

Uso de Pigmentos de Flor de Cempasúchil (*Tagetes erecta*) como Aditivos en Alimentos para Camarón *L. vannamei*

Mireya Tapia-Salazar*, Denis Ricque-Marie, Martha Nieto-López,
L. Elizabeth Cruz-Suárez

Programa Maricultura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León,
Cd. Universitaria Apdo. Postal F-56, San Nicolás de los Garza, Nuevo León 66451, México.

Phone+Fax: +52(81)83526380; elicruz@hotmail.com.

Resumen

La suplementación de pigmentos en alimentos para camarón puede producir efectos positivos en ganancia de peso, sobrevivencia, resistencia a enfermedades y un mayor valor agregado en el producto terminado, confiriéndole ventajas al momento de su comercialización. Sin embargo, los resultados publicados son contradictorios y poco comparables. En este trabajo se presenta una revisión de los trabajos publicados sobre el efecto de pigmentos de flor de cempasúchil adicionados en alimentos para camarón en términos de crecimiento, sobrevivencia y eficiencia de pigmentación.

Palabras clave: pigmentos, flor de cempasúchil, pigmentación, camarón, *Litopenaeus vannamei*

I. Introducción

El uso de carotenoides en animales acuáticos está ampliamente documentado. En crustáceos, se ha reportado que los carotenoides actúan como antioxidantes (Liñán-Cabello *et al.*, 2002; Meyers y Latscha, 1997), precursores de vitamina A (Meyers y Latscha, 1997), además incrementan la resistencia a enfermedades (Supamattaya *et al.*, 2005), tasa de reproducción (Wouters *et al.*, 2001; Liñán-Cabello y Paniagua-Michel, 2004; Regunathan y Wesley, 2006), la ganancia en peso (Petit *et al.*, 1997; Pan *et al.*, 2001; Arredondo-Figueroa *et al.*, 2003; Pan y Chien, 2003) y sobrevivencia (Yamada *et al.*, 1990; Menasveta *et al.*, 1993; Arredondo-Figueroa *et al.*, 2003; Pan y Chien, 2003; Göcer *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2007).

Por otro lado, la inclusión de estos compuestos en la dieta incrementa la tolerancia de los animales a condiciones de cultivo adversas tales como elevados niveles de amonio, descensos en los niveles de oxígeno y aumento en la temperatura de cultivo entre otros (Meyers, 1994; Liñán-Cabello *et al.*, 2002). Adicionalmente, la suplementación de pigmentos mejora la coloración de la carne, lo cual le confiere mayor valor al momento de su comercialización (Carreto y Carignan, 1984; Katayama *et al.*, 1972a,b; Yamada *et al.*, 1990; Chien y Jeng, 1992; Menasveta *et al.*, 1993; Okada *et al.*, 1994; Vernon-Carter *et al.*, 1996; Cruz-Suárez *et al.*, 1998a,b; Kiessling *et al.*, 2003; Pan y Chien, 2003; Arredondo-Figueroa *et al.*, 2003; Göcer *et al.*, 2006).

II. Metabolismo de Pigmentos en Crustáceos

Los carotenoides pueden ser convertidos en las formas de carotenoides esterificados, libres o unidos a proteínas o glicéridos (Hertramp y Piedad-Pascual, 2000). Los crustáceos almacenan directamente la astaxantina dietaria como astaxantina y convierten los β -carotenos, la zeaxantina y la luteína en astaxantina esterificada o libre (Liao *et al.*, 1993; Yamada *et al.*, 1990; Vernon-Carter *et al.*, 1996; Cruz-Suárez *et al.*, 1998a, b; Pan y Chien, 2003; Fig. 1). Menasveta *et al.* (1993) encuentran una alta concentración de astaxantina libre en tejido de camarón *P. monodon* alimentados con dietas suplementadas con astaxantina o alga café. Suppamattaya *et al.* (2005) observan una mayor proporción de astaxantina esterificada que astaxantina libre (> 56 a 75% de astaxantina mono y diester) cuando alimentan a juveniles de *P. monodon* con alimentos

suplementados con 125 a 200 mg kg⁻¹ de β-carotenos de un extracto de *Dunaliella*, mientras que al suplementar con 300 mg kg⁻¹ de β-carotenos la forma predominante fue la astaxantina libre (53%).

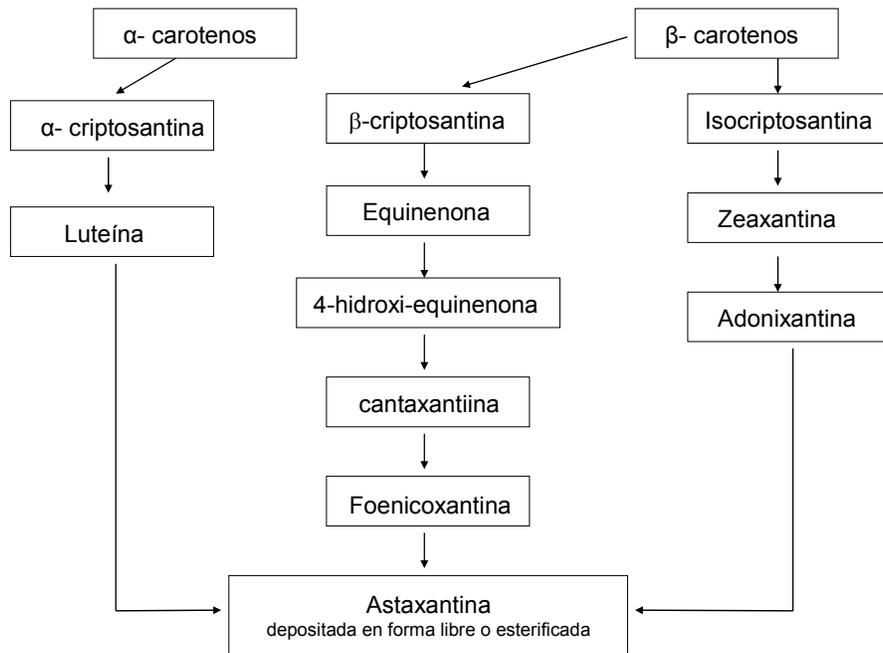


Fig. 1.- Ruta metabólica de síntesis de carotenoides en crustáceos (Latscha, 1990)

