



Effects chelipeds regeneration in molting and growth of male *Cryphiops caementarius* Molina 1782 (Decapod, Palaemonidae)

Efectos de la regeneración de quelípodos en la muda y crecimiento de machos de *Cryphiops caementarius* Molina, 1782 (Decapoda, Palaemonidae)

Reyes, W.^{1,*}, Terrones, S.², Baltodano, I.².

Universidad Nacional del Santa, ¹Laboratorio de Acuicultura Ornamental, Departamento Académico de Biología, Microbiología y Biotecnología, ²Egresados de la Escuela de Biología en Acuicultura. Avenida Universitaria s/n Urb. Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú.

ABSTRACT

The aim was to evaluate the effects of regeneration of chelipeds in molting and growth of male shrimp *Cryphiops caementarius* and to characterize the stages of regeneration of these appendages. Adult male shrimp captured in the Pativilca River (Lima, Perú) were used and selected in molt stage C, with complete cephalothoracic appendages, and no signs of lacerations on the body. The treatments were: autotomy of the major cheliped, autotomy of the minor cheliped, autotomy of both chelipeds and shrimp with intact chelipeds (control). Autotomy of chelipeds was induced by pressing with clamp the palm of the propodus to produce rupture. Eight stages of chelipeds regeneration before ecdysis were described for the first time. The major autotomized cheliped regenerated 58 % of its initial length and the minor cheliped regenerated 75.2 %. When both chelipeds were autotomized, the major chelipeds 41.3 % regenerated and minor cheliped 67.6 % regenerated. In all cases, regeneration occurred in the first post-autotomy molt. Au-

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: July 7th 2016.

Accepted/Aceptado: October 16th 2016.

RESUMEN

Los objetivos fueron evaluar los efectos de la regeneración de quelípodos en la muda y el crecimiento de machos del camarón *Cryphiops caementarius* y caracterizar los estados de regeneración de estos apéndices. Se emplearon camarones machos adultos capturados del río Pativilca en Lima, Perú seleccionados en estado de muda C, con apéndices cefalotorácicos completos y sin signos de laceraciones en el cuerpo. Los tratamientos fueron: autotomía del quelípedo mayor, autotomía del quelípedo menor, autotomía de ambos quelípodos y camarones con quelípodos intactos para control. La autotomía de quelípodos fue inducida presionando con pinza la palma del propodo hasta producir su ruptura. Se describieron por primera vez ocho estados de regeneración de quelípodos antes de la ecdisis. El quelípedo mayor autotomizado regeneró el 58 % de su longitud inicial, y el quelípedo menor regeneró el 75.2 %. Cuando ambos quelípodos se autotomizaron, el quelípedo mayor regeneró el 41.3 % y el quelípedo menor 67.6 %. En todos los casos la regeneración se dio en la primera muda post autotomía. La autotomía de quelípodos redujo significativamente ($p < 0.05$) el período entre mudas a 18 días en aquellos con autotomía de ambos quelípodos, a 26 y 28 días con autotomía de un solo quelípedo y en el control fue de 33 días. La autotomía de ambos quelípodos redujo

*Corresponding Author:

Walter Reyes Avalos. Av. Universitaria s/n Urb. Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú. Phone: 051-9899 932 99. E-mail: wreyes_avalos@hotmail.com

totomy of chelipeds significantly reduced ($p < 0.05$) the period to 18 days in those with autotomy of both chelipeds, 26 and 28 days with a single cheliped autotomy, and control was 33 days. Autotomy of both chelipeds significantly reduced ($p < 0.05$) weight gain (-21.67 %), followed by those who had the major autotomy cheliped (-11.12 %) and minor cheliped (-2.29 %); control growth was normal, growing in 7.96 % by weight. According to these results, it is possible to infer the negative effect that autotomy of chelipeds would have in commercial culture of the species.

KEY WORDS

Growth, molting, regeneration, chelipeds, *Cryphiops*.

Introduction

Shrimp *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782) is the species of higher commercial importance that supports intense fishing, mainly in the Rivers of Arequipa in Peru, since 1965 (Viacava *et al.*, 1978; Yépez and Bandín, 1998; Wasiw and Yépez, 2015), whose extraction in the last years has increased from 694.65 t (PRODUCE, 2010) to 1,037.57 t (PRODUCE, 2014); apart from being the most studied species in population, bioecological and promissory aspects for commercial culture.

In crustaceans, external morphological variations of the body and appendages of the organisms differentiate sexes. Male crustaceans generally show higher growth in the second pair of pereopods as permanent sexual characters (Petriella and Boschi, 1997); this pair of pereopods called chelipeds are used in agonistic interaction, and in courtship and mating (Mariappan *et al.*, 2000). In *Macrobrachium rosenbergii*, mature males are bigger than females and the chelipeds are longer and thicker (New, 2002), used in the defense of the territory, and therefore easily accessing feed and shelter (Barki *et al.*, 1992; Seidel *et al.*, 2007).

In the *Callinectes bellisocosus* and *C. arcuatus*, chelipeds are dimorphic and the right cheliped is generally bigger than the left one for the consumption of harder preys such as mollusks and crustaceans (Rodríguez,

significativamente ($p < 0.05$) la ganancia en peso (-21.67 %), seguido por los que tuvieron autotomía del quelípedo mayor (-11.12 %) y del quelípedo menor (-2.29 %); en el control el crecimiento fue normal, creciendo en 7.96 % en peso. De acuerdo a estos resultados es posible inferir el efecto negativo que tendría la autotomía de quelípodos en el cultivo comercial de la especie.

PALABRAS CLAVE

Crecimiento, muda, regeneración, quelípodos, *Cryphiops*.

Introducción

El camarón *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782) es la especie de mayor importancia comercial que soporta intensa pesquería, principalmente en los ríos de Arequipa en Perú desde 1965 (Viacava *et al.*, 1978; Yépez y Bandín, 1998; Wasiw y Yépez, 2015), cuya extracción en los últimos años se incrementó de 694.65 t (PRODUCE, 2010) hasta 1,037.57 t (PRODUCE, 2014); además de ser la especie más estudiada en aspectos poblacionales, bioecológicos y promisorios para cultivo comercial.

En crustáceos, las variaciones morfológicas externas del cuerpo y apéndices de los organismos diferencian a los sexos. Los crustáceos machos generalmente exhiben mayor crecimiento del segundo par de pereópodos como caracteres sexuales permanentes (Petriella y Boschi, 1997); este par de pereópodos llamados quelípodos los utilizan en la interacción agonística y en el cortejo y apareamiento (Mariappan *et al.*, 2000). En *Macrobrachium rosenbergii*, los machos maduros son más grandes que las hembras y los quelípodos son más largos y gruesos (New, 2002), utilizados en la defensa del territorio y también con ello acceden fácilmente al alimento y a los refugios (Barki *et al.*, 1992; Seidel *et al.*, 2007).

En los *Callinectes bellisocosus* y *C. arcuatus* los quelípodos son dimórficos y generalmente el quelípedo derecho es mayor que el izquierdo para el consumo de presas más duras como moluscos y crustáceos (Rodríguez, 2004). En el *C. caementarius* los quelípodos de los machos son más robustos y desiguales, siendo todo lo contrario en hembras (Lip, 1976; Viacava *et al.*, 1978).

Todos los crustáceos están preparados para realizar autotomía de sus pereópodos y con ello evitan ser predados.

2004). In *C. caementarius* chelipeds of males are more robust and unequal, completely the opposite to females (Lip, 1976; Viacava et al., 1978).

All crustaceans are prepared to perform autotomy of their pereopods and hence, they avoid being preyed. Any member can be released in the autotomy, but this does not affect the animal because there are anatomic and physiological specializations to initiate regeneration (McVean, 1975). Autotomy occurs in specific sites that vary amongst species; therefore, autotomy between the basipodite and the isquiopodite is given in *M. rosenbergii* (New and Valenti, 2000) and *Cancer pagurus* (Bennett, 1973), but in *Uca pugilator*, it occurs between the coxa and the basi-isquiopodite (Wu et al., 2004).

Members regenerated after the autotomy require several molts to reach normal size and shape. In *Hemigrapsus oregonensis*, small regenerated members need a second molt to reach the size of a normal regenerated appendix (Kuris and Mager, 1975). In *C. sapidus*, autotomy of chelipeds produces a smaller cheliped because it regenerates 92 % to the first post-autotomy molt (Amador et al., 1999) and almost 100 % in the second molt (Smith, 1990). In *C. productus*, regenerated members require a second molt to regain strength of trituration and with the third molt normal size is reached (Brock and Smith, 1998). In *Uca* species, regeneration of chelipeds affects the size of the allometry and the shape of the chelipeds (Rosenberg, 2002).

The regeneration of autotomized members goes through basal growth phase immediately after the loss of members and the proedysial phase, which occurs only when the animal is preparing for ecdysis (Hopkins, 2001). In addition, during regeneration there is a sensorial process to reestablish connections to the central nervous system (Cooper, 1998) and the expression of genes that codify the ecdysteroid receptor during the first stages of development of the blastema has been detected (Durica et al., 1999).

