

Anayeli Quintana López, Miguel Ángel Hurtado Oliva, Crisantema Hernández y Elena Palacios Mechetnov



Carotenoides. ¿Qué son y para qué se usan?

Los pigmentos carotenoides, en particular la astaxantina, son antioxidantes naturales que estimulan la respuesta inmunológica, disminuyen los efectos adversos del estrés y favorecen el crecimiento de los organismos acuáticos durante su cultivo. Además, se ha documentado el efecto benéfico de los carotenoides en la salud humana, sobre todo contra algunas enfermedades degenerativas.



¿Qué son los pigmentos carotenoides y dónde se encuentran?

Los carotenoides son pigmentos orgánicos solubles en grasa que se encuentran de forma natural en algas, plantas y algunas clases de hongos y bacterias. Debido a sus características fisicoquímicas, los carotenoides son responsables de la gran mayoría de los colores verdes, anaranjados o rojos presentes en algunos vegetales y también animales.

Se dividen en dos grandes grupos: los carotenos y las xantófilas (Armstrong y Hearst, 1996). Los primeros contienen carbono e hidrógeno en sus moléculas. Los pigmentos β -caroteno, α -caroteno, licopeno y criptoxantina se encuentran principalmente en micro y macroalgas, así como en vegetales terrestres: zanahorias, papayas, melones y naranjas, entre otros. En contraste, las xantófilas están compuestas por carbono, hidrógeno y, adicionalmente, por lo menos un átomo de oxígeno. Algunos ejemplos son la luteína, zeaxantina, capsantina y astaxantina, pigmentos que le dan la coloración amarillenta, roja y anaranjada a las algas, bacterias y plantas superiores, como el pimiento rojo y el arándano, entre otros.

Los pigmentos carotenoides son indispensables para la vida y deben obtenerse a partir de la dieta, ya que ningún animal, incluido el humano, puede producirlos. Actualmente se conocen alrededor de 700 carotenoides, de los cuales 200 son de origen marino. En la acuicultura se utilizan distintas fuentes de carotenoides como aditivo (50 a 150 mg/kg peso seco) en alimentos balanceados para dar una coloración atractiva a los organismos, lo que incrementa su plusvalía; tal es el caso del cultivo del salmón, la trucha, la langosta, el cangrejo y el camarón. Las diferentes fuentes de estos pigmentos –en particular los utilizados en alimentos para camarón– pueden ser de origen natural o sintético. Dentro de los pigmentos naturales tenemos la harina de crustáceos (krill), las levaduras (*Phaffia rhodozyma*), las microalgas (*Haematococcus pluvialis*), las cianobacterias (*Arthrospira* sp. o *Spirulina*), las macroalgas (*Macrocystis* sp.) y algunas verduras (pimiento morrón –*Capsicum annum*– y flor de cempasúchil –*Tagetes erecta*–).





Los distintos tipos de carotenoides contenidos en la dieta de los peces y crustáceos son transformados en astaxantina; de igual manera sucede en algunas especies de aves, como el flamenco (*Phoenicopterus* sp.) y la espátula rosada (*Platalea ajaja*), cuya dieta incluye pequeños crustáceos productores de astaxantina.

La astaxantina se caracteriza principalmente por su alto poder antioxidante, útil tanto para los humanos como en organismos acuáticos. En estos últimos la astaxantina se encuentra en los tejidos en dos formas químicas: una libre y otra esterificada, es decir, unida a uno o a dos ácidos grasos (véase la Figura 1), aunque también puede estar asociada con algunos tipos de proteínas (Storebakken y Austreng, 1987). Cuando la astaxantina se encuentra asociada a proteínas no tiene color rojo, pero al separarse de la proteína adquiere de nuevo su coloración característica. Esto es lo que sucede en los camarones, que tienen astaxantina unida a una proteína (crustaceanina) cuando están vivos –por ello presentan un color gris-azulado–, pero cuando los cocinamos, la astaxantina se separa de la proteína y éstos adquieren un color rojo-anaranjado (Jáuregui y cols., 2011). En la Figura 2 se muestra la diferencia del aspecto entre camarones crudos y el brillante color anaranjado cuando están cocidos.

El color que los carotenoides aportan a los organismos acuáticos tiene una serie de ventajas para el comportamiento y la comunicación; por ejemplo, sirven para repeler a los depredadores y como camuflaje. Pero más allá de las propiedades de pigmentación, los carotenoides tienen importantes efectos fisiológicos en los animales acuáticos en cultivo, que detallaremos a continuación.

Acuicultura intensiva

Producción de organismos acuáticos altamente tecnificada; conlleva la siembra y el mantenimiento de muchos organismos por estanque; se proporcionan altas cantidades de alimento comercial balanceado.

