

# CAROTENOIDES EN PIENSOS PARA ACUICULTURA Y CALIDAD DE PECES DE CULTIVO

Lidia Esther Robaina Robaina, Josefa García Romero, Rafael Ginés Ruiz, Marisol Izquierdo López



## PRODUCCIÓN DE ACUICULTURA EN UN CONTEXTO GLOBAL

La acuicultura se ha convertido en una industria con amplio espectro de actividades; más allá de aquella directamente relacionada con la producción de alimento acuático de calidad para consumo humano, otras nuevas orientaciones productivas, como el desarrollo de productos biotecnológicos y farmacológicos, la generación de biocombustibles, la repoblación de organismos acuáticos y la acuariología han incrementado su relevancia.

En el contexto de la producción de alimento de origen animal, la acuicultura es la industria de mayor crecimiento a escala global con una media de 8% de crecimiento anual frente al 7.1% para aves y 3.5% para cerdos (FAO, 2011, 2013). La acuicultura representa más de la mitad del creciente suministro mundial de alimento de origen acuático; hecho que se ve favorecido por el estancamiento de la producción pesquera

(Campbell y Pauly, 2013). En los últimos años, además, el crecimiento de la acuicultura es incluso mayor en valor económico que en cantidades relativas producidas, con el salmón y la trucha (14%) en segunda posición por detrás de los crustáceos (15%) (FAO, 2013).

El consumo global per cápita anual de productos acuáticos, algas excluidas, entre los años 2009-2011 muestra tendencias decrecientes (de 9.1 a 8.8) y crecientes (de 8.2 a 8.6) para productos procedentes de la pesca y la acuicultura, respectivamente (FAO, 2011, 2013). Así, las estimaciones para la producción mundial total de acuicultura (animales y algas) en 2013 es de 96.6 millones de toneladas, frente a los 91.3 millones de pesquerías de los cuales sólo 70.6 millones se destinan a consumo humano directo. En la actualidad, y según FAO (2014), se puede decir que la acuicultura provee más alimento para la humanidad que las capturas por pesca.

## Piensos y producción en acuicultura

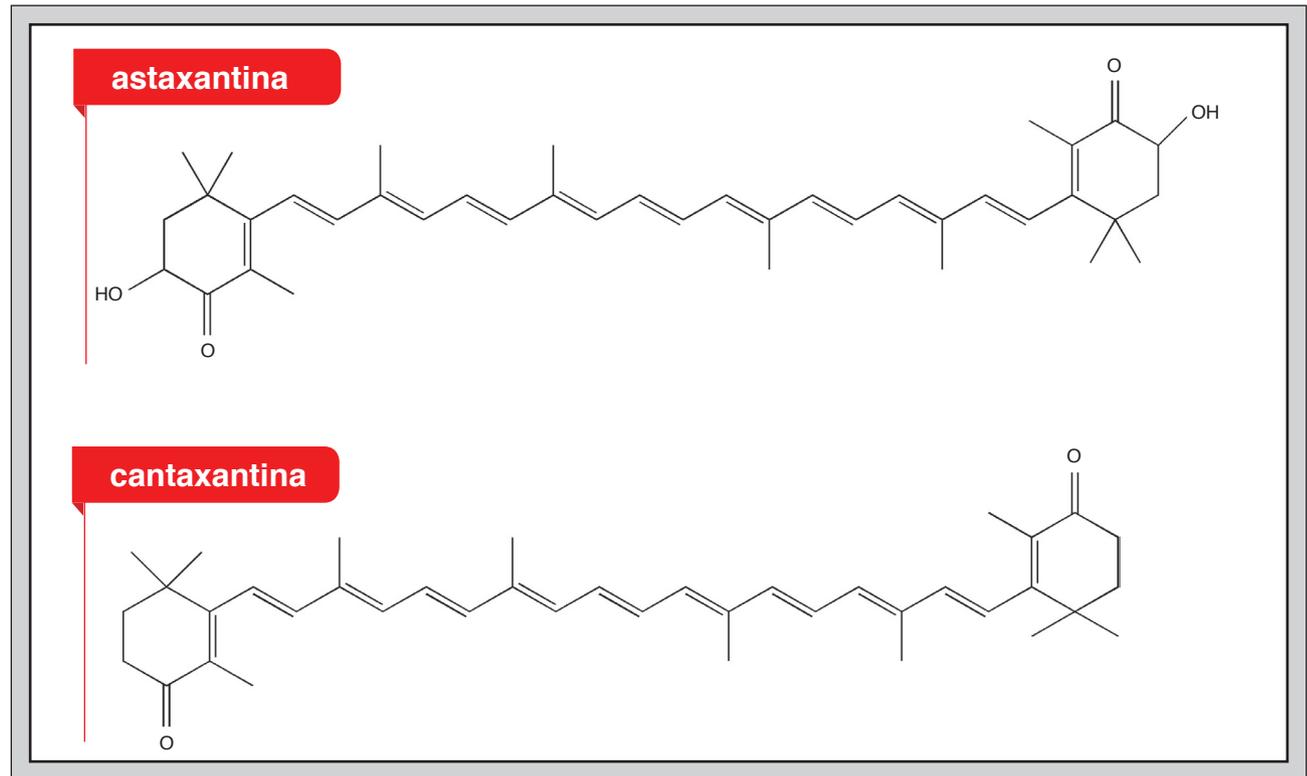
La proyección creciente de la acuicultura, orientada a satisfacer la demanda de pescado y otros productos acuáticos, ha venido aparejada con un fuerte incremento de la producción de los piensos necesarios para ello. Actualmente, sin embargo, de los casi mil millones de toneladas de piensos secos que se producen para la ganadería en el mundo, menos de 5% corresponden a piensos para acuicultura (FIAAP, 2013); de ahí que la competencia por las materias primas y aditivos en un contexto global haya favorecido la implementación de una acuicultura competitiva que requiere investigación e innovación constantes.