Likewise, removal of appendages stimulate the early molt in *Procambarus kadikensis* (Stoffel and Hubschman, 1974), *Procambarus clarkii* (Nakatani and Ötsu, 1979), *C. sapidus* (Smith, 1990) and *Grecarcinus lateralis* (Yu et al., 2002), but it affects growth, which depends on the number of loss appendages. Bennett (1973) determines that increase of size per molt in *C. pagurus* is minor to

En la autotomía se desprende cualquier miembro, pero no perjudica al animal porque hay especializaciones anatómicas y fisiológicas para iniciar con la regeneración (McVean, 1975). La autotomía ocurre en sitios específicos que varía entre especies; así, la autotomía entre el basipodito y el isquiopodito se da en *M. rosenbergii* (New y Valenti, 2000) y *Cancer pagurus* (Bennett, 1973), pero en *Uca pugilator* ocurre entre la coxa y el basi-isquiopodito (Wu et al., 2004).

Los miembros regenerados después de la autotomía requieren de varias mudas para alcanzar el tamaño y forma normales. En *Hemigrapsus oregonensis* los pequeños miembros regenerados necesitan una segunda muda para alcanzar el tamaño de un apéndice regenerado normal (Kuris y Mager, 1975). En *C. sapidus*, la autotomía de los quelípodos produce un quelípodo **más pequeño porque regenera el 92 %** a la primera muda post autotomía (Amador et al., 1999) y casi el 100 % en la segunda muda (Smith, 1990). En *C. productus*, los miembros regenerados requieren una segunda muda para recuperar la fuerza de trituración y con la tercera muda se alcanza el tamaño normal (Brock y Smith, 1998). En especies de *Uca*, la regeneración de quelípodos afecta el tamaño de alometría y la forma de los quelípodos (Rosenberg, 2002).

La regeneración de miembros autotomizados pasa por la fase de crecimiento basal inmediatamente después de la pérdida de miembros y la fase proedysial que ocurre solamente cuando el animal está preparándose para la ecdisis (Hopkins, 2001). Además, durante la regeneración hay un proceso sensorial para restablecer las conexiones al sistema nervioso central (Cooper, 1998) y se ha detectado la expresión de genes que codifican el receptor ecdisteroide en las primeras etapas de desarrollo del blastema (Durica et al., 1999).

Así mismo, la remoción de apéndices estimula la muda precoz en *Procambarus kadikensis* (Stoffel y Hubschman, 1974), *Procambarus clarkii* (Nakatani y Ötsu, 1979), *C. sapidus* (Smith, 1990) y *Grecarcinus lateralis* (Yu et al., 2002), pero afecta el crecimiento que depende del número de apéndices perdidos. Bennett (1973) determina que el incremento de talla por muda en *C. pagurus* es menor en aquellos que sufrieron la pérdida de seis patas o dos quelípodos (<23.8 %) comparados con los que no sufrieron pérdida de miembros (>25.4 %). En *H. oregonensis*, la regeneración de ocho miembros reduce menos de la mitad el incremento de talla por muda que los cangrejos normales (Kuris y Mager, 1975). En *C.*

those who suffered the loss of six legs or two chelipeds (<23.8 %) compared to those that did not suffer member loss (>25.4 %). In *H. oregonensis*, regeneration of eight members reduces less than half the increase of size per molt than normal crabs (Kuris and Mager, 1975). In *C. products*, only regeneration of both chelas significantly reduces growth (Brock and Smith, 1998).

In males of *C. caementarius*, the loss of major chelipeds causes decrease between 30 % and 40 % of the total weight, and the chelipeds in regeneration reach their normal size in two post-autotomy molts (Reyes, 2016). Nevertheless, the regeneration process of chelipeds of the species is unknown and the effect it would have in the molt and growth cycle of the organisms has not been quantified, as it has happened in other crustacean species. Therefore, the aim was to evaluate the effects of regeneration of chelipeds in molting and growth of male shrimp *Cryphiops caementarius* and to characterize the stages of regeneration of these appendages.

Materials and Methods

Biological material: the population of shrimps came from the River Pativilca in Lima, Peru (10°40'50"S - 77°42'02"O). For individual transportation of shrimp plastic glasses of 200 mL were used (glasses were holed to allow water flow) and they were prepared in plastic boxes (45 L) with water from the same river and intermittent aeration. Density was of 45 shrimps per box. Terrestrial transportation lasted 4.5 hours. In the lab, shrimp were acclimated during eight days in the same transportation system and fed with balanced feed (30 % total protein), starting the third day of acclimation. Control was 16 male shrimps of *C. caementarius* (Mendez, 1981) of similar sizes and in molt state C (Reyes and Lujan, 2003) to allow regeneration, according to the suggestion of Skinner and Graham (1972); in addition, they had complete cephalothoracic appendages and with no signs of body lacerations. The sex of male shrimps was determined by the presence of gonopores in the coxopodites from the fifth pair of pereopods.

Culture system: glass fish tanks (0.30 m length, 0.20 m width and 0.18 m height, total area of 0.06 m² and effective volume of 10 L) were used with constant aeration of water. In each fish tank, two culture recipients were installed one above the other. Culture recipients were

products, solo la regeneración de ambas quelas reduce significativamente el crecimiento (Brock y Smith, 1998).

En machos de *C. caementarius*, la pérdida de los quelípodos mayores ocasiona disminución entre 30 % y 40 % del peso total y los quelípodos en regeneración alcanzan su tamaño normal en dos mudas post autotomía (Reyes, 2016). Sin embargo, no se conoce el proceso de regeneración de quelípodos de la especie ni se ha cuantificado el efecto que tendría en el ciclo de muda y en el crecimiento de los organismos, como lo sucedido en otras especies de crustáceos. Por consiguiente, los objetivos fueron evaluar los efectos de la regeneración de quelípodos en la muda y el crecimiento de machos del camarón de río *C. caementarius*, y caracterizar los estados de regeneración de dichos apéndices.

Materiales y Métodos

Material biológico: la población de camarones procedió del río Pativilca en Lima, Perú (10°40'50"S - 77°42'02"O). Para el transporte individual de camarones se emplearon vasos de plástico de 200 mL (los vasos se agujeraron para permitir el flujo de agua) y se acondicionaron en cajas de plástico (45 L) con agua del mismo río y con aireación intermitente. La densidad fue de 45 camarones por caja. El transporte terrestre duró 4.5 horas. En el laboratorio los camarones se aclimataron durante ocho días en el mismo sistema de transporte y se alimentaron con **balanceado (30 % de proteína total)**, a partir del tercer día de aclimatación. La muestra fue de 16 camarones machos de la especie *C. caementarius* (Méndez, 1981) de similares tamaños y en estado de muda C (Reyes y Luján, 2003) para permitir la regeneración, según lo sugerido por Skinner y Graham (1972); además estuvieron con apéndices cefalotorácicos completos y sin signos de laceraciones en el cuerpo. El sexo de los camarones machos se determinó por la presencia de gonóporos en los coxopoditos del quinto par de pereópodos.

Sistema de cultivo: se emplearon acuarios de vidrio (0.30 m de largo, 0.20 m de ancho y 0.18 m de alto, con área de 0.06 m² y volumen efectivo de 10 L) con aireación constante del agua. En cada acuario se instalaron dos recipientes de cultivo, uno sobre el otro. Los recipientes de cultivo fueron los diseñados y construidos por Reyes (2011) y fueron de material plástico transparente con tapa (16 cm de diámetro, 201 cm²), con aberturas en los laterales (3.0 cm de largo x 0.5 cm de ancho) para permitir el flujo de agua, y tuvieron un tubo de PVC de ½" de diámetro

those designed and built by Reyes (2011) and were made with transparent plastic with lid (16 cm of diameter, 201 cm²) with openings in sides (3.0 cm length x 0.5 cm width) to allow water flow, and had a PVC tube of ½" diameter that overpassed 5 cm on the level of the water, where balanced feed was introduced.

Experimental design: shrimps were assigned randomly in three experimental treatments and one control treatment, with four repetitions per treatment, where each shrimp was constituted in one analysis unit. The treatments were: autotomy of major cheliped, autotomy of

que sobresalió 5 cm sobre el nivel del agua, por donde se introdujo el alimento balanceado.

Diseño experimental: los camarones se asignaron al azar en tres tratamientos experimentales y un tratamiento control, con cuatro repeticiones por tratamiento, donde cada camarón se constituyó en una unidad de análisis. Los tratamientos fueron: autotomía del quelípodo mayor, autotomía del quelípodo menor, autotomía de ambos quelípodos y camarones con quelípodos intactos para control. La autotomía de quelípodos fue inducida presionando con pinza la palma del própodo hasta producir su ruptura (Figura 1).

