

The Biologist (Lima), 2020, 18(2), jul-dec: 213-222.



The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

MORPHOMETRIC DIFFERENCES BETWEEN TWO POPULATIONS OF RED CRAB
PROCAMBARUS (SCAPULICAMBARUS) CLARKII (GIRARD, 1852) (CRUSTACEA: DECAPODA:
CAMBARIDAE)

DIFERENCIAS MORFOMÉTRICAS ENTRE DOS POBLACIONES DE CANGREJO ROJO
PROCAMBARUS (SCAPULICAMBARUS) CLARKII (GIRARD, 1852) (CRUSTACEA: DECAPODA:
CAMBARIDAE)

Julián Yessid Arias-Pineda^{1,2,3}; Juan Sebastián García Sánchez^{2*} & Nediker Steven Castillo^{1,2}

¹Universidad Incca de Colombia. Grupo de investigación en Biología evolutiva Neotropical ECOBIT.

²Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Grupo de Investigación en Artrópodos "Kumangui". Bogotá, Colombia.

³Laboratorio de Zoología y Ecología Acuática LAZOE. Universidad de los Andes.

*Corresponding author: juansegarcias1002@gmail.com

ABSTRACT

Procambarus clarkii (Girard, 1852) is a cosmopolitan invasive decapod. Its tolerance to a wide range of environmental conditions, its high adaptability and its flexible feeding strategy favor its establishment in the places in which it is introduced. Using geometric morphometry, morphology of three body segments - pereion, propodium and uropodium- were compared between two populations of *P. clarkii*, one native to Louisiana (USA) and the other invasive in Macanal (Colombia). No significant differences between sexes or populations were found in the propodium or uropodium, but the pereion was wider in the Louisiana population. These morphological changes indicate the ability of phenotypic adjustment to different environmental conditions. Future genetic and "common garden" studies are needed to unravel the genetic and environmental components of the differences found.

Keywords: anatomy – astacid – invader – phenotypes – variations

doi:10.24039/rtb2020182769

RESUMEN

Procambarus clarkii (Girard, 1852) es un decápodo cosmopolita invasor. Su tolerancia a una amplia gama de condiciones ambientales, su elevada capacidad de adaptación y su estrategia de alimentación flexible favorecen su establecimiento en los lugares en los que es introducido. Por medio de la morfometría geométrica se estudiaron diferencias morfológicas en tres segmentos corporales -pereion, propodio y uropodo- entre dos poblaciones de *P. clarkii*, una nativa en Luisiana (EE.UU) y otra invasora en Macanal (Colombia). No se encontraron diferencias significativas entre sexos o poblaciones en el propodio o el uropodo, pero sí en el pereion, que fue significativamente más ancho en la población de Luisiana. Estos cambios morfológicos indican la capacidad de ajuste fenotípico a distintas condiciones ambientales. Futuros estudios genéticos y de "jardín común" deberían desentrañar los componentes genético y ambiental de las diferencias encontradas.

Palabras clave: anatomía – astacido – fenotipos – invasor – variaciones

INTRODUCCIÓN

El estudio de organismos invasores ha centrado su atención en los factores que determinan el éxito de estos (Aguilar *et al.*, 2007; Pérez & Bueno, 2015), así como a las interacciones bióticas en las que participan (Barnes *et al.*, 1993; Ruppert & Barnes, 1996; Cognetti & Magazzu, 2001; Pérez & Bueno, 2015), o al impacto que generan estas especies sobre la biodiversidad (Aguilar *et al.*, 2007). Dado que las especies invasoras se enfrentan a condiciones diferentes a las de su hábitat natural, las cuales son definidas por el ambiente, desencadenan procesos de adaptación, lo que conlleva a un ajuste en sus actividades biológicas a esas nuevas condiciones (Sax *et al.*, 2007; Van Kleunen *et al.*, 2018). Más específicamente, los cangrejos exóticos son paradigmas de invasión (Dana *et al.*, 2011), se trata en general de especies prolíficas, competidoras y que colonizan ambientes de fácil dispersión, generalmente alteran los ecosistemas acuáticos y ocasiona pérdidas económicas en algunos aprovechamientos como lo es el cultivo de arroz (Alcorlo *et al.*, 2008).

