

CAPÍTULO 11

SUSTITUCIÓN DE ACEITE DE PESCADO POR ACEITES VEGETALES EN DIETAS COMERCIALES PARA PECES

Dr. D. DANIEL MONTERO

Dra. D^a LIDIA ROBAINA

Dra. D^a M^a JOSÉ CABAILLERO

Dra. D. MARISOL IZQUIERDO

Grupo de investigación en Acuicultura (GIA)

Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM)

& Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)

La tendencia general a incrementar el contenido en lípidos de las dietas de peces marinos de acuicultura con objeto de mejorar el crecimiento, índice de conversión y utilización del alimento ha producido un incremento en la demanda de aceite de pescado por parte del sector acuícola. La producción global de aceite de pescado procedente de pesquerías está actualmente estancada (FAO, 2005). El sector acuícola es el sector primario de más rápido crecimiento, habiendo aumentado a una tasa superior al 9% por año en los últimos 15 años (De Silva, 2003). En 2002, la industria acuícola utilizó el 56% de la producción mundial de aceite de pescado y la proyección para 2010 estima un incremento en el uso de hasta el 79% de la producción mundial de este aceite (Figura 1) (Tacon, 2004).

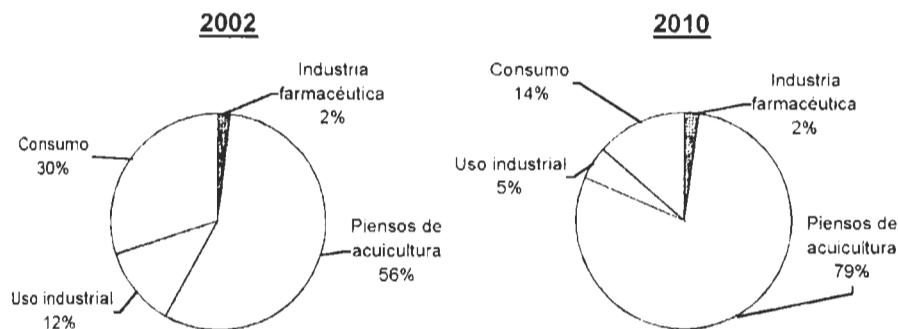


Figura 1. Previsión de la utilización de aceite de pescado durante el periodo 2002 a 2010 (Tacon, 2004).

Sin embargo, la capacidad de las pesquerías para cubrir esa demanda creciente ha alcanzado el límite de sostenibilidad, debido a diferentes problemas como la sobrepesca, alteraciones climáticas y aumento de demanda por otros sectores (Sargent y Tacon, 1999). Así, es necesario el uso de aceites alternativos al aceite de pescado para las dietas de acuicultura, siendo los aceites vegetales los mejores candidatos. Los aceites vegetales candidatos deben reunir una serie de propiedades para poder ser utilizados en acuicultura. Debe haber una producción suficiente para su utilización a gran escala y un precio asequible en el mercado, por lo que aceites de alta calidad, como el aceite de oliva, no son los mejores candidatos. Los aceites vegetales suelen ser ricos en ácidos grasos de 18 átomos de carbono, como es el caso del aceite de soja o de girasol, ricos ambos en ácido linoleico (18:2 n-6), el aceite de lino rico en ácido linolénico (18:3n-3) o el aceite de colza, rico en ácido oleico (18:1n-9), pero no contienen ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga.

Algunos aceites vegetales son considerados como buenos candidatos para ser incluidos en dietas para salmónidos y peces de agua dulce sin afectar el crecimiento y utilización del alimento (Rosenlund et al., 2000; Bell et al., 2001; Caballero et al., 2002), ya que estos peces poseen la capacidad de elongar y desaturar desde los ácidos linoleico y linolénico hasta los ácidos grasos de cadena más larga denominados ácidos grasos altamente

insaturados (Highly Unsaturated Fatty Acids: HUFAs) son esenciales para peces marinos, siendo por consiguiente necesario suministrar en la dieta tanto el ácido araquidónico (ARA) (20:4n-6) como el ácido eicosapentaenoico (EPA) (20:5n-3) como el ácido docosahexaenoico (DHA) (22:6n-3). Sin embargo, los peces de agua salada tienen una muy limitada actividad de la delta 6 y delta 5 desaturasa, siendo por consiguiente incapaces de sintetizar ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) desde los ácidos linoleico y linolénico (Mourente y Tocher, 1993), necesitando el aporte de EPA, DHA y ARA en la dieta.