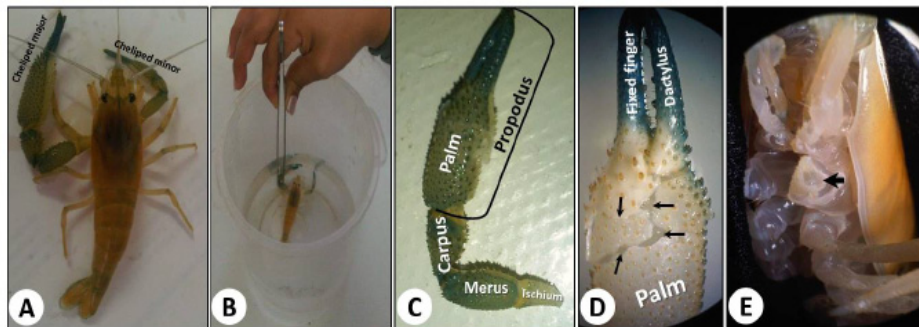


Figure 1. Parts and body measurements and appendages of *C. caementarius*.

Lp: length of propodus, Wp: width of propodus, Lca: length of carpus, Wca: width of carpus, Lm: length of merus, Wm: width of merus, LC: length of carapace, Lab: length of abdomen, LT: length total.

Figura 1. Partes y medidas del cuerpo y apéndices de *C. caementarius*.

Lp: longitud del propodo, Ap: ancho del propodo, Lca: longitud del carpo, Aca: ancho del carpo, Lm: longitud del mero, Am: ancho del mero, LC: longitud del cefalotórax, Lab: longitud del abdomen, LT: longitud total.

minor cheliped, autotomy of both chelipeds and shrimps with intact chelipeds for control. Autotomy of chelipeds was induced by pressing with clamps the palm of the propode until its rupture was produced (Figure 1).

Regeneration and molt: regeneration of autotomized chelipeds was evaluated in one molt cycle and observations of the regeneration process were made three times a week under stereoscope. Length of the cheliped in process of regeneration was measured from the appearance of the blastema until the formation of the regenerated cheliped and the latter, from the distal side of the fix finger of the propode to the distal side of the isquipodite (Mendez, 1981), and a digital vernier Struper (± 0.01

Regeneración y muda: la regeneración de quelípodos autotomizados se evaluó en un ciclo de muda y las observaciones del proceso de regeneración se realizaron tres veces por semana bajo estereoscopio. La longitud del quelípodo en proceso de regeneración se midió desde la aparición del blastema hasta la formación del quelípodo regenerado y en este último desde el extremo distal del dedo fijo del própodo hasta el extremo distal del isquipodito (Méndez, 1981) y se utilizó un vernier digital Struper (± 0.01 mm). Los estados de regeneración de quelípodos se describieron (Álvarez y Meruane, 2009), se relacionaron con los estados de muda (Reyes y Luján, 2003) y después de tres días de la ecdisis se midió la longitud de los quelípodos regenerados (Méndez, 1981) (Figura 2).

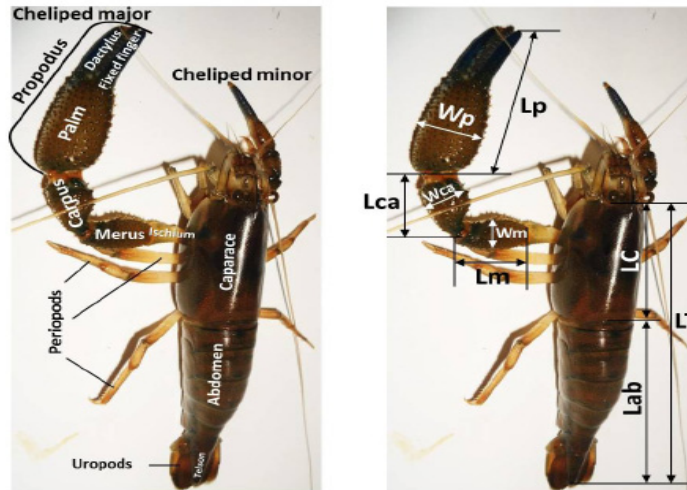


Figure 2. Autotomy process of cheliped *C. caementarius*. A) shrimp with appendages intact. - B) Pressure palm clamp to induce autotomy. C) Cheliped autotomized. D) Palm cheliped broken (thin arrow). E) Shown basipodite only after autotomy (thick arrow).

Figura 2. Proceso de autotomía de quelípedo de *C. caementarius*. A) Camarón con apéndices intactos. B) Presión de la palma con pinza para inducir la autotomía. C) Quelípedo autotomizado. D) Palma quebrada del quelípedo (flechas delgadas). E) Se muestra solo el basipodito después de la autotomía (flecha gruesa).

mm) was used. The regeneration states of the chelipeds were described (Alvarez and Meruane, 2009), related with the molt stages (Reyes and Luján, 2003) and after three days from ecdysis, the length of the regenerated chelipeds was measured (Méndez, 1981) (Figure 2).

Growth: total length (post-orbital cutout until the posterior side of telson) and cephalothorax length (post-orbital cutout until the posterior and medium superior edge of the cephalothorax) (Figure 2) were measured with a digital vernier Struper (± 0.01 mm). Total weight was determined in a digital balance Adam AQT600 (± 0.1 g). Growth in length and weight per post-autotomy molt was expressed as: percentage profit (PP %) = $(X_2 - X_1 / X_1) \times 100$, where X_1 and X_2 represents length (mm) or weight (g) initial and final, respectively.

Statistical analysis: differences between averages of duration of molt and growth cycle between treatments were determined at 95 % per variance analysis of one way and Duncan test. Statistical analysis were made using SPSS Software version 23 for Windows.

Crecimiento: se midieron la longitud total (escotadura post orbital hasta el extremo posterior del telson) y la longitud del cefalotórax (escotadura post orbital hasta el borde posterior y superior medio del cefalotórax) (Figura 2) con un vernier digital Struper (± 0.01 mm). El peso total se determinó en una balanza digital Adam AQT600 (± 0.1 g). El crecimiento en longitud y en peso por muda post autotomía se expresó como: **ganancia porcentual (GP %) = $(X_2 - X_1 / X_1) \times 100$** , donde X_1 y X_2 es la longitud (mm) o peso (g) inicial y final, respectivamente.

Análisis estadístico: las diferencias entre las medias de la duración del ciclo de muda y del crecimiento entre tratamientos se determinaron al 95 % por análisis de varianza de una vía y por la prueba de Duncan. Los análisis estadísticos se efectuaron con el Software SPSS versión 23 para Windows.

Resultados y Discusión

La técnica de autotomía de quelípodos aplicada a camarones machos adultos de *C. caementarius*, permitió la separación rápida de los quelípodos cuyo plano de ruptura fue la articulación basipodito-isquiopodito. No hubo

Results and Discussion

The autotomy technique of chelipeds applied to male adult shrimps of *C. caementarius* allowed the rapid separation of the chelipeds whose plane of rupture was the articulation basipodite-isquiopodite. There was no loss of hemolymph in the rupture plane of the chelipeds after autotomy. Similar rupture plane is reported in *M. rosenbergii* (New and Valenti, 2000), *Carcinus maenas* (McVean, 1973) and *C. pagurus* (Bennett, 1973); in exchange, in *U. pugilator*, the autotomy occurs between the coxa and the basiisquiopodite (Wu et al., 2004).

Regeneration Stages: eight regeneration stages of chelipeds (R_0 to R_7) in male adult shrimp of *C. caementarius* before ecdysis were characterized for the first time, and each state had a duration range according to treatment (Table 1). In *Procambarus clarkii* five stages of regeneration are established (Cooper, 1998) and in *Ovalipes trimaculatus* 11 states (Alvarez and Meruane, 2009), before ecdysis. The morphological characteristics of the regenerations states were valid for the major cheliped (Figure 3), minor cheliped, and for both chelipeds (Figure 4); although, it could also be applied for other appendages. The regeneration states were the following:

Stage R_0 (Cleft): it corresponded to a recent autotomy from the cheliped in whose distal extreme of the basipo-

dérida de hemolinfa en el plano de ruptura de los quelípodos después de la autotomía. Similiar plano de ruptura es reportado en *M. rosenbergii* (New y Valenti, 2000), *Carcinus maenas* (McVean, 1973) y *C. pagurus* (Bennett, 1973); en cambio, en *U. pugilator* la autotomía ocurre entre la coxa y el basiisquiopodito (Wu et al., 2004).

Estados de regeneración: por primera vez se caracterizaron ocho estados de regeneración de quelípodos (R_0 a R_7) en camarones machos adultos de *C. caementarius* antes de la ecdisis, y cada estado tuvo un rango de duración de acuerdo al tratamiento (Tabla 1). En *Procambarus clarkii* se establecen cinco estados de regeneración (Cooper, 1998) y en *Ovalipes trimaculatus* 11 estados (Álvarez y Meruane, 2009), antes de la ecdisis. Las características morfológicas de los estados de regeneración fueron válidos para el quelípedo mayor (Figura 3), quelípedo menor, y para ambos quelípodos (Figura 4); aunque ello también podría ser aplicado para otros apéndices. Los estados de regeneración fueron los siguientes:

Estado R_0 (Hendidura): correspondió a una autotomía reciente del quelípedo en cuyo extremo distal del basipodito (plano de ruptura) se observó una hendidura cubierta con membrana lisa y traslúcida (membrana de autotomía), y el contorno fue de superficie lisa y traslúcida.