Existen innumerables escenarios de invasión causados por decápodos exóticos (Dana *et al.*, 2011), dentro de los astacideos, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Cambaridae), cangrejo de río rojo o cangrejo de Luisiana, originario del noreste de México y sur de los EE.UU (Chucholl, 2011), es uno de los crustáceos de agua dulce con mayor distribución a nivel mundial (Hobbs, 1989; Huner & Lindqvist, 1991; Fetzner & Crandall,

2001; Gherardi *et al.*, 2000; Rodríguez-Serna *et al.*, 2002; Gherardi, 2006; Chucholl, 2011; Gherardi *et al.*, 2011; Rodríguez-Almaraz & García-Madrigal, 2014; Anastácio *et al.*, 2015), y una especie invasora en todos los continentes a excepción del australiano y el antártico (Franco, 2014). Esta especie ha demostrado ser una amenaza para los ecosistemas donde se encuentra como invasivo, debido a su éxito en la colonización de nuevos ambientes, logrando así su establecimiento en hábitats donde logran sustituir algunas poblaciones que pertenecen a la carcinofauna local (Arias-Pineda & Pedroza-Martínez, 2018). Esta característica le ha merecido ser considerada como la especie con mayor plasticidad ecológica de todos los decápodos; dicha plasticidad se da en virtud al empleo de la estrategia-r, que consiste en un ciclo de vida corto y una alta tasa de fecundidad que le permite adaptarse a nuevos ambientes, logrando ser tolerante a niveles bajos de oxígeno, como también ser resistentes a altas temperaturas, a períodos prolongados de sequía, y a permanecer en galerías subterráneas donde es su hábitat predilecto especialmente en época de mudas y de postura (Campos, 2005).

Al ser una especie con una alta plasticidad fenotípica, su dimensión corporal puede verse afectada en gran o menor medida (Campos, 2005). El tamaño medio de *P. clarkii* puede sufrir variaciones intraespecíficas dependiendo de las condiciones del medio (Cano & Ocete, 2000). Estas se pueden encontrar por medio del análisis cuantitativo de la variación fenotípica y sus relaciones con las características ambientales y genéticas ayuda enormemente a encontrar esto

(Jaramillo, 2011). Un extenso conjunto de factores biológicos y no biológicos subyacen a tal variabilidad interactuando de un modo complejo para modelar los individuos, las poblaciones y las especies (Slice, 2007). Los factores biológicos son el producto de procesos micro y macroevolutivos interactuando con el ambiente (Dujardin, 2008). Uno de estos factores es el tamaño y la conformación morfológica, estos resultan de la interacción entre los efectos maternos y la calidad de vida durante el desarrollo con las combinaciones genotípicas heredadas de los parentales, en un marco genético dado por la historia evolutiva (Caro-Riaño *et al.*, 2009). Por lo tanto, las poblaciones y especies adquieren aspectos morfológicos variables que impactan de manera diferencial su biología y ecología (Jaramillo, 2011).

Estos rasgos variables morfológica se puede cuantificar y analizar por medio de la morfometría geométrica (Slice, 2005, 2007); esta, captura la geometría de las estructuras y mantiene esta información en los análisis, combinando geometría, estadística y biología, para con ello lograr visualizar variaciones morfológicas de la estructura estudiada (Rohlf & Marcus, 1993; Adams *et al.*, 2004; Diawol *et al.*, 2015). En crustáceos invasores dulceacuícolas, no existen precedentes del uso de la morfometría geométrica en poblaciones de distintas regiones, debido a que su enfoque de estudio se centra en cómo actúa esta especie como organismo invasor y que afectaciones da este hacia el ecosistema (Arias-Pineda & Pedroza-Martínez, 2018).

