



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Y
OCEANOGRÁFICAS



Morfología en larvas de Bacalao de Profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898): Análisis basado en morfometría geométrica

Uri Julianne Troncoso Kurte

Seminario de Título presentado al
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Para optar al título de
BIOLOGO MARINO

CONCEPCIÓN - CHILE
SEPTIEMBRE, 2021

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA**

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

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)

Nombre y Grado (s) Académico (s)

Jefe de Carrera

Nombre y Grado (s) Académico (s)

*A Danica, Sofía, Stefy, Tomás, Sebastian, Conny, Cristobal, Bryan,
Cavour, Alan y en especial a todas las personas que he conocido
gracias al hermoso deporte que practico, el rugby.*

Agradecimientos

Agradezco a toda mi familia por haberme apoyado durante mi carrera y en las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida. Agradezco a mis compañeros y amigos de rugby por acompañarme, compartir mis alegrías y tristezas, que para mí son como mi segunda familia. Agradezco al profesor Ariel Valenzuela por ayudarme en los últimos años de mi carrera, ya que sin su apoyo hubiera sido imposible terminar mi seminario de título durante estos tiempos de pandemia. Al profesor Ciro Oyarzún, por estar siempre abierto a ayudar y a compartir sus conocimientos durante durante mi estadia por la universidad. Al profesor Mauricio Landaeta por ser mi profesor guía y enseñarme todo lo que se de morfometría, algo que fue completamente nuevo para mí. También agradecer al profesor Alberto Reyes por proporcionar las muestras y aconsejarme durante todo el proceso de mi seminario.

Contents

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
Morfometría Geométrica	16
Hipótesis	18
Objetivos	18
Materiales y métodos	19
Resultados	22
Análisis realizado en muestras usando 10 Landmarks	23
Análisis realizado en muestras usando 7 Landmarks	29
Discusión y conclusión	34
Bibliografía	38
Anexo	44

List of Figures

- 1 Mapa de distribución de *Dissostichus eleginoides*, señalado por la circunferencia segmentada de color rojizo alrededor del continente Antártico y la línea sólida señala la distribución en Sudamérica. La zona marcada con líneas grises se encuentra administrada por la CCAMLR. Basado en Collins et al. (2010); CCAMLR (2021) 14
- 2 Gráfico de desembarques históricos del Bacalao de Profundidad. Los datos fueron extraídos de los anuarios estadísticos de Sernapesca. 15
- 3 Foto de larva de *Dissostichus eleginoides* con los landmarks asignados para el posterior análisis. 1) Porción extremo anterior maxila, 2) Inserción mandibular, 3) Centro del ojo, 4) Extremo posterior-superior cráneo, 5) Inserción dorsal aleta pectoral, 6) Inserción ventral aleta pectoral, 7) Ano, 8) Porción dorsal pedúnculo caudal, 9) Porción ventral pedúnculo caudal y 10) Centro de la aleta caudal 20
- 4 Gráfico de relación talla-edad, donde se observa que son directamente proporcionales con una varianza del 45,43% ($R^2 = 0,651$). 22
- 5 Imagen consenso del tipo de morfo que debieran tener las larvas de *D. eleginoides* usando los landmarks asignados como base. Los ejes de plano cartesiano presentes en la figura son para ayudar a orientar el lector con los cambios en la disposición de landmarks y el sentido en que se vieron modificados dichos puntos. 24
- 6 Gráficos con los 3 Componentes Principales más relevantes. Al lado se encuentran los cambios morfológicos asociados a los CPs correspondientes, tanto en valores negativos (-) y positivos (+). 26
- 7 Gráfico de regresión entre logaritmo del tamaño de centroide y las coordenadas de Procrustes (4,59%, valor-p = 0,0103). 28
- 8 Gráficos con los 3 Componentes Principales más relevantes. Al lado se encuentran los cambios morfológicos asociados a los CPs correspondientes, tanto en valores negativos (-) y positivos (+). 30

9 Gráfico de regresión entre logaritmo del tamaño de centroide y las
coordenadas de Procrustes (14,64%, valor-p = ¡0,0001). 33

List of Tables

1	Valores de los 3 primeros CPs del morfo de las larvas usando 10 landmarks. Los valores marcados son los que más contribuyen en los cambios de las larvas de <i>Dissostichus eleginoides</i> . Los valores x e y muestran los cambios en los ejes antero-posterior y dorso-ventral, respectivamente.	25
2	Distancia de Procrustes (CVA) entre grupos con sus respectivos valores-p. El valor de significancia es de 0,05.	27
3	Valores de los 3 primeros CPs del morfo de las larvas usando 7 landmarks. Los valores marcados son los que más contribuyen en los cambios de las larvas de <i>Dissostichus eleginoides</i> . Los valores x e y muestran los cambios en los ejes antero-posterior y dorso-ventral, respectivamente.	29
4	Distancia de Procrustes (CVA) entre grupos con sus respectivos valores-p. El valor de significancia es de 0,05.	32
5	Datos de recolección de larvas de <i>D. eleginoides</i> extraídas del cultivo.	44
6	Datos de Componentes Principales realizado usando 10 Landmarks. .	45
7	Datos de Componentes Principales realizado usando 7 Landmarks. . .	46

Resumen

El bacalao de profundidad es un pez demersal con una madurez sexual tardía, una alta longevidad y una baja fecundidad, que es de importancia comercial y se ha visto sometido a intensos esfuerzos de captura. Se diseñó un sistema de cultivo para esta especie, del cual se obtuvieron larvas que fueron sometidas a análisis de morfometría geométrica para determinar si presentan crecimiento alométrico y determinar si existen potenciales diferencias de crecimiento entre la zona de la cabeza y la zona caudal. Se usaron 49 larvas entre 25 y 69 días post eclosión, usando set de 10 y 7 landmarks, a los cuales se les realizaron los mismos análisis. Las larvas presentan cambios importantes en la zona de la boca, inserción de la aleta pectoral y el ano. Se detectaron cambios morfológicos en la boca como en la distancia de las inserciones pectorales con el ano pero no pueden ser explicados por los factores alométricos, ya que presentan valores relativamente bajos de 4,59% y 14,64% para los análisis de 10 y 7 landmarks, respectivamente. Además, no se detectaron diferencias entre el crecimiento de la zona de la cabeza y la aleta caudal.

Palabras claves: Dissostichus eleginoides, larvas de peces, morfología, morfometría geométrica.

Abstract

Patagonian toothfish is a demersal fish with late sexual maturity, high longevity and low fertility, which is of commercial importance and has been subjected to intense efforts of capture. A culture system was designed for this species, from which it will be acquired larvae that were subjected to a geometric morphometry analysis to determine if they present allometric growth and determine if there are potential differences in growth between the area of the head and caudal area. 49 larvae were used between 25 and 69 days post hatching, using a set of 10 and 7 landmarks, for which the same analyses were performed. The larvae exhibited some changes important in the area of the mouth, pectoral fin insertion, and anus. Morphological changes are detected in the mouth as in the distance of the pectoral insertions with the anus but cannot be explained by allometric factors, as they presented relatively low values of 4.59% and 14.64% for the analyses of 10 and 7 landmarks, respectively. In addition, no differences were detected between the growth of the head and caudal fin.

Keywords: Dissostichus eleginoides, larvae fish, morphology, morphometrics geometrics

Introducción

La morfología es la rama de la ciencia encargada de estudiar las características estructurales, tanto externas como internas de los organismos (Toro et *al.*, 2010). Esto incluye los cambios estructurales durante todo el ciclo de vida de un organismo, desde su gestación hasta la senectud (Allen, 1981). El término fue acuñado por Johann Wolfgang von Goethe a comienzos del siglo XIX. Los estadios tempranos del desarrollo de los organismos son los que presentan mayores cambios morfológicos. Esto es debido a que los organismos deben preparar su cuerpo y estructuras para poder cumplir uno de los roles más importantes de un ser vivo: reproducirse. Los organismos tienen que optimizar los recursos de los cuales disponen, destinando así la energía disponible en los primeros estadios sólo al crecimiento y metabolismo basal, nada va destinado a la reproducción hasta alcanzar la madurez sexual. Alcanzada la madurez sexual, se invierten los roles, destinando la energía principalmente a reproducción. Por otro lado, la energía destinada al crecimiento es casi o completamente nula (Martinez-Porchas et *al.*, 2009). Aunque en algunos casos cuando las fuentes de energía disponible son bajas, los organismos disminuyen la energía destinada a la reproducción para destinarla a la supervivencia individual (Schneider, 2004). Esto permite que los organismos alcancen un estado de desarrollo que maximice su éxito reproductivo y la continuidad de su especie.

