

Research Article

Evaluación de dietas comerciales en el crecimiento y su efecto en la composición bioquímica muscular de juveniles de chita, *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846) (Familia: Haemulidae)

**Jhon Dionicio-Acedo¹, Maryandrea Rosado-Salazar¹, Jorge Flores-Mego¹
Leenin Flores-Ramos² & Arturo Aguirre-Velarde¹**

¹Laboratorio de Ecofisiología Acuática, Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú

²Laboratorio de Biotecnología, Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú

Corresponding autor: Jhon Dionicio-Acedo (dionicio.jhon@gmail.com)

RESUMEN. Se evaluó el crecimiento, composición proximal y perfil de ácidos grasos muscular de juveniles de *Anisotremus scapularis* alimentados con cuatro dietas comerciales. Para este fin, durante 106 días, 200 peces fueron distribuidos en cuatro tratamientos; se alimentaron con dietas comerciales identificadas por su contenido proteico: 50% (DF-50), 48% (DM-48), 44% (DT-44) y 40% (DT-40). Las evaluaciones biométricas muestran que mayor crecimiento, conversión alimentaria y factor de condición se obtuvieron en *A. scapularis* alimentadas con la dieta DM-48 ($P < 0,05$). Sin embargo, la relación talla-peso y consumo de alimento-talla fueron similares entre los tratamientos dietarios. Por otro lado, menores concentraciones de proteína y mayores de lípidos se obtuvieron en el músculo de juveniles de *A. scapularis* alimentados con las dietas DM-48 y DF-50 ($P < 0,05$), respectivamente. El análisis de componentes principales mostró una mayor correlación entre peces alimentados con la dieta DM-48 y el contenido muscular de DHA, EPA y ARA; y con el crecimiento. Los resultados sugieren que la formulación de alimentos para juveniles de *A. scapularis* debería contemplar al menos de 48% de proteína y concentraciones importantes de DHA, EPA y ARA para su adecuado crecimiento de esta especie.

Palabras clave: *Anisotremus scapularis*, Haemulidae, chita, ácidos grasos esenciales, maricultura.

Evaluation of commercial diets on growth and its effect on muscle biochemical composition of juvenile Peruvian grunt, *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846) (Familia: Haemulidae)

ABSTRACT. The growth, muscle proximal composition and fatty acid profile of juveniles of *Anisotremus scapularis* fed with four commercial diets were evaluated. During 106 days, 200 fishes, were distributed in four treatments, fish were fed with commercial diets identified by their protein content: 50% (DF-50), 48% (DM-48), 44% (DT-44) and 40% (DT-40). Biometric evaluations showed that higher growth ($P < 0.05$), feed-conversion and condition factor were obtained in *A. scapularis* fed with DM-48. However, both length-weight and food intake-size relationships were similar among dietary treatments. Lower ($P < 0.05$) protein and higher ($P < 0.05$) lipid concentrations in muscle of *A. scapularis* fed with DM-48 and DF-50 were obtained, respectively. Principal component analysis showed a higher correlation between fishes fed with DM-48 and DHA, EPA, and ARA muscle contents as with growth. Our results suggest that the food formulation for juveniles of *A. scapularis* should include at least 48% protein and significant concentrations of DHA, EPA and ARA for a proper growth of this species.

Keywords: *Anisotremus scapularis*, Haemulidae, Peruvian grunt, essential fatty acids, mariculture.

INTRODUCCIÓN

Anisotremus scapularis (Familia: Haemulidae, chita) es una de las seis especies bentopelágicas marinas de su

género registrada en el Perú (Chirichigno & Cornejo, 2001). Se distribuye desde Manta en Ecuador, incluyendo las Islas Galápagos, donde se le conoce como corcovado, hasta Antofagasta en Chile (Chirichigno &

Cornejo, 2001), conocida bajo el nombre de sargo. En la costa peruana, es una especie explotada comercialmente. Sin embargo, durante el último decenio se ha registrado descenso en los desembarques de esta especie; así, en el 2013, su pesquería artesanal fue de solo 96 ton comparada con 274 ton en 2005 (PRODUCE, 2015). Debido a sus cualidades gastronómicas esta especie tiene importancia económica y patrimonial. En este sentido, actualmente se están realizando esfuerzos para su acondicionamiento y reproducción en cautiverio (IMARPE, 2015). Si bien se ha logrado su reproducción en ambiente controlado (IMARPE, 2015), los estudios de alimentación y requerimientos nutricionales son escasos. Al respecto, se ha reportado en la composición de su contenido estomacal la presencia de anfípodos, caprélidos, gammáridos y ofiuroideos entre otros invertebrados, considerándose una especie carnívora (Vargas *et al.*, 1999).

En la nutrición de peces marinos carnívoros, la proteína (sus componentes en aminoácidos, AAs) es uno de los nutrientes más importantes debido a su aporte energético para el crecimiento y formación de nuevas estructuras tisulares (Limin *et al.*, 2006), reportándose que de acuerdo a las especies, los niveles de proteína óptimos para un buen crecimiento se encuentran en el rango entre 40 y 55% de proteína (Boonyaratpalin, 1997; Gao *et al.*, 2005). Asimismo, los lípidos juegan un rol importante en la nutrición, puesto que son precursores de componentes hormonales y de prostaglandinas, además como fuentes de ácidos grasos esenciales (AGE) (Tidwell *et al.*, 2007). Los AGE forman parte de los requerimientos necesarios en el desarrollo de los peces marinos, ya que estos compuestos se encuentran en mayor concentración en estas especies que en peces dulceacuícolas (Ibeas *et al.*, 1996). En consecuencia, su presencia es necesaria para el mantenimiento de funciones celulares vitales. Además, se ha comprobado que los peces marinos tienen una limitada capacidad para biosintetizar ácidos grasos altamente insaturados, particularmente el ácido eicosapentanoico (EPA), docosahexaenoico (DHA) y araquidónico (ARA) a partir de los ácidos linoleico y linolénico (Castell *et al.*, 1994; Ghioni *et al.*, 1999; Bell & Sargent, 2003). En tal sentido, es de suma importancia formular dietas que contengan estos tipos de ácidos grasos en cantidades necesarias para un buen desarrollo de peces marinos. Al respecto, las dietas para peces en el mercado local están desarrolladas para especies dulceacuícolas por lo que su balance en ácidos grasos esenciales no sería adecuado para los juveniles de *A. scapularis*.