El pienso representa uno de los gastos de producción más elevados en granjas de acuicultura y llega a suponer

hasta 50% del total en el caso de peces marinos criados en sistemas de producción intensivos. Una parte importante del precio de los piensos para acuicultura está relacionada con los micronutrientes y aditivos necesarios para cubrir las necesidades nutricionales y fisiológicas de los animales. Si bien una adecuada nutrición evita signos de deficiencia, manteniendo el correcto desarrollo y salud de los peces, resulta cada vez más evidente que las *dietas fortificadas* con nutrientes específicos (aminoácidos, ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales, prebióticos, antioxidantes), pueden contribuir a mejorar no sólo el crecimiento, sino la salud y resistencia de los animales.

En la formulación de dietas para peces, evaluar el potencial antioxidante de ingredientes y aditivos dietéticos resulta crucial, dado que presentan alto riesgo de peroxidaciones relacionadas con su elevado contenido en ácidos grasos poliinsaturados, tanto en tejidos como en dietas. En una revisión reciente sobre formulaciones económico-sostenible-saludables para peces, Kiron (2012), comenta sobre la importancia de los carotenoides, principalmente astaxantina (figura 1) en su diferentes formas, como antioxidantes en el pienso. Se nota sin embargo la escasez de trabajos en esta línea, en donde la mayor parte del esfuerzo se ha volcado en la mejora del color de los animales y sus implicaciones sobre la capacidad de decisión del consumidor.

Los pigmentos carotenoides se encuentran entre los compuestos antioxidantes mayoritarios en los piensos para ganadería, de ahí la elevada contribución de los mismos al crecimiento exponencial del mercado global de carotenoides observado en los últimos años. Los datos de valor de mercado en el 2013 fueron de 1161.78 millones de dólares con una proyección para el 2019 de 1428.12 millones de dólares,



**FIGURA 1.** Estructuras químicas de astaxantina y cantaxantina.

liderado por Europa seguido de Estados Unidos, donde el mercado de alimentación animal representa más de la mitad del consumo global, seguido del de suplementos alimenticios y muy de lejos por la alimentación humana y la cosmética. En el cómputo total de uso de carotenoides en la fabricación de piensos, la acuicultura representa aproximadamente 10% frente a 90% de la ganadería terrestre.

En la industria de acuicultura la cantaxantina (figura 5 del capítulo 6) y, sobre todo, la astaxantina han sido utilizadas durante años para la pigmentación de salmón, trucha y langostino, llegando a representar en el caso del salmón hasta 20% del costo total de los piensos (Torrissen *et al.*, 1995). El mercado

global de astaxantina, natural y sintética, ha sido estimado en 280 toneladas con un valor de 447 millones de dólares en 2014, con una proyección de 670 toneladas y 1.1 billones de dólares en 2020. En los últimos años, unido a la creciente preocupación de la población por la ingesta de alimentos seguros, se observa una mayor demanda de ingredientes naturales que contienen carotenoides, frente a los producidos mediante síntesis química; esta tendencia se extiende hacia la producción de ganado y por lo tanto de piensos para acuicultura. Por otro lado, el elevado precio de la astaxantina y cantaxantina unido a su bajo porcentaje de retención en los peces han contribuido a la investigación con otro tipo de pigmentos, principalmente de origen terrestre, en los últimos años.

## CAROTENOIDES EN PIENSOS PARA PECES

Los carotenoides se han utilizado de forma general en acuicultura para promover la coloración de la piel y el filete en los animales, dado que el color determina la aceptación del producto por el consumidor y en gran medida el valor de mercado del mismo. El color está determinado fundamentalmente por la concentración de pigmentos en los tejidos, el cual es consecuencia de la ingesta de los mismos (Pavlidis *et al.*, 2006).

Los peces, como otros vertebrados, no tienen la capacidad de sintetizar carotenoides *de novo*, por lo que bajo condiciones de cultivo éstos deben ser incorporados en las cantidades adecuadas en la dieta que se les suministre (Goodwin, 1984). Una vez que los carotenoides han sido absorbidos, pueden ser almacenados y modificados en los diferentes tejidos del animal, principalmente en el hígado, los músculos y la piel (Schiedt *et al.*, 1986). La inclusión de carotenoides en el pienso se hace mediante la adición de fuentes naturales o sintéticas de estos pigmentos, y son la astaxantina y la cantaxantina los más utilizados en el último caso (Foss *et al.*, 1987; Storebakken y No, 1992; Bjerkeng *et al.*, 1997). También se utilizan diferentes ingredientes naturales, como carcasas y otros subproductos de crustáceos e invertebrados marinos (Kalinowski *et al.*, 2005, 2007; García Romero *et al.*, 2010, 2014a), y algas o levaduras rojas.

La eficacia en la deposición y pigmentación no sólo depende de la especie, sino de la forma química en que éstos aparezcan (Torrissen, 1985; Schiedt *et al.*, 1986; Osterlie, Bjerkeng y Liaaen-Jensen, 1999), de la capacidad metabólica del animal para transformar unos pigmentos en otros en los diferentes tejidos y de posibles interacciones entre ellos cuando aparecen en elevadas cantidades en el alimento

(Torrissen *et al.*, 1990; Ha *et al.*, 1993). Por otro lado, los lípidos contenidos en la dieta así como la digestibilidad de los mismos, también afectan a la absorción y deposición de los carotenoides (Torrissen *et al.*, 1990). Recientemente, se trabaja además en el importante papel antioxidante de los carotenoides sobre los radicales libres que se generan en los tejidos y que están relacionados con la oxidación de los lípidos (Bell *et al.*, 2000). El perfil de los lípidos de la dieta afecta de forma clara al estado oxidativo del filete, lo que se ve reforzado y reflejado por el contenido en vitamina E y otros antioxidantes en el mismo (Undeland, Hall y Lingnert, 1999).