Dentro del crecimiento de los organismos existen distintas etapas de desarrollo y según que etapas tengan dentro de su ciclo, es posible clasificarlos como: organismos con desarrollo directo e indirecto. Los organismos con desarrollo directo presentan al momento de nacer o eclosionar una estructura similar al de un adulto, pero de menor tamaño, llamados juveniles. Dicho organismo nace con un nivel de desarrollo con capacidad suficiente para cumplir gran parte de sus funciones vitales. Por otra parte, los organismos con desarrollo indirecto tienen un estadio post-eclosión, en el cual deben sufrir una metamorfosis antes de alcanzar el estadio juvenil, dicho estadio se denomina estadio larval. En este estadio, los organismos continúan desarrollándose

para poder llevar a cabo sus funciones vitales (Fabrezi et *al.*, 2017; Urho, 2002). Una gran variedad de organismos presenta un desarrollo indirecto, entre ellos un gran grupo de peces.

La etapa larval de los peces se puede dividir en 4 fases a modo de convención, aunque algunos autores proponen abandonar este tipo de divisiones (Balon, 1979). Estas fases son: i) larvas con saco o larva vitelina, ii) larvas en pre-flexión, iii) larvas en flexión y iv) larvas en post-flexión. La larva vitelina es la primera fase post-eclosión, donde la larva mantiene el saco vitelino que tenía en el huevo hasta que es completamente absorbido. La fase de pre-flexión comienza con la desaparición del saco vitelino hasta el inicio de la flexión de la notocorda. Inmediatamente iniciada la flexión, comienza la fase del mismo nombre, que concluye con la aparición de los huesos hipurales de forma vertical en la zona caudal. La última fase es la post-flexión, que concluye con aparición de los radios en las aletas. Concluido el estadio larval, comienza la transición al estadio juvenil del pez, donde comenzará el cambio de coloración y escamificación del organismo (Kellermann, 1990; Leis & Carson-Ewart, 2000). Las estructuras se desarrollan de forma escalonada durante el crecimiento, siendo una característica común en los estadios larvales de los peces. Se ha planteado que ocurre según los requerimientos de sus funciones primordiales para su supervivencia (Russo et *al.*, 2007; Sala et *al.*, 2005; Zavala-Muñoz et *al.*, 2016).

La gran mayoría de los peces que presentan la etapa o estadio larval pertenecen al grupo de los peces teleósteos. Estos peces se han reportado en todos los océanos y distintas fuentes de agua dulce del mundo, adaptándose a casi todas las condiciones presentes en estos, desde distintos niveles de temperatura, salinidad, concentraciones de oxígeno e incluso a las inhóspitas condiciones del océano profundo. En las aguas frías del hemisferio sur es posible encontrar una familia de estos organismos: los *Nototheniidae*.

La familia Nototheniidae es uno de los grupos más importantes de peces teleósteos que habitan en el hemisferio sur, encontrándose en aguas Antárticas y Subantárticas (Sanchez et al., 2007). Han logrado adaptarse a condiciones extremas como las bajas temperaturas y algunas especies, a las altas presiones de la profundidad del océano. El desarrollo de glicoproteínas anticongelantes, que evitan la congelación de la sangre, es uno de los principales factores que puede explicar el éxito de los nototénidos en este ambiente (Aramayo, 2016; Sanchez et al., 2007) como también la ausencia de una vejiga gaseosa para tolerar las altas presiones en la que se pueden encontrar algunas especies. Se cree que las especies de esta familia provienen de un ancestro bentónico y por diferentes factores como composición de la dieta, rol ecológico, crecimiento alométrico, entre otros, hayan provocado una radiación morfológica que se ha propuesto que ocurre principalmente en estadios embrionarios y larvales (Klingenberg & Ekau, 1996).

Dentro de este grupo se encuentra el Bacalao de Profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898). Es un pez demersal de color café grisáceo con cuerpo fusiforme que presenta 2 aletas dorsales (Oyarzun, 2002). Se alimenta de peces como la merluza, pejes rata e incluso se ha reportado canibalismo. Otros organismos que consume son algunos crustáceos y pequeños cefalópodos (Céspedes et al., 2016; Goldsworthy et al., 2002; Oyarzún, 2002; Troccoli et al., 2020). Esta especie pertenece a los desovadores sincrónicos (Young et al., 1999) y es propia de masas de aguas Subantárticas (Figura 1), por tanto se encuentra en el océano Pacífico, Atlántico e Índico, desde la Patagonia hasta el litoral central de Argentina, e incluso alcanza la plataforma de las Islas Malvinas; en las islas Kerguelen-Heard en el océano Antártico Índico, el arco de Scotia y la península norte de la Antártida (Cáceres et al., 2016; Rubilar & Moreno, 1999). Por el lado del océano Pacífico, la corriente de agua Subantártica choca contra la plataforma continental de Sudamérica a los 45° S aproximadamente, formando la corriente de Humboldt hacia el norte que llega hasta los 4° S (Montecino & Lange, 2009) y la corriente de Cabo de Hornos

hacia el sur, lo que permite que esta especie amplíe su distribución a lo largo de las costas chilenas, siguiendo estas masas de agua fría e incluso alcanzar las aguas ecuatoriales (CCAMLR, 2021). Se puede encontrar a una profundidad entre los 70 a 2500 m (Arana, 2009; Céspedes et al., 2016), siendo los adultos los que habitan las aguas más profundas, mientras que las larvas y juveniles se encuentran en aguas más superficiales (CCAMLR, 2021). La distribución batimétrica está ligada a la ontogenia de esta especie, que a medida que crece el individuo va aumentando la profundidad donde suele habitar y alimentarse (Belchier & Collins, 2008; Laptikhovsky et al., 2006; Murillo et al., 2008). Otro factor es la latitud, que es inversamente proporcional a la profundidad donde habita esta especie (Murillo et al., 2008).

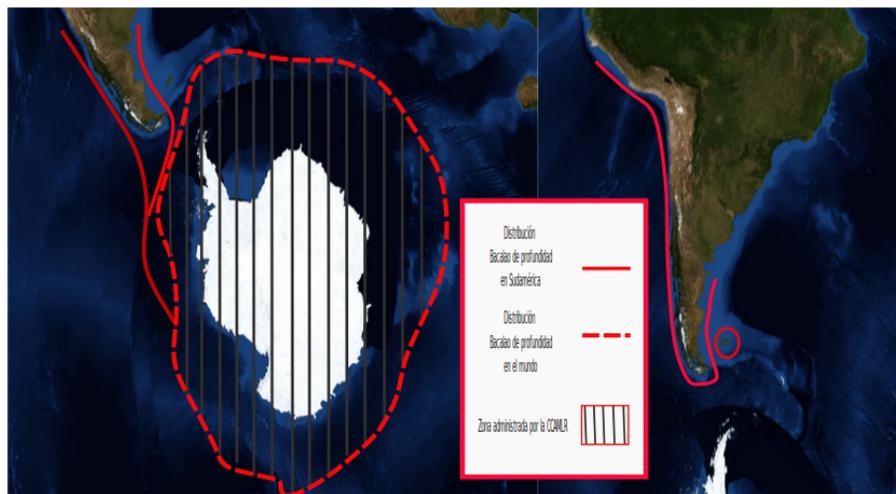


Figure 1: Mapa de distribución de *Dissostichus eleginoides*, señalado por la circunferencia segmentada de color rojizo alrededor del continente Antártico y la línea sólida señala la distribución en Sudamérica. La zona marcada con líneas grises se encuentra administrada por la CCAMLR. Basado en Collins et al. (2010); CCAMLR (2021)

A nivel económico, esta especie posee alta demanda en los mercados internacionales debido a sus cualidades organolépticas, su carne es rica en ácidos grasos (principalmente omega 3) que la hace muy suave al paladar y por otra parte proviene de las aguas más prístinas del planeta, lo que por décadas ha motivado una intensa pesquería que

es regulada mediante cuotas anuales de pesca en la zona antártica por la CCAMLR. Esta regulación en la pesquería sumada a la alta demanda ha generado demanda insatisfecha, alto precio, mercado negro y pesca ilegal. Los precios de mercado actualmente suelen fluctuar entre los 17 y 35 dólares el kilo (Grilly et *al.*, 2015).