1. SUSTITUCIÓN DE ACEITE DE PESCADO POR ACEITES VEGETALES: POTENCIAL DE SUSTITUCIÓN

La primera cuestión que se planteó para solventar este problema de la dependencia del aceite de pescado y la posible sustitución por aceites vegetales fue ¿qué cantidad de aceite de pescado se puede sustituir sin afectar el crecimiento y supervivencia de los peces?. Algunos de los primeros estudios demostraron que varios aceites vegetales son buenas fuentes de energía en diferentes especies de agua dulce, como el pez gato africano (*Heterobranchus longifilis*) (Legendre *et al.*, 1995) o en la carpa común (*Cyprinus carpio*) (Fontagne *et al.*, 1999) con sustituciones de hasta un 40% de los lípidos dietéticos. En otras especies, como *Sciaenops ocellatus*, se demostró la viabilidad de sustituir hasta un 70-80% con aceite de soja (Fucker *et al.*, 1997) o aceite de lino (Lochmann y Gatlin, 1993) sin afectar el crecimiento. En salmónidos, se ha demostrado que al menos el 50 y 80% del aceite de pescado podía ser sustituido por diferentes aceites vegetales sin comprometer el crecimiento del salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) respectivamente (Rosenlund *et al.*, 2001; Caballero *et al.*, 2002; Grisdale-Helland *et al.*, 2002). Sin embargo, estudios más recientes han demostrado que la sustitución completa de aceite de pescado por aceites vegetales es posible en salmónidos sin afectar el crecimiento ni el índice de conversión (Bell *et al.*, 2004; Menoyo *et al.*, 2005; Torstensen *et al.*, 2005), llegándose incluso a un mejor crecimiento durante el engorde en la fase invernal de agua salada en salmón del Atlántico alimentado con una mezcla de aceites vegetales comparado con salmón alimentado con aceite de pescado (Torstensen *et al.*, 2005). Sin embargo, en otros peces de agua dulce, principalmente peces carnívoros de aguas cálidas, la utilización de aceite vegetal produjo cierta disminución en el crecimiento, como en el pez gato del canal (*Ictalurus punctatus*) (Fracalossi y Lovell, 1995), barramundi (*Lates calcarifer*) (Raso y Anderson, 2003) o el Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*), donde sustituciones con aceite de lino superiores al 50% afectaron el crecimiento (Francis *et al.*, 2006). No obstante, otras especies de agua dulce como la carpa o la tilapia (*Oreochromis mosambicus*) soportan sustituciones totales de aceites y harinas de pescado sin provocar efectos negativos en el crecimiento (El Sayed,



1998). Las discrepancias observadas entre las distintas especies pueden ser debidas a diferentes factores, como diferencias en la formulación de dietas experimentales, diferentes tasas de crecimiento o requerimientos de ácidos grasos esenciales.

Con respecto a los peces de agua salada, los primeros estudios se realizaron en dietas para dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) usando aceites vegetales como aceite de soja, oliva, colza y lino (Alexis 1997; El-Kerdawy y Salama, 1997; Yildiz y Sener, 1997). La sustitución parcial de aceite de pescado para estas especies sólo es posible si los requerimientos de ácidos grasos esenciales (HUFAs) quedan cubiertas. Así, aunque la sustitución parcial del 50% del aceite de pescado reduce significativamente el crecimiento de dorada cuando el nivel de lípido dietético es de un 10-12% (Alexis, 1997), el nivel de sustitución puede ser de hasta un 60% cuando el nivel dietético de lípidos es de un 22% (Izquierdo *et al.*, 2003), ya que la porción de aceite de pescado incluida es capaz de cubrir los requerimientos de HUFAs para esta especie. Se han descrito sustituciones de hasta el 50% del aceite de pescado por aceite de palma en seriola (*Seriola sp.*) (Watanabe, 2002), o del 100% por aceite vegetal en dorada roja (*Pagrus auratus*) (Glencross *et al.*, 2003), alcanzándose sustituciones de hasta el 60% del aceite de pescado por diferentes aceites vegetales en dietas de dorada durante largos periodos de engorde (desde 80 hasta 400 gramos) sin afectar el crecimiento y la tasa de conversión alimenticia. La sustitución del 80% del aceite de pescado con un único aceite vegetal produjo disminución en el crecimiento de dorada (Figura 2) (Caballero *et al.*, 2004; Izquierdo *et al.*, 2005).

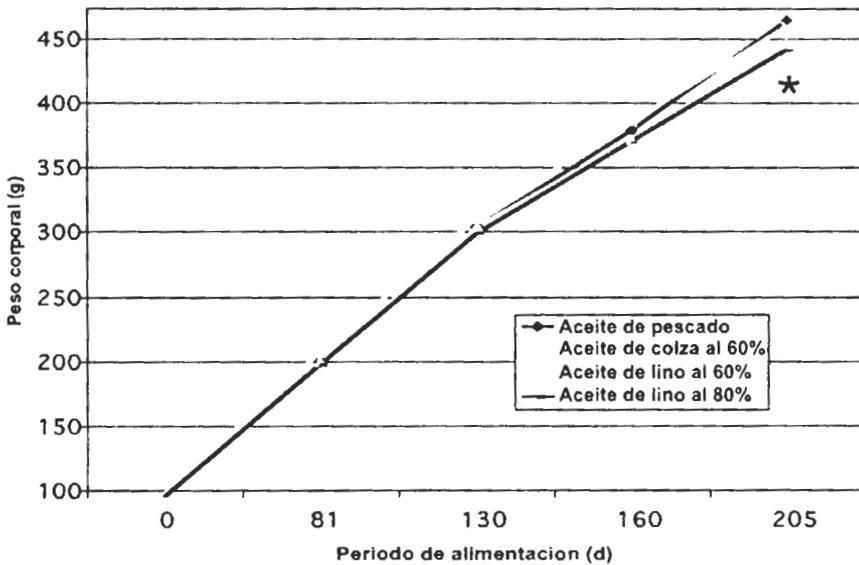


Figura 2. Crecimiento de dorada (*Sparus aurata*) alimentada con dietas con sustituciones parciales de aceite de pescado por aceites vegetales. Sólo la sustitución del 80% redujo el crecimiento después de 160 días de alimentación.

Sin embargo, en el caso de la lubina, los niveles de sustitución de 60% afectan el crecimiento cuando se sustituía con aceite de colza como única fuente de aceite vegetal, no habiendo problemas en el crecimiento cuando otros aceites vegetales fueron utilizados, como aceites de soja o lino en dietas con alto contenido en lípidos (Montero et al., 2005; Mourente et al., 2005).