III. Pigmentos en Tejido de Camarón

La mayor concentración de pigmentos en tejido de camarón se deposita en el caparazón, cabeza y epidermis, y en menor proporción en músculo (Tanaka *et al.*, 1976; Latscha, 1989; Carreto y Carignan, 1984; Sachindra *et al.*, 2005). Los pigmentos predominantes que se han reportado en el caparazón son luteína, tunaxantina, astaxantina diester, astaxantina monoéster y astaxantina libre (Latscha, 1989; Yamada *et al.*, 1990; Nègre-Sadargues *et al.*, 1993; Menasveta *et al.*, 1993; Pan y Chien, 2003; Sachindra *et al.*, 2005), mientras que en el músculo se ha reportado principalmente astaxantina (esterificada o libre) y en menor cantidad trans-luteína, zeaxantina, β-caroteno, equinenona y cantaxantina (Tanaka *et al.*, 1976; Yamada *et al.*, 1990; Menasveta *et al.*, 1993; Cruz-Suárez *et al.*, 1998a,b; Sachindra *et al.*, 2005).

El nivel de concentración de carotenoides totales en camarón varía de especie a especie, condiciones de cultivo y depende del tipo y la concentración de pigmento adicionado a la dieta (Tabla 1).

Tabla 1. Contenido de pigmentos en organismos alimentados con dietas suplementadas con diferentes pigmentos

Especie	Tipo de tejido	Contenido de carotenoides totales (mg kg ⁻¹)*	Referencia
<i>P. semisulcatus</i>	No indicado	14**	Yanar <i>et al.</i> , 2004
<i>M. monoceros</i>	No indicado	17**	Yanar <i>et al.</i> , 2004
<i>M. japonicus</i>	Camarón completo	22-37	Yamada <i>et al.</i> , 1990
		37-89	Petit <i>et al.</i> , 1998
	Músculo	2-37	Chien y Jeng, 1992
	Cabeza	3-69	Chien y Jeng, 1992
	Caparazón	2-37 16-25	Chien y Jeng, 1992 Nègre-Sadargues <i>et al.</i> , 1993
<i>P. monodon</i>	Camarón completo	4-15	Menasveta <i>et al.</i> , 1993
		11-32	Pan <i>et al.</i> , 2001
	Caparazón	14-50 26**	Menasveta <i>et al.</i> , 1993 Howell y Matthews, 1991
<i>L. vannamei</i>	Camarón completo	5-18	Cruz-Suárez <i>et al.</i> , 2008b

* Los niveles menores corresponden a valores en tejido de camarón alimentados con la dieta basal ** concentración de pigmentos en camarones salvajes

IV. Efectos Benéficos del Uso de Pigmentos Sobre el Rendimiento de Camarón

La inclusión de fuentes adicionales de pigmentos influyen positivamente el crecimiento y la sobrevivencia en diferentes etapas del ciclo de vida de algunas especies de camarones peneidos, principalmente en etapas larvarias (Tabla 2).

Tabla 2. Estudios en donde se ha reportado un efecto positivo sobre el crecimiento y sobrevivencia en diferentes especies de camarón

Especie	Parámetro mejorado	Nivel de inclusión en dieta mg kg ⁻¹	Referencia
<i>P. japonicus</i>	Ganancia en peso	60 a 80 astaxantina	Petit <i>et al.</i> , 1997
	Sobrevivencia	100 astaxantina	Yamada <i>et al.</i> , 1990
<i>P. monodon</i>	Ganancia en peso	173 cantaxantina	Pan y Chien, 2003
	Sobrevivencia		
<i>P. semisulcatus</i>	Sobrevivencia	100 catotenoides totales extracto de papikra	Göcer <i>et al.</i> , 2006
	Sobrevivencia	100 astaxantina	Göcer <i>et al.</i> , 2006
<i>L. vannamei</i>	Ganancia en peso	80 astaxantina	Flores <i>et al.</i> , 2007
	Sobrevivencia		
	Sobrevivencia	200 astaxantina	Arredondo-Figueroa <i>et al.</i> , 1999

V. Factores que Afectan la Eficiencia de Pigmentación en Tejido de Camarón

La acumulación de pigmentos en crustáceos es afectada por múltiples parámetros, tales como tipo de pigmento, alimento, animal, condiciones ambientales, enfermedades etc. (Fig. 2).

Grado de pigmentación

Pigmento	Alimento	Animal	Condiciones ambientales	Enfermedades
-Concentración	-Ingredientes	-Especie	-Sistema de cultivo	-Estado nutricional
-Tipo/estructura	-Composición	-Genética	-Suelo	-Infecciones bacterianas
-Forma	-Manufactura	-Etapa de desarrollo	-Calidad agua	-Vibriosis
-Estabilidad	-Calidad	-Metabolismo	-Iluminación	-Infecciones por hongos
-Disponibilidad	-Consumo	-Sexo	-Variaciones estacionales	-Infecciones virales
-Periodo de suplementación		-Tipo de tejido		-Parasitismo
		-Estado de muda		

Fig. 2. Factores que afectan el grado de pigmentación en crustáceos (Latscha, 1991)

Otazu-Abrill *et al.* (1982) observan que la adición de 8% de metionina a alimentos para *Palaemon serratus* aumenta la concentración de carotenoides. Pan *et al.* (2001) reportan que el mantenimiento de post larvas *P. monodon* bajo condiciones de oscuridad disminuye la concentración de astaxantina en comparación con organismos mantenidos bajo condiciones de 24 horas luz (15 vs 24 mg kg⁻¹). Yamada *et al.* (1990) encuentran una mayor concentración de carotenoides totales en juveniles de *P. japonicus* alimentados con una dieta suplementada con astaxantina que con una suplementada con β -carotenos y cantaxantina. Boonyaratpalin *et al.* (2001) observan una mayor deposición de pigmentos en juveniles de *P. monodon* alimentados con una dieta suplementada con *Dunaliella salina* como fuente de β -carotenos que con una dieta suplementada con astaxantina sintética.

