

Variación del color del cuerpo del camarón *Cryphiops caementarius* durante el ciclo de muda

Body color variation of *Cryphiops caementarius* prawn during the molting cycle

Shirley Terrones España¹, Walter Reyes-Avalos^{1*}

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la variación del color del cuerpo del camarón *Cryphiops caementarius* durante el ciclo de muda. Se utilizaron 87 camarones adultos (50 machos y 37 hembras) de 5.25 a 8.52 cm de longitud total, procedentes del río Pativilca (Perú). El estado del ciclo de muda se determinó por examen microscópico del borde interno del exopodito de los urópodos. El color del cuerpo del camarón fue evaluado en estado crudo y también después de la cocción en agua a 100 °C por 2 min. Se tomaron imágenes de todos los ejemplares. El análisis de las imágenes digitales se realizó en la zona dorsal y central del segundo segmento abdominal y en la zona dorsal y central del extremo posterior del cefalotórax. El modo de color RGB del programa Adobe Photoshop CS6 se utilizó para la evaluación digital del color del cuerpo. El color del cuerpo del camarón macho crudo es amarillento o marrón claro en la postmuda y marrón oscuro en la intermuda y premuda; y después de la cocción, es anaranjado en la postmuda y rojizo en la intermuda y premuda. El color del cuerpo del camarón hembra no varía durante el ciclo de muda; en el camarón crudo el tono de color es marrón claro en la postmuda y en algunos estados de la premuda; en cambio, después de la cocción el tono de color es

¹ Laboratorio de Acuicultura Ornamental, Departamento Académico de Biología, Microbiología y Biotecnología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional del Santa, Perú

* E-mail: wreyes@uns.edu.pe

Recibido: 5 de marzo de 2022

Aceptado para publicación: 29 de agosto de 2022

Publicado: 27 de octubre de 2022

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

anaranjado en todos los estados del ciclo de muda. La tonalidad oscura del color del cuerpo solo del camarón macho crudo fueron los que produjeron coloración rojiza más intensa después de la cocción. El color del cuerpo del camarón macho crudo y cocido varía con el ciclo de muda; en cambio, en la hembra, tanto crudo como cocido, es similar durante el ciclo de muda.

Palabras clave: astaxantina, carotenoides, cromatóforos, camarón de agua dulce, pigmentos naturales

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the body colour variation of the prawn *Cryphiops caementarius* during the moulting cycle. Eighty-seven adult prawns (50 males and 37 females) with a total length of 5.25 to 8.52 cm were obtained from the Pativilca River (Peru). The stage of the molt cycle was determined by microscopic examination of the inner edge of the uropod exopod. Prawn body colour was evaluated in the raw stage and also after cooking in water at 100 °C for 2 min. Images of all specimens were taken. The analysis of the digital images was performed in the dorsal and central area of the second abdominal segment and in the dorsal and central area of the posterior end of the cephalothorax. The RGB colour mode of the Adobe Photoshop CS6 program was used for the digital assessment of body colour. The body colour of the raw male prawn is yellowish or light brown in the post-moult and dark brown in the intermoult and pre-moult; and after cooking, it is orange in the post-moult and reddish in the intermoult and pre-moult. The body colour of the female prawn does not vary during the moulting cycle; in raw prawn the colour tone is light brown in the post-moult and in some stages of the pre-moult; on the other hand, after cooking, the colour tone is orange in all stages of the moulting cycle. The dark shade of the body colour only of the raw male prawn were the ones that produced the most intense reddish coloration after cooking. The body colour of raw and cooked male prawn varies with the moulting cycle; in contrast, in the female, both raw and cooked, it is similar during the moulting cycle.

Key words: astaxanthin, carotenoids, chromatophores, freshwater prawn, natural pigments

INTRODUCCIÓN

El color de peces, crustáceos y moluscos juega un papel fundamental en su calidad visual, siendo el rojo el más importante en acuicultura (Costa y Miranda-Filho, 2020). En los crustáceos, el cuerpo rojo después de la cocción es por los carotenoides (Santos-Sanchez *et al.*, 2021), pero estos no los sintetizan y deben ingerirlos con las dietas (Carvalho y Caramujo, 2017; Fuentes *et al.*, 2021) u obtenerlos de la productividad pri-

maria del ambiente natural o los que se generan en los estanques de cultivo (Quintana-López *et al.*, 2019).

Los crustáceos convierten el β -caroteno en astaxantina y lo acumulan en el integumento, el hepatopáncreas, el ovario y el exoesqueleto (Quintana-López *et al.*, 2019; Maoka, 2020). La astaxantina en los crustáceos existe en forma libre, esterificada con ácidos grasos y se combina con proteínas para formar las carotenoproteínas (Costa y Miranda-Filho, 2020), que amplían el rango de

colores a verde, azul o púrpura (Maoka, 2020). Sin embargo, el rojo anaranjado característico de la astaxantina se observa después del tratamiento térmico o con solventes (Santos-Sanchez *et al.*, 2021). Además, los pigmentos que dan color al cuerpo de los crustáceos se encuentran en los cromatóforos epidérmicos y en la capa pigmentada del exoesqueleto (Jittivadhna *et al.*, 2010), cuya dispersión dependen de las hormonas del pedúnculo ocular, del tejido nervioso extra peduncular (Katayama *et al.*, 2013) y muchas veces del color del sustrato (Aréchiga-Palomera *et al.*, 2018).

Los genes de crustacianina localizados en la capa externa de la hipodermis regulan la mayor diversidad de colores observados en los crustáceos malacostráceos (Wade *et al.*, 2012). Los carotenoides en los crustáceos son antioxidantes, potenciadores inmunológicos, contribuyen con la reproducción (Maoka, 2020), protegen contra los rayos UV, participan en las señales y en la resistencia al estrés termal (Tizkar *et al.*, 2014; Stevens, 2016; Bernal *et al.*, 2017). En cambio, la decoloración del cuerpo de los crustáceos es un signo de enfermedad (Pillai y Bonami, 2012).

