



Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Licenciatura en Bioingeniería

Tesis

**Relaciones entre fuentes lipídicas de origen animal y vegetal en la
sustitución de aceite de pescado en dietas para jurel de Castilla
(*Seriola dorsalis*)**

Presenta:

Desiree Barba Carballo

Directores:

Dr. André Luiz Braga de Souza

Dr. David Cervantes Vásquez

Ensenada, Baja California, México, marzo de 2020

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

**RELACIONES ENTRE FUENTES LIPÍDICAS DE ORIGEN ANIMAL Y
VEGETAL EN LA SUSTITUCIÓN DE ACEITE DE PESCADO EN
DIETAS PARA JUREL DE CASTILLA (*SERIOLA DORSALIS*).**

TESIS

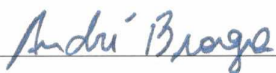
PARA CURBIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL
TITULO DE

BIOINGENIERO

PRESENTA:

DESIREE BARBA CARBALLO

APROBADA POR:



Dr. André Braga de Souza

Director



Dr. David Cervantes Vásquez

Codirector



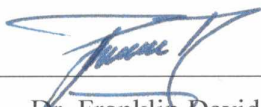
Dra. Dora Luz Flores Gutiérrez

Sinodal



Dra. Eunice Vargas Viveros

Sinodal



Dr. Franklin David Muñoz Muñoz

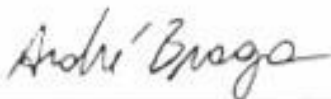
Sinodal

Resumen:

De la tesis de Desiree Barba Carballo, presentada como requisito para la obtención del título de BIOINGENIERO. Ensenada, Baja California. Marzo de 2020.

Relaciones entre fuentes lipídicas de origen animal y vegetal en la sustitución de aceite de pescado en dietas para jurel de Castilla (*Seriola dorsalis*).

Resumen aprobado por:



Dr. André Luiz Braga de Souza

Director



Dr. David Cervantes Vásquez

Codirector

La acuicultura constituye una importante fuente de los recursos alimenticios de alta calidad; dentro de la cual existen limitaciones para la producción de peces marinos, debido a la alta demanda de harina y aceite de pescado necesaria para las dietas. Dentro de los posibles sustitutos del aceite de pescado como fuente de lípidos, existen los aceites de origen vegetal y animal. En este trabajo se evaluaron las relaciones entre los porcentajes de inclusión de aceite de coco (AC) y sebo de bovino (SB) como sustituto de aceite de pescado en dietas de *Seriola dorsalis*. De tal manera que cuatro dietas fueron formuladas (Control), 1:1 (AC:SB 1), 2:1 (AC:SB 2) y 3:1 (AC:SB 3). Las dietas fueron suplementadas por una fuente de ácido docosahexaenoico (DHA) con 14 g/kg de DHA. Se determinaron los perfiles de ácidos grasos, y se midió la expresión de genes de crecimiento, biosíntesis y transporte de ácidos grasos. Al finalizar los 61 días de experimento, la sustitución de aceite de pescado resultó en dietas con mayores niveles de ácidos grasos saturados (SFA), mientras que los niveles de ácidos grasos poliinsaturados omega 3 (PUFA n3) fueron menores que en la dieta control. También registró una disminución en la expresión del gen *cpt1* en la dieta AC:SB 3, dedicado a la transportación de los ácidos grasos de 16C hacia el interior de las mitocondrias para la obtención de energía. El crecimiento resultó no ser favorecido por la sustitución de una mayor cantidad de ácidos grasos saturados. Sin embargo, cabe resaltar que la suplementación de DHA no fue suficiente como para reemplazar la sustitución del aceite de pescado. Se concluye que el crecimiento pudo haber estado limitado por el bajo nivel de DHA y EPA en las dietas, incluso con la sustitución de una mayor cantidad de SFA. Sin embargo, este exceso de SFA en las dietas no se vio reflejado en la concentración de éstos en el pez, lo cual asegura que estos ácidos grasos (FA) estuvieron siendo utilizados de manera eficiente como fuente de energía.

Palabras claves: *Seriola dorsalis*, ácidos grasos, aceite de pescado, DHA, aceite de coco, sebo.

Abstract:

Aquaculture is part of an important source of high quality food resources. Within which there are limitations for the production of marine fish, due to the high demand for fishmeal and fish oil necessary for diets. Among the possible substitutes for fish oil as a source of lipids, there are vegetable and animal origin oils. In this work, the relationship between the percentages of inclusion of coconut oil (AC) and beef tallow (SB) as a substitute for fish oil in *Seriola dorsalis* diets was evaluated. Four diets were formulated (Control), 1:1 (AC:SB 1), 2:1 (AC:SB 2) and 3:1 (AC:SB 3). The diets were supplemented by a source of docosahexaenoic acid (DHA) with 14 g/kg of DHA. Fatty acid profiles were determined, and the expression of genes of growth, biosynthesis and fatty acid transport were measured. At the end of the 61-day experiment, fish oil substitution resulted in diets with higher levels of saturated fatty acids (SFA), while levels of omega 3 polyunsaturated fatty acids (PUFA n3) were lower than in control diet. It also showed a decreased in the expression of the *cpt1* gene in the AC:SB 3 diet, dedicated to the transport of fatty acids 16C into the mitochondria for obtaining energy. The growth turned out to not be favored by the substitution of a greater amount of saturated fatty acids. However, it should be noted that DHA supplementation was not enough to replace the substitution of fish oil. In conclusion, the growth may have been limited by the low level of DHA and EPA (eicosapentaenoic acid) in diets, even with an addition of a large amount of saturated fatty acids (SFA). However, this excess of saturated fatty acids (SFA) in the diets was not reflected in their concentration in the fish, which ensures that these fatty acids (FA) were being used efficiently as a source of energy.

Key words: *Seriola dorsalis*, fatty acids, fish oil, DHA, coconut oil, tallow.

Dedicatoria:

A mis padres, Desiree Carballo Fernández y Jesús Barba Gutiérrez, por haberme guiado con cariño y esfuerzo, a lo largo de una meta más, que es la más preciada herencia, mi carrera profesional. Por compartir tristezas y alegrías, éxitos y fracasos.

Agradecimientos:

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por mi formación a lo largo de mis estudios profesionales y la beca que me otorgaron durante el desarrollo de mi tesis.

A mis directores de tesis Dr. André Braga y Dr. David Cervantes Vásquez por haber aceptado ser mis directores, por todo el apoyo que me brindaron, por la paciencia y consejos que me brindaron, durante la realización de mi tesis, muchísimas gracias.

A la Dra. Tere Viana Castrillón, por haberme abierto las puertas de su laboratorio y haberme empujado a realizar mi proyecto de tesis, gracias.

Al Dr. Artur Nishioka Rombenso por haberme ofrecido este proyecto de tesis, y por su apoyo durante este.

Al Dr. José Antonio Mata Sostres y Dr. Fernando Barreto Curiel por todo su apoyo, consejos durante el experimento, y haberme enseñado todas las bases para que yo pudiera realizar este proyecto.

Al Dr. Bruno Araújo, Dra. Arleta Skryńska, Griselda Pares y Aurora Tinajero por su apoyo y enseñanzas que me brindaron.

A Omar Aguilón, por haber sido mi compañero de experimentos, su apoyo, y haber estado ahí durante cada momento.

A mis sinodales, la Dra. Dora Luz Flores Gutierrez, la Dra. Eunice Vargas Viveros y el Dr. Franklin Muñoz Muñoz por sus observaciones y comentarios del presente trabajo.

A todos mis profesores que durante mi carrera me ayudaron a formarme como profesionista.

A German Ibarra de la empresa Maricultivos Baja Sel SA de CV por la donación de jureles que fueron utilizados en este trabajo.

Índice general

Índice de tablas.	i
Índice de figuras.	ii
1. Introducción.	1
2. Antecedentes.	7
3. Hipótesis y objetivos	8
3.1. Hipótesis.	8
3.2. Objetivos.	8
4. Metodología.	9
4.1. Formulación y elaboración de las dietas experimentales.	9
4.2. Diseño experimental y alimentación.	13
4.3. Recolección de muestras biológicas.	14
4.4. Composición proximal y perfil de ácidos grasos.	15
4.4.1. Humedad.	16
4.4.2. Proteína.	16
4.4.3. Lípidos.	17
4.4.4. Cenizas.	18
4.4.5. Extracto libre de nitrógeno (NFE).	19
4.4.6. Ácidos grasos.	19
4.5. Desempeño de crecimiento.	20
4.6. Expresión de genes.	21
4.7. Estadística.	21
5. Resultados.	22
5.1. Índices biológicos.	22
5.2. Composición proximal.	23
5.3. Perfil de ácidos grasos.	24
5.4. Expresión de genes.	29
6. Discusiones.	31
7. Conclusiones.	36
8. Trabajos futuros	37
9. Referencias.	38

Índice de tablas:

Tabla 1. Ingredientes y composición proximal (g kg^{-1} ; materia seca) de las cuatro dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB) utilizadas para alimentar jurel de Castilla <i>Seriola dorsalis</i>	10
Tabla 2. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) de las dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB) utilizadas para alimentar el jurel de Castilla <i>Seriola dorsalis</i>	11
Tabla 3. Índices biológicos de juveniles del jurel <i>Seriola dorsalis</i> alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB)	23
Tabla 4. Composición proximal (g kg^{-1} ; materia seca) de pez entero, músculo e hígado de juveniles del jurel <i>Seriola dorsalis</i> alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB)	24
Tabla 5. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) de pez entero de juveniles del jurel <i>Seriola dorsalis</i> alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB)	26
Tabla 6. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) de músculo de juveniles del jurel <i>Seriola dorsalis</i> alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB)	27
Tabla 7. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) de hígado de juveniles del jurel <i>Seriola dorsalis</i> alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB)	28

Índice de figuras:

Figura 1. Jurel de Castilla <i>Seriola dorsali</i> , durante muestreo de biometría en el IIO.	2
Figura 2. Estructura química de ácidos grasos poliinsaturados de las familias n3 y n6 (Fuente: metabolicas.sjdhospitalbarcelona.org)	6
Figura 3. Proceso de preparación de las dietas experimentales, a) muestras de pez entero y filete, b) homogenizado de las muestras, c) secado a 60 °C por 24 horas, d) trititación y e) empaquetamiento de muestra seca.	12
Figura 4. Sistema de recirculación del bioensayo.	13
Figura 5. Individuos del jurel de Castilla <i>Seriola dorsalis</i> sacrificados por hipotermia y, posteriormente, disecados para recolección de muestras biológicas al final de 61 días de experimentación.	15
Figura 6. Preparación de muestras de tejidos de juveniles del jurel de Castilla <i>Seriola dorsalis</i> para análisis de composición proximal y perfil de ácido grasos , a) muestras de pez entero y filete, b) homogenizado de las muestras, c) secado a 60 °C por 24 horas, d) trititación y e) empaquetamiento de muestra seca.. . . .	16
Figura 7. Extracción de lípidos con el método de Soxhlet.	18
Figura 8. Expresión de los genes <i>igf</i> , <i>fas</i> y <i>cpt1</i> en juveniles del jurel <i>Seriola dorsalis</i> alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SE)	30

1. Introducción:

La acuicultura es el segmento de la producción de alimentos de origen animal de mayor crecimiento. Se producen cerca de 80 millones de toneladas al año con un total de 231.6 billones de dólares en 2016 (FAO, 2018). Por otro lado, al ser la pesca una actividad extractiva, de no regularse, las poblaciones naturales se han ido dañando causando problemas medioambientales (FAO, 2016). Es así como la sobrepesca y la deficiencia de regulación han resultado en el incremento del número de especies amenazadas de extinción (FAO, 2018). Por tanto, a nivel mundial, la producción de peces cultivados es superior a las capturas en el medio natural desde 2014, siendo la acuicultura hoy en día una de las principales fuentes de recursos alimenticios de alta calidad (Alhazzaa et al., 2018; FAO, 2016). La FAO recomienda como requisitos para el continuo crecimiento de la acuicultura, el desarrollo de tecnologías e innovaciones que tornen la producción acuícola más eficiente y ambientalmente responsable (FAO, 2018).

