una alta supervivencia (Monge et al., 2018).

También se estudió una mezcla de aceite de palma y aceite de linaza en una proporción de 4:1 para sustituir el aceite de pescado completamente en las dietas de alevines de *S. dumerili* donde se comprobó que esta sustitución no afectaba al rendimiento del crecimiento, la utilización del alimento y la salud de los peces (Monge et al., 2018).

### 3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Dado que el pescado constituye una parte importante de la dieta humana, no es de extrañar que los aspectos de calidad y seguridad del mismo sean de particular interés. En las últimas décadas, las concentraciones de metales pesados en el pescado se han estudiado ampliamente en diversos lugares del mundo, debido a que los peces pueden absorber elementos disueltos y metales traza de sus dietas de alimentación y el agua circundante, lo que lleva a su acumulación en varios tipos en cantidades significativas (McCarthy y Shugart, 1990) y exhiben efectos toxicológicos en organismos objetivo (Ali y Abdel-Satar, 2005).

Por otro lado, el sector de la acuicultura europea ha mostrado un interés en la diversificación de la acuicultura poniendo un especial énfasis en las especies de crecimiento rápido (Mazzola et al., 2000), como *S. dumerili*, ya que pueden mejorar la competitividad de las empresas de acuicultura. Las especies de rápido crecimiento requieren altos niveles de proteína en la dieta (450-550 g/kg), y la sustitución de la proteína por otros nutrientes, como los lípidos o los carbohidratos, no es la mejor solución para la formulación de alimentos en esta especie. Esta proteína debe ser además de alta calidad, en este sentido, la harina de pescado es una fuente de proteínas ideal para los peces carnívoros pues contiene una composición equilibrada de aminoácidos, un alto contenido de fósforo y minerales y altos coeficientes de digestibilidad. Sin embargo, su elevado costo motivó su reducción en los alimentos para peces.

Para evitar la dependencia de la harina de pescado, las dietas deben contener altas cantidades de proteínas que estén más ampliamente disponibles y que tengan precios de mercado más bajos y estables que este recurso marino. Las proteínas alternativas incluyen una amplia gama de proteínas vegetales o animales con precios competitivos (Martínez-Llorens et al., 2012).

Además, de la reducción de costes, es importante tener en cuenta que la disminución de la harina de pescado en pienso para peces reduciría las concentraciones de los metales pesados, ya que estas harinas tienen origen en especies pelágicas que contienen una alta concentración de dichos metales. El aceite y la harina de pescado se obtienen principalmente a partir de pequeños peces pelágicos, tales como anchoas, sardinas, caballas, arenques y pescadillas.

Por todo ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar los niveles de metales pesados y sus eficiencias de retención en *Seriola dumerili* alimentada con piensos con diferentes niveles de harina de pescado durante todo el periodo de engorde.

#### **4. MATERIAL Y MÉTODOS**

La fase experimental del proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio de Acuicultura (LAC), del Departamento de Ciencia Animal de la Universitat Politècnica de València, de agosto a noviembre del año 2014. La instalación consiste en un circuito cerrado de agua de mar, procedente del puerto de Sagunto, que se renueva periódicamente, y con una serie de líneas para llevar a cabo varias pruebas de crecimiento simultáneas e independientes. En el caso del presente estudio, los animales se alojaron en los tanques de la Línea 1.

##### **4.1. Instalaciones**

###### **4.1.1 Tanques**

Las tres dietas se ensayaron por duplicado en 6 tanques de hormigón (Figura 4), y se destinaron dos tanques para cada una de ellas. Los tanques contaban con un volumen aproximado de 4000 L cada uno, con forma de octaedro regular y con una profundidad de 1'25 metros, por los que recircula el agua, las aguas sucias de los tanques son conducidas mediante un sistema de canaletas por gravedad hasta una tubería de polietileno hasta llegar al aljibe a la entrada del cual se sitúa el filtro mecánico. El agua retorna del aljibe a los tanques impulsada por una bomba.



**Figura 4.** Detalle de los tanques octogonales de la línea 1 del LAC.

#### 4.1.2. Sistema de bombeo

La instalación cuenta con un circuito hidráulico de grandes dimensiones, siendo necesaria la instalación de 3 bombas (Figura 5) para impulsar el agua del aljibe: una se encarga de impulsar el agua a los tanques, conduciéndola primero al biofiltro; la segunda conduce el agua a los tanques, una vez ya ha pasado por el biofiltro y la tercera bomba funciona de reserva, en caso de que las dos anteriores no funcionen correctamente. La instalación también cuenta con una bomba de calor/frío, permitiendo que haya así una temperatura constante durante todo el año.



**Figura 5.** Sistema de bombeo.

#### 4.1.3 Sistema de depuración de agua

##### 4.1.3.1 Filtro mecánico y biofiltro

Se emplea un filtro rotatorio de tambor (Figura 6) que se utiliza para eliminar las partículas en suspensión. Además, cuenta con un dispositivo de limpieza compuesto por un chorro a presión de agua dulce para eliminar las partículas que quedan retenidas en la malla de dicho filtro.

El Biofiltro (Figura 7) se encarga de reducir la concentración de amonio en el agua, procedente de las excreciones metabólicas de los peces, de reducir la materia orgánica nitrogenada de las heces y de las partículas de pienso no ingeridas. Está provisto de un material plástico que sirve de soporte a las poblaciones bacterianas que se encargan de la depuración biológica del agua, llamado comúnmente como biobolas. Las Nitrosomonas transforman el amoniaco en nitritos (que resulta tóxico para los peces) y las del género Nitrobacter, que oxidan los nitritos a nitratos, los cuales son inocuos para los peces.



**Figura 6.** Filtro rotatorio de tambor.



**Figura 7.** Detalle del interior del biofiltro.

#### 4.2. Diseño experimental

##### 4.2.1 Peces

El experimento se inició el día 18 de agosto de 2014, 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. El resumen del diseño experimental se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Datos iniciales del experimento.

EXPERIMENTO	
Peso inicial (g)	400
Total de individuos	60
Individuos por tanque	10
Sistema experimental	6 tanques de 4000 L
Tipos de piensos	FM 100, FM 66, FM 33
Alimentación	2 veces al día, manual
Réplicas	2
Duración (días)	85
Muestreos	Mensual

#### 4.2.2. Pienso experimentales

Todos los piensos experimentales que se utilizaron en el presente proyecto fueron elaborados mediante un proceso de cocción - extrusión en la Fábrica de Pienso del Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de València. Para ello se empleó un extruder semi - industrial de la casa Cletral modelo BC45 (Figura 8).



**Figura 8.** Extruder semi-industrial, modelo BC45.

Se fabricaron tres piensos con distintos niveles de sustitución de harina de pescado. El pienso control o pienso FM 100 contenía como única fuente de proteínas y lípidos harina de pescado y aceite de pescado, y en los piensos FM 66 y FM 33, la harina de pescado fue sustituida en un 33% y un 66%, respectivamente (Tabla 2) y (Tabla 3), por una mezcla de ingredientes vegetales y animales (gluten de trigo, gluten de maíz, krill desengrasado y harina de carne). Las dietas se diseñaron 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. Como se puede observar en la tabla 2.

**Tabla 2.** Ingredientes y composición proximal de las dietas experimentales (Herrera Castillo, 2016).

DIETAS	FM 100	FM 66	FM 33
<b>INGREDIENTES (g/kg)</b>			
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 <sup>1</sup>	20	20	20
<b>Composición aproximada (g/kg materia seca)</b>			
Materia Seca	888	888	895
Proteína Bruta	521	568	594
Grasa Bruta	139	142	138
Cenizas	103	106	147

<sup>1</sup>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: 75mg.

**Tabla 3.** Composición de aminoácidos de las dietas experimentales (Herrera Castillo, 2016).

	<b>DIETAS EXPERIMENTALES</b>		
	<b>FM 100</b>	<b>FM 66</b>	<b>FM 33</b>
<b>AEE (g /100 - g)</b>			
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
<b>AANE (g 100 / g)</b>			
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

#### 4.2.3. Rutina de trabajo: control de los parámetros físico - químicos del agua y control de crecimiento de los peces

Durante todo el experimento, se llevaron a cabo una serie de controles para el desarrollo idóneo de las seriolas hasta su tamaño comercial. Estos controles iban desde la calidad del agua, la revisión de la instalación, la alimentación de los peces hasta el control del crecimiento de los ejemplares de seriola.