Por otro lado, se ha reportado que existe un nivel máximo de pigmentación en tejido (saturación), el cual se alcanza al cabo de cierto periodo de exposición (Tabla 3). Para *P. japonicus* este periodo varia de cuatro a ocho semanas si se alimentan con dietas suplementadas con astaxantina, β -carotenos y harina de alga (Yamada *et al.*, 1990; Chien y Jeng, 1992). Para *P. semiculcatus* se reporta una máxima acumulación después de 60 días con una dieta suplementada con extractos flor de cempasúchil, papikra y astaxantina sintética.

Tabla 3 Estudios en los que se evaluó la eficiencia de pigmentación en diversas especies de crustáceos

Especie	Talla inicial (g)	Nivel pigmento dieta (ppm)	Valor relativo de pigmentación con respecto al control (%)	Tejido analizado	Condiciones de cultivo	Ref.
<i>M. japonicus</i>	3.7 (g)	200 AS	68	Animal completo*	20-25°C, 28 días	1
	6.0 (g)	500 AS	560	Carne	0L/24°, 20-25°C, 28 días	2
	8.4 mg	60 AS	141	Animal completo	12L/12°, 21°C 28 días	3
<i>P. monodon</i>	> 3.3 (g)	50 AS	275	Carne	Luz, 30°C, 28 días	4
	4.3 mg	80 AS	27	Animal completo	0L/24°, 26°C, 28 días	5
	10-12 g	125 EβCE 200 EβCE 300 EβCE	138 125 212	Animal completo	29.5°C, 42 días	6
<i>L. vannamei</i>	10.5 g	200 AS	35	Carne*	28°C, 33 mg L ⁻¹ 35 días	7
	6.0 g	200 CT ESP (85 trans-C)	16	Carne*	28°C, 35 g L ⁻¹ 28 días	8
		250 CT ESP (106 trans-C)	74			
200 CT ESP (80 trans-C) 100 AS		5 86				
<i>P. semisulcatus</i>	11 g	100 CT EP	55	Carne *	No indicado 60 días	9
		100 AS	61			
<i>Cherax quadricarinatus</i>	39 g	46 βC sintéticos	66	Carne	12L/12, 28°C, 3 gr L ⁻¹ , 120 días	10

1. Yamada *et al.*, 1990; 2. Chien y Jeng, 1992; 3. Petit *et al.*, 1998; 4. Menasveta *et al.*, 1993; 5. Pan *et al.* 2001; 6. Supamattaya *et al.*, 2005, 7. Arredondo-Figueroa *et al.*, 1999; 8. Arredondo-Figueroa *et al.*, 2003; 9. Gocer *et al.*, 2006; 10. Flores-Sánchez y Liñán-Cabello, 2003

*libre de vísceras; AS astaxantina, CT carotenoides totales, ESP extracto esterificado de papikra, EP extracto de papikra, ESP extracto saponificado de papikra, βC β-caroteno, EβCE extracto de β-caroteno; trans-C trans-capsantina.

Nota: El valor relativo de pigmentación con respecto al control fue calculado de la siguiente manera: [(concentración de carotenoides totales al final del experimento en camarones alimentados con la dieta con pigmentos – la concentración de carotenoides totales al final del experimento en camarones alimentados con la dieta sin pigmentos o control/ la concentración de carotenoides totales al final del experimento en camarones alimentados con la dieta sin pigmentos o control)]*100

VI. Tipos de Pigmentos Empleados en Alimentos para Camarón

Las diferentes fuentes de pigmentos empleados en alimentos para organismos acuáticos pueden ser de origen sintético y de origen natural. Dentro de los pigmentos sintéticos tenemos

principalmente al Carophyll red 10% (cantaxantina sintética) y Carophyll pink 8% (astaxantina sintética). Como pigmentos de origen natural se han empleado diversas fuentes tales como harinas de crustáceos, levaduras, microalgas, macroalgas y vegetales (Tabla 4).

Tabla 4. Fuentes de pigmentos de origen natural empleados en alimentos acuícolas

Fuente	Tipo de pigmento	Referencia
Levaduras		
<i>Phaffia rhodozyma</i>	Astaxantina	Sanderson y Jolly, 1994
Vegetales		
Flor de Aragon o gota de sangre <i>Adonis aestivalis</i>	Astaxantina	Kamata <i>et al.</i> , 1990
Chile rojo o paprika <i>Capsicum annuum</i>	Capsantina, zeaxantina, β -carotenos, capsorubina y β -criptosantina	Arredondo-Figueroa <i>et al.</i> , 2003; Ponce-Palafox <i>et al.</i> , 2006
Flor de cempasúchil <i>Tagetes erecta</i>	Luteína, β -carotenos, zeaxantina y β -criptosantina	Hadden <i>et al.</i> , 1999; Pérez-Vendrell <i>et al.</i> , 2001; Martínez-Córdova <i>et al.</i> , 2002; Bosma <i>et al.</i> , 2003; Göcer <i>et al.</i> , 2006; Cruz-Suárez <i>et al.</i> , datos sin publicar
Microalgas		
Espirulina	Luteína	Liao <i>et al.</i> , 1993; Regunathan y Wesley, 2006
<i>Dunaliella salina</i>	Capsantina y zeaxantina	Chien y Jeng, 1992; Supamattaya <i>et al.</i> , 2005
<i>Chlorella vulgaris</i>	Cantaxantina y astaxantina	Gouveia y Rema, 2005; Gouveia <i>et al.</i> , 2002
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Cantaxantina y astaxantina	Mendes-Pinto <i>et al.</i> , 2004
Macroalgas		
<i>Macrocystis</i>	Fucoxantina, xantofilas, β -carotenos	Cruz-Suárez <i>et al.</i> 2008a
<i>Ascophyllum</i>	Fucoxantina, xantofilas, β -carotenos	Cruz-Suárez <i>et al.</i> 2008a
Enteromorfa <i>Ulva clathrata</i>	Luteína, β -carotenos	Cruz-Suárez <i>et al.</i> 2008a,b
<i>Chnoospora minima</i>	Fucoxantina, β -carotenos	Menasveta <i>et al.</i> , 1993
Harinas de crustáceos		
Krill	Astaxantina	Choubert y Luquet, 1983

