

Dimorfismo Sexual en la Forma del Cefalotórax de *Ucides occidentalis* (Ortmann, 1897): Un Análisis de Morfometría Geométrica

Sexual Dimorphism in the Carapace Shape of *Ucides occidentalis* (Ortmann, 1897): A Geometric Morphometric Analysis

René Rodríguez-Grimón¹; Melissa Jarama¹ & Fedra Solano²

RODRÍGUEZ-GRIMÓN, R.; JARAMA, M. & SOLANO, F. Dimorfismo sexual en la forma del cefalotórax de *Ucides occidentalis* (Ortmann, 1897): Un análisis de morfometría geométrica. *Int. J. Morphol.*, 43(4):1179-1185, 2025.

RESUMEN: El dimorfismo sexual es un fenómeno común en crustáceos, manifestándose en variaciones morfológicas vinculadas a la competencia intraespecífica y la reproducción. *Ucides occidentalis*, una especie clave en los ecosistemas de manglar del Pacífico oriental, presenta diferencias morfológicas entre sexos, pero su caracterización aún es limitada. Este estudio analiza la variabilidad morfológica del cefalotórax de la especie mediante morfometría geométrica para evaluar patrones de dimorfismo sexual. Se recolectaron 41 especímenes (30 machos y 11 hembras) en el Golfo de Guayaquil, Ecuador. Las imágenes del cefalotórax fueron procesadas utilizando superposición de Procrustes y análisis de componentes principales para identificar variaciones de forma. El análisis discriminante canónico evidenció una diferenciación significativa entre sexos ($\lambda = 0,0412$, $X^2 = 79,75$, $p < 0,001$), con los machos mostrando una estructura más expandida lateralmente y mayor disparidad morfológica, mientras que las hembras presentaron un cefalotórax con morfología redondeada y conservada, optimizada para la reproducción. Estos resultados destacan la influencia de la selección sexual y presiones ecológicas en la morfología de la especie. La aplicación de morfometría geométrica proporciona una herramienta precisa para caracterizar diferencias sexuales en crustáceos y puede contribuir al desarrollo de políticas de conservación y manejo sostenible de *U. occidentalis*.

PALABRAS CLAVE: Dimorfismo sexual; Diferenciación morfológica; Selección sexual; Cangrejos, Variabilidad fenotípica.

INTRODUCCIÓN

El dimorfismo sexual es un fenómeno ampliamente documentado en el reino animal, particularmente en los crustáceos, donde se manifiesta como diferencias morfológicas y fisiológicas entre machos y hembras de una misma especie. Estas diferencias responden a presiones selectivas diferenciadas relacionadas con las funciones reproductivas, la competencia intraespecífica y las adaptaciones ecológicas, reflejando estrategias evolutivas que maximizan el éxito reproductivo y la supervivencia en diversos ambientes (Alencar *et al.*, 2014; Hamasaki *et al.*, 2024). En muchas especies de cangrejos, el dimorfismo sexual se expresa a través de la variabilidad en el tamaño, la forma y las estructuras especializadas, como las quelas, que están directamente relacionadas con comportamientos de competencia y cortejo, así como con la eficiencia reproductiva (Zambrano & Aragón-Noriega, 2016; João *et al.*, 2024). Estos patrones morfológicos desempeñan un papel clave en la ecología de las especies, afectando no solo su

dinámica poblacional, sino también su interacción con el medio ambiente.

Dentro de este contexto, *U. occidentalis*, el cangrejo rojo de manglar, se destaca por su importancia ecológica y económica en los ecosistemas de manglar del Pacífico oriental (De Cock *et al.*, 2023). Esta especie, que se distribuye desde el Golfo de California hasta el norte de Perú (Bright & Hogue, 1972), desempeña un rol crucial en la estructura y funcionalidad de estos ecosistemas, donde realiza actividades de excavación que favorecen la oxigenación del suelo y contribuyen al ciclo de nutrientes (Solano *et al.*, 2010). A pesar de su relevancia ecológica y económica, los estudios sobre el dimorfismo sexual en esta especie son limitados. En general, se ha documentado que los machos de *U. occidentalis* tienden a presentar quelas más grandes y desarrolladas en comparación con las hembras, lo que sugiere una posible función asociada a la competencia entre

¹ Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Espíritu Santo – Ecuador, Guayas, Ecuador.

² Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, Guayas, Ecuador.

individuos de un mismo sexo y la selección sexual (Zambrano & Aragón-Noriega, 2016). Sin embargo, la comprensión detallada de las diferencias morfológicas y sus implicaciones ecológicas aún es insuficiente.