Dos veces por semana, se comprobaba la concentración de oxígeno, la temperatura del agua, la salinidad y pH, y se anotaba todo ello en un estadillo para su control. El oxígeno se medía con un oxímetro portátil o sonda (OxyGuard Handy Polaris) (Figura 9).

La salinidad se medía mediante un refractómetro (Hanna Instruments) (Figura 10); el pH, con tiras de papel de tornasol y las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos, mediante test colorímetro (MERCK) (Figura 11).



**Figura 9.** Oxímetro portátil o sonda.

**Figura 10.** Refractómetro.



**Figura 11.** Tiras de papel de tornasol para medida de pH (izquierda) y test colorímetro para concentración de amonio, nitratos y nitritos (MERCK) (derecha).

La alimentación se realizaba de manera manual hasta 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. 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 y se anotaba el peso y el número del tanque de donde se había producido la baja.

Una vez al mes, normalmente los lunes coincidiendo con que los peces habían estado 24 horas en ayunas antes del control, se llevaba a cabo un muestreo en el LAC, para conocer la evolución del crecimiento de los peces. Para extraer los peces, se vaciaban los tanques para facilitar la captura, se extraían los peces con ayuda de un gran salabre (Figura 12) y se depositaban en unos cubos previamente llenados con agua y con unas gotas de esencia de clavo (Figura 13), un anestésico para facilitar su manejo y que los animales no sufrieran durante el proceso.



**Figura 12.** Extracción de peces.



**Figura 13.** Cubo con esencia de clavo para anestésiar.

Los parámetros de crecimiento y de eficiencia nutritiva que se obtuvieron en el presente proyecto se consiguieron mediante las expresiones: Tasa de Crecimiento instantáneo o TCI (muestra el incremento de peso durante todo el experimento), Tasa de Alimentación Diaria o TAD (expresa la relación existente entre la ingesta total y la biomasa del pez), Coeficiente de Eficacia de Crecimiento o CEC (expresa por cada gramo que pesa el pez los gramos de proteína que ha ingerido), Índice de Conversión del Alimento o ICA (es la proporción existente entre la cantidad de alimentos distribuidos (en kg) y la ganancia de peso de los peces (en kg), en el mismo período de tiempo) y la Supervivencia.

#### 4.2.4. Controles finales. Biometrías e índices biométricos.

Al finalizar el experimento, varios peces de cada tanque se sacrificaron en una disolución con agua y sobredosis de esencia de clavo para su posterior análisis. Cuando morían se les pesaba, y se les medía con una regla graduada desde la boca hasta el extremo de la aleta caudal. Se solían escoger los peces de mayor y menor tamaño de cada tanque para que la media de los datos resultara ser más fiable en la determinación de las características fisiológicas y parámetros corporales.

Los parámetros que fueron medidos durante la realización de los análisis biométricos de los peces fueron: Longitud total (cm), peso total (g), peso visceral (g), peso del hígado (g), peso de la cabeza (g), peso de las aletas (g), peso del raquis (g) y peso del filete (g).

Se estudiaron los siguientes índices biométricos: Factor de condición o FC (se emplea para comparar la condición o bienestar de un pez, basándose en que los peces de mayor peso, a una determinada longitud, presentan una mejor condición), Índice Viscero Somático o IVS, Índice Hepatosomático o IHS, Índice de la Grasa Visceral o IGV, índice de la Calidad de la Carne o íCAR, Índice de Partes No Comestibles o IPNC y el Índice de Descabezado o ID.

#### 4. 3. Metales pesados

Se analizaron ocho metales pesados (cobre, zinc, cromo, plomo, níquel, cadmio, arsénico y mercurio) en los ingredientes, las dietas experimentales y en el músculo de los peces.

Se liofilizaron seis muestras de filetes de cada tratamiento para el análisis de los metales pesados. Se digirieron 0,5 g de la muestra liofilizada con 5 ml de HNO<sub>3</sub> Suprapur® en viales de teflón para descomponer las muestras a 100 °C durante 3 horas. Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica de llama con un instrumento Varian Spectraa 220 para las determinaciones de Cu, Zn y Cd según Niencheski (2006).

Para determinar el arsénico, las muestras se digirieron con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno en un digestor de microondas (Start D, Milestone, Italia) a 170 °C. La cuantificación se realizó con una espectrometría de emisión de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP MS) (7700x, Agilent Technologies, Japón) utilizando una llamada de colisión con el He, según AOAC (2012).

La determinación del mercurio total se realizó mediante una espectrometría de absorción atómica de descomposición y amalgamación térmica (DMA-80, Milestone, Italia) que mide la absorción de Hg en 253,7 nm, según Paiva y otros (2016).

La exactitud de los resultados analíticos se comprobó mediante el análisis de materiales de referencia. DORM-4 -Material de referencia certificado de proteína de pescado para metales traza (NRC-CNRC) se utilizó para el cadmio, el cobre, el zinc y el arsénico. En el caso del mercurio, se utilizó como material de referencia el TORT-2 - Material de Referencia para Rastros de Metales de Langosta (NRC-CNRC). Los resultados obtenidos para las muestras de referencia estuvieron en buena concordancia (+ 8 %) con los valores certificados.

#### 4.4. Análisis estadístico

La metodología seguida para poder observar las variaciones de los metales y para poder visualizar las diferencias ha consistido en realizar distintos tipos de representaciones gráficas. Los primeros gráficos representan cada metal en los diferentes tipos de harina. Se sigue con la representación de los metales en los filetes de pescado y, por último, se pueden observar los metales en los filetes de pescado.

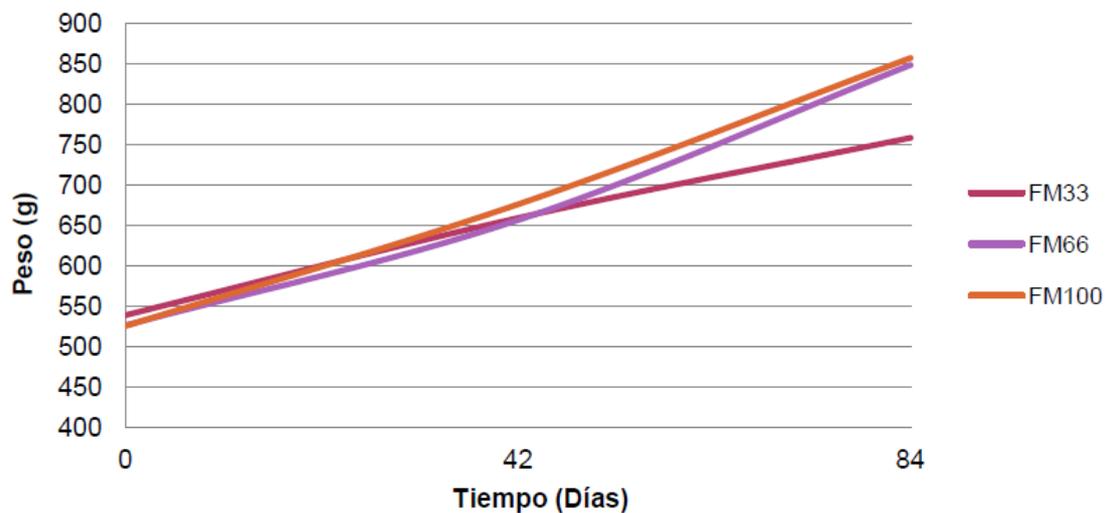
Los datos de crecimiento, la utilización del alimento y todos los datos obtenidos se evaluaron mediante un análisis unidireccional de la varianza (ANOVA), con el peso vivo inicial como covariable (Snedecor y Cochran, 1971). La prueba de Newman-Keuls se utilizó para evaluar las diferencias específicas entre las dietas a un nivel de  $p < 0,05$  (Statgraphics, Statistical Graphics System, Version Plus 5.1, Herndon, Virginia, USA).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Crecimiento

En la Figura 20 se observa la evolución del peso medio de las seriolas alimentadas con las tres dietas experimentales. Tras el primer muestreo, el crecimiento de los peces alimentados con el tratamiento FM33 fue menor, y se mantuvo así hasta el final del estudio, siendo la dieta con la que los peces tuvieron menor crecimiento.