VII. Flor de Cempasúchil *Tagetes erecta*

La palabra Cempasúchil (*Tagetes erecta* y *T. patula*) procede del náhuatl y significa “veinte hojas” o veinte flores”; se distribuye desde México hasta centro América. En nuestro país se localizan 32

especies de las 55 especies conocidas. A nivel internacional es cultivada en China, Perú y la India como fuente de pigmentos. A través de modificaciones genéticas se han logrado obtener flores con mayor densidad y mayor cantidad de pigmentos.

Los pigmentos provenientes de la flor de cempasúchil son obtenidos por un proceso de secado, deshidratación y molienda de la flor; posteriormente se realiza una extracción (con solventes) y se obtiene una oleorresina (carotenoides esterificados con ácidos grasos mirístico y palmítico), dando esta mezcla un rendimiento de 70,000 a 120,000 mg kg⁻¹ de xantofilas (Delgado, 1997).

El producto obtenido es saponificado (hidrólisis alcalina, usando hidróxido de sodio a 90°C) dejando las xantofilas en su forma libre (Cuca *et al.*, 1996; Delgado, 1997). El producto terminado tiene alrededor de 80 a 93% luteína, 5-10% de zeaxantina y de 5 a 15% de carotenoides como violaxantina y criptosantina (Fletcher *et al.*, 1986; Ávila *et al.*, 1990; Hadden *et al.*, 1999; Pérez-Vendrell *et al.*, 2001; Bosma *et al.*, 2003). El pigmento de la oleorresina puede ser purificado y mezclado con aceite vegetal, silicato de calcio y gelatina, etc., lo que da como resultado un producto con condiciones adecuadas para ser utilizado en la industria de los alimentos como aditivo pigmentante en la elaboración de mantequillas, margarinas, pastas, aceites vegetales, productos lácteos, galletas, panificación, jugos, etc.

7.1. Uso de flor de cempasúchil como fuente de pigmentos en camarón

La inclusión de extractos de flor de cempasúchil ha sido empleada por la industria pecuaria como fuente de pigmentos para intensificar la coloración de la carne; en alimentos para camarón se ha evaluado la inclusión de pigmentos provenientes de la flor de cempasúchil con diferentes concentraciones de carotenoides, diferente distribución relativa de pigmentos, diferentes estados químicos (esterificados o saponificados) y diferentes grados de inclusión (Tabla 5).

Tabla 5. Estudios en camarón empleando flor de cempasúchil *Tagetes erecta* como fuentes de pigmentos

Especie	Nivel de inclusión (mg kg ⁻¹ carotenoides totales)	Pigmento predominante	Fuente
<i>Cherax quadricarinatus</i>	46	β-carotenos	Flores-Sánchez y Liñán-Cabello, 2003
<i>L. stylirostris</i>	118	75% luteína y zeaxantina	Cruz-Suárez <i>et al.</i> , 1998a
	81	75% zeaxantina	Cruz-Suárez <i>et al.</i> , 1998b
<i>P. semisulcatus</i>	100	No indicado	Göcer <i>et al.</i> , 2006
<i>L. vannamei</i>	81	75% zeaxantina	Cruz-Suárez <i>et al.</i> , 1998b
	278 a 350	77% de carotenoides totales donde el 73% fue luteína	Vernon-Carter <i>et al.</i> , 1996
	200 a 260	24.8% de carotenoides totales donde el 23% fue luteína	Vernon-Carter <i>et al.</i> , 1996
	50 a 350	No indicado	Arredondo-Figueroa <i>et al.</i> , 1999
	59-138	Xantofilas	Martínez-Córdova <i>et al.</i> , 2002
	100	44% Luteína saponificada 22% Zeaxantina saponificada 50% Zeaxantina esterificada	Cruz-Suárez <i>et al.</i> , datos sin publicar

7.2. Concentración de pigmentos en crustáceos alimentados con dietas suplementadas con extractos de flor de compasúchil.

La concentración de pigmentos encontrados en camarones alimentados con dietas suplementadas con pigmentos de flor de compasúchil, se encuentran dentro de los rangos reportados para camarones alimentados con otras fuentes de pigmentos. (Tabla 6).

Tabla 6. Contenido de pigmentos en organismos alimentados con dietas suplementadas con pigmentos provenientes de flor de compasúchil

Especie	Tipo de tejido	Contenido de carotenoides totales (mg kg ⁻¹)*	Referencia
<i>Cherax quadricarinatus</i>	Músculo	36-114	Flores-Sánchez y Liñán-Cabello, 2003
<i>P. semisulcatus</i>	Músculo	13 a 22	Göcer et al., 2006
<i>L. vannamei</i>	Camarón completo	18-63	Cruz-Suárez et al., 1988b
		5-18	Cruz-Suárez et al., 2008b
		10-38	Cruz-Suárez et al., datos sin publicar
	Músculo	8-113	Vernon-Carter et al., 1996
		12-17**	Arredondo-Figueroa et al., 1999
12-21		Martínez-Córdoba et al., 2002	
9-16		Arredondo-Figueroa et al., 2003	
Caparazón	71-113	Vernon-Carter et al., 1996	
	38-111	Arredondo-Figueroa et al., 1999	
	42-108	Arredondo-Figueroa et al., 2003	
	72-95**	Martínez-Córdoba et al., 2002	
	Cefalotórax	36-73**	Martínez-Córdoba et al., 2002
<i>L. stylirostris</i>	Camarón completo	17-31	Cruz-Suárez et al., 1988a
		24-52	Cruz-Suárez et al., 1988b