El uso de la morfometría geométrica ha emergido como una herramienta valiosa para el análisis de variaciones morfológicas en diversas especies, permitiendo una evaluación más precisa de las formas biológicas sin las limitaciones que imponen los métodos tradicionales de medición (Villalobos-Leiva & Benítez, 2020). Esta técnica se ha aplicado con éxito en estudios de dimorfismo sexual en diferentes grupos de crustáceos, ofreciendo una nueva perspectiva sobre las diferencias morfológicas entre machos y hembras. La morfometría geométrica permite captar la variabilidad en la forma de estructuras biológicas y analizarla en función de factores ecológicos y evolutivos, proporcionando una comprensión más profunda de las adaptaciones funcionales y la evolución de las especies (Villalobos-Leiva & Benítez, 2020). En el caso de *U. occidentalis*, la aplicación de esta metodología podría contribuir significativamente a entender cómo las presiones selectivas han dado forma a las diferencias morfológicas entre sexos y cómo estas diferencias se relacionan con su ecología y biología reproductiva.

A pesar de la importancia de la especie, los estudios previos sobre el dimorfismo sexual en *U. occidentalis* han sido escasos, teniendo principalmente como modelo estructural las quelas. No obstante, se ha sugerido que las diferencias en la forma de estas estructuras no necesariamente están vinculadas al tamaño corporal, lo que abre la posibilidad de que otros factores funcionales, como la selección sexual o la competencia intraespecífica, puedan estar influyendo en el dimorfismo observado (Alencar *et al.*, 2014; da Silva *et al.*, 2024). Esta línea de investigación es fundamental para evaluar si los patrones de dimorfismo sexual en *U. occidentalis* siguen una tendencia similar a la de otras especies del género *Uca*, donde los machos presentan mayor variabilidad morfológica debido a las presiones de la selección sexual (Dyson & Backwell, 2016; Pérez & Backwell, 2019). Además, es importante analizar si las diferencias morfológicas entre machos y hembras están relacionadas con un crecimiento alométrico, ya que algunos estudios sugieren que en varias especies de crustáceos, la morfología no siempre está directamente vinculada al tamaño corporal (da Silva *et al.*, 2018; Marochi *et al.*, 2019).

El presente estudio tiene como objetivo analizar la variabilidad morfológica entre sexos del cefalotórax de *U. occidentalis* mediante la aplicación de morfometría geométrica en dos dimensiones. Se pretende avanzar en la caracterización del dimorfismo sexual de la especie,

aportando información sobre las diferencias morfológicas entre machos y hembras. Los resultados contribuirán no solo al conocimiento científico sobre la biología y ecología de la especie, sino también a la implementación de estrategias de conservación y políticas de manejo más efectivas en los ecosistemas de manglar del Pacífico oriental.

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio y muestreo de especímenes. El Golfo de Guayaquil es el sistema estuarino tropical más importante de la costa oriental del Pacífico en Sudamérica, recibiendo un flujo de agua promedio de aproximadamente 1650 m³/s desde una cuenca hidrográfica de aproximadamente 33 700 km² (Ormaza-González & Martillo-Bustamante, 2021). Dentro de esta región, el presente estudio se desarrolló en el Recinto Nuevo Porvenir, ubicado en la parroquia Santa Rosa de Flandes, cantón Naranjal, provincia del Guayas, Ecuador. Esta zona alberga una cobertura de 2.236,6 hectáreas de manglar, administradas por la Cooperativa de Producción Pesquera Artesanal Nuevo Porvenir, lo que resalta su importancia ecológica y productiva.

El muestreo se realizó en octubre de 2024, en las coordenadas geográficas 2°28'15.6"S, 79°34'12.4"W. La recolección de *U. occidentalis* se llevó a cabo con la colaboración de recolectores locales, empleando métodos tradicionales de captura manual utilizados en la pesquería artesanal del cangrejo. Se recolectaron un total de 41 individuos, de los cuales 30 fueron machos y 11 hembras. La selección de los ejemplares se basó en el tamaño mínimo del cefalotórax ($\geq 7,5$ cm), conforme a la normativa ecuatoriana vigente (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2014). Cabe destacar que la captura de hembras está restringida por normativa desde 2003 (Acuerdo Ministerial 030), con el fin de garantizar el reclutamiento y la sostenibilidad de la especie. No obstante, para fines científicos, se recolectó el número máximo posible de hembras.

Digitalización de especímenes. Tras la recolección de las muestras, estas fueron limpiadas y preparadas para su digitalización. Se capturaron imágenes del cefalotórax de cada espécimen utilizando una cámara acoplada a un soporte universal (iPhone XR, resolución de 1792 × 828 píxeles a 326 ppi), montada sobre una base con una escala métrica de precisión ± 1 mm. Para garantizar la estandarización, el cefalotórax se posicionó de manera que su cara dorsal quedara paralela al plano del lente de la cámara. La captura de imágenes se realizó bajo iluminación artificial constante, empleando una lámpara de 5000 K para minimizar sombras y asegurar una iluminación homogénea. Las imágenes obtenidas fueron utilizadas para el análisis geométrico de la forma del cefalotórax en ambos sexos.