México se encuentra situado en el contexto de crecimiento continuo de la acuicultura. Según el Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, la producción acuícola nacional fue de 404,552 toneladas en el año 2016, siendo el camarón el principal grupo producido (150,076 toneladas). Cifra con la que México se posiciona en el segundo lugar dentro de los mayores productores de América y séptimo a nivel mundial (SAGARPA, 2017; FAO, 2018). En el caso particular de los peces, las principales especies cultivadas en México son dulceacuícolas, como la tilapia (*Oreochromis sp.*), que por su volumen se encuentra posicionada en el segundo lugar de la producción acuícola nacional (149,095 toneladas) (SAGARPA, 2017). A pesar de que la acuicultura es una de las actividades que ha adquirido mayor importancia en los últimos años en el país, su desarrollo ha sido incipiente, por lo que representa apenas 19% de toda la producción pesquera y acuícola nacional (SAGARPA, 2017).

El desarrollo creciente, pero incipiente de la acuicultura en México es aún más evidente para peces marinos, tales como el jurel (*Seriola, dorsalis*), totoaba (*Totoaba macdonaldi*), lobina rayada (*Morone saxatilis*), en donde ya se encuentran industrias dedicadas a su explotación. Baja California es uno de los estados mexicanos donde se han producido dichas especies, además de producir atún (*Tunnus thynnus orientalis*) en engordas (atún capturado). Aunque también se ha tratado de producir otras especies que no han repercutido en el ámbito comercial, como lo la corvina blanca (*Atractoscion nobilis*), (CESAIBC, 2016).

El jurel es un pez marino pelágico perteneciente a la familia Carangidae caracterizado por su cuerpo elongado, lateralmente comprimido, y por la presencia de dos espinas que preceden a la aleta anal, un pedúnculo caudal delgado y una línea longitudinal amarilla (Fig. 1). Habita las regiones de California en Estados Unidos, Baja California y el Golfo de California en México (Martínez-Takeshita et al., 2015). El jurel es un pez carnívoro, que llega a alcanzar los 200 cm de longitud y pesar hasta 50-60 kg (Avilés y Castelló, 2004; Nakada, 2008). El interés en la producción acuícola del jurel ha incrementado debido al declive de los *stocks* en el medio natural y a que la demanda excede a la oferta en el mercado (Martinez-Takeshita *et al.*, 2015).



Figura 1. Jurel de Castilla *Seriola dorsalis*, durante muestreo de biometría en el IIO.

Una de las limitantes del desarrollo de la producción de peces marinos, como el jurel, está asociada a la alta demanda de harina y aceite de pescado necesaria para la formulación de dietas para cubrir sus altos requerimientos de proteína y energía. La producción de harina y aceite de pescado proviene principalmente de pelágicos menores, siendo la sardina uno de sus principales precursores (FAO, 2018). Si se considera que la tasa de alimentación de algunas especies marinas en cautiverio es de 1.5:1.0, en el mejor de los casos, se requieren 13 kg de sardina para incrementar un kilo de peso en los organismos (Mata-Sotres et al., 2018). Relación que no es sostenible, y constituye la razón fundamental de investigación de muchos laboratorios, que buscan sustituir de una forma apropiada la dependencia de fuentes marinas.

Si bien la sustitución de la proteína animal se ha logrado con resultados relativamente buenos (Brinker & Reiter, 2011), el aceite de pescado aún no se ha logrado sustituir del todo. La escasez del aceite de pescado, así como la competencia del recurso para consumo humano, ha hecho inaccesible para la acuicultura, en términos de disponibilidad y, consecuentemente, el costo, por lo que es necesario encontrar remplazos al aceite de pescado (Alhazaa et al., 2018). Dentro de las fuentes de lípidos alternativas a las de origen marino sobresalen los aceites de origen vegetal y animal, de los cuales se debe considerar la composición de sus ácidos grasos (FA, por sus siglas en inglés), para lograr una sustitución adecuada de dicho recurso (Mata-Sotres et al., 2018).

Los FA son clasificados de acuerdo con el tamaño de sus cadenas de carbonos, en ácidos grasos saturados (SFA, por sus siglas en inglés), los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA, por sus siglas en inglés), los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés) que a su vez son divididos en $n6$ y $n3$ según la posición del doble enlace respecto al metilo terminal de la molécula (Cox, 2008). Dentro del contexto de la sustitución del aceite de pescado, una limitante es que algunos PUFA de cadena larga (LC-PUFA, por sus siglas en inglés), tales como

el 20:5n-3 (EPA – ácido eicosapentaenoico) y 22:6n-3 (DHA – ácido docosahexaenoico), son esenciales para toda nutrición animal y humana. Es decir, que no pueden ser sintetizados por los organismos, además de ser exclusivos de fuentes marinas (Bandaarra et al., 2005; Bowyer et al., 2012; Chauton et al., 2015). Sin embargo, hoy en día ha sido posible la producción industrial de dichos FA a partir de extractos de microalgas (*Schizochytrium sp.*) producidas en laboratorios. Lo anterior abre una posibilidad para reemplazar el resto de los FA.

Desde el punto de vista metabólico, los SFA son más susceptibles a ser utilizados como fuente energética, esto, al no poseer dobles ligaduras, lo que los hace susceptibles a entrar directamente a la oxidación y producción de ATP (Rombenso et al., 2017). Mientras que los PUFA, al contener dobles ligaduras, son reservados como precursores de metabolitos importantes, así como para formar parte estructural de las membranas celulares (Rombenso et al., 2018). Por lo anterior, fuentes de origen vegetal han sido consideradas como potencial sustituto para el aceite de pescado (Rombenso et al., 2018; Araújo et al., 2019; Rombenso et al., 2017; Benitez-Dorta et al., 2012). Sin embargo, algunos de los principales aceites vegetales utilizados para formulación de dietas de acuícolas, tal como el de soya, a altas concentraciones resulta en una pérdida de desempeño de crecimiento debido a sus componentes anti nutricionales (Fuentes-Quesada et al., 2018). El aceite de coco es una alternativa debido a su perfil de ácidos grasos, es decir, menor cantidad de 18:2n-6 y principalmente los ácidos grasos saturados (Erolgogan et al., 2012). Además, la combinación de diversos aceites podría hacer posible el formular dietas para obtener un perfil deseable de ácidos grasos que favorezcan el crecimiento de los peces, además de obtener un producto ideal para el consumo humano. Así mismo, se podrán utilizar grasas de origen animal para lograr este objetivo. De esta manera, se podrán obtener perfiles de ácidos grasos similares a los encontrados por los organismos en su ambiente natural.

Hoy en día se conoce que los ácidos grasos son utilizados tanto como fuente energética, como para formar parte estructural importante de las membranas celulares, así como para almacenar energía. El aceite de pescado, además de contener una adecuada cantidad de DHA y EPA (LC-PUFAs), que no lo contienen los aceites vegetales ni las grasas animales, además poseen una cierta cantidad de SFA, MUFA y PUFAs. Como se mencionó anteriormente, los SFA y MUFA son utilizados con mayor frecuencia como fuente de energía. Las insaturaciones de los aceites o grasas provienen de las dobles ligaduras que presentan las cadenas de carbono. Dependiendo de en donde se forma esta doble ligadura y cuantas de ellas hay, es como se van a clasificar y al mismo tiempo se da su papel metabólico. Los llamados 1n, 2n o 3n, significan el número de insaturaciones. Es así como los 1n son monoinsaturados, mientras que los 2n y 3n son poliinsaturados. Estas insaturaciones se dan sólo en cadenas de 18C o más. Nunca en los de menor tamaño.

Por otro lado, dependiendo en donde se encuentre esta doble ligadura ayuda a su clasificación. Es decir, que, si la doble ligadura está entre el noveno y décimo carbono, se trata de un 9 y si sólo hay una, entonces se trata de un 18:1n-9 (oleico). Aquellos que tienen más de una doble ligadura, son los poliinsaturados, y pueden ser de la familia n-6 o n-3. Familias que se diferencian de acuerdo con la posición del primer doble enlace contando a partir del extremo metilo de la molécula del ácido graso (Fig. 2). De esta manera, en el 18:2n-6 (linoleico) se encuentran dos insaturaciones, pero su primera doble ligadura se encuentra en el sexto carbono a partir del metilo terminal; mientras que el 18:3-n3 tiene tres insaturaciones, pero la primera se encuentra en el tercer carbono después del metilo terminal. Estos ácidos grasos de 18C pueden elongar su cadena hasta 20, 22 o más, constituyendo al grupo de poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFAs, por sus siglas en inglés).

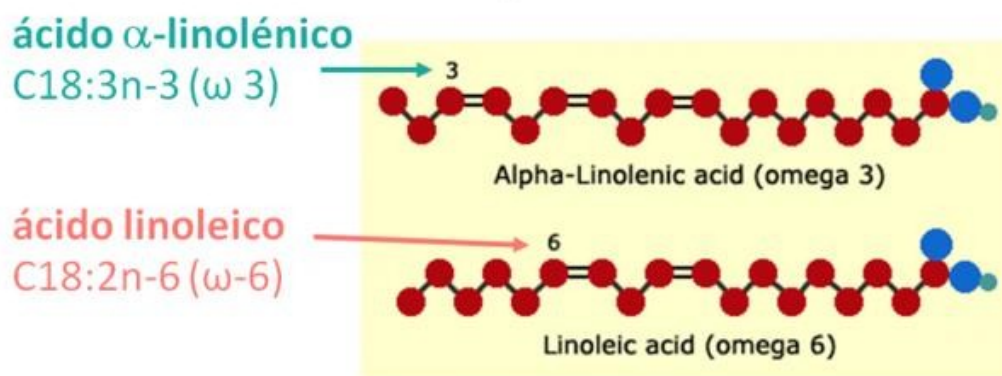


Figura 2. Estructura química de ácidos grasos poliinsaturados de las familias n3 y n6 (Fuente: metabolicas.sjdhospitalbarcelona.org).

En peces se ha visto que es más fácil utilizar la proteína como fuente energética que con lípidos (Barreto et al., 2018, 2019), por lo que resulta interesante saber si existe una cierta predilección hacia que tipo de ácidos grasos deben ser utilizados por los peces como fuente energética, de tal manera que presente un ahorro proteico. Es decir, que la proteína no se use como energía y pueda ser utilizada como síntesis de proteína para la formación de músculo.

2. Antecedentes:

Un gran número de trabajos se han ido enfocando al estudio de la sustitución de aceite de pescado por fuentes alternativas. No obstante, conociendo la composición de los ácidos grasos del aceite de pescado, es que se ha avanzado actualmente en el desarrollo de nuevas fórmulas, con un éxito relativamente bueno. Es así como trabajos recientes han demostrado que grasas animales pueden ser un sustituto apropiado de aceite de pescado, ya sea de ave (Badillo-Zapata et al., 2014) o incluso con SB (Mata-Sotres et al., 2018; Rombenso et al., 2017). Éstos últimos trabajos, demostraron que el sebo de bovino junto con una fuente de DHA y EPA puede sustituir totalmente al aceite de pescado.