* Los niveles menores corresponden a valores en tejido de camarón alimentados con la dieta basal; ** valores exclusivamente de astaxantina

7.3. Beneficios de la inclusión de pigmentos de flor de cempasúchil sobre el rendimiento de camarón.

Diversos estudios reportan un beneficio (bajo condiciones de laboratorio o de cultivo) sobre el crecimiento y sobrevivencia de camarones alimentados con dietas suplementadas con pigmentos provenientes de flor de cempasúchil (Tabla 7). Vernon-Carter *et al.* (1996) y Arredondo-Figueroa *et al.* (1999) encuentra un mejor crecimiento y/o sobrevivencia en camarones alimentados con un extracto saponificado de flor de cempasúchil rico en luteína. Martínez-Córdoba *et al.* (2002) observan una mayor sobrevivencia en camarones *L. vannamei* alimentados con dietas suplementadas con extractos de *Tagetes erecta* ricos en xantofilas en etapas larvarias, juveniles, pre-adultos y bajo condiciones de cultivo comercial.

Tabla 7. Estudios en donde se ha reportado un efecto positivo sobre el crecimiento y sobrevivencia en camarón blanco *L. vannamei* alimentados con dietas suplementadas con pigmentos provenientes de flor de cempasúchil.

Parámetro mejorado	Nivel de inclusión en dieta mg kg ⁻¹	Referencia
Ganancia en peso	200 astaxantina	Arredondo-Figueroa <i>et al.</i> , 1999
Ganancia en peso	260 CT provenientes de EEFC	Vernon-Carter <i>et al.</i> , 1996
Ganancia en peso	278 a 348 CT provenientes de EEFC	Vernon-Carter <i>et al.</i> , 1996
Ganancia en peso Sobrevivencia	200 y 350 CT provenientes de ESFC	Arredondo-Figueroa <i>et al.</i> , 1999
Ganancia en peso y sobrevivencia	59 a 138 xantofilas provenientes de FC	Martínez-Córdoba <i>et al.</i> 2002
Ganancia en peso Sobrevivencia	200 a 250 CT provenientes de EEP y ESP	Arredondo-Figueroa <i>et al.</i> , 2003

TC carotenoides totales; EEFC extractos esterificados de flor de cempasúchil; ESFC extractos saponificados de flor de cempasúchil

7.4. Valor relativo de pigmentación en camarones alimentados con dietas suplementadas con pigmentos de Flor de cempasúchil.

El tiempo requerido para alcanzar la máxima deposición de pigmentos varia de dependiendo de la concentración de pigmento empleada, especie, nivel de concentración, etc. (Tabla 8). Para el caso abdomen de *L. vannamei* el tiempo en el cual se alcanza la máxima deposición varía entre 14 a 60 días, de 35 a 60 días para exoesqueleto y de 30-60 días para cefalotórax.

Tabla 8. Tiempo requerido para una máxima deposición de pigmentos en tejido de camarón alimentado con diversas fuentes de pigmentos provenientes de flor de cempasúchil.

Especie	Tejido	Concentración y tipo de pigmento utilizado (mg kg ⁻¹)	Tiempo de máxima deposición (días)	Referencia
<i>L. vannamei</i>	Abdomen	61 Zeaxantina	21-28	Cruz-Suárez et al., 1998b; Arredondo-Figueroa et al., 1999
		45-180 Luteína		
		206-259 Luteína esterificada	14	Vernon-Carter et al., 1996; Arredondo-Figueroa et al., 2003
		59-105 xantofilas	30-60	Martínez-Córdova et al., 2002
	Cefalotórax	59-105 xantofilas	30-60	Martínez-Córdova et al., 2002
	Exoesqueleto	45-180 Luteína	35	Arredondo-Figueroa et al., 1999
		59-105 xantofilas	30-60	Martínez-Córdova et al., 2002
<i>L. stylirostris</i>	Cuerpo completo	61 Zeaxantina	21	Cruz-Suárez et al., 1998b
<i>P. semiculcatus</i>	Músculo sin vísceras	100 carotenoides totales	60	Göcer et al., 2006

El valor relativo de pigmentación en camarón cuando se emplea pigmentos de flor de cempasúchil es variable (Tabla 9). Los valores relativos de pigmentación con respecto al control varían entre 6 hasta un 273% para el caso de *L. vannamei*, de 44% para *P. semisulcatus*, de 82 a 117% para *L. stylirostris* y 216% para *Cherax quadricarinatus*.

Comparando el valor relativo de pigmentación de flor de cempasúchil con otras fuentes de pigmentos observamos que estos valores se encuentran dentro de los rangos observados cuando se emplearon fuentes de origen sintético o natural. Para el caso de *L. vannamei*, el valor relativo de pigmentación es mejor cuando se emplean pigmentos de flor de cempasúchil que cuando se utilizó astaxantina sintética (35-86 % vs 6-273%). Sin embargo, cuando se compara el valor relativo de pigmentación y los pigmentos predominantes en el extracto se observa una mayor pigmentación cuando el pigmento predominante es la zeaxantina (117-273%) que cuando es luteína (6 – 162%), indicando una mayor facilidad por parte del camarón para depositar ciertos pigmentos. Por otro lado, se reporta una mejor deposición de pigmentos cuando los pigmentos se encuentran esterificados (Latscha, 1990; Arredondo-Figueroa *et al.*, 2003). Cruz-Suárez *et al.* (datos sin publicar) observan un valor relativo de pigmentación mayor con respecto al control cuando se empleo un extracto de flor de *Tagetes erecta* esterificado rico en β -caroteno y zeaxantina que cuando se utilizaron extractos saponificados ricos en β -caroteno y zeaxantina o luteína (273 vs 265 y 162 % respectivamente).