Este trabajo tiene como objetivo averiguar si existen diferencias entre sexos y entre poblaciones en tres segmentos corporales del cangrejo rojo. Se compararon una población nativa de Luisiana (EE.UU.) y otra invasora de Macanal (Boyacá, Colombia). El estudio comparativo de las dos poblaciones permite entender el éxito invasor de *P. clarkii*, al desentrañar su capacidad de ajuste morfológico a un nuevo entorno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se evaluaron 100 individuos de *P. clarkii*

depositados en el Museo de Historia Natural de la Universidad de los Andes (ANDES-IN) (Colombia). Estos individuos procedían de dos poblaciones: una población nativa del lago Pontchartrain (Luisiana, EE.UU.: 30° 06' 18,8" N, 90° 08' 43,6" O, 162 msnm) y una población invasora del embalse de Chivor y sus afluentes (Macanal, Boyacá, Colombia: 4° 58' 01,65" N, 73° 19' 59,99" O; 1300-1648 msnm). Los individuos evaluados fueron colectados entre 1985 y 1990 en Luisiana y entre 2012 y 2015 en Colombia. Se evaluaron 25 machos y 25 hembras por población.

Ambas localidades difieren en humedad relativa y temperatura. Macanal tiene mayor humedad relativa y menor temperatura que Luisiana (IDEAM, 2019).

Análisis morfométrico

Se tomaron tres fotografías por individuo de *P. clarkii*, correspondientes a tres segmentos corporales: pereion, propodio y uropodo (Figura 1). Las fotografías se obtuvieron por medio de una cámara SONY α 300 montada sobre un trípode, a una distancia estandarizada de 25 cm. Sobre cada segmento corporal se establecieron puntos anatómicos homólogos de referencia o marcas (*landmarks*) (Figura 1): cinco en el pereion, seis en el propodio y 16 en el uropodo. Las marcas se digitalizaron en el programa ImageJ (Rueden *et al.*, 2017).

Los análisis morfométricos de *P. clarkii* se llevaron a cabo en el programa MorphoJ (Klingenberg, 2011). En primer lugar, se realizó un análisis de Procrustes, que centra, rota y estandariza las configuraciones de marcas de cada individuo en el espacio cartesiano. De este modo, se eliminaron las diferencias de tamaño y se dejaron sólo las diferencias de forma entre individuos. Las diferencias de forma entre individuos se cuantifican como distancias de Procrustes con respecto a una configuración de consenso de toda la muestra, estimada como la media de las coordenadas para cada marca. A partir del análisis de Procrustes se obtuvo una matriz de covarianza de las coordenadas Procrustes. Esta matriz de covarianza se sometió a un análisis de componentes principales, que descompone la variación total en la forma en un número reducido de componentes, independientes entre sí. De modo gráfico, se utilizó la técnica de “función de capas

finas” (*thin-plate splines*) para obtener la representación gráfica de las variaciones que presentaba cada sexo y cada población con respecto a la configuración consenso, obtenida al

combinar las configuraciones de cada individuo según su localidad, con respecto a los individuos localizados en los extremos del eje del primer componente principal.

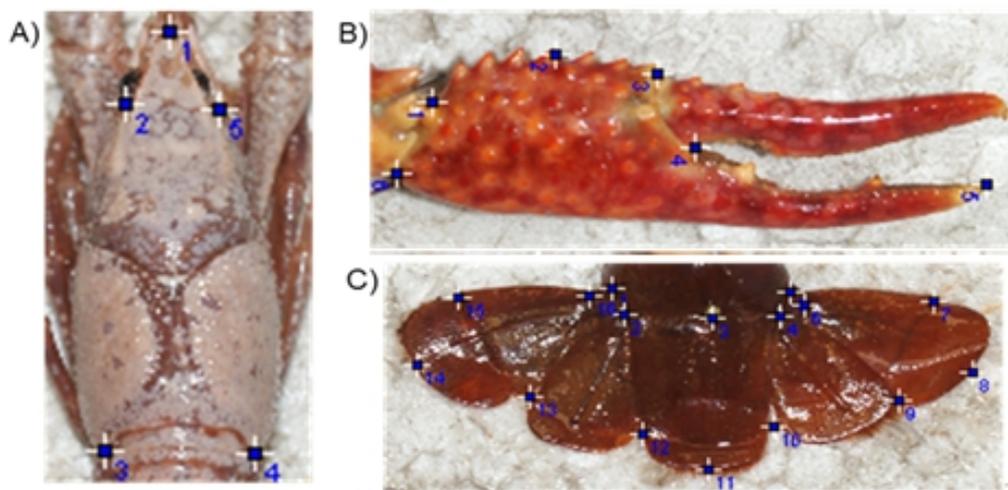


Figura 1. Ubicación de los landmarks (cruces numeradas) en los distintos segmentos corporales de *Procamburus clarkii*: A) Pereion, B) Propodio, C) Uropodo.