Los peces del tratamiento FM66 a partir de los 42 días, experimentaron un gran crecimiento hasta casi alcanzar el de la dieta control al finalizar el ensayo.

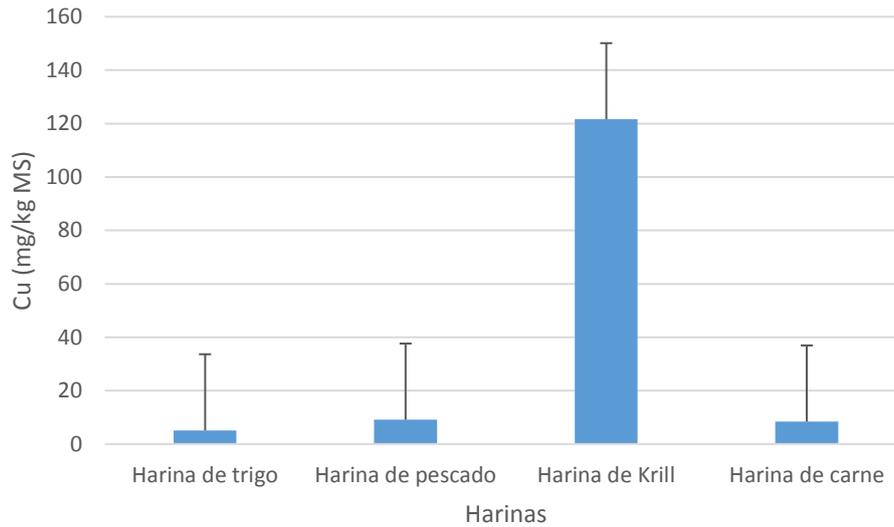


**Figura 20.** Evolución del peso medio de las seriolas alimentadas con los piensos experimentales.

### Metales pesados

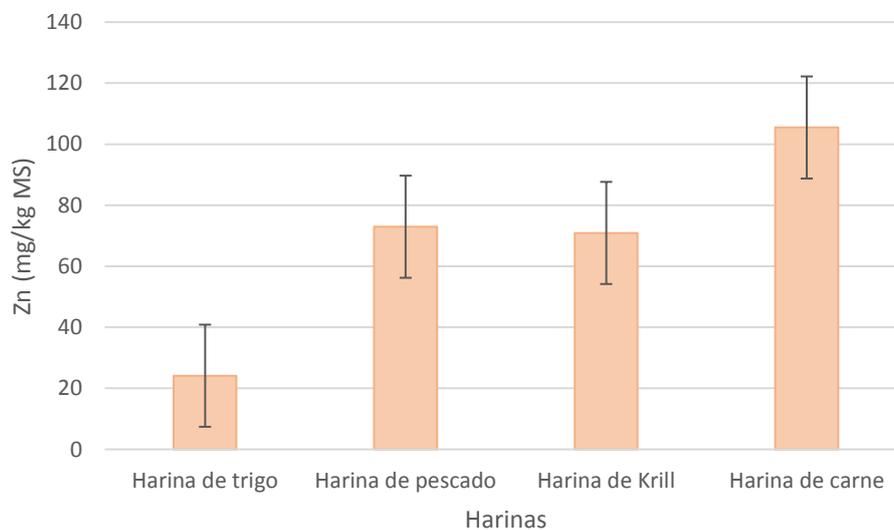
En primer lugar, se analizó la composición de metales pesados de las diferentes materias primas que componían los piensos, analizándose cobre, zinc, plomo, níquel, cromo, cadmio, arsénico y mercurio tal y como se puede apreciar en las siguientes figuras.

En la Figura 21, se puede observar la concentración de cobre en las diferentes harinas donde claramente fue superior en la harina de krill. En las otras harinas el valor es bastante similar.



**Figura 21.** Concentraci3n de cobre en los diferentes tipos de harinas. . Los datos representan la media  $\pm$  error estàndar (n=3).

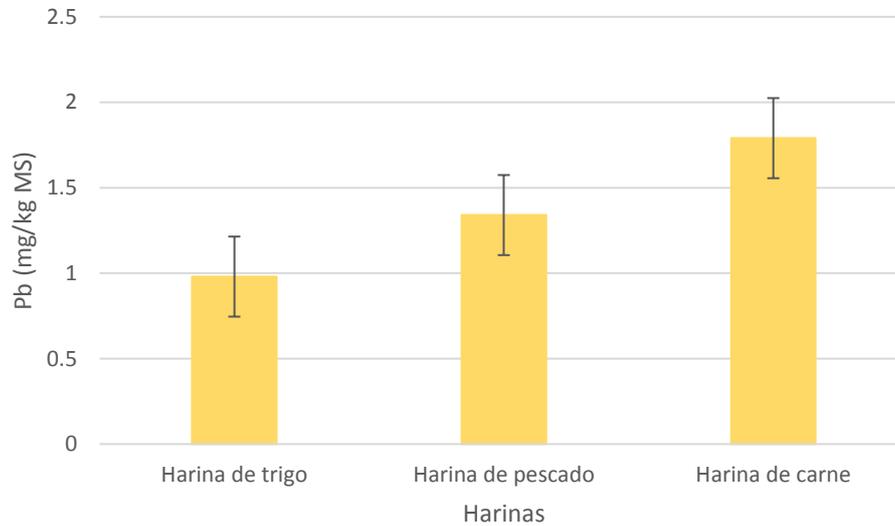
Como se puede observar en la Figura 22, la concentraci3n de zinc es mucho mayor que la de cobre. En este caso la mayor concentraci3n se observa en la harina de carne, seguida de la harina de pescado, la harina de krill y por ùltimo la harina de trigo.



**Figura 22.** Concentraci3n de zinc en los diferentes tipos de harinas. . Los datos representan la media  $\pm$  error estàndar (n=3).

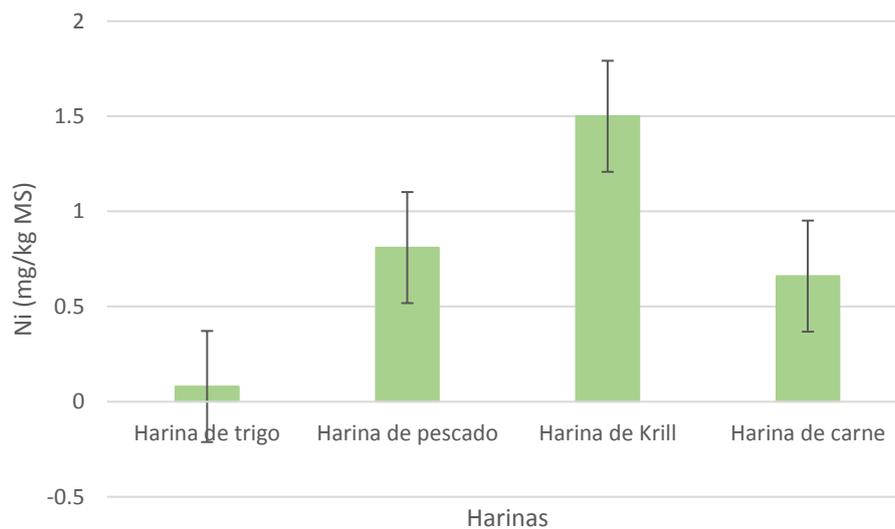
En lo referente al cromo solo se observ3 una peque1a cantidad de este metal en la harina de trigo, mientras que en las demàs harinas no se obtuvo ninguna concentraci3n relevante.

En el caso del plomo (Figura 23) se observa que en la harina de krill era inapreciable mientras que la harina de carne es la que mayor concentración de plomo tiene, le sigue la harina de pescado y por último la harina de trigo.