Tabla 9. Estudios en los que se evaluó el valor relativo de pigmentación en diversas especies de crustáceos y empleando pigmentos provenientes de flor de cempasúchil

Especie	Talla inicial (g)	Nivel pigmento dieta (ppm)	Valor relativo de pigmentación con respecto al control (%)	Tejido analizado	Condiciones de cultivo	Ref.
<i>L. vannamei</i>	5.6 g	278 CT EEFC (206 L)	6	Carne	28°C, 28 días	1
		348 CT EEFC (259 L)	6			
		260 CT ESFC (238 L)	6			
	10.5 g	50 CT ESFC (45 L)	11	Carne*	28°C, 33 mg L ⁻¹ 35 días	2
		100 CT ESFC (90 L)	27			
		200 CT ESFC (181 L)	34			
		350 CT ESFC (317 L)	41			
	5.3 g	81 CT (61 ZEA)	250	Animal completo	28°C, 36 gr L ⁻¹ 28 días	3
	2.5	59-105 Xan	50	Abdomen	No indicado	4
			36	Cefalotórax		
Pre-adultos	59-105 Xan	32	Caparazón	No indicado	4	
		50	Abdomen			
		38	Cefalotórax			
0.51 g	100 CT (44 L) 100 CT (26 βC y 11 ZEA) CT (24 βC y 35 ZEA)	45	Caparazón	28°C, 36 gr L ⁻¹ 28 días	5	
		162	Animal completo			
		265				
		273				
<i>P. semisulcatus</i>	11 g	100 CT EEFC	44	Carne *	No indicado 60 días	6
<i>L. stylirostris</i>	5.1 g	81 CT (61 ZEA)	117	Animal completo	28°C, 36 gr L ⁻¹ 28 días	3
	1.9 g	118 CT (86 L & ZEA)	82	Animal completo	27°C, 28 días	7
<i>Cherax quadricarinatus</i>	39 g	46 βC FC	216	Carne	12L/12, 28°C, 3 gr L ⁻¹ , 120 días	8

1 Vernon-Carter *et al.*, 1996; 2 Arredondo-Figueroa *et al.*, 1999; 3 Cruz-Suárez *et al.*, 1998b; 4 Martínez-Córdova *et al.*, 2002; 5 Cruz-Suárez *et al.*, datos sin publicar; 6 Gocer *et al.*, 2006; 7 Cruz-Suárez *et al.*, 1998a; 8 Flores-Sánchez y Liñán-Cabello, 2003

*libre de vísceras; CT carotenoides totales, EEFC extracto esterificado de flor de cempasúchil, ESFC extracto saponificado de flor de cempasúchil, L luteína, ZEA zeaxantina, βC β-caroteno, Xan xantofilas

Como ya se había mencionado anteriormente, la manera en que los pigmentos dietarios se depositan: en forma de astaxantina esterificada o libre, está afectada por un sin número de

factores intrínsecos y extrínsecos. Cruz-Suárez et al. (datos sin publicar) observan que el suministro de extractos de flor de cempasúchil ricos en luteína, β -caroteno y zeaxantina saponificada o β -caroteno y zeaxantina esterificada a juveniles de *L. vannamei* bajo condiciones controladas de laboratorio, da como resultado una proporción de astaxantina libre/esterificada de 100/0, 87/13, 80/20 y 72/28% respectivamente. Sin embargo, cuando estas dietas experimentales fueron evaluadas bajo condiciones comerciales la relación de astaxantina libre/esterificada a los 12 días de cultivo fue de 54/46, 52/48, 49/51 y 42/58% respectivamente, y a los 19 días de alimentación fue de 50/50, 57/43, 48/52 y 58/42%; confirmándose las diferentes formas de deposición dependiendo de las condiciones de cultivo.

Conclusiones

La adición de una fuente de carotenoides en la dieta del camarón puede llegar a mejorar la tasa de crecimiento y sobrevivencia, además de mejorar la coloración del camarón, lo cual le da un valor agregado al producto. La utilización de pigmentos provenientes de la flor de cempasúchil *Tagetes erecta* produce los mismos efectos que otras fuentes de pigmentos, siendo una fuente alternativa de pigmentos para camarón; sin embargo, su eficiencia de deposición es afectada por las características del extracto utilizado, pigmento predominante, condiciones de cultivo, especie, etc.

Referencias

- Arredondo-Figueroa, J.L., Vernon-Carter, E.J., Ponce-Palafox, J.T., 1999. Dose response to unesterified Aztec marigold (*Tagetes erecta*) pigments of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed various dietary concentrations of carotenoids. *Crustacean* 12, 481-487.
- Arredondo-Figueroa, J.L., Pedroza-Islas, R., Ponce-Palafox, J.T., Vernon-Carter, E.J., 2003. Pigmentation of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*, BOONE, 1931) with esterified and saponified carotenoids from red chile (*Capsicum annuum*) in comparison to astaxanthin. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 2, 101-108.
- Avila, E.G. 1990. Anabólicos y Aditivos en la Producción Pecuaria. *Sistemas de Educación Continua en Producción Animal en México*. A.C.
- Boonyaratpalin, M., Thongrod, S., Supamattaya, K., Britton, G., Schlipalius, L. E. 2001. Effects of β -carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*. *Aquaculture Research* 32(1), 182-190.
- Bosma, T. L., Dole, J. M., Maness, N. O. 2003. Optimizing marigold (*Tagetes erecta* L.) petal and pigment yield, *Crop Sci.* 43, 2118-2124.
- Carreto, J.I. and Carignan, M.O., 1984. Pigmentos carotenoides del camarón *Artemesia longinaris* Bate (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Revista del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)*, Mar del Plata 4, 5-20.
- Chien, Y.M., Jeng, S.C., 1992. Pigmentation of kuruma prawn, *Penaeus japonicus* Bate, by various pigment sources and levels of feeding regimes. *Aquaculture* 102, 333-346.
- Choubert Jr. G., Luquet, P. 1983. Utilization of shrimp meal for rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) pigmentation. Influence of fat content of the diet. *Aquaculture* 32(1-2), 19-26.
- Cruz-Suárez, L.E., Scholz, U., Ricque, D., Torres-Cardona, M., 1998a. The effect of dietary carotenoid pigment inclusion in terms of growth, survival, feeds conversion and pigment concentration on *Penaeus stylirostris* juveniles. Included in the book of abstracts of IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, La Paz Baja California Sur, México, 15-18 November.
- Cruz-Suárez, L. E., León, A. A., Peña-Rodríguez, A., Rodríguez-Peña, G., Moll, B. 2008. Shrimp and green algae co-culture to optimize commercial feed utilization. XIII International Symposium on Fish Nutrition and Feeding. June 1-5, 2008, Florianópolis, Brazil. pp 62.
- Cruz-Suárez, L.E., Peña, L.O., Scholz, U., Ricque, D., Torres-Cardona, M., 1998b. Incorporation and conversion of a commercial dietary carotenoid pigment by *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* juveniles. Included in the book of abstracts of IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, La Paz Baja California Sur, México, 15-18 November.
- Cruz-Suárez, L.E., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Guajardo-Barbosa, C., Ricque-Marie, D. 2008a. Comparison of *Ulva clathrata* and the kelps *Macrocystis pyrifera* and *Ascophyllum nodosum* as ingredients in shrimp feeds. *Aquaculture Nutrition* 10.1111/j.1365-2095.2008.00607.x About DOI.
- Cuca G.M., Avila, E., Pro M.A. 1996. Alimentación de las aves. UACH. Chapingo, México. 104 p.