Análisis de datos

Los componentes principales extraídos del análisis de morfometría geométrica se compararon entre sexos y poblaciones mediante un ANOVA de dos vías o su alternativa no paramétrica, la prueba de Kruskal-Wallis. En caso de encontrarse diferencias significativas, se llevó a cabo una test a posteriori de Tukey. Estos análisis se llevaron a cabo en el entorno estadístico R (Versión 2.12.2, 2011).

Aspectos éticos

El permiso de colecta fue con base a la resolución 0738 del 08 de julio del 2014 con número de aprobación 1301454370110011110 del Ministerio de Ambiente y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. R

RESULTADOS

El análisis de morfometría geométrica extrajo dos componentes principales para el pereion, cuatro

para el propodio y tres para el uropodo de *P. clarkii* (Tabla 1).

Se encontraron diferencias entre sexos y poblaciones en la morfología del pereion, pero no del propodio y el uropodo de *P. clarkii* (Tabla 2). En los machos se observó la mayor variación entre poblaciones en la zona que rodea el costado del pereion, correspondiente a la zona pleural (Figura 2A). Los machos de Luisiana fueron de mayor tamaño que los de Colombia (Figura 2A). En las hembras se observó la mayor variación entre los puntos de referencia 2 y 5, con un mayor ensanchamiento en la zona correspondiente a los primeros terguitos del pereion (Figura 2B). Las hembras de Luisiana fueron más robustas en la zona cercana al cefalón que las de Colombia (Figura 2B). El primer componente principal extraído para el pereion fue significativamente mayor en los machos de ambas poblaciones y menor en las hembras (Figura 2C) y, dentro de las hembras, fue significativamente mayor en Luisiana (Figura 2C).

Tabla 1. Porcentaje de variación explicada por cada uno de los componentes principales obtenidos mediante un análisis de morfometría geométrica, para cada segmento evaluado de *Procambarus clarkii*. Solo se tuvieron en cuenta los componentes principales de mayor porcentaje para el caso del propodio (10%) y el uropodo (8%).

Estructura evaluada	Componente Principal (PC)	Porcentaje (%)
Pereion	PC1	78
Pereion	PC2	17
Propodio	PC1	35
Propodio	PC2	16
Propodio	PC3	12
Propodio	PC4	8
Uropodo	PC1	16
Uropodo	PC2	12
Uropodo	PC3	10

Tabla 2. Resultados de la ANOVA de dos vías general para las regiones corporales evaluadas, Pereion, Pleon y Uropodo de *Procambarus clarkii*. EE = Error estándar. p= probabilidad. F = Estadístico de Fisher. gl = grados de libertad. R²= coeficiente de determinación.

Región	R	R ajustado	F	EE	gl	p
Corporal						
Pereion	0,52	0,50	23,99	0.01	64	1,61E ⁻⁰⁷
Pleon	0,83	0,80	13	0.02	64	0,0035
Uropodo	0,98	0,91	10	0.02	63	0,2654

Tabla 3. Resultados de la ANOVA de dos vías para el Pereion, entre hembras (H) y machos (M) de *Procambarus clarkii*, para las poblaciones de Macanal, Boyacá (m) y Lousiana, Estados Unidos, (l), en donde se observa que existen diferencias significativas entre ambas variables con un p: 1.609e⁻¹⁰. EE = Error estándar. gl = grados de libertad. t = t de student. R²= coeficiente de determinación.

	Estimación	EE	t	P.
Sexo Hm	0,01	0,003	6,11	6,34e ⁻⁰⁸ ***
Sexo Hl	-0,03	0,004	8,44	5,40e ⁻¹² ***
Sexo Ml	-0,01	0,004	4,02	0,000156 ***
Sexo Mm	-0,02	0,004	4,81	9,56e ⁻⁰⁶ ***
R ²	R ² ajustado	F	EE	gl
0,52	0,50	23,99	0,013	64
p: 1,609e ⁻¹⁰				

Tabla 4. Comparación entre las machos (m) y hembras (h) de *Procambarus clarkii* de dos localidades diferentes Macanal, Boyacá (m) y Luisiana, Estados Unidos (l). En **negrita** se muestran las diferencias entre poblaciones de los diferentes sitios evaluados para PC1 correspondiente al pereion. p: 5,20E⁻¹².