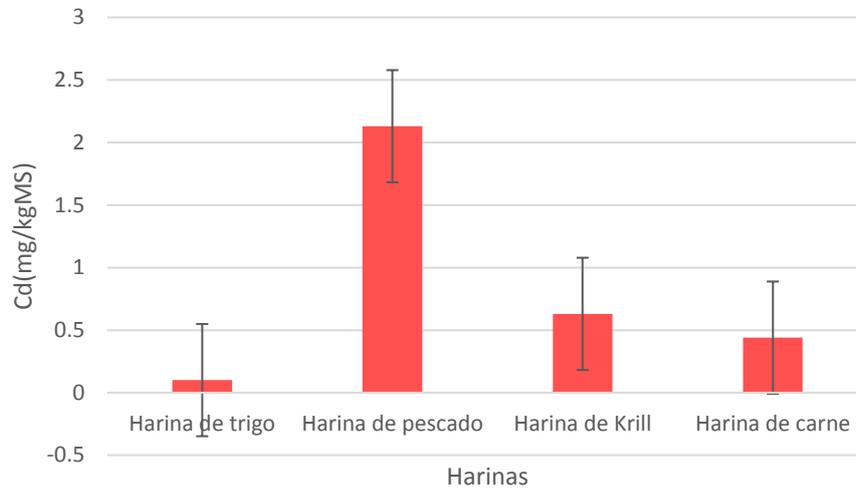
**Figura 23.** Concentración de plomo en los diferentes tipos de harinas. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar (n=3).

En el caso del níquel (Figura 24) los valores observados son bastante dispares, la harina de krill es la que tiene un mayor valor de este metal y la harina de trigo la que menor. La harina de pescado y carne tienen unos valores similares.



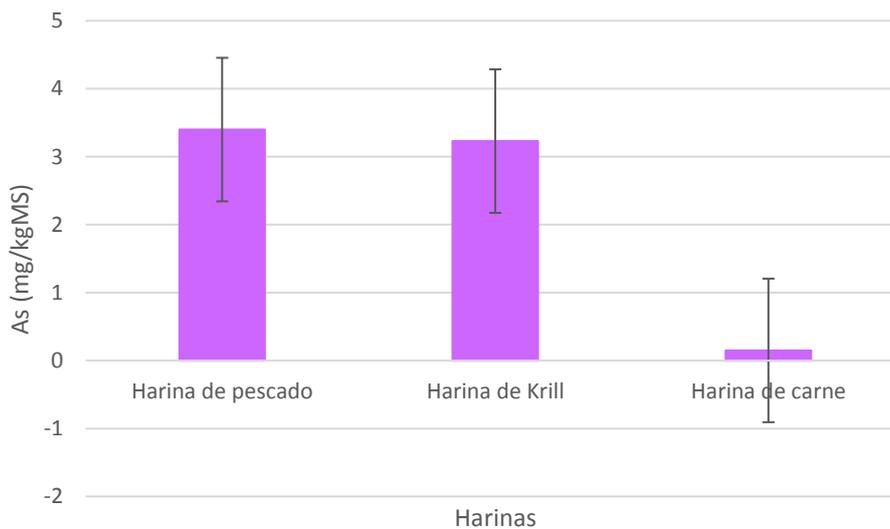
**Figura 24.** Concentración de níquel en los diferentes tipos de harinas. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar (n=3).

En la Figura 25, se puede observar la concentración de cadmio que hay en las diferentes harinas, en este caso como en los anteriores la harina de trigo es la que tiene el menor valor. La harina de pescado es la que tiene la mayor concentración de este metal. Las otras dos harinas tienen valores similares.



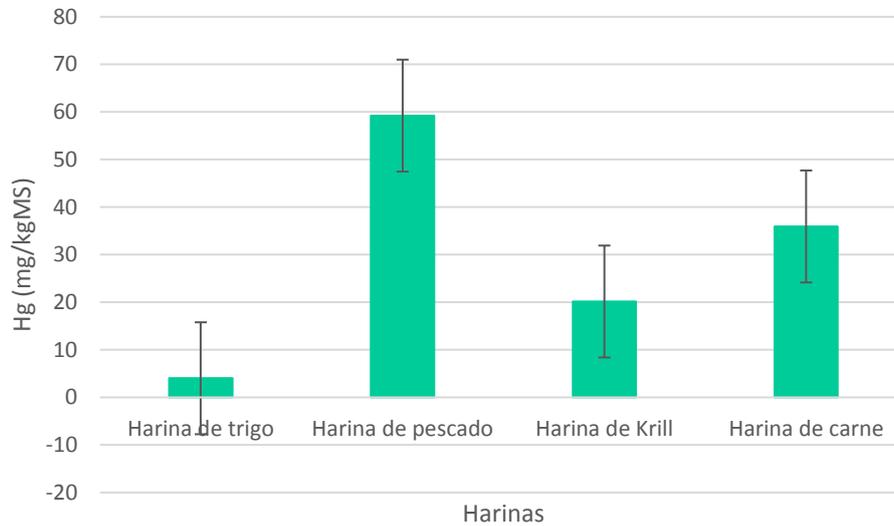
**Figura 25.** Concentración de cadmio en los diferentes tipos de harinas. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar (n=3).

Respecto al arsénico, se observa en la Figura 26 que la harina de pescado y la de krill tienen los valores más altos y parecidos, mientras que la harina de carne tiene unos valores más bajos, y en el trigo fue indetectable.



**Figura 26.** Concentración de arsénico en los diferentes tipos de harinas. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar (n=3).

Y, por último, el mercurio como se puede observar en la Figura 27 está presente en las cuatro harinas teniendo la mayor concentración en la harina de pescado y la menor en la harina de trigo.

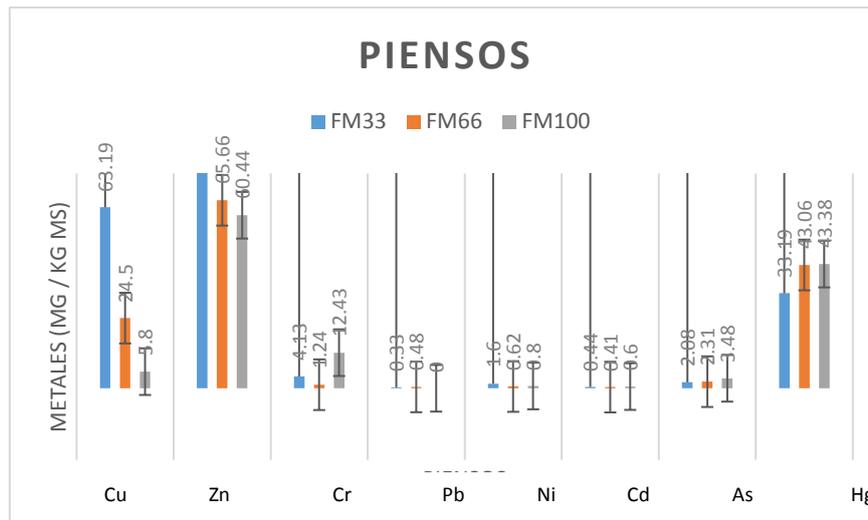


**Figura 27.** Concentración de mercurio en los diferentes tipos de harinas. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar (n=3).

En lo referente a los piensos se puede observar (Figura 28) como los metales cobre, zinc y mercurio son los metales más abundantes. Comentar que en el zinc del FM33 el valor es tan alto (432,77 mg/kg) que se saldría de la gráfica por lo que se ve cortado, ya que sino no se verían bien los demás valores.

Resumiendo, las mayores-menores concentraciones de metales en los tres piensos serían como vemos a continuación:

- FM33 : Zn > Cu > Hg > Cr > As > Ni > Cd > Pb
- FM66 : Zn > Hg > Cu > As > Cr > Ni > Pb > Cd
- FM100 : Zn > Hg > Cr > Cu > As > Ni > Cd > Pb

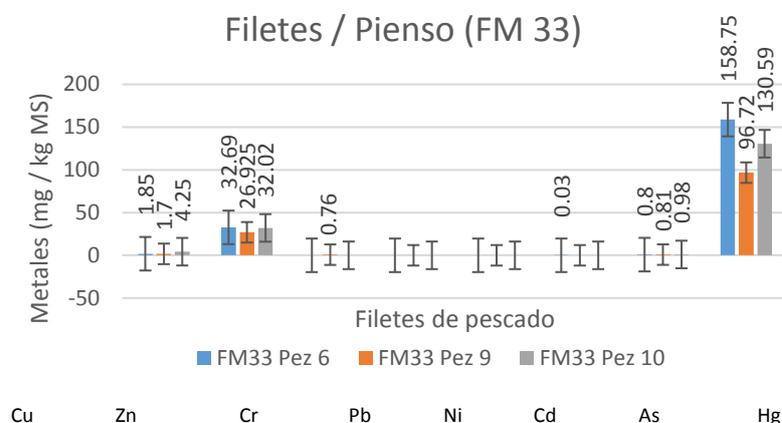


**Figura 28.** Concentración de metales pesados en los diferentes tipos de piensos. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar.