Por otro lado, el aceite o grasa de coco, aun cuando se trata de un aceite vegetal, éste contiene una elevada cantidad de SFA, pudiendo constituir hasta el 90 % de ellos. A diferencia de otros aceites vegetales como el maíz que contiene hasta un 57 % de ácido linoleico (18:2n-6), o incluso el de girasol con 71 % de este AG. Entre los aceites vegetales más balanceados está el de palma que contiene 51 % de SFA, 10 de linoleico y 39 de oleico.

De ahí la importancia de formular los ácidos grasos (FA) con otras fuentes vegetales o animales para dar lugar a perfiles específicos de FA y así contener perfiles distintos en las dietas entre los SFA y los MUFA, para lograr analizar su efecto en el desempeño.

Es así que el propósito del presente trabajo es estudiar el efecto de diferentes relaciones entre el aceite de coco y el sebo bovino, es decir, lograr distintas proporciones entre ácidos grasos saturados vs monoinsaturados y estudiar su efecto sobre el metabolismo de lípidos; ya sea mediante el desempeño general de los peces, como salud y crecimiento, así como medir el metabolismo a través del análisis molecular del gen involucrado en la transportación de los ácidos grasos saturados de 16C (palmítico) al interior de la célula para su uso como fuente energética.

3. Hipótesis y Objetivos:

3.1. Hipótesis

La relación entre los porcentajes de inclusión de fuentes lipídicas de origen vegetal (aceite de coco) y animal (sebo bovino) en la dieta de jurel *S. dorsalis* altera su metabolismo lipídico, afectando el perfil de los ácidos grasos y el desempeño de crecimiento.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo general

Evaluar diferentes relaciones entre los porcentajes de inclusión de fuentes lipídicas de origen vegetal (aceite de coco) y animal (sebo bovino) como sustitución del aceite de pescado en dietas para jurel *S. dorsalis*.

3.2.2. Objetivos específicos

- a.** Determinar los parámetros productivos en peces alimentados con dietas libres de aceite de pescado con distintas relaciones entre aceite de coco y sebo bovino;
- b.** Determinar el perfil de ácidos grasos en peces alimentados con dietas libres de aceite de pescado con distintas relaciones entre aceite de coco y sebo bovino;
- c.** Evaluar los niveles de expresión de los genes *igf*, *fas* y *cpt1*, cuya función es crecimiento, la biosíntesis y el transporte de los ácidos grasos, respectivamente.

4. Metodología:

4.1. Formulación y elaboración de las dietas experimentales

De acuerdo con los requerimientos nutricionales de proteínas y lípidos de la *S. dorsalis*, se elaboraron cuatro dietas formuladas para obtener un 45 % de proteína cruda y un 17 % de lípidos crudos. En la dieta control, el aceite de pescado fue añadido como fuente de lípidos control, mientras que para las otras tres dietas el aceite de pescado fue substituido utilizando las siguientes proporciones de aceite de coco y sebo de bovino de 1:1 (AC:SB 1), 2:1 (AC:SB 2) y 3:1 (AC:SB 3), suplementando éstas con 14 g/kg de DHA. La formulación de las dietas fue corroborada mediante análisis de la composición proximal y del perfil de los ácidos grasos de acuerdo con la metodología descrita en la sección 4.4 (Tablas 1 y 2).

Las dietas fueron preparadas en el Laboratorio de Nutrición y Fisiología Digestiva (FEED-AQUA) del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, México. Para la preparación de las dietas fue utilizada la metodología descrita por Mata-Sotres et al. (2018) siguiendo los protocolos utilizados en el laboratorio. Se elaboraron 6 kg de alimento por cada una de las cuatro dietas experimentales. Antes de la preparación de las dietas, la harina de pescado fue previamente desengrasada, siguiendo la metodología utilizada por Guerra (2014). Este proceso consistió en dejar la harina sumergida en hexano por 24 horas, utilizando un lienzo de algodón para quesos. El hexano fue cambiado 3 veces cada 24 horas. Al finalizar, la harina de pescado fue escurrida y distribuida en charolas a temperatura ambiente para evaporar todos los restos de hexano.

Tabla 1. Ingredientes y composición proximal (g kg⁻¹; materia seca) de las cuatro dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB) utilizadas para la dieta proporcionada al jurel de Castilla *Seriola dorsalis*.

<i>Ingredientes</i>	<i>Dietas experimentales</i>			
	CONTROL	AC:SB 1	AC:SB 2	AC:SB 3
Harina de ave ^a	320.0	320.0	320.0	320.0
Harina de pescado ^b	160.0	160.0	160.0	160.0
Harina de trigo entera	162.7	162.7	162.7	162.7
Gluten de maíz ^c	80.0	80.0	80.0	80.0
Gelatina ^d	40.0	40.0	40.0	40.0
Aceite de pescado ^e	90.0	0.0	0.0	0.0
Aceite de coco	0.0	40.0	54.0	63.0
Sebo bovino ^f	0.0	42.0	28.0	19.0
Almidón	100.0	94.0	94.0	94.0
Taurina	10.0	10.0	10.0	10.0
Rovimix ^g	30.0	30.0	30.0	30.0
Stay C	4.0	4.0	4.0	4.0
Nature-DHA ^h	0.0	14.0	14.0	14.0
Benzoato de sodio	2.3	2.3	2.3	2.3
Cloruro de colina	0.9	0.9	0.9	0.9
Tocoferol	0.1	0.1	0.1	0.1
TOTAL	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
Composición proximal (g kg⁻¹) (analizado y reportado en peso seco)				
Proteína	461	440	450	452
Lípidos	160	169	173	172
Cenizas	81	88	89	88
NFE*	298	303	288	289

*NFE Extracto Libre de Nitrógeno; NFE (%) = 100 – (% proteína cruda + % lípidos totales + % cenizas); incluye fibras.

^a National Renderers Association, Missouri, United States. Con 68 % de proteína.

^b Scoular de Mexico S. De R.L. de C.V. Con 65 % de proteína.

^c Industrializadora de Maiz S.A. de C.V., Mexico.

^d Progrel Mexicana S.A. de C.V., Mexico.

^e Scoular de Mexico S. De R.L. de C.V.

^f Industrial de Grasas y Derivados, Tijuana B.C., Mexico.

^g DMS Nutritional Products Mexico, S.A. de C.V.

^h ADM, México, containing 240 and 70 g kg⁻¹ DHA and EPA.

Tabla 2. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) de las dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB) utilizadas en la dieta proporcionada al jurel de Castilla *Seriola dorsalis*.

<i>Ácidos Grasos</i>	<i>(%) Total de Ácidos Grasos</i>			
	Control	AC:SB 1	AC:SB 2	AC:SB 3
12:0	-	13.82±0.60	17.15±2.22	22.12±0.32
14:0	5.25±0.14	8.46±0.05	9.53±0.79	11.20±0.20
15:0	0.55±0.01	0.26±0.03	0.20±0.02	0.15±0.01
16:0	21.93±0.09	19.28±0.19	18.49±0.50	17.29±0.09
18:0	5.63±0.06	9.71±0.62	8.69±0.69	6.61±0.08
ΣSFA	33.36±0.03	51.53±0.20	54.06±2.00	57.36±0.50
18:1n9	20.71±0.44	27.49±0.22	25.68±1.44	22.92±0.08
18:1n7	1.87±0.14	0.78±0.04	0.74±0.07	0.85±0.12
20:1n9	1.07±0.05	0.42±0.01	0.42±0.01	0.38±0.01
ΣMUFA	31.47±0.22	31.55±0.22	29.48±1.65	26.59±0.17
18:2n6	9.69±0.03	9.80±0.04	9.77±0.08	9.65±0.03
18:3n6	1.24±0.02	0.68±0.02	0.67±0.02	0.67±0.01
20:2n6	0.39±0.02	0.21±0.02	0.22±0.01	0.21±0.02
20:4n6	1.73±0.01	0.49±0.02	0.50±0.02	0.49±0.01
ΣPUFA n6	13.04±0.08	11.17±0.11	11.16±0.13	11.03±0.06
18:3n3	1.25±0.03	0.19±0.02	0.21±0.02	0.20±0.01
20:5n3	9.22±0.18	0.57±0.04	0.47±0.10	0.43±0.01
22:6n3	8.91±0.08	2.71±0.04	2.57±0.09	2.74±0.03
ΣPUFA n3	19.38±0.19	3.47±0.09	3.25±0.18	3.37±0.05
ΣPUFA	32.42±0.22	14.64±0.18	14.40±0.25	14.39±0.05
SFA/MUFA	1.06±0.15	1.63±0.02	1.84±0.17	2.16±0.03
Otros	2.75±0.08	2.28±0.20	2.06±0.16	1.65±0.27

ΣSFA: Suma de los ácidos grasos saturados.

ΣMUFA: Suma de los ácidos grasos monoinsaturados.

ΣPUFA n6: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados n6.

ΣPUFA n3: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados n3.

ΣPUFA: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados.

SFA/MUFA: Relación de ácidos grasos saturados y monoinsaturados.

Para la preparación de cada una de las dietas se comenzó con la mezcla de los micronutrientes y los macronutrientes realizadas por separado (Robot Coupe R-60, USA), con la finalidad de obtener una mezcla homogénea de cada uno. Los micronutrientes fueron añadidos a los macronutrientes y homogenizados nuevamente. Posteriormente, fueron incorporados las fuentes de lípidos, el aceite de pescado, el aceite de coco y el sebo bovino (dependiendo de la dieta). Se prosiguió a la preparación de la gelatina y la maicena por separado, agregando agua caliente para lograr la disolución de estos ingredientes, estos fueron añadidos a la mezcla y homogenizados, finalmente se agregó agua hasta que se obtuvo la consistencia deseada. Se dividió la mezcla para tener dietas de dos tamaños de pellets, donde el primero se utilizó al comienzo del experimento, cambiando al segundo y más grande al pasar cuatro semanas del bioensayo. Se usó un molino de alimentos para llevar la mezcla a los tamaños (diámetros) deseados, éstos fueron colocados en una estufa con ventilación para secarlos a 60 °C por 24 horas. Una vez frías las dietas se procedió a guardarlas, separarlas por tamaño y dieta en bolsas de plástico, manteniendo las dietas a 4 °C durante todo el periodo de alimentación (Fig. 3).



Figura 3. Proceso de preparación de las dietas experimentales, a) y b) mezcla de los ingredientes, c) y d) pelatizado de la mezcla, e) enfriamiento de la mezcla, f) corte de alimento, g) etiquetado y h) secado a 60 °C por 24 horas.

4.2. Diseño experimental y alimentación

Juveniles de Jurel de Castilla *Seriola dorsalis* (n=180, aproximadamente 5 g), fueron proporcionados por Maricultivos Baja Sel S.A. de C.V. (Ejido Eréndira, Ensenada, Baja California, México) y transportados al Instituto de Investigación Oceanológicas (IIO) donde se llevaron a cabo los experimentos.