La investigación en fuentes alternativas de pigmentos naturales, como carotenoides presentes en levaduras, pimientos, tomates, microalgas y semillas como el annatto (*Bixa orellana*) ha crecido en los últimos años. La evaluación de los mismos, además de en sus implicaciones en el color, se ha ampliado a sus múltiples efectos fisiológicos beneficiosos para los animales, sobre todo aquellos relacionados con la calidad, estabilidad y vida útil de los filetes (Barbosa, Morais y Choubert, 1999; Bell *et al.*, 2000; Hancz *et al.*, 2003; Storebakken *et al.*, 2004; Büyükçapar, Yanar y Yanar, 2007; Kalinowski *et al.*, 2007; Hynes *et al.*, 2009; Teimouri, Keramat Amirkolaie y Yeganeh, 2013; García Romero *et al.*, 2014; Safari y Atash, 2015). Asimismo, otro tipo de efectos beneficiosos de los carotenoides del pienso, como aquellos relacionados con la salud, sistema inmunológico y supervivencia de los peces, se han reportado en diferentes especies (Liebler, 1993; Amar *et al.*, 2001; Waagbo *et al.*, 2003).

## CAROTENOIDES Y CALIDAD DEL PESCADO DE CRIANZA

La calidad del pescado se relaciona con conceptos diferentes dependiendo del propio procesado al que se somete o del conocimiento del consumidor. Las características organolépticas, valor nutricional o composición bioquímica y vida útil del filete son parámetros que definen su calidad y condicionan la percepción de la misma por el consumidor. Todas estas características dependen, además de la frescura y procesado previos, de la composición del filete de pescado, la cual a su vez está condicionada por otros aspectos cualitativos entre los cuales destaca la composición de la dieta (Li *et al.*, 2007; Grigorakis, 2007). Los pigmentos en la dieta, especialmente los carotenoides, afectan de manera importante características o atributos sensoriales de la calidad de un pescado. Entre ellos, el color tanto en piel como en filete, así como la composición bioquímica y la susceptibilidad a la oxidación a lo largo del tiempo (vida útil) han sido los más estudiados por sus efectos directos en la apariencia, estabilidad y precio final de mercado.

### Carotenoides y color

Entre los indicadores que definen a las características organolépticas del pescado, el color de la piel o del filete ocupa un lugar importante, ya que determina de manera significativa la aceptación o rechazo del producto por el consumidor, aun teniendo éste una composición bioquímica óptima e incluso una correcta textura y calidad sanitaria. El color de un producto está definido por parámetros como la intensidad, el tono y la luminosidad (CIE, 1976) véase también el capítulo 6.

Según las especies de peces, se pueden diferenciar las que de manera preferente depositan los pigmentos en el filete (salmón, trucha), de aquellas otras que lo hacen en la piel (bocinegro, carpa, pargo japonés). Esto se relaciona con el metabolismo y la deposición diferenciada de los carotenoides dietéticos en los diferentes tejidos. La mayoría de estas especies de peces pierden su color natural característico al ser criados en instalaciones de cultivo, tanto en jaulas como en tanques, por lo que para su adecuada comercialización es necesaria la formulación de dietas específicas enriquecidas con los carotenoides adecuados.

### Coloración de la piel

La coloración en la piel de un pez es el resultado de la actividad y densidad de los cromatóforos, células situadas en un plano paralelo a la piel. En función del color del pigmento depositado en su interior, los cromatóforos se clasifican en melanóforos (marrón o negro), eritróforos (rojo), xantóforos (amarillos), leucóforos (blanco) (que absorben la luz) e iridóforos (que reflejan la luz), que contienen pigmentos sin color (Fujii, 2000).

En estudios realizados en especies de peces que depositan los pigmentos en la piel, como el bocinegro (*Pagrus pagrus*) (figura 2), se ha encontrado que las células pigmentarias predominantes son xantóforos y eritróforos; observándose además que en ausencia de carotenoides en la dieta suministrada aparece un gran número de melanóforos en detrimento de los característicos xantóforos y eritróforos, alejándose el color del animal del rojizo característico, típico de la especie en su medio natural (Chatzifotis *et al.*, 2005). Por lo tanto, el colorido de muchas especies de peces se debe a la absorción y deposición de los carotenoides en los eritróforos o xantóforos, que deben ser suministrados

**FIGURA 2.** Determinación del color de la piel en bocinegro (*Pagrus pagrus*) mediante colorímetro.



para ello en dietas adecuadas, ya que los peces no pueden sintetizarlos a partir de otros nutrientes precursores (Fujii, 2000). En los últimos años, un gran número de estudios científicos de nutrición en acuicultura se han orientado a la formulación de dietas específicas, que contengan los pigmentos adecuados para devolver y mantener la coloración natural de diferentes especies de peces, tanto para consumo humano como ornamentales. La eficacia pigmentaria de los diferentes carotenoides es específica y está determinada por su estructura, color específico, digestibilidad y metabolismo, modulándose en último término por la presencia de otros constituyentes contenidos en el alimento, como el tipo y

cantidad de lípidos y de vitaminas liposolubles como la vitamina E.

En estudios iniciales se utilizaron fuentes de carotenoides en su mayoría de origen sintético; la cantaxantina y la astaxantina fueron los más utilizados en todas las especies. Resultados en diferentes especies de pargos rojos como el bocinegro y el *Australian snapper* (*Pagrus auratus*) o el rodaballo (*Paralichthys olivaceus*), a niveles de inclusión desde 25 a 200 mg de carotenoides por kilo dieta, han demostrado la idoneidad de la astaxantina en la mayoría de las especies para recuperar el color característico de las mismas bajo condiciones de cultivo (Lorenz, 1998; Chatzifotis *et al.*, 2005; Kalinowski *et al.*, 2005; Tejera *et al.*, 2007; Doolan *et al.*, 2008). Otros carotenoides sintéticos como el licopeno y el  $\beta$ -caroteno (100 ppm) en el bocinegro, y zeaxantina, luteína y  $\beta$ -caroteno en dorada japonesa también han sido probados sin obtener en este caso los resultados deseados (Chatzifotis *et al.*, 2005).