Estado R_1 (Aparición del blastema): en la hendidura del extremo distal del basipodito se formó una protuberancia blanquecina o blastema reciente en posición

Table 1
Duration (days) of the stages of regeneration according autotomy of chelipeds *C. caementarius*

Tabla 1
Duración (días) de los estados de regeneración según autotomía de quelípodos de *C. caementarius*

Stages regeneration chelipeds	Autotomy	Autotomy	Autotomy	Chelipeds
	cheliped major	cheliped minor	both chelipeds	intact (control)
R_0 : Indent	0 – 3	0 – 3	0 – 2	0 – 3
R_1 : Appearance of the blastema	4 – 6	4 – 6	3 – 5	4 – 10
R_2 : Blastema as "J" inverted	7 – 9	7 – 8	6 – 8	11 – 13
R_3 : Blastema appearance of a knot	10 – 13	9 – 11	9 – 10	14 – 16
R_4 : Cheliped segmented	14 – 17	12 – 14	11 – 12	17 – 22
R_5 : Cheliped with differentiated propodus	18 – 20	15 – 18	13 – 14	23 – 26
R_6 : Cheliped robust	21 – 24	19 – 22	15 – 16	27 – 29
R_7 : Cheliped structured	25 – 27	23 – 25	16 – 17	30 – 32

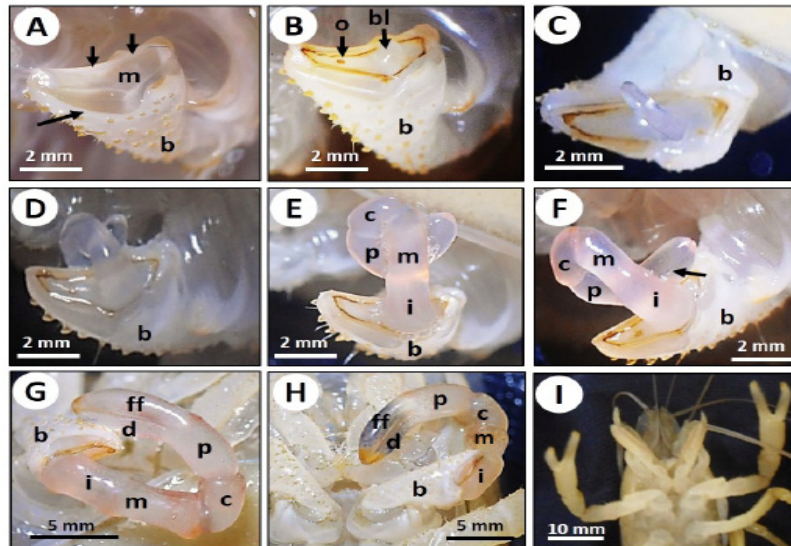


Figure 3. Stages major cheliped regeneration of *C. caementarius* after autotomy.

A) Stage R0: Recess. B) Stage R1: Appearance of blastema. C) Stage R2: Blastema in inverted "J". D) Stage R3: Blastema appearance of a knot. E) Stage R4: Segmented cheliped. F) Stage R5: Cheliped with differentiated propodus. G) Stage R6: Cheliped robust. H) Stage R7: Structured - cheliped. I) Shrimp with chelipeds regenerated after molting are already functional. b: basipodite (b), m: membrane (m), bl: blastema (bl), o: hole in membrane, i: ischium, m: merus, c: carpus, p: propodus, p: palm, ff: fixed finger, d: dactylus, arrows indicate smooth and transparent edges.

Figura 3. Estados de regeneración del quelípedo mayor de *C. caementarius* después de la autotomía.

A) Estado R0: Hendidura. B) Estado R1: Aparición de blastema. C) Estado R2: Blastema en forma de "J" invertida. D) Estado R3: Blastema de apariencia de un nudo. E) Estado R4: Quelípedo segmentado. F) Estado R5: Quelípedo con propodo diferenciado. G) Estado R6: Quelípedo robusto. H) Estado R7: Quelípedo estructurado. I) Camarón con quelípodos regenerados después de la muda ya son funcionales. b: basipodito, m: membrana, bl: blastema, o: orificio de membrana, i: isquio, m: mero, c: carpo, p: propodo, p: palma, df: dedo fijo, d: dactilo. Flechas indican contorno liso y transparente.

dite (rupture plane) a cleft covered with flat and transparent membrane (autotomy membrane) was observed, and the contour consisted of flat and transparent surface.

Stage R₁ (*Blastema appearance*): in the distal extreme of the basipodite cleft, a white lump or recent blastema in eccentric position was formed, and in the other extreme, the hole of the membrane was observed. The contour of the rupture plane was of brownish-yellow surface.

Stage R₂ (*Blastema in shape of inverted "J"*): the transparent blastema was of higher length, thin, of flat uncolored surface, and slightly bend in the shape of an inverted "J", with round apical extreme. No sack surrounding the blastema in this state was observed.

excéntrica y en el otro extremo se observó el orificio de membrana. El contorno del plano de ruptura fue de superficie marrón amarillento.

Estado R₂ (*Blastema en forma de "J" invertida*): el blastema traslúcido fue de mayor longitud, delgado, de superficie lisa sin segmentación y ligeramente doblada en forma de "J" invertida, con extremo apical redondeado. No se observó algún saco que rodeó al blastema en este estado.

Estado R₃ (*Blastema de apariencia de un nudo*): el blastema traslúcido fue de mayor longitud, de mayor diámetro, de superficie lisa sin segmentación y curvada dando la apariencia de un nudo con extremo apical redondeado. No se observó algún saco que rodeó al blastema en este estado.

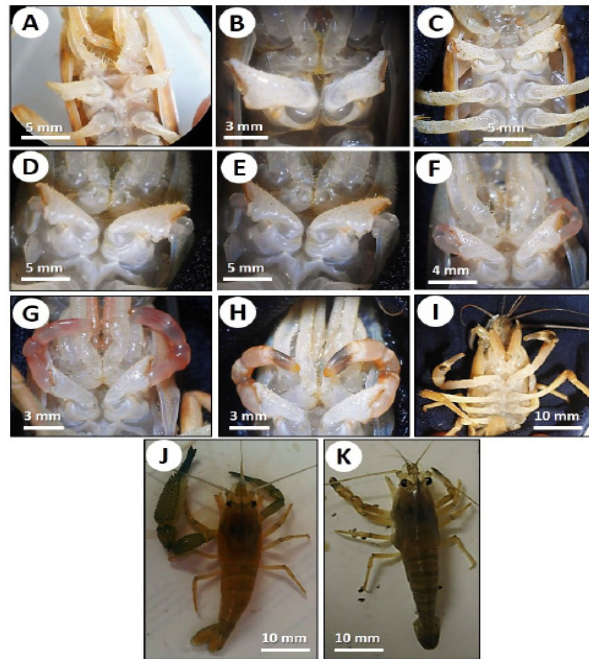


Figure 4. Regeneration of both chelipeds autotomized *C. caementarius*.

The description of the stages of regeneration chelipeds from R0) to R7) are the same as in Figure 3. I) Shrimp with chelipeds regenerated after molting. J) Shrimp with unequal chelipeds before autotomy. K) The same shrimp regenerated both functional and equal chelipeds after molting.

Figura 4. Regeneración de ambos quelípodos autotomizados de *C. caementarius*.

La descripción de las etapas de regeneración de quelípodos desde la R0) hasta la R7) son las mismas que en la Figura 3. I) Camarón con quelípodos regenerados después de la muda. J) Camarón con quelípodos desiguales antes de la autotomía. K) El mismo camarón con ambos quelípodos regenerados, funcionales e iguales después de la muda.

Stage R₃ (Blastema of knot appearance): the transparent blastema was of higher length, higher diameter and flat surface with no segmentation and curved, appearing to be a knot with round apical extreme. No sack surrounding the blastema in this state was observed.

Stage R₄ (Segmented cheliped): the blastema was of higher length and diameter, segmented, distinguishing four missing articles from the chelipeds (ischium – merus – carpus – propodus). The articles presented flat, transparent and slightly pink surface due to the presence of some red and yellow chromatophores. Propodus with outlines of longitudinal segmentation in the apex part. The cheliped was not functional. No sack surrounding the segmented cheliped was observed.

Estado R₄ (Quelipodo segmentado): el blastema fue de mayor longitud y diámetro, segmentado, distinguiéndose los cuatro artejos faltantes del quelipodo (isquio – mero – carpo – propodo). Los artejos fueron de superficie lisa, traslúcida y ligeramente rosados por la presencia de algunos cromatóforos rojos y amarillos. Propodo con esbozos de segmentación longitudinal en la parte apical. El quelipodo no fue funcional. No se observó algún saco que rodeó al quelipodo segmentado.