Las comparaciones por pares de Tukey: Pereion PC1				
	Hembra Macanal	Macho Macanal	Macho Luisiana	Hembra Luisiana
Hembra Macanal	*	0,0007	0,0007	0,0001
Macho Macanal		*	0,92	0,000
Macho Luisiana			*	0,00
Hembra Luisiana				*

DISCUSIÓN

Al no haberse realizado anteriormente estudios relacionados con la morfometría geométrica de *P. clarkii*, no se puede determinar una tendencia de un cambio morfológico mediante este método, aun así Franco (2014), encontró evidencia significativa en la cual señalaba que entre poblaciones invasoras se presentaban variaciones morfológicas, esto se debía al estrés ambiental al cual estaban sometidos; generalmente las especies invasoras se someten a este por el cambio de hábitos que se tiene (Fetzner & Crandall, 2001), este es uno de los factores por los cuales *P. clarkii* presenta variación morfométrica en este trabajo. Un ejemplo de estrés ambiental es la variación de la humedad, teniendo en cuenta las variaciones de la humedad entre las localidades, y sabiendo que *P. clarkii* se reproduce conforme al periodo hidrológico de la región, la tasa de reproducción, y maduración serán inversamente proporcionales, debido a que habrá más etapas reproductivas en el año (Gheraldi *et al.*, 2000) y se tendrá menor tiempo entre cada etapa para su posterior maduración.

Al momento de evaluar morfometría de dos o más poblaciones de crustáceos dulceacuícolas, es necesario tener en cuenta un factor de condición (Sedik *et al.*, 2018). Este se utiliza para comparar poblaciones de diferentes regiones (Milosevic & Talevski, 2016). También este puede usarse para evaluar el grado de bienestar de los organismos en sus hábitats (MacGregor, 1959). Los factores de condición de los organismos acuáticos pueden

verse afectados por una serie de elementos como el estrés, la disponibilidad de alimentos, temporada y calidad del agua del hábitat (Lindqvist & Lahti, 1986; Milosevic & Talevski, 2016). Es evidente que al obtener un conocimiento detallado sobre el patrón de crecimiento de una especie se lograrán estimaciones más precisas sobre el tamaño de la población (Castillo *et al.*, 2011). El crecimiento en *P. clarkii*, es discontinuo y se produce a través de la muda (Franco, 2014), diferentes estudios afirman que es importante tener presente que el crecimiento de esta especie invasora depende de la genética, condiciones ambientales y fuente de alimento del mismo (Cano & Ocete, 2000; Campos, 2005; Kato & Miyashita, 2005; Franco, 2014; Anastacio *et al.*, 2015).

Además, las relaciones entre partes del cuerpo se usan para segregar machos de hembras y comparar cangrejos de río de poblaciones de diferentes regiones (Deniz *et al.*, 2010). Un factor de condición para evaluar estas poblaciones se denota por medio de puntos y segmentos corporales específicos, como lo es el pereion, pleon y el uropodo (Hartnoll, 1978; Petriella & Boscgi, 1997), los cuales indican el tiempo de maduración del individuo (Nakata & Goshima, 2003; Mazlum & Eversole, 2005): Otro factor de suma importancia, es la longitud y el ancho de las quelas, estas son importantes al momento de determinar el comportamiento agresivo, y juegan un papel importante en la determinación de la competencia por los recursos limitados (Sedik *et al.*, 2018).

Según McClain (2006), *Procambarus clarkii* en su

hábitat natural, ha sido clasificado como carnívoro obligado, con esto se infiere que puede subsistir a partir de materia orgánica y vegetal, pero requieren alguna forma de materia animal en su dieta para su óptimo crecimiento y salud. *P. clarkii* en estado invasor se caracteriza por tener una dieta variada, tan solo un 5% de su alimentación se basa en material animal, generalmente se alimentan de material vegetal y en degradación, se han encontrado polímeros orgánicos de alto peso molecular en el contenido estomacal de dicho espécimen (Gydemon *et al.*, 1990). Con base a la dieta que tiene *P. clarkii* en su estado invasor, y a diversos trabajos realizados en otros crustáceos, se denota que un factor por el cual existe una variación morfológica notoria del segmento más largo del cuerpo (Pereion), se puede deber a la dieta omnívora y en ciertas ocasiones detritívoras que llevan.