La muda en todo crustáceo afecta la reproducción, el crecimiento, el comportamiento y la composición de nutrientes (Lemos y Weissman, 2021). En algunos crustáceos, el patrón del color del cuerpo no varía durante el ciclo de muda, como en *Rhynchocinetes typus* (Gallardo-Escárate *et al.*, 2007). Sin embargo, el color de la hipodermis en *Carcinus maenas* es intenso en la intermuda y premuda debido al incremento de carotenoides (McGaw *et al.*, 1992; Lee y Vespoli, 2015; Stevens, 2016). Asimismo, en *Panulirus homarus*, la concentración de carotenoides en el exoesqueleto, el hepatopáncreas y el músculo es más alta en la intermuda y la premuda, pero es baja en la

postmuda (Asha, 2003), en tanto que en el camarón adulto *Cryphiops caementarius* Molina, 1782, no está claro si el color del cuerpo varía con el ciclo de muda, aunque observaciones previas parecen indicar dicha relación. Se sabe que hay pérdida del color del cuerpo por la ablación de ambos pedúnculos oculares (Reyes-Avalos *et al.*, 2010), por la regeneración de quelípodos (Reyes *et al.*, 2017) y debido a deficiencias de carotenoides en la dieta artificial, pero puede suplirse con pigmentos naturales (Reyes-Avalos, 2016; Fuentes *et al.*, 2021).

El color del cuerpo de *C. caementarius* adulto es verde-amarillento con manchas marrón-amarillento en el torso (Moscoso, 2012), también es café-verdoso oscuro, en la porción anterior como posterior, pero es más clara en las regiones laterales (Meruane *et al.*, 2006). Esta variación en el color del cuerpo se observa en camarones de las capturas comerciales y no se conoce si difiere entre sexos. Además, el color proporciona estándares de calidad para la comercialización, el precio y la demanda del consumidor (Lim *et al.*, 2018), la que se establece al hervir camarones y observar el cambio de color del cuerpo (Angell *et al.*, 2018).

El camarón *C. caementarius* tiene importancia económica (Pinazo *et al.*, 2021), dado a que abunda en los ríos de la costa sur del Perú (Wasiw y Yépez, 2015). La extracción de esta especie alcanzó en 2019 las 1122 t (PRODUCE, 2020) que permitió atender la demanda en la gastronomía peruana. Actualmente, hay interés por el cultivo comercial de esta especie de camarón, por lo que conocer las causas de la variación del color del cuerpo permitirá hacer un buen uso de los pigmentos naturales en la dieta para crecimiento y reproducción. Por consiguiente, el objetivo fue evaluar la variación del color del cuerpo del camarón *C. caementarius* durante el ciclo de muda.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta, Sexado y Biometría

Los camarones fueron colectados al azar de las capturas comerciales que se realizan en el río Pativilca (Lima, Perú) a la altura del Centro Poblado Huayto (10°39' S, 77°40' W), e inmediatamente se colocaron dentro de cajas térmicas conteniendo hielo triturado. El transporte terrestre hasta el laboratorio duró 4 h.

Los camarones fueron reconocidos con clave taxonómica (Méndez, 1981). El sexo se verificó por la presencia de un gonópodo en cada coxa del tercer (hembras) y quinto (machos) par de periópodos. Los camarones fueron pesados (4.10 a 18.28 g) en balanza digital (Adam AQT600 ± 0.1 g) y la longitud total (desde la escotadura postorbital hasta el extremo posterior del telson) fue medida (5.25 a 8.52 cm) con vernier digital (Truper ± 0.01 mm) con los animales posicionados ventralmente.

Estados de Muda y Procesado

Los estados de muda fueron determinados examinando el borde interno del exopodito de los urópodos, con microscopio óptico (Silva *et al.*, 2019). La consistencia del cefalotórax de camarones crudos fue evaluada al tacto, considerándose los siguientes grados: muy blando (flácido), blando, ligeramente duro y duro (rígido en todos sus lados). Los camarones machos (n = 50) y hembras (n = 37) fueron clasificados por estados de muda, siendo evaluados inicialmente en crudo y después hervidos en agua a 100 °C por 2 min (Wade *et al.*, 2012).

Sistema de Captura de Imágenes Digitales

El sistema de iluminación y fotografía consta de una caja de cartón (60 x 45 x 40 cm), cuyo interior fue forrada con cartulina negra y reforzada con un marco de madera.

En la parte superior de la caja, a una altura de 30 cm, se colocó una lámpara fluorescente (Phillips TL40W/54RS) en un ángulo de 70° con respecto a la superficie blanca opaca, sobre la que se colocó al camarón para obtener una intensidad luminosa de 1420 lux (Luxómetro Extech Light Meter ± 5%). Además, una cámara digital (Nikon 10X con resolución de 1600 x 1200 pixeles) se ubicó en el centro de la parte superior de la caja para capturar una imagen en color (JPEG) del camarón. Estas condiciones permanecieron sin cambio durante el proceso de recolección de datos.

Análisis de Imágenes Digitales

El análisis de la imagen digital del cuerpo del camarón se realizó en dos áreas (~2 mm²) donde el color es uniforme: 1) la zona dorsal y central del segundo segmento abdominal y 2) la zona dorsal y central del extremo posterior del cefalotórax. La imagen digital se analizó con el modo de color RGB (rojo, verde y azul, por sus siglas en inglés) del programa Adobe Photoshop CS6. El valor del RGB varía entre 0 y 255. El valor de 255 en RGB representa al blanco y el valor de 0 en RGB al negro. El color puro (rojo, verde o azul) es 255 para ese color en particular y 0 para los otros dos, así, 255-0-0 es rojo, 0-255-0 es verde y 0-0-255 es azul. Los valores del RGB se introdujeron en un convertidor de colores disponible en la web (<https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>), cuya combinación permitió asignar un tono de color del camarón.

Análisis Estadístico

Los datos del valor RGB de camarones en diferentes estados de muda se sometieron a la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad, y luego se realizó un análisis de varianza de una vía y se aplicó la prueba de Tukey (p<0.05). Los análisis estadísticos se efectuaron con el software SPSS v. 25 para Windows.