En este marco, debido a que aún se desconocen los requerimientos nutricionales específicos de *A. scapularis*

necesarios para la elaboración de alimentos balanceados, el presente trabajo busca evaluar la pertinencia del uso de dietas comerciales en Perú, en la alimentación de juveniles de *A. scapularis*, para tener una aproximación sobre sus requerimientos nutricionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Acondicionamiento de los peces

Previo a la evaluación experimental, 500 peces con peso promedio de $1,09 \pm 0,26$ g, provenientes de un mismo desove en cautiverio, realizado en el Laboratorio de Cultivo de Peces fueron trasladados al Laboratorio de Ecofisiología Acuática del IMARPE para su acondicionamiento. El mantenimiento de los peces se realizó en un tanque de fibra de vidrio de 300 L (diámetro: 90 cm y altura: 60 cm), conectado a un sistema de recirculación (SRA) donde se mantuvo una temperatura de $21,7 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y oxígeno disuelto promedio de $6,44 \pm 0,7$ mg L⁻¹. La alimentación fue proporcionada dos veces al día (08:00 y 14:00 h) a saciedad aparente, con un alimento comercial para peces marinos de 48% de proteína y 14,5% de lípidos (Otohime EP2). El tiempo de acondicionamiento duró cuatro semanas hasta obtener un 0% de mortalidad durante una semana.

Diseño del experimento

Después del acondicionamiento, 200 juveniles de *A. scapularis* fueron seleccionados en un rango inicial promedio de talla de $5,5 \pm 0,09$ cm y peso de $2,34 \pm 0,12$ g. Los peces fueron luego distribuidos al azar en cuatro estanques de fibra de vidrio de 300 L de capacidad, obteniendo una densidad de 50 peces/tanque. Asimismo, la alimentación fue realizada de la misma manera que en el acondicionamiento. En cada tanque, los peces fueron sometidos a un tratamiento correspondiente a una de las cuatro dietas comerciales proporcionadas: dieta para trucha marca Truchina con 40% de proteína y 12% de lípidos (DT-40), dieta para trucha con 44% de proteína y 12% de lípidos (DT-44), dieta para peces marinos marca Otohime EP2 con 48% de proteína y 14,5% de lípidos (DM-48) y dieta marca Aquaxcel para peces de aguas frías con 50% de proteína y 16% de lípidos (DF-50). Detalles de la composición proximal de las dietas se indican en la Tabla 1.

Cada estanque contó con un sistema de aireación, un filtro mecánico-biológico y un skimmer (desproteinizador) para mantener la calidad del agua en óptimas condiciones durante la evaluación. La temperatura y saturación de oxígeno fueron medidas diariamente mediante un multiparámetro Hanna HI 9828. La concentración de amonio (NH₃) fue cuantificada usando un kit de análisis LaMotte con un rango de me-

Tabla 1. Composición proximal de las dietas comerciales (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50) usadas en la evaluación de alimentos para juveniles de *Anisotremus scapularis*. Las dietas DT-40 y DT-44 son utilizadas para peces carnívoros dulceacuícolas de aguas frías; DM-48 es utilizada para peces marinos y la dieta DF-50 es utilizada para peces marinos y dulceacuícolas carnívoros de aguas frías.

Composición	Dieta			
	DT-40	DT-44	DM-48	DF-50
Proteína (%)	40	44	48	50
Lípidos (%)	12,0	12,0	14,5	16,0
Humedad (%)	9,5	9,1	10,0	8,3
Fibra (%)	3	3	2	3
Energía (kcal 100 g ⁻¹)	337,2	355,0	308,6	336,0

dición entre 0 y 2 ppm. El experimento de nutrición fue realizado por un periodo de 106 días.

Índices de crecimiento, condición y de alimentación

El crecimiento fue monitoreado mediante el seguimiento del peso total (g) y longitud total (cm), con una balanza de precisión ($\pm 0,01$ g) y un ictiómetro ($\pm 0,1$ cm) respectivamente, cada 21 ± 1 días. El muestreo se realizó con el número total de individuos en cada tratamiento.

Para evaluar la isometría en el crecimiento en los tratamientos, la relación talla-peso fue modelada siguiendo una función potencial: $P = a L^b$, donde P es el peso (g) y L es la longitud total (cm). Independientemente, en cada tratamiento se verificó si $b = 3$.

La condición biométrica fue estimada en cada tratamiento mediante el factor de condición (K) con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P}{L^3} 100 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$$

El factor de conversión alimentaria (FCA) que indica la transformación del alimento consumido por los peces en tejido corporal fue determinado mediante la relación entre la cantidad de alimento consumido y la ganancia en peso de los juveniles de *A. scapularis* en cada tratamiento:

$$FCA = \frac{\text{Alimento consumido}}{\text{Ganancia de peso}} \text{ (g}_{\text{alimento}} \text{ g}_{\text{peso pez}}^{-1}\text{)}$$

El consumo de alimento por individuo (CA) de *A. scapularis* se calculó de la siguiente manera:

$$CA = \frac{\text{Alimento consumido}}{nt} \text{ (g}_{\text{alimento}} \text{ ind}^{-1} \text{ día}^{-1}\text{)}$$

donde n es el número de individuos y t el tiempo en días.

Complementariamente la relación entre el CA y la longitud total se determinó mediante una regresión no lineal siguiendo un modelo potencial: $CA = a L^b$.

La sobrevivencia, en porcentaje (%) del número de individuos iniciales, se determinó mediante el recuento de animales sobrevivientes en cada muestreo y sucesivamente acumulado hasta el final del experimento para cada tratamiento; se calculó la relación entre el número de individuos al final del ensayo y el número de individuos al inicio, multiplicado por 100%.

Análisis bioquímico del alimento balanceado y tejido muscular de los juveniles

Al finalizar el experimento, se realizaron análisis proximales (proteína, lípidos, carbohidratos y humedad) y el perfil de ácidos grasos tanto de las dietas como de tejido del músculo dorsal de juveniles. Se utilizó 1 g de muestra de la dieta balanceada, asimismo para el tejido muscular, se sacrificaron 15 ind por tratamiento, obteniéndose muestras musculares de 2 g por cada individuo y luego congeladas en una ultra congeladora a -80°C hasta su análisis.

El análisis de proteína se realizó según el método de Hartree (1972), donde las proteínas se determinaron por espectrofotometría, utilizando suero de albumina de bovino (BSA) como estándar. Los lípidos se determinaron mediante el método de Folch *et al.* (1957), los que fueron extraídos utilizando cloroformo-metanol (2:1) y antioxidante BHT (mg mL^{-1}). El contenido de carbohidratos se determinó de acuerdo al método de Dubois *et al.* (1956), que consiste en extraer carbohidratos con ácido sulfúrico a partir de 50 mg de biomasa húmeda. El contenido de humedad fue determinado por gravimetría en una estufa de vacío a 105°C por 16 h y 0,1 bar de presión. El perfil de ácidos grasos se determinó a partir de la muestra de lípidos obtenida anteriormente, por cromatografía de gases mediante el método de Ichihara & Fukubayashi (2010).

