



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
OCEANOGRÁFICAS



Variación intra-específica de la morfología del langostino colorado
***Pleuroncodes monodon* (H. Milne Edwards, 1837) en zona de pesca de**
Chile central

Daniela Belén De la Barra Luegmayer



Seminario de Título presentado al
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

Para optar al Título de
BIOLOGA MARINA

Concepción – Chile

Mayo - 2020

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

Este Seminario de Título ha sido realizado en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.

Profesor(a) Guía

Nombre y Grado (s) Académico (s)

Director de Tesis

Nombre y Grado (s) Académico (s)

Ha sido aprobada por la



Siguiente Comisión

Evaluadora

Nombre y Grado (s) Académico (s)

Nombre y Grado (s) Académico (s)

Jefe de Carrera

Nombre y Grado (s) Académico (s)

Autorización de publicación

Quien suscribe, (Daniela Belén De la Barra Luegmayer, 18.376.901-4), alumna de la carrera de Biología Marina, de la facultad de Ciencias naturales y oceanográficas, de la universidad de Concepción, declara ser autora de “Variación intra-específica de la morfología del langostino colorado *Pleuroncodes monodon* (H. Milne Edwards, 1837) en zona de pesca de Chile central” y conceder derecho de publicación, comunicación al público y reproducción de esa obra, en forma total o parcial en cualquier medio y bajo cualquier forma del mismo, a la Universidad de Concepción, Chile, para formar parte de la colección material o digital de cualquiera de las bibliotecas de la universidad de concepción y del repositorio UDEC. Esta autorización es de forma libre y gratuita, y de difusión tanto nacional como internacionalmente.

Asimismo, quien suscribe declara que dicha obra no infringe derechos de autor de terceros.



A handwritten signature in blue ink, reading "Daniela", is shown on a light blue background. The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath.

.....
(Firma)

Dedicatoria

Dedico este seminario de título a mi núcleo familiar.

A mi mamá y papá, Elizabeth y Pablo quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Por estar conmigo, por enseñarme a crecer y a que si caigo debo levantarme, por apoyarme y guiarme, depositado su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento mi inteligencia y capacidad. Por ser los pilares que me ayudaron a llegar hasta aquí y es por ellos que soy lo que soy ahora.

Bueno y no menos especial a mis hermanos, Camila y Pedro Pablo que a pesar de todo han estado para mí en las buenas y malas y en el recorrido de esta carrera que llego a su fin.

Los amo



Agradecimientos

En primer lugar, agradecer cada persona que gasto un minuto de su tiempo para preocuparse de cómo iba o para ofrecéme sus ayudas.

Agradecer a mi profesor guía, Dr. Luis Cubillos S. por todo el apoyo durante el proceso de proyecto y seminario de título, por enseñarme y acogerme durante todo el periodo final de mi carrera.

Agradezco al laboratorio de evaluación de poblaciones marinas (EPOMAR), a don German Vásquez, jefe de laboratorio, por el tiempo y la paciencia que brindo a la hora de tener que trabajar con los langostinos, y por el apoyo en todo momento.

Agradezco a Milagros Franco, que a pesar del tiempo daba unos minutos para enseñarme y corregirme mis errores.

Agradezco a mi pareja y colega, Néstor por acompañarme en este último trayecto de la carrera. Alentándome cada vez que se colocaba cuesta arriba, por soportar mis mañas y estar conmigo en una parte importante de mi vida.

Por último, agradezco a cada decisión que tome por posicionarme y permitirme rodearme con las bellas personas que tengo a mi lado.

Índice de Contenidos

	Pág.
INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE TABLAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCION	12
HIPOTESIS	15
OBJETIVOS	15
• Objetivo general	15
• Objetivo específico	15
MATERIALES Y METODOS	16
• Zona de estudio	16
• Toma de muestras	17
• Procesamiento de muestras	18
• Análisis de imágenes y morfometría geométrica	20
RESULTADOS	22
DISCUSION	33
CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS	37



Índice de figuras

	Pág.
Figura N°1: Distribución espacial de langostinos colorados (color rojo) y amarillo C. Johni (color amarillo) durante el 2018. La zona a) región de Valparaíso a O'Higgins (elipse color azul) y la zona b) desde la región del Maule hasta Biobío (elipse color verde).	16
Figura N°2: Acondicionamiento de la cámara y trípode para la posterior sesión de fotos de los langostinos colorados.	18
Figura N°3: Muestra de langostino (LC= Langostino colorado) en posición para una posterior fotografía, con los datos de muestreo, la zona de donde fue tomado (Z), el lance (L) y el número de muestra analizada.	19
Figura N°4: Descripción de los puntos de referencia anatómicos (landmarks) utilizados en la MG de la vista dorsal (caparazón) del <i>P. monodon</i> (puntos azules).	21
Figura N°5: Composición de tallas por sexo en la muestra de langostino colorado utilizada para el análisis de morfometría (MG).	22

Figura N°6: Composición por tallas para ambos sexos de langostino colorado según zonas (Z1= Valparaíso- O'Higgins y Z2= Maule- Biobío). En base a la muestra utilizada para el análisis de morfometría (MG).

24

Figura N°7: Sobreposición parcial y configuración de consenso (medias) de los 15 hitos que definen la forma del caparazón del langostino colorado.

25

Figura N°8: Componentes principales con cada uno de sus porcentajes de varianza.

26

Figura N°9: Análisis de componentes principales donde se puede observar que no hay mayor variación de la forma y tamaño del caparazón de *Pleuroncodes monodon* entre la zona 1 y la zona 2.

28

Figura N°10: Análisis de componentes principales donde se puede observar que la variación es menor en la forma y tamaño del caparazón de *Pleuroncodes monodon* entre las zonas 1 (Valparaíso- O'Higgins) y la zona 2 (Maule- Biobío).

29

Índice de tablas

Pág.

Tabla N°1: Resumen de la composición de tallas en las muestras de langostino colorado por sexos.

23

Tabla N°2: Las 26 dimensiones de la forma con sus valores referenciales de forma, su porcentaje de varianza y el porcentaje acumulativo para cada dimensión.

27

Tabla N°3: Análisis de varianza para la zona 1 y 2 (área), usando aleatorización residual.



30

Tabla N°4: Análisis de varianza de las zonas en presencia del sexo de los individuos, utilizando aleatorización residual.

31

Tabla N°5: Análisis de varianza de ambas zonas en presencia del sexo de los individuos y también el logaritmo del tamaño del caparazón, usando aleatorización residual.