Wolf & Linden (2012), afirman que existen mecanismos de adaptación que actúan de manera recíproca a través de los diferentes niveles funcionales para regular las adaptaciones fenotípicas de un individuo y si es posible, de unas próximas generaciones, con base en esto, existe una variación fenotípica adaptativa en *P. clarkii* en su estado invasor. En condiciones favorables de su ecosistema natural como se evidencia en Luisiana, *P. clarkii* según Cano & Ocete (2000), tendrían por lo menos 2 etapas reproductivas en el año, teniendo un intervalo en la misma para que se desarrolle y madure completamente. El estudio de la estrategia reproductiva de las especies invasoras es esencial para la comprensión de su ecología de invasión, ya que determina el potencial de aumento de la población y su modo de expansión. En *P. clarkii*, la temporada de apareamiento, y la maduración sexual, varían según el período hidrográfico y las condiciones ambientales, anteriormente mencionadas (Sommer, 1984; Alcorlo *et al.*, 2008) y, por ende, debido a los efectos combinados de estos factores, la reproducción puede variar después de que la especie sea introducida en diferentes regiones (Gheraldi *et al.*, 2011).

Este fenómeno puede ser explicado mediante diferentes mecanismos de adaptación morfológicos, como lo son el desarrollo precoz de la madurez sexual, o la variación morfológica para adaptarse a un hábitat distinto, con respecto a las características del ecosistema, en el cual es

fácilmente asimilable por *P. clarkii*; esto facilita la brecha para que ocurra los mecanismos ya mencionados. Se afirma que es posible esta adaptación fenotípica siempre y cuando el espécimen tenga una plasticidad fenotípica alta; en *P. clarkii* se denota esto en mayor medida, debido a que varios autores (McClain, 2006; Arias-Pineda & Pedroza-Martínez, 2018), afirman que *P. clarkii* tiene una capacidad de adaptación al ecosistema bastante alta.

Hubo variación morfológica en el pereion entre las poblaciones de Macanal y Luisiana, pero no en el propodio o el uropodo. Esta variación podría deberse a diferencias ambientales o en la dieta entre ambas poblaciones, pero también podrían tener un origen genético. En cualquier caso, las diferencias sugieren la adaptabilidad fenotípica de *P. clarkii* en su estado invasor. Futuros estudios genéticos y de "jardín común" deberían desentrañar los componentes genético y ambiental de las diferencias encontradas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, D.C.; Rohlf, F. J. & Slice, D. E. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. Italian Journal of Zoology, 71: 5-16.
- Alcorlo, P.; Geiger, W. & Otero, M. 2008. Reproductive biology and life cycle of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) in diverse aquatic habitats of South-Western Spain: Implications for population. Fundamental and Applied Limnology, 173: 197-212.
- Aguilar, V.; Aguirre-Muñoz, A.; Alarcon, J.; Boomer, A.; Contreras, S.; Del-Val, E.; Elizalde, A.; Enkerlin, E.; Espinosa-García, F.; Golubov, J.; Hermann, H.; Koleff, P.; March, I.; Martínez-Jiménez, M.; Meave del Castillo, M.; Mena, J.; Mendoza, R.; Moreno, E.; Randall, J. & Zimmerman, H. 2007. *Especies Invasoras de alto Impacto a la Biodiversidad: Prioridades en México*. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Anastacio, P.; Loureiro, T.; Araujo, P.; Souty-