Análisis de datos

En cada tratamiento las diferencias/similitudes, en peso (g), longitud (cm), factor de condición (K) y análisis proximal del músculo de los peces, se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA). Previamente se verificó la normalidad (test de Shapiro) y homocedasticidad (test de Bartlett) de los datos.

La isometría para la relación talla-peso, se comprobó con un modelo potencial de exponente cúbico ($b = 3$), donde se realizó una prueba de hipótesis con el estadístico t -Student para verificar la igualdad del exponente al valor de tres. Los modelos potenciales CA-longitud fueron comparados reduciendo la suma residual de cuadrados y un análisis de Chi Cuadrado

(χ^2) para determinar si existían diferencias entre tratamientos. El análisis se realizó a un 95% de confianza. El factor de conversión alimentaria fue comparado mediante el test de Kruskal Wallis para determinar diferencias significativas entre tratamientos, debido a que los resultados no presentaron distribución normal.

El perfil de ácidos grasos fue evaluado mediante un análisis de componentes principales (ACP), para determinar los ácidos grasos de mayor influencia en el crecimiento de los juveniles. Con este fin, se incluyó en el ACP la variable explicativa cuantitativa crecimiento, correlacionando el peso final de los peces de cada tratamiento con los ácidos grasos, considerando que al inicio no existieron diferencias significativas entre tratamientos.

El análisis de los datos, test estadísticos y gráficos se realizaron mediante el software estadístico R Versión 2.9.0 (R Development Core Team, 2015).

RESULTADOS

Crecimiento e índices de condición

Durante el experimento, las cuatro dietas proporcionadas fueron aceptadas por los juveniles de *A. scapularis*. No obstante, se observaron diferencias en el crecimiento entre los tratamientos (Fig. 1).

Peso y talla promedio significativamente mayores ($P < 0,05$) se registraron en peces alimentados con la dieta DM-48 ($30,66 \pm 1,65$ g y $11,61 \pm 0,19$ cm, respectivamente). Adicionalmente, un crecimiento significativo mostraron también los peces alimentados con la dieta DF-50. En dietas DT-44 y DT-40 el crecimiento fue considerablemente menor. Peso y talla ($8,94 \pm 0,56$ g y $8,12 \pm 0,15$ cm) de los peces alimentados con la dieta DT-40 fueron significativamente menores respecto a las demás dietas ($P < 0,05$).

El ajuste de los modelos potenciales de la relación talla-peso en los cuatro tratamientos (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50) mostraron ser isométricos (potencia no significativamente diferente de 3, $P > 0,05$) (Fig. 2). Asimismo, la ecuación $P = 0,009L^{3,3}$, que representa el ajuste para el conjunto de tratamientos, evidencia un crecimiento isométrico, donde el exponente no fue significativamente diferente de 3 ($P > 0,05$).

Índices de alimentación

El factor de condición no mostró diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los juveniles alimentados con las dietas DM-48 y DF-50 (Fig. 3).

El ajuste de las curvas de CA-longitud no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0,05$). Por lo cual, la curva potencial de la CA-longitud se presentó como una única ecuación, con un valor exponencial de 2,76 (Fig. 4a).

El FCA obtenido con las dietas DM-48 y DF-50 mostró valores promedio relativamente bajos de $1,27 \pm 0,23$ y $1,32 \pm 0,13$, respectivamente (Fig. 4b), con valores menores al inicio del experimento. En individuos alimentados con las dietas DT-40 y DT-44, se observaron valores de FCA altamente variables y relativamente elevados durante el experimento.

Análisis bioquímico del alimento balanceado y tejido muscular de *A. scapularis*

El análisis proximal del músculo de los juveniles de *A. scapularis* alimentados con las cuatro dietas comerciales se muestra en la Tabla 2. El contenido proteico en el músculo no mostró diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los juveniles alimentados con las dietas DF-50 y DM-48. No obstante, en los peces alimentados con la dieta DF-50 fue significativamente menor respecto de los juveniles alimentados con las dietas DT-40 y DT-44 ($P < 0,05$). Comparando el contenido lipídico, el músculo de juveniles alimentados con DM-48 y DF-50 no mostró diferencias significativas ($P > 0,05$). Sin embargo, el contenido de lípidos fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en los juveniles alimentados con las dietas DT-40 y DT-44. El contenido de carbohidratos en los juveniles alimentados con DT-40 fue significativamente mayor ($P < 0,05$) respecto de los peces alimentados con la dieta DF-50 pero no en comparación con los de DM-48 ($P > 0,05$). El porcentaje de humedad en el músculo fue significativamente menor ($P < 0,05$) en los juveniles alimentados con DM-48 respecto a los demás tratamientos.

Las concentraciones de ácidos grasos (AG) polinsaturados (PUFA) de las dietas comerciales se indican en la Figura 5. Se obtuvo mayores concentraciones de ácido linoleico (18:2n-6) en las dietas DT-40 y DT-44 con concentraciones de $38,3 \pm 2,2$ y $63,1 \pm 2,3$ mg AG g_{dieta}^{-1} , respectivamente. Sin embargo, respecto al contenido del DHA, estas dietas, presentaron concentraciones menores con valores respectivos de $6,10 \pm 0,2$ y $3,15 \pm 0,25$ mg AG g_{dieta}^{-1} . Además, se observó una mayor concentración de DHA observó en la dieta DM-48, con un valor de $12,1 \pm 0,2$ mg AG g_{dieta}^{-1} .

El contenido de ácidos grasos en el tejido muscular varió directamente proporcional a la dieta proporcionada en todos los tratamientos. En ese sentido, juveniles alimentados con las dietas DT-40 y DT-44