Estado R₅ (Quelipodo con propodo diferenciado): propodo con pronunciada segmentación longitudinal desde el extremo distal hasta la mitad distal. Los artejos del quelipodo fueron de mayor longitud y diámetro, traslúcidos y más rosados (cromatóforos rojos y amarillos). No se observó algún saco que rodeó al quelipodo con propodo diferenciado.

Stage R_5 (Cheliped with differentiated propodus): propodus with pronounced longitudinal segmentation from the distal extreme to the half distal. The articles of the cheliped were of higher length and diameter, transparent and pinkish (red and yellow chromatophores). No sack surrounding the cheliped with differentiated propodus was observed.

Stage R_6 (Robust cheliped): the cheliped was larger and more robust, of pink color (red, brown and yellow chromatophores), opaque, and with more pronounced articles. In the propodus, the palm, fix finger and dactyl were differentiated, the two latter staying together and whose distal extremes presented slight brown yellowish spots. The cheliped was not functional. No sack surrounding the robust cheliped was observed.

Stage R_7 (Structured cheliped): the ischium, merus, carpus and plam of the propodus acquired a clear brown color. The fix finger and the dactyl are still joint and presented light blue color, whose distal extremes presented higher brown yellowish are of accentuated tones. The complete cheliped was not functional and it remained stick to the body. No sack surrounding the structured cheliped was observed.

During the regeneration process, the autotomized appendages of *C. caementarius*, from the appearance of the blastema (R_1) to the formation of the structured cheliped (R_7), there was no membrane sack that surrounded the chelipeds in formation, therefore the new cheliped grew and was differentiated free and complete until it seemed a miniature cheliped, but after post-autotomy ecdysis, the already formed appendix grew more. Similar results are reported in en *O. trimaculatus* (Alvarez and Meruane, 2009), although different to the reported for *C. pagurus* (Bennett, 1973) and *U. pugilator* (Wu *et al.*, 2004), where the regenerated appendages grow within a protector sack and are freed at the moment of edycsis.

After autotomy, a transparent membrane in the rupture plane that corresponded to the autotomy membrane (*state* R_0) was observed, and after, the hole of the membrane near the appearance of the blastema (*state* R_1) was also visualized. Hopkins (2001) determines that the membrane of autotomy seals the separation of the members at the moment of autotomy production, and the hole of the membrane corresponds to the previous place where the blood vessels pass through (McVean,

Estado R_6 (Quelípodo robusto): el quelípodo fue más grande y más robusto, de color más rosado (cromatóforos rojos, marrones y amarillos), opacos, y con artejos más pronunciados. En el propodo se diferenciaron la palma, el dedo fijo y el dáctilo, manteniéndose unidos estos dos últimos y cuyos extremos distales presentaron manchas tenues marrón amarillenta. El quelípodo no fue funcional. No se observó algún saco que rodeó al quelípodo robusto.

Estado R_7 (Quelípodo estructurado): el isquio, mero, carpo y la palma del propodo adquirieron un color marrón claro. El dedo fijo y el dáctilo todavía se mantienen unidos y fueron de color azul claro cuyos extremos distales presentaron mayor área marrón amarillenta de tonos acentuados. El quelípodo completo no fue funcional y permaneció pegado al cuerpo. No se observó algún saco que rodeó al quelípodo estructurado.

Durante el proceso de regeneración de los apéndices autotomizados de *C. caementarius*, desde la aparición del blastema (R_1) hasta la formación del quelípodo estructurado (R_7), no hubo algún saco membranoso que envolviera a los quelípodos en formación, por lo que el nuevo quelípodo creció y se diferenció libre y completo hasta parecerse a un quelípodo en miniatura, pero después de la ecdisis pos autotomía el apéndice ya formado creció más. Resultados similares se reportan en *O. trimaculatus* (Álvarez y Meruane, 2009), aunque diferente a lo reportado para *C. pagurus* (Bennett, 1973) y *U. pugilator* (Wu *et al.*, 2004), donde los apéndices regenerados crecen dentro de un saco protector y son liberados al momento de la ecdisis.

Después de la autotomía se observó una membrana transparente en el plano de ruptura que correspondió a la membrana de autotomía (*estado* R_0) y más tarde se visualizó el orificio de membrana cerca a la aparición del blastema (*estado* R_1). Hopkins (2001) determina que la membrana de autotomía sella la separación de los miembros al momento de producirse la autotomía, y el orificio de membrana corresponde al lugar del nervio pedal el cual es el único tejido dañado que se retrae en la autotomía, pero que es necesario para el desarrollo del músculo. Además, el orificio de membrana también es el lugar por donde atraviesan vasos sanguíneos (McVean, 1975). El crecimiento basal probablemente ocurrió entre los dos primeros estados de regeneración (*estados* R_0 y R_1), pues la aparición del blastema indica el final del crecimiento basal (Hopkins, 2001).

En cambio, el crecimiento proecdísial se desarrolló paulatinamente desde el crecimiento del blastema (*estado* R_1)

1975). Basal growth probably occurred between the first two states of regeneration (states R_0 and R_1), since the appearance of the blastema indicate the end of the basal growth (Hopkins, 2001).

In contrast, proecdysial growth developed gradually from the growth of the blastema (state R_1) which starts to bend (states R_2 and R_3), to segment (state R_4) and then the formation of missing articles of the chelipeds becomes evident, then, the differentiation of the propodus in size, color and segmentation is observed, where the palm, complete finger and dactyl are completely defined, though non-functional but after the post-autotomy ecdysis. According to Hopkins (1993), the growth of the blastema until bending is due to one side of the blastema experimenting intense mitosis rather than the other side; likewise, he considers that segmentation and differentiation are under hormonal stimulation. A similar development of appendages in regeneration, almost constant, is reported in *P. clarkii* (Rodríguez, 1992) and *O. trimaculatus* (Alvarez and Meruane, 2009).

Length of regenerated chelipeds: length of the major regenerated cheliped after the first post-autotomy molt only reached 58.0 % from its initial length, and the minor cheliped reached 75.2 %; in exchange, when both chelipeds were autotomized, length of the major regenerated cheliped only reached 41.3 % of its initial length and the

que empieza a doblarse (estados R_2 y R_3), segmentarse (estado R_4) y evidenciarse la formación de los artejos faltantes del quelípodo, para luego observarse la diferenciación de propodo tanto en tamaño, color y en segmentación donde se definió completamente la palma, el dedo fijo y el dactilo, aunque no fueron funcionales sino hasta después de la ecdisis post autotomía. De acuerdo con Hopkins (1993), el crecimiento del blastema hasta doblarse es debido a que un lado del blastema experimenta intensa mitosis a diferencia del otro lado; así mismo considera que la segmentación y diferenciación están bajo estimulación hormonal. Un desarrollo similar casi constante de apéndices en regeneración, es reportado en *P. clarkii* (Rodríguez, 1992) y *O. trimaculatus* (Álvarez y Meruane, 2009).

Longitud de quelípodos regenerados: la longitud del quelípodo mayor regenerado después de la primera muda post autotomía solo alcanzó el 58.0 % de su longitud inicial y el quelípodo menor el 75.2 %; en cambio, cuando ambos quelípodos fueron autotomizados, la longitud del quelípodo mayor regenerado solo alcanzó el 41.3 % de su longitud inicial y el quelípodo menor solo el 67.6 % (Tabla 2), evidenciando la dificultad de los camarones de recuperar el tamaño de los quelípodos autotomizados en un solo ciclo de muda; pues en los camarones que no se les practicó autotomía (control) si hubo crecimiento positivo de quelípodos, donde el quelípodo mayor creció de 60.27 ± 1.05 mm a 62.92 ± 1.29 mm, y el menor de 39.87 ± 1.14 mm a 41.68 ± 1.02 mm, ambos en la muda siguiente.

Table 2
Chelipeds length *C. caementarius* regenerated after autotomy (mean \pm standard deviation)

Tabla 2
Longitud de quelípodos regenerados de *C. caementarius* después de la autotomía (media \pm desviación estándar)

Treatments	Cheliped normal length before autotomy (mm)		Cheliped length after 1st MPA (mm)		Regeneration Chelipeds (%)	
	LChM	LChm	LChM	LChm	LChM	LChm
Autotomy ChM	62.70 (± 1.12)	41.60 (± 1.59)	36.37 (± 1.59)	41.58 (± 1.59)	58.00 (± 1.39)	
Autotomy Chm	54.60 (± 1.59)	34.71 (± 1.59)	54.75 (± 1.59)	26.27 (± 1.59)		75.27 (± 1.59)
Autotomy ChM y Chm	58.67 (± 1.59)	36.22 (± 1.59)	24.44 (± 1.59)	24.38 (± 1.59)	41.30 (± 1.59)	67.60 (± 1.59)

ChM: Cheliped major. Chm: Cheliped minor. LChM: Length cheliped major. LChm: Length cheliped minor. MPA: Moulit post autotomy.