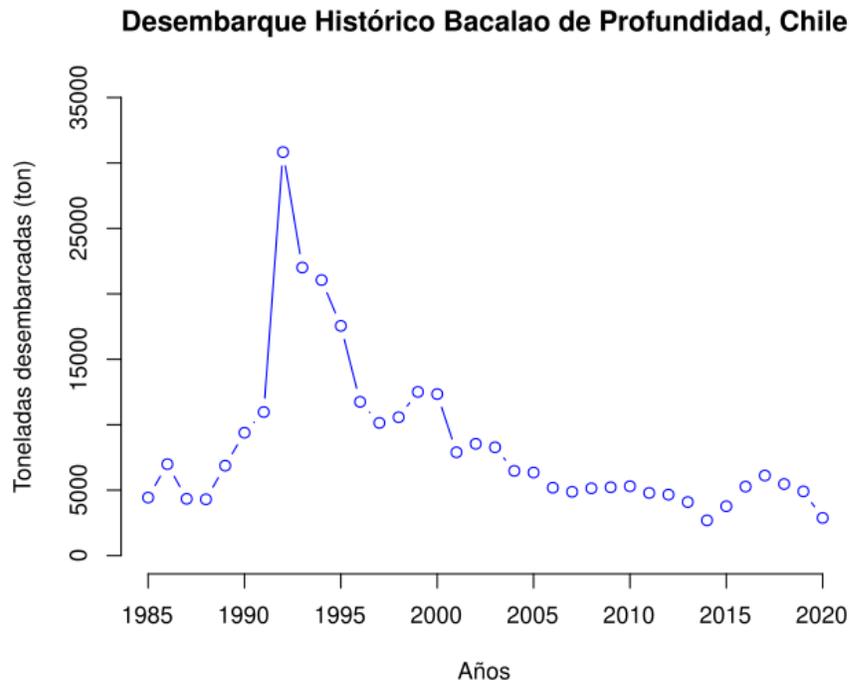


Figure 2: Gráfico de desembarques históricos del Bacalao de Profundidad. Los datos fueron extraídos de los anuarios estadísticos de Sernapesca.

En Chile, inicia la captura del Bacalao de Profundidad como algo exploratorio en 1955, ya desde los 70 se comienza a explotar esta especie de forma comercial por los pescadores artesanales (Cáceres et *al.*, 2016). En la década de los 90 comienza la extracción por el sector industrial y también se suma la pesca de investigación para esta especie. Actualmente, la pesca artesanal ejerce su actividad desde el paralelo 47° LS al norte, en tanto que la pesca industrial opera desde el 47° LS al sur, bajo la modalidad de licitación de cuotas. La pesquería del Bacalao de Profundidad alcanza su punto álgido en 1992 con 30828 toneladas desembarcadas en

Chile. Posteriormente, comienza el descenso en la cantidad de toneladas desembarcadas, alcanzando las 2876 ton en la actualidad (Figura 2)(Sernapesca, 2020). El estado actual en que se encuentra la pesquería es debido a que esta especie es vulnerable a la sobreexplotación por su madurez tardía, baja fecundidad y lento crecimiento (Urtubia et *al.*, 2017).

El estado actual de la especie junto con la importancia económica de ésta, ha motivado gran interés en la investigación y desarrollo del cultivo de bacalao de profundidad. En el 2008 parten las primeras investigaciones impulsadas por la Corporación de Educación la Araucana (con apoyo del Fondef), desarrollando tecnologías para dichos cultivos. El primer paso consistieron en la captura de ejemplares vivos y su adaptación al ambiente artificial de cultivo (Reyes et *al.*, 2012). Posteriormente, se logró que estos organismos se reprodujeran en cautiverio. A partir del 2016, estas investigaciones tuvieron continuidad a través de la empresa privada Seabass Chile, que logró la producción de juveniles de esta especie en sistemas de cultivo en estanques.

Morfometría Geométrica

La morfometría se puede definir como distintos análisis estadísticos que están entrelazados y que sirven para analizar la forma, la tendencia de la forma, la variación de la forma y cualquier factor extrínseco que se encuentren asociados con la forma de las estructuras o el propio organismo (Reyment, 2010; Slice, 2007). En los inicios de la morfología, los análisis de las características estructurales de los organismos fueron de forma descriptiva, detallando muy bien la forma en algunos casos y se agregaban algunos datos lineales siempre que era posible, pero dichas estructuras no podían ser analizadas de forma cuantitativa. La morfometría tienen su origen a comienzos del siglo XX, donde se incorporaron distintos análisis estadísticos multivariados para ayudar a cuantificar los cambios estructurales de los organismos (MacLeod, 2017).

El uso de los análisis estadísticos permitió comparar estructuras entre individuos desde un punto matemático, fuera de las limitaciones visuales y confusiones en las medidas que usaban los distintos investigadores (que no estaban estandarizadas). Aquí nace lo que se conoce como morfometría tradicional (Cardini, 2013; Toro et *al.*, 2010). Esta técnica a pesar de ser un gran avance dentro de la morfología, presenta algunos aspectos que son complejos de tratar, tales como: i) dificultad al separar el tamaño de la forma y siendo esto posible, ¿cuál método es el más efectivo para llevar a cabo este trabajo? Muchos análisis se pueden usar para llevar a cabo este proceso, pero no todos funcionarían de la misma manera y/o tendrán la misma eficiencia en distintos casos; ii) la distancia entre puntos no mantiene la relación del espacio entre ambos puntos al escalar el objeto y iii) los datos son presentados como tablas o coeficientes, lo que hace difícil relacionar los distintos análisis con la forma original o fuente (Cardini, 2013).

Con estas dificultades que presenta la morfometría tradicional, surge la necesidad de poder analizar las formas de las estructuras sin que el tamaño del organismo o la posición de dicha estructura afecte la forma. Con esto en mente, Kendall establece una de las bases de lo que sería la morfometría geométrica que se puede resumir con la siguiente frase: Forma es toda la información geométrica que resulta de retirar los efectos de la posición, escala y rotación de un objeto (Kendall, 1977; MacLeod, 2017; Toro et *al.*, 2010). En sí, la morfometría geométrica se basa en puntos de referencia en un plano cartesiano, que mantienen la relación espacial entre los distintos puntos morfológicos asignados. Estos puntos retienen la información de la forma del punto morfológico durante todos los análisis que se le realizaran al grupo de datos (Charlin & Llosas, 2016; Slice, 2007). Los distintos análisis estadísticos que existen en la actualidad junto con la evolución de la tecnología facilitan este tipo de procesos.

En la actualidad, se han realizado múltiples estudios sobre el Bacalao de Profundidad dentro de las distintas etapas del desarrollo de esta especie. A pesar de esto, no

existen estudios morfológicos de larvas del Bacalao usando morfometría. Uno de los principales motivos de este estudio es tratar de conocer aspectos morfológicos de las larvas de *D. eleginoides*. El principal enfoque es observar los cambios morfológicos e índices de crecimiento de las larvas de *D. eleginoides* mediante el uso de morfometría geométrica. Esto ayudará a comprender algunas características en el crecimiento de esta especie. Se describen algunos cambios estructurales que presentan las larvas de *D. eleginoides* entre su estadio larval y juvenil.

Hipótesis

1. Las larvas de *Dissostichus eleginoides* presentan un crecimiento alométrico.
2. Las larvas de *Dissostichus eleginoides* presentan mayores cambios morfológicos en la zona de la cabeza que en la zona de la cola.

Objetivos

- Describir los cambios morfológicos en el crecimiento de las larvas provenientes de cultivo de *Dissostichus eleginoides*.
- Determinar los cambios morfológicos que ocurren en larvas proveniente de cultivo de *Dissostichus eleginoides*, junto con los patrones de crecimiento de dichas estructuras.
- Determinar las zonas corporales donde ocurren las mayores variaciones morfológicas en larvas cultivadas de *Dissostichus eleginoides*.