En especies de peces ornamentales el uso de carotenoides en la dieta es primordial al ser el color la característica más importante para la comercialización de estas especies en el mundo de la acuariofilia. Algunos trabajos sobre el uso de carotenoides sintéticos como el apo-éster (60 mg carotenoide/kg dieta) se han realizado con buenos resultados en boina rojo (*Carassius auratus*) (Grether, Kasahara y Kolluru, 2004). Otros estudios como el de Wang, Chien y Pan (2006) en tetra roja (*Hyphessobrycon callistus*) han utilizado astaxantina y  $\beta$ -caroteno sintético (10-20mg carotenoide/kg dieta), así como mezcla de ambos para colorear la piel de esta especie ornamental. En este último trabajo se encontró una conversión de  $\beta$ -caroteno hacia astaxantina, demostrando ser ésta una de las especies en las que ha sido demostrada la capacidad de bioconvertir pigmentos más sencillos en otros mucho

más complejos a través de rutas metabólicas específicas. Esta capacidad metabólica también se ha descrito en otras especies de peces como la dorada, *Sparus aurata* (Gomes *et al.*, 2002), el pez gato, *Ictalurus punctatus* (Li *et al.*, 2007) y el bocinegro (Tatiana *et al.*, 2007; García-Romero *et al.*, 2010). Esto constituye una herramienta biológica importante en el manejo nutricional para la coloración, ya que permite la inclusión dietética de pigmentos más económicos, que podrán ser posteriormente convertidos y depositados en aquellos otros mucho más caros característicos de la especie objetivo.

Si bien estas fuentes de pigmentos de origen sintético se han utilizado y han resultado eficientes para mantener la coloración de la piel del animal, la tendencia actual es restringir o abandonar su uso debido principalmente a problemas relacionados con su alto costo, estabilidad durante el procesado y sobre todo con la seguridad toxicológica. Los carotenoides sintetizados químicamente son especialmente sensibles a los procesos de oxidación, en menor medida que los carotenoides provenientes de fuentes naturales, más estables en su interacción con otros compuestos. En la actualidad la investigación se orienta a la detección de nuevas fuentes naturales de pigmentos carotenoides susceptibles de uso en los piensos para peces, tales como diferentes materias primas brutas (vegetales, levaduras, algas o krill), y los extractos y derivados industriales provenientes del procesado de éstos y otros productos alternativos como invertebrados marinos (cangrejos, langostinos y erizos). El alga verde *Haematococcus pluvialis* contiene  $\beta$ -caroteno (2.2%), astaxantina (no esterificada < 1%, monoéster 12.4%, diéster 28.8%), cantaxantina (44.3%) y luteína (11.4%). Este alga ha sido utilizada como fuente natural del carotenoide astaxantina con buenos resultados en la coloración de la piel en muchas especies de peces (Tejera *et al.*, 2007; Pham *et al.*, 2014). El extracto de pimentón, obtenido

a partir de extracto de pimiento rojo constituye también una fuente ideal de carotenoides para diferentes especies. Harinas vegetales como la de alfalfa también se han evaluado como fuente de pigmentos carotenoides, en este caso para colorear especies como boina roja en acuarios. En esta especie, Yanar *et al.* (2008) utilizaron dietas que incluían harina de alfalfa en proporciones de 0% a 40%, con niveles crecientes de carotenoides (0 a 160 mg/kg dieta). Estas dietas resultaron en mejoras en el color de la piel de hasta 25%. Los pigmentos generados a partir de levaduras como la *Phaffia rhodozyma*, bacterias marinas como la *Agrobacterium aurantiacum*, *Rhodospseudomonas palustris* y *Chlorococcum* sp, el alga *Chlorella zofingiensis*, *C. vulgaris* y *Spirulina platensis* son también excelentes fuentes naturales de carotenoides para la coloración de la piel en peces (Sun *et al.*, 2012).

Las harinas de crustáceos y sus coproductos presentan igualmente un alto potencial de uso como fuentes de carotenoides, especialmente la astaxantina contenida en el exoesqueleto. Estas harinas si bien tienen el problema de presentar un alto contenido en humedad, cenizas y quitina, tienen también un alto valor nutritivo que constituye un importante aporte de proteínas de alta calidad y de ácidos grasos omega 3 en las dietas. El krill está compuesto por pequeños crustáceos marinos que poseen un extraordinario valor nutritivo y alta concentración en astaxantina esterificada (100-150 mg/kg), y se utilizan en muchos trabajos donde ha sido demostrada su idoneidad para la coloración de la piel en especies como el bacalao común *Gadus morhua* (Karlsen, Suontama y Olsen, 2006) y bocinegro (Chebbaki, 2001; Schuchardt, *et al.*, 2008). Asimismo, los derivados del procesado de crustáceos poseen un extraordinario potencial nutricional, ya que mantienen un alto contenido de componentes de alto valor biológico, como minerales, lípidos,

aminoácidos esenciales, polisacáridos, vitaminas y pigmentos). La utilización de estos desechos como recursos dietéticos alternativos nace en parte de la necesidad de gestionar de forma adecuada y útil estos residuos, los cuales hasta ahora constituyen un serio problema de contaminación ambiental (Arvanitoyannis y Kassaveti, 2008). Estos subproductos suelen variar bastante en su concentración de carotenoides y por lo general contienen entre 37 y 147 mg/kg, de los que 98% es en su mayoría astaxantina esterificada (Shahidi y Synowiecki, 1999). La astaxantina proveniente en 40% de harina de carcasa de langostino (38mg de carotenoides/Kg) ha demostrado, en dietas para bocinegro, una coloración próxima a la natural en el animal (Kalinowski *et al.*, 2005, 2007). Se demostró posteriormente para esta misma especie que la inclusión en la dieta de 20% tanto de harina de cangrejo de río (*Procambarus clarkii*), como de mar (*Chaceon affinis* y *Paramola cuvieri*) mejora de forma significativa la coloración rojiza así como el contenido de pigmentos de la piel (García-Romero *et al.*, 2010, 2014a). Resultados posteriores en esta especie se han sido reportado con otras fuentes de subproductos marinos, como harina de erizo de mar (*Diadema africanum*). En este caso aumentó de forma significativa la concentración de pigmentos amarillos y no así de los rojos adecuados; la harina de erizo de mar es rica en el carotenoide equinenona (4-ceto- $\beta$ -caroteno), pigmento amarillo que proviene principalmente de las gónadas de este equinodermo (Miyuki, Amemiya y Matsuno, 1990).