QM: Quelípodo mayor. Qm: quelípodo menor. LQM: Longitud del quelípodo mayor. LQm: Longitud del quelípodo menor. MPA: Muda post autotomía.

minor cheliped only 67.6 % (Table 2), evidencing the difficulty of the shrimp to recover the size of the autotomized chelipeds in only one molt cycle, since in shrimps that autotomy was not practiced (control) there was a positive growth of chelipeds, where the major cheliped reached from 60.27 ± 1.05 mm to 62.92 ± 1.29 mm, and the minor from 39.87 ± 1.14 mm to 41.68 ± 1.02 mm, both in the following molt. Similar results are reported in *C. productos*, where regenerated members grow 66 % in the first post-autotomy molt (Brock and Smith, 1998), although different from *C. sapidus*, which regenerates 92 % (Amador *et al.*, 1999).

Mariappan *et al.*, (2000) consider that the chelipeds of the decapods crustaceans are vulnerable to autotomy and their regeneration imposes a regeneration burden in the ordinary budget of energy of the animal that affects the other somatic and regular reproductive processes. This additional energy would explain the small size of the regenerated chelipeds of *C. caementarius* in the first post-autotomy molt. In *Orconectes limosus*, the priority of the first molt has been reported to be body growth, while the energy for the considerable growth of the chelae in regeneration is given in the following molt (Buřič *et al.*, 2009). In addition, it is probable that with another molt the chelipeds of *C. caementarius* reach normal size, as it has been suggested by Reyes (2016) and is given in *C. sapidus* (Smith, 1990).

On the other hand, the small size of the regenerated chelipeds in the first post-autotomy molt would also explain the variability of the size and shape of the chelipeds in males of *C. caementarius*, which are frequently observed in commercial caught, since color and dimension of the articles of the chelipeds were also altered by effect of the regeneration (non-quantified data). In *Uca* species, the regeneration of chelipeds affects the size of allometry and the shape of chelipeds (Rosenberg, 2002); in *O. limosus*, regenerated propodus are smaller and narrower than in the first post-autotomy molt (Buřič *et al.*, 2009).

In addition, the variations of size, shape and color of the regenerated chelipeds articles of males of *C. caementarius* in the first post-autotomy molt do not seem to be definite characteristics to evidence a morphotype, as reported for the species (Rojas *et al.*, 2012), but this altered characteristics are due to the state of regeneration of such appendages, as it is known that males constantly lose chelipeds due to their agony behavior (Reyes,

Resultados similares se reportan en *C. productos*, donde los miembros regenerados crecen el 66 % en la primera muda post autotomía (Brock y Smith, 1998), aunque diferente a *C. sapidus* que regenera el 92 % (Amador *et al.*, 1999).

Mariappan *et al.*, (2000) consideran que los quelípodos de los crustáceos decápodos son vulnerables a la autotomía y su regeneración impone una carga de regeneración en el presupuesto ordinario de energía del animal que afecta los otros procesos somáticos y reproductivos regulares. Esta energía adicional explicaría el tamaño pequeño de los quelípodos regenerados de *C. caementarius* en la primera muda post autotomía. En *Orconectes limosus* se ha reportado que la prioridad de la primera muda es el crecimiento del cuerpo, mientras que la energía para el crecimiento considerable de las quelas en regeneración se da en la siguiente muda (Buřič *et al.*, 2009). Además, con otra muda es probable que los quelípodos de *C. caementarius* alcancen el tamaño normal, como ha sido sugerido por Reyes (2016) y se da en *C. sapidus* (Smith, 1990).

Por otro lado, el pequeño tamaño de los quelípodos regenerados en la primera muda post autotomía explicaría también la variabilidad del tamaño y forma de los quelípodos en machos de *C. caementarius* que se observan frecuentemente en las capturas comerciales, además que el color y las dimensiones de los artejos de los quelípodos se vieron alterados por efecto de la regeneración (datos no cuantificados). En especies de *Uca* la regeneración de quelípodos afecta el tamaño de alometría y la forma de los quelípodos (Rosenberg, 2002); en *O. limosus*, los propodos regenerados son más pequeños y estrechos en la primera muda post autotomía (Buřič *et al.*, 2009).

Así mismo, las variaciones en el tamaño, forma y color de los artejos de quelípodos regenerados de machos de *C. caementarius* en la primera muda post autotomía, no parecen ser características definitivas como para evidenciar a un morfotipo, como se reporta para la especie (Rojas *et al.*, 2012), sino más bien estas características alteradas se deben al estado de regeneración de dichos apéndices, por cuanto se conoce que los machos pierden constantemente los quelípodos por su comportamiento agonístico (Reyes, 2016). De esta manera, en el ambiente natural siempre se encontrarán ejemplares machos en procesos sucesivos de regeneración de quelípodos y de otros apéndices, que conllevaría a obtener camarones machos con quelípodos de colores claros y oscuros a los tonos normales, y de tamaños iguales o desiguales que incluso se confunde con hem-

2016). Therefore, in natural environment male specimens in successive processes of regeneration of chelipeds and other appendages will be always found, which would lead to obtaining male shrimp with clear and dark colors rather than normal tones of chelipeds, of same or uneven size that can be confused with females that have equal chelipeds. Rosenberg (2002) determines that in a population of species of *Uca*, major variance in the size of the chela, due to the regeneration process, is consequence to bigger specimens having higher probability of being regenerating a chela; also, it takes more time in regenerate a big chela than a small one, and the difference in the size of a regenerated chela and the original is more extreme when a big chela is in regeneration. Therefore, the possibility of finding male specimens of *C. caementarius* with regenerated cheliped in their first post-autotomy molt or in regeneration process is quite high, and the works in morphometry must be acknowledged.

Molt: the first two states of regeneration (R_0 and R_1) of chelipeds of *C. caementarius* occurred in recent intermolt and premolt stages (Do), respectively; in contrast, the other regeneration states developed in the other premolt states, before ecdysis (Table 3). Similar results are reported in *U. pugilator*, where proecdysial growth starts from Do and required a pulse of ecdisteroids (Durica et al., 1999; Hopkins, 2001).

bras que poseen quelípodos iguales. Rosenberg (2002) determina que en una población de especies de *Uca*, la mayor varianza en el tamaño de quela, debido al proceso de regeneración, se debe a que los ejemplares más grandes tienen mayor probabilidad de encontrarse regenerando una quela; además les toma mayor tiempo en regenerar una quela grande que una pequeña y la diferencia en el tamaño de una quela regenerada y la original es más extrema cuando una quela grande está en regeneración. Por consiguiente, la posibilidad de encontrar ejemplares machos de *C. caementarius* con quelípodos regenerados en su primera muda post autotomía o en proceso de regeneración es bastante alta, y debe tenerse en cuenta en los trabajos de morfometría.

Muda: los dos primeros estados de regeneración (R_0 y R_1) de quelípodos de *C. caementarius* ocurrió en estados de intermuda y premuda reciente (Do), respectivamente; en cambio, los otros estados de regeneración desarrollaron en los demás estados de premuda, antes de la ecdisis (Tabla 3). Similares resultados se reportan en *U. pugilator* donde el crecimiento proecdysial inicia desde Do y requiere un pulso de ecdisteroides (Durica et al., 1999; Hopkins, 2001).

Así mismo, la autotomía de ambos quelípodos ocasionó reducción significativa ($p < 0.05$) de la duración del ciclo de muda (18.67 ± 0.58 días) en relación a los que sufrieron

Table 3.
Chelipeds stages regeneration of *C. caementarius* and its relationship with molting.

Tabla 3.
Estados de regeneración de quelípodos de *C. caementarius* y su relación con los estados de muda.

Stages regeneration chelipeds	Moult stages
R_0 : Indent	C
R_1 : Appearance of the blastema	Do
R_2 : Blastema as "J" inverted	Do – D1'
R_3 : Blastema appearance of a knot	D1'
R_4 : Cheliped segmented	D1''
R_5 : Cheliped with differentiated propodus	D1''' – D2
R_6 : Cheliped robust	D2 – D3
R_7 : Cheliped structured	

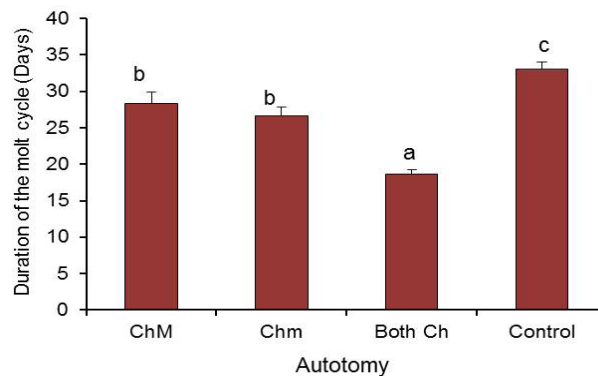


Figure 5. Molting cycle length of male *C. caementarius*, according autotomy of chelipeds.
ChM: Cheliped major, Chm: Cheliped minor, Ch: Cheliped.

Figura 5. Duración del ciclo de muda de machos de *C. caementarius*, según autotomía de quelípodos.
QM: Quelípedo mayor, Qm: Quelípedo menor, Q: Quelípedo.