Definición de marcas y semimarcas. La variación en el contorno del cefalotórax se caracterizó mediante un conjunto de 16 coordenadas cartesianas bidimensionales, obtenidas a partir de una combinación de ocho marcas anatómicas y ocho semimarcas. Las semimarcas son puntos deslizantes definidos a lo largo de los contornos laterales continuos del cefalotórax, lo que permitió capturar la variación de forma en esta región sin puntos anatómicos fijos o bien definidos, asegurando así una representación más detallada de la morfología. Además, se incluyeron dos puntos adicionales para registrar la escala de 1 cm en cada imagen. La digitalización de estos puntos se realizó utilizando el software tpsDig 2.30 (Rohlf, 2017). La selección de las marcas anatómicas se basó en los criterios establecidos por Zelditch *et al.* (2012), designando como marcas de referencia principales a los puntos 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11 y 16, mientras que los puntos 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14 y 15 fueron considerados semimarcas (Fig. 1).

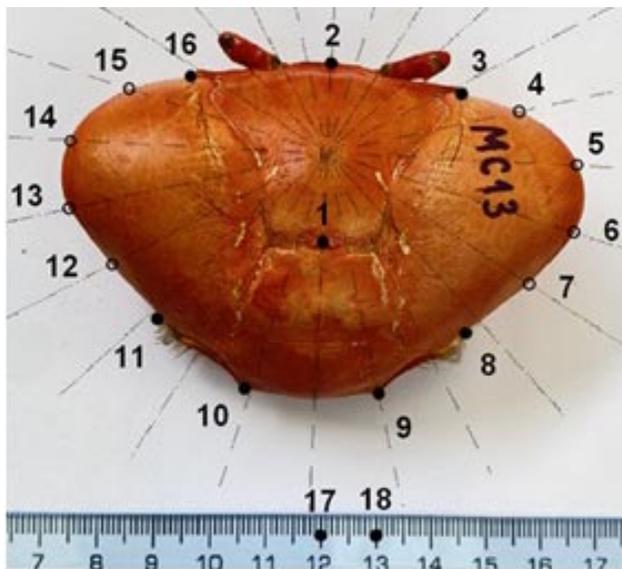


Fig. 1. Protocolo de marcas (puntos negros rellenos) y semimarcas (puntos vacíos) diseñado para capturar la forma del cefalotórax en *U. occidentalis*, recolectados en Nuevo Porvenir, Guayas-Ecuador. Se trazaron 24 líneas radiales en todas las imágenes, tomando como referencia las marcas 1 y 2, para ubicar las semimarcas en los contornos laterales. Este proceso se realizó utilizando el software MakeFan8 (Sheets, 2014).

Superposición y alineamiento. Se realizó la superposición de las formas de los especímenes utilizando el método de Procrustes Generalizado (GPA), una técnica empleada en morfometría geométrica para alinear las configuraciones y eliminar variaciones no relacionadas con la forma, tales como tamaño, posición y orientación (Benítez & Püschel, 2014). El GPA ajusta las configuraciones de los especímenes para hacerlas congruentes, lo que facilita la comparación precisa de las diferencias morfológicas entre ellos. En este estudio,

se utilizó el promedio de la forma de todos los especímenes como referencia en el programa CoordGen8 (Sheets, 2014), lo que permitió remover las diferencias causadas por tamaño, posición y orientación entre los 41 especímenes (Rohlf & Slice, 1990). Posteriormente, las semimarcas fueron alineadas considerando los puntos deslizantes a lo largo de la curva de todos los especímenes, empleando el criterio de distancia mínima en el programa SemiLand8 (Sheets, 2014).

Evaluación de alometría en la forma. Se evaluó si la variación en la forma del cefalotórax es alométrica, es decir, si el tamaño geométrico de esta estructura puede predecir linealmente su forma en ambos sexos. Para ello, se utilizó la ecuación propuesta por Zelditch *et al.* (2012), en la cual se consideró la forma del cefalotórax como la variable dependiente (Y) y el logaritmo del tamaño del centroide, que cuantifica el tamaño global de la estructura, como la variable independiente (X). En este contexto, se puso a prueba la hipótesis nula de que no existe relación entre el tamaño y la forma del cefalotórax, lo que implicaría que las variaciones en la forma no serían atribuibles al tamaño. Para el análisis, se emplearon las coordenadas Procrustes superpuestas y alineadas, a partir de las cuales se calcularon los "partial warp scores", que permiten caracterizar las variaciones locales en la forma y proporcionan una comprensión más detallada de la morfología de los especímenes. Como referencia, se utilizaron los tres ejemplares más pequeños en el programa Regress8 (Sheets, 2014). Se implementaron permutaciones "Bootstrap" con hasta 2500 réplicas para estimar la significancia de los parámetros de regresión. A partir de este análisis, se consideraron el valor de la pendiente de la regresión (m) y el porcentaje de varianza explicada como los principales indicadores para determinar la relación entre la variación en la forma y el tamaño.