32

Resumen

Las diferencias de los caracteres de un organismo dentro de una misma especie son de suma relevancia a la hora de evaluar los cambios morfométricos (forma y tamaño) que se producen durante su ciclo de vida y en su hábitat. Los crustáceos de la familia Munididae son un grupo de decápodos poco estudiados, aunque en los últimos años hay referencias sobre estudios morfométricos. El langostino colorado (*Pleuroncodes monodon* Milne Edwards, 1837) es una de las especies objetivo de la flota pesquera de arrastre que opera en el margen continental a lo largo de la costa chilena, especie caracterizada por presentar hábitos bento-demersales. Este decápodo bentónico demersal se encuentra presente desde la Isla Lobos de Afuera, Perú, hasta la región de Los Lagos Añud, Chile. Durante su desarrollo ontogénico, según el estudio en curso, podría presentar diferencias de acuerdo con las zonas en las que se ha reportado. En consideración de lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la variación fenotípica de la estructura cefalotorácica (caparazón) del langostino colorado, donde se determinaron las diferencias y similitudes de acuerdo con el tamaño del individuo; así como también de su distribución geográfica considerando dos zonas de la costa chilena mediante la aplicación de Morfometría Geométrica. La variación que se percibió en el tamaño y forma durante el desarrollo ontogenético de la especie no varió significativamente a través de estas dos áreas que se seleccionaron, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada en el estudio. Las diferencias y similitudes que presentaba de acuerdo al tamaño y a la distribución geográfica que poseía *Pleuroncodes monodon*, gracias a los análisis estadísticos (MANOVA) se determinó que entre ambas zonas u áreas se presentó variación significativa para el tamaño y las áreas en estudio, que mostró que existía alguna diferencia ($\alpha = 0,001$). Pero esta variación que se encontró, pudo deberse a las tallas de los individuos más que al sexo, área y/o especie como tal.

Abstract

The differences in the characteristics of an organism within the same species is highly relevant when evaluating the morphometric changes (shape and size) that occur during its life cycle and in its habitat. Crustaceans of the Munididae family are a group of decapods that have been little studied, although in recent years there are references to morphometric studies. The red squat lobster (*Pleuroncodes monodon* Milne Edwards, 1837) is one of the target species of the trawl fishing fleet that operates on the continental margin along the Chilean coast, a species characterized by presenting bento-demersal data. This demersal benthic decapod is present from Isla Lobos de Afuera, Peru, to Ancud, Los Lagos region, Chile. During its ontogenetic development, according to the current study, it could present differences according to the areas in which it has been reported. In the evaluation of the above, the objective of the present study was to evaluate the phenotypic variation of the cephalothorax structure (carapace) of the red squat lobster, where the differences and similarities were determined according to the size of the individual; as well as its selected geographical distribution, two areas of the Chilean coast through the application of Geometric Morphometry. The variation that is perceived in the size and shape during the ontogenetic development of the species does not vary in several of these selected areas, therefore the hypothesis proposed in the study is accepted. The differences and similarities that presented the agreement to the size and geographic distribution that *Pleuroncodes monodon* possessed, thanks to the statistical analyzes (MANOVA), determined the areas of variation specific to the size and the areas under study, which there is some difference with an $\alpha = 0.001$, but this variation that is found is believed to be due to the sizes of the individuals rather than the sex, area and / or species as such.

Introducción

Dentro de la biología evolutiva, los estudios se han centrado principalmente en rasgos que no se ven afectados por el ambiente, sino más bien en aquellos que tienen mayor base genética. La plasticidad fenotípica consiste en un conjunto de rasgos de un organismo que resultan de la expresión de su genotipo bajo la influencia del ambiente en el que se desarrolla. La plasticidad fenotípica y la norma de reacción son dos conceptos estrechamente relacionados entre sí. La plasticidad fenotípica conduce siempre a una norma de reacción, que se refiere a la expresión de diferentes fenotipos a partir de un mismo genotipo, mediado por la combinación de diferentes condiciones ambientales en diferentes ambientes (Hernández-Verdugo *et al.*, 2015).

El desarrollo comprende el periodo de crecimiento y conformación de los rasgos fenotípicos del organismo, especialmente durante la ontogenia y primeras etapas de su vida (West-Eberhard, 2003). Los rasgos morfológicos, al igual que otros rasgos como el comportamiento o la fisiología, a menudo varían entre los individuos de una misma población o entre poblaciones de una misma especie. Es decir, existen diferencias de ciertos rasgos y esto puede verse reflejado en algún aspecto físico del individuo. Frecuentemente, se elige comparar especies con rangos de distribución contrastante que sean congénicas, para reducir el efecto de la filogenia en los patrones de plasticidad observados. La premisa general es que las especies con un rango de distribución amplio deberían presentar mayor plasticidad fenotípica que las especies de distribución limitada (Gianoli, 2004).

Dentro de la familia Munididae (Ahyoung *et al.*, 2010), existen especies que conforman las pesquerías de crustáceos de gran valor económico y alimentario. Habitan desde aguas someras hasta regiones abisales, asociados generalmente a fondos anóxicos de origen biogénico (Retamal, 1994). *Pleuroncodes monodon*

es un decápodo bentónico demersal cuya distribución geográfica se extiende desde Isla Lobos de Afuera, Perú, hasta Ancud, provincia de Chiloé, Chile (Palma, 1994). A lo largo de su distribución, se registra una unidad de pesca entre las regiones de Valparaíso y del Biobío; y otra unidad de pesquería, desde la Región de Atacama hasta la Región de Coquimbo, las que se definen de acuerdo las capturas que se realizan por la flota de Camanchaca Pesca-Sur.

Los rangos batimétricos conocidos indican que se puede encontrar desde 29 m hasta 400 m de profundidad (Retamal, 1994). La vida planctónica del langostino colorado comprende cinco estados larvales de zoea y uno de postlarva (Palma, 1994). Una vez que los individuos han alcanzado el estado de postlarva, comienza su desplazamiento hacia la zona bentónica donde ocurre el reclutamiento. Por su rango de distribución batimétrica, se evidencia que se encuentra bajo la influencia del agua subantártica que cubre la plataforma continental en otoño e invierno, y por el agua ecuatorial subsuperficial que asciende hasta áreas más someras en primavera y verano, durante los procesos de surgencia (Palma, 1994).

Además, se ha observado que el rango de distribución batimétrica del langostino, varía en función de su comportamiento reproductivo (Palma, 1994). Es así como en otoño, cuando se inicia el período de portación de huevos, las hembras se encuentran a mayor profundidad, en fondos de 200 a 350 m. En cambio, a fines de invierno, período en que se registra el mayor porcentaje de hembras ovígeras (portadoras de huevos), se detecta la migración de los individuos hacia aguas más someras comprendidas entre 70 y 200 m de profundidad (Palma, 1994).

A principios del siglo XX, la biología comparada entró en una transición entre el campo descriptivo y la ciencia cuantitativa, en la que el análisis morfológico tuvo una similar revolución cuantitativa (Bookstein, 1998). El estudio de la morfología ha tenido un importante énfasis gracias al desarrollo estadístico del análisis de la “forma”; esto hizo posible la combinación de métodos estadísticos multivariados y nuevas maneras de visualizar una estructura. Esta “Síntesis

Morfométrica”, conocida actualmente como “Morfometría Geométrica” - (MG), permite el estudio de la forma, definida como las propiedades geométricas restantes tras remover los efectos de la escala, la rotación y la traslación de un objeto (Benítez *et al.*, 2014).