Likewise, autotomy in both chelipeds caused significant reduction ($p < 0.05$) on the duration of the molt cycle (18.67 ± 0.58 days) in relation to those that suffered minor cheliped autotomy (26.67 ± 1.86 days) or the major cheliped (28.33 ± 1.53 days), where the latter were similar but different with control (33.00 ± 1.00 days) (Figure 5). This indicates that shrimp that suffered autotomy in both chelipeds accelerated molting more than those with autotomized cheliped, which makes the immediate response of the species to regenerate lost chelipeds evident, given the functionality that such appendages represent. The reduction of the intermolt period due to the effect of the autotomy of appendages is due to ecdysteroid hormones from the appearance of the blastema (Hopkins, 2001; Barria and Gonzales, 2008). Similar results are reported in *P. kadiankensis* (Stoffel and Hubschman, 1974), *P. clarkii* (Nakatani and Ötsu, 1979) and *C. sapidus* (Amador *et al.*, 1996).

Growth: male adult shrimp of *C. caementarius* that in the first post-autotomy molt regenerated chelipeds, significantly reduced ($p < 0.05$) total weight, in relation to control, although total length was not in the same magnitude (Table 4). Hence, shrimp that regenerated both chelipeds strongly reduced their total weight (-21.67 %), being lighter with the regeneration of the major cheliped (-11.12 %) and even more with the minor cheliped (-2.29 %). In exchange, control had increase in total weight (7.96 %). This reduction of total weight of shrimp is related with the decrease of the length in regenerated chelipeds in the first post-autotomy molt, as it has been previously explained.

autotomía del quelípedo menor (26.67 ± 1.86 días) o del quelípedo mayor (28.33 ± 1.53 días) donde estos últimos fueron similares pero diferentes con el control (33.00 ± 1.00 días) (Figura 5). Esto indica que los camarones que sufrieron autotomía de ambos quelípodos aceleraron la muda más que aquellos con un quelípedo autotomizado, lo cual evidencia la respuesta inmediata de la especie para regenerar los quelípodos perdidos dado la funcionalidad que representan dichos apéndices. La reducción del período de intermuda por efecto de la autotomía de apéndices se debe a las hormonas ecdisteroides desde la aparición del blastema (Hopkins, 2001; Barria y Gonzales, 2008). Similares resultados se reportan en *P. kadiankensis* (Stoffel y Hubschman, 1974), *P. clarkii* (Nakatani y Ötsu, 1979) y *C. sapidus* (Amador *et al.*, 1996).

Crecimiento: los camarones machos adultos de *C. caementarius* que en la primera muda post autotomía regeneraron quelípodos, redujeron significativamente ($p < 0.05$) el peso total, en relación con el control; aunque la longitud total no fue en la misma magnitud (Tabla 4). Así, los camarones que regeneraron ambos quelípodos redujeron fuertemente su peso total (-21.67 %), siendo más leve con la regeneración del quelípedo mayor (-11.12 %) y más aún con el quelípedo menor (-2.29 %). En cambio, con los del control hubo incremento en el peso total (7.96 %). Esta reducción del peso total del camarón, se relaciona con la disminución de la longitud de los quelípodos regenerados en la primera muda post autotomía, como ha sido explicado anteriormente.

Table 4
Growth parameters of *C. caementarius* before autonomy and after the first post-autotomy moult, according treatments (mean \pm standard deviation)

Tabla 4
Parámetros de crecimiento de *C. caementarius* antes de la autotomía y después de la primera muda post autotomía, según tratamientos (media \pm desviación estándar)

Growth parameters shrimp	Autotomy cheliped major	Autotomy cheliped minor	Autotomy both chelipeds	Chelipeds intact (control)
TL before autotomy (mm)	59.49 \pm 1.19	59.01 \pm 0.66	61.26 \pm 2.40	56.32 \pm 0.94
TL after 1st PMA (mm)	60.19 \pm 1.32	60.10 \pm 0.17	60.30 \pm 1.91	58.03 \pm 1.17
PG in TL (%)	1.17 \pm 0.21 ^c	1.86 \pm 0.85 ^{ab}	-1.55 \pm 0.75 ^b	3.03 \pm 0.35 ^a
TW before autotomy (g)	8.85 \pm 0.07	8.20 \pm 0.99	9.63 \pm 1.74	8.31 \pm 0.40
TW after 1st PMA (g)	7.87 \pm 0.23	8.01 \pm 0.93	7.55 \pm 1.41	8.97 \pm 0.40
PG in TW (%)	-11.12 \pm 3.34 ^c	-2.29 \pm 0.41 ^b	-21.67 \pm 0.78 ^d	7.96 \pm 0.39 ^a

TL: Total length. TW: Total weight. PG: Percentage gain. PMA: Post moult autotomy. Data with equal letters in superindex in a same row indicate there is no significant difference ($p>0.05$).

LT: Longitud Total. PT: Peso total. PG: Porcentaje de ganancia. APM: Autotomía post-muda. Los datos con las mismas letras en el superíndice en la misma fila indican que no existe diferencia significativa ($p>0.05$).

According to the results, it is possible to infer the negative effect that autotomy would have in commercial culture of chelipeds of *C. caementarius*, since even though autotomy accelerated molting as an immediate response to recover the loss appendages, it negatively affected growth in the weight because the regenerated chelipeds were lower in size than the first post-autotomy molt. In consequence, it is convenient to avoid male shrimp losing their cheliped when harvest is close. Reyes (2016) accomplishes to decrease the interaction and cannibalism of male adults of the species by culturing in individual recipients, though economic feasibility would have to be evaluated.

Conclusions

For the first time, eight states of chelipeds regeneration in male shrimp of *C. caementarius* were characterized.

Molt period, from autotomy to ecdysis in male shrimp of *C. caementarius* was significantly ($p<0.05$) lower in those with both chelipeds (18 days), followed by those with autotomy with the minor cheliped (26 days) and autotomy of the major cheliped (28 days). The major autotomized cheliped regenerated 58 % of its initial length, the minor autotomized cheliped regenerated 75.2 %; and when both chelipeds were autotomized, the regeneration of the major cheliped was 41.3 % and of the minor cheliped was 67.6 %. In addition, the autotomy of both

De acuerdo a los resultados, es posible inferir el efecto negativo que tendría la autotomía de quelípodos en el cultivo comercial de *C. caementarius*, que si bien la autotomía aceleró la muda como una respuesta inmediata del animal para recuperar los apéndices perdidos, afectó negativamente el crecimiento en peso porque los quelípodos regenerados fueron de menor tamaño en la primera muda post autotomía. En consecuencia, es conveniente evitar que los camarones machos, próximos a la cosecha, pierdan los quelípodos. Reyes (2016) logra disminuir la interacción y el canibalismo de machos adultos de la especie mediante el cultivo en recipientes individuales, aunque faltaría evaluar la factibilidad económica.

Conclusiones

Se caracterizaron por primera vez ocho estados de regeneración de quelípodos en machos del camarón *C. caementarius*.

El período de muda desde la autotomía hasta la ecdisis en los camarones machos de *C. caementarius* fue significativamente ($p<0.05$) menor en aquellos con autotomía de ambos quelípodos (18 días), seguido por aquellos con autotomía del quelípodos menor (26 días) y autotomía del quelípodos mayor (28 días). El quelípodos mayor autotomizado regeneró el 58 % de su longitud inicial, el quelípodos menor autotomizado regeneró el 75.2 %; y cuando ambos quelípodos fueron autotomizados, la regeneración del quelípodos mayor fue 41.3 % y del quelípodos menor 67.6 %. Además, la autotomía de ambos

chelipeds strongly reduced the gain in weight (-21.67 %), followed by those that had autotomy of the major cheliped (-11.12 %) and autotomy of the minor cheliped (-2.29 %); growth in control was 7.96 %.

quelípodos redujo fuertemente la ganancia en peso (-21.67 %), seguido por los que tuvieron autotomía del quelípodo mayor (-11.12 %) y autotomía del quelípodo menor (-2.29 %); en el control el crecimiento fue de 7.96 %.

Acknowledgements

To the Academic Department of Biology, Microbiology and Biotechnology from the National University of Santa, Chimbote, Peru, for allowing the use of facilities and lab equipment.

Agradecimientos

Al Departamento Académico de Biología, Microbiología y Biotecnología de la Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú, por permitir hacer uso de las instalaciones y de los equipos de laboratorio.