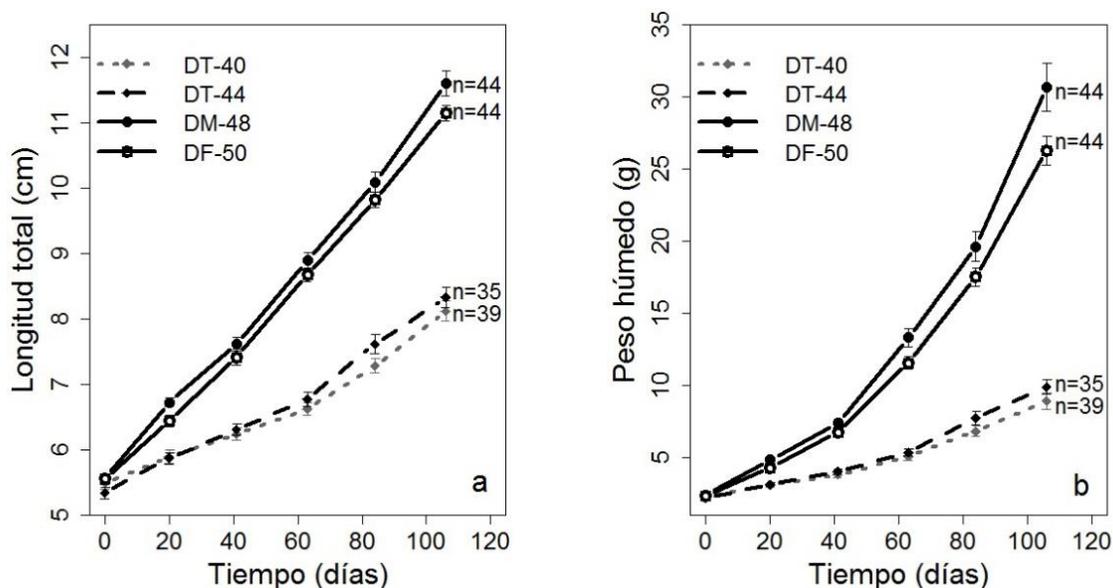


Figura 1. a) Crecimiento en talla y b) peso total registrados durante el periodo experimental en juveniles de *A. scapularis* alimentados con las dietas comerciales (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50).

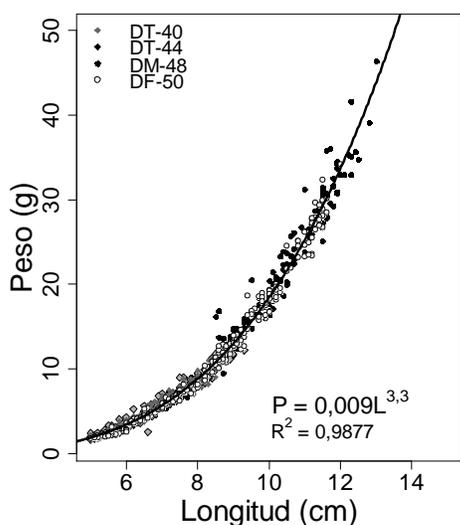


Figura 2. Relación talla-peso de los juveniles de *A. scapularis* alimentados con diferentes dietas comerciales (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50).

mostraron concentraciones significativamente mayores ($P < 0,05$) de ácido linoleico en su tejido muscular ($3,57 \pm 0,34$ y $3,78 \pm 0,23$ mg AG g^{-1} , respectivamente) respecto a los demás ácidos grasos poliinsaturados (Fig. 5b). En cambio, bajas concentraciones de ácido linoleico se obtuvieron con las dietas DM-48 ($0,63 \pm 0,06$ mg AG $g_{músculo}^{-1}$) y DF-50 ($1,03 \pm 0,06$ mg AG $g_{músculo}^{-1}$). De la misma manera, mayores concentraciones de ácido linolénico se obtuvieron en peces alimentados con DT-40 y DT-44, respecto a los juveni-

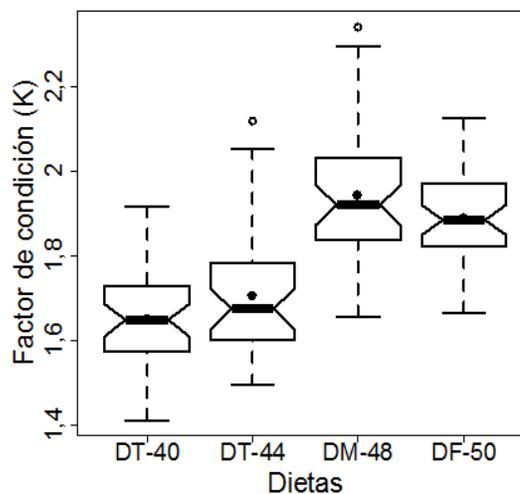


Figura 3. Factor de condición (K) de juveniles de *A. scapularis* alimentados con diferentes dietas comerciales (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50), al finalizar los 106 días del experimento. Los puntos (•) indican el valor promedio de K.

los alimentados con las otras dietas ($P < 0,05$). Por otra parte, la concentración de DHA fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en los peces alimentados con las dietas DM-48, con un valor de $3,18 \pm 0,21$ mg AG g^{-1} (Fig. 5b). Mientras que en los peces alimentados con las dietas DT-44 se determinó una menor concentración ($1,38$ mg AG g^{-1}).

En el análisis de componentes principales el primer componente (PC1) explicó el 79% de la variabilidad de la composición de ácidos grasos en los individuos (tra-

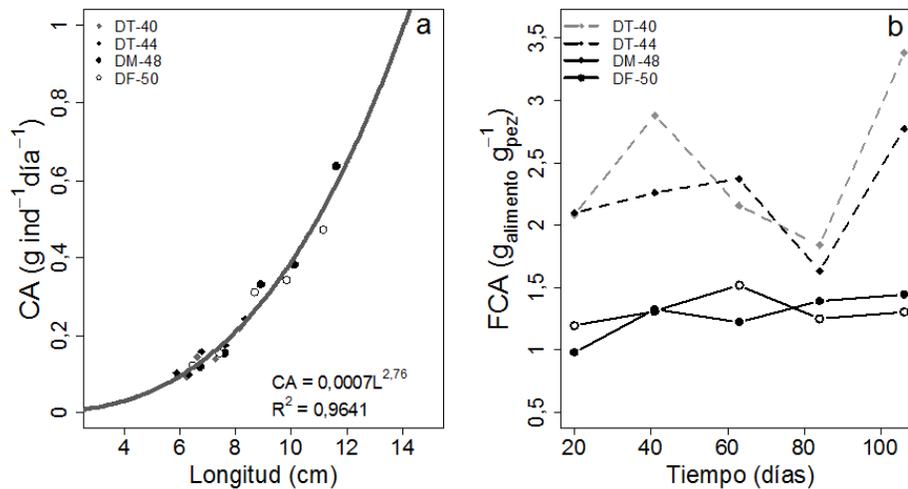


Figura 4. a) Consumo de Alimento ($CA_{\text{g alimento ind}^{-1} \text{ día}^{-1}}$) en función de la longitud en juveniles de *A. scapularis* alimentados con diferentes dietas comerciales (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50), b) Factor de Conversión Alimentario ($FCA_{\text{g alimento g}^{-1} \text{ pez}^{-1}}$) a lo largo del periodo experimental para las cuatro dietas evaluadas.