En los crustáceos decápodos, la forma del caparazón se ha utilizado como una herramienta básica en la sistemática a nivel de especie, pero también ha evidenciado que la morfología también refleja determinadas condiciones ecológicas. Habitualmente la forma del caparazón se ha calculado mediante las curvaturas o comparaciones por pares de medias lineales y solo pocos estudios se han centrado en la evaluación de cambios alométricos (Lezcano *et al.*, 2011). Esto se debe en parte a que la morfometría clásica no puede separar el tamaño de la variación de la forma (Rohlf & Bookstein, 1987). Estudios realizados por Huxley (1932) y Teissier (1960) en crustáceos decápodos informaron ampliamente sobre la relación de estructuras como las quelas u abdomen y el tamaño total del individuo (por ejemplo, en cangrejos, largo o ancho del caparazón). Dentro de las diferentes relaciones talla-forma, la alometría ontogénica es el tipo de parámetro que más se ha estudiado y se ha ocupado en la covariación entre caracteres durante el crecimiento. La alometría ontogénica suele ser una fuente importante de variación de la forma del caparazón y se refleja en la existencia de muchos casos de sinonimia juvenil como resultado de la descripción inicial de formas juveniles y adultas como especies diferentes (Lezcano *et al.*, 2011).

En este contexto es muy factible que el langostino colorado exhiba plasticidad fenotípica que se exprese en la variabilidad intraespecifica asociada a su desarrollo ontogenético. Por tanto, a través de este estudio se pretende contribuir con información complementaria para la identificación de unidades de monitoreo y manejo del langostino en varios caladeros de pesca frente a la costa chilena.

Hipótesis

La forma y tamaño en el caparazón de *Pleuroncodes monodon* no varía significativamente durante su alometría ontogénica (la forma y tamaño del caparazón), entre las dos zonas de estudio (Regiones Valparaíso-O'Higgins y Maule-Biobío).

Objetivos

Objetivo general

Evaluar los cambios morfométricos (forma y tamaño) que se producen en el caparazón de *Pleuroncodes monodon* durante su desarrollo ontogénico entre las zonas de estudio.

Objetivos específicos

- Determinar diferencias o similitudes de acuerdo con el tamaño y a su distribución geográfica.

- Evaluar el patrón morfométrico de *P. monodon* a lo largo de la distribución latitudinal.

Materiales y métodos

Zona de Estudio

Se tomaron especímenes de langostino colorado a partir de los muestreos diarios que se realizan desde las capturas de la flota de Camanchaca Pesca-Sur por personal técnico del Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas (EPOMAR), Departamento de Oceanografía en la Universidad de Concepción. Las muestras provienen de lances de pesca realizados en dos zonas: a) región de Valparaíso ($33^{\circ} 03' S$ $71^{\circ} 38' O$) a O'Higgins ($34^{\circ} 22' S$ $71^{\circ} 07' O$) y b) desde la región del Maule ($35^{\circ} 25' S$ $71^{\circ} 40' O$) hasta Biobío ($36^{\circ} 46' S$ $73^{\circ} 23' O$) recolectadas a diferentes profundidades.

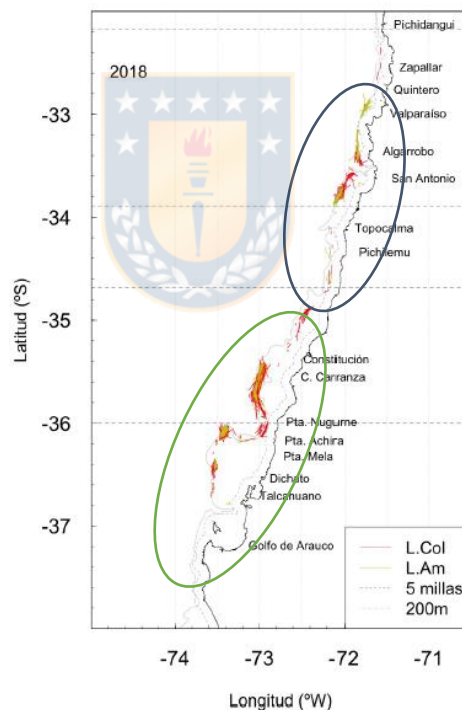


Figura 1: Distribución espacial de langostino colorado *P. monodon* (color rojo) y amarillo *C. johni* (color amarillo) durante el 2018. Las zonas: a) región de Valparaíso a O'Higgins (Elipse color azul) y b) desde la región del Maule hasta Biobío (Elipse color verde).

Toma de las muestras

A partir de las muestras diarias de langostinos, se obtuvieron submuestras aleatorias por zonas, desde las cuales se seleccionaron especímenes que estaban completos. Es decir, el caparazón en buen estado y con todos los apéndices. A cada ejemplar se les realizó un muestreo biológico que consistió en medir la longitud del cefalotórax con un pie de metro digital de 0,01 mm de precisión, se pesaron con una balanza monoplato de 0,01 g de precisión, y se les identificó el sexo. La longitud del cefalotórax comprendió desde la órbita ocular hasta el extremo posterior del cefalotórax. Luego, se etiquetaron y se ordenaron en una bandeja para su posterior procesamiento de imágenes.

Una vez realizado el muestreo biológico y previa identificación de los individuos con la etiqueta, se dividieron en dos grupos denominados zonas: Zona 1, que abarcó de la Región de Valparaíso a O'Higgins; y la Zona 2, que abarcó desde la Región del Maule a Biobío (Fig. 1). Las muestras de ambas zonas fueron subdivididas en cuatro estratos de profundidad (<50; 51-100; 101-200; 201-300); y en cada estrato de profundidad se subdividió en estratos de tallas (<25; 26-30; 31-35; 36-40 y >40 mm). El mínimo de muestras registradas por tallas fue de 10 individuos por sexo; y el mínimo de muestras por profundidad fue de 100 individuos, definido por la cantidad de individuos por talla.

Procesamiento de las muestras

El procesamiento de las muestras consistió en obtener fotografías del caparazón de los individuos muestreados. Para ello, se montó una cámara digital CANON powershot DSC-H300 de 20,1 mega pixeles con un lente de 50 mm de distancia focal sobre un trípode Manfrotto MK055XPRO3-3W, se orientó en posición horizontal de tal manera que quede fijo al plano de la mesa a una distancia de 12 cm (tomada desde el borde externo del lente a la superficie de poliestireno expandido que permitió colocar la muestra en la superficie de la mesa de trabajo (Fig. 2)



Figura 2: Acondicionamiento de la cámara y trípode para la posterior sesión de fotos de los langostinos colorados.

Uno de los problemas que con mayor frecuencia se presenta es la reflexión de la luz, dándole mayor resalte a sombras y brillos indeseados en la fotografía, por lo que se trató de atenuar al máximo exponiendo la muestra solo a luz natural y bloqueando el paso de luz artificial. Por otro lado, es mejor tratar las fotos para evitar demasiado ruido en la imagen.

Las muestras de langostino colorado se dispusieron sobre la superficie del poliestireno expandido (Fig. 3), en un plano lo más perpendicular al plano de la imagen.