### Coloración del filete de pescado

La pigmentación del músculo de ciertas especies como los Salmónidos es, después de la frescura del producto, uno de los factores más importantes en la orientación de compra del consumidor. Steine, Alfnes y Rørå (2005) demostraron cómo la coloración rojiza del filete de salmón (*Salmo salar*) condicionaba de forma positiva la opción de compra de los

consumidores frente a filetes no tan pigmentados, aun siendo más caros en el primer caso.

El color rojo-anaranjado característico del filete de los salmónidos proviene de la deposición de la astaxantina o la cantaxantina dietética. La astaxantina constituye la mayor proporción de pigmento del total de carotenoides encontrados en el filete de los salmónidos salvajes, y proviene mayormente del zooplancton del cual se alimentan en el medio natural. Aproximadamente 90% de la astaxantina en el filete se encuentra en forma no esterificada, mientras que sus formas esterificadas son predominantes en la piel (NRC, 1993). Se ha demostrado que en salmónidos, la astaxantina se absorbe mucho mejor a través del tracto digestivo que la cantaxantina, por lo que ofrece una mejor deposición de pigmentos en el filete (Choubert y Storebakken, 1989). Para la preservación de la coloración natural del filete se han evaluado, al igual que para la piel, diferentes fuentes de carotenoides tanto sintéticas (astaxantina y cantaxantina) (Storebakken *et al.*, 1987; Torrinsen, Hardy y Shearer, 1989; Storebakken y No, 1992), como de origen natural (harinas o aceites provenientes de crustáceos, algas y levaduras rojas). Actualmente se están investigando carotenoides provenientes de vegetales terrestres. Las harinas de crustáceos (exoesqueletos y descartes de langostino, de cangrejo y krill) mejoran notablemente la pigmentación en salmónidos (Spinelli y Mahnken, 1978; Coral-Hinostroza *et al.*, 1998) y también en platija (*Paralichthys lethostigma*) (González *et al.*, 2006). La pigmentación del filete de salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) en agua dulce mejoró significativamente tras la adición en dieta de aceite de krill antártico *Euphausia superba* (Arai *et al.*, 1987). Ciertas levaduras rojas como la *P. rhodozyma*, acumulan gran cantidad de astaxantina en sus células, por lo cual también se utilizan en muchas dietas comerciales destinadas a la pigmentación de

salmónidos de acuicultura, como el salmón atlántico (Bjerkeng *et al.*, 2007).

Los vegetales, por su parte, poseen un gran potencial como fuentes de carotenoides. Algunos experimentos han demostrado que los pigmentos provenientes de la harina y aceite de pimentón han dado buenos resultados en la coloración del músculo tanto de salmón como de trucha (Agius *et al.*, 2001; Yanar *et al.*, 2008), si bien con una eficacia menor que con pigmentos comerciales sintéticos. Los carotenoides de las microalgas, *Haematococcus pluvialis* y spirulina, también se han investigado con resultados satisfactorios en la coloración del filete (Teimouri, Keramat Amirkolaie y Yeganeh, 2013; Safari y Mehraban Sang Atash, 2015). Un estudio reciente muestra como la suplementación de harina de annato (200g/kg dieta) proveniente de la semillas de *Bixa orellana*, resultó ser una fuente efectiva de carotenoides naturales colorantes en filetes de trucha arcoíris tras un periodo de 126 días de alimentación (Safari y Mehraban Sang Atash, 2014).

La retención de los carotenoides en el filete es tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad de pigmentos ingeridos, hasta un máximo nivel a partir del cual aumentos en la ingesta de pigmentos no produce mayor efecto (Torrissen, 1985). Sin embargo, la coloración del filete en los peces no depende únicamente del tipo y concentración dietética de pigmentos, sino también de factores biológicos, como la capacidad de absorción y transporte en sangre de estos pigmentos, que es característica de cada especie (Choubert *et al.*, 1995), el tamaño del pez, el estado de maduración sexual, la composición de la dieta, el nivel de ingesta y factores genéticos.

## Carotenoides y composición bioquímica

Son muy pocos los trabajos reportados sobre la inclusión de carotenoides en la dieta y los efectos en la composición bioquímica del filete de pescado. De hecho, la mayor parte de los trabajos en esta línea han sido realizados usando materias primas de diverso origen que incluyen estos pigmentos. La literatura muestra resultados contradictorios para estas fuentes de carotenoides dietéticos naturales, provenientes sobre todo de harina de diferentes especies de crustáceos, y los efectos encontrados parecen estar más relacionados con la composición de las propias harinas que de sus pigmentos. Así, algunos autores como Schuchardt *et al.* (2008) encuentran un incremento en el contenido de lípidos del filete tras la alimentación de bocinegros con dietas que contienen 20% de harina de krill, frente a otros como Chebbaki (2001) que muestran, por el contrario, una reducción de los mismos. Otras especies como el salmón atlántico (*Salmo salar*) y el fletán (*H. hipoglossus*) no ven alterada la composición de sus filetes tras ser alimentados con diferentes harinas de crustáceos y niveles (Olsen *et al.*, 2006; Suontama *et al.*, 2007). Yi *et al.* (2015), en un trabajo realizado con corvina amarilla (*Larimichthys croceus*), encontró que el contenido en lípidos totales del pez entero disminuyó significativamente tras ser alimentado durante nueve semanas con 20% de harina de carcasa de langostino como fuente de astaxantina natural en la dieta.