Tabla 2. Composición proximal muscular de juveniles de *A. scapularis* en porcentaje de peso húmedo al final del experimento alimentados con cuatro dietas comerciales (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50). Los valores indican el promedio e intervalo de confianza al 95%. Los promedios en la misma fila con diferentes letras sobrescritas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

	Tratamiento dietario			
	DT-40	DT-44	DM-48	DF-50
Proteína	18,29 ± 0,61 ^b	18,14 ± 0,91 ^b	17,86 ± 0,54 ^{a,b}	17,29 ± 0,60 ^a
Lípidos	1,71 ± 0,25 ^b	1,65 ± 0,32 ^b	2,39 ± 0,29 ^a	2,13 ± 0,42 ^a
Carbohidratos	0,41 ± 0,03 ^b	0,37 ± 0,04 ^a	0,39 ± 0,03 ^{a,b}	0,37 ± 0,04 ^a
Humedad	76,79 ± 0,74 ^a	77,09 ± 0,92 ^a	75,62 ± 1,19 ^b	76,94 ± 0,59 ^a

tamientos), mientras que el segundo componente principal (PC2) lo hizo en el 15,9%. En la Fig. 6 (PC1-PC2) se representan las variables (ácidos grasos), los individuos de cada tratamiento y la variable explicativa crecimiento. Se observó que los juveniles alimentados con las dietas DM-48 y DF-50 están correlacionados con la variable explicativa de crecimiento. A su vez, los ácidos grasos esenciales altamente insaturados más correlacionados a la variable explicativa de crecimiento, fueron el docosahexaenoico (DHA), eicosapentaenoico (EPA), araquidónico (ARA), y docosapentaenoico (DPA). Por el contrario, aquellos alimentados con las dietas DT-40 y DT-44, que estuvieron más correlacionados al ácido linoleico (ALA) y linolénico (ALN), estuvieron a su vez correlacionados negativamente a la variable explicativa de crecimiento.

Sobrevivencia

Los mayores porcentajes de sobrevivencia de juveniles de *A. scapularis* se obtuvieron con las dietas DM-48 y

DF-50, siendo un 88% en ambos tratamientos. Por el contrario, peces alimentados con dietas DT-44 y DT-40, obtuvieron un porcentaje de sobrevivencia del 70 y 78%, respectivamente.

DISCUSIÓN

Crecimiento e índices de condición

Se ha demostrado que los peces marinos carnívoros requieren altos niveles proteicos (40-60%) y lipídicos (6-15%) para lograr un óptimo crecimiento (De la Parra *et al.*, 2010). Al respecto, *A. scapularis*, es una especie marina y carnívora (Medina *et al.*, 2004) que requiere un régimen proteico elevado. El mejor crecimiento observado con dietas de mayor contenido proteico (48-50%) corrobora que estos niveles son los mínimos necesarios para un buen crecimiento. Puesto que con las dietas del 40 y 44% de proteína se obtuvieron menores valores. Además, la concentración lipídica juega un rol importante en el crecimiento, puesto que la relación

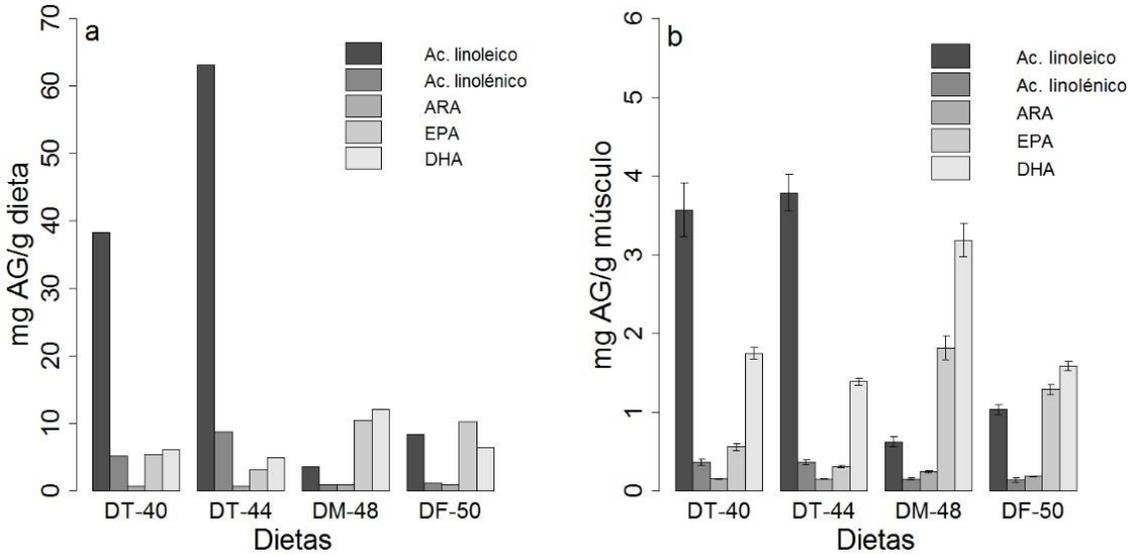


Figura 5. Concentración de ácidos grasos polinsaturados ($\text{mg AG g}_{\text{dieta}}^{-1}$) a) en las dietas balanceadas (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50), b) contenido de ácidos grasos ($\text{mg g}_{\text{músculo}}^{-1}$) del músculo de *A. scapularis* alimentado con cuatro dietas comerciales evaluadas.