Materiales y métodos

Se recolectaron y se almacenaron larvas de bacalao de profundidad, a partir de un cultivo experimental de *Dissostichus eleginoides* realizado en la estación experimental de Chinquihue, de la empresa Seabass Chile. Las muestras fueron almacenadas en frascos de 100 mL, con una dilución 10% de formalina. Las larvas provinieron de los mismos progenitores y del mismo ciclo reproductivo. Estas larvas consisten en ejemplares muertos o moribundas al momento de su recolección por causas presumiblemente ajenas a las condiciones del cultivo por cuanto se encontraban en óptimas condiciones en semanas previas a la fecha en la cual se recolectaron. La recolección de larvas se llevó a cabo entre el 15-03-2019 hasta el 28-04-2019. Los días y UTAs post-eclosión de las larvas junto con la fecha de recolección se observan en la tabla 1 del Anexo. La UTAs o Unidades Térmicas Acumuladas es el promedio de temperatura diaria al cual están sometidos los individuos en un cultivo (acuicultura). Estas unidades permiten determinar cuando ocurren procesos importantes en la vida de los individuos del cultivo y así poder controlar cuando es conveniente que se desarrolle dicho proceso.

Para realizar el análisis de morfometría geométrica, se tomaron fotografías iniciales de las larvas con el propósito de establecer los respectivos landmarks que se observan en la figura 3 (la numeración de los landmarks seleccionados se encuentran en la tabla 2, Anexo).

Una vez establecidos, se procedió a tomar 2 fotos por individuo, orientando a los individuos de izquierda a derecha (la zona anterior de las larvas se encuentra en el lado izquierdo y la zona posterior se encuentra en el lado derecho, tal como se observa en la figura 3). También se modifica ligeramente la posición (manteniendo la parte anterior en su postura original y moviendo la zona posterior en el eje y). Posteriormente, se separaron en tubos de 5 mL con formalina al 10% para su preservación. Fue necesario descartar aquellos individuos que presentaban desviaciones en su cuerpo que no se podían corregir o que presentaran estructuras completamente dañadas que



Figure 3: Foto de larva de *Dissostichus eleginoides* con los landmarks asignados para el posterior análisis. 1) Porción extremo anterior maxila, 2) Inserción mandibular, 3) Centro del ojo, 4) Extremo posterior-superior cráneo, 5) Inserción dorsal aleta pectoral, 6) Inserción ventral aleta pectoral, 7) Ano, 8) Porción dorsal pedúnculo caudal, 9) Porción ventral pedúnculo caudal y 10) Centro de la aleta caudal

pudieran alterar la posición de los landmarks y los análisis posteriores realizaron de las muestras, esto debido a los efectos de la preservación (Nº Individuos total = 151). Se creó un archivo tps con los datos de las fotos usando TpsUtil (ver. 1.60). Los landmarks fueron digitalizados con sus respectivas escalas mediante TpsDig2 (ver. 2.19).

Posteriormente, mediante el programa MorphoJ (ver. 1.07a) se realizó el análisis de Procrustes, que nos permite analizar imágenes a modo de semejanza ajustando al máximo los puntos de las coordenadas establecidas; Análisis de Componentes Principales (ACP), que analiza y compara los cambios asociados a los hitos morfológicos de las larvas representados con los landmarks. También se realizaron regresiones lineales con los CP, usando la longitud estándar, los días post eclosión y las UTAs (Unidades Térmicas Acumuladas). También se comparó si existe diferencias en los cambios morfológicos entre la zona de la cabeza (zona anterior del cuerpo desde el landmark 1 al 6) y la cola (zona posterior del cuerpo desde el landmark 8 al 10). Esta comparación fue llevada a cabo al observar donde ocurrieron los cambios de

mayor envergadura de los landmarks en los CPs. Se realizaron Anova de Procrustes para estimar el error de digitalización de landmarks entre los individuos y sus réplicas. Otros análisis realizados fueron regresiones entre el logaritmo del tamaño del centroide vs las coordenadas de Procrustes y Análisis de Variables Canónicas (CVA) basado en la distancia de Procrustes usando test de permutación (10000 rondas de permutación) para determinar si existe un factor alométrico en el crecimiento de las larvas.

Se realizó un nuevo análisis de las muestras usando solo los 7 primeros landmarks mencionados en la tabla 2, siguiendo los mismos pasos previamente mencionados para el set de datos con 10 landmarks (menos el t-test para comparar diferencias entre la zona anterior y posterior de la larva). Todo esto fue para descartar posibles variaciones en los análisis debido a la preservación de las muestras. Los gráficos fueron construidos en R project (ver 4.1.0).

de los landmarks. Los valores máximos de los landmarks se alcanzan al mayor valor absoluto del CP). Se usarán valores de landmarks asociados a un plano cartesiano para reflejar los cambios morfológicos de las larvas. La figura 5 muestra la estructura morfológica tipo de las larvas, a la cual se le ha agregado un plano cartesiano para ayudar a comprender en que sentido ocurren los cambios morfológicos detectados.

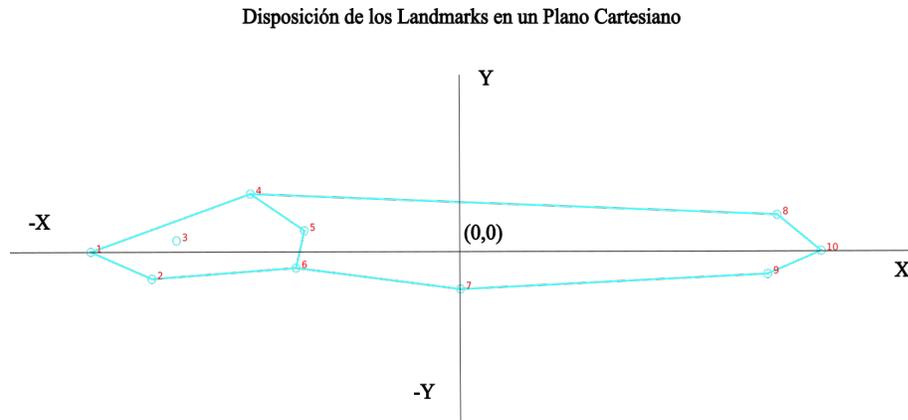


Figure 5: Imagen consenso del tipo de morfo que debieran tener las larvas de *D. eleginoides* usando los landmarks asignados como base. Los ejes de plano cartesiano presentes en la figura son para ayudar a orientar el lector con los cambios en la disposición de landmarks y el sentido en que se vieron modificados dichos puntos.

Los resultados se dividen en 2 grupos: i) Análisis realizado en muestras usando 10 Landmarks y ii) Análisis realizado en muestras usando 7 Landmarks.

Análisis realizado en muestras usando 10 Landmarks

En los análisis de Componentes Principales (CP) realizados usando los 10 landmarks, se obtuvieron 16 CP (todos los valores de los 16 CPs se encuentran en la tabla 3 del anexo) que se encuentran asociados a los cambios morfológicos presentes en los organismos muestreados. De estos 16 CP, los 3 primeros explican el 84,812% de la varianza total de todos los CP registrados (Tabla 1). El CP1 explicó el 64,92% de la varianza, muestra cambios relacionados principalmente al eje dorso-ventral. Los

Table 1: Valores de los 3 primeros CPs del morfo de las larvas usando 10 landmarks. Los valores marcados son los que más contribuyen en los cambios de las larvas de *Dissostichus eleginoides*. Los valores x e y muestran los cambios en los ejes antero-posterior y dorso-ventral, respectivamente.

Landmarks	Posición	Eje	CP1 (64,83%)	CP2 (10,62%)	CP3 (9,27%)
1	Porción anterior premaxila	x1	0,089	0,522	0,253
		y1	0,481	-0,054	0,084
2	Extremo posterior maxila	x2	-0,043	0,092	0,244
		y2	0,235	0,138	-0,096
3	Ojo	x3	0,020	-0,013	-0,120
		y3	0,127	-0,018	-0,045
4	Extremo dorsal posterior cráneo	x4	0,135	-0,148	-0,012
		y4	-0,151	-0,251	-0,016
5	Inserción dorsal aleta pectoral	x5	-0,061	-0,230	-0,486
		y5	-0,343	-0,056	0,034
6	Inserción ventral aleta pectoral	x6	-0,148	-0,177	-0,432
		y6	-0,273	0,056	0,071
7	Ano	x7	-0,039	-0,544	0,598
		y7	-0,545	0,284	0,037
8	Zona dorsal pedúnculo caudal	x8	-0,095	0,147	-0,041
		y8	0,093	-0,182	-0,060
9	Zona ventral pedúnculo caudal	x9	0,127	0,285	-0,100
		y9	0,079	0,027	0,119
10	Zona central aleta caudal	x10	0,015	0,066	0,095
		y10	0,298	0,056	-0,129

puntos más afectados por estos cambios son el extremo anterior de la maxila, la inserción dorsal de la aleta pectoral, el ano y el centro de la aleta caudal (Tabla 1, Figura 6(PC1)). A un CP1 con valor negativo, se observa un desplazamiento del ano y las inserciones pectorales hacia el lado dorsal mientras que la zona de la mandíbula y la aleta caudal se desplazan hacia el lado ventral de los individuos, provocando una curvatura en forma de arco de los cuerpos (Figura 6, CP1 -). Ocurre el efecto contrario a un CP1 positivo, donde el cuerpo adquiere una forma de U con un ano

e inserciones pectorales que se desplazan hacia el lado ventral, mientras que la zona de la mandíbula y la aleta caudal lo hacen hacia el lado dorsal (Figura 6, PC1 +).