2. ACEPTACIÓN POR EL CONSUMIDOR DE LOS PECES ALIMENTADOS CON DIETAS BASADAS EN ACEITES VEGETALES

Evidentemente, la siguiente cuestión que se puede plantear es si esta inclusión de aceites vegetales en la dieta de peces puede afectar de alguna manera a las preferencias del consumidor. Se ha demostrado que la inclusión de algunos aceites vegetales, como es el caso del aceite de soja, modifican algunos parámetros de organolépticos y de textura del filete, como en dorada, donde la inclusión de aceite de soja incrementa la adhesividad en la boca (Izquierdo *et al.*, 2005) y produce reducciones en dureza en filete (Izquierdo *et al.*, 2005) así como en la trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*) (Guillou *et al.*, 1995), o en la dorada roja, donde la inclusión de aceite de soja rinde un filete más jugoso (Glencross *et al.*, 2003), aunque las características organolépticas no están alteradas en salmón de atlántico alimentado con dietas con alto contenido en aceite de soja (Hardy *et al.*, 1987; Bjerkeng *et al.*, 1997). Regost *et al.*, (2003a) encontraron un olor terroso en los rodaballos con inclusiones de aceite de soja. Para otras especies, como la lubina, no hubo diferencias en ningún parámetro organoléptico (Montero *et al.*, 2005).

No obstante, estas modificaciones no suele afectar a las preferencias de los consumidores, ya que éstos no aprecian esas diferencias en los parámetros estándar de calidad (Izquierdo *et al.*, 2005; Montero *et al.*, 2005) y es muy difícil comparar entre especies ya que las preferencias y aceptación de los diferentes productos es muy diferente entre regiones y países con diferentes hábitos alimenticios y de consumo.

3. SUSTITUCIÓN DE ACEITE DE PESCADO POR ACEITES VEGETALES: EFECTOS EN LA CALIDAD NUTRICIONAL DEL FILETE

Si bien la sustitución de aceite de pescado por aceite vegetal es posible hasta un 100% según la especie, la siguiente cuestión que se plantea es si esta



sustitución afecta a la calidad nutricional del filete de pescado como alimento para el consumo humano. Se ha demostrado que la utilización de aceites vegetales en dietas para peces resulta en una inevitable modificación de la composición de ácidos grasos del filete (Guillou *et al.*, 1995; Morris *et al.*, 1995; Sargent *et al.*, 2002, Turchini *et al.*, 2003). La composición de ácidos grasos del filete está íntimamente relacionada con el perfil de ácidos grasos de la dieta, que a su vez viene determinado por el perfil de ácidos grasos del aceite utilizado (Figura 3).

La acumulación de ácido linolénico y linoleico es proporcional a los niveles de estos ácidos grasos en la dieta, siendo más importante la acumulación en el músculo que en hígado en el caso de la lubina (Montero *et al.*, 2005) o al revés en el caso de los gádidos y peces planos (Sargent *et al.*, 2002). De entre estos dos ácidos grasos, la acumulación de linoleico parece más importante que la de linolénico, ya que la tasa ácido graso en músculo/ácido graso en dieta es mayor para el ácido linoleico en diferentes especies, como lubina (Montero *et al.*, 2005) o dorada, donde la sustitución del 60 y 80% del aceite de pescado con aceite de soja produjo un incremento de ácido linoleico en músculo de hasta 4.28 y 5.12 veces respectivamente (Izquierdo *et al.*, 2005). Se ha descrito un importante incremento de este ácido graso de la serie n-6 en otras especies, como la dorada roja (Glencross *et al.*, 2003), Murray cod (Francis *et al.*, 2006) o salmón del Atlántico (Torstensen *et al.*, 2005). Así, la sustitución de aceite de pescado por aceites vegetales debe contener el menor porcentaje posible de ácido linoleico, por dos razones:

- A) las propiedades nutritivas del pescado como alimento humano radican en el alto contenido de n-3 HUFAs. El consumo de alimento rico en n-3 HUFA, como el pescado, tiene un efecto positivo en la salud humana (Ackman, 2001), como prevención de enfermedades cardiovasculares (Herold y Kinsella, 1986), y enfermedades auto-inmunes (Hwang, 1989). Dado que en la dieta humana hay un exceso de consumo de ácidos grasos de la serie n-6 en relación al consumo de los ácidos grasos de la serie n-3, producir pescado con un alto contenido en ácido linoleico destruiría el potencial beneficioso del filete de pescado en la salud humana, ya que contribuiría al desajuste n-6/n-3 en la dieta (Sargent *et al.*, 2002).
- B) al igual que el consumo elevado de ácidos grasos n-6 tiene un efecto en la salud humana, también lo tiene en la salud de los peces, habiéndose demostrado efectos negativos del uso de aceites con alto contenido en linoleico sobre el sistema inmune de peces (Kiron *et al.*, 1995; Montero *et al.*, 2003; Mourente *et al.*, 2005).

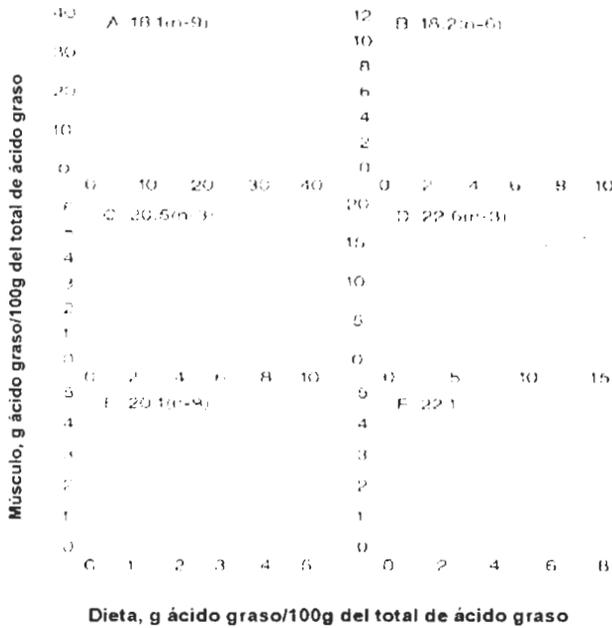


Figura 3. Relación ácido graso en la dieta/ácido graso en músculo de salmón atlántico (adaptado de Sargent et al., 2002).