■ **Importancia de los carotenoides en la nutrición y fisiología de los organismos acuáticos**

■ La deficiencia de carotenoides en los alimentos balanceados para los cultivos de organismos acuáticos se ha asociado con algunas enfermedades y, en general, con una disminución en la respuesta inmunológica, un menor crecimiento y una menor supervivencia

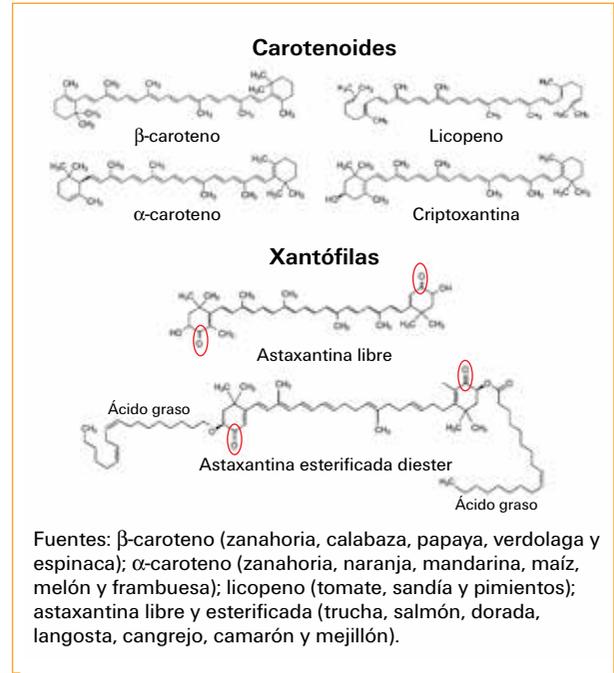


Figura 1. Estructura química de algunos carotenoides y de la astaxantina libre y esterificada. La diferencia entre los carotenos y las xantófilas es el oxígeno en las moléculas de las segundas.



Figura 2. Fuentes de carotenoides de origen natural: a) pargo; b) pimientos y zanahorias; c) camarón blanco fresco; d) camarón blanco cocido.

(Supamattaya y cols., 2005). Lo anterior tiene un efecto negativo en el rendimiento cuando se trata de **acuicultura intensiva**, por lo que hoy se busca enriquecer las dietas balanceadas con fuentes adicionales de astaxantina para mejorar tanto la condición de los organismos como su pigmentación; con ello también incrementa su valor en el mercado. En el

caso de la **acuicultura extensiva**, la gran cantidad de microalgas presentes en el agua por lo general resulta suficiente para proveer de carotenoides a los organismos en cultivo.

El efecto fisiológico de los carotenoides, y en particular de la astaxantina, se debe principalmente a su acción como antioxidante natural. Desde el punto de vista nutrimental, se puede definir un antioxidante como aquella sustancia presente en los alimentos que disminuye de manera significativa los efectos adversos de sustancias oxidantes derivadas del oxígeno y el nitrógeno (Kurshize y cols., 1990) como parte del metabolismo normal del animal. La actividad antioxidante de la astaxantina depende de varios factores, como su estructura química, su concentración en la dieta o su interacción con otros antioxidantes. Algunos estudios indican que la actividad antioxidante de la astaxantina es superior a la del β -caroteno y las vitaminas C y E. Otro papel biológico y nutricio de importancia atribuido a la astaxantina es su función como precursor de la vitamina A (retinol), la cual es indispensable para la visión nocturna; en el caso de los camarones, su deficiencia puede causar anomalías en la frecuencia de muda del exoesqueleto, mismo que los crustáceos desechan para incrementar el tamaño de su cuerpo.

Asimismo, los carotenoides actúan como estimulantes de la respuesta inmunológica en otros peces y crustáceos cultivados. Diversos factores pueden inducir una respuesta fisiológica de estrés en dichos organismos, lo que aumenta su vulnerabilidad a las bacterias que normalmente están presentes en el agua de mar; por ejemplo, las altas densidades de organismos en el cultivo, la captura, la manipulación, el confinamiento y el transporte de los mismos; así como factores ambientales: disminución de oxígeno, cambios en la temperatura o en la salinidad y aumento de amoníaco, entre otros. La respuesta inmune está dada en gran parte por un sistema de ataque a los patógenos que involucra la producción de radicales de oxígeno; una vez que el patógeno muere, los carotenoides se usan para disminuir la toxicidad para el propio organismo por estos radicales.