Con respecto a la composición en ácidos grasos, la inclusión de harinas de cangrejo tanto de mar (*Chaceon affinis* y *Paramola cuvieri*), como de río (*Procambarus clarkii*), incrementó el contenido total ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), altamente insaturados (HUFA), eicosapentaenoico (EPA), docosahexaenoico (DHA) y, especialmente, araquidónico (ARA) el cual resultó significativamente mayor

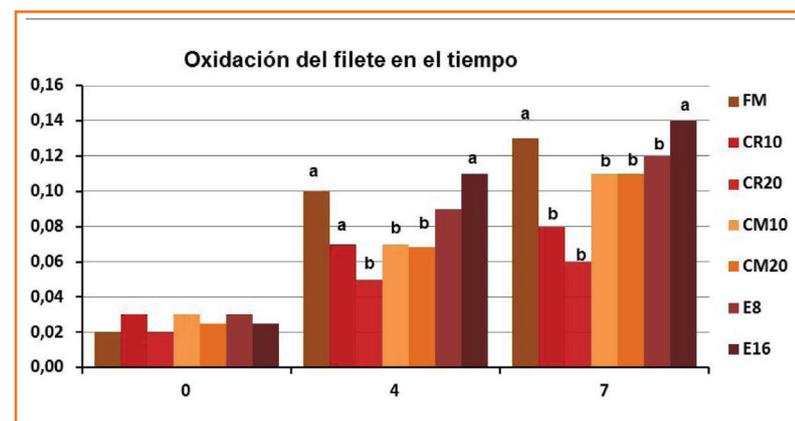
en todos los filetes alimentados con este tipo de fuente de carotenoides. Aunque se pudiera pensar en un efecto sinérgico de los carotenoides en la acumulación de ácidos grasos, lo cual no está demostrado, se encontró una correlación lineal entre el contenido de ARA de las harinas y el de los filetes (García-Romero *et al.*, 2014, 2014a). Otros autores también encuentran un aumento significativo de la relación w-3/w-6 en músculo de besugo, *Pagellus bogaraveo*, alimentado con 30% de inclusión de harina de crustáceos (10% de harina de krill y 20% de harina de caparazón de langostino), y de platija *Paralichthys lethostigma* y 5% de harina de cangrejo (González *et al.*, 2006). Los resultados obtenidos evidenciaron una mejora de la calidad nutritiva del filete debido a un incremento significativo en el contenido de los ácidos grasos poliinsaturados. Esto sugiere que la utilización de estas harinas en la dieta, incluso a baja concentración, puede mejorar la calidad final de producto no sólo en cuanto a coloración se refiere, sino también en la composición nutritiva del filete.

### Carotenoides y oxidación en tejidos

El consumo de pescado posee efectos benéficos para la salud humana, hecho que se debe en gran medida a la calidad de sus grasas poliinsaturadas omega 3 (PUFA). Éstas le confieren un carácter funcional al pescado. Estos ácidos grasos poliinsaturados tienen sin embargo la característica de ser muy susceptibles a la oxidación, perjudicando la estabilidad durante el procesado y almacenamiento de los filetes. El efecto antioxidante de los carotenoides tiene especial relevancia en los diferentes tejidos de los peces, como en la piel, ayudando a preservar el color en el filete, alargando su vida útil e incluso en el estatus oxidativo del animal como indicador de salud y bienestar.

La reducción de esta descomposición oxidativa en peces procedentes de acuicultura en los que el contenido total de grasas poliinsaturadas es normalmente alta ha sido objeto de estudio en numerosos trabajos, muchos de ellos relacionados con el contenido de carotenoides en las dietas. Así, la adición dietética de astaxantina (25 y 50 mg/Kg) proveniente de la alga *H. pluvialis* no sólo confiere el color rojo característico de la piel del bocinegro, sino que además tuvo un papel beneficioso en la oxidación de la misma. Así, se observó un menor contenido en productos provenientes de la oxidación de los lípidos (Tejera *et al.*, 2007).

En especies de cultivo como los salmónidos que presentan un alto contenido de grasas insaturadas, el rol antioxidante de los carotenoides depositados en el filete juega un papel importante ya que evitaría la rancidez especialmente rápida



**FIGURA 3.** Oxidación temporal (0-7 días) de filetes de bocinegro alimentados con 7 dietas experimentales: (FM) control base harina de pescado; (CR) y (CM) harinas de cangrejo de río y de mar al 10% y 20% de sustitución de la proteína de pescado de FM; (E) harinas de erizo de mar al 8 %y 16% de sustitución de la proteína de pescado de FM.

en estas especies. Algunos trabajos como los de Christiasen *et al.* (1995), han demostrado este hecho al comprobar una mejora en el estado oxidativo del músculo del salmón tras ser alimentado con astaxantina sintética. Por otra parte, en especies de bajo contenido graso en filete (*lean fish*) y, por lo tanto, menos carotenoides al ser éstos sustancias liposolubles, se ha comprobado igualmente el efecto benéfico antioxidante de los carotenoides dietéticos. En trabajos recientes como en el realizado por Pham *et al.* (2014), se comprueba que la actividad antioxidante en músculo de la platija, *Paralichthys olivaceus*, se incrementa significativamente con dietas que contienen harinas de pimentón y de microalga *H. pluvialis* como fuente de carotenoides, a la concentración de 100mg/kg, mayoritariamente astaxantina. Otros autores como García-Romero *et al.* (2014, 2014a) han encontrado en