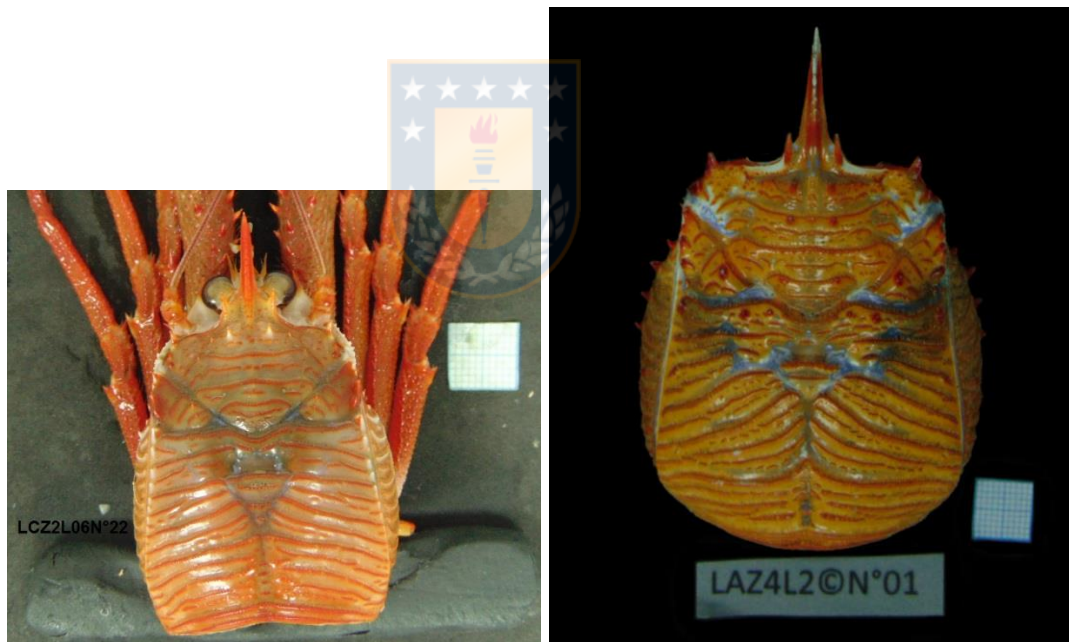


Figura 3: Muestra de langostino (LC= langostino colorado) en posición para una posterior fotografía, con los datos del muestreo, la zona de donde fue tomado (Z), el lance (L) y el número de muestra analizado.

Análisis de imágenes y morfometría geométrica

Luego de tomar todas las fotografías se procesaron con el software ImageJ, donde se editaron para realizar el muestreo de las características de cada imagen. En cada fotografía se identificaron 15 puntos de referencia anatómicos bidimensionales para determinar la forma del caparazón (Fig. 4).

El muestreo de landmarks se organizó en archivos TPS, para posteriormente realizar un análisis de procrustes utilizando el software Morpho J (Klingenberg, 2011). El análisis de procrustes permitió centrar los landmarks, remover las diferencias en tamaño, y rotar los landmarks hasta que ellos se ajusten. Posteriormente, se aplicó un Análisis de Componentes Principales sobre la base de una matriz de varianza-covarianza de los landmarks (Smith, 2002). Este análisis permitió reducir la información contenida en los 15 landmarks, identificar diferencias y similitudes en una grilla de deformación resumida en los dos primeros componentes principales. Una vez identificadas las variaciones, los puntajes del componente 1 y 2 se contrastan con las zonas mediante el análisis multivariante de la varianza (sigla en inglés, MANOVA).

El análisis estadístico se realizó con el paquete “geomorph” de Adams & Otárola-Castillo (2013) para R (R Core Team 2019), el cual permitió realizar el MANOVA para evaluar diferencias significativas en la forma entre zonas, sexo y tamaño mediante permutación (Goodall, 1991); además de identificar los factores que más influyeron en la variación de la forma de los individuos.

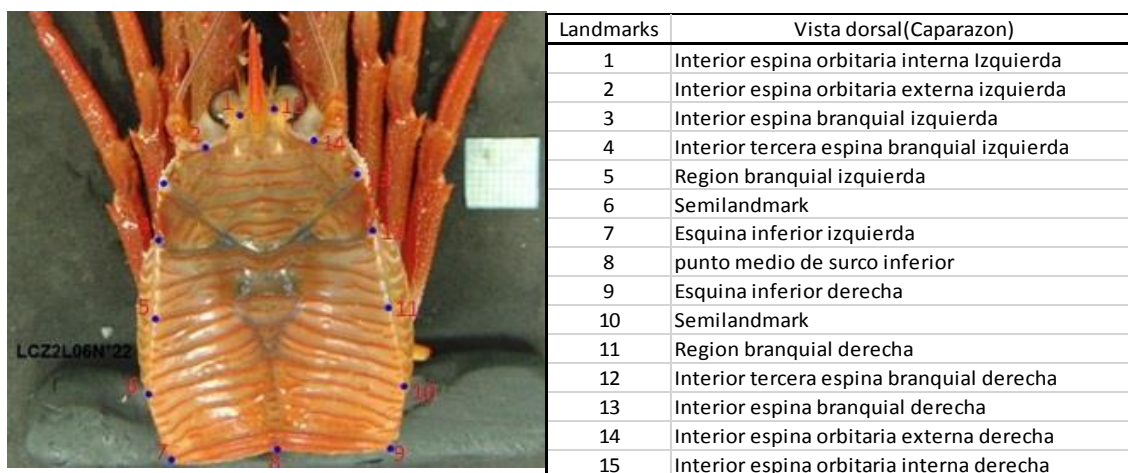


Figura 4: Descripción de los puntos de referencia anatómicos (landmarks) utilizados en la MG de la vista dorsal (caparazón) del *P. monodon* (puntos azules). Los puntos 6 y 10 que se definen como semilandmarks, no tienen relevancia en la morfología de la especie, pero si a la hora de definirlos se utilizaron para darle forma al caparazón de *Pleuroncodes monodon*, ya que si no quedaba achatado y no se apreciaba realmente la forma que posee.

Resultados

De un total de 630 ejemplares analizados, entre las regiones de Valparaíso - O'Higgins (n=273) y desde la región del Maule – Biobío (n=357), se contó con 420 hembras y 210 machos cuya distribución de frecuencia de tallas resultó ser similar (Fig. 5). No hubo diferencias significativas en la talla promedio para ambos sexos, (test de Kruskal-Wallis, $df=1$; $p > 0,05$) (Tabla 1).

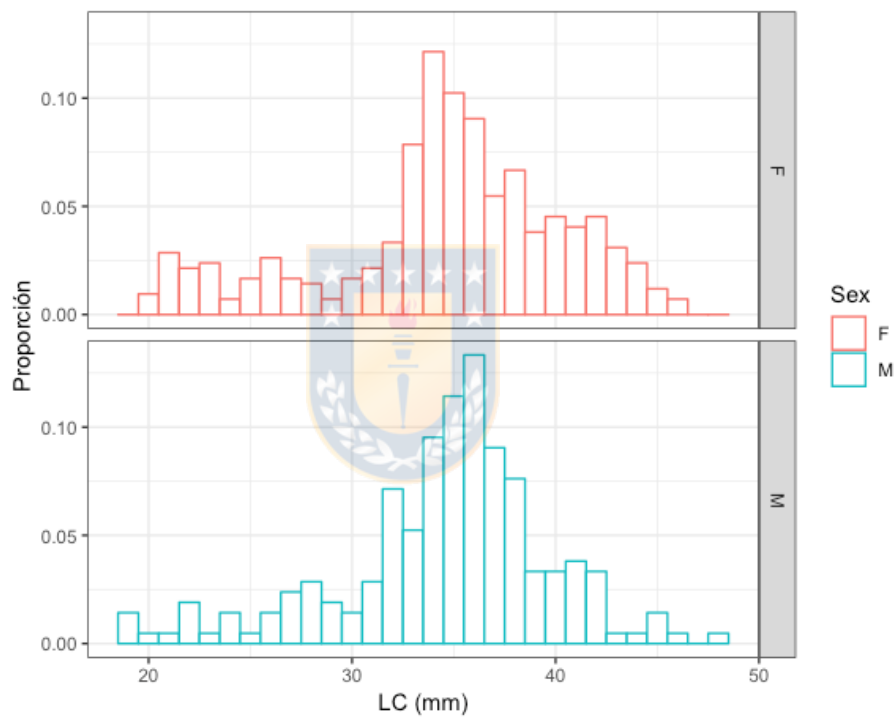


Figura 5: Composición de tallas por sexo en la muestra de langostino colorado utilizada para el análisis de morfometría (MG).