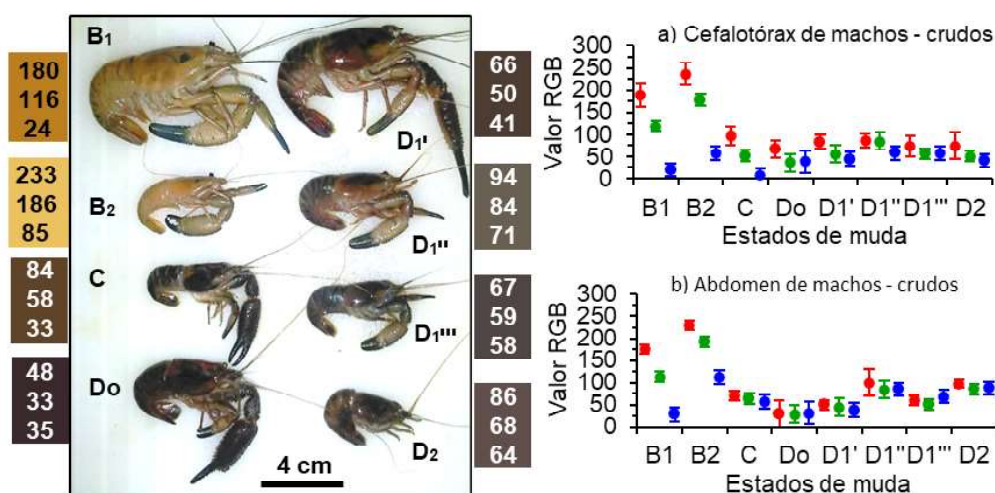


Figura 1. Izquierda: Color del cuerpo de *Cryphiops caementarius* machos crudos, según estados de muda. Los números de los rectángulos de colores son el RGB promedio entre el cefalotórax y abdomen. Derecha: Valor RGB (promedio \pm desviación estándar) del cefalotórax (a) y del abdomen (b)

RESULTADOS

Camarones Machos

En el camarón macho crudo (Figura 1), los valores RGB del cuerpo (cefalotórax y abdomen) en la postmuda B₁ fueron diferentes ($p < 0.05$) de aquellos en la postmuda B₂, siendo alta en el rojo (175 - 236), intermedio en el verde (113 - 193) y baja en el azul (19 - 112), donde la combinación de valores produjo un tono amarillento. En la intermuda, así como en la premuda (Do - D₂) los bajos valores del RGB fueron similares e indicaron un tono marrón oscuro (Figura 1a, b). En la postmuda, los valores del rojo y verde fueron más altos ($p < 0.05$) que en la intermuda y premuda. Los quelípodos fueron largos, gruesos y tuvieron los mismos colores que el del cuerpo, aunque el dactilo y el dedo fijo fueron azul. El cefalotórax de los camarones machos crudos fue de consistencia dura desde intermuda hasta la premuda D₂, en cambio, en la postmuda B₁ fue ligeramente blando y en B₂ ligeramente duro.

En el camarón macho, luego de la cocción (Figura 2), los valores RGB del cuerpo en la postmuda B₁ fueron diferentes ($p < 0.05$) a aquellos en la postmuda B₂, y solo el valor del rojo fue alto (196 - 252), en tanto que los valores del verde fueron bajos (75 - 127) y más aún el azul (9 - 19), lo que produjo un tono anaranjado. En cambio, en la intermuda y en la premuda (Do - D₂), el valor del rojo también fue alto ($p < 0.05$) y los valores del verde y azul (21 - 53) fueron bajos y similares ($p > 0.05$), lo que produjo un tono rojizo (Figura 2a, b).

Camarones Hembras

En el camarón hembra crudo (Figura 3), los valores RGB del cuerpo en la postmuda (A₂ - B₂) fueron intermedios en el rojo (62 - 139) y diferentes ($p < 0.05$) que el verde, que fue bajo (15 - 45) y muy bajo en el azul (6 - 23), lo que produjo un tono marrón claro. En la intermuda y en la premuda (Do - D₃) los valores RGB fueron bajos y similares, lo que produjeron un tono marrón oscuro, con ex-

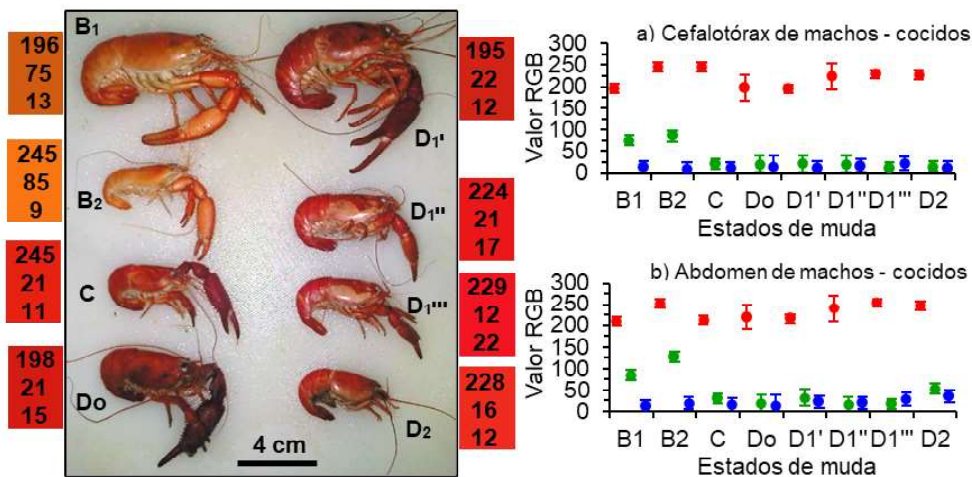


Figura 2. Izquierda: Color del cuerpo de *Cryphiops caementarius* machos después de la cocción, según estados de muda. Los números de los rectángulos de colores son el RGB promedio entre el cefalotórax y abdomen. Derecha: Valor RGB (promedio ± desviación estándar) del cefalotórax (a) y del abdomen (b)