En este sentido, se ha demostrado que incluir dosis elevadas de β -caroteno y astaxantina en las

dietas para el camarón mejora la resistencia al estrés y protege las células del sistema inmunológico; esto aumenta la resistencia a enfermedades durante el cultivo (Pan y cols., 2003). También se ha informado que las fuentes naturales o sintéticas de carotenoides como suplementos en el alimento pueden aumentar los parámetros de crecimiento y mejorar la supervivencia. Por último, se ha demostrado que los carotenoides tienen un papel importante en la reproducción y durante el desarrollo embrionario de los crustáceos y los peces.

Nuestro grupo de investigación actualmente analiza la cantidad de astaxantina libre y esterificada presente en exoesqueleto, músculo, gónada y hepatopáncreas (glándula digestiva), así como en los ojos, de algunas especies de camarones. La astaxantina esterificada se concentra en grandes cantidades en el hepatopáncreas, donde se metaboliza y se transporta a otros tejidos mediante diversos procesos fisiológicos (estadio de desarrollo, maduración de las gónadas, ciclo de muda) y nutricios (tipo de pigmento, cantidad ingerida y tiempo del suministro del pigmento). La acumulación de la astaxantina en los diversos tejidos de los camarones favorece una mejor condición fisiológica de los organismos, y con ello una mayor capacidad reproductiva que impacta en la supervivencia de los organismos durante su cultivo.

Efectos de los carotenoides en la salud humana

Además del efecto que tienen estos pigmentos en la acuicultura, se han documentado sus beneficios para la salud humana, principalmente asociados con la prevención de enfermedades. Diversas especies de peces y crustáceos hoy sirven de alimento para los humanos, y cada una de éstas tiene diferentes contenidos de pigmentos dependiendo de su etapa de desarrollo (etapa reproductiva), hábitat y tipo de alimentación. Tales aspectos determinarán la apariencia física y el color de la carne, lo que genera una mayor o menor aceptación por parte del consumidor (véase la Figura 2). Asimismo, deben incluirse en la dieta vegetales que sean fuente de carotenoides.

Acuicultura extensiva

Producción de organismos acuáticos poco tecnificada; se siembran y mantienen pocos organismos por estanque; la alimentación depende de la productividad natural del estanque y se adiciona poco alimento comercial balanceado.



El interés por los efectos benéficos en los humanos se ha estimulado por estudios clínicos que sugieren que el consumo de alimentos ricos en carotenoides reduce la incidencia de varias enfermedades. Esto se debe a sus propiedades antioxidantes. En términos generales, los antioxidantes neutralizan diversas sustancias químicas que pueden dañar las membranas celulares y el material genético, lo cual puede devenir en algunos tipos de cáncer (Tanaka y cols., 1995) y otras enfermedades como Alzheimer, Parkinson, diabetes, artritis reumatoide, neurodegeneración y enfermedades cardiovasculares, entre otras. Hay estudios que muestran que el aporte elevado de carotenoides en la dieta humana puede reducir el riesgo de algunos tipos de cáncer: por ejemplo, el β -caroteno parece ser capaz de suprimir el crecimiento de ciertas lesiones precursoras del cáncer (adenomas) en el intestino; así como combatir la incidencia de cáncer de boca, garganta, esófago y de cáncer de mama (Omenn y cols., 1996).

Entre los carotenoides más investigados por su efecto sobre la salud humana están el β -caroteno, el licopeno, la luteína, la zeaxantina y la astaxantina. Algunos de estos pigmentos no están disponibles para nuestro consumo en estado natural o crudo, pero se liberan y absorben durante la preparación de los alimentos.

La astaxantina, el pigmento con mayor propiedad antioxidante, no sólo se encuentra en vegetales y algunas especies de microalgas de agua dulce (*Hae-matococcus pluviialis*); también está en algunas especies animales, como truchas, salmónidos, camarones y algunas especies de mejillones. Los carotenoides, y en particular la astaxantina, mejoran la respuesta del sistema inmunológico porque estimulan la producción de glóbulos blancos en la sangre y la actividad de los macrófagos (principales células que se encargan de disminuir las infecciones por microorganismos patógenos). La astaxantina también es un poderoso antiinflamatorio, por lo que además de prevenir el envejecimiento, resulta muy benéfico en la mayoría de las patologías que se caracterizan por niveles crónicos de inflamación, como artritis, dolores musculares, enfermedades cardiovasculares y Alzheimer (Fiedor y Burda, 2014). También es conocida por

regular los niveles de colesterol y contribuir a una buena circulación sanguínea. Incluso, numerosos deportistas ingieren de manera regular suplementos con astaxantina para incrementar el rendimiento o estimular la recuperación tras el ejercicio físico.