Tabla 1: Resumen de la composición de tallas en las muestras de langostino colorado por sexos.

Talla (LC, mm)	Hembra	Macho
Mínimo	19,73	18,74
Máximo	45,73	48,33
Promedio	34,61 (DS±5,92)	34,61 (DS±5,19)
Desviación estándar	5,92	5,19
N	410	210

No obstante, a pesar de que la composición de tallas fue similar entre sexos, la composición de tallas por zonas mostró diferencias significativas en la talla promedio (test de Kruskal-Wallis, $df=1$, $p < 0,05$) (Fig. 6).



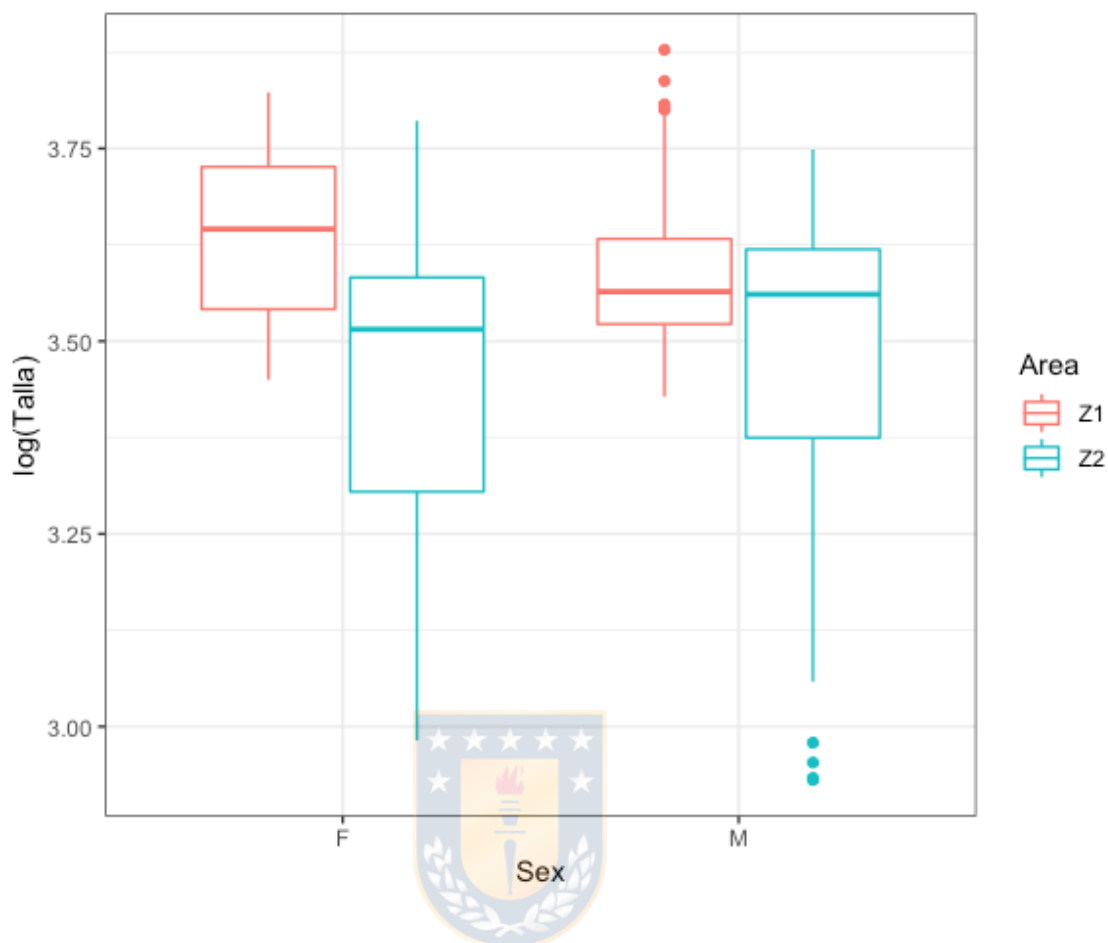


Figura 6: Composición por tallas para ambos sexos de langostino colorado según zonas (Z1= Valparaíso- O'Higgins y Z2= Maule- Biobío). En base a la muestra utilizada para el análisis de la morfometría (MG).

El análisis de sobreposición parcial del Análisis de Procrustes muestra la configuración de consenso (promedio) para la forma del caparazón y la variación de los 15 landmarks (Fig. 7). El análisis de Procrustes con 15 Hitos con el Análisis de Componentes Principales mostró que los dos primeros componentes principales explicaron 33,259% de la variabilidad en la forma del caparazón, con 20,067% de varianza del primer componente y 13,192% el segundo componente, quedando demostrado que no existe una variación significativa de los individuos entre las zonas de estudio (Fig. 8, Tabla 2).

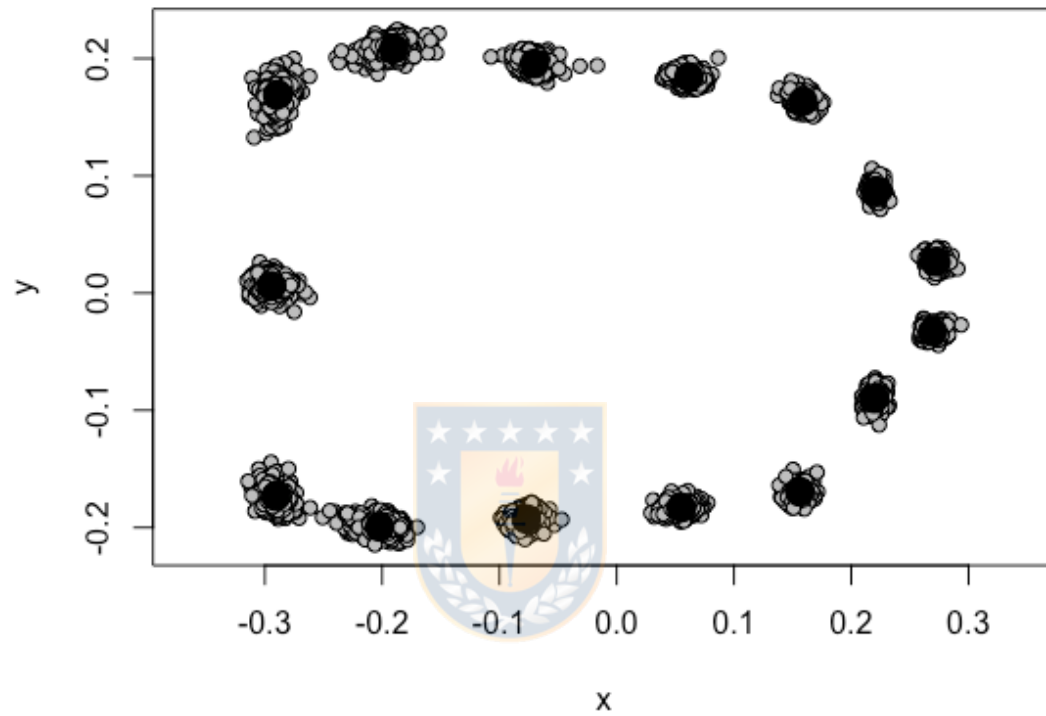


Figura 7: Sobreposición parcial y configuración de consenso (medias) de los 15 hitos que definen la forma del caparazón del langostino colorado.