Variación de la forma. La variación en la forma del cefalotórax se analizó mediante las coordenadas superpuestas y alineadas derivadas del método de Procrustes Generalizado (GPA). Para evaluar la variabilidad general de la forma entre los especímenes, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), utilizando los "partial warp scores", con el programa PCAGen8 (Sheets, 2014). Este análisis contribuye a identificar las principales fuentes de variación morfológica y simplificar la complejidad de los datos, permitiendo explorar las relaciones entre las variaciones de forma de manera visual y cuantitativa. Además, para visualizar las diferencias en forma entre los sexos, se compararon las configuraciones promedio del cefalotórax de hembras y machos, utilizando gradillas y vectores de deformación sobre los puntos de referencia. Posteriormente, para examinar la diferenciación entre los sexos, se utilizó el programa CVAGen8 (Sheets, 2014) y se aplicó un Análisis

Discriminante Canónico (CVA). Este análisis permite determinar si existen diferencias significativas en la forma entre los grupos (hembras y machos). La significancia de las puntuaciones del CVA se evaluó a través de los valores de la lambda de Wilks (λ), con la prueba de Bartlett, cuyo estadístico sigue una distribución Chi2 (Zelditch *et al.*, 2012). Los valores bajos de λ de Wilks indican una alta diferenciación entre las formas de los sexos, sugiriendo que las diferencias morfológicas observadas son estadísticamente significativas y no atribuibles al azar. Para evaluar el rendimiento del CVA y el porcentaje de clasificación posterior correcta, se aplicó un procedimiento de validación cruzada "jackknife" de hasta 1000 réplicas, con el 10 % de los casos dejados fuera en cada réplica. Este procedimiento ayuda a evaluar la estabilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos al clasificar nuevas muestras dentro de los grupos definidos (Zelditch *et al.*, 2012).

Disparidad morfológica con relación a la concentración de metales. Para evaluar el impacto del sexo en la variabilidad morfológica del cefalotórax, se calculó la disparidad morfológica (DM), que mide la variabilidad en la forma entre los individuos de cada sexo. En este análisis, se estimó el volumen del morfoespacio ocupado por todos los especímenes de cada sexo, lo que nos permitió cuantificar la variación morfológica total dentro de cada grupo. La disparidad morfológica se exploró utilizando las coordenadas superpuestas derivadas del GPA y habilitando la función "Find Grand Consensus Mean (Groups)" en DisparityBox8 (Sheets, 2014) para cada sexo. Los valores de DM se calcularon cargando los archivos de cada sexo por separado y utilizando la opción "Multi-Group analysis > Bootstrap Geometric Disparity (MD, PD)" para estimar los valores de disparidad y los errores estándar a partir de 2500 réplicas, lo que ayuda a evaluar la confiabilidad de las estimaciones y a obtener una medición precisa de la variabilidad morfológica.

Por último, se llevaron a cabo comparaciones pareadas de los valores de disparidad (DM) entre los sexos utilizando la opción "Multi-Group Analysis > Bootstrap Pairwise Difference in Disparity" con hasta 2500 réplicas. Las diferencias entre los sexos se consideraron estadísticamente significativas si el intervalo de confianza del 95 % excluía el valor de cero, lo que indica una diferencia real en la variabilidad morfológica entre los sexos (Zelditch *et al.*, 2012).

RESULTADOS

Evaluación de alometría. Los especímenes recolectados no presentaron diferencias de tamaño geométrico (CS) entre sexos, con valores promedio y desviación estándar de 166

± 7 y 169 ± 7 en hembras y machos, respectivamente (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 1,44$, $gl = 2$, $p = 0,4863$). No se obtuvo una dependencia de la variación de la forma con respecto al tamaño de los especímenes, la relación se representó por la fórmula: $Y = 0,033x - 0,129$, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 2,4 \%$ y significancia $p = 0,1673$, visibilizando un valor de pendiente de 0,033. El porcentaje de variación de la forma explicado por el tamaño fue de 5,51 % (Original SS = 0,0375, SS Restante = 0,0355), lo que indica una influencia detectable pero limitada del tamaño sobre la forma (Fig. 2).