Sin embargo, el efecto más importante de la sustitución parcial de aceite de pescado por aceite vegetal es la reducción en sí de los niveles de ácidos grasos esenciales de alta calidad para el consumo humano, como son el EPA y el DHA. En salmón atlántico, la inclusión de aceite de lino al 50% en dieta reduce el contenido de DHA y EPA en filete hasta un 65 y 58% respectivamente de la cantidad de estos ácidos grasos en filetes de salmón alimentados con 100% de aceite de pescado. La inclusión de 100% de aceite de lino disminuye estos porcentajes hasta un 38 y 30% de lo que tendrían esos filetes al haber consumido los peces una dieta con 100% de aceite de pescado (Bell *et al.*, 2004). En el caso de la trucha, algunos estudios han determinado que los requerimientos de ácidos grasos esenciales pueden ser cubiertos por dietas que contengan ácidos linolénico y linoleico como única fuente de ácidos grasos poliinsaturados, ya que, como bien es sabido, estos peces convierten estos ácidos grasos a EPA, DHA y ARA. Sin embargo, las cantidades de EPA y DHA son menores que las producidas por truchas alimentadas con dietas formuladas con aceite de pescado. Así, el alto contenido de n-3 PUFA en los peces de agua dulce es más bien debido al alto contenido de n-3 PUFA de su dieta natural que a su capacidad de convertir esos nutrientes desde el 18:3n-3 (Figura 4).



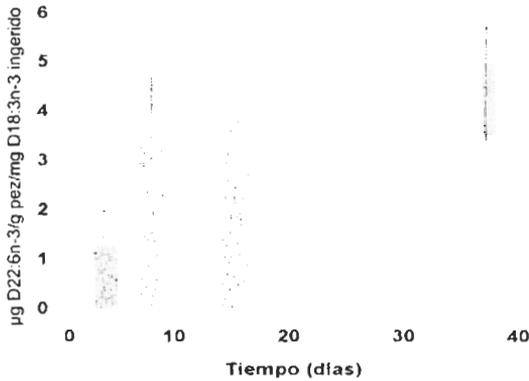


Figura 4. Acumulación de DHA (22:6 n-3) marcado con deuterio en trucha alimentada con ácido linoléico (18:3 n-3) marcado con deuterio (adaptado de Sargent *et al.*, 2002).

En el caso de los peces marinos, esta reducción es también importante, produciéndose reducciones en el contenido de n-3 HUFA de hasta un 47 y 60% en doradas alimentadas con 60 y 80% de aceite vegetal en la dieta (Izquierdo *et al.*, 2005), siendo esta reducción más importante en EPA (53 y 67% para sustituciones de 60% y 80% respectivamente) que en DHA (32 y 40% respectivamente) o araquidónico (42 y 50% respectivamente) (Izquierdo *et al.*, 2005). Reducciones importantes de n-3 HUFA se dan también en lubina alimentada con 60% de aceite vegetal en sus dietas, apareciendo reducciones de 55, 63 y 66% cuando se sustituye 60% de aceite de pescado por aceite de lino, colza o soja respectivamente (Montero *et al.*, 2005).

La reducción de DHA y ARA en los músculos de los peces alimentados con aceites vegetales parece ser menor que lo que cabría esperar, habiendo sido observada una conservación selectiva del DHA en los lípidos polares del músculo de dorada alimentada con diferentes aceites vegetales (Izquierdo *et al.*, 2005), lo cual también ha sido demostrado en otras especies como salmón atlántico alimentado con 100% de aceite de lino en la dieta (Menoyo *et al.*, 2005).

4. SUSTITUCIÓN DE ACEITE DE PESCADO POR ACEITES VEGETALES: RECUPERACIÓN DE LA CALIDAD NUTRICIONAL DEL FILETE

Ante las pérdidas en calidad nutricional del filete de peces alimentados con dietas conteniendo un alto porcentaje de sustitución de aceite de pescado por aceites

vegetales unitarios, la siguiente pregunta que se plantea es si existiría alguna manera o algún mecanismo que permitiera la recuperación de los valores nutricionales de los peces alimentados con aceites vegetales antes de ser comercializados para su consumo.