- Grosset, C. & Almerão, M. 2015. Red swamp crayfish: biology, ecology, and invasion - an overview. *Nauplius*, 23: 1-19.
- Arias-Pineda, J.Y. & Pedroza-Martínez, D.R. 2018. Presencia del cangrejo rojo *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) en la sabana de Bogotá, Colombia, Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), 62: 283–286.
- Barnes, D.; Calow, P.P. & Oliver, P.J.W. 1993. *The invertebrates: a new synthesis*. Wiley–Blackwell. Londres.
- Castillo, J. & Eslava, N. & González, L. 2011. Crecimiento del cangrejo *Callinectes danae* (Decapoda: Portunidae) de la Isla de Margarita, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 59. 1525-1535.
- Campes, M. 2005. *Procambarus (Scapulicambarus) clarkii* (Girard, 1852), (Crustacea: Decapoda: Cambaridae). Una langostilla no nativa en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 29: 295-302.
- Cano, E. & Ocete, M.E. 2000. Tamaño medio y ecología reproductiva de *Procambarus clarkii* Girard (1852) (Decapoda, Cambaridae) en las marismas del bajo Guadalquivir. *Zoo baética*, 11: 17-26.
- Caro-Riaño, H.; Jaramillo, N. & Dujardin, J.P. 2009. Growth changes in *Rhodnius pallescens* under simulated domestic, sylvatic conditions. *Infection, Genetics and Evolution*. 9: 162-168.
- Cognetti, G. & Magazzu, M. 2001. *Biología marina*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Chucholl, C. 2011. Population ecology of an alien “warm water” crayfish (*Procambarus clarkii*) in a new cold habitat. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 401: 29.
- Dana, E.; Lomas, J.; González, R.; García, D.; Gámez, V.; Ceballos, G. & Ortega, F. 2011. *Manual de Gestión de Cangrejos Exóticos Invasores*. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- Deniz, T.; Harlioglu, M.M. & Deval, M.C. 2010. A study on the morphometric characteristics of *Astacus leptodactylus* inhabiting the thrace region of Turkey. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 397: 5.
- Diawol, V.; Giri, F. & Collins, P. 2015. Shape and size variations of *Aegla uruguayana* (Anomura, Aeglididae) under laboratory conditions: A geometric morphometric approach to the growth. *Iheringia, Série Zoologia, Porto Alegre*, 105: 76-83.
- Dujardin, J.P. 2008. Morphometrics applied to medical entomology. *Infection, Genetics and Evolution*, 8: 875-890.
- Fetzner, J.W. Jr & Crandall, K.A. 2001. *Genetic variation*. In: *Biology of Freshwater Crayfish* (Holdich, D.M. ed.), Blackwell Science, Oxford. pp. 291-326.
- Franco, M. 2014. *Morfometría, distribución actual y potencial en el norte de México del acocil rojo Procambarus clarkii (Girard, 1852) (Crustacea: Cambaridae)*. Nuevo Leon: Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis para Doctor en Ciencias con acentuación en Manejo de vida silvestre y Desarrollo sustentable.
- Gherardi, F. 2006. Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*. *Marine and Freshwater Behavior and Physiology*, 39: 175-191.
- Gherardi, F.; Barbaresi, S. & Salvi, G. 2000. Spatial and temporal patterns in the movement of *Procambarus clarkii*, an invasive crayfish. *Aquatic Science*, 62: 179-193.
- Gherardi, F.; Aquiloni, L.; Diéguez-Uribeondo, J. & Tricarico, E. 2011. Managing invasive crayfish: is there a hope? *Aquatic Sciences*, 73: 185-200.
- Gydeomon, R.; Westin, L. & Nissling, A. 1990. Predation on larvae of the noble crayfish, *Astacus*. *Aquaculture*, 86: 155-161.
- Hartnoll, R.G. 1978. The determination of relative growth in Crustacea. *Crustaceana*, 34: 281-293.
- Hobbs, H. 1989. An illustrated checklist of the American crayfishes (Decapoda: Astacidae, Cambaridae and Parastacidae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, 3717: 391-413.
- Huner, J. & Lindqvist, O. 1991. Special problems in freshwater crayfish egg production. *Crustacean production Werner*, 7: 235-246.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2019. *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. En: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ci>