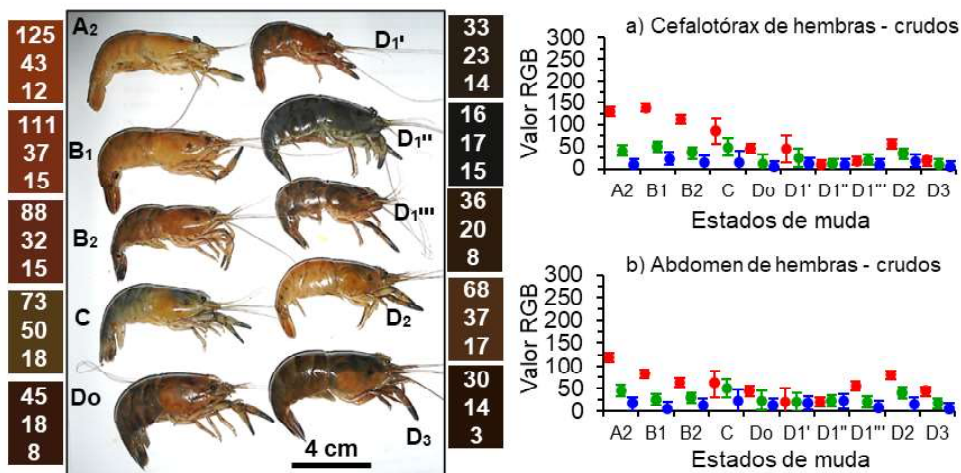


Figura 3. Izquierda: Color del cuerpo de *Cryphiops caementarius* hembras crudas, según estados de muda. Los números de los rectángulos de colores son el RGB promedio entre el cefalotórax y abdomen. Derecha: Valor RGB (promedio ± desviación estándar) del cefalotórax (a) y del abdomen (b)

cepción del subestado D_2 , cuyo RGB (68 - 37 - 17) produjo un tono marrón claro (Figura 3a, b). Los quelípodos fueron cortos, delgados y tuvieron los mismos colores que el del cuerpo, aunque el dactilo y el dedo fijo fueron azules. El cefalotórax de los camarones

crudos fue de consistencia dura desde intermuda hasta la premuda D_2 y en D_3 fue ligeramente blando, mientras que en postmuda A_2 fue blando, en B_1 fue ligeramente blando y en B_2 ligeramente duro.

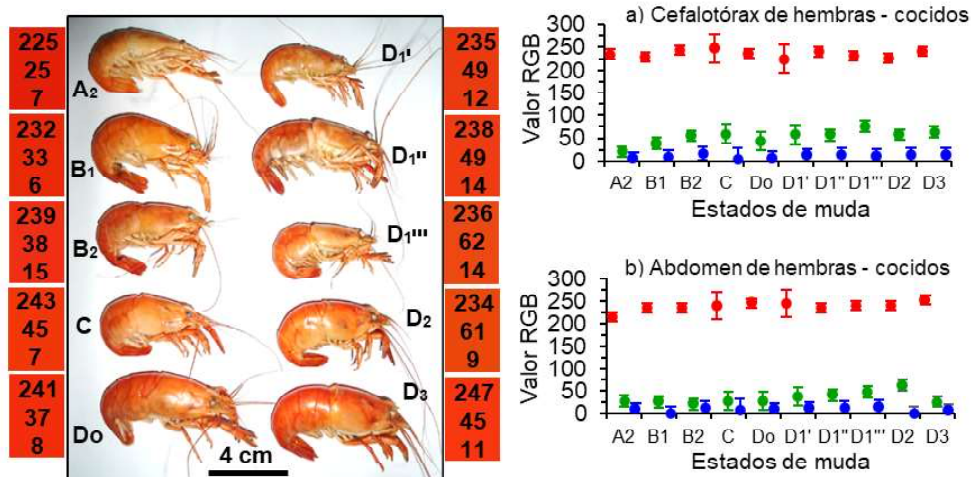


Figura 4. Izquierda: Color del cuerpo de *Cryphiops caementarius* hembras después de la cocción, según estados de muda. Los números de los rectángulos de colores son el RGB promedio entre el cefalotórax y abdomen. Derecha: Valor RGB (promedio \pm desviación estándar) del cefalotórax (a) y del abdomen (b)

En los camarones hembras, después de la cocción (Figura 4), los valores RGB del cuerpo en todos los estados de muda (Figura 4a, b) fueron altos en el rojo (215 - 252) y diferentes ($p < 0.05$) al del verde (21 - 76) y azul (2 - 17) que fueron similares, lo que produjo un tono anaranjado intenso.

DISCUSIÓN

El modo de color RGB se utiliza para determinar el color natural de la langosta *Homarus americanus*, porque en la medición del color, el valor RGB rastrea el color como es percibido por el humano (Tlustý, 2005). En consecuencia, el sistema de medición del color del cuerpo de *C. caementarius*, crudo y cocido, muestra el color como fue percibido en las condiciones de la investigación.

El color del camarón *C. caementarius* procedente del río es café-verdoso oscuro (Meruane *et al.*, 2006) o verde-amarillento (Moscoso, 2012), que puede ser causado por el tipo de alimento predominante en el hábitat. En los ríos, esta especie de camarón se ali-

menta de detritus, microalgas y de restos de vegetales, así como de larvas de insectos y partes de invertebrados, cuya abundancia y disponibilidad varía con el rango altitudinal (Viacava *et al.*, 1978). Los alimentos vegetales aportan los carotenoides (Valduga *et al.*, 2009) que mantienen la pigmentación del cuerpo (Fuentes *et al.*, 2021). Sin embargo, en este estudio, el color del camarón varió con los estados del ciclo de muda, lo que explica lo observado en las capturas comerciales. Además, es indicativo de que la dieta natural no es determinante para el color del cuerpo.