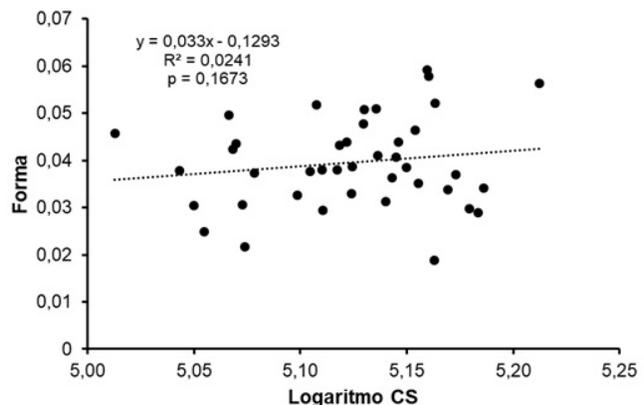


Fig. 2. Análisis de regresión entre el logaritmo del tamaño geométrico y la forma del cefalotórax de *U. occidentalis*.

El análisis de remuestreo (Bootstrap) mostró que el valor de "F" observado fue superado en 6 de 100 iteraciones, con un $p = 0,06$. Esto sugiere que la relación tamaño-forma no alcanza el nivel convencional de significancia estadística ($p < 0,05$). Por lo tanto, no se puede confirmar la existencia de un crecimiento alométrico en el rango de tamaños geométricos estudiado (150 a 171 unidades CS del cefalotórax). En consecuencia, los resultados no respaldan una influencia significativa del tamaño sobre la forma del cefalotórax en *U. occidentalis*.

Variación de la forma. El PCA reveló que un número reducido de componentes principales captura la mayor parte de la variabilidad en la forma del cefalotórax de *U. occidentalis*. En particular, los primeros 5 componentes explican el 80 % de la varianza total, hasta acumular el 99 % de la variabilidad en los primeros 14 componentes. Sin embargo, la prueba de Chi-cuadrado ($X^2 = 2,12$, $p > 0,05$) sugiere que las diferencias entre estos componentes no son estadísticamente significativas, al ser inferiores al umbral crítico de $X^2 = 5,99$. Esto indica que, aunque los primeros componentes principales resumen patrones clave de variación morfológica, la diferenciación entre ellos no es lo suficientemente marcada desde un punto de vista estadístico.

El análisis de las gradillas de deformación reveló las diferencias morfológicas en el cefalotórax entre sexos, evidenciando un marcado dimorfismo sexual. En la región superior, las hembras exhiben una expansión más acentuada, mientras que los machos presentan una configuración más compacta. A nivel lateral, se detecta un patrón de deformación contrastante: en hembras, el margen lateral se reduce, sugiriendo una contracción estructural redondeada, mientras que en machos se ensancha, indicando una expansión. Finalmente, en la región inferior del cefalotórax, las hembras muestran una mayor contracción, concentrando el volumen en la parte superior. En los machos, esta contracción es menos marcada (Fig. 3). Estos resultados subrayan cómo la variabilidad capturada por los primeros componentes principales del PCA se expresa diferencialmente en regiones específicas del cefalotórax, reflejando adaptaciones funcionales que responden a presiones selectivas divergentes entre sexos.

Análisis de diferenciación morfológica

El CVA y MANOVA demuestran una separación estadísticamente significativa en la forma del cefalotórax entre los sexos de *U. occidentalis*. Una Lambda de Wilks (l) baja, y una prueba de Chi-cuadrado altamente significativa (Axis 1: $l = 0,0412$; $X^2 = 79,75$; $df = 28$; $p = 7,27 \times 10^{-7}$), confirman que las diferencias observadas no son aleatorias. El CVA revela que las formas cefalotorácicas

de machos y hembras son lo suficientemente distintas para ser discriminadas con alta precisión, alcanzando un 87,80 % de clasificación correcta. Esta diferenciación se respalda con una distancia de Mahalanobis de 10,63, indicando una clara separación entre los grupos. Además, la varianza explicada por la agrupación es del 76,29 %, lo que sugiere que las diferencias morfológicas entre sexos son un factor determinante en la variabilidad general (Fig. 3).

Disparidad morfológica

El análisis de disparidad morfológica, basado en el método “Bootstrap pairwise difference disparity”, indica que los machos de *U. occidentalis* presentan una variabilidad morfológica significativamente mayor que las hembras. Esta diferencia se confirma estadísticamente, ya que el intervalo de confianza al 95 % para la disparidad no incluye el valor cero (-0,000592 a -0,000005). La disparidad morfológica significativamente mayor en machos sugiere la presencia de adaptaciones específicas que incrementan la variabilidad dentro del grupo. En contraste, las hembras con una menor disparidad, reflejan una morfología más conservada, optimizada para maximizar la eficiencia reproductiva. La fiabilidad de las estimaciones de disparidad se vio respaldada por los bajos errores estándar registrados (0,000077 en hembras y 0,000119 en machos), lo que refuerza la precisión y robustez de los resultados obtenidos (Tabla I).