El bioensayo fue realizado en un sistema de recirculación con 12 estanques circulares de 500 L (Fig. 4), este sistema estaba equipado con un biofiltro (PolyGeyser) y un skimmer, como fuente de oxígeno, cada estanque contaba con una piedra de aireación. Previo al inicio del bioensayo, los peces fueron mantenidos en un periodo de aclimatación durante dos semanas. Durante este periodo fueron alimentados tres veces al día (9 am, 1 pm y 5 pm), con una dieta comercial a una ración de 5 % de la biomasa, obteniendo un peso promedio inicial del bioensayo de 9.88 ± 0.29 g.



Figura 4. Sistema de recirculación del bioensayo.

Posteriormente, se separaron 15 ejemplares por estanque (cuatro tratamientos por triplicado). La distribución de los ejemplares fue de manera aleatoria, pesando a los 180 peces

para tener un peso promedio (148.25 ± 04.37 g) en cada estanque. La asignación de dieta por estanque fue también de manera aleatoria. Los peces fueron alimentados con la dieta experimental respectiva tres veces al día (9 am, 1 pm y 5 pm), con una ración de 5 % de la biomasa. Los peces fueron contados y pesados cada dos semanas para reajustar la ración de alimento al aumento de la biomasa, como también se ajustó el tamaño de pellet a las cuatro semanas de iniciado el experimento.

La duración del experimento fue de 61 días al alcanzar un incremento del 400 % en peso. Cada semana se monitorearon los parámetros de temperatura, oxígeno, pH, amonio, nitritos y nitratos, para así mantener las condiciones recomendadas para el crecimiento del jurel, además retirar los restos de heces y alimento de los estanques mediante sifoneo todos los días.

4.3. Recolección de muestras biológicas

Las muestras biológicas seleccionadas para los análisis fueron muestras homogéneas y al azar. Una vez que finalizó el experimento, los peces fueron sacrificados por hipotermia. Esto se logró sometiéndolos a baja temperatura al sumergirlos en agua con hielo (Fig. 5), tres peces fueron contados, medidos y pesados por estanque para la determinación de los parámetros de desempeño. Para el análisis de los perfiles de ácidos grasos y composición proximal, tres organismos fueron recolectados para muestras de pez entero por estanque y otros tres organismos por estanque fueron disecados para colecta de muestras de músculo e hígado (Fig. 5), cuyos pesos fueron utilizados para la determinación de índice hepatosomático y vicerosomático. Las muestras fueron congeladas individualmente a -20 °C, hasta su posterior análisis.

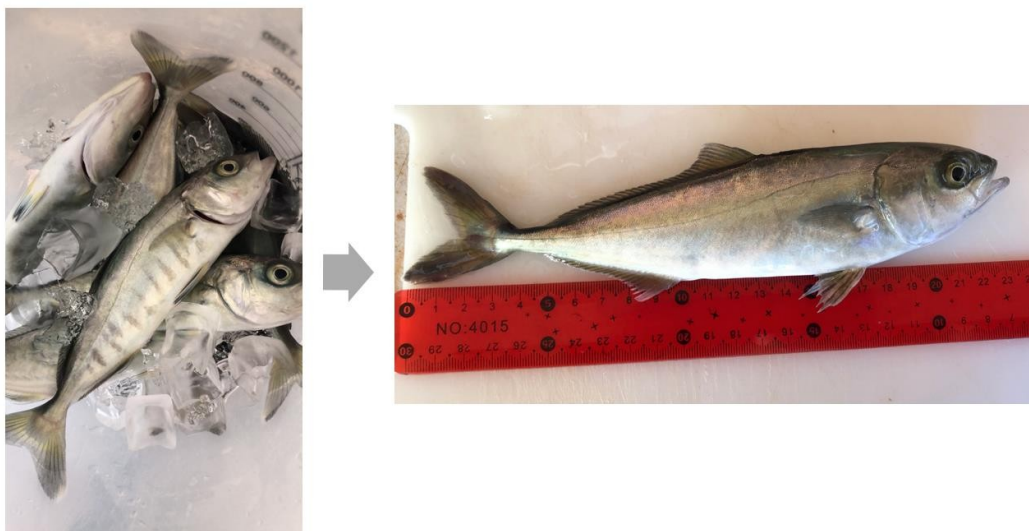


Figura 5. Individuos del jurel de Castilla *Seriola dorsalis* sacrificados por hipotermia y, posteriormente, disecados para recolección de muestras biológicas al final de 61 días de experimentación.

Para los análisis moleculares, se recolectaron muestras de hígado para medir los niveles de expresión de los genes *fas*, *cpt1* y *igf*. Tras la disección de los organismos, las muestras de hígado (aproximadamente 500 mg cada) fueron fijadas en RNA later y congeladas a -80°C , hasta su análisis.

4.4. Composición proximal y perfil de ácidos grasos

Los análisis de la composición proximal (humedad, proteína, lípidos y cenizas) y del perfil de ácidos grasos de las dietas y de los tejidos (pez entero, músculo y hígado) de jurel fueron realizados por triplicado, siguiendo la metodología descrita a continuación. Las muestras de los tejidos fueron previamente pulverizadas y medidas en materia seca, por medio de la eliminación de su humedad, colocándolas a 60°C durante 24 horas (Fig. 6).



Figura 6. Preparación de muestras de tejidos de juveniles del jurel de Castilla *Seriola dorsalis* para análisis de composición proximal y perfil de ácidos grasos, a) muestras de pez entero y filete, b) homogenizado de las muestras, c) secado a 60 °C por 24 horas, d) trituración y e) empaquetamiento de muestra seca.

4.4.1. Humedad

La determinación de humedad de las dietas se basó en la metodología descrita en AOAC (2015). Colocando aproximadamente 2 g de cada muestra por triplicado, en una cápsula de aluminio, éstas fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 60 °C durante 24 horas con presión atmosférica hasta peso seco constante. Finalmente, las cápsulas fueron colocadas en un desecador por un par de horas antes de pesarlas.

4.4.2. Proteína

La cantidad de proteína fue determinada utilizando el método de micro-Kjeldhal, el cual determina la cantidad de nitrógeno de una muestra, donde el porcentaje de proteína cruda fue calculado como $\%N \times 6.25$. El método de micro-Kjeldhl consiste en tres etapas: digestión, destilación y titulación. El primer paso fue preparar todos los reactivos necesarios para este método. Para el procedimiento de digestión, se colocaron en un Kjeldhl de 30 mL, 2 g de sulfato de potasio (K_2SO_4), 40 mg de sulfato cúprico pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) y 50 mg de

muestra seca. Finalmente, se agregaron 3 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) ACS 97.4 % y se colocó el matraz en la parrilla del digestor. La digestión comenzó al calentar los matraces gradualmente a ebullición por aproximadamente 4 horas, hasta que la muestra se torne transparente. Cuando el contenido del matraz está completamente transparente, adicionalmente se dejó 15 minutos para que ocurra una digestión en estado clarificante. Una vez que ocurrida la digestión, los matraces se enfriaron, y aforaron 25 mL utilizando agua destilada. Para la segunda etapa, la destilación, se colocó en un vaso de precipitados y se agregaron 15 mL de ácido bórico al 3 % y 5 gotas de indicador Shiro Tashiro. Se colocaron 5 mL de muestra en la entrada del digestor, se agregaron 10 mL de hidróxido de sodio al 40 % y 10 mL de agua destilada. En la salida del digestor se colocó el vaso con el indicador. La destilación finalizó cuando el volumen de la muestra llegó a los 50 mL, aproximadamente 6–7 minutos para cada muestra. Finalmente, se hizo la titulación, donde se utilizó ácido clorhídrico (HCl) 0.02 N.

Para el cálculo del porcentaje de proteína cruda se utilizó el factor de conversión de nitrógeno y las siguientes fórmulas:

(Ecuación 1)

$$\% N = \frac{(mL \text{ de HCl} - mL \text{ de blanco}) \times normalidad \text{ de HCl} \times 1.4}{g \text{ de muestra}}$$

(Ecuación 2)

$$\% \text{ Proteína} = \% N \times 6.25$$

donde % N corresponde a porcentaje de Nitrógeno, y el 6.25 es el factor de la muestra.

4.4.3. Lípidos

El método de extracción de lípidos de Soxhlet fue utilizado para la determinación de la cantidad de lípidos en las dietas, pez completo, músculo e hígado. El método consiste en la extracción continua de los lípidos de la muestra, utilizando éter de petróleo como solvente de

acarreo de los lípidos. Cabe mencionar que este tipo de extracción se trata de un método gravimétrico. Aproximadamente, 2 g de muestra seca fueron colocados en cartuchos y éstos fueron introducidos en el sifón, el solvente (éter de petróleo) fue colocado en el matraz y éstos a su vez en una parrilla con calor hasta llegar al punto de ebullición del solvente. El solvente es evaporado y se condensa gota a gota regresando nuevamente al sifón, donde vuelve a estar en contacto el solvente con el cartucho con muestra, extrayendo así los lípidos de la muestra. El solvente regresa al matraz y vuelve a evaporarse y condensarse de forma continua durante 4 h. Finalmente, los matraces fueron colocados en la estufa para la evaporación completa del solvente, para su posterior peso una vez secos y fríos. De esta manera, la cantidad de grasa se calcula por la diferencia en peso (Fig. 7).



Figura 7. Extracción de lípidos con el método de Soxhlet.

4.4.4. Cenizas

La determinación de cenizas fue realizada por el proceso de calcinación, colocando aproximadamente 1 g de muestra en una mufla a 550 °C por 6 h, se dejó enfriar y se pesó. El cálculo del porcentaje de cenizas se realizó mediante la siguiente fórmula:

(Ecuación 3)

$$\% \text{ Cenizas} = \text{peso final} \times 100 / \text{peso inicial}$$

4.4.5. Extracto libre de nitrógeno (NFE)

Una vez que se obtuvieron los resultados de proteína, lípidos y ceniza, se utilizaron los valores para calcular el extracto libre de nitrógeno (NFE, por sus siglas en inglés) por diferencia, utilizando la siguiente fórmula:

(Ecuación 4)

$$NFE = 100 - (\% \text{ Proteína cruda} + \% \text{ Lípidos totales} + \% \text{ Cenizas})$$

4.4.6. Ácidos grasos (FA)

Al igual que los análisis proximales, los análisis de FA fueron realizados por triplicado. Se utilizó el método de Folch et al. (1957) modificado, para los perfiles de FA, la extracción de lípidos fue realizada con diclorometano en lugar de cloroformo. El análisis de los FA (FAMES: Fatty Acids methyl esters) se llevó a cabo con un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de ionización de llama (Agilent GC 6880, Agilent Technologies, santa Clara, CA, USA), el gas acarreador utilizado fue nitrógeno y se utilizó una columna capilar (60 m x 0.25 mm con 0.25 µm de grosor; Agilent 122-2362 dB-23). La temperatura inicial fue de 50 °C por un lapso de 1 minuto, después aumentó de 50 °C a 140 °C con una rampa de calentamiento de 30 °C por min, y se mantuvo a 140 °C por 5 min, la temperatura aumentó nuevamente de 140°C a 240 °C con una rampa de 4 °C por min, y finalmente, se mantuvo a 240 °C por 20 min. La temperatura del inyector fue de 230 °C y la temperatura del detector fue de 260°C. Las muestras fueron inyectadas en modo *splitless* (Método de inyección utilizado en análisis de trazas en muestras altamente diluidas), manualmente y con un volumen de 1 µL. Una vez que se obtuvieron los resultados de la cromatografía se procedió a la identificación y cuantificación de cada ácido

graso dentro de las muestras, por medio de la comparación del tiempo de retención de los diferentes ácidos grasos con el estándar utilizado (37 Component FAME Mix, PUFA 1 y PUFA3, Supelco/Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), así como también su clasificación y estadística (Araújo et al., 2019).