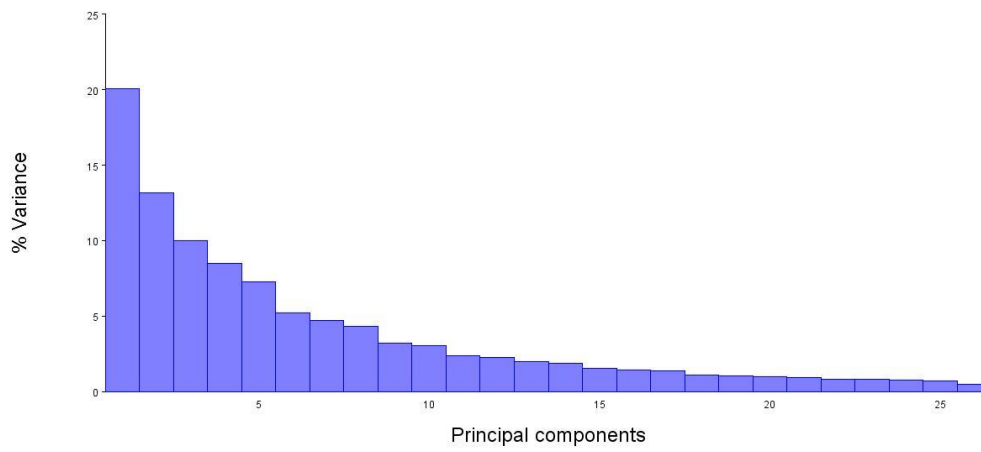


Figura 8: Componentes principales con cada uno de sus porcentajes de varianza.



Tabla 2: Las 26 dimensiones de la forma con sus valores referenciales de forma, su porcentaje de varianza y el porcentaje acumulativo para cada dimensión.

Shape Dimensions	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1.	0,00023392	20,067	20,067
2.	0,00015378	13,192	33,26
3.	0,00011661	10,003	43,263
4.	0,0000991	8,502	51,764
5.	0,00008506	7,297	59,062
6.	0,00006092	5,226	64,288
7.	0,00005471	4,693	68,981
8.	0,00005058	4,339	73,32
9.	0,00003764	3,229	76,549
10.	0,00003552	3,047	79,596
11.	0,00002756	2,365	81,96
12.	0,00002648	2,271	84,232
13.	0,0000232	1,99	86,222
14.	0,0000218	1,87	88,092
15.	0,00001823	1,564	89,656
16.	0,00001666	1,43	91,086
17.	0,00001606	1,378	92,464
18.	0,00001303	1,118	93,581
19.	0,00001203	1,032	94,613
20.	0,00001127	0,967	95,58
21.	0,00001066	0,915	96,495
22.	0,00000976	0,838	97,333
23.	0,00000931	0,799	98,132
24.	0,00000854	0,733	98,864
25.	0,00000792	0,679	99,543
26.	0,00000532	0,457	100

El Análisis de Componentes Principales permite comparar gráficamente la forma del caparazón del langostino colorado entre las zonas (Fig. 9), donde se observa una sobreposición importante y consistente en la forma, con deformaciones leves del caparazón en la parte posterior y que se explican por los valores extremos del PC1 (20,067%).

Al analizar la interacción área-sexo en los puntajes del Análisis de Componentes Principales se observa que existe una sobreposición importante, entre machos y hembras y entre zonas (Fig. 10).

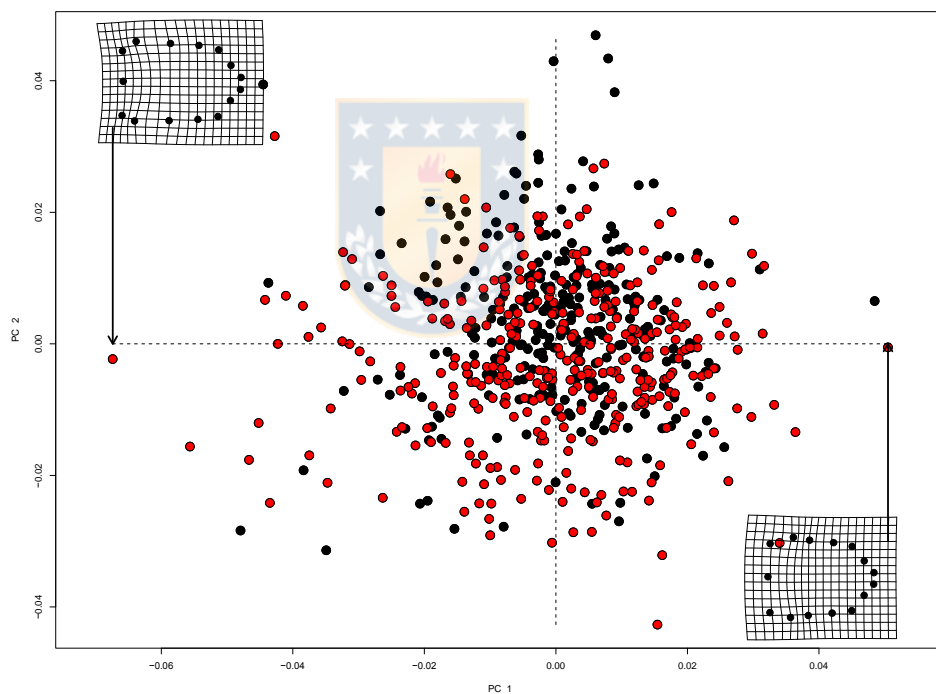


Figura 9: Análisis de componentes principales donde se puede observar que no hay mayor variación de la forma y tamaño del caparazón de *Pleuroncodes monodon* entre la zona 1 (Valparaíso – O'Higgins) y la zona 2 (Maule – Biobío). La zona 1 se encuentra representada por los puntos negros y la zona 2 por los puntos rojos.