- Delgado, V.G., 1997. Pigmentos de flor de cempasuchil (*Tagetes erecta*). Caracterización físico química, procesamiento y eficiencia pigmentante (Tesis doctoral). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Irapuato, Guanajuato.
- Fletcher, D. L., 1986. Poultry pigmentation research: An update on source of variation. Proc. Georgia Nutrition Conf., Atlanta, GA, pp. 93-97.
- Flores-Sanchez, L. A., Liñan-Cabello, M. A. 2003. El empleo de zeaxantina como aditivo nutricional en la maduración gonadal de *Cherax quadricarinatus*. X Congreso Latinoamericano de Ciencias Marinas. San José, Costa Rica, 22 al 26 de septiembre de 2003.
- Flores, M., Diaz, F., Medina, R., Re, A.D., Licea, A., 2007. Physiological, metabolic and haematological responses in white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles fed diets supplemented with astaxanthin acclimated to low-salinity water.
- Göçer, M., Yanar, M., Kumlu, M., Yanar, Y., 2006. The effects of red pepper, marigold flower, and synthetic astaxanthin on pigmentation, growth, and proximate composition of *Penaeus semisulcatus*. Turk. J. Vet. Anim. Sci. 30, 359-365.
- Gouveia, L., Choubert, G., Gomes, E., Pereira, N., Santinha, J., Empis, J., 2002. Pigmentation of gilthead sea bream, *Sparus aurata* (L.1875), using *Chlorella vulgaris* (*Chlorophyta, volvocales*) microalga. Aquacult. Res. 33, 987-993.
- Gouveia, L., Rema, P., 2005. Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. Aquaculture Nutrition 11, 19-23.
- Hadden, W.L., Watkins, R.H., Levy, L.W., Regalado, E., Rivadeneira, D.M., Van Breemen, R.B., Schwartz, S.J., 1999. Carotenoid composition of marigold (*Tagetes erecta*) flower extract used as nutritional supplement. J. Agric. Food Chem. 47, 4189-4194.
- Hertrampf, J.W., Piedad-Pascual, F., 2000. Feed carotenoids. In Handbook on ingredients for aquaculture feeds. Kluwer Academia Publishers. 142-154 pp.
- Howell, B K., Matthews, A D., 1991. The carotenoids of wild and blue disease affected farmed tiger shrimp (*Penaeus monodon*, Fabricus). Comp-Biochem-Physiol-B. 98(2-3), 375-379.
- Kamata, T., Tanaka, Y., Yamada, S., Simpson, K.L., 1990. Study of carotenoid composition and fatty acids of astaxanthin diester in rainbow trout *Salmo gairdneri* fed the Adonis extract. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 56(5), 789-794.
- Katayama T., Kitama, T., Chichester, C.O., 1972a. The biosynthesis of astaxanthin in the prawn, *Penaeus japonicus* Bate (Part II). Int. J. Biochem. 3, 363-368.
- Katayama T., Kamata, T., Shimaya, M., Deshimaru, O., Chichester, C.O., 1972b. The biosynthesis of astaxanthin-VIII. The conversion of labeled beta-carotene-15, 15-3H2 into astaxanthin in prawn *Penaeus japonicus* Bate. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 38(10), 1171-1175.
- Kiessling, A., Olsen, R.E., Buttle, L., 2003. Given the same dietary carotenoid inclusion, Atlantic salmon, *Salmo salar* (L.) display higher blood levels of canthaxanthin than astaxanthin. Aquaculture Nutrition 9, 253-261.