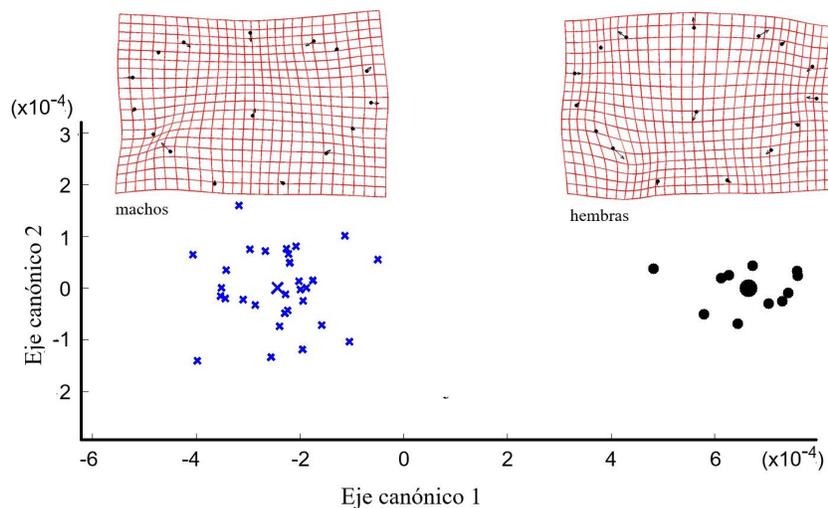


Fig. 3. El diagrama de dispersión ilustra las puntuaciones asociadas a los ejes canónicos 1 y 2. Los símbolos ampliados, representados por una equis y un círculo, corresponden a las formas promedio de los sexos masculino y femenino, respectivamente. Las gradillas de deformación muestran las variaciones en la forma asociadas a las puntuaciones extremas del primer componente principal, con los cambios máximos positivos representados a la derecha (hembras) y los negativos a la izquierda (machos).

Tabla I. Valores de disparidad morfológica del cefalotórax de *U. occidentalis* entre sexos, mediante 2500 intentos de remuestreo o “bootstrap”.

Sexo	N	DM	EE	DD	IC (95 %)
Hembra	11	0,000630	0,000077	0,000240	0,000004 a 0,000560
Macho	30	0,000870	0,000119		

N: tamaño de muestra, DM: disparidad morfológica, EE: error estándar, DD: variación de disparidad entre grupos, IC (95 %): intervalo de confianza al 95 %.

DISCUSIÓN

En *U. occidentalis*, el tamaño en las dimensiones geométricas entre machos y hembras no es un factor determinante en la variabilidad morfológica del cefalotórax, al menos dentro del rango de tamaños estudiado. Los valores bajos de la pendiente en la relación, con un coeficiente de determinación bajo en la relación tamaño-forma respaldan esta hipótesis de que el tamaño tiene una influencia limitada sobre la forma en esta especie. Estudios previos sobre morfometría en especies del mismo género refuerzan la tendencia hacia una ausencia de crecimiento alométrico marcado. En *Ucides cordatus*, Leite *et al.* (2014), encontraron que la forma del cefalotórax no estaba fuertemente correlacionada con el tamaño corporal, lo que indica que el dimorfismo sexual responde más a especializaciones funcionales que a diferencias de tamaño. Además, las diferencias morfológicas entre sexos se asociaron principalmente con adaptaciones funcionales, en lugar de variaciones en el tamaño. Asimismo, otros estudios concluyeron que la variabilidad en la forma del exoesqueleto de *Ucides* no podía explicarse únicamente por diferencias de tamaño, sino que respondía a presiones ecológicas y reproductivas (Warner, 1977; Hamasaki *et al.*, 2024). En general, estos hallazgos coinciden en que la morfología de la especie está influenciada más por factores funcionales y ecológicos que por procesos alométricos.

La variabilidad en la forma del cefalotórax, resumida en pocos componentes principales, revela patrones morfológicos vinculados a adaptaciones reproductivas y competitivas. La baja significancia estadística entre los componentes indica una distribución homogénea de la variabilidad, sugiriendo una organización morfológica amplia en lugar de concentrada en ejes específicos. Las diferencias morfológicas entre sexos en *U. occidentalis* presentan patrones adaptativos vinculados a presiones selectivas diferenciadas, las hembras exhibieron una expansión más pronunciada en la parte superior del cefalotórax y una contracción en la región inferior, características que optimizan el espacio interno para alojar estructuras reproductivas y proteger los huevos. Este patrón morfológico coincide con estudios previos en *U. cordatus*, *Carcinus maenas*, *Goyazana castelnaui*, tres especies del género *Scylla*, e incluso en individuos del género *Dakoticancer* (decápodo del Cretácico), donde se ha observado que las hembras presentan formas más compactas y redondeadas, lo que sugiere una adaptación funcional para la reproducción (Ledesma *et al.*, 2010; Alencar *et al.*, 2014; Amaral *et al.*, 2014; da Silva *et al.*, 2018). Además, la menor disparidad morfológica en hembras sugiere una morfología conservada, orientada a maximizar la eficiencia reproductiva, en concordancia con lo descrito para otras especies de