- udades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc
- Jaramillo, O.N. 2011. *Morfometría geométrica: principios teóricos y métodos de empleo*. Capítulo 4. En: Fronteras de investigación en enfermedades infecciosas. Editors: Triana-Chávez, O.; Mejía-Jaramillo, A.M. & Gómez-Palacio, A.M. Modelo enfermedad de Chagas. pp. 69 - 87. Universidad de Antioquia. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia.
- Klingenberg, C.P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11: 353-357.
- Kato, N. & Miyashita, T. 2005. Exploring the mechanisms causing a high allometric value of female pleopod in the crayfish *Procambarus clarkii*. *Zoological Science*, 22: 717-721.
- Lindqvist, O.V. & Lahti, E. 1983. On the sexual dimorphism and condition index in the crayfish, *Astacus astacus* L., in Finland. *Freshwater Crayfish*, 5: 3-11.
- MacGregor, J.S. 1959. Relation between fish condition and population size in the sardine (*Sardinops caerulea*). *Fishery Bulletin*, 60: 215-230.
- Mazlum, Y. & Eversole, A.G. 2005. Growth and survival of *Procambarus acutus acutus* (Girard, 1852) and *P. clarkii* (Girard, 1852) in competitive settings. *Aquaculture Research*, 36: 537-545.
- McClain, W.R. 2006. *Crawfish culture in forage-based production systems*. In: Kelly, A.M. & Silverstein, J. (eds.). *Aquaculture in the 21st Century*. pp. 151-169. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.
- Milosevic, D. & Talevski, T. 2016. Length-weight relationship of 11 fish species from three natural and two artificial lakes in the former Yugoslav Republic of Macedonia (Fyrom). *Acta Zoologica Bulgarica*, 68: 391-394.
- Nakata, K. & Goshima, S. 2003. Competition for shelter of preferred sizes between the native crayfish species *Cambaroides japonicus* and the alien crayfish species *Pacifastacus leniusculus* in Japan in relation to prior residence, sex difference, and body size. *Journal of Crustacean Biology*, 23: 897-907.
- Pérez, H.N. & Bueno, M.R. 2015. Artrópodos exóticos e invasores. *Revista IDE@ - SEA*, 8: 1-9.
- Petriella, A.M. & Boschi, E.E. 1997. Crecimiento en crustáceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. *Investigaciones Marinas*, 25: 135-157.
- Rodríguez-Almaraz, G. & García-Madrugal, M.S. 2014. *Crustáceos exóticos invasores*. pp. 347-371. In: *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Rodríguez-Serna, M.; Carmona-Osalde, C.; Arredondo-Figueroa, J. & Olvera-Novoa, M. 2002. Distribución geográfica actual de *Procambarus (Austrocambarus) llamasii* (Cambaridae) en la Península de Yucatán. *Hidrobiológica*, 12: 1-5.
- Rohlf, F.J. & Marcus, L.F. 1993. A revolution in morphometrics. *Trends Ecology and Evolution*, 8: 129-132.
- Rueden, C.T.; Schindelin, J. & Hiner, M.C. 2017. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics*, 18: 529.
- Ruppert, E.E. & Barnes, D. 1996. *Zoología de los Invertebrados*. Mc Graw Hill Interamericana. Madrid. 6^{ta} Ed.
- Sax, D.F.; Stachowicz, J.J.; Brown, J.H.; Bruno, J.F.; Dawson, M.N.; Gaines, S.D.; Grosberg, R.K.; Hastings, A.; Holt, R.D.; Mayfield, M.M.; O'Connor, M.I. & Rice, R.W. 2007. Ecological and evolutionary insights from species invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22: 465-471.
- Sedik, Y.; Rumahlatu, D.; Irawan, B. & Soegianto, A. 2018. Morphometric characteristics of crayfish, *Cherax gherardiae*, from Maybrat, West Papua, Indonesia. *Fisheries & Aquatic Life*, 26: 223-230.
- Slice, D.E. 2005. *Modern morphometrics*. In: *Modern Morphometrics in Physical Anthropology*. Slice, D.E. (ed.). Kluwer Academic Publishers, NY. pp. 1-45.
- Slice, D.E. 2007. Geometric Morphometrics. *Annual Review Anthropology*, 36: 261-281.
- Sommer, T.R. 1984. The biological response of the crayfish *Procambarus clarkii* to transplantation into California ricefields. *Aquaculture*, 41: 373-384.

- Van Kleunen, M.; Bossdorf, O. & Dawson, W. 2018. The ecology and evolution of alien plants. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49: 25-47.
- Wolf, C. & Linden, D.E.J. 2012. Biological pathways to adaptability – interactions between genome, epigenome, nervous

system and environment for adaptive behavior. Review. *Genes, Brain and Behavior*, 11: 3–28.

Received July 31, 2020.
Accepted August 25, 2020.