Es lógico pensar que si el contenido de ácidos grasos de la dieta se refleja en el contenido de ácidos grasos del filete, re-alimentar con una dieta 100% aceite de pescado a los peces que previamente han sido alimentados con dietas basadas principalmente en aceites vegetales podría permitir la recuperación de los valores nutricionales del filete. Estas dietas de acabado permitirían recuperar los valores de ácidos grasos poliinsaturados que tendrían los peces si hubieran comido siempre una dieta 100% aceite de pescado. Efectivamente, salmón del Atlántico previamente alimentado con dietas que contenían 50 y 100% de aceite de lino, recuperó aproximadamente el 80% de DHA y EPA en 16 semanas de alimentación con una dieta que contenía 100% de aceite de pescado, cuando se comparó con animales alimentados con una dieta 100% aceite de pescado (Bell *et al.*, 2004). En peces marinos ocurre algo similar. La dorada alimentada con aceites vegetales recupera los valores de DHA y ARA 65 días después de la realimentación con una dieta 100% aceite de pescado (Figura 5a), alcanzando valores de estos ácidos grasos en músculo semejantes a los que presentan los individuos alimentados siempre con una dieta 100% aceite de pescado. Sin embargo, los niveles de EPA no se recuperan totalmente incluso después de 90 días de utilización de la dieta (Figura 5b) (Izquierdo *et al.*, 2005). En el caso de la lubina, aunque el DHA tarda más en recuperarse que la dorada, el EPA no se recupera en el filete incluso después de 150 días de alimentación con una dieta 100% aceite de pescado, recuperándose solo un porcentaje entre un 67 y un 87% (Montero *et al.*, 2005). Semejantes resultados se han encontrado en diferentes especies alimentadas con un aceite vegetal sustituyendo total o parcialmente el aceite de pescado, como en el rodaballo (Regost *et al.*, 2003a) aunque otros autores han encontrado recuperaciones más rápidas del EPA (Glencross *et al.*, 2003). Las diferencias encontradas entre los distintos estudios se deben no solo a las diferentes especies estudiadas y diferentes aceites vegetales utilizados, sino también al tiempo de experimentación tanto en el periodo de alimentación con aceites vegetales como al periodo de recuperación con la dieta de finalizado, el tamaño del pez y el contenido en lípidos de la dieta, aunque la acumulación de estos ácidos grasos esenciales parece ser más rápida en algunas especies previamente alimentados con aceites vegetales en comparación con aquellos alimentados con aceite de pescado de manera continua (Turchini *et al.*, 2006).

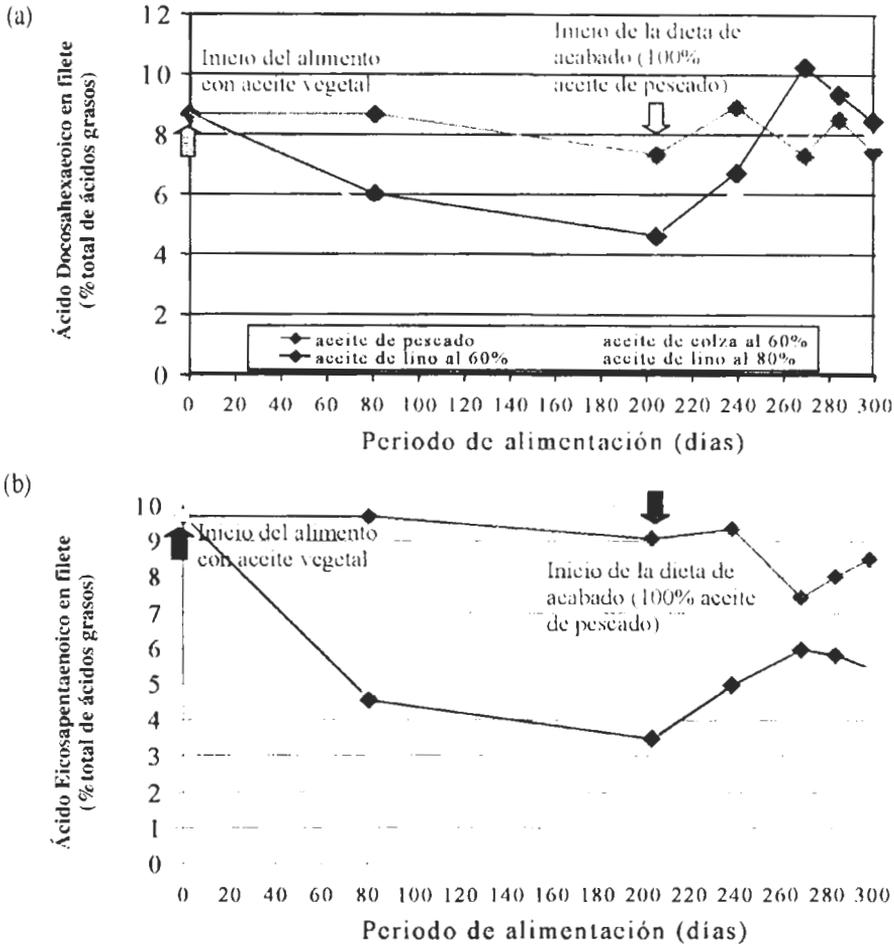


Figura 5. (a) Después de 65 días de alimentación con la dieta de acabado los niveles de DHA en el filete de dorada alimentada previamente con aceite vegetal alcanzaron los niveles de peces alimentados sólo con aceite de pescado (adaptado de Izquierdo *et al.*, 2005). (b) incluso después de 90 días de alimentación con la dieta de acabado, el contenido en EPA de dorada previamente alimentada con aceite vegetal no alcanzó los valores de aquellos alimentados con aceite de pescado (adaptado de Izquierdo *et al.*, 2005).

Sin embargo, la acumulación no deseable de ácidos grasos de la serie n-6 provenientes de aceites vegetales como el ácido linoleico parece no ser muy fácil de restituir, al menos en peces marinos, como la dorada, donde después de 90 días de alimentación con una dieta de finalizado con 100% de aceite de pescado, el músculo de los peces previamente alimentados con aceites vegetales mostró una reducción

de sólo un 30% en el contenido de este ácido graso en músculo (Figura 6) (Izquierdo *et al.*, 2005). En lubina el contenido en linoleico del filete de los peces alimentados con aceites vegetales es hasta 3 veces mayor que el de los peces alimentados con aceite de pescado hasta 150 días después de alimentados con la dieta de finalización (Montero *et al.*, 2005). Se han descrito resultados semejantes en el rodaballo previamente alimentado con una dieta basada en aceite de soja y posterior alimentación con una dieta con 100% de aceite de pescado durante 8 semanas (Regost *et al.*, 2003b) o salmón atlántico previamente alimentado con una dieta basada en aceite de colza y realimentado durante 12 semanas con otra dieta con 100% aceite de pescado (Bell *et al.*, 2003). Los niveles de recuperación del ácido linoleico fueron los menores en dorada roja alimentada con aceite de soja (Glencross *et al.*, 2003).