crustáceos (Warner, 1977; Alencar *et al.*, 2014). La mayor variabilidad morfológica observada en los machos podría estar relacionada con la competencia intraespecífica y la selección sexual. Estas diferencias en la forma del cefalotórax son estimuladas por variaciones estructurales que pueden conferir ventajas adaptativas en interacciones competitivas intraespecíficas, como la defensa del territorio o el éxito reproductivo (Alencar *et al.*, 2014; Amaral *et al.*, 2014; Zambrano & Aragón-Noriega, 2016; da Silva *et al.*, 2024). Por su parte, las hembras muestran una morfología más estable, lo que favorece la protección de los huevos y la eficacia reproductiva (Amaral *et al.*, 2014; Marochi, *et al.*, 2019). Finalmente, el análisis de remuestreo confirmó que las diferencias morfológicas entre sexos son estadísticamente significativas, con errores estándar bajos (0,000077 para hembras y 0,000119 en machos), lo que garantiza que los resultados obtenidos no son producto del azar, sino que reflejan una tendencia biológica real. Esto respalda la hipótesis de que la disparidad morfológica en *U. occidentalis* resulta de presiones selectivas diferenciadas por selección sexual (Shine, 1989; Kobayashi & Satake, 2017) y subraya la utilidad de la morfometría geométrica para identificar patrones de dimorfismo sexual en crustáceos (Benítez & Püschel, 2014).

CONCLUSIÓN

El estudio empleó morfometría geométrica para analizar el dimorfismo sexual en *Ucides occidentalis*, evidenciando diferencias en la forma del cefalotórax. Las hembras presentaron una morfología más conservada, con expansión superior y contracción lateral, posiblemente adaptada a la reproducción. En contraste, los machos exhibieron una estructura más robusta y ensanchada lateralmente, vinculada a la competencia intraespecífica. El análisis CVA y MANOVA confirmó una diferenciación morfológica significativa entre sexos, destacando el papel de los factores ecológicos y funcionales en la morfología y la relevancia de esta metodología para estudios poblacionales futuros.

RODRÍGUEZ-GRIMÓN, R.; JARAMA, M. & SOLANO, F. Sexual dimorphism in the carapace shape of *Ucides occidentalis* (Ortmann, 1897): A geometric morphometric analysis. *Int. J. Morphol.*, 43(4):1179-1185, 2025.

SUMMARY: Sexual dimorphism is a common phenomenon in crustaceans, manifesting as morphological variations associated with intraspecific competition and reproduction. *Ucides occidentalis*, a key species in the mangrove ecosystems of the Eastern Pacific, exhibits sex-related morphological differences; however, its characterization remains limited. This study analyzes the morphological variability of the species' carapace using geometric morphometrics to assess sexual

dimorphism patterns. A total of 41 specimens (30 males and 11 females) were collected in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. Carapace images were processed using Procrustes superimposition and principal component analysis to identify shape variations. Canonical discriminant analysis revealed significant sex differentiation ($\lambda = 0.0412$, $X^2 = 79.75$, $p < 0.001$), with males displaying a laterally expanded structure and higher morphological disparity, whereas females exhibited a rounded and conserved carapace morphology, optimized for reproduction. These findings highlight the influence of sexual selection and ecological pressures on the species' morphology. The application of geometric morphometrics provides a precise tool for characterizing sexual differences in crustaceans and can contribute to the development of conservation policies and sustainable management strategies for *U. occidentalis*.