En *C. caementarius* machos crudos en intermuda y en premuda, el tono marrón oscuro del cuerpo sugiere acumulación de carotenoides, como ocurre en los machos de *C. maenas*, donde el color de la epidermis es más intenso en la intermuda y premuda, debido al aumento de carotenoides (McGaw *et al.*, 1992). Además, el color de *C. caementarius* en la intermuda y premuda es similar con lo informado por Rojas *et al.* (2012) para machos de la misma especie, aunque no se informa del estado de muda, pero lo utilizan para definir morfotipos. La presente investi-

gación evidencia de que el color del cuerpo del camarón macho crudo no se debe a los morfotipos, sino que varía según los estados de muda. Esto se suma a lo reportado de que el color de los quelípodos regenerados después de una muda es más tenue que el color original (Reyes *et al.*, 2017).

En cambio, el tono amarillento o marrón claro del cuerpo de *C. caementarius* macho crudo en la postmuda indica pérdida de carotenoides, debido probablemente a la movilización previa para almacenarse en algún tejido, aunque parte de estos pigmentos se pierden con la exuvia. El cuerpo rojo de *C. maenas* cambia a verde después de la muda (Lee y Vespoli, 2015). En *P. homarus*, la concentración de carotenoides del cuerpo se reduce después de la muda y que, sumado al cese de la alimentación, a la pérdida de pigmentos con la exuvia y a la movilización a otros tejidos, ocasionan valores más bajos de carotenoides y se atenúa el color del animal (Asha, 2003). Esto explica el color tenue del cuerpo de *C. caementarius* durante la postmuda, pues la especie deja de alimentarse en la premuda tardía, la ecdisis y la postmuda temprana (Reyes, 2014), como sucede en todo crustáceo (Lemos y Weissman, 2021).

El color del cuerpo de *C. caementarius* macho después de la cocción permitió observar los tonos anaranjado (postmuda) y rojizo (intermuda y premuda), característicos de la astaxantina. En la postmuda tardía (B_1 y B_2), el tono anaranjado es evidencia de la disminución de pigmentos en la hipodermis y que no hubo reposición inmediata después de la ecdisis, pues con el exoesqueleto liberado también se pierden pigmentos. En *Clibanarius erythropus* los carotenoides de la hipodermis disminuyen en la postmuda temprana (A_1 y A_2) y aún más en la postmuda tardía (B_1 y B_2), debido a la transferencia al hepatopáncreas (Castillo *et al.*, 1988). Así mismo, en *P. homarus*, Asha (2003) determinó que el reordenamiento del tegumento después de la ecdisis afecta el patrón de pigmentación, lo que provoca movilización de

carotenoides para la formación del nuevo tegumento. Sin embargo, el tono rojizo del cuerpo de *C. caementarius* en la intermuda y premuda indica que hubo restablecimiento de los carotenoides provenientes de los lugares de almacenamiento y también por la ingestión de pigmentos naturales contenidos en el alimento. En esta especie de camarón la ingesta de alimentos se reanuda en la postmuda tardía (Reyes, 2014) y los pigmentos naturales de la dieta se acumulan en el cuerpo del animal (Fuentes *et al.*, 2021). Además, en *C. erythropus* hay transferencia de pigmentos del hepatopáncreas hasta el integumento, desde la postmuda B2 hasta la premuda D2 (Castillo *et al.*, 1988). Así mismo, *P. homarus* mantiene alta concentración de carotenoides en el exoesqueleto y en el músculo en la intermuda y premuda, seguido de disminución en la postmuda (Asha, 2003).

La variación del color del cuerpo durante el ciclo de muda de los camarones machos de *C. caementarius* indica que esta no es una característica permanente del dimorfismo sexual, pero puede ser parte del comportamiento reproductivo de la especie. El color de las quelas de *Neohelice granulata* reduce la necesidad de luchar con competidores (Casariego *et al.*, 2011), debido a que el color es importante en las interacciones competitivas entre machos (Dyson *et al.*, 2020). En este sentido, el color más intenso del cuerpo y de los quelípodos de los camarones machos de *C. caementarius* en la intermuda y premuda podría ser una ventaja para competir durante la búsqueda de hembras maduras y lograr apareamientos, como ha sido sugerido en esta especie (Rojas *et al.*, 2012) y en *Dilocarcinus pagei* (Pontes *et al.*, 2020). Sin embargo, no se conoce si la especie en estudio es capaz de percibir el color de sus congéneres, como en *Uca mjoebergi* (Detto, 2007; Dyson *et al.*, 2020) y *U. capricornis* (Detto *et al.*, 2008).

La pérdida de color del cuerpo de los camarones machos de *C. caementarius* en la postmuda sería indicador de una nula o débil capacidad para la interacción y el cor-

tejo, situación que asegura que sus congéneres, de igual o diferente tamaño, puedan tener la oportunidad de aparearse. Los machos *Macrobrachium rosenbergii* en postmuda son incapaces de proporcionar protección a las hembras tras la muda pre-apareamiento (Karplus y Barki, 2018). Así mismo, el tenue color del cuerpo del macho *C. caementarius* después de la ecdisis indica limitaciones para el camuflaje, la interacción y el apareamiento, pero es probable que la acumulación de carotenoides en determinados órganos o tejidos se realiza para mantener funciones vitales en etapas críticas; por ejemplo, al final de la premuda, durante la ecdisis y el inicio de la postmuda, donde el exoesqueleto es muy frágil y el movimiento es dificultoso (Reyes, 2020; Lemos y Weissman, 2021). Se conoce que los carotenoides, en *P. monodon*, mantienen la salud del animal (Wade *et al.*, 2015a) y en *M. nipponense* otorga resistencia al estrés físico y químico del ambiente (Tizkar *et al.*, 2014).