Otros estudios han encontrado una asociación entre la actividad antioxidante del licopeno –muy abundante en los jitomates (*Solanum lycopersicum*)– y la protección ante la aparición y el desarrollo de células malignas o cancerígenas en la próstata (Rowles y cols., 2017). Por otra parte, la luteína y la zeaxantina actúan en la retina: pueden proteger el ojo contra daños causados por la luz ultravioleta, prevenir la degradación de lípidos y reducir la degeneración macular relacionada con la edad o las cataratas seniles. Estos pigmentos se obtienen del maíz, la yema de huevo, la naranja y la papaya, entre otros alimentos.

Más allá del interés por la actividad antioxidante de los carotenoides, hace falta estudiar otros posibles mecanismos (no oxidantes) que benefician a los seres humanos. A partir de análisis observatorios y clínicos se ha comprobado que un consumo frecuente de frutas, verduras y productos marinos reduce el riesgo de contraer diversas enfermedades. Inclusive se considera que el aporte dietético de carotenoides



funciona como una medida económica para la prevención primaria y secundaria de las numerosas enfermedades mencionadas anteriormente.

■ **Perspectivas del uso de la astaxantina en la camaronicultura**

■ Aquí hemos destacado la importancia nutrimental y fisiológica de la astaxantina como un ingrediente vital en la alimentación y para el éxito del rendimiento productivo de peces y camarones en cultivo. Sin embargo, hasta el momento no se ha determinado cuál es la cantidad adecuada para cumplir con los requerimientos nutricios de dichas especies —en particular del camarón, que es el más cultivado en México—. Por lo regular, las diversas fuentes de pigmentos carotenoides para los alimentos balanceados incluyen de 10 a 20 veces más de las cantidades que se han encontrado en los tejidos de otras especies de camarones (silvestres). Teniendo en cuenta lo anterior, como parte de una tesis de doctorado en la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa, se realizó por **cromatografía líquida** la caracterización de los pigmentos presentes en diversos tejidos de las principales especies de camarones silvestres en etapa juvenil y adulta, con

la finalidad de determinar las concentraciones de carotenoides como un referente para incluir la astaxantina en los alimentos para camarón en cultivo. Adicionalmente se evaluará si otras concentraciones diferentes a las determinadas en las poblaciones silvestres afectan la resistencia al estrés, la respuesta inmunológica o el rendimiento del cultivo del camarón.

Anayeli Quintana López

Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

acuacultors_ayl@hotmail.com

Miguel Ángel Hurtado Oliva

Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

mholiva@uas.edu.mx

Crisantema Hernández

Centro de Investigación y Desarrollo, A. C., Unidad Mazatlán.

chernandez@ciad.mx

Elena Palacios Mechetnov

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

epalacio@cibnor.mx

Cromatografía líquida

Técnica de laboratorio que consiste en separar físicamente los compuestos químicos en solución, para su identificación y cuantificación.

Lecturas recomendadas

Armstrong, G. A. y Hearst, J. E. (1996), "Genetics and molecular biology of carotenoid pigment biosynthesis", *FASEB Journal*, 10:228-237.

Fiedor, J. y Burda, K. (2014), "Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease", *Nutrients*, 6:466-488.

Jáuregui, M. E., Carrillo, M. D. y Romo F. P. (2011), "Carotenoides y su función antioxidante. Revisión", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61:233-241.

Kurshize, M. *et al.* (1990), "Inhibition of oxidative injury of biological membranes by astaxanthin", *Physiological Chemistry and Physics and Medical*, 22:27-38.

Omenn, G. S. *et al.* (1996), "Effects of a combination of beta carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease", *New England Journal of Medicine*, 334:1150-1155.

Pan, C. H., Chien, Y. H. y Hunter, B. (2003), "Alterations of antioxidant capacity and hepatopancreatic enzymes in *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles fed

diets supplemented with astaxanthin and exposed to *Vibrio damsela* challenge", *Journal of Fish Society Taiwan*, 30:279-290.

Rowles III, J. L. *et al.* (2017), "Increased dietary and circulating lycopene are associated with reduced prostate cancer risk: a systematic review and meta-analysis", *Prostate Cancer and Prostatic Diseases*, 20(4):361-377.

Storebakken, T. y Austreng, E. (1987), "Binders in fish feeds II. Effect of different alginates on the digestibility of macronutrients in rainbow trout", *Aquaculture*, 60:121-131.

Supamattaya, K. *et al.* (2005), "Effect of a *Dunaliella* extract on growth performance, health condition, immune response and disease resistance in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*)", *Aquaculture*, 248:207-216.

Tanaka T. *et al.* (1995), "Chemoprevention of rat oral carcinogenesis by naturally occurring xanthophylls, astaxanthin and canthaxanthin", *Cancer Research*, 55: 4059-4064.