Una vez analizados todos los valores de metales pesados, vemos que la mayor concentración, en general, se da en el pienso FM 100.

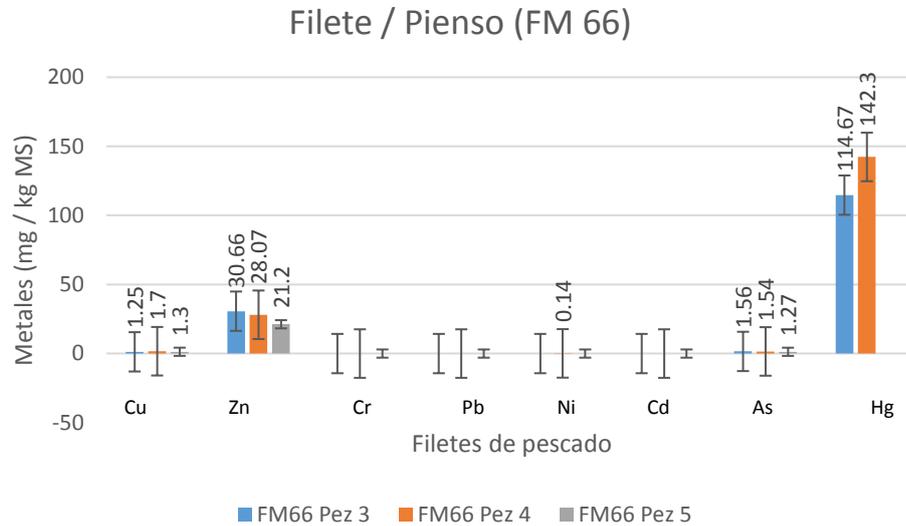
#### Filetes de pescado

En la Figura 29, vemos los niveles de los metales pesados en los filetes de las seriolas alimentadas con el pienso FM33, al finalizar el experimento. Cabe mencionar que a pesar que esta prueba tuvo una duración de aproximadamente tres meses, los peces venían de una prueba anterior en la que ya estaban consumiendo los mismos piensos, con una duración mayor a cinco meses. Se observa, como en peces alimentados con el mismo pienso (FM 33) la concentración de los metales es bastante similar; sin embargo, se puede comprobar como hay una variación en los valores de mercurio, siendo este más alto en un pez (pez 6) que en otro.



**Figura 29.** Concentración de metales en filetes de las seriolas alimentadas con el pienso FM33. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar.

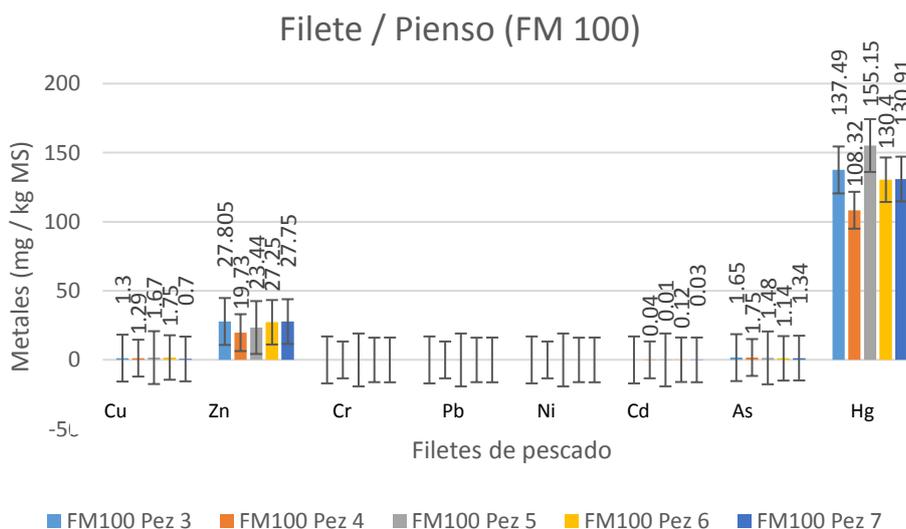
Los valores de los metales observados en los peces alimentados con el pienso FM 66 se pueden observar en la Figura 30, donde se puede comprobar que los valores de los metales son menores que la de los filetes que han sido alimentados con FM 33.



**Figura 30.** Concentración de metales en filetes de las seriolas alimentadas con el pienso FM33.

Los datos representan la media  $\pm$  error estándar.

En la Figura 31 observamos los resultados del análisis de metales pesados en las seriolas alimentadas con el FM100, se puede comprobar como hay más peces analizados, ya que había más filetes de este tratamiento. El metal con mayor valor es el mercurio.



**Figura 31.** Concentración de metales en filetes de las seriolas alimentadas con el pienso FM100. Los datos representan la media  $\pm$  error estándar.

En la Tabla 4 se muestran las diferencias en cuanto a los metales analizados entre los filetes de seriola alimentadas con los diferentes piensos.

**Tabla 4.** Composición de metales pesados de los filetes de seriola (mg 1000 g DM) alimentados con las dietas experimentales (Monge-Ortiz et al., 2020).

	<b>FM 100</b>	<b>FM 66</b>	<b>FM 33</b>	<b>MEDIA</b>
<b>Arsénico</b>	1,40 <sup>a</sup>	1,38 <sup>a</sup>	0,81 <sup>b</sup>	1,19
<b>Cadmio</b>	0,04	0,00	0,01	0,016
<b>Cobre</b>	1,34	1,42	2,6	1,787
<b>Mercurio</b>	0,13	0,11	0,12	0,12
<b>Zinc</b>	25,2	26,6	30,5	27,43

Los medios en la misma fila con diferentes letras de superíndice son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Prueba de Newman-Keuls  $n=6$ .

## 6. DISCUSIÓN

La UE ha establecido niveles máximos en los alimentos comerciales para varios de los metales pesados que se examinan en este documento, en ningún caso los niveles de metales pesados superan los permitidos. En el presente trabajo, únicamente se encontraron diferencias en el arsénico, cuya concentración era menor en los peces alimentados con las dietas FM 33 y FM 66 que en los peces alimentados con la dieta de control (FM 100). El arsénico se bioacumula por los organismos marinos (Edmond y Francesconi, 2003) y las seriolas alimentadas con una dieta con menor cantidad de harina de pescado tenían concentraciones de arsénico más bajas. Los niveles de arsénico total entre 3 y 8 mg/kg son típicos de esta materia prima en la literatura, sin embargo, la forma de relevancia toxicológica, es decir, el arsénico inorgánico, suele constituir menos del 1,2% de la concentración total de arsénico (Sloth et al. 2005).

Los niveles analizados de cadmio, mercurio y arsénico están muy por debajo de los niveles aceptables, por lo que los metales presentes en los filetes de las diferentes dietas no representan un peligro para la salud.

En otros estudios, se ha visto que los altos niveles de metales en las dietas, como el zinc en el FM 100 o el cobre en la dieta del FM 33, no afectan significativamente a la composición del pescado, ya que no se bioacumulan en el músculo. El músculo tiene el nivel más bajo de bioacumulación de metales, siendo los principales órganos diana, el hígado y las

branquias (Yousafzai et al., 2012; El Moselhy et al., 2014). El cobre y el zinc se acumulan principalmente en el hígado, lo que probablemente esté relacionado con su papel en el metabolismo, relacionado con una proteína de unión natural como las metalotioninas y actúan como reservorio de estos metales para satisfacer su demanda en los procesos metabólicos o enzimáticos (Roesijadi, 1996; Amiard et al., 2006; Görür et al., 2012).

Por otra parte, el cadmio y el plomo tienden a acumularse en las branquias, porque tienen superficies muy grandes que facilitan la rápida difusión de los metales tóxicos, y probablemente, sugirió que los metales acumulados en las branquias se concentran principalmente en el agua (Dural et al. 2007; El-Moselhy et al., 2014).

**Tabla 5.** Concentraciones medias para tres metales (mg / kg MS) por pez.

	<b>Cu (mg/kg MS)</b>	<b>Zn (mg/kg MS)</b>	<b>Cd (mg/kg MS)</b>
<b>Seriola</b>	1,787	27,43	0,016

Al observar las tablas 5 y 6 se puede observar las diferentes concentraciones de metales en diferentes especies de acuicultura disponibles en el mercado español, llevado a cabo en estudios previos. En el caso de *S. dumerili* se puede ver como la concentración de cobre y cadmio es menor que en las demás especies, mientras que si se compara el zinc este es más alto en la especie estudiada que en las demás, a excepción del rodaballo.