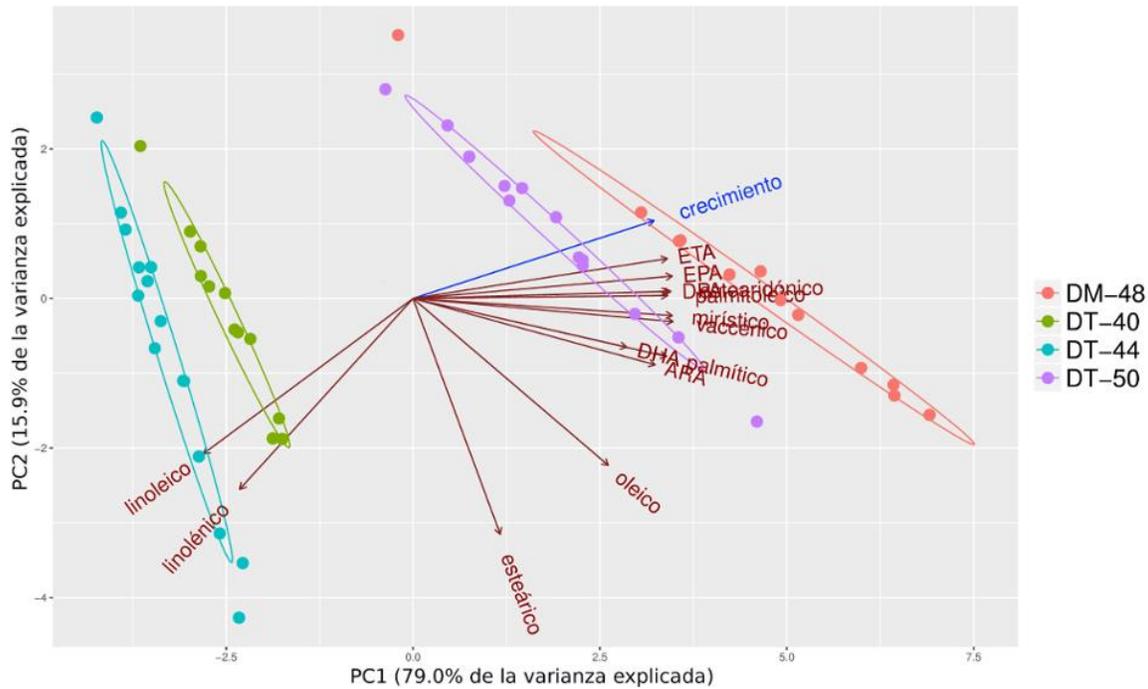


Figura 6. Análisis de componentes principales del contenido de ácidos grasos en el músculo de juveniles de *A. scapularis* alimentados con cuatro dietas comerciales (DT-40, DT-44, DM-48 y DF-50). Los ácidos grasos DHA, EPA, ARA, ETA y DPA indican mayor correlación con la variable de crecimiento.

entre proteína y energía en las dietas DM-48 y DF-50 pudieran ser las más adecuadas para un óptimo crecimiento en los juveniles. De acuerdo a esto, la máxima velocidad de crecimiento se logra cuando la tasa de deposición de las proteínas es máxima y esto ocurre cuando las dietas consumidas tienen energía y

proteína de alta digestibilidad, tanto en niveles como en proporciones adecuadas (Britz & Hecht, 1997). Por lo tanto, se infiere que las dietas DM-48 y DF-50 tendrían características nutricionales beneficiosas que son aprovechadas más eficientemente por los juveniles.

Adicionalmente, un factor de condición significativamente mayor ($P < 0,05$) obtenido con estas dietas (DM-48 y DF-50) sugiere que los juveniles tienen elevados requerimientos nutricionales, puesto que mejores valores se obtuvieron con dietas de mayor contenido proteico y lipídico. Como se ha mencionado anteriormente, el factor de condición puede variar de acuerdo a la influencia de factores alimenticios (calidad y concentración de proteína y lípidos), así como también fisiológicos (material de reserva y desarrollo gonadal) (Piaget, 2009). Por lo tanto, dietas a partir de un 48% de proteína y 14,5% de lípidos serían un punto de partida donde se pueda conseguir ganancia de peso respecto a la ganancia longitudinal.

La isometría está referida al crecimiento en la misma proporción para todas las partes de un organismo (Sebens, 1987), de este modo su forma se mantiene en todo su desarrollo. En este sentido, la relación talla-peso de juveniles de *A. scapularis* mostraron evidencias de un crecimiento de tipo isométrico. Al respecto, estudios similares en otras especies de la Familia Haemulidae han reportado exponentes más bajos ($P = aL^b$): 2,54 para *Orthopristis ruber* (Guerrieri *et al.*, 2015) y 2,87 para *Haemulon aurolineatum* (Bravo *et al.*, 2009), Sin embargo, en estos estudios no se comprueba la isometría de crecimiento, tal como en el presente trabajo.

Índices de alimentación

Valores más bajos del FCA obtenidos con las dietas DM-48 y DF-50 pueden ser atribuidos a su adecuada calidad para la nutrición de juveniles de *A. scapularis*. Contrariamente, mayores valores de FCA en las dietas DT-44 y DT-40 indicarían un bajo valor nutricional para esta especie (Watanabe *et al.*, 2001). En tal sentido, *A. scapularis* tendría elevados requerimientos proteicos o la concentración de ciertos aminoácidos proporcionados por las dietas DT-40 y DT-44 no es suficiente para su buen crecimiento. Uno de estos posibles aminoácidos sería la arginina, debido a que es el más abundante en proteínas y en los fluidos tisulares de los peces (Li *et al.*, 2009).

Se ha afirmado que la cantidad de alimento consumido depende de la proporción de proteína y energía de la dieta, indicando que a una mayor concentración de energía reduce la ingestión del alimento y viceversa (Poniak *et al.*, 2004; Escobar *et al.*, 2006; De la Parra *et al.*, 2010). Sin embargo, también se ha postulado que para un organismo el flujo de asimilación se realiza a través de una superficie; por lo tanto, la tasa de ingestión sería una función potencial de la longitud al cuadrado (Kooijman, 2009). En consecuencia, la cantidad de alimento consumido a saciedad por los individuos dependería principalmente

de la talla de los peces y no necesariamente a los diferentes niveles de proteína, lípidos o su proporción entre ellos.

Análisis bioquímicos del alimento balanceado y tejido muscular de *A. scapularis*

El perfil de ácidos grasos esenciales en las dietas DM-48 y DF-50 mostró mayores concentraciones de ácidos grasos altamente insaturados (HUFAs) destacándose en la dieta DM-48 un elevado nivel de DHA. Caso contrario, sucedió con las dietas DT-40 y DT-44, donde se determinaron mayores cantidades de los ácidos linoleico (18:2n-6) y linolénico (18:3n-3). En efecto, dietas para peces marinos tienen un alto porcentaje de lípidos y en especial de ácidos grasos de cadenas largas (>20 átomos de carbono), puesto que estos peces requieren mayores concentraciones de HUFAs del tipo n-3 (EPA y DHA) (López *et al.*, 2009; Sargent *et al.*, 1999), debido a que en tejidos de peces marinos se ha encontrado mayor composición de estos ácidos grasos y no lo pueden sintetizar, a diferencia de peces dulcícolas que obtienen sus requerimientos de ácidos grasos esenciales a partir del suplemento del ácido linoleico y linolénico (Bell & Sargent, 2003), es decir pueden ser biosintetizados.

Se ha documentado que a nivel muscular la composición proximal en el tejido muscular de los peces depende de la composición del alimento, incluyendo la relación entre proteína y lípidos (Berge & Storebakken, 1991) y el perfil de ácidos grasos de la dieta (López *et al.*, 2009). En la composición proximal en el músculo de juveniles de *A. scapularis* alimentados con las dietas DM-48 y DF-50, se obtuvieron los menores valores de proteína pero los mayores en lípidos ($P < 0,05$). Posiblemente la alta concentración de lípidos en estas dietas influyó en su asimilación a nivel muscular en estos peces, dispersando a la proteína. Este mecanismo permitiría reservas energéticas y luego utilizarlas para cubrir procesos metabólicos de mantenimiento somático, puesto que dentro del flujo energético el primer uso de las reservas energéticas es el mantenimiento tisular, seguida del crecimiento y la maduración o reproducción (Kooijman, 2009).