La tonalidad oscura del color del cuerpo de los machos de *C. caementarius* crudos es lo que produce coloración rojiza más intensa después de la cocción, lo que es evidencia de que el color del camarón crudo es indicador del contenido de carotenoides, como se demostró previamente en la misma especie (Fuentes *et al.*, 2021) y también en *Litopenaeus. vannamei*, *Penaeus monodon*, *Exopalaemon carinicauda* y *Fenneropenaeus chinensis* (Aguirre-Hinojosa *et al.*, 2012; Jantakoson *et al.*, 2012; Su *et al.*, 2018). Además, según los resultados obtenidos, es posible clasificar o seleccionar camarones crudos por el color del cuerpo con fines comerciales, pues desde una perspectiva empresarial, el color juega un papel decisivo en la evaluación y determinación de la calidad del producto (Lim *et al.*, 2018). Sin embargo, esto no sucedió con los camarones hembras que fueron sometidos a cocción, lo que debe ser característica de esta especie. En *L. vannamei*, el color del cuerpo es similar en machos y hembras, crudos o cocidos (Parisenti *et al.*, 2011); en cambio, en las hem-

bras de *C. maenas* la fase roja del cuerpo cambia a la verde con la muda (Lee y Vespoli, 2015).

La acumulación de carotenoides en los tejidos de los crustáceos no solo indica que estos animales pueden interconvertir un carotenoide en otro, sino también implica que ciertos carotenoides tienen funciones específicas en algunos tejidos (Wade *et al.*, 2015b). En el hepatopáncreas, el estómago, corazón, hipodermis, pedúnculo ocular y en el cordón nervioso existe información genética sobre el metabolismo de los carotenoides (Jin *et al.*, 2020). El color del cuerpo de *C. caementarius*, tanto crudo como cocido, varía con el ciclo de muda, y es más intenso en los machos que en las hembras. Estos resultados indican que los carotenoides de la hipodermis y de la cutícula del exoesqueleto de los camarones machos son, respectivamente, metabolizados y perdidos durante el proceso de muda, como sucede en *P. homarus* (Asha, 2003).

Por otro lado, el color del cuerpo de las hembras de *C. caementarius* cocidas, a diferencia de los machos, mantuvieron solo el tono anaranjado en todos los estados de muda, lo que indica que la hipodermis y la cutícula del exoesqueleto no son lugares de almacenamiento de carotenoides para uso posterior, pero por el tenue tono de color del cuerpo deben cumplir otras funciones, como evitar la fotooxidación en el hepatopáncreas y el ovario (Flores y Chien, 2011). El hepatopáncreas de las hembras es el principal órgano de almacenamiento de carotenoides desde donde se transfiere hacia el ovario para almacenarse en los ovocitos y mejorar la calidad y viabilidad de los huevos desovados, como sucede en *P. homarus* (Asha, 2003), *P. vannamei* (Quintana-López *et al.*, 2019; Maoka, 2020), *Lysmata wurdemanni* (Díaz-Jiménez *et al.*, 2019), *Emerita asiatica* (Persia *et al.*, 2019), entre otros crustáceos. Esto puede explicar la uniformidad del color del cuerpo de las hembras de *C. caementarius*, crudo o cocido, durante el ciclo de muda.

CONCLUSIONES

- El color del cuerpo del camarón *Cryphiops caementarius* macho varía con el ciclo de muda. En el camarón crudo, el tono amarillento o marrón claro se observó en la postmuda y el marrón oscuro en la intermuda y premuda; en cambio, después de la cocción, el tono anaranjado se observó en la postmuda y el rojizo en la intermuda y premuda.
- En el camarón *C. caementarius* hembra, el color del cuerpo es similar durante el ciclo de muda. En el camarón crudo, el tono marrón claro se observó en la postmuda y el marrón oscuro en la intermuda y premuda; sin embargo, una vez cocido el tono anaranjado se observó en todos los estados del ciclo de muda.

LITERATURA CITADA

1. **Aguirre-Hinojosa E, Garza-Aguirre M del C, Piña-Valdez P, Montoya-Olvera R, Torres-Quiroga JO, Nieves-Soto M. 2012.** Pigmentary and zootechnical responses of juvenile *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) maintained on diets supplemented with xanthophylls of marigold *Tagetes erecta* flowers. *Isr J Aquacult-Bamid* 64: 1-8. doi: 10.46989/001c.20611
2. **Angell A, de Nys R, Mangott A, Vucko MJ. 2018.** The effects of concentration and supplementation time of natural and synthetic sources of astaxanthin on the colouration of the prawn *Penaeus monodon*. *Algal Res* 35: 577-585. doi: 10.1016/j.algal.2018.09.031
3. **Aréchiga-Palomera MA, Vega-Villasante F, Montoya-Martínez C, Mendoza-González A, Badillo-Zapata D. 2018.** Background color effect on the pigmentation of prawn *Macrobrachium tenellum*. *Lat Am J Aquat Res* 46: 610-614. doi:10.3856/vol46-issue3-fulltext-16
4. **Asha M. 2003.** Carotenoid profiles in relation to maturation, moulting, food and habitat in the Indian spiny lobster *Panulirus homarus* (Linnaeus, 1758). PhD Thesis. Mumbai, India: Central Marine Fisheries Research Institute. 144 p.
5. **Bernal CE, Carvajal A, Ponce-Palafox JT, Spanopoulos-Hernández M, Puga-López D, Arredondo-Figueroa JL, Martínez L. 2017.** The color of marine shrimps and its role in the aquaculture. *Int J Aquac Fish Sci* 3: 062-065. doi: 10.17352/2455-8400.-000030.
6. **Carvalho CCCR, Caramujo MJ. 2017.** Carotenoids in aquatic ecosystems and aquaculture: a colorful business with implications for human health. *Front Mar Sci* 4: 1-14. doi: 10.3389/fmars.2017.-00093
7. **Casariego AM, Luppi T, Iribarne O. 2011.** Differential coloration patterns in the intertidal crab *Neohelice* (= *Chasmagnathus*) *granulata*. *J Mar Biol Assoc UK* 91: 1041-1047. doi: 10.1017/S0025315410002055
8. **Castillo R, Nègre-Sadargues G, Lenel R. 1988.** The carotenoids of the hermit crab *Clibanarius erythropus* Latreille (1818) (Crustacea, Decapoda, Anomura) during the moulting cycle-I. Quantitative aspects. *Comp Biochem Phys B* 89: 239-243. doi: 10.1016/0305-0491-(88)90217-9
9. **Costa DP, Miranda-Filho KC. 2020.** The use of carotenoid pigments as food additives for aquatic organisms and their functional roles. *Rev Aquacult* 12: 1567-1578. doi: 10.1111/raq.12398
10. **Detto T. 2007.** The fiddler crab *Uca mjoebergi* uses colour vision in mate choice. *P Roy Soc B-Biol Sci* 274: 2785-2790. doi: 10.1098/rspb.2007.1059
11. **Detto T, Hemmi JM, Backwell PRY. 2008.** Colouration and colour changes of the fiddler crab, *Uca capricornis*: a descriptive study. *PLoS One*. 3: e1629. doi: 10.1371/journal.pone.0001629
12. **Díaz-Jiménez L, Hernández-Vergara MP, Pérez-Rostro CI, Ortega-Clemente LA. 2019.** The effect of astaxanthin and β -carotene inclusion in diets for