**Tabla 6.** Medias para tres metales (mg / kg MS) por pez con intervalos de confianza 95% (Martínez-Llorens et al., 2013).

	<b>Cu (mg/kg MS)</b>	<b>Zn (mg/kg MS)</b>	<b>Cd (mg/kg MS)</b>
<b>Corvina (n=3)</b>	3,04	20,70	0,71
<b>Dorada (n=9)</b>	3,60	18,84	0,85
<b>Lubina (n=10)</b>	3,85	20,20	0,80
<b>Panga (n=1)</b>	2,30	16,40	0,93
<b>Rodaballo (n=4)</b>	2,33	39,47	0,82
<b>Salmón (n=2)</b>	2,45	8,86	0,73
<b>Tilapia (n=2)</b>	3,03	16,96	0,89
<b>Trucha (n=12)</b>	3,08	24,14	0,71

La contaminación por metales pesados en los alimentos es uno de los temas de mayor importancia a nivel mundial, estos metales no son biodegradables y tienden a bioacumularse en el musculo y en las vísceras de los animales lo que constituyen un riesgo para la salud, cuando consumimos estos subproductos adquirimos el metal que el animal ha acumulado y se establece una cadena acumulativa que eleva peligrosamente su concentración.

A nivel global y local se identifican un problema de crecimiento de contaminación por metales pesados, que compromete severamente la salud, seguridad alimentaria y medio ambiente. Los estudios demuestran que este problema no es solo en el pescado, sino también con otros tipos de alimento, como se ha visto en la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua, pastos o forrajes contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb), lo que influye sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche y carne.

Se puede comprobar como el problema de metales pesados abarca a todo tipo de alimento, por lo que habría que controlar y realizar estudios para poder controlar esto. En este caso una vez realizado todo el procedimiento mencionado en los anteriores apartados y analizados los resultados obtenidos, se ha podido observar que cuanto menor es la concentración de harina de pescado en la alimentación de en este caso *S. dumerili* menor es la concentración de metales, por lo que se recomienda la sustitución de esta harina o disminuir la concentración de esta.

## 7. CONCLUSIÓN

De los resultados del presente experimento se puede concluir que el nivel de harina de pescado, afecta a la concentración de metales pesados de los filetes de *Seriola dumerili*.

Los menores niveles de metales pesado se han dado en los filetes de seriolas que se han alimentado con el menor nivel dietario de harina de pescado.

En ningún caso, los niveles de metales pesados analizados superan los niveles permitidos, siendo en general, concentraciones reducidas, cuando se comparan con otras especies de acuicultura.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Ali, M. H. H., & A.M. Abdel-Satar, 2005. Studies of some heavy metals in water, sediment, fish and fish diet in some fish farms in El-Fayoum Province, Egypt. *Egyptian. J. Aquat. Res.* 31, 261–273.

Al-Majed, N. B., & Preston, M. R. (2000). An assessment of the total and methyl mercury content of zooplankton and fish tissue collected from Kuwait territorial waters. *Marine Pollution Bulletin*, 40(4), 298-307.

Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Barka, S., Pellerin, J., & Rainbow, P. S. (2006). Metallothioneins in aquatic invertebrates: their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquatic Toxicology*, 76(2), 160-202.

Andaloro, F., Potoschi, A., & Porrello, S. (1992). Contribution to the knowledge of growth of greater amberjack, *Seriola dumerili* (Cuv., 1817) in the Sicilian Channel (Mediterranean Sea). *Rapp. Comm. int. Mer Medit*, 33, 282.

Andaloro, F., & Pipitone, C. (1995). Food and feeding habits of juvenile greater amberjack, *Seriola dumerili* (*Osteichthyes*, *Carangidae*) in shore waters of the central Mediterranean Sea. *Cybium*, 19 (3): 305-310

AOAC (2012) – *Official methods of analysis* of the Association of Official Analytical Chemists. 19<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, (2012). Cap. 9, met 999.10, p. 16-19.

Badalamenti, F., D'anna, G., Lopiano, L., Scilipoti, D., & Mazzola, A. (1995). Feeding habits of young-of-the-year greater amberjack *Seriola dumerili* (Risso, 1810) along the N/W Sicilian Coast. *Scientia Marina*, 59, 317-323.

Bahnasawy, M., Khidr, A. A., & Dheina, N. (2009). Seasonal variations of heavy metals concentrations in mullet, *Mugil cephalus* and *Liza ramada* (Mugilidae) from Lake Manzala, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 13(2), 81-100.

Bell, J. G., McGhee, F., Campbell, P. J., & Sargent, J. R. (2003). Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmon salar*): changes in flesh fatty acid

composition and effectiveness of subsequent fish oil “wash out”. *Aquaculture*, 218(1-4), 515-528.

Bell, J. G., McGhee, F., Dick, J. R., & Tocher, D. R. (2005). Dioxin and dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) in Scottish farmed salmon (Salmon salar): effects of replacement of dietary marine fish oil with vegetable oils. *Aquaculture*, 243(1-4), 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* (pp. 185-225). Springer, Dordrecht.

Berntssen, M. H., LUNDEBYE, A. K., & Torstensen, B. E. (2005). Reducing the levels of dioxins and dioxin-like PCBs in farmed Atlantic salmon by substitution of fish oil with vegetable oil in the feed. *Aquaculture Nutrition*, 11(3), 219-231.

Canli, M., & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental pollution*, 121(1), 129-136.

Castillo, H., & Margarith, N. (2016). Efecto 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*.

Castro-González, M. I., & Méndez-Armenta, M. (2008). Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental toxicology and pharmacology*, 26(3), 263-271.

Coetzee, L., Du Preez, H. H., & Van Vuren, J. H. J. (2002). Metal concentrations in *Clarias gariepinus* and *Labeo umbratus* from the Olifants and Klein Olifants River, Mpumalanga, South Africa: Zinc, copper, manganese, lead, chromium, nickel, aluminium and iron. *Water SA*, 28(4), 433-448.

Corsolini, S., Ademollo, N., Romeo, T., Greco, S., & Focardi, S. (2005). Persistent organic pollutants in edible fish: a human and environmental health problem. *Microchemical Journal*, 79(1-2), 115-123.

Daviglius, M., Sheeshka, J., & Murkin, E. (2002). Health benefits from eating fish. *Comments on Toxicology*, 8(4-6), 345-374.

De la Gándara, F. (2003). *Efecto de diversos Factores sobre el consumo de oxígeno de juveniles de seriola (Seriola dumerili Risso, 1810) en condiciones de cultivo*. Tesis Doctoral en Ciencias Biológicas. Universidad de Murcia. 249 pp.

De Rore, H., Top, E., Houwen, F., Mergeay, M., & Verstraete, W. (1994). Evolution of heavy metal resistant transconjugants in a soil environment with a concomitant selective pressure. *FEMS Microbiology Ecology*, 14(3), 263-273.

Dórea, J. G. (2008). Persistent, bioaccumulative and toxic substances in fish: human health considerations. *Science of the total environment*, 400(1-3), 93-114.

Dórea, J. G. (2009). Studies of fish consumption as source of methylmercury should consider fish-meal-fed farmed fish and other animal foods. *Environmental Research*, 109(1), 131-132.

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(1-4), 260-268.

Dural, M., Göksu, M. Z. L., & Özak, A. A. (2007). Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food chemistry*, 102(1), 415-421.

El-Moselhy, K. M., Othman, A. I., Abd El-Azem, H., & El-Metwally, M. E. A. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian journal of basic and applied sciences*, 1(2), 97-105.

Espe, M., Lemme, A., Petri, A., & El-Mowafi, A. (2006). Can Atlantic salmon (*Salmon salar*) grow on diets devoid of fish meal? *Aquaculture*, 255(1-4), 255-262.

Estruch, G., Collado, M. C., Monge-Ortiz, R., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., Peñaranda, D. S., & Martínez-Llorens, S. (2018). Long-term feeding with high plant protein based diets in

gilthead seabream (*Sparus aurata*, L.) leads to changes in the inflammatory and immune related gene expression at intestinal level. *BMC veterinary research*, 14(1), 302.