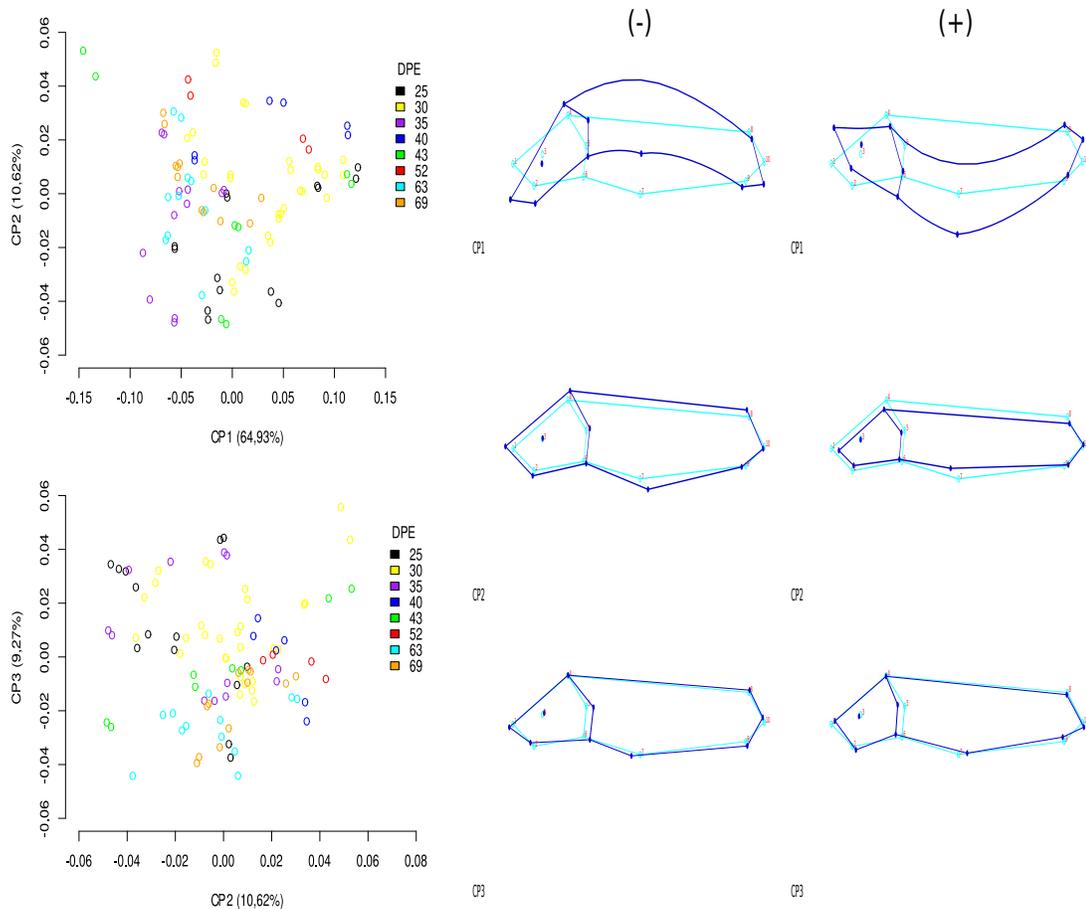


Figure 6: Gráficos con los 3 Componentes Principales más relevantes. Al lado se encuentran los cambios morfológicos asociados a los CPs correspondientes, tanto en valores negativos (-) y positivos (+).

El CP2 con un 10,62% (Tabla 1) presenta cambios en el eje antero-posterior del extremo anterior de la maxila y el ano. A un CP2 (-) se puede observar un crecimiento de todo el cuerpo de las larvas, mostrando un morfo más robusto (Figura 6, CP2 -). Mientras que a un CP2 (+) las larvas presentan un morfo más estilizado y pequeño. (Figura 6, CP2 +). No existe un patrón de cambios definido según la edad de las larvas como se observa en los gráficos de la figura 6.

El CP3 con el 9,266% de la varianza (Tabla 1) presenta cambios de distancias en el eje antero-posterior de las inserciones pectorales (dorsal y ventral) y el ano. Estos puntos morfológicos varían su distancia relativa según el valor del CP3. A un CP3 (-), existe un acortamiento de la distancia relativa entre ambos puntos, mientras que a un CP3 (+) existe una mayor distancia. También se observó un cambio en la disposición de la maxila, si el CP3 es positivo, la zona de la maxila es más alargada. Caso contrario al CP3 (+), donde la maxila se contrae, generando una boca más corta. Los individuos de menor edad presentan el morfo reflejado en el CP3 (-) mientras que los individuos de mayor edad presentan el morfo del CP3 (+).

Al observar los resultados de la tabla 1 existe una diferencia entre los niveles de cambios de la zona anterior y la zona posterior del cuerpo de las larvas (se evitó usar el CP1, ya que la gran mayoría de cambios se encuentran relacionados a la postura del cuerpo de las larvas). Esta diferencia se ve reflejada en los valores absolutos que se observan en la tabla, siendo los landmarks que se encuentran en la zona anterior del cuerpo de las larvas los que presentan los valores más altos. La Anova de Procrustes para determinar el error de medición de los landmarks, demostró que existe diferencias entre el tamaño de centroide como en la forma (valor-p = $1,0 \times 10^{-4}$, para ambos casos). El CP1, CP2 y CP3 presentan un ajuste bajo, solo el CP2 y CP3 son significativos cuando se relacionan con la longitud estándar. (CP1 vs LE, $R^2 = 0,0269$, valor-p = 0,1066; CP2 vs LE, $R^2 = 0,04027$, valor-p = 0,04755; CP3 vs LE, $R^2 = 0,438$, valor-p = $1,178 \times 10^{-13}$). La alometría ontogénica es baja (4,59%), mientras que los cambios de forma están ligados al logaritmo del tamaño del centroide (coordenadas de Procrustes, valor-p = 0,0103; Figura 7). El análisis de variables canónicas nos muestra que existe diferencias entre grupos y que dicha diferencia no se encuentra ligada a la alometría. El grupo de menor edad (25-30 DPE) presenta diferencias con los grupos de 35-40 DPE y con el grupo de 63-69 DPE. En los otros grupos en cambio, no existe diferencias (Tabla 2).

Table 2: Distancia de Procrustes (CVA) entre grupos con sus respectivos valores-p. El valor de significancia es de 0,05.

Días Post eclosión	Distancia Procrustes entre grupos			Valor-p		
	25-30	35-40	43-52	25-30	35-40	43-52
35-40	0,0500			0,0025		
43-52	0,0293	0,0291		0,1969	0,3756	
63-69	0,0606	0,0204	0,0392	0,0000	0,2655	0,0694

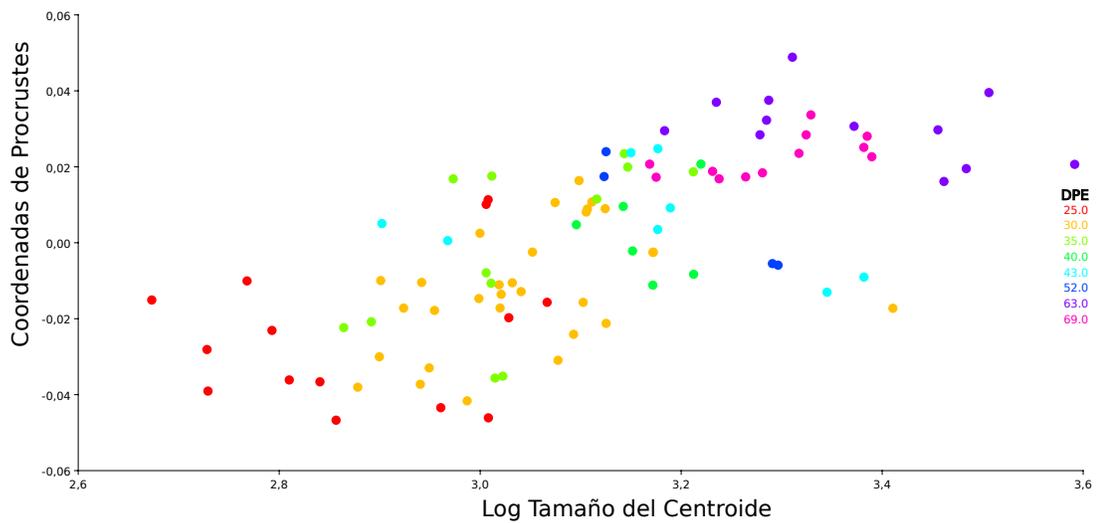


Figure 7: Gráfico de regresión entre logaritmo del tamaño de centroide y las coordenadas de Procrustes (4,59%, valor-p = 0,0103).