La composición de ácidos grasos altamente insaturados (EPA, DPA, DHA) en el músculo dorsal de juveniles de *A. scapularis* estuvo correlacionada con un mayor crecimiento. Este resultado confirma la importancia de estos ácidos grasos esenciales para el óptimo crecimiento de esta especie y en general de especies marinas (Bell & Sargent, 2003). Al respecto, es bien conocido que entre los HUFAs del tipo n-3, el DHA tiene una mayor función biológica respecto al EPA (Watanabe, 1993). Puesto que el DHA, general-

mente, participa en la estructura y funcionamiento de las membranas celulares de los peces (Villarreal, 2011). Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que el crecimiento estuvo más correlacionado, con los ácidos grasos ETA, EPA y DPA, en especial por el DPA, seguido por el EPA. En este sentido, algunos peces carnívoros son capaces de sintetizar el EPA debido a la presencia de la enzima $\Delta 5$, sin embargo la síntesis se detiene y sólo puede elongar hasta el DPA sin alcanzar la síntesis de DHA (Tocher, 2003). Por lo cual, DPA y DHA necesariamente deben de ser ingeridos por estos peces.

Por otra parte, el crecimiento se correlacionó negativamente con el contenido de ácidos grasos linolénico (18:3n-3) y linoleico (18:2n-6). Por lo tanto, se infiere que una alta concentración de ácidos grasos de cadena de 18 carbonos en la dieta no es bien aprovechado por esta especie. Esto sucedió con los peces alimentados con las dietas DT-40 y DT-44, las cuales mostraron mayores concentraciones de estos ácidos linolénico y linoleico (Fig. 5a). Al respecto, se ha documentado que los peces marinos cuentan con una limitada capacidad enzimática de elongación y desaturación de las cadenas cortas (C_{18}) de ácidos grasos (Castell *et al.*, 1994; Tocher & Ghioni, 1999). Es decir, enzimas capaces de añadir carbono y generar doble enlaces en la cadena de carbono, respectivamente (Ghioni *et al.*, 1999; Bell & Sargent, 2003). Por este motivo, los ácidos grasos de 20 y 22 átomos de carbono (20:4n-6, 20:5n-3 y 22:6n-3) son esenciales para los peces marinos (Kanazawa, 1997).

Sobrevivencia

Se determinaron menores porcentajes de sobrevivencia en juveniles de *A. scapularis* alimentados con DT-40 y DT-44, debido a que en estos tratamientos los peces muertos fueron los más delgados, con síntomas de desnutrición. Asimismo, algunos de estos ejemplares fueron los más pequeños. Por tanto, se infiere que la muerte de los peces se debió al estrés que se presentaron durante las condiciones en cautiverio (atribuidas al manejo o jerarquía entre peces), una insuficiente cantidad y proporción de ácidos grasos esenciales presentes en las dietas, donde se encontraron bajas concentraciones de ARA, EPA y DHA en DT-40 y DT-44. Contrariamente a las dietas DM-48 y DF-50, donde se encontraron mayores concentraciones de EPA y DHA, pero no de ARA. Sin embargo, a pesar de contar con mayores concentraciones de EPA y DHA, ambos tratamientos (DM-48 y DF-50) presentaron mortalidades. Lo anterior indica que las mortalidades pudieron ser influenciadas por la inadecuada proporción de HUFAs en el alimento, lo cual indicaría que estos componentes son de prioridad metabólica (Koven *et al.*,

2001). En este sentido, se ha afirmado que el ARA, EPA y DHA intervienen en diversas reacciones de respuesta inmune, así como al estrés (Sargent *et al.*, 1995). Adicionalmente, se ha determinado que una deficiencia de AA ha sido la causa de patologías y mortalidades en larvas de turbot (Bell *et al.*, 1985; Castell *et al.*, 1994). Más aún, Bessonart *et al.* (1999) determinaron que el AA fue más efectivo en la sobrevivencia de larvas de *Sparus aurata*, cuando se incluyó una mayor ración dietaria de DHA/EPA.

CONCLUSIONES

Se determinó que los mejores resultados de crecimiento, factor de condición, factor de conversión alimenticia y sobrevivencia de *A. scapularis* se obtuvieron con dietas con un contenido proteico de 48 (DM-48) y 50% (DF-50) de proteína. Asimismo, se evidenció la importancia de suplir en ácidos grasos como DHA, EPA y ARA, evitando el uso de los ácidos linoleico y linolénico en la dieta de *A. scapularis*. Parece ser que una dieta con 48% de proteína, 14,5% de lípidos y elevadas concentraciones de ácidos grasos altamente insaturados (DHA, EPA y ARA) sería el punto de partida para la formulación de piensos donde se logre cubrir, en primer lugar, sus requerimientos nutricionales, optimizando su crecimiento y mejorando la sobrevivencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con financiamiento del PpR Ordenamiento y Desarrollo de la Acuicultura. Los autores agradecen al personal del Laboratorio de Cultivo de Peces del IMARPE por la entrega del material biológico para el experimento y al Médico Veterinario Carlos Fernández por las dietas balanceadas suministradas.

REFERENCIAS

- Bell, M.V., R.J. Henderson, B.J.S. Pirie & J.R. Sargent. 1985. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot (*Scophthalmus maximus*). *J. Fish Biol.*, 26: 181-191.
- Bell, J.G. & J.R. Sargent. 2003. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Aquaculture*, 218: 491-499.
- Berge, G.M. & T. Storebakken. 1991. Effect of dietary fat level on weight gain, digestibility, and fillet composition of Atlantic halibut. *Aquaculture*, 99: 331-338.