References

- Álvarez J and Meruane J. 2009. Regeneración de extremidades en la jaiba remadora *Ovalipes trimaculatus* (de Han, 1833) (Crustacea, Brachyura, Portunidae) y su aplicación práctica en acuicultura y pesquería. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(2): 285-293. <http://www.revbiolmar.cl/resumenes/v442/442-285.pdf>
- Amador, L.E., Lugo, J.C. and Cabrera, P. 1996. La remoción de quelípodos en la inducción a la ecdisis de la jaiba azul *Callinectes sapidus* Rathbun en condiciones de laboratorio. *Revista de Investigaciones Marinas* 17(2-3): 167-173.
- Amador, L.E., Lugo, J. and Cabrera, P. 1999. La quelotomía y la ablación ocular en la obtención de jaiba de concha suave *Callinectes sapidus* Rathbun en condiciones de laboratorio. In: Creswell L (ed). Proceedings of the 45th annual session of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Charleston, South Carolina. 588-589 pp.
- Barki, A., Karplus, I. and Goren, M. 1992. Effects of size and morphotype on dominance hierarchies and resource competition in the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Animal Behaviour* 44: 547-555. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000334729290064G>
- Barria, E.M. and Gonzales, M.I. 2008. Effect of autotomy and regeneration of the chelipeds on growth and development in *Petrolisthes laevigatus* (Guérin, 1835) (Decapoda, Anomura, Porcellanidae). *Crustaceana* 81(6): 641-652. https://www.researchgate.net/publication/233619717_Effect_of_autotomy_and_regeneration_of_the_chelipeds_on_growth_and_development_in_Petrolisthes_laevigatus_Guerin_1835_Decapoda_Anomura_Porcellanidae
- Bennett, D.B. 1973. The effect of limb loss and regeneration on the growth of the edible crab, *Cancer pagurus*, L. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 13: 45-53. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/00220981739004_52
- Brock, R.E. and L.D. Smith. 1998. Recovery of Claw Size and Function Following Autotomy in *Cancer productus* (Decapoda: Brachyura). *Biology Bulletin* 194: 53-62.
- Buñič, M., Kouba, A. and Kózak, P. 2009. Chela regeneration in European alien crayfish *Orconectes limosus* (Rafinesque 1817). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 4: 394-395. <http://www.kmae-journal.org/articles/kmae/pdf/2009/03/kmae09037.pdf>
- Cooper, R.L. 1998. Development of sensory processes during limb regeneration in adult crayfish. *The Journal of Experimental Biology* 201: 1745-1752. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9576885>
- Durica, D.S., Chung, A.C.K. and Hopkins, P.M. 1999. Characterization of *EcR* and *RXR* gene homologs and receptor expression during the molt cycle in the crab, *Uca pugnator*. *American Zoologist* 39: 758-773.
- Hopkins, P.M. 1993. Regeneration of walking legs in the fiddler crab. *Uca pugnator*. *American Zoologist* 33: 348-356.
- Hopkins, P.M. 2001. Limb Regeneration in the fiddler crab, *Uca pugnator*: Hormonal and growth factor control. *American Zoologist* 41: 389-398. <http://az.oxfordjournals.org/content/41/3/389>

- Kuris, A.M. and Mager, M. 1975. Effect of limb regeneration on size increase at molt of the shore crabs *Hemigrapsus oregonensis* and *Pachygrapsus crassipes*. *Journal Experimental Zoology* 193: 353–360.
- Lip, G.B. 1976. Primera madurez sexual del camarón de río *Cryphiops caementarius* Molina, 1782 (Natantia: Palaemonidae) en el río Moche. (Tesis Bachiller). Trujillo. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Mariappan, P., Balasundaram, C. and Schmithz, B. 2000. Decapod crustacean chelipeds: an overview. *Journal Bioscience* 25(3): 301-313.
- McVean, A. 1973. Autotomy in *Carcinus maenas* (Decapoda: Crustacea). *Journal Zoology* 169: 349-364. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-7998.1973.tb04561.x/pdf>
- McVean, A. 1975. Autotomy. Mini-review. *Comparative Biochemical Physiology*; 51A: 497-505.
- Méndez, M. 1981. Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decapoda) del mar y ríos de la costa del Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 5: 1-170. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/1028/BOL%205.pdf?sequence=1>
- Nakatani, I., Ôtsu, T. 1979. The effects of eyestalk, leg and uropod removal on the molting and growth of Young crayfish, *Procambarus clarkii*. *Biology Bulletin* 157: 182-188.
- New, M.B. and Valenti, W.C. 2000. Freshwater prawn culture. The farming of *Macrobrachium rosenbergii*. United Kingdom. *Blackwell Science* 30-31 pp.
- New, M.B. 2002. Farming freshwater prawns. A manual for the culture of the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *FAO Fisheries Technical Paper* 458: 1-207. <http://www.fao.org/3/a-y4100e.pdf>
- Petriella, A.M. and Boschi, E.E. 1997. Crecimiento en crustáceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. *Investigaciones Marinas* 25: 135-157. <http://www.scielo.cl/pdf/imar/v25/art10.pdf>
- PRODUCE. 2010. Ministerio de la Producción del Perú. Anuario estadístico 2010. 30 pp. In http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/ANUARIO_ESTADISTICO/anuario-estadistico-2010.pdf
- PRODUCE. 2014. Ministerio de la Producción del Perú. Anuario estadístico pesquero y acuícola 2014. 33pp. In <http://www.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/estadistica/anuario/anuario-estadistico-pesca-2014.pdf>
- Reyes, W.E. and Lujan, H. 2003. Estados y subestados del ciclo de muda del camarón de río (*Cryphiops caementarius* Molina, 1872) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae). II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura, 808-817 pp. <http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/Civa%202003%20Estadios%20Muda.pdf>
- Reyes, W.E. 2011. Crecimiento, reproducción y supervivencia de hembras del camarón de río *Cryphiops caementarius* criados en recipientes individuales. *SCIENDO* 14(1-2): 75-86. http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/549/pdf_16
- Reyes, W. 2016. Efecto del recipiente de cultivo sobre la supervivencia y el crecimiento de machos de *Cryphiops caementarius* en sistemas individualizados. *Revista Bio Ciencias* 3(4): 311-325. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/166/231>
- Rodríguez, G.A. 1992. Tamaño poblacional, morfometría y crecimiento de *Procambarus clarkii* (Girard) (Crustacea: Cambaridae) del área central de Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Rodríguez, A. 2004. Hábitos alimentarios de las jaibas *Callinectes bellicosus* Stimpson y *C. arcuatus* Ordway (Brachiura: Portunidae) en bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Tesis Maestría. Instituto Politécnico Nacional. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14533/rodriguezro1.pdf?sequence=1>
- Rojas, R., Morales, R.C., Rivadeneira, M.M. and Thiel, M. 2012. Male morphotypes in the Andean river shrimp *Cryphiops caementarius* (Decapoda: Caridea): morphology, coloration and injuries. *Journal of Zoology* 288(1): 21-32.
- Rosenberg, M.S. 2002. Fiddler crab claw shape variation: a geometric morphometric analysis across the genus *Uca* (Crustacea: Brachyura: Ocypodidae). *Biological Journal of the Linnean Society* 75: 147–162.
- Seidel, R.A., Schaefer, R.L. and Donaldson, T.J. 2007. The role of cheliped autotomy in the territorial behavior of the freshwater prawn *Macrobrachium lar*. *Journal of Crustacean the Biology* 27(2): 197-201.
- Skinner, D.M. and Graham, D.E. 1972. Loss of limbs as a stimulus to ecdysis in Brachyura (True crabs). *Biology Bulletin* 143: 222-233. <http://www.biolbull.org/content/143/1/222.full.pdf+html>
- Smith, L.D. 1990. Patterns of limb loss in the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, and the effects of autotomy on growth. *Bulletin of Marine Science* 46(1): 23-36. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/>

- bullmar/1990/00000046/00000001/art00003?crawler=true
- Stoffel, L.A. and Hubschman, J.H. 1974. Limb loss and the molt cycle in the freshwater shrimp, *Palaemonetes kadijensis*. *Biology Bulletin* 147: 203-212.
- Viacava, M., Aitken, R. and Llanos, J. 1978. Estudio del camarón en el Perú 1975-1976. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 3 (5): 161-233. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/977/BOL%203%285%29.pdf?sequence=3>
- Wasiw, J. and Yépez, V. 2015. Evaluación poblacional del camarón *Cryphiops caementarius* en ríos de la costa sur del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 26(2): 166-181. <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/11103/10077>
- Wu, X., Hopkins, M. and Durica, D.S. 2004. Observation of autotomy-independent limb regeneration in the fiddler crab, *Uca pugilator*. *Bulletin Biochemistry and Biotechnology* 17: 9-19.
- Yépez, V. and Bandín, R. 1998. Evaluación del recurso camarón de río *Cryphiops caementarius* en los ríos Ocoña, Majes-Camaná y Tambo, octubre 1997. *Informe Progresivo del Instituto del Mar del Perú* 77: 3-21. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/1259/IP%2077.1.pdf?sequence=1>
- Yu, X., Chang, E.S. and Mykles, D.L. 2002. Characterization of limb autotomy factor–proecdysis (LAFpro), isolated from limb regenerates, that suspends molting in the land crab *Gecarcinus lateralis*. *Biology Bulletin* 202: 204–212. <http://www.biolbull.org/content/202/3/204.full.pdf+html>

Cite this paper/Como citar este artículo: Reyes, W., Terrones, S., Baltodano, I. (2017). Effects chelipeds regeneration in molting and growth of male *Cryphiops caementarius* Molina 1782 (Decapod, Palaemonidae). *Revista Bio Ciencias* 4(4), 18 pages, Article ID: 04.04.05. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/261/292>