Análisis realizado en muestras usando 7 Landmarks

Table 3: Valores de los 3 primeros CPs del morfo de las larvas usando 7 landmarks.

Los valores marcados son los que más contribuyen en los cambios de las larvas de *Dissostichus eleginoides*. Los valores x e y muestran los cambios en los ejes antero-posterior y dorso-ventral, respectivamente.

Landmarks	Posición	Eje	CP1 (44,39%)	CP2 (17,74%)	CP3 (12,28%)
1	Porción anterior premaxila	x1	0,285	0,025	0,640
		y1	0,299	0,200	-0,110
2	Extremo posterior maxila	x2	0,161	-0,350	-0,556
		y2	0,016	0,270	0,056
3	Ojo	x3	-0,116	0,010	-0,357
		y3	-0,036	0,067	-0,207
4	Extremo dorsal posterior cráneo	x4	0,000	-0,164	0,140
		y4	-0,141	-0,357	0,108
5	Inserción dorsal aleta pectoral	x5	-0,451	0,267	0,083
		y5	-0,207	-0,405	0,201
6	Inserción ventral aleta pectoral	x6	-0,425	0,263	0,033
		y6	-0,109	0,482	-0,110
7	Inserción ventral aleta pectoral	x7	0,546	-0,050	0,033
		y7	0,178	0,482	-0,110

De estos análisis se obtuvieron 10 CPs (todos los valores de los 10 CPs se encuentran en la tabla 4 del anexo), donde los 3 primeros explican el 74,41% de la varianza total (Tabla 3). El CP1 (44,39%) a valores negativos muestra cambios en la parte anterior de la maxila, que se desplaza hacia el lado ventral del cuerpo, no así, extremo dorsal-posterior del la cabeza, que se desplaza hacia el extremo superior. También existe un cambio en la distancia entre las inserciones (dorsal y ventral) de la aleta pectoral y el ano, ocurriendo un acortamiento de la distancia relativa entre estos puntos morfológicos. Ocurre lo contrario a un CP1 positivo, donde la maxila se retrae, con un desplazamiento hacia el extremo dorsal y posterior

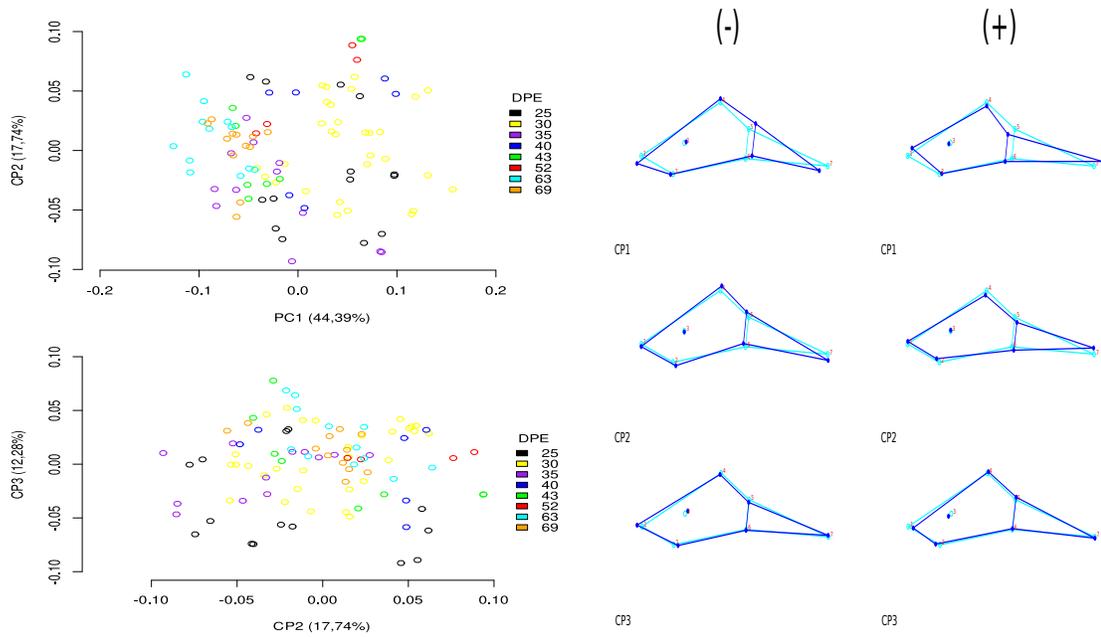


Figure 8: Gráficos con los 3 Componentes Principales más relevantes. Al lado se encuentran los cambios morfológicos asociados a los CPs correspondientes, tanto en valores negativos (-) y positivos (+).

de la larva, generando una boca más corta, mientras la distancia relativa entre las inserciones pectorales y el ano aumenta. En el CP2 (17,74%) se observaron en la cabeza, cambios entre una forma estilizada con un extremo maxilar anterior ligeramente más pronunciado hacia el extremo anterior y el extremo posterior dorsal de la cabeza se acerca ligeramente en dirección ventral como también lo hace la inserción mandibular, desplazándose en este mismo sentido (Figura 8, CP2 (-)). Esto es en contraste al de una cabeza más robusta, donde la maxila es más corta y el extremo posterior dorsal de la cabeza se aleja discretamente del lado ventral (Figura 8, CP2 (+)). También presenta cambios del ano en el eje dorso-ventral. No existe un patrón claro de estos cambios, ya que como se observa en el gráfico con CP2 (Figura 8), los individuos se encuentran dispersos independientemente de la edad. Se observan en el CP3 (12,28%), en los cambios morfológicos de la distancia entre el extremo anterior de la maxila y la inserción mandibular, provocando un alargamiento o acortamiento de la boca. Este cambio ocurre principalmente en larvas de edades

más tempranas y a medida que crecen, esta distancia disminuye (Figura 8, CP3 (-, +)).

La Anova de Procrustes para determinar el error de medición de los landmarks, demostró que existe diferencias entre el tamaño de centroide como en la forma (valor-p = ¡0,0001, para ambos casos). El CP1, CP2 y CP3 presentan un ajuste bajo, pero significativo cuando se relacionan con la longitud estándar (CP1 vs LE, $R^2 = 0,3411$, valor-p = $2,745e-10$; CP2 vs LE, $R^2 = 0,1175$, valor-p = $0,0005488$; CP3 vs LE, $R^2 = 0,1346$, valor-p = $0,0002029$). La alometría ontogénica es relativamente baja (14,64%), mientras que los cambios de forma están ligados al logaritmo del tamaño del centroide (coordenadas de Procrustes, valor-p = ¡0,0001). El análisis de variables canónicas muestra que existe diferencias entre grupos (Figura 9) y que dicha diferencia no se encuentra ligada a la alometría. Los 2 grupos de menor edad (25-30 y 35-40) no presentan una diferencia significativa con el grupo de 43-52 DPE, este a su vez, sí presenta diferencias con el grupo de 63-69 DPE (Tabla 4).

Table 4: Distancia de Procrustes (CVA) entre grupos con sus respectivos valores-p. El valor de significancia es de 0,05.