4.5. Desempeño de crecimiento

Al finalizar el experimento, se realizó una biometría final, donde tres organismos fueron recolectados por estanque para la determinación de los índices biológicos, la evaluación del crecimiento de los peces y rendimiento de éstos. Los índices biológicos calculados fueron la ganancia de peso, tasa de crecimiento específico (SGR, por sus siglas en inglés), índice vícerosomático (VSI, por sus siglas en inglés), índice hepatosomático (HSI, por sus siglas en inglés) y el factor de condición (CF, por sus siglas en inglés).

Los índices fueron calculados de acuerdo a las siguientes fórmulas:

(Ecuación 5)

Ganancia de peso (WG; %)

$$= 100 \times \frac{(\text{Promedio del peso individual final} - \text{Promedio del peso individual inicial})}{\text{Promedio del peso individual inicial}}$$

(Ecuación 6)

Tasa de crecimiento específico (SGR; % peso/día)

$$= 100 \times \frac{\log_e \text{promedio de peso final} - \log_e \text{promedio peso inicial}}{\text{Días de alimentación}}$$

(Ecuación 7)

Índice Vícerosomático (VSI)

$$= 100 \times \frac{\text{Peso de víscera}}{\text{Peso organismo entero}}$$

(Ecuación 8)

Índice Hepatosomático (HSI)

$$= 100 \times \frac{\text{Peso del hígado}}{\text{Peso organismo entero}}$$

(Ecuación 9)

Factor de condición (CF)

$$= 100 \times \left(\frac{\text{Peso promedio individual final}}{\text{Longitud individual promedio final}} \right)^3$$

4.6. Expresión de genes

Previo al análisis de la expresión de genes, se tomaron muestras de hígado (aproximadamente 500 mg), y se preservaron individualmente con RNAlater (Ambion) y se guardaron a -80°C . Se midió el nivel de la expresión de los genes *ig*, *fas* y *cpt1l*. La extracción de RNA de cada muestra fue realizada con el kit de RNA Nucleospin. Se comenzó por la homogenización del tejido con ayuda de un micropistilo, previo a la extracción de RNA. La calidad y cantidad de RNA extraído fue medido por electroforesis y espectrofotometría (Nanodrop). Las muestras de RNA con razones OD260nm-OD280nm que no estuvieron dentro del valor 1.9 y 2.10 no fueron utilizadas para la cuantificación de la expresión.

4.7. Estadística

Los datos fueron analizados utilizando el programa Sigma Stat 3.5. Primeramente, se evaluó la normalidad y homocedasticidad de todos los datos, en donde la prueba de Shapiro-Wilk fue utilizada para corroborar la normalidad de los datos, y la prueba de Levene para la homocedasticidad de los mismos. Cuando resultó en una distribución normal y homocedástica, con una ANOVA de una vía se evaluó el efecto de los factores dietéticos, con un nivel de significancia de $p < 0.05$. En los casos donde se encontraron diferencias significativas, se realizó una prueba a posteriori de Tukey. En los casos de una distribución no normal o no homocedástica, se realizó el análisis de varianza Kruskal-Wallis.

5. Resultados:

5.1. Índices biológicos

Después de probar las diferentes formulaciones de dietas donde los juveniles de *S. dorsalis* que fueron alimentados con la dieta control alcanzaron una ganancia de peso (%) mayor a 400 % y mientras que los peces que fueron alimentados con las otras 3 dietas experimentales (AC:SB 1, AC:SB 2 y AC:SB 3) tuvieron una ganancia de peso mayor a 300 %, pero menor que 400 % al cabo de 61 días de dieta rigurosa. No se encontraron diferencias significativas de la tasa de sobrevivencia, del índice vicerosomático y del factor de condición. El peso final y el coeficiente de crecimiento específico de los peces que fueron alimentados con la dieta control tuvieron un valor significativamente mayor en comparación a los peces que fueron alimentados con las otras dietas experimentales (AC:SB 1, AC:SB 2 y AC:SB 3). El peso final y la tasa específica de crecimiento (SGR, por sus siglas en inglés) de los peces que fueron alimentados con las tres dietas que contenían aceite de coco y sebo bovino no presentaron diferencia significativa. El índice hepatosomático de los peces alimentados con las dietas AC:SB 1, AC:SB 2 y AC:SB 3 fue significativamente mayor en comparación con los peces alimentados con la dieta control (Tabla 3).

Tabla 3. Índices biológicos de juveniles del jurel *Seriola dorsalis* alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC: SB).

<i>Índices Biológicos</i>	<i>Dietas experimentales</i>				Valor p
	Control	AC:SB 1	AC:SB 2	AC:SB 3	
Sobrevivencia (%)	97.78	91.11	91.11	84.44	0.217
Peso inicial (g)	9.82±0.52	9.87±0.20	9.80±0.31	10.04±0.10	0.785
Peso final (g)	55.67±3.43 ^a	45.49±3.46 ^b	41.39±0.97 ^b	45.85±2.41 ^b	0.001
WG (%)	466.82±20.58 ^a	361.21±36.30 ^b	322.50±9.57 ^b	356.33±19.78 ^b	0.001
SGR (% peso/d)	5.70±0.20 ^a	4.76±0.36 ^b	4.49±0.20 ^b	4.49±0.44 ^b	0.004
HSI	0.85±0.04 ^b	1.03±0.09 ^a	1.06±0.07 ^a	1.13±0.04 ^a	0.007
VSI	6.94±0.17	7.58±0.62	7.75±0.29	7.60±0.13	0.284
CF	1.36±0.06	1.35±0.08	1.38±0.12	1.30±0.08	0.923

SGR: Coeficiente de crecimiento específico

WG: Ganancia de peso

HSI: Índice Hepatosomático

VSI: Índice Vicerosomático

CF: Factor de Condición

5.2. Composición proximal

En la composición proximal no hubo una diferencia significativa del contenido proteico ni cenizas en el pez completo, mientras que los lípidos fueron decreciendo mientras más grasas saturadas componían la dieta. En cuanto al contenido de lípidos, los peces que fueron alimentados con la dieta AC:SB 3 resultaron con la menor cantidad, mientras que los peces alimentados con las dietas control y AC:SB 1 resultaron con los niveles significativamente más altos. En el hígado, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. (Tabla 4).

Tabla 4. Composición proximal (g kg^{-1} ; materia seca) de pez entero, músculo e hígado de juveniles del jurel *Seriola dorsalis* alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC: SB).

Evaluación de porcentaje de inclusión de aceite de coco y seso bovino (AC:SB).					
	Dietas experimentales				Valor p
	Control	AC:SB 1	AC:SB 2	AC:SB 3	
<i>Pez completo (g kg⁻¹)</i>					
Humedad	759.2 ± 0.5 ^b	764.7 ± 0.4 ^{ab}	762.5 ± 3.5 ^{ab}	768.4 ± 0.5 ^a	0.016
Proteína	524.3 ± 8.4	532.4 ± 5.5	530.5 ± 3.8	538.9 ± 13.2	0.252
Lípidos	119.4 ± 6.2 ^a	110.9 ± 1.6 ^{ab}	98.6 ± 1.9 ^b	90.5 ± 8 ^b	0.008
Cenizas	108 ± 8	122 ± 23	111 ± 18	124 ± 16	0.605
<i>Músculo (g kg⁻¹)</i>					
Humedad	750.3 ± 4.1	742.3 ± 2.8	754.4 ± 5.7	746 ± 5.6	0.062
Proteína	776.7 ± 12.8 ^a	740 ± 3.2 ^b	767 ± 6.2 ^{ac}	754.9 ± 14.5 ^{bc}	<0.001
Lípidos	58.7 ± 9.1 ^c	102.3 ± 6.4 ^a	73.3 ± 17.9 ^{bc}	91.9 ± 11.2 ^{ab}	<0.001
Cenizas	137 ± 7	155 ± 14	141 ± 2	143 ± 9	0.294
<i>Hígado (g kg⁻¹)</i>					
Humedad	751.9 ± 37.1	714 ± 15.6	724.3 ± 12.1	729.8 ± 7.1	0.386
Proteína	641.8 ± 55.2	685.5 ± 32.8	663.5 ± 21.1	697.6 ± 12.8	*
Lípidos	127 ± 12.5	147.5± 2.2	187.6 ± 12.3	174 ± 17.5	*
Cenizas	55 ± 28	60.4 ± 5.7	71.5 ± 2.5	63.8 ± 26.1	*

*Los promedios utilizados son duplicados, por lo que no se realizó análisis estadístico.

5.3. Perfil de ácidos grasos (FA)

La composición de ácidos grasos de pez entero, músculo e hígado de *S. dorsalis* son presentados en las tablas 5, 6 y 7, respectivamente. En general el perfil de FA tanto de pez entero, músculo e hígado de *S. dorsalis* de los peces alimentados con la dieta control muestran un patrón diferente a las dietas experimentales. En el pez entero, hay un incremento significativo de los ácidos grasos saturados (SFA) conforme éstos se incrementaron en la dieta. Es así como valores del $33.23 \pm 0.5\%$ del total de ácidos grasos en el control, se incrementaron hasta $43.26 \pm 1.2\%$, incremento que se debe a un aumento de los FA 12:0 (va de 0 a 9.23%) y

14:0 (de 3.9 a 9.4%). Sin embargo, los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA, por sus siglas en inglés), presentaron cambios ligeros en su composición sin una tendencia definida. Además, los PUFAs n6 incrementaron ligeramente de manera significativa con valores de 12.25 ± 0.15 % en el Control, hasta 15.2 % en el tratamiento AC:SB 3. Y para el caso de los PUFAs n3 se observó una tendencia significativa al decrecer a través de los tratamientos con un valor mayor en el control (21.10 ± 1.0 % vs 22.6 ± 2 %). Este decremento que se debió a una disminución en el DHA y EPA a través de los distintos tratamientos.

En el músculo, los cambios se incrementaron con las mismas tendencias que en el pez completo, en donde los ácidos grasos saturados se incrementaron de 29.3 ± 0.6 % a 37.2 ± 1 %, mientras que los monoinsaturados fueron de 27.1 ± 1.1 % a 33.6 ± 0.4 %. Así mismo, los PUFA n6 de incrementaron de 27 % a 33 % a causa del incremento del ácido linoleico, mientras que los PUFA n3 disminuyeron de 26.8 ± 0.9 % a 8.1 ± 0.7 %.

En el hígado se observó un efecto similar con el incremento de los FA pero con menores diferencias, en donde los SFA fueron desde 33.7 ± 0.5 % a 39.6 ± 0.5 %, mientras que los monosaturados fueron del 22.7 ± 0.9 % a 27.9 ± 1.1 %; los PUFA n6 de 12.8 ± 0.1 % a 18.4 ± 0.5 %. Y por último, los PUFA n3 fueron los que mostraron un mayor cambio, que fue de 27.7 ± 0.7 % a 9.7 ± 0.6 % del total de ácidos grasos.

Tabla 5. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) de pez entero de juveniles del jurel *Seriola dorsalis* alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB).