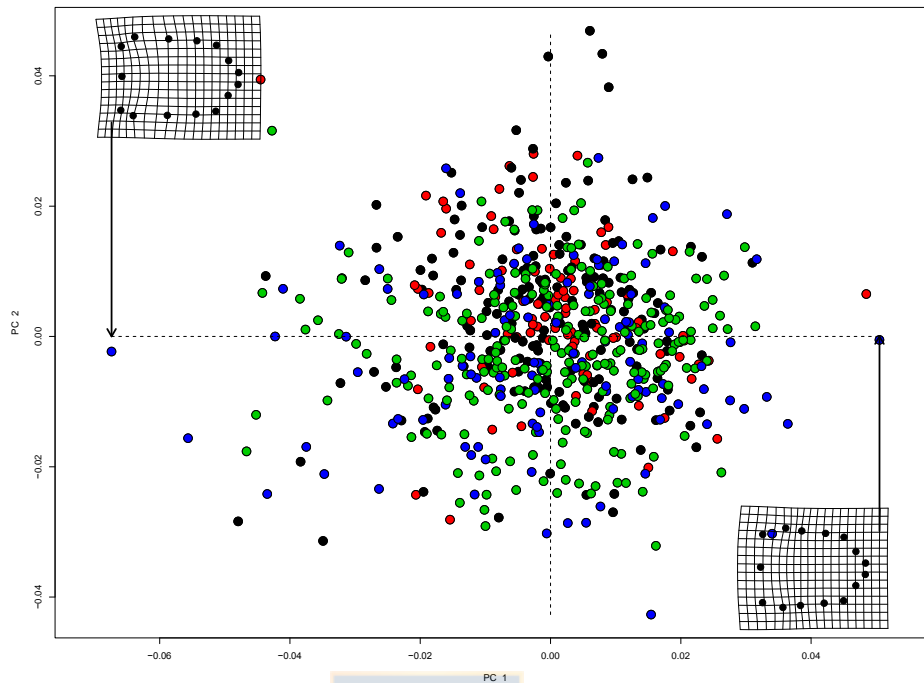


Figura 10: Análisis de componentes principales donde se puede observar que la variación es menor en la forma y tamaño del caparazón de *Pleuroncodes monodon* entre la zona 1 (Valparaíso – O’Higgins) y la zona 2 (Maule – Biobío). La zona 1 se encuentra representada por los puntos negros y la zona 2 por los puntos rojos. Los machos están representados por el color azul y las hembras con el color verde.

No obstante, el conjunto observado del Análisis de Componentes Principales, la cantidad relativa de variación de forma atribuible al tamaño, área y sexo en los Procrustes, indica que hay diferencias significativas debidas al tamaño y área (Tabla 3). Se destaca que como indicador del tamaño se utilizó el logaritmo del tamaño de los centroides.

Al considerar la interacción área*sexo, se observó que no hay variaciones entre sexos al interior de cada área (Tabla 4). Asimismo, al considerar todos los efectos cruzados se encontró que la variación espacial en la forma entre zonas es debida más bien al tamaño (tamaño*área), mientras que no hay diferencias significativas para la interacción área*sexo, tamaño*sexo, ni tamaño*área*sexo (Tabla 5).

Tabla 3: Análisis de varianza para la zona 1 y 2 (área), usando aleatorización residual. El procedimiento de permutación, con 1000 permutaciones, aleatoriza valores brutos (residuos de la media). Mediante el mínimo cuadrados ordinarios se realizó el método de estimación. Tamaño de efectos (Z) basados en la distribución F. El área se aprecia que es significativa y el logaritmo del tamaño del caparazón también, por lo que debe de haber algo que produzca tal variación entre las áreas.



	Df	SS	MS	Rsq	F	Z	Pr(>F)
log(Csize)	1	0,02646	0,026455	0,03598	23,7737	7,4910	0,001 **
Area	1	0,01151	0,0115075	0,01565	10,3412	5,8065	0,001 **
Sex	1	0,00076	0,0007625	0,00104	0,6852	-0,7108	0,77
Residuals	626	0,6966	0,0011128	0,94734			
Total	629	0,73533					

Tabla 4: Análisis de varianza de las zonas en presencia del sexo de los individuos, utilizando aleatorización residual. En el efecto cruzado de las áreas y el sexo, se puede apreciar que no hay variación significativa, pero si se aprecia una variación en las áreas y el logaritmo del tamaño del caparazón de *Pleuroncodes monodon*, por lo que la pequeña variación que se produce entre áreas puede deberse a las diferencias de talla de los individuos.

	Df	SS	MS	Rsq	F	Z	Pr(>F)
log(Csize)	1	0,02646	0,026455	0,03598	23,7767	7,4911	0,001 **
Area	1	0,01151	0,0115075	0,01565	10,3425	5,8068	0,001 **
Sex	1	0,00076	0,0007625	0,00104	0,6853	-7,105	0,77
Area:Sex	1	0,0012	0,001201	0,00163	1,0794	0,339	0,361
Residuals	625	0,6954	0,0011126	0,9457			
Total	629	0,73533					

Tabla 5: Análisis de varianza de ambas zonas en presencia del sexo de los individuos y también el logaritmo del tamaño del caparazón, usando aleatorización residual. El efecto cruzado entre el logaritmo del tamaño del caparazón y el área (zona 1 y 2) nos demuestra que hay una variación significativa que nos da a entender que se deba a la variación de las tallas de los individuos y no al sexo.

	Df	SS	MS	Rsq	F	Z	Pr(>F)
log(Csize)	1	0,02646	0,026455	0,03598	24,0368	7,5147	0,001 **
Area	1	0,01151	0,0115075	0,01565	10,4556	5,8329	0,001 **
Sex	1	0,00076	0,0007625	0,00104	0,6928	-0,6841	0,757
log(Csize):Area	1	0,00874	0,0087433	0,01189	7,944	5,1500	0,001 **
log(Csize):Sex	1	0,00109	0,0010854	0,00148	0,9862	0,2104	0,425
Area:Sex	1	0,001	0,0010031	0,00136	0,9114	-0,0553	0,526
log(Csize):Area:Sex	1	0,00119	0,0011942	0,00162	1,0850	0,3796	0,348
Residuals	622	0,68458	0,0011006	0,93098			
Total	629	0,73533					

Discusión

El objetivo de este estudio fue determinar las diferencias y similitudes en la forma del caparazón del langostino que fueran atribuible al tamaño y la localidad geográfica. Una de las causas que podría influir en la variación morfológica del langostino colorado sería el desarrollo ontogenético, que se expresó en el efecto del tamaño (centroide) entre las dos zonas estudiadas. La zona 2, Maule – Biobío contó con ejemplares más pequeños que en la zona 1, Valparaíso – O'Higgins, que se vio reflejado en el análisis de la variación de la forma contenida en los procrustes.

No obstante, el análisis de componentes principales mostró que la variación en la forma es baja entre áreas, $< 33,259\%$ (Fig. 9). En efecto, los individuos de ambas áreas se sobreponen en el centro de intersección de los dos primeros componentes principales; lo que también ocurrió entre machos y hembras (Fig. 10). Esto permite concluir que la forma del caparazón del langostino colorado es una estructura estable, independiente del área y sexo. La dispersión a lo largo del primer componente principal muestra que hay una variación pequeña en el extremo posterior del caparazón del langostino, apreciándose que se ensancha un poco; lo que pudo deberse a variaciones en la posición del caparazón al momento de obtener la imagen y/o al momento de registrar los hitos de esa parte del caparazón. Estos resultados muestran que no hay evidencia en contra de la hipótesis planteada.

En el plano tangente del análisis de componentes principales, se observó que la forma y tamaño de *P. monodon* se mantiene sin mayores variaciones y con una dispersión baja a lo largo de los ejes. Los parámetros estudiados indican que los individuos provenientes de ambas zonas se localizaron centrados, mientras que respecto de los puntos que se encuentran más alejados pudo deberse a pequeños errores de observación en los hitos en el caparazón posterior.