- growth, reproduction and pigmentation of the peppermint shrimp *Lysemata wurdemanni*. Lat Am J Aquat Res 47: 559-567. doi: 10.3856/vol47-issue3-fulltext-17
13. **Dyson ML, Perez DM, Curran T, McCullough EL, Backwell PRY. 2020.** The role of claw color in species recognition and mate choice in a fiddler crab. Behav Ecol Sociobiol 74: 116. doi: 10.1007/s00265-020-02899-w
 14. **Flores EE, Chien YH. 2011.** Chromatosomes in three phenotypes of *Neocaridina denticulata* Kemp, 1918: morphological and chromatic differences measured non-invasively. J Crustacean Biol 31: 590-597. doi: 10.1651/11-3457.1
 15. **Fuentes A, Quezada L, Reyes-Avalos W. 2021.** Pigmentación del cuerpo del camarón *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae) con dietas suplementadas con caléndula (*Calendula officinalis*). Rev Inv Vet Perú 32: e18344. doi: 10.15381/rivep.v32il.18344
 16. **Gallardo-Escárate C, Goldstein-Vasquez J, Thiel M. 2007.** Individual identification of decapod crustaceans I: Color patterns in rock shrimp (*Rhynchocinetes typus*). J Crustacean Biol 27: 393-398. doi: 10.1651/S-2773.1
 17. **Jantakoson T, Kijroongrojana K, Benjakul S. 2012.** Effect of high pressure and heat treatments on black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) muscle protein. Int Aquat Res 4: 19. doi:10.1186/2008-6970-4-19
 18. **Jin Y, Yu Y, Zhang C, Li S, Zhang X, Li F. 2020.** Characterization and function analysis of the beta-carotene oxygenase-like genes in carotenoids metabolism of the ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda*. Front Physiol 11: 745. doi:10.3389/fphys.2020.00745
 19. **Jittivadhna K, Flegel TtW, Ruenwongsa P, Panijpan B. 2010.** Biochemistry in decapod crustaceans. Bioscience 5: 1-11.
 20. **Karplus I, Barki A. 2018.** Male morphotypes and alternative mating tactics in freshwater prawns of the genus *Macrobrachium*: a review. Rev Aquacult 11: 925-940. doi: 10.1111/raq.12273
 21. **Katayama H, Ohira T, Nagasawa H. 2013.** Crustacean peptide hormones: structure, gene expression and function. Aqua-BioScience Monogr 6: 49-90. doi: 10.5047/absm.2013.00602.0049
 22. **Lee KT, Vespoli JL. 2015.** Tracking color change in individual green crabs, *Carcinus maenas* (L). Northeast Nat 22: 413-23. doi: 10.1656/045.022.0214
 23. **Lemos D, Weissman D. 2021.** Moulting in the grow out of farmed shrimp: a review. Rev Aquacult 13: 5-17. doi: 10.1111/raq.12461
 24. **Lim KC, Yusoff FM, Shariff M, Kamarudin MS. 2018.** Astaxanthin as feed supplement in aquatic animals. Rev Aquacult 10: 738-773. doi: 10.1111/raq.12200
 25. **Maoka T. 2020.** Carotenoids as natural functional pigments. J Nat Med 74: 1-16. doi: 10.1007/s11418-019-01364-x
 26. **McGaw IJ, Kaiser MJ, Naylor E, Hughes RN. 1992.** Intraspecific morphological variation related to the moult cycle in colour forms of the shore crab *Carcinus maenas*. J Zool 228: 351-359. doi: 10.1111/j.1469-7998.1992.tb04614.x
 27. **Méndez M. 1981.** Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decapoda) del mar y ríos de la costa del Perú. Bol Inst del Mar del Perú 5: 1-170.
 28. **Meruane JA, Morales MC, Galleguillos CA, Rivera MA, Hosokawa H. 2006.** Experiencias y resultados de investigaciones sobre el camarón de río del norte *Cryphiops caementarius* (Molina 1782) (Decapoda: Palaemonidae): historia natural y cultivo. Gayana 70: 280-292. doi: 10.4067/s0717-65382006000200015
 29. **Moscoso V. 2012.** Catálogo de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú. Bol Inst del Mar del Perú 27: 8-207.
 30. **Parisenti J, Beirão LH, Tramonte VLCG, Ourique F, da Silveira Brito CC, Moreira CC. 2011.** Preference ranking of colour in raw and cooked