Días Post eclosión	Distancia Procrustes entre grupos			Valor-p		
	25-30	35-40	43-52	25-30	35-40	43-52
35-40	0,0497			0,0082		
43-52	0,0378	0,0492		0,2101	0,1272	
63-69	0,0591	0,0384	0,0521	0,0000	0,0293	0,0101

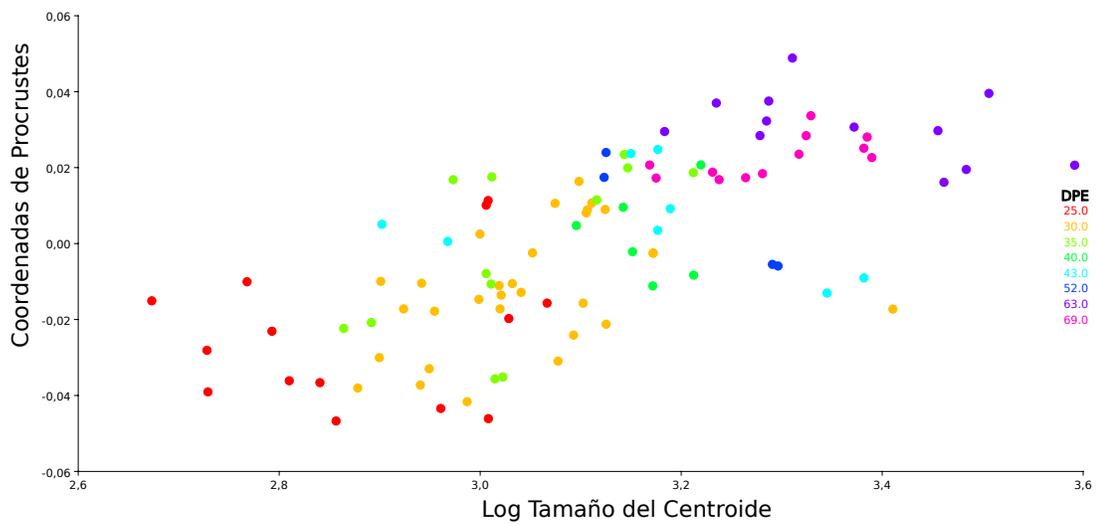


Figure 9: Gráfico de regresión entre logaritmo del tamaño de centroide y las coordenadas de Procrustes (14,64%, valor-p = ¡0,0001).

Discusión y conclusión

En un comienzo, se estableció que usar 10 landmarks era lo ideal para captar la estructura general del cuerpo de las larvas de *Dissostichus eleginoides*, pero por motivos de preservación de las muestras se prefirió usar los landmarks situados en la zona anterior del cuerpo de las larvas hasta el ano. En la figura 6, se observa una clara curvatura en el cuerpo de las larvas. Esto provocó que los cambios ontogénicos no se vieran reflejados de forma consistente en los resultados de los Componentes Principales con 10 landmarks, donde el CP1 abarca gran parte de la varianza total con un 64.93% por el efecto de la curvatura en los cuerpos de las larvas. Al remover los 3 landmarks de la zona posterior (landmarks 8, 9 y 10), se eliminó la curvatura observada, facilitando la observación, interpretación y detección de posibles cambios ontogénicos en los resultados.

Osse et al. (1997) realizó su estudio en *Ciprinus carpio*, pero planteo a modo general que las larvas de los peces presentan un crecimiento alométrico y que este pasa a ser isométrico a medida que las larvas crecen. Esto no ocurre en las larvas del Bacalao, ya que al observar los resultados se observó que los cambios morfológicos de las larvas no están asociados a un factor alométrico como tal (Coordeoordenadas de Procrustes vs Log. Tamaño centroide; 7 Landmarks: 14,64%, valor-p = 0.0001; 10 Landmarks: 4,59%, valor-p = 0,0103), ya que existen cambios alométrico, pero estos no pueden explicar la gran mayoría de cambios morfológicos experimentados por las larvas. Los cambios en la zona de la cabeza que presentan las larvas del Bacalao de profundidad se condicen con cambios presentes en peces carnívoros (Costa & Cataudella, 2007) con una cabeza y boca alargada. Otro cambio que presentan las larvas a medida que crecen es la disposición de su boca, en larvas de menor tamaño boca tiene una disposición vertical con el extremo de esta apuntando hacia la zona dorsal, mientras que en larvas de mayor edad, la disposición de la boca apunta en el eje horizontal y se encuentra más alineada a la zona ventral. Esto se debe a los hábitos alimenticios de *Dissostichus eleginoides*, ya que las larvas son de carácter

pelágico mientras que los individuos adultos son de carácter demersal.

A pesar de los inconvenientes de la postura de las larvas, igual se realizó la comparación entre la zona anterior y posterior de las larvas descartando el CP1 (tampoco se usó el ano para este análisis por ser un punto medio). Al comparar ambas zonas mediante los valores absolutos de la tabla 1, donde se observa que los cambios más notorios se encuentran en la zona anterior de las larvas como también propone Osse et al. (1997), donde señala que las larvas de los peces presentarían cambios primero en la zona de la cabeza para la captura del alimento y luego en la zona de la aleta caudal para mejorar el desplazamiento. Esto es debido probablemente a la diferencia de hitos morfológicos seleccionados para ambas zonas, pudiendo no evidenciar cuales son los verdaderos cambios que ocurren en las larvas. También está la posibilidad de que estos resultados pueden haberse visto afectados por el estado de preservación de las larvas.

Al comparar el CP1 del análisis con 7 landmarks con el CP3 de los análisis usando 10 landmarks, se pueden relacionar por la similitud de los cambios que explican ambos CPs como la disposición del extremo anterior de la maxila, distancia relativa entre las inserciones pectorales y el ano. Estos cambios toman mayor notoriedad en los análisis usando 7 landmarks que en los análisis usando 10 landmarks por los motivos previamente mencionados. Se observó una disminución en la distancia relativa que existe entre las inserciones de las aletas pectorales y el ano a medida que las larvas crecen. Este cambio puede estar relacionado con la forma de nado de las larvas durante este rango de edades muestreado. Un cambio no menor es el tamaño de la boca, que aumenta en individuos de mayor talla. Esto se relaciona con el tamaño de alimento que pueden capturar que junto a una longitud mayor de las larvas, garantizan un mayor éxito de captura de alimento (Osse et *al.*, 1997; Yúfera & Darías, 2007).

Si se contrastan las longitudes obtenidas por Mujica et *al.*, (2016), donde se usó la longitud total de las larvas, con las muestras usadas en este trabajo, en donde se usó la longitud estándar, es posible notar establecer algunas relaciones con respecto al tamaño (Larvas Mujica et al. (2016), DPE 26, LT = 16 mm \pm 2,0 mm; DPE 44, LT = 39 mm \pm 2,0 mm; DPE 57, LT = 51 mm \pm 2,0 mm. Larvas usadas en este trabajo, DPE 25, LE = 16,5 mm \pm 2,9 mm; DPE 43, LE = 22 mm \pm 2,04 mm; DPE 63 = 26,2 mm \pm 2,87 mm). En edades tempranas se observa que no existe una diferencia entre los tamaños de las larvas (a pesar que el tipo de longitudes medidas sean distintas, no se puede determinar si al medir la longitud total pueda existir una diferencia). No obstante, a medida que aumenta la edad, existen diferencias notorias de 17 mm aproximadamente entre el DPE 43 y el DPE 44. Esta diferencia es aún mayor entre el DPE 57 y el DPE 63, con una diferencia de 21 mm aproximadamente. A pesar de que las longitudes medidas son distintas (LT vs LE), la diferencia entre ambas longitudes radica en el tamaño de los rayos la aleta caudal (16,09% de LE). Esto se puede deber a factores propios de crecimiento de cada larva o externos como el estrés. Este puede afectar a los individuos de distinta forma como alterar la respuesta del sistema inmune que trae consigo un aumento de enfermedades, alterar el metabolismo de los individuos e incluso puede afectar el apetito y por consecuencia, el crecimiento del individuo. El estrés puede ser provocado por condiciones ambientales, ausencia de alimento, enfermedades o la propia jerarquía de los individuos que genera la competitividad de los mismos (Muñoz et *al.*, 2015; Auró de Ocampo & Ocampo, 1999). Esta última causa es la más probable que puede haber generado condiciones de estrés dentro de las larvas muestreadas. Se pueden descartar las condiciones de cultivo dentro de los factores, ya que el gran porcentaje de larvas se mantuvieron vivas en los estanques (com. pers. Reyes A. (persona a cargo del cultivo)).