El análisis de varianza con permutación de residuales (MANOVA) mostró que, entre ambas zonas, o áreas, hubo una variación significativa ($\alpha=0,001$) atribuible al tamaño y las áreas, siendo además probable que las diferencias entre zonas fueron atribuible a las tallas de los individuos, ya que el efecto cruzado tamaño*sexo*área no mostró diferencias significativas en la cantidad de variación de la forma del caparazón al interior de cada zona, independiente del tamaño y sexo. En este contexto, el patrón morfométrico que presenta *P. monodon* a lo largo de la distribución latitudinal no presenta cambios mayores, por lo que se considera que latitudinalmente el patrón morfométrico es una estructura homogénea.

Las diferencias en la forma atribuibles al tamaño y zonas pueden estar reflejando alometría. Cuando la forma varía con el tamaño, ocurre alometría y por lo general se debe a la disociación de parámetros de desarrollo de diferentes partes del cuerpo que ocurren durante la ontogenia; por ejemplo, cuando tiene lugar el crecimiento de embriones, larvas y/o juveniles, muchos de los ejemplos de alometría son de tipo ontogenético (Núñez, 2017). De esta manera, los animales tratan de minimizar las diferentes velocidades de crecimiento entre superficie y volumen con diseños que compensen esas diferencias. Como los explica Navarro *et al.* (2017), los cambios alométricos asociados al incremento ontogenético del tamaño corporal pueden tener un impacto profundo en las formas anatómicas. Hasta el momento, los trabajos sobre alometría ontogenética en anuros se basan generalmente en caracteres esqueléticos y en estadios pre y postmetamórficos.

Además, para el langostino colorado se reconoce la ocurrencia de una heterocronía, como un tipo importante de disociación del desarrollo que aumenta la capacidad de evolución morfológica; y, por lo tanto, es un modo importante de evolución (Haye et al., 2010). Existen diversos ejemplos de heterocronía dentro de las especies de crustáceos como; por ejemplo, plasticidad paedomórfica en las articulaciones del caparazón y el área del caparazón marginal interior de los

ostrácodos. Similar al tipo de heterocronía que puede estar ocurriendo en *P. monodon*, algunas otras especies de crustáceos muestran variaciones en el momento de la aparición y las tasas de desarrollo del carácter (Haye et al., 2010).

Aunque la alometría (cambios corporales en relación con el tamaño) está íntimamente asociada con la heterocronía (cambios corporales en relación con la edad), que (en su acepción amplia) concierne cambios evolutivos en los momentos de aparición, tasas y secuencias de desarrollo de caracteres en la ontogenia, incorporando entonces el tiempo como un componente esencial. Entonces los efectos ontogenéticos deberían verse reflejados más bien durante la ontogenia temprana, y la heterocronía en los procesos del desarrollo.

En consecuencia, los cambios en la forma atribuibles al tamaño encontrados en este estudio para el langostino colorado pueden estar reflejando más bien en la alometría, tal vez en la relación entre volumen y tamaño ya que al interior de cada zona la forma no varía con el tamaño ni el sexo.



Conclusión

- La forma del langostino colorado varió entre las zonas estudiadas, atribuible a las diferencias en el tamaño, pero esta pequeña variación que se encontró se debió a la influencia de las tallas de los individuos más que al sexo y/o distribución geográfica.
- El langostino colorado tiene una forma estable al interior de cada zona, la que no varía con el tamaño ni el sexo de los ejemplares.
- La morfometría geométrica es una herramienta muy útil para poder estudiar de mejor manera rasgos o características que ayuden a contribuir a la estructura poblacional de una especie.



Referencias

Adams, D.C. & Otárola-Castillo, E. (2013) geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods in Ecology and Evolution*, 4: 393-399.

Ahyong, S.T., Baba, K., Macpherson, E., & Poore, G.C. (2010). A new classification of the Galatheoidea (Crustacea: Decapoda: Anomura). *Zootaxa*, 2676(1): 57-68.

Benítez, H.A. & Püschel, T.A. (2014). Modelando la varianza de la forma: morfometría geométrica aplicaciones en biología evolutiva. *Int. J. Morphol.*, 32(3): 998-1008.

Bookstein, F.L. (1998). A hundred years of morphometrics. *Acta Zool. Hung.*, 44: 7-59.

Gianoli, E. (2004). Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. In: *Fisiología ecológica en plantas*. Valparaíso: Hernán Marino Cabrera, pp.13-25.

Goodall, C.R. (1991) Procrustes methods in statistical analysis of shape (with discussion and rejoinder). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 53:285-339.

Haye, P., Salinas, P., Acuna, E. & Poulin, E. (2010). Heterochronic phenotypic plasticity with lack of genetic differentiation in the southeastern Pacific squat lobster *Pleuroncodes monodon*. *Evolution and Development*, 12: 628-34.

Hernández-Verdugo, Sergio, González-Sánchez, Ramón A., Porras, Flor, Parra-Terraza, Saúl, Valdez-Ortiz, Angel, Pacheco-Olvera, Antonio, & López-España,

Ricardo Guillermo. (2015). Plasticidad fenotípica de poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en respuesta a disponibilidad de luz. *Botanical Sciences*, 93(2), 231-240.

Huxley J. (1932). *Problems of Relative Growth*. The Dial Press, New York.

Klingenberg, C.P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources*, 11(2): 353-357.

Lezcano, A.H., González-José, R., Spivak, E.D., & Dellatorre, F.G. (2011). Geographic differences in the carapace shape of the crab *Cyrtograpsus affinis* (Decapoda: Varunidae) and its taxonomic implications. *Scientia Marina*, 76(2): 329-337.

Navarro Acosta, G., & Vera Candiotti, M.F. (2017). Alometría y heterocronías durante el desarrollo temprano de cinco especies de *Hypsiboas* (Anura: Hylidae). *Cuadernos de Herpetología*, 31(1): 11-21.

Núñez Acuña, P.V. (2017) Cambios morfológicos y alometría ontogenética en larvas de chalaco, *Auchenionchus crinitus* (Jenyns, 1842) asociado a la variabilidad ambiental costera, utilizando morfometría geométrica. Tesis Biología Marina, Universidad de Valparaíso, 85 p. (https://cienciasdelmar.uv.cl/images/tesistas/tesis_pilar.pdf)

Palma, S. (1994). Distribución y abundancia de larvas de langostino colorado *Pleuroncodes monodon* frente a la costa de Concepción, Chile. *Investigaciones marinas*, 22: 13-29.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.

Retamal, M. A. (1994). Los decapodos de Chile. Concepción: Editorial de la facultad de ciencias biológicas, pp. 107-120

Rohlf, F. & Bookstein F. (1987). A comment on shearing as a method for “size correction”. *Syst. Zool.* 36: 356-367.

Smith, L.I. (2002). A tutorial on principal components analysis. http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf.

Teissier, G. (1960). Relative growth. In: Waterman T. (ed.), *The Physiology of Crustacea*. Academic Press, pp. 537-560.

West-Eberhard, M. J. (2003). *Developmental plasticity and evolution*. Oxford University Press, pp. 3- 767.