<i>Ácidos</i>	<i>(%) Total de Ácidos Grasos</i>				Valor p
<i>Grasos</i>	Control	AC:SB 1	AC:SB 2	AC:SB 3	
12:0	-	5.92±0.69 ^b	7.41±0.29 ^{ab}	9.23±1.10 ^a	<0.001
14:0	3.90±0.15 ^d	6.60±0.32 ^c	7.78±0.70 ^b	9.36±0.52 ^a	<0.001
15:0	0.47±0.02 ^a	0.21±0.00 ^b	0.19±0.01 ^b	0.20±0.02 ^b	0.008
16:0	20.23±0.37 ^a	16.88±0.36 ^b	16.65±0.04 ^b	16.65±0.26 ^b	<0.001
18:0	6.76±0.20	7.20±0.68	8.44±1.10	6.68±0.65	0.097
24:0	1.87±0.10 ^a	1.10±0.10 ^b	1.01±0.02 ^b	1.21±0.26 ^b	<0.001
ΣSFA	33.23±0.50^c	37.85±1.22^b	41.42±0.85^a	43.26±1.23^a	<0.001
16:1	6.57±0.40 ^a	3.03±0.15 ^b	2.77±0.00 ^b	2.69±0.17 ^b	<0.001
18:1n9	20.53±0.84 ^c	31.31±0.95 ^a	28.42±1.21 ^b	26.17±0.81 ^b	<0.001
18:1n7	1.86±0.20 ^a	1.21±0.09 ^b	1.17±0.18 ^b	1.33±0.27 ^{ab}	0.016
20:1n9	0.85±0.19 ^a	0.52±0.01 ^b	0.50±0.02 ^b	0.49±0.05 ^b	0.011
ΣMUFA	29.80±1.02^b	36.07±1.18^a	32.87±1.35^{ab}	30.68±0.87^b	0.001
18:2n6	9.70±0.26 ^b	13.47±0.38 ^a	13.91±0.36 ^a	13.75±0.77 ^a	<0.001
20:4n6	2.55±0.12 ^a	1.46±0.20 ^b	1.41±0.05 ^b	1.45±0.27 ^b	<0.001
ΣPUFA n6	12.25±0.15^b	14.93±0.58^a	15.32±0.40^a	15.20±0.98^a	0.002
18:3n3	0.91±0.08 ^a	0.64±0.02 ^b	0.63±0.01 ^b	0.64±0.02 ^b	<0.001
20:5n3	7.02±0.43 ^a	0.79±0.12 ^b	0.74±0.02 ^b	0.73±0.07 ^b	<0.001
22:6n3	13.17±0.89 ^a	5.86±0.87 ^b	5.62±0.10 ^b	6.04±1.03 ^b	<0.001
ΣPUFA n3	21.10±1.02^a	7.30±0.97^b	6.99±0.12^b	7.41±1.09^b	<0.001
ΣPUFA	33.35±0.87^a	22.23±1.55^b	22.31±0.39^b	22.61±2.07^b	<0.001
SFA/MUFA	1.12±0.02^c	1.05±0.01^c	1.26±0.07^b	1.41±0.02^a	<0.001
Otros	3.62±0.66	3.85±0.88	3.70±0.34	3.45±0.80	0.938

ΣSFA: Suma de los ácidos grasos saturados.

ΣMUFA: Suma de los ácidos grasos monoinsaturados.

ΣPUFA n6: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados n6.

ΣPUFA n3: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados n3.

ΣPUFA: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados.

SFA/MUFA: Relación de ácidos grasos saturados y monoinsaturados.

Tabla 6. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) de músculo de juveniles del jurel *Seriola dorsalis* alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB).

<i>Ácidos</i>	<i>(%) Total de Ácidos Grasos</i>				Valor p
<i>Grasos</i>	Control	AC:SB 1	AC:SB 2	AC:SB 3	
12:0	-	4.33±0.29 ^b	4.06±0.54 ^b	6.15±0.70 ^a	<0.001
14:0	2.60±0.18 ^c	5.42±0.24 ^b	5.78±0.40 ^b	7.54±0.42 ^a	<0.001
15:0	0.38±0.04 ^a	0.18±0.01 ^b	0.17±0.02 ^b	0.15±0.00 ^b	<0.001
16:0	18.99±0.42 ^a	15.72±0.11 ^b	15.73±0.46 ^b	16.02±0.05 ^b	<0.001
18:0	7.37±0.24	7.91±0.20	7.62±0.23	7.34±0.12	0.054
ΣSFA	29.34±0.56^c	33.56±0.42^b	33.37±0.71^b	37.19±1.04^a	<0.001
18:1n9	19.07±0.74 ^c	33.36±0.87 ^a	31.11±1.21 ^{ab}	29.57±0.28 ^b	<0.001
18:1n7	2.79±0.06 ^a	1.76±1.04 ^b	1.39±0.22 ^b	1.12±0.10 ^b	0.039
20:1n9	0.82±0.04 ^a	0.57±0.04 ^b	0.61±0.01 ^b	0.56±0.01 ^b	<0.001
ΣMUFA	27.14±1.10^c	38.54±0.51^a	35.56±1.22^b	33.64±0.41^b	<0.001
18:2n6	9.17±0.50 ^c	14.67±0.15 ^b	15.88±0.33 ^a	15.48±0.24 ^{ab}	<0.001
18:3n6	0.76±0.08	0.70±0.04	0.69±0.05	0.71±0.01	0.449
20:2n6	0.43±0.06	0.40±0.03	0.48±0.03	0.44±0.01	0.251
20:4n6	2.98±0.12 ^a	1.20±0.01 ^b	1.47±0.20 ^b	1.22±0.10 ^b	<0.001
ΣPUFA n6	13.34±0.76^c	16.96±0.23^b	18.52±0.61^a	17.85±0.36^{ab}	<0.001
18:3n3	0.59±0.03 ^a	0.26±0.09 ^b	0.36±0.12 ^b	0.30±0.03 ^b	0.006
20:5n3	6.66±0.14 ^a	0.88±0.03 ^b	0.99±0.12 ^b	0.80±0.09 ^b	<0.001
22:6n3	19.54±1.06 ^a	6.77±0.22 ^b	7.72±1.16 ^b	6.97±0.63 ^b	<0.001
ΣPUFA n3	26.78±0.90^a	7.91±0.32^b	9.07±1.38^b	8.08±0.69^b	<0.001
ΣPUFA	40.12±0.56^a	24.87±0.47^b	27.59±1.64^b	25.93±1.14^b	<0.001
SFA/MUFA	1.08±0.03^a	0.87±0.02^b	0.94±0.02^b	1.11±0.02^a	<0.001
Otros	3.40±1.39	3.03±0.24	3.49±0.27	3.24±0.39	0.911

ΣSFA: Suma de los ácidos grasos saturados.

ΣMUFA: Suma de los ácidos grasos monoinsaturados.

ΣPUFA n6: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados n6.

ΣPUFA n3: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados n3.

ΣPUFA: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados.

SFA/MUFA: Relación de ácidos grasos saturados y monoinsaturados.

Tabla 7. Composición de ácidos grasos (% total de ácidos grasos) de hígado de juveniles del jurel *Seriola dorsalis* alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB).

<i>Ácidos</i>	<i>(%) Total de Ácidos Grasos</i>				– Valor p
<i>Grasos</i>	Control	AC:SB 1	AC:SB 2	AC:SB 3	
12:0	-	1.69±0.88	2.61±1.05	2.84±0.48	0.010
14:0	2.66±0.15 ^c	5.89±1.46 ^b	7.65±1.42 ^{ab}	9.64±0.61 ^a	<0.001
15:0	0.46±0.01 ^a	0.23±0.03 ^b	0.21±0.01 ^b	0.19±0.01 ^b	<0.001
16:0	22.14±0.38 ^a	18.29±0.67 ^b	18.59±0.70 ^b	18.02±0.30 ^b	<0.001
18:0	7.03±0.171	6.69±1.61	8.09±1.16	6.87±0.37	0.468
24:0	1.46±0.13	2.08±0.49	1.65±0.34	2.07±0.15	0.155
ΣSFA	33.74±0.47^b	34.86±0.96^{ab}	38.80±3.49^{ab}	39.63±0.45^a	0.020
16:1	4.16±0.19	2.20±0.54	2.09±0.25	1.89±0.09	0.086
18:1n9	15.79±0.76 ^b	27.24±3.22 ^a	25.47±1.19 ^a	24.55±1.03 ^a	<0.001
18:1n7	2.28±0.10 ^a	1.07±0.07 ^b	0.91±0.14 ^b	0.98±0.14 ^b	<0.001
20:1n9	0.46±0.03	0.48±0.06	0.48±0.03	0.49±0.01	0.788
ΣMUFA	22.70±0.86^b	30.98±3.76^a	29.95±1.15^a	27.91±1.09^{ab}	0.013
18:2n6	8.53±0.27 ^b	15.31±0.42 ^a	15.95±0.37 ^a	15.73±0.31 ^a	<0.001
20:4n6	4.26±0.15 ^a	2.92±0.66 ^b	2.58±0.33 ^b	2.64±0.19 ^b	0.004
ΣPUFA n6	12.79±0.13^b	18.22±1.07^a	18.52±0.70^a	18.37±0.51^a	<0.001
18:3n3	0.66±0.04 ^a	0.56±0.02 ^b	0.56±0.04 ^b	0.54±0.02 ^b	0.008
20:5n3	6.42±0.19 ^a	0.95±0.16 ^b	0.78±0.07 ^b	0.75±0.03 ^b	<0.001
22:6n3	20.66±0.50 ^a	9.06±2.24 ^b	7.19±1.41 ^b	8.39±0.56 ^b	<0.001
ΣPUFA n3	27.74±0.67^a	10.56±2.39^b	8.53±1.44^b	9.67±0.60^b	<0.001
ΣPUFA	40.54±0.55^a	28.78±3.44^b	27.05±2.12^b	28.04±1.09^b	<0.001
SFA/MUFA	1.49±0.08^a	1.14±0.11^b	1.34±0.16^{ab}	1.42±0.04^{ab}	0.033
Otros	3.02±0.14	5.37±1.20	5.19±0.84	4.42±0.94	0.065

ΣSFA: Suma de los ácidos grasos saturados.

ΣMUFA: Suma de los ácidos grasos monoinsaturados.

ΣPUFA n6: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados n6.

ΣPUFA n3: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados n3.

ΣPUFA: Suma de los ácidos grasos poliinsaturados.

SFA/MUFA: Relación de ácidos grasos saturados y monoinsaturados.

5.4. Expresión de genes

La alimentación de los jureles con las dietas experimentales no afectó los niveles de expresión de los genes *igf* ($p=0.667$) y *fas* ($p=0.60942$), ya que éstos no mostraron diferencias significativas. Para los niveles de expresión del gen *cpt1* resultó en diferencias significativas ($p=0.027$), hubo una mayor expresión del gen para el tratamiento AC: SB 1 (0.9289 ± 0.185) y una expresión menor para el tratamiento AC: SB 3 (0.3466 ± 0.114) (Fig. 8).