- Latscha, T., 1989. The role of astaxanthin in shrimp pigmentation. In: Advances in tropical aquaculture. Tahiti Feb 20 - March 4 1989, AQUACOP IFREMER. Actes de Colloque 9, 319-325.
- Latscha, T., 1990. Carotenoids in animal nutrition: their nature and significance in animal feeds. Roche publication No. 2175. F. Homann-La Roche, Animal Nutrition and Health, Basel, Switzerland.
- Latscha, T., 1991. Carotenoids in aquatic animal nutrition. Proceeding of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop, Bangkok, Thailand, Sep. 19–25 1991, pp. 68– 78.
- Liao, W.L., Nur-E-Borhan , S.A., Okada, S., Matsui T., Yamagushi, K., 1993. Pigmentation of cultured black tiger prawn by feeding with Spirulina supplemented diet. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 59, 165-169.
- Liñán-Cabello, M.A., Paniagua-Michel, J., Hopkins, P.M., 2002. Bioactive roles of carotenoids and retinoids in crustaceans. Aquacult. Nutr. 8, 299–309.
- Liñán-Cabello, M.A., Paniagua-Michel, J., 2004. Induction factors derived from carotenoids and vitamin A during the ovarian maturation of *Litopenaeus vannamei*. Aquac. Int. 12, 583–592.
- Martínez-Córdova, L. R., Ezquerro-Brauer, M., Bringas-Alvarado, L., Aguirre-Hinojosa, E., Garza-Aguirre, MdelC. 2002. Optimización de alimentos y prácticas de alimentación en el cultivo de camarón en el Noroeste de México. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., García-Flores, A., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.
- Menasveta, P, Worawattanamateekul, W., Latscha, T., Clark, J.S., 1993. Correction of black tiger prawn (*Penaeus monodon* Fabricius) coloration by astaxanthin. Aquaculture Engineering 12, 203-213.
- Mendes-Pinto, M.M., Choubert, G., Morais, R., 2004. Effect of dietary bile extracts on serum response of astaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): a preliminary study. Aquaculture Nutrition 10, 353–357
- Meyers, S.P., 1994. Developments in World Aquaculture, feed formulations and role of carotenoids. Pure and applied Chemistry 66(5), 1069-1076.
- Meyers, S.F., Latscha, L., 1997. Carotenoids. In: D’Abramo, L.R., Conklin, D.E. and Akiyama, D.M. (Eds), Crustacean Nutrition Advances in World Aquaculture, 164–193. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- Nègre-Sadargues, G., Castillo, R., Petit, H., Sonces, S., Martinez, R.G., Milicua, J.C.G., Choubert, G., Trilles, J.P., 1993. Utilization of synthetic carotenoids by the prawn *Penaeus japonicus* reared under laboratory conditions. Aquaculture 110, 151-159.
- Okada, S., Nur, E., Borhan, S.A., Watanabe, S., Yamaguchi, K., 1994. Pigmentation of culture black tiger prawn by feeding a Spirulina supplemented diet. In: Third International Marine Biotechnology Conference, (Anonymous, ed.), p.61. Tromsø, Norway.
- Otazu-Abrill, M., Martin, B. J., Ceccaldi, H.J., 1982. Influence of purified amino acids added to artificial diets on the metabolism of carotenoid pigments in *Palaemon serratus* (Crustacea, Decapoda), Aquaculture 28(3-4), 303-309.

- Pan, C.H., Chien, Y.H., Cheng, J.H., 2001. Effects of light regime, algae in the water and dietary astaxanthin on pigmentation, growth and survival of black tiger prawn *Penaeus monodon* post-larvae. *Zool. Stud.* 40, 371–382.
- Pan, C.H., Chien, Y.H., 2003. Concentration and Composition of Astaxanthin in Black tiger Prawn *Penaeus monodon* Postlarvae fed *Artemia* sp. Nauplii or *Mausia* Shrimp *Acetes intermedius*. *Journal of the World Aquaculture Society* 34, 57-65.
- Pérez-Vendrell, P.A., Hernandez, J.M., Llauro, L., Schierle, J., Brufau, J. 2001. Influence of source and ratio of xanthophyll pigments on broiler chicken pigmentation and performance. *Poultry Science* 80, 320–326.
- Petit, H., Nègre-Sadargues, G., Castillo, R., Trilles, J.P., 1997. The effects of dietary astaxanthin on growth and moulting cycle of postlarval stages of prawn *Penaeus japonicus* (Crustacea, Decapoda). *Comp. Biochem. Physiol.* 117A, 539-544.
- Petit, H., Nègre-Sadargues, G., Castillo, R., Valin, S., Trilles, J.P., 1998. The effects of dietary astaxanthin on the carotenoids pattern of the prawn *Penaeus japonicus*, during postlarval development. *Comp. Biochem. Phys.* A. 119, 523-527.
- Ponce-Palafox, J.T., Arredondo-Figueroa, J.L., Vernon-Carter, E.J., 2006. Carotenoids from plants used in diets for the culture of the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 5(2), 157-165.
- Regunathan, C., Wesley, S.G., 2006. Pigment deficiency correction in shrimp broodstock using *Spirulina* as a carotenoid source. *Aquaculture Nutrition* 12, 425–432.
- Sachindra, N.M., Bhaskar, N., Mahendrakar, N.S. 2005 Carotenoids in different body components of Indian shrimps. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85(1), 167-172.
- Sanderson, G.W., Jolly, S.O., 1994. The value of *Phaffia* yeast as a feed ingredient for salmonid fish. *Aquaculture* 124, 193– 200.
- Supamattaya K., Kiriratnikom, S., Boonyaratpalin, M., Borowitzka, L., 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, Y., Matsuguchi, H., Katayama, T., Simpson, K.I., Chichester, C.O., 1976. The biosynthesis of astaxanthin-XVI. The carotenoids in crustacean. *Comp. Biochem. Phys. B.* 54, 391-393.
- Vernon-Carter, E.J., Ponce-Palafox, J.T., Pedroza-Islas, R., 1996. Pigmentation of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) using Aztec marigold (*Tagetes erecta*) extracts as the carotenoid source. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 46, 243-246.
- Wouters, R., Lavens, P., Nieto, J., Sorgeloos, P., 2001. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development. *Aquaculture* 202, 1–21.
- Yamada, S., Tanaka, Y., Sameshima, M., Ito, Y., 1990. Pigmentation of prawn (*Penaeus japonicus*) with carotenoids. I. Effect of dietary astaxanthin, beta-carotene and canthaxanthin on pigmentation. *Aquaculture* 87, 323-330.

Yanar, Y., Çelik M., Yanar, M. 2004. Seasonal changes in total carotenoid contents of wild marine shrimps (*Penaeus semisulcatus* and *Metapenaeus monoceros*) inhabiting the eastern Mediterranean. *Food Chemistry* 88(2), 267-269.