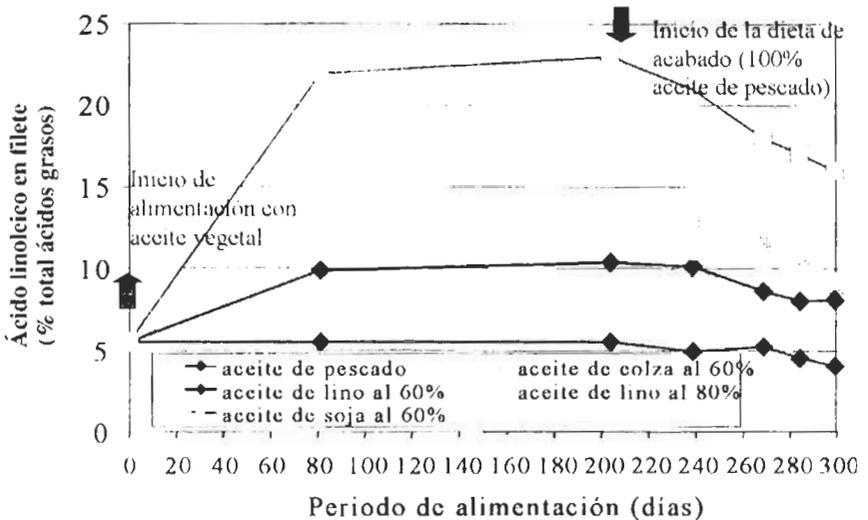


Figura 6. Incluso después de 95 días de alimentación con la dieta de acabado, el contenido en ácido linoleico (18:2 n-6) del filete de dorada alimentada previamente con aceites vegetales permaneció significativamente mayor que el de los peces alimentados con 100% aceite de pescado desde el inicio (Adaptado de Izquierdo *et al.*, 2006).

Estos efectos de la utilización de aceites vegetales en la calidad nutritiva del filete pueden ser amortiguados por la sustitución de una mezcla de aceites vegetales que contenga un perfil de ácidos grasos lo más parecido al aceite de pescado. Así, debe contener un balance apropiado de ácidos grasos saturados y monoeno, con menores cantidades de 14:0 y 16:1, y mayores cantidades de 16:0 y 18:1, así como cantidades suficientes de 20:1 y 22:1. Además, la mezcla de aceites debe contener la menor cantidad posible de aceites ricos en linoleico, como el aceite de soja o el aceite de girasol. En caso de sustituciones parciales, es ventajosa la utilización de aceites de pescado muy ricos en ácidos grasos poliinsaturados, como es el caso del



aceite de anchoveta peruana (Rosenlund *et al.*, 2001), lo que permitiría un mayor porcentaje de sustitución que usando otros aceites de pescado como el de menhaden, menos rico en n-3 HUFA, o un mayor contenido en n-3 HUFA en caso de igual porcentaje de sustitución.

Por otro lado, se ha demostrado que las dietas basadas en una mezcla de aceites vegetales en lugar de las basadas en un único aceite vegetal, presentan mayor eficacia en los periodos de recuperación del valor nutricional mediante dietas de finalizado (Torstensen *et al.*, 2005; Robaina *et al.*, en prensa), con periodos de eliminación del ácido linoleico menores y mejor recuperación de los niveles de n-3 HUFA en músculo.

5. PERSPECTIVAS FUTURAS. EL FILETE DE PESCADO COMO ALIMENTO DE ALTA CALIDAD NUTRICIONAL

El consumo de filete de pescado debido a su alto contenido en EPA y DHA, previene nacimientos prematuros y bajo peso en neonatos (Olsen y Secher, 2002), mejora trastornos como la depresión, esquizofrenia y deficiencia de atención (Small, 2002) y reduce riesgos de enfermedades cardiovasculares (Albert *et al.*, 2002; Rosenberg, 2002). La inclusión de ciertos componentes vegetales en las dietas de peces puede incrementar el valor nutricional que el filete de pescado (Izquierdo *et al.*, 2005), como la introducción de ácido alfa-linolénico, que reduce el número de muertes por enfermedad cardíaca (De Lorgeril *et al.*, 1999; Singh *et al.*, 2002) o la inclusión de ácidos grasos monoinsaturados, que previenen arterosclerosis y reducen los niveles de colesterol (Fuentes *et al.*, 2001).

La formulación de mezclas de aceites vegetales (y mezclas de harinas y aceites) que permitan optimizar la utilización de los ácidos grasos esenciales por las distintas especies de cultivo es una prioridad en las líneas de investigación, así como la utilización de nuevos recursos como fuentes de ácidos grasos, como son aceites vegetales de producción local y otras fuentes como fuentes microbianas de ácidos grasos poliinsaturados. No obstante, el avance en el conocimiento del metabolismo y de los requerimientos nutricionales de las diferentes especies, permitirá avanzar en la formulación de las dietas óptimas para cada especie y lugar, junto con programas de selección de individuos con mejor capacidad de utilizar aceites vegetales en las dietas, permitiendo de esta manera disminuir el esfuerzo pesquero sobre las pesquerías que soportan hoy en día la producción de aceite de pescado, sin disminuir el aporte de pescado de alta calidad para consumo humano.