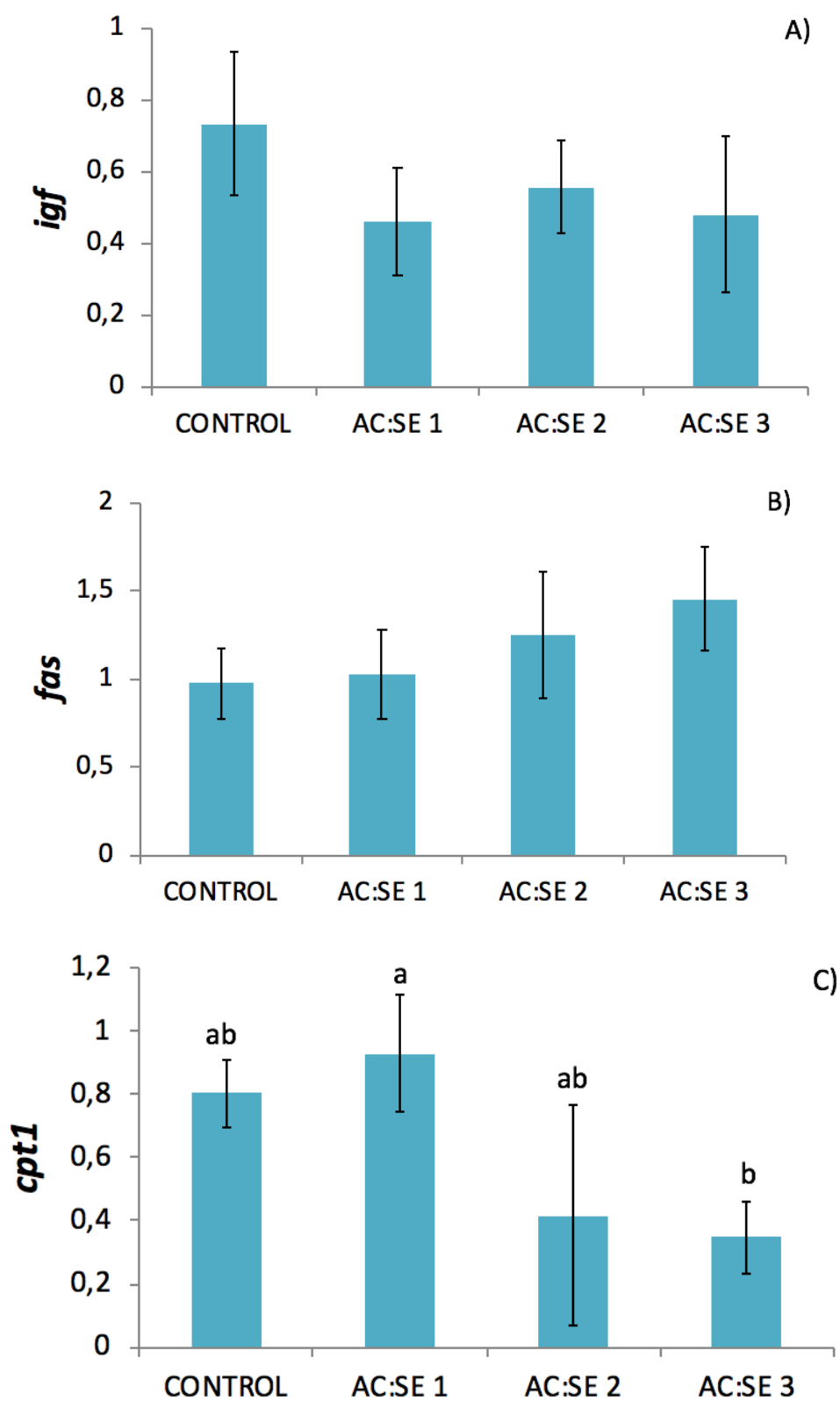


Figura 8. Expresión de los genes a) *igf*, b) *fas* y c) *cpt1* en juveniles del jurel *Seriola dorsalis* alimentados por 61 días con dietas experimentales conteniendo distintas relaciones de porcentaje de inclusión de aceite de coco y sebo bovino (AC:SB).

6. Discusión:

El substituir el aceite de pescado por aceite de coco y sebo bovino en diferentes relaciones de porcentaje de inclusión resultó en dietas experimentales con mayores niveles de SFA en comparación con la dieta control. Por otro lado, la sumatoria de MUFA y PUFA n6 fueron parecidas entre todas las dietas, mientras los niveles de PUFA n3, especialmente de DHA y EPA, fueron muy inferiores en las dietas experimentales. La cantidad total de PUFA n3 para la dieta control fue de 19.38 %, lo que equivale al 3.10 % del total de la dieta en materia seca, mientras que para las dietas AC:SB 1, AC:SB 2 y AC:SB 3, las cantidades de PUFA n3 fueron de 3.47, 3.25 y 3.37 %, respectivamente, por lo que estos porcentajes equivalen a sólo el 0.58 %, 0.56 % y 0.58 % del total de las dietas respectivas. Por lo tanto, las dietas experimentales evaluadas en el presente trabajo fueron ricas en SFA, pero con deficiencia de PUFA n3.

El propósito principal del presente trabajo era el incrementar relativamente el ácido graso palmítico sobre los monosaturados, con la reducción del linoleico proveniente de la soya, para estudiar su efecto sobre el desempeño y metabolismo de los lípidos. Sin embargo, el desempeño general de los peces no se vio favorecido con relación al crecimiento.

El aceite de soya es una fuente rica en ácido linoleico, el cual, como se mencionó con anterioridad no es deseable en altas cantidades en la dieta. Si bien es necesario en la dieta como precursor de los ácidos grasos de la cadena de los n6 (como el araquidónico), en exceso puede crear un entorno proinflamatorio, aumentando el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Desde este punto de vista, el reducir el aceite de soya en el presente trabajo, dio lugar un efecto positivo.

Al incrementar las grasas saturadas se pretendía crear un mejor ambiente para el aporte de éstos como energía. Los lípidos ricos en SFA parecen presentar ventajas sobre otras fuentes de lípidos ricos en C18 PUFA en términos del metabolismo energético. El catabolismo preferencial de SFA a través de la β -oxidación ha sido previamente demostrado en la *S. dorsalis* al mantener peces en condiciones de inanición (Barreto-Curiel et al., 2017). Otros autores también han registrado que peces alimentados con dietas ricas en SFA y MUFA disminuyen en esencia el requerimiento de LC-PUFA en el contexto de un crecimiento óptimo, además de preservar hasta cierto punto, la composición de los ácidos grasos en el tejido (Mata et al., 2018; Rombenso et al., 2017). Por lo anterior, en el presente trabajo, se buscó encontrar la mejor relación de porcentajes de inclusión entre aceite de coco y sebo de bovino (fuentes más ricas en SFA y MUFA). En resumen, en este trabajo se lograron obtener dietas ricas en SFA, lo que resultó en catabolismo preferencial de SFA y, consecuentemente, en ahorro de LC-PUFA, pero sin favorecer el crecimiento.

Si bien el objetivo era mantener los niveles de DHA y EPA en los tratamientos AC:SB 1, AC:SB 2, AC:SB 3 similares a los encontrados en la dieta preparada con 100% aceite de pescado (control). Esto no se logró, ya que los tratamientos presentaron hasta un tercio de DHA y hasta diez veces menos que EPA. Este fue quizás el motivo del menor desempeño de crecimiento de los peces de los tratamientos, en comparación con aquellos alimentados con la dieta control.

Los peces alimentados con la dieta control presentaron peso final, WG y SGR significativamente mayores a aquellos alimentados con las dietas experimentales, mientras que entre las experimentales (sin contar al control) no se presentaron diferencias significativas. Rombenso et al. (2018) realizaron un experimento usando diferentes fuentes de lípidos para

jurel de peso inicial de 6.2 g durante 10 semanas, al final del periodo los autores obtuvieron pesos finales entre 91.5-99.2 g, WG entre 1351-1488 g y SGR entre 3.82-3.95 g. La comparación de estos resultados con los obtenidos en este trabajo (Tabla 3) indican que, a pesar de las diferencias significativas entre la dieta control y las demás, los peces presentaron buenos índices biológicos. La tasa instantánea de crecimiento (SGR por sus siglas en inglés) fue mayor del 4 % por día en todos los grupos experimentales, lo que se considera como bueno para un jurel de esta talla (Rombenso et al., 2018; García-Organista, 2018). Además, la ausencia de diferencias significativas entre los niveles de expresión del gen *igf* corrobora la hipótesis de que el crecimiento no fue inhibido en ningún de los grupos. Por otro lado, las diferencias entre la dieta control y las demás, puede ser atribuida a la deficiencia de LC-PUFA, debido a la inhabilidad que los peces tienen de sintetizarlos (Sargent et al., 2002). La deficiencia de LC-PUFA en las dietas, puede repercutir en algunos procesos fisiológicos, tales como el crecimiento de los peces (Tocher, 2015; Sargent et al., 2002), que fue el comportamiento observado en el presente trabajo.

Otro índice biológico que mostró diferencia entre la dieta control y las demás fue el HSI, siendo significativamente mayor en los peces alimentados con dietas ricas en SFA. Este resultado probablemente está relacionado con la acumulación de lípidos en el hígado de los peces alimentados con las dietas experimentales. Desafortunadamente, una limitante relacionada a la cantidad de muestra impide el corroborar estadísticamente esta hipótesis. Sin embargo, fue posible observar una tendencia de concentraciones de lípidos mayores en hígado para las tres dietas experimentales. Esta tendencia fue acompañada por contenidos de lípidos significativamente mayores en el músculo de peces alimentados con dietas ricas en SFA, especialmente AC:SB 1 y AC:SB 3. El efecto de las fuentes de lípidos en el contenido de nutrientes en los tejidos son especie-específicos (Rombenso et al., 2017, 2018). Sin embargo,

Rombenso et al. (2018), reportaron la ausencia de diferencias significativas para contenidos de lípidos en los tejidos del jurel *S. dorsalis* alimentados con dietas ricas en LC-PUFA y SFA, presentando lo contrario de lo observado en el presente trabajo. Es decir, una tendencia de menores valores en dietas ricas en SFA. Por otro lado, Rombenso et al. (2017) reportaron para el pámpano amarillo patrones similares a los observados en el presente trabajo. Por lo anterior, esos resultados indican que, además de especie-específicos, otros factores pueden afectar en contenido de lípidos en los tejidos del jurel. Sin embargo, la limitante estadística y el hecho de que los patrones no fueron consistentes (el contenido en AC:SB 2 no difirió de la dieta control) impiden dar una conclusión contundente.

Sin embargo, a pesar de no ser posible concluir sobre los efectos de las fuentes de lípidos en el contenido del nutriente en los tejidos, los perfiles de ácidos grasos (FA) demuestran claramente el catabolismo preferencial de SFA y ahorro de LC-PUFA. En general, se espera que el perfil de FA de los tejidos refleje la composición de ácidos grasos en la dieta (Trushenski and Bowzer, 2013; Turchini et al., 2009). Patrón observado para el grupo control, mientras que, para los demás grupos experimentales, se demostró que la abundancia de SFA afecta el perfil de FA, siendo, por lo tanto, posible manipular la composición de FA en los tejidos, de acuerdo con trabajos de investigación reportados en la literatura (Rombenso et al., 2016, 2017, 2018). En el presente trabajo, las dietas experimentales fueron ricas principalmente en C12:0, mismo FA que se presentó en niveles bajos en los tejidos analizados (hígado, músculo y pez entero). Por otro lado, hubo un acumulamiento de PUFA, especialmente los n3, donde los valores de PUFA n3 en las dietas fueron de 19.38, 3.47, 3.25 y 3.37 para las dietas control, AC:SB 1, AC:SB 2 y AC:SB 3, respectivamente, y los valores de PUFA n3 para hígado músculo y pez entero fue mayor que el valor de las dietas probadas. Por lo tanto, los resultados indican que los FA de cadena más cortas y grados de insaturación más bajos parecen ser utilizados

preferentemente para la derivación catabólica, lo que favorece la acumulación relativa de los LC-PUFA, pues éstos no son sustratos para β -oxidación (Glencross, 2009; Trushenski et al., 2011, 2015).