KEY WORDS: Sexual dimorphism; Morphological differentiation; Sexual selection; Crabs; Phenotypic variability.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, C. E. R. D.; Lima-Filho, P. A.; Molina, W. F. & Freire, F. A. M. Sexual shape dimorphism of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda, Ucididae) accessed through geometric morphometric. *ScientificWorldJournal*, 2014:206168, 2014.
- Amaral, K. D. S.; Vieira, I. M.; Osório, F. M.; Rocha, J. D. M. & Lima, J. F. Bioecology of the crab *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) in mangroves influenced by the Amazon River, Brazil. *Acta Amaz.*, 44(2):213-22, 2014.
- Benítez, H. A. & Püschel, T. A. Modelling Shape Variance: Geometric Morphometric Applications in Evolutionary Biology. *Int. J. Morphol.*, 32(3):998-1008, 2014.
- Bright, D. B. & Hogue, C. L. A synopsis of the burrowing land crabs of the world and list of their arthropod symbionts and burrow associates. *Contrib. Sci.*, 220:1-58, 1972.
- da Silva, L. N.; Almeida, P. R. de S. & Shinozaki-Mendes, R. A. Dimorfismo sexual e alometría ontogenética en *Goyazana castelnaui* (Crustacea, Brachyura). *Iheringia Sér. Zool.*, 108:e2018008, 2018.
- da Silva, L. N.; de Melo Junior, M. & Shinozaki-Mendes, R. A. Differentially expressed morphological characters depend on sex and ontogenetic stage in the crab *Goniopsis cruentata* (Crustacea: Grapsidae). *Sci. Mar.*, 88(2):e084, 2024.
- De Cock, A.; Eurie Forio, M. A.; De Meulenaer, B.; Tack, F.; Domínguez-Granda, L. & Goethals, P. L. The nutritional quality of the red mangrove crab (*Ucides occidentalis*), harvested at two reserves in the Guayas estuary. *Food Chem.*, 401:134105, 2023.
- Dyson, M. L. & Backwell, P. R. Y. Alternative mating tactics and male mating success in two species of fiddler crab. *Behaviour*, 153(12):1403-18, 2016.
- Hamasaki, K.; Takeda, Y. & Dan, S. Post-settlement growth and sexual dimorphism in the size and proportion of the body of the varunid crab *Gaetice depressus* (De Haan, 1833) (Decapoda: Brachyura: Varunidae) based on laboratory-reared material. *J. Crustac. Biol.*, 44(2):ruae033, 2024.
- João, M.; Kriegler, N.; Hernández, P. & Pinheiro, M. Progressive chelar polymorphism in the mangrove crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda, Brachyura, Ocypodidae) from the south-western Atlantic. *Crustaceana*, 97(5-9):1095-114, 2024.
- Kobayashi, S. & Satake, K. Difference in body size and sexual dimorphism in the Ogasawara mitten crab, *Eriocheir ogasawaraensis*, and the Japanese mitten crab, *Eriocheir japonica*. *Pac. Sci.*, 71(2):171-88, 2017.
- Ledesma, F. M.; Van der Molen, S. & Barón, P. J. Sex identification of *Carcinus maenas* by analysis of carapace geometrical morphometry. *J. Sea Res.*, 63(3-4):213-6, 2010.
- Marochi, M. Z.; Costa, M.; Daldin Leite, R.; Da Cruz, I. D. C. & Masunari, S. To grow or to reproduce? Sexual dimorphism and ontogenetic allometry in two Sesamidae species (Crustacea: Brachyura). *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 99(2):473-86, 2019.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. *Normativa para el aprovechamiento sostenible del cangrejo rojo (Ucides occidentalis) en Ecuador*. Acuerdo Ministerial N° 016. Quito, Viceministerio de Acuacultura y Pesca, 2014.
- Ormaza-González, F. I. & Martillo-Bustamante, C. *The Gulf of Guayaquil the Largest Tropical Estuary in the Western Americas*. Reviewing its Geological and Oceanographic Transcendence. Hull (UK), EMECS 13 Estuaries and Coastal Seas in the Anthropocene: Structure, Functions, Services and Management, ECSA 58, 2021.
- Pérez, D. M. & Backwell, P. R. Y. Selection for conspicuous visual signals in a fiddler crab. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 73:61, 2019.
- Rohlf, F. J. & Slice, D. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Syst. Zool.*, 39(1):40-59, 1990.
- Rohlf, F. J. *TPSDig2 (versión 2.30)*, 2017. Disponible en: <https://sbmormorphometrics.org/>
- Sheets, H. D. *Software for Morphometric Analysis: CoordGen8, CVA Gen8, DisparityBox8, MakeFan8, PCAGen8, Regress8 y SemiLand8, Versión 1*. Nueva York, Canisius Coll., Dep. Phys., 2014.
- Shine, R. Ecological causes for the evolution of sexual dimorphism: a review of the evidence. *Q. Rev. Biol.*, 64(4):419-61, 1989.
- Solano, F.; Flores, L. & Ruiz, W. Capturas de cangrejo rojo durante el 2009 en los puertos de la provincia de Guayas y El Oro, Ecuador. *Bol. Cient. Téc.*, 20(8):1-15, 2010.
- Villalobos-Leiva, A. & Benítez, H. A. Geometric Morphometric and its New Applications in Ecology and Evolutionary Biology. Part 2. *Int. J. Morphol.*, 38(6):1818-36, 2020.
- Warner, G. F. *The Biology of Crabs*. London, Elek, 1977.
- Zambrano, R. & Aragón-Noriega, E. A. Sexual dimorphism and morphometric maturity in males of *Ucides occidentalis* (Ortmann, 1897) (Brachyura, Ocypodidae) in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. *Crustaceana*, 89(10):1115-24, 2016.
- Zelditch, M. L.; Swiderski, D. L. & Sheets, H. D. *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. 2nd ed. Nueva York, Academic Press, 2012.

Autor de correspondencia:

René Rodríguez-Grimón
Escuela de Ciencias Ambientales
Universidad Espíritu Santo - Ecuador
Km. 2,5 Vía Puntilla-Samborondón
Guayas
ECUADOR

E-mail: rodriguez@uees.edu.ec