BIBLIOGRAFÍA CITADA:

- Ackman, R.G., 2001. Fish is more than a brain food. IIFET 2000 Proceedings. 10 pp.
- Albert, C.M., Campos H., Stampfer, M. J., Ridker, P. M., Manson, J. E., Willett, W. C., Ma, J., 2002. Blood levels of long-chain n-3 fatty acids and the risk of sudden death. *N. Engl. J. Med.* 346. 1113-1118.
- Alexis, M.N. 1997. Fish meal and oil replacers in Mediterranean marine fish diets. In Tacon, A., Basurco, B. (Eds.) *Feeding Tomorrow's Fish*, 183-204.
- Bell, J.G., McEvoy, J., Tocher, D.R., McGhee, F., Campbell, P.J., Sargent, J.R., 2001. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid composition and hepatocyte fatty acid metabolism. *J. Nutr.* 131, 1535-1543.
- Bell, J.G., McGhee, F. Campbell, P.J., Sargent, J.R. 2003. Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil "wash out". *Aquaculture* 218: 515-528.
- Bell, J.G., Henderson, R.J., Tocher, D.R., Sargent, J.R. 2004. Replacement of dietary fish oil with increasing levels of linseed oil: modification of flesh fatty acid compositions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using a fish oil finishing diet. *Lipids.* 39, 223-32.
- Bjerkeng, B., Refstie, S., Fjalestad, K.T., Storebakken, T., Rødbotten, M., Roem, A.J., 1997. Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet. *Aquaculture* 157, 297-309.
- Caballero, M.J., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., Izquierdo, M.S., 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 214, 253-271.
- Caballero, M.J., Izquierdo, M.S., Kjørsvik, E., Fernandez, A.J., Rosenlund, G., 2004. Histological alterations in the liver of sea bream, *Sparus aurata* L., caused by short- or long-term feeding with vegetable oils. Recovery of normal morphology after feeding fish oil as the sole lipid source. *Journal of Fish Diseases* 27, 531-541.
- De Lorgeril, M., Salen, P., Martin, J.L., Monjaud, I., Delaye, J., Mamelle, N., 1999. Mediterranean diet, traditional risk factors, and the rate of cardiovascular complications after myocardial infarction: Final report of the Lyon Diet Heart Study. *Circulation* 99, 779-785.
- De Silva, 2003. Culture-based fisheries: an underutilized opportunity in aquaculture. *Aquaculture* 221, 221-243.



- El-Kerdawy, A., Salama, A. 1997. Effect of dietary lipid sources on the growth and fatty acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). Cah. Options Mediterr. 22, 235-242.
- El-Sayed, A.F.M., 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). feeds. Aquaculture Research, Volume 29, 275-280
- FAO. 2005. FISHSTAT Plus: Universal software for fisheries statistical time series. Versión 2.3. FAO Fisheries Department, Fisheries Information, Data and Statistical Unit.
- Fontagne, S., Pruzynski, T., Corraze, G., Bergot, P. 1999. Effect of coconut oil and tricaprylin vs. triolein on survival, growth and fatty acid composition of common carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture 179, 241-252.
- Fracalossi, D.M., Lovell, R.T. 1995. Growth and liver polar fatty acid composition of year-1 channel catfish fed various lipid sources at two water temperatures. Prog. Fish-Cult 57, 107-113.
- Francis, D.S., Turchini, G.M., Jones, P.L., De Silva, S.S., 2006. Effects of dietary oil source on the growth and muscle fatty acid composition of Murray cod, *Maccullochella peelii peellii*. Aquaculture 253, 547-556.
- Fuentes, F., López-Miranda, J., Sánchez, E., Sánchez, F., Páez, J., Paz-Rojas, E., Marín, C., Gómez, P., Jiménez-Pérez, J., Ordovás, J., Pérez-Jiménez, F., 2001. Mediterranean and low-fat diets improve endothelial function in hypercholesterolemic men. Ann. Intern. Med. 134, 1115.
- Glencross, B.D., Hawkins, W.E., Curnow, J.G., 2003b. Restoration of the fatty acid composition of red seabream (*Pagrus auratus*) using a fish oil finishing diet after grow-out on plant oil based diets. Aquacult. Nutr. 9, 409-418.
- Grisdale-Helland, B., Ruyter, B., Rosenlund, G., Obach, A., Helland, S.J., Sandberg, M.G., Standal, H., Rosjo, C. 2002. Influence of high contents of dietary soybean oil on growth, feed utilization, tissue fatty acid composition, heart histology and standard oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) raised at two temperatures. Aquaculture 207, 311-362.
- Guillou, A., Soucy, P., Khalil, M., Adambounou, L., 1995. Effects of dietary vegetable and marine lipid on growth, muscle fatty acid composition and organoleptic quality of flesh of brook charr (*Salvelinus fontinalis*). Aquaculture 136, 351-362.
- Hardy, R.W., Scott, T.M., Harrell, L.W., 1987. Replacement of herring oil with menhaden oil, soybean oil, or tallow in the diets of Atlantic salmon raised in marine net-pens. Aquaculture 65, 267-277.
- Herold, P.M., Kinsella, J.E., 1986. Fish oil consumption and decreased risk of cardiovascular disease: a comparison of findings from animal and human feeding trials. Am. J. Clin. Nutr. 43, 566-598.
- Hwang, D., 1989. Essential fatty acids and immune responses. FASEB J. 3, 2052-2061.