Estruch, G., Collado, M. C., Peñaranda, D. S., Vidal, A. T., Cerdá, M. J., Martínez, G. P., & Martínez-Llorens, S. (2015). Impact of fishmeal replacement in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on the gastrointestinal microbiota determined by pyrosequencing the 16S rRNA gene. *PloS one*, 10(8).

Estruch, G., Tomás-Vidal, A., El Nokrashy, A. M., Monge-Ortiz, R., Godoy-Olmos, S., Jover Cerdá, M., & Martínez-Llorens, S. (2018). Inclusion of alternative marine by-products in aquafeeds with different levels of plant-based sources for on-growing gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.): effects on digestibility, amino acid retention, ammonia excretion and enzyme activity. *Archives of animal nutrition*, 72(4), 321-339.

FAO, 2010a. The State of World Fisheries and Aquaculture, <<http://www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e.pdf>>.

FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture, <<http://www.fao.org/3/i9540es/i9540es.pdf>>.

FAO, 2010b. The international fish trade and world fisheries, <[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/newsroom/docs/fact\\_sheet\\_fish\\_trade\\_en.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/fact_sheet_fish_trade_en.pdf)>.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2020). *El estado actual de la pesca y la acuicultura*. FAO Fisheries Department. Roma, Italia. 231 pp.

Farkas, A., Salanki, J., & Specziar, A. (2002). Relation between growth and the heavy metal concentration in organs of bream *Abramis brama* L. populating Lake Balaton. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 43(2), 236-243.

Feldlite, M., Juanicó, M., Karplus, I., & Milstein, A. (2008). Towards a safe standard for heavy metals in reclaimed water used for fish aquaculture. *Aquaculture*, 284(1-4), 115-126.

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

FUTUNA BLUE ESPAÑA S.L.: *Producción de Juveniles de Seriola*. <http://www.futunablue.com>

García, A., & Díaz, M. V. (1995). Culture of *Seriola dumerili*. *Cahiers Options Méditerranéene*, 16, 103-114.

García Gomez, A. (1993). Primeras experiencias de crecimiento de juveniles de *Seriola mediterránea (Seriola dumerili, Riso 1810)* alimentados con una dieta semihúmeda. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 9(2), 347-360.

García-Gómez, A. (2000). Recent advances in nutritional aspects of *Seriola dumerili*. *Cahiers Options Mediterraneennes*, 47, 249-257.

Glencross, B. D., Booth, M., & Allan, G. L. (2007). A feed is only as good as its ingredients—a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture nutrition*, 13(1), 17-34.

Görür, F. K., Keser, R. E. C. E. P., Akçay, N. İ. L. A. Y., & Dizman, S. E. R. D. A. R. (2012). Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey. *Chemosphere*, 87(4), 356-361.

Hamza-Chaffai, A., Romeo, M., & El Abed, A. (1996). Heavy metals in different fishes from the middle eastern coast of Tunisia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(5), 766-773.

Herrera Castillo, N. M. (2016). Efecto 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*.

Hites, R. A., Foran, J. A., Carpenter, D. O., Hamilton, M. C., Knuth, B. A., & Schwager, S. J. (2004). Global assessment of organic contaminants in farmed salmon. *Science*, 303(5655), 226-229.

Holthus, P., & Lovatelli, A. (2008). *Capture-based Aquaculture*. Ed. FAO Fisheries Technical Paper, 508. Rome, Italy. 312 pp

Jerez, S., Samper, M., Santamaría, F. J., Villamandos, J. E., Cejas, J. R., & Felipe, B. C. (2006). Natural spawning of greater amberjack (*Seriola dumerili*) kept in captivity in the Canary Islands. *Aquaculture*, 252(2-4), 199-207.

Jezierska, B., & Witeska, M. (2001). Metal toxicity to fish. *Monografie. University of Podlasie (Poland)*.

Johnston, R. (1976). *Marine pollution*. London: Academic Press, p.705.

Jover, M., Garcia-Gómez, A., Tomas, A., De la Gándara, F., & Pérez, L. (1999). Growth of Mediterranean yellowtail (*Seriola dumerili*) fed extruded diets containing different levels of protein and lipid. *Aquaculture*, 179(1-4), 25-33.

Juanico, M., Ravid, R., Azov, Y., & Teltsch, B. (1995). Removal of trace metals from wastewater during long-term storage in seasonal reservoirs. *Water, Air, and Soil Pollution*, 82(3-4), 617-633.

Kalay, M., Ay, Ö., & Canli, M. (1999). Heavy metal concentrations in fish tissues from the Northeast Mediterranean Sea. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 63(5), 673-681.

Kaushik, S.J. (2004). Fish oil replacement in aquafeeds. *Aqua Feeds: Formulation and Beyond*, 1: 3-6.

Kilgour, B. W. (1991). Cadmium uptake from cadmium-spiked sediments by four freshwater invertebrates. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 47(1), 70-75.

Kissil, G. W., & Lupatsch, I. (2004). Successful replacement of fishmeal by plant proteins in diets for the gilthead seabream, *Sparus aurata* L.

Krogdahl, Å., Penn, M., Thorsen, J., Refstie, S., & Bakke, A. M. (2010). Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquaculture research*, 41(3), 333-344.

Kulkarni, P. (2005). *Current State and Influence of Import Requirements*.

Larsen, E. H., & Francesconi, K. A. (2003). Arsenic concentrations correlate with salinity for taken from the North Sea and Baltic waters. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, *83*, 283-284.

Liang, Y., Cheung, R. Y. H., & Wong, M. H. (1999). Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: bioaccumulation of trace metals in fish. *Water Research*, *33*(11), 2690-2700.

Mahmood, S. N., Naeem, S., Khan, F. A., & Qadri, R. B. (1995). Heavy metals in species of Pakistani commercial fish. *Tropical science*.

MAPA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España, 2018

Martínez-Llorens, S., Vidal, A. T., & Cerdá, M. J. (2012). A new tool for determining the optimum fish meal and vegetable meals in diets for maximizing the economic profitability of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) feeding. *Aquaculture Research*, *43*(11), 1697-1709.

Marzouk, M. (1994). Fish and environmental pollution. *Vet. Med. J*, *42*, 51-52.

Masumoto, T., Ruchimat, T., Ito, Y., Hosokawa, H., & Shimeno, S. (1996). Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture*, *146*(1-2), 109-119.

Masumoto, T., Itoh, Y., Ruchimat, T., Hosokawa, H., & Shimeno, S. (1998). Dietary amino acids budget for juvenile yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Bulletin of marine sciences and fisheries, Kochi University*, (18), 33-37.

Mazzola, A., Favalaro, E., & Sarà, G. (2000). Cultivation of the Mediterranean amberjack, *Seriola dumerili* (Risso, 1810), in submerged cages in the Western Mediterranean Sea. *Aquaculture*, *181*(3-4), 257-268.

McCarthy, J. F., & Shugart, L. R. (1990). Biomarkers of Environmental Contamination. Lewis Publ. Inc., Boca Raton, FL, USA, 457.

Mispecies.com, 2008 (abril). *PROMAN comercializará en junio alevines de seriolas listas para engordar en jaulas*. <http://www.mispecies.com/noticias/2008/abr/080407-alevines-seriolaproman.asp>

Mispecies.com, 2015 (enero). *Trabajo con merluza europea del IEO XIII premio JACUMAR de investigación en acuicultura*.  
[http://www.mispecies.com/nav/actualidad/noticias/noticia-detalle/Trabajo-con-merluza-europea-del-IEO-XIII-premio-JACUMAR-de-investigacin-en-acuicultura/#.Vdhh0\\_ntmko](http://www.mispecies.com/nav/actualidad/noticias/noticia-detalle/Trabajo-con-merluza-europea-del-IEO-XIII-premio-JACUMAR-de-investigacin-en-acuicultura/#.Vdhh0_ntmko)

Monge-Ortiz, R., Martínez-Llorens, S., Lemos-Neto, M. J., Falcó-Giaccaglia, S. L., Pagán, M. J., Godoy-Olmos, S., & Tomás-Vidal, A. (2020). Growth, sensory and chemical characterization of Mediterranean yellowtail (*Seriola dumerili*) fed diets with partial replacement of fish meal by other protein sources. *Aquaculture Reports*, *18*, 100466.