- shrimps. *Int J Food Sci Tech* 46: 2558-2561. doi: 10.1111/j.1365-2621.2011.-02781
31. **Persia T, Rajesh R, Subramoniam T. 2019.** Lipid and carotenoid metabolism in the developing embryos of the intertidal anomuran crab, *Emerita asiatica* (Milne Edwards). *Invertebr Reprod Dev* 63: 135-145. doi: 10.1080/07924259.2019.1608325
 32. **Pillai D, Bonami JR. 2012.** A review on the diseases of freshwater prawns with special focus on white tail disease of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquac Res* 43: 1029-1037. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.03061.x
 33. **Pinazo KFP, Berrú JMA, Bocardo EF. 2021.** Economic-fishing analysis of the prawn *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782) in the Majes-Camaná river. *Bol Inst Pesca*. 47: 1-8. doi: 10.20950/1678-2305/bip.2021.47.e627
 34. **Pontes N de A, Sant'Anna BS, Hattori GY. 2020.** Color variation of the freshwater crab *Dilocarcinus pagei* Stimpson, 1861 captured in the Amazon region at Itacoatiara, Amazonas, Brazil. *Nauplius* 28: e2020026. doi: 10.1590/2358-2936e2020026
 35. **[PRODUCE] Ministerio de la Producción del Perú. 2020.** Anuario estadístico pesquero y acuícola 2019. [Internet]. Disponible en: <https://ogeiee.-produce.-gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/949-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2019>
 36. **Quintana-López A, Hurtado-Oliva MA, Manzano-Sarabia M, López-Peraza DJ, Hernández C, García A, Palacios E. 2019.** Effect of rearing conditions on astaxanthin accumulation in the white shrimp *Penaeus vannamei* (Boone, 1931). *Lat Am J Aquat Res* 47: 303-309. doi: 10.3856/vol47-issue2-fulltext-10
 37. **Reyes-Avalos W. 2016.** Effect of culture container on the survival and growth of male *Cryphiops caementarius* in individualized systems. *Rev Bio Ciencias* 3: 311-325. doi: 10.15741/revbio.03.04.06
 38. **Reyes-Avalos W, Melgarejo-Velásquez G, Rojas-González E. 2010.** Maduración, muda y crecimiento de hembras del camarón de río *Cryphiops caementarius* con ablación del pedúnculo ocular, en condiciones de laboratorio. *Sciéndo* 13: 80-87.
 39. **Reyes W. 2014.** Interrelación del ciclo de muda, el ciclo ovárico y el desarrollo embrionario en hembras de *Cryphiops caementarius* Molina 1782 (Crustacea, Palaemonidae). *Intropica* 9: 33-42. doi: 10.21676/23897864.1423
 40. **Reyes W. 2020.** Management of the interaction and cannibalism of postlarvae and adults of the freshwater shrimp *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782). In: Diarte-Plata G, Escamilla-Montes R (eds). *Crustacea*. IntechOpen p 51-64.
 41. **Reyes W, Terrones S, Baltodano I. 2017.** Efectos de la regeneración de quelípodos en la muda y crecimiento de machos de *Cryphiops caementarius* Molina, 1782 (Decapoda, Palaemonidae). *Rev Bio Ciencias* 4: 1-18. doi: 10.15741/revbio.04.04.05
 42. **Rojas R, Morales MC, Rivadeneira MM, Thiel M. 2012.** Male morphotypes in the Andean river shrimp *Cryphiops caementarius* (Decapoda: Caridea): Morphology, coloration and injuries. *J Zool* 288: 21-32. doi: 10.1111/j.1469-7998.2012.00922.x
 43. **Santos-Sanchez NF, Hernández-Carlos B, Torres-Arino A, Salas-Coronado R. 2021.** Astaxanthin and its formulations as potent oxidative stress inhibitors. *Pharmacogn Rev* 14: 8-15. doi: 10.5530/phrev.2020.1.2
 44. **Silva MAS, Ramiro B de O, Neto ME de A, Guerra RR. 2019.** Moulting cycle stages in *Macrobrachium rosenbergii* by setogenesis method. *Bol Inst Pesca* 45: e428. doi: 10.20950/1678-2305.2019.-45.2.428
 45. **Stevens M. 2016.** Color change, phenotypic plasticity, and camouflage. *Front Ecol Evol* 4: 51. doi: 10.3389/fevo.2016.-00051

46. **Su F, Huang B, Liu J. 2018.** The carotenoids of shrimps (Decapoda: Caridea and Dendrobranchiata) cultured in China. *J Crustacean Biol* 38: 523-530. doi: 10.1093/jcbiol/ruy049
47. **Tizkar B, Seidavi A, Ponce-Palafox JT, Pourashoori P. 2014.** The effect of astaxanthin on resistance of juvenile prawns *Macrobrachium nipponense* (Decapoda: Palaemonidae) to physical and chemical stress. *Rev Biol Trop* 62: 1331-1342. doi: 10.15517/rbt.v62i4.13057
48. **Thlusty M. 2005.** Use of digital colour analysis to assess variation within individual adult American lobsters (*Homarus americanus*) and the process of addition of colour in white lobsters. *New Zeal J Mar Fresh* 39: 571-580. doi: 10.1080/00288330.2005.9517336
49. **Valduga E, Tatsch PO, Tiggemann L, Treichel H, Toniazzo G, Zeni J, Di Luccio M, Fúrigo A. 2009.** Produção de carotenoides: Microrganismos como fonte de pigmentos naturais. *Quim Nova* 32: 2429-2436. doi: 10.1590/s0100-40422009000900036
50. **Viacava M, Aitken R, Llanos J. 1978.** Estudio del camarón en el Perú 1975-1976. *Bol Inst del Mar del Perú* 3: 162-232.
51. **Wade NM, Anderson M, Sellars MJ, Tume RK, Preston NP, Glencross BD. 2012.** Mechanisms of colour adaptation in the prawn *Penaeus monodon*. *J Exp Biol* 215: 343-350. doi: 10.1242/jeb.064592
52. **Wade NM, Cheers S, Bourne N, Irvin S, Blyth D, Glencross BD. 2015a.** Dietary astaxanthin levels affect colour, growth, carotenoid digestibility and the accumulation of specific carotenoid esters in the giant tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquac Res* 48: 395-406. doi: 10.1111/are.12888
53. **Wade NM, Gabaudan J, Glencross BD. 2015b.** A review of carotenoid utilisation and function in crustacean aquaculture. *Rev Aquac* 9: 141-156. doi: 10.1111/raq.12109
54. **Wasiw J, Yépez V. 2015.** Evaluación poblacional del camarón *Cryphiops caementarius* en ríos de la costa sur del Perú. *Rev Inv Vet Perú* 26: 166-181. doi: 10.15381/rivep.v26i2.11103