piensos para bocinegro que la sustitución parcial de la harina de pescado por harinas de cangrejo de mar (*Chaceon affinis* y *Paramola cuvieri*) y de río (*Procambarus clarkii*), ambas ricas en astaxantina, disminuyó la oxidación medida como sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS). El estudio se llevó a cabo con filetes conservados en el refrigerador a lo largo de siete días (figura 3). Además del tiempo de suplementación, el tipo de pigmento juega un papel importante al presentar cada uno diferente capacidad antioxidante relativa. Así, en dietas que contienen la misma concentración de pigmentos, pero de diferentes orígenes, se ha observado que frente a la harina cangrejo rica en astaxantina, la harina de erizo rica en equinenona presenta menor efecto antioxidante en los filetes, lo cual pone en relieve el diferente potencial entre pigmentos (García-Romero *et al.* 2014a).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación de parte de los resultados presentados en el presente capítulo a los proyectos: AGL2006-12888 Ministerio de Economía e Innovación del Gobierno de España (Harinas de algas y de cangrejo y subproductos de las mismas como ingredientes alternativos a la harina de pescado en dietas para bocinegro (*pagrus pagrus*): efectos digestivos y metabólicos y repercusiones en la calidad del producto acabado); PI2007-048 Gobierno Autónomo de Canarias a través de Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (Viabilidad del uso de crustáceos de aguas profundas de canarias en dietas para acuicultura) y UNLP10-3E-984 Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España a través de Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (Equipamiento para la producción a escala piloto de harinas y aceites de productos y subproductos del sector primario, principalmente de la pesca y la acuicultura).

## REFERENCIAS

- Agius, R.V., Watanabe, T., Satoh, S., Kiron, V., Imaizum, H., Yamazaki, T., Kawano, K. 1991. *Aquac. Res.* 32: 263-272.
- Amar, E.C., Kiron, V., Satoh, S., Watanabe, T., 2001. *Aquac. Res.* 32: 162-173.
- Arai, S., Mori, T., Miki, W., Yamaguchi, K., Konosu, S., Satake, M., Fujita, T. 1987. *Aquac.* 66: 255-264.
- Arvanitoyannis, I.S. y Kassaveti, A. 2008. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 726-745.
- Barbosa, M.J., Morais, R., Choubert, G., 1999. *Aquac.* 176: 331-341.
- Bell, G., McEvoy, J., Tocher, D.R. y Sargent, J.R., 2000. *J. Nutr.* 130: 1800-1808.
- Bjerkeng, B., Folling, M., Lagocki, S., Storebakken, T., Olli, J.J., Alsted, N. 1997. *Aquac.* 157: 63-82.
- Büyükçapar, H.M., Yanar, M., Yanar, Y., 2007. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 31: 7-12.
- Campbell, B. y Pauly, D. 2013. *Marine Policy* 39: 94-100. Disponible en: [http://www.strategyr.com/Carotenoids\\_Market\\_Report.asp](http://www.strategyr.com/Carotenoids_Market_Report.asp)
- Chatzifotis, S., Pavlidis, M., Doñate Jimeno, C., Vardanis, G., Sterioti, A., Divanach, P. 2005. *Aquac. Res.* 36: 1517-1525.
- Chebbaki, K., 2001. "Efecto de la nutrición sobre la coloración de la piel y la calidad del filete en bocinegro, *Pagrus pagrus*". Tesis. II Máster Internacional en Acuicultura de la Universidad de Las Palmas.
- Choubert, G. y Storebakken, T., 1989. *Aquac.* 81: 69-77.
- Choubert, G., Milicua, G., Gómez, R., Sancé, S., Petit, H., Négres-Sadargues, G., Castillo, R., Trilles, J.P. 1995. *Aquac. Int.* 3, 1-12.
- Christiansen, R., Glette, J., Lie, O., Torrissen, O.J., Waag, R., 1995. *J. Fish Dis.* 18: 317-328.
- CIE, 1976. Official Recommendations on Uniform Colour Space, Colour Difference Equations and Metric Colour Terms. Suppl. Núm. 2 CIE Publication 15, Colorimetry. Comisión Internacional de l'Eclairage, París.
- Coral-Hinostroza G., Huberman H., De la Lanza G., Monroy-Ruiz J., 1998. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 7: 31-45.
- Doolan, B.J., Geoff L., A., Mark, A., Booth, P., Jones, L. 2008. *Aquac. Res.* 39: 1423-1433.
- FAO, Fisheries Department 2011. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2010*. Roma.
- FAO, Fisheries Department 2013. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*. Roma.

## REFERENCIAS

- FAO, Fisheries Department 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2013*. Roma.
- FIAAP, 1, 2013.
- Foss, P., Storebakken, T., Austreng, E. y Liaaen-Jensen, S. 1987. *Aquac.* 65: 293-305.
- Fujii, R. 2000. *Pigment Cell Res.* 13: 300-319.
- García-Romero, J., Kalinowski, T., Izquierdo, M.S., Robaina, L. 2010. *Aquac. Res.*, 41: 1759-1769.
- García-Romero, J., Ginés, R., Izquierdo, M., Robaina, L. 2014. *Aquac.* 420-421: 231-239
- García-Romero, J., Ginés, R., Izquierdo, M., Haroun, R., Badilla, R., Robaina, L. 2014a. *Aquac.* 422-423: 239-248.
- Gomes, E., Dias, J., Silva, P., Valente, J., Empis, J., Gouveia, L., Bowen, J., Young, A., 2002. 214: 287-293.
- González, S., Flick, G.J., O'Keefe, S.F., Ducan, S.E., Mclean, E., Craig, S.R., 2006. *J. of Aqua. Food Product Technology* 15: 69-79.
- Goodwin, T.W., 1984. *The Biochemistry of the Carotenoids*. second ed. Vol. II. Animals, Londres: Chapman & Hall.
- Grether, G.F. Kasahara, S., Kolluru, G.R., Cooper, E.L. 2004. *Proc. R. Soc. Lond.* 271: 45-49.
- Grigorakis, K. (2007). *Aquac.* 272: 55-75.
- Ha, B.S., Kang, D.S., Kim, J.H., Choi, O.S., Ryu, H.Y. 1993. *Bull.Korean Fish.* 38: 331-338.
- Hancz, C., Magyary, I., Molnar, T., Sato, S., Horn, P., Taniguchi, N., 2003. *Fish. Sci.* 69: 1158-1161.
- Hynes, N., Egeland, E.S., Koppe, W., Baardsen, G., Kiron, V., 2009. *Aquac. Nutr.* 15: 202-208.
- Kalinowski, T., Robaina, L., Fernández-Palacios, H., Schuchardt, D., Izquierdo, M.S. 2005. *Aquac.* 244: 223-231.
- Kalinowski, C.T., Izquierdo, M.S., Schuchardt, D., Robaina, L.E., 2007. *Aquac.* 272: 451-457.
- Karlsen, Ø., Suontama J. y Olsen, R.E. 2006. *Aquac. Res.* 37: 1676-1684.
- Kiron, W., 2012. *Animal Feed Science and Technology* 173: 111-133.
- Li, M.H., Robonson, E.H., Oberle, D.F., Zimba, P.V. 2007. *J.World Aquaculture Society* 38: 557-563.
- Liebler, D.C., 1993. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 691: 20-31.
- Lorenz, T.R. 1998. *Naturese Technical Bull* 52.
- Minh, A.P., Hee-Guk, B., Kyoung-Duck, K., Sang-Min L. 2014. *Aquac.* 431: 65-72.