Monge-Ortiz, R., Martínez-Llorens, S., Márquez, L., Moyano, F. J., Jover-Cerdá, M., & Tomás-Vidal, 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), 155-172.

Monge-Ortiz, R., Tomás-Vidal, A., Gallardo-Álvarez, F. J., Estruch, G., Godoy-Olmos, S., Jover-Cerdá, M., & Martínez-Llorens, S. (2018). Partial and total replacement of fishmeal by a blend of animal and plant proteins in diets for *Seriola dumerili*: Effects on performance and nutrient efficiency. *Aquaculture Nutrition*, *24*(4), 1163-1174.

Monge-Ortiz, R., Tomás-Vidal, A., Rodríguez-Barreto, D., Martínez-Llorens, S., Pérez, J. A., Jover-Cerdá, M., & Lorenzo, A. (2018). Replacement of fish oil with vegetable oil blends in feeds for greater amberjack (*Seriola dumerili*) juveniles: Effect on growth performance, feed efficiency, tissue fatty acid composition and flesh nutritional value. *Aquaculture Nutrition*, *24*(1), 605-615.

Murthy, L. N., Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., & Badonia, R. (2013). Biochemical quality and heavy metal content of fish meal and squid meal produced in Veraval, Gujarat. ICAR.

Murthy, L. N., Panda, S. K., Madhu, V. R., Ashokan, P. K., Ghosh, S., Das, S., & Badonia, R. (2008). Cadmium in the purple back flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* (Lesson 1830) along north west coast of India.

Murthy, L. N., Panda, S. K., Khasim, D. I., & Badonia, R. A. J. E. N. D. R. A. (2009). Monitoring of cadmium accumulation in cephalopods processed in Gujarat Cost.

Naeem, M., Salam, A., Tahir, S. S., & Rauf, N. (2011). The effect of fish size and condition on the contents of twelve essential and non essential elements in *Aristichthys nobilis*. *Pakistan Veterinary Journal*, 31(2), 109-112.

Niencheski, L. F., & Fillmann, G. (2006). Contaminantes: metais, hidrocarbonetos e organoclorados. *Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Aspectos Metodológicos*, 63-118.

Oliva-Teles, A. (2012). Nutrition and health of aquaculture fish. *Journal of fish diseases*, 35(2), 83-108.

Paiva, E. L., Alves, J. C., Milani, R. F., Boer, B. S., Quintaes, K. D., & Morgano, M. A. (2016). Sushi commercialized in Brazil: Organic Hg levels and exposure intake evaluation. *Food Control*, 69, 115-123.

Raja, P., Veerasingam, S., Suresh, G., Marichamy, G., & Venkatachalapathy, R. (2009). Heavy metals concentration in four commercially valuable marine edible fish species from Parangipettai Coast, South East Coast of India. *International Journal of Animal and Veterinary Advances*, 1(1), 10-14.

Roesijadi, G. (1996). Metallothionein and its role in toxic metal regulation. *Comparative biochemistry and physiology part c: Pharmacology, toxicology and endocrinology*, 113(2), 117-123.

Sánchez-Lozano, N. B., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., & Cerdá, M. J. (2009). Effect of high-level fish meal replacement by pea and rice concentrate protein on growth, nutrient utilization and fillet quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*, L.). *Aquaculture*, 298(1-2), 83-89.

Sargent, J. R., Tocher, D. R., & Bell, J. G. (2003). The lipids. In *Fish nutrition* (pp. 181-257). Academic Press.

Shimeno, S., Hosokawa, H., Kumon, M., Masumoto, T., & Ukawa, M. (1992). Inclusion of defatted soybean meal in diet for fingerling yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(7), 1319-1325.

Shimeno, S., Hosokawa, H., Morie, H., Takeda, M., & Ukawa, M. (1992). Inclusion of defatted soybean meal to diet for young yellowtail [*Seriola quinqueradiata*]. *Suisanzoshoku (Japan)*.

Shimeno, S., Hosokawa, H., Fujita, T., Mima, T., & Ueno, S. I. (1993). Sparing of fish meal by inclusion of combinations of several protein sources in yellowtail diet. *Aquaculture Science*, 41(2), 135-140.

Shimeno, S., Kumon, M., Ando, H., & Ukawa, M. (1993). The growth performance and body composition of young yellowtail fed with diets containing defatted soybean meal for a long period. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59(5), 821-825.

Shimeno, S., Masumoto, T., Hujita, T., Mima, T., & Ueno, S. (1993). Alternative protein sources for fish meal in diets of young yelowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59(1), 137-143.

Shimeno, S., Mima, T., Kinoshita, H., & Kishi, S. (1994). Inclusion of malt protein flour to diet for fingerling yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 60(4), 521-525.

Sloth, J. J., Larsen, E. H., & Julshamn, K. (2005). Survey of inorganic arsenic in marine animals and marine certified reference materials by anion exchange high-performance liquid chromatography– inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(15), 6011-6018.

Smith, A. G., & Gangolli, S. D. (2002). Organochlorine chemicals in seafood: occurrence and health concerns. *Food and Chemical Toxicology*, 40(6), 767-779.

Storelli, M. M., & Marcotrigiano, G. O. (2001). Heavy metal monitoring in fish, bivalve molluscs, water, and sediments from Varano Lagoon, Italy. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66(3), 365-370.

Tacon, A. G. (2005). State of information on salmon aquaculture feed and the environment. *Report to the WWF Salmon Aquaculture Dialogue*, 80.

Tarifeno-Silva, E., Kawasaki, L. Y., Yu, D. P., Gordon, M. S., & Chapman, D. J. (1982). Aquacultural approaches to recycling of dissolved nutrients in secondarily treated domestic wastewaters—III uptake of dissolved heavy metals by artificial food chains. *Water Research*, 16(1), 59-65.

Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Ichiki, T., Munasinghe, D. M., Endo, M., & Sakai, T. (2005). The green liver syndrome is caused by taurine deficiency in yellowtail, *Seriola quinqueradiata* fed diets without fishmeal. *Aquaculture Science*, 53(3), 279-290.

Takeuchi, T.; Arakawa, T.; Satoh, S., & Watanabe, T. (1992). Supplemental effect of phospholipids and requirement of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid of juvenile Striped Jack. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(4): 707-713.

Takii, K. (1989). Evaluation of soy protein concentrate as a partial substitute for fish meal protein in practical diet for yellowtail. In *Proc. Third Int. Symp. on Feeding and Nutr. in Fish* (pp. 281-288).

Thompson, B. A., Beasley, M., & Wilson, C. A. (1999). Age distribution and growth of greater amberjack, *Seriola dumerili*, from the north-central Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 97(2), 362-371.

Tomás, A., De La Gándara, F., Garcia-Gomez, A., Perez, L., & Jover, M. (2005). Utilization of soybean meal as an alternative protein source in the Mediterranean yellowtail, *Seriola dumerili*. *Aquaculture Nutrition*, 11(5), 333-340.

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(10): 1991-2000.

Viyakarn, V. (1992). Use of soybean meal as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *日本水産学会誌*, 58(10), 1991-2000.

Watanabe, T.; Viyakarn, V.; Kimura, H.; Ogawa, K.; Okamoto, N., & Iso, N. (1992). Utilization of soybean meal as a protein source in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58: 1761–1773

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(6), 1053-1061.

Wim, V., Issabelle, S., Stefan, D., & John, V., 2007. Consumer perception versus scientific evidence of farmed and wild fish: exploratory insights for Belgium. *Aquacult. Int.* 15, 121–136.

Wong, C. K., Wong, P. P. K., & Chu, L. M. (2001). Heavy metal concentrations in marine fishes collected from fish culture sites in Hong Kong. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 40(1), 60-69.

Yilmaz, A. B. (2005). Comparison of heavy metal levels of grey mullet (*Mugil cephalus* L.) and sea bream (*Sparus aurata* L.) caught in Iskenderun Bay (Turkey). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29(2), 257-262.

Yousafzai, A. M., Siraj, M., Habib, A., & Chivers, D. P. (2012). Bioaccumulation of heavy metals in common carp: implications for human health. *Pakistan Journal of Zoology*, 44(2).

Zhou, H. Y., Cheung, R. Y. H., Chan, K. M., & Wong, M. H. (1998). Metal concentrations in sediments and Tilapia collected from inland waters of Hong Kong. *Water Research*, 32(11), 3331-3340.