- Bessonart, M., M.S. Izquierdo, M. Salhi, C.M. Hernández-Cruz, M.M. González & H. Fernández-Palacios. 1999. Effect of dietary arachidonic acid levels on growth and survival of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) larvae. *Aquaculture*, 179: 265-275.
- Boonyaratpalin, M. 1997. Nutrient requirements of marine food fish cultured in southeast Asia. *Aquaculture*, 151: 283-313.
- Bravo, E., N. Eslava & L. González. 2009. Crecimiento y mortalidad del pez *Haemulon aurolineatum* (Teleostei: Haemulidae) en el suroeste de la Isla Margarita, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 57(3): 105-112.
- Britz, P.J. & T. Hecht. 1997. Effect of dietary protein and energy level on growth and body composition of South African abalone, *Haliotis midae*. *Aquaculture*, 156(3): 195-210.
- Castell, J.D., J.G. Bell, D.R. Tocher & J.R. Sargent. 1994. Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 128(3-4): 315-333.
- Chirichigno, N. & M. Cornejo. 2001. Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Instituto del Mar del Perú, Callao, 314 pp.
- De la Parra, M.I.A., L.E. Rodríguez-Ibarra, C. Hernández, K. Hernández, B. González-Rodríguez, I. Martínez-Rodríguez & A. García-Ortega. 2010. Efecto de diferentes niveles de proteína y lípidos totales en la dieta sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles de pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 45(3): 433-439.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers & F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28: 350-356.
- Escobar, J.A., V. del Rosario-Reinoso & M.A. Landinez. 2006. Efecto del nivel de energía y proteína en la dieta sobre el desempeño productivo de alevinos de *Oreochromis niloticus*, variedad chitralada. *Rev. Med. Vet.*, 12: 89-97.
- Folch, J., M. Lees & G.H. Sloane. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226(1): 497-509.
- Gao, Y., J. Lv, Q. Lin & L. Li. 2005. Effect of protein levels on growth, feed utilization, nitrogen and energy budget in juvenile southern flounder, *Paralichthys lethostigma*. *Aquacult. Nutr.*, 11: 427-433.
- Ghioni, C., D.R. Tocher, M.V. Bell, J.R. Dick & J.R. Sargent. 1999. Low C18 to C20 fatty acid elongase activity and limited conversion of stearidonic acid, 18:4 (n-3), to eicosapentaenoic acid, 20:5 (n-3), in a cell line from the turbot, *Scophthalmus maximus*. *Biochem. Biophys. Acta*, 1437: 170-181.
- Guerrieri, A., N. Eslava, L.W. González & F. Guevara. 2015. Parámetros de crecimiento y mortalidad de *Orthopristis ruber* (Perciformes: Haemulidae) en el archipiélago Los Frailes, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 63(1): 189-198.
- Hartree, E.F. 1972. Determination of protein: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Anal. Biochem.*, 48(2): 422-427.
- Ibeas, C., J. Cejas, T. Gómez, S. Jerez & A. Lorenzo. 1996. Influence of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels on juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition. *Aquaculture*, 142(3-4): 221-235.
- Ichihara, K. & Y. Fukubayashi. 2010. Preparation of fatty acid methyl esters for gas-liquid chromatography. *J. Lipid Res.*, 51(3): 635-40.
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE). 2015. Laboratorio de Cultivos Marinos. [http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0170050101000000000000]. Reviewed: 24 March 2016.
- Kanazawa, A. 1997. Effects of docosahexaenoic acid and phospholipids on stress tolerance of fish. *Aquaculture*, 155(1-4): 129-134.
- Kooijman, S.A.M. 2009. Dynamic energy budget theory for metabolic organisation. Cambridge University Press, Cambridge, 490 pp.
- Koven, W., Y. Barr, S. Lutzky, I. Ben-Atia, R. Weiss, M. Harel, P. Behrens & A. Tandler. 2001. The effect of dietary arachidonic acid (20:4n-6) on growth, survival and resistance to handling stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture*, 193(1): 107-122.
- Li, P., K. Mai, J. Trushenski & G. Wu. 2009. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. *Amino Acids*, 37(1): 43-53.
- Limin, L., X. Feng & H. Jing. 2006. Amino acids composition difference and nutritive evaluation of the muscle of five species of marine fish, *Pseudosciaena crocea* (large yellow croaker), *Lateolabrax japonicus* (common sea perch), *Pagrosomus major* (red seabream), *Seriola dumerili* (Dumeril's amberjack) and *Haploxygnathys nitens* (black grunt) from Xiamen Bay of China. *Aquacult. Nutr.*, 12(1): 53-59.
- López, L.M., E. Durazo, M.T. Viana, M. Drawbridge & D.P. Bureau. 2009. Effect of dietary lipid levels on performance, body composition and fatty acid profile of juvenile white seabass, *Atractoscion nobilis*. *Aquaculture*, 289(1-2): 101-105.
- Medina, M., M. Araya & C. Vega. 2004. Alimentación y relaciones tróficas de peces costeros de la zona norte de Chile. *Invest. Mar.*, 32(1): 33-47.

- Ministerio de la Producción (PRODUCE). 2015. Anuario Estadístico Pesquero Acuícola 2014 Ministerio de la Producción, Lima. [<http://www.produce.gob.pe/index.php/estadisticas/anuarios-estadistico>]. Reviewed: 20 January 2016.
- Piaget, N. 2009. Determinación del nivel óptimo de proteína dietaria en juveniles del lenguado, *Paralichthys adspersus* (Pisces, Pleuronectiformes: Paralichthyidae). Tesis de Magister en Ciencias, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, 101 pp.
- Poniak, M.V., M.S. Muñoz, N. Díaz, C. González & I. Díaz. 2004. Efecto de dietas con diferentes proporciones de proteínas y lípidos sobre la respuesta productiva y características de la canal del salmón del Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*). Arch. Med. Vet., 36(2): 163-172.
- R Development Core Team. 2015. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL [<https://www.R-project.org/>].
- Sargent, J.R., J.G. Bell, M.V. Bell, R.J. Henderson & D.R. Tocher. 1995. Requirement criteria for essential fatty acids. J. Appl. Ichthyol., 11(3-4): 183-198.
- Sargent, J., G. Bell, L. McEvoy, D. Tocher & A. Estevez. 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. Aquaculture, 177: 191-199.
- Sebens, K. 1987. The ecology of indeterminate growth in animals. Ann. Rev. Ecol. Syst., 18: 371-407.
- Tidwell, J.H., S. Coyle & L.A. Bright. 2007. Effects of different types of dietary lipids on growth and fatty acid composition of largemouth bass. N. Am. J. Aquacult., 69(3): 257-264.
- Tocher, D.R. & C. Ghioni. 1999. Fatty acid metabolism in marine fish: low activity of fatty acyl $\Delta 5$ desaturation in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) cells. Lipids, 34: 433-440.
- Tocher, D. 2003. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost. Fish. Rev. Fish. Sci., 11(2): 107-184.
- Vargas, M., P. Fuentes, P. Hernández, A. Olivares & P. Rojas. 1999. Relaciones tróficas de cinco peces comunes en el área submareal del norte de Chile (20°11'-20°20'S). Rev. Biol. Trop., 47(3): 601-604.
- Villarreal, G.E. 2011. Efecto de la concentración de HUFAs n-3 en la dieta sobre el crecimiento, supervivencia, eficiencia alimenticia e índice de condición en juveniles de *Totoaba macdonaldi*. Tesis de Magister en Acuicultura, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, 62 pp.
- Watanabe, T. 1993. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish. J. World Aquacult. Soc., 24(2): 152-161.
- Watanabe, W., S. Ellis & J. Chaves. 2001. Effects of dietary lipid and energy to protein ratio on growth and feed utilization of juvenile mutton snapper *Lutjanus analis* fed isonitrogenous diets at two temperatures. J. World Aquacult. Soc., 32(1): 30-40.

Received: 29 July 2016; Accepted: 23 January 2017