- Izquierdo, M.S., Obach, A., Arantzamendi, L., Montero, D., Robaina, L., Rosenlund, G., 2003. Dietary lipid sources for seabream and seabass: growth performance, tissue composition and flesh quality. *Aquacult. Nutr.* 9, 397-407.
- Izquierdo, M.S., Montero, D., Robaina, L., Caballero, M.J., Rosenlund, G. y Ginés, R. 2005. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. *Aquaculture* 250, 431-444.
- Kiron, V., Fukuda, H., Takeuchi, T., Watanabe, T., 1995. Essential fatty acid nutrition and defence mechanisms in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Comp. Biochem. Physiol.* 111A, 361-367.
- Legendre, M., Kerdchuen, N., Corraze, G., Bergot, P. 1995. Larval rearing of an African catfish, *Heterobranchus longifilis* (Teleostei, Clariidae): Effect of dietary lipids on growth, survival and fatty acid composition of fry. *Aquat. Living Res.* 8, 355-363.
- Lochmann, R.T., Gatlin, D.M., 1993. Essential fatty acid requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Fish. Physiol. Biochem.* 12, 221-235.
- Menoyo, D., López-Bote, C.J., Obach, A., Bautista, J.M., 2005. Effect of dietary fish oil substitution with linseed oil on the performance, tissue fatty acid profile, metabolism, and oxidative stability of Atlantic salmon. *J Anim Sci.* 83, 2853-62
- Montero, D., Kalinowski, T., Obach, A., Robaina, L., Tort, L., Caballero, M.J., Izquierdo, M.S. 2003. Vegetable lipid sources for gilthead seabream (*Sparus aurata*): effects on fish health. *Aquaculture* 225: 353-370.
- Montero, D., Robaina, L., Caballero, M.J., Ginés, R., Izquierdo, M.S. 2005. Growth, feed utilization and flesh quality of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing vegetable oils: A time course study on the effect of a re-feeding period with a 100% fish oil diet. *Aquaculture* 248, 121-134.
- Morris, C.A., Haynes K.C., Keeton, J.T., Gatlin, D.M., 1995. Fish oil dietary effects on fatty acid composition and flavor of channel catfish. *J. Food Sci.* 60, 1225-1227.
- Mourete, G., Tocher, D.R. 1993. Incorporation and metabolism of ¹⁴C-labelled polyunsaturated fatty acids in juvenile sea bream *Sparus aurata* L. in vivo. *Fish Physiol. Biochem.* 21: 443-453.
- Mourete, G., Good, J.E., Bell, J.G. 2005. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effects of flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins F₂ and F₂, immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Aquacult.Nutr.* 11, 25-40.
- Olsen, S. F., Secher, N. J., 2002. Low consumption of seafood in early pregnancy as a risk factor for preterm delivery: prospective cohort study. *Br. Med. J.* 324, 1-5.
- Raso, S., Anderson, T.A. 2003. Effects of dietary fish oil replacement on growth and carcass proximate composition of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquacult. Res.* 34, 813-819.

- Regost, C., Arzel, J., Robin, J., Rosenlund, G., Kaushik, J., 2003a Total replacement of fish oil by soybean oil with return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*) I. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. *Aquaculture* 217, 465-482.
- Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Rosenlund, G., Kaushik, S.J., 2003b. Total replacement of fish oil by soybean oil with return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*) II. Flesh quality properties. *Aquaculture* 220, 737-745.
- Robaina, L., Montero, D., Caballero, M.J., Ginés, R., Rosenlund, G., Izquierdo, M.S. Blends of vegetable oils in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles: effects on growth, feed utilization and flesh quality and a time-course study on the effect of a finishing period with a 100% fish oil diet. *Aquaculture*, en prensa.
- Rosenberg, I.H., 2002. Fish: food to calm the heart. *N. Engl. J. of Med.* 346, 1102-1103.
- Rosenlund, G., Obach, A., Sandberg, M.G., Standal, H., Tveit, K., 2001. Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquacult. Res.* 32, 323-328.
- Sargent, J.R. y Tacon, A.G.J., 1999. Development of farmed fish: a nutritionally necessary alternative to meat. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 377-383.
- Sargen, J.R., Tocher, D., Bell, G., 2002. Lipids. En: *Fish Nutrition*. Editado por J. Halver y R. Hardy, 3ª edición, Academic Press, New York, 181-257.
- Singh, R.B., Dubnov, G., Niaz, M.A., Ghosh, S., Singh, R., Rastogi, S.S., Manor, O., Pella, D., Berry, E.M., 2002. Effect of an Indo-Mediterranean diet on progression of coronary artery disease in high risk patients (Indo-Mediterranean Diet Heart Study): a randomised single-blind trial. *Lancet* 360, 1455-1461.
- Small, M.F., 2002. The happy fat. *New Scientist* 175, 34-37.
- Tacon, A.G.J., 2004. Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective. *Aquat. Resour. Cult. Dev.* 1, 3-14.
- Torstensen, B.E., Bell, J.G., Rosenlund, G., Henderson, R.J., Graff, I.E., Tocher, D.R., Lie, O., Sargent, J.R. Tailoring of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) flesh lipid composition and sensory quality by replacing fish oil with a vegetable oil blend. *J Agric Food Chem.* 53, 10166-78
- Tucker, J.W., Lellis, W.A., Vermeer, G.K., Roberts., D.E., Woodward, P.N., 1997. The effect of experimental starter diets with different levels of soybean or menhaden oil on red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 149, 323-339.
- Turchini, G.M., Mentasti, T., Froyland, L., Orba, E., Caprinio, F., Moretti, V.M., valfre, F., 2003. Effects fo alternative dietary lipid sources on performance, tissue chemical composition, mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta* L.). *Aquaculture* 225, 251-267.
- Turchini, G.M., Francis, D.S., De Silva, S.S. 2006. Modification of tissue fatty acid composition in Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*, Mitchell) resulting from a shift from vegetable oil diets to a fish oil diet. *Aquacult. Res.* 37, 570-585.

- Watanabe, T. 2002. Strategies for further development of aquatic feeds. Fisheries Sci. 68, 242-252.
- Yildiz, M., Sener, E. 1997. Effect of dietary supplementation with soyabean oil, sunflower oil or fish oil on the growth of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758). Cah. Options Mediterr. 22, 225-234.