## REFERENCIAS

- Miyuki, T., Amemiya, S., Matsuno, T. 1990. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry* 96: 801-810.
- NRC National Research Council. 1993. *Nutrient requirements of fish*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Olsen, R.E., Suontama, J., Langmyhr, E., Mundheim, H., Ringø, E., Melle, W., Malde, M.K., Hemre, A.I. 2006. *Aquac. Nutr.* 12: 280-290.
- Osterlie, M., Bjerkgeng, B. y Liaaen-Jensen, S., 1999. En Mosquera, M.I.M., Galán, M.J., Méndez, D.H. (eds.), *Pigments in Food Technology. Proceedings 1 Int. Congr. Pigments in Food Technology*, Sevilla, 157-161.
- Pham, M., Hee-Guk, B., Kyoung-Duck, K., Sang-Min, L. 2014. *Aquac.* 431: 65-72.
- Pavlidis, M, Papandroulakis, N., Divanac, Minh A.P., Hee-Guk, B., Kyoung-Duck, K., Sang-Min, L. 2006. *Aquac.* 258: 211-219.
- Safari, O., Mehraban Sang Atash, M., 2014. Study on the different levels of annatto (*Bixa orellana*) seed meal in the diet on some biological indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (Project no: 20805)*.
- Safari, O., y Mehraban Sang Atash, M., 2015. *Aquac.* 437: 275-281.
- Schiedt, K., Vecchi, M. y Glinz, E. 1986. *Comp. Biochem. Physiol.* 83B: 9-12.
- Schuchardt, D., Vergara, J.M., Fernández Palacios, H., Kalinowski, C.T., Hernández Cruz, C.M., Izquierdo, M.S., Robaina, L., 2008. *Aquac. Nutr.* 14: 1-9.
- Shahidi, F., Arachchi J.V.K., Jeon, Y.J. 1999. *Trends in Food Science & Technology* 10 : 37-51.
- Shahidi, F., Metusalach, A. y Brown, J.A., 1998. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 38: 1-67.
- Spinelli, J. y Mahnken, C., 1978. *Aquac.* 13: 213 -223.
- Steine, G., Alfnes, F. y Rørå, M.B. 2005. *Marine Res. Econ.* 20: 211-219.
- Storebakken, T., Foss, P., Schiedt, K., Austreng, E., Liaaen-Jensen, S., Mainz, U., 1987. *Aquac.* 65: 279-292.
- Storebakken, T. y No, H.K., 1992. *Aquac.* 100: 209-229.
- Storebakken, T., Sørensen, M., Bjerkgeng, B., Hiu, S., 2004. *Aquac.* 236: 391-403.
- Suontama, J., Kiessling, A., Melle, W., Waagbø R., Olsen, R.E. 2007. *Aquac. Nutr.* 13: 50-58.
- Sun, X., Yu C., Yuantu Y., Zhihong M., Yongjun L., Tieliang L., Na, J., Wei, X., Lin, L. 2012. *Aquac.* 342-343: 62-68
- Teimouri, M., Keramat Amirkolaie, A., Yeganeh, S., 2013. *Aquac.* 396-399: 14-19.

## REFERENCIAS

- Tejera, N., Cejas, J.R., Rodríguez, C., Bjerkg, B., Jerez, S., Bolaños, A., Santamaría, F.J. y Lorenzo, A., 2007. *Aquac.* 270: 218-230.
- Torrissen, O.J., 1985. *Aquac.* 46: 133-142.
- Torrissen, O.J., Hardy, R.W. y Shearer, K., 1989. *CRC Crit. Rev. Aquat. Sci.* 1: 209-225.
- Torrissen, O.J., Hardy, R.W., Shearer, K.D., Scott, T.M., Stone, F.E., 1990. *Aquac.* 88: 351-362.
- Torrissen, O.J., Christiansen, R., Struknæs, G., Estermann, R., 1995. *Aquac. Nutr.* 1: 77-84.
- Undeland, I., Hall, G. y Lingnert, H., 1999. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 47: 524-532.
- Waagbo, R., Hamre, K., Bjerkas, E., Berge, R., Wathne, E., Lio, O., Torstensen, B., 2003. *J. Fish Dis* 26: 213-229.
- Wang, Y.J., Chien, Y.H., Pan, C.H. 2006. *Aquac.* 261: 641-648.
- Yanar, M., Erçen, Z., Hunt, A.Ö., Büyükçapar, H.M. 2008. *Aquac.* 284: 196-200.
- Yi, Xinwen, Jun Li, Wei Xu, Huihui Zhou, Amanda A. Smith, Wenbing Zhang, Kangsen Mai, 2015. *Aquac.* 441: 45-50.