Finalmente, la expresión de genes relacionados al metabolismo de los ácidos grasos fue analizada en el presente trabajo, *fas* y *cpt1*. El primer gen interviene en la lipogénesis, en donde lípidos son biosintetizados para cubrir las necesidades energéticas por medio de acción catalizadora del complejo citosólico multienzimático ácido graso sintetasa (*fas*) (Araújo et al., 2019). Los resultados observados en este trabajo indican que las diferentes relaciones de porcentajes de inclusión de AC y SB no influyeron en la expresión de los genes que intervienen en la biosíntesis de FA. Por otro lado, el *cpt1* es la enzima carnitina palmitoiltransferasa 1, encargada de transferir los FA de cadena larga (C16) al interior de la mitocondria. Razón por la cual esta enzima es considerada por su función regulatoria en la β -oxidación de FA para su posterior oxidación (López et al., 2007). En este trabajo, la expresión del gene *cpt1* fue inhibida en la relación AC:SB 3 en comparación con la dieta AC:SB 1, es decir que el adicionar mayor porcentaje de fuente rica en SFA favoreció la β -oxidación de los FA de cadena mediana (C12-14), especialmente el C12:0, corroborando así los resultados encontrados para el perfil de FA en los tejidos.

7. Conclusiones:

La sustitución de aceite de pescado en dietas de jurel (*Seriola dorsalis*) es posible siempre y cuando se mantengan los requerimientos nutricionales de la especie. La inclusión de fuentes lipídicas de origen vegetal (aceite de coco) y animal (sebo bovino) en lugar de aceite de pescado, resulta posible, cuando estas dietas sean suplementadas con una mayor cantidad de DHA.

Por lo anterior, se concluye lo siguiente:

1. A pesar de que hubo una disminución en el crecimiento de los peces al reemplazar el aceite de pescado, los crecimientos obtenidos no fueron menores a los previamente reportados por diferentes grupos de investigación.
2. Se recomienda agregar una mayor cantidad de fuentes de DHA para evitar un déficit de ácidos grasos que son esenciales, tales como los PUFA n3.
3. Los ácidos grasos de cadena corta (con 12-14C) son utilizados preferentemente como fuente energética.
4. Es posible disminuir el ácido linoleico al reemplazar el aceite de pescado por una mezcla de coco y sebo bovino.

Se concluye que la hipótesis se aceptó, ya que el metabolismo lipídico, el perfil de los ácidos grasos y el desempeño de crecimiento se vieron afectados por la inclusión de diferentes porcentajes de fuentes lipídicas de origen vegetal (aceite de coco) y animal (sebo bovino) en la dieta de jurel *S. dorsalis*.

8. Trabajo futuro:

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo, y para dar continuidad a esta línea de investigación, se pudieran realizar experimentos, tales como, sustitución de otras fuentes vegetales en lugar de aceite de coco, como el aceite de soya; sustitución de otras fuentes vegetales y animales; búsqueda de recursos locales o nacionales como fuente de lípidos, para disminuir la dependencia de productos importados; utilizar ingredientes más sustentables en las dietas; realizar los mismos porcentajes de inclusión de aceite de coco y de sebo bovino, con un aumento de suplementación de DHA; utilizar la mismas fuentes de lípidos, a diferentes porcentajes de inclusión; y por último, realizar el mismo experimento en diferentes organismos, tales como, camarón, crustáceos y peces, como la tilapia, entre otros.

9. Referencias:

- Alhazza, R., Nichols, P. D., Carter, C. G. (2018). Sustainable alternatives to dietary fish oil in tropical fish aquaculture. *Reviews in aquaculture*, 1-24.
- AOAC, 2015. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemist, Arlington, VA, USA.
- Araújo, B. C., Mata-Sotres, J. A., Viana, M. T., Tinajero, A., & Braga, A. (2019). Fish oil-free diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: The effects of DHA-EPA supplementation on juvenile growth performance and muscle fatty acid profile. *Aquaculture*, 511, 734276.
- Avilés-Quevedo, A. y Castelló-Orvay, F. (2004). Manual para el cultivo de jurel. Instituto Nacional de la Pesca. Recuperado de: <https://www.inapesca.gob.mx/portal/Publicaciones/Manuales/2004-Aviles-y-Castello-Manual-cultivo-Seriola-lalandi.pdf?download>
- Badillo- Zapata, D., Lazo, J.P., Herzka, S.Z., Viana, M.T. (2014). The effect of substituting fishmeal with poultry by-product meal in diets for *Totoaba macdonaldi* juveniles. *Aquaculture Research*, 47, 1778-1789.
- Bandarra, N., Nunes, M., Andrade, A., Prates, J., Pereira, S., Monteiro, M., Valente, L. (2006). Effect of dietary conjugated linoleic acid on muscle, liver and visceral lipid deposition in rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 254, 496-505.
- Barreto-Curiel, F., Focken, U., D'Abramo, L.R., Viana, M.T., (2017). Metabolism of *Seriola lalandi* during starvation as revealed by fatty acid analysis and compound-specific analysis of stable isotopes within amino acids. *PLoS ONE*, 1-17.
- Barreto- Curiel, F., Focken, U., D'Abramo, L.R., Cuarón, J. A., Viana, M.T., (2018). Use of isotopic enrichment to assess the relationship among dietary protein levels, growth and nitrogen retention in juvenile *Totoaba macdonaldi*. *Aquaculture*, 495 794-802.
- Benítez-Dorta, V., Caballero, M. J., Izquierdo, M., Manchado, M., Infante, C., Zamorano, M. J., & Montero, D. (2012). Total substitution of fish oil by vegetable oils in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) diets: effects on fish performance, biochemical composition, and expression of some glucocorticoid receptor-related genes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 39, 335–349.
- Bowyer, J., Qin, J., Smullen, R., Stone, D. (2012). Replacement of fish oil by poultry oil and canola oil in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) at optimal and suboptimal temperatures. *Aquaculture*, 356-357, 211-222.

- Brinker, A., Reiter, R. (2011). Fish meal replacement by plant protein substitution and guar gum addition in trout feed, Part I: Effects on feed utilization and fish quality. *Aquaculture*, 310, 350-360.
- CESAIBC (Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California). (2016). Directorio de Productores de Peces. Recuperado de: <http://www.cesaibc.org/sitio/directorio.php>
- Chauton, M. S., Reitan, K. I., Kleivdal, H. T. (2015). Industrial production of marine microalgae as a source of EPA and DHA-rich raw in fish feed: Basis, knowledge status and possibilities. *Aquaculture*, 436, 95-103.
- Cox, M. M., & Nelson, D. L. (2008). *Principles of Biochemistry: Lehninger*. New York: W H Freeman and Company.
- Eroldogan, T. O., yilmaz, A.H., Turchini, G. M., Arslan, M., Sirkecioglu, N, A., Engin, K., Ozsahinoglu, I., Mumogullarinda, P. (2013). Fatty acid metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effects of n-6 PUFA and MUFA in fish oil replacement diets. *Fish Physiology and Biochemistry*, 39, 941-955.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2018). The state of world fisheries and aquaculture 2015. FAO Fisheries and Aquaculture Department, The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.
- FAO. (Food and Agriculture Organization) (2016). The state of world fisheries and aquaculture 2015. FAO Fisheries and Aquaculture Department, The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.
- Folch, J., Lees, M., & Sloane-Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
- Fuentes-Quesada, J.P., Viana, M.T., Rombenso, A. N., Guerrero-Rentería, Y., Nomura-Solís, M., Gomez-Calle, V., Lazo, J.P., Mata-Sostres, J.A. (2018). Enteritis induction by soybean meal in *Totoaba macdonaldi* diets: Effects on growth performance, digestive capacity, immune response and distal intestine integrity. *Aquaculture*, 495, 78-89.
- García-Organista, A. A. (2018). Influencia de la biodisponibilidad de taurina en los perfiles de ácidos grasos en juveniles de jurel *Seriola dorsalis* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Glencross, B.D. (2009). Exploring the nutritional demand for essential fatty acid by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 1, 71-124.

- Guerra-Olvera, F. M. (2014). Efecto de colesterol en alimento sobre el crecimiento del jurel de castilla (*Seriola lalandi*) y su acumulación en hígado y músculo (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- López M., Lelliott C.J. and Vidal-Puig A. (2007). Hypothalamic fatty acid metabolism: a housekeeping pathway that regulates food intake. *BioEssays* 29: 248-261.
- Martinez-Takeshita, N., Purcell, C., Chabot, C., Craig, M., Paterson, C., Hyde, J. y Allen, L. (2015). A Tale of Three Tails: Cryptic Speciation in a Globally Distributed Marine Fish of the Genus *Seriola*. *Copeia*. 103, 357-368.
- Mata-Sotres, J.A., Tinajero-Chavez, A., Barreto-Curiel, F., Pares-Sierra, G., Rio-Zaragoza, O.B., Viana, M.T., Rombenso, A.N. (2018). DHA (22:6n-3) supplementation is valuable in *Totoaba macdonaldi* fish oil-free feeds containing poultry by-product meal and beef tallow. *Aquaculture*, 497, 440-451.
- Nakada, M. (2008). Capture-based aquaculture of yellowtail. In A. Lovatelli; P.F. Holthuis (eds). Capture-based aquaculture. Global overview. *FAO Fisheries Technical Paper* 508, 199–215.
- Rombenso, A. N., Trushenski, J. T., & Drawbridge, M. (2018). Saturated lipids are more effective than others in juvenile California yellowtail feeds—Understanding and harnessing LC-PUFA sparing for fish oil replacement. *Aquaculture*, 493, 192–203.
- Rombenso, A.N., Trushenski, J.T., 7 Schwarz, M.H. (2016). Fish oil replacement in feeds for juvenile Florida pompano: Composition of alternative lipid influences degree of tissue fatty acid profile distortion. *Aquaculture*, 458, 177-186.
- Rombenso, A.N, Trushenski, J.T., Schwarz, M.H. (2017). Beef tallow is suitable as a primary lipid source in juvenile Florida pompano feeds. *Aquaculture Nutrition*, 1-13.
- SAGARPA. (2017). Anuario estadístico de acuacultura y pesca. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Sinaloa, Mexico.
- Sargent, J. R., Tocher, D. R., & Bell, J. B. (2002). The lipids in J. E. Halver & R. W. Hardy (Eds.), *Fish nutrition* 181–257.
- Tocher, D. R. (2015). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449, 94–107.
- Trushenski, J., Crouse, C. C., & Rombenso, A.N. (2015). Effects of fish oil sparing on fatty acid composition in hybrid striped bass are influenced by dietary levels of saturated and unsaturated fatty acids. *North American Journal of Aquaculture*, 77, 160-169.

- Trushenski, J.T., & Bowzer, J.C. (2013). Having Yyour omega 3 fatty acids and eating them, too:Strategies to ensure and improve the long-chain polyunsaturated fatty acid content of farm-raised fish. In F. De meester, R.R. Watson, & S. Zibadi (Eds.) *Sustainable long chain omega-3 fatty acids in cardiovascular and mental health*, 319-340.
- Trushenski, J.T., Blaufuss, P., Mulligan, B., & Laporte, J. (2011). Growth performance and tissue fatty acid composition of rainbow trout reared on feeds containing fish oil or equal blends of fish oil and traditional or novel alternative lipids. *North American journal of Aquaculture*, 73, 194-203.
- Turchini, G. M., Torstensen, B. E., & Ng, W.-K. (2009). Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 1, 10–57.