En conclusión, las larvas del Bacalao de Profundidad presenta cambios morfológicos asociados al tamaño de la boca como también a la distancia de las aletas pectorales con el ano. A pesar de que existen diferentes niveles de cambios, la gran mayoría

de estos no se relacionan a un factor alométrico de crecimiento. No se detectaron diferencias entre los cambios de la zona anterior contra la zona posterior de las larvas. Los factores que desencadenaron la muerte de las larvas al igual que la preservación de las mismas pueden haber influido en los cambios detectados durante los análisis, por lo que se debería realizar otro estudio con larvas obtenidas al azar de los cultivos, a las cuales se les debería tomar fotos previo a su preservación para contrastar los resultados obtenidos en este estudio.

Bibliografía

Allen GE (1981). Morphology and twentieth-century biology: A response. *Journal of the History of Biology*, 14(1), 159176. doi.org: 10.1007/BF00127519

Aramayo V (2016). A brief synthesis on the marine resource Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* in Peru. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(2), 229239. doi:10.4067/s0718-19572016000200002

Arana P (2009). Reproductive aspects of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) off southern Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37(3), 381394. doi: 10.3856/vol37-issue3-fulltext-9

Auró de Ocampo A, Ocampo L (1999). Diagnóstico del Estrés en Peces. *Veterinaria México*, 30(4), 337344.

Balon EK (1979). The theory of saltation and its application in the ontogeny of fishes: steps and thresholds. *Environmental Biology of Fishes*, 4(2), 97101. doi: 10.1007/BF00005446

Belchier M, Collins MA (2008). Recruitment and body size in relation to temperature in juvenile Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) at South Georgia. *Marine Biology*, 155(5), 493503. doi: 10.1007/s00227-008-1047-3

Cáceres B, Aguayo-Lobo A, Acevedo J (2016). Interacción entre la pesquería del bacalao. 44(3), 2138.

Cardini A (2013). Geometric morphometrics. *Biological Science Fundamental and Systematics*.

CCAMLR (2021). Species Description: *Dissostichus eleginoides*. <http://fisheryreports.ccamlr.org>
Acceso 15 de Julio de 2021

Céspedes R, Vargas C, Adasme L (2016). Monitoreo de la pesquería del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*): observadores científicos y sus desafíos. Anales Del Instituto de La Patagonia, 44(3), 3948. doi: 10.4067/s0718-686x2016000300004

Charlin J, Llosas MIH (2016). Morfometría geométrica y representaciones rupestres: Explorando las aplicaciones de los métodos basados en landmarks. Arqueología, 22(1), 103125.

Collins M, Brickle P, Brown J, Belcier M (2010). The Patagonian Toothfish. Biology, Ecology and Fishery. Advances in Marine Biology. 58: 227-300

Fabrezi M, Quinzio SI, Cruz JC, Chuliver Pereyra M, Manzano A, Abdala V, Ponssa M, Prieto Y, Goldberg J (2017). Forma, tamaño y tiempo en la ontogenia de Anfibios y Reptiles. Cuadernos de Herpetología, 31(2), 103126. doi: 10.31017/9432

Goldsworthy SD, Lewis M, Williams R, He X, Young JW, van den Hoff J (2002). Diet of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) around Macquarie Island, South Pacific Ocean. Marine and Freshwater Research, 53(1), 4957. doi: 10.1071/MF00075

Grilly E, Reid K, Lenel S, Jabour J (2015). The price of fish: A global trade analysis of Patagonian (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*). Marine Policy, 60(July), 186196. doi: 10.1016/j.marpol.2015.06.006

Kellermann A (1990). Identification Key and Catalogue Larval Antarctic Fishes. Berichte Polarforschung, 67.

Kendall DG (1977). The Diffusion of Shape. *Advances in Applied Probability*, 9(3), 428430. doi: 10.2307/1426091

Klingenberg CP, Ekau W (1996). A combined morphometric and phylogenetic analysis of an ecomorphological trend: pelagization in Antarctic fishes (Perciformes: Nototheniidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 59(2), 143177. doi: 10.1111/j.1095-8312.1996.tb01459.x

Laptikhovsky V, Arkhipkin A, Brickle P (2006). Distribution and reproduction of the Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* Smitt around the Falkland Islands. *Journal of Fish Biology*, 68(3), 849861. doi: 10.1111/j.0022-1112.2006.00973.x

Leis JM, Carson-Ewart BM (2000). The larvae of Indo-Pacific coastal fishes: a guide to identification (Fauna Malesiana Handbook 2) (J. M. Leis & B. M. Carson-Ewart (eds.); 2nd ed.). Brill.

MacLeod N (2017). Morphometrics: history, development methods and prospects. *Zoological Systematics*, 42(1), 433. doi: 10.11865/zs.201702

Martinez-Porchas M, Martínez-Córdova L, Ramos-Enriquez R (2009). Dinámica del crecimiento de peces y crustáceos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 10, 110.

Montecino V, Lange CB (2009). The Humboldt Current System: Ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies. *Progress in Oceanography*, 83(14), 6579. doi: 10.1016/j.pocean.2009.07.041

Murillo C, Oyarzún C, Fernández I (2008). Variación latitudinal y estacional en la dieta de *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 (Perciformes: Nototheniidae) en

ambientes profundos de la costa centro-sur de Chile. *Gayana*, 72(1), 94101. doi: 10.4067/s0717-65382008000100011

Osse JWM, van den Boogaart JGM, van Snik GMJ, van der Sluys L (1997). Priorities during early growth of fish larvae. *Aquaculture*, 155(14), 249258. doi: 10.1016/S0044-8486(97)00126-9

Oyarzun C (2002). *Dissostichus eleginoides*. Udec. <http://www2.udec.cl/coyarzun/catalogo/N>
Acceso 1 de Julio de 2021.

Reyes A, Kido R, Moreno CA (2012). Captura y mantención de *Dissostichus eleginoides* para conformar un plantel de reproductores. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(4), 10661071. doi: 10.3856/vol40-issue4-fulltext-21

Reyment RA (2010). Morphometrics: An historical essay. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 124, 924. doi: 10.1007/978-3-540-95853-6_2

Rubilar PS, Moreno CA (1999). Crecimiento de *Dissostichus eleginoides* (Pisces: Notheniidae) en la costa centro sur de Chile (38° 19 a 43° S). *Revista Chilena de Historia Natural*, 72, 285296.

Russo T, Costa C, Cataudella S (2007). Correspondence between shape and feeding habit changes throughout ontogeny of gilthead sea bream *Sparus aurata* L., 1758. *Journal of Fish Biology*, 71(3), 629656. doi: 10.1111/j.1095-8649.2007.01528.x

Sala R, Santamaría CA, Crespo S (2005). Growth of organ systems of *Dentex dentex* (L) and *Psetta maxima* (L) during larval development. *Journal of Fish Biology*, 66(2), 315326. doi: 10.1111/j.0022-1112.2005.00580.x

Sanchez S, Dettai A, Bonillo C, Ozouf-Costaz C, Detrich HW, Lecointre G (2007). Molecular and morphological phylogenies of the Antarctic teleostean family Nototheniidae, with emphasis on the Trematominae. *Polar Biology*, 30(2), 155166. doi: 10.1007/s00300-006-0170-1

Schneider JE (2004). Energy balance and reproduction. *Physiology and Behavior*, 81(2), 289317. doi: 10.1016/j.physbeh.2004.02.007

Sernapesca (2020). Informe Final Control Cuota Pesquería Bacalao de Profundidad (*Dissostichus eleginoides*), año 2019.

Slice DE (2007). Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36, 261281. doi: 10.1146/annurev.anthro.34.081804.120613

Toro Ibacache MV, Manriquez Soto G, Suazo Galdames I (2010). Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4), 977990. doi: 10.4067/s0717-95022010000400001

Troccoli GH, Aguilar E, Martínez PA, Belleggia M (2020). The diet of the Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides*, a deep-sea top predator off Southwest Atlantic Ocean. *Polar Biology*, 43(10), 15951604. doi: 10.1007/s00300-020-02730-2

Urho L (2002). Characters of larvae - What are they? *Folia Zoologica*, 51(3), 161186.

Urtubia R, Gallardo P, Cárdenas CA, Lavin P, González-Aravena M (2017). Primera caracterización de bacterias gastrointestinales cultivables en el bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* (Nototheniidae). *Revista de Biología Marina y*

Oceanografía, 52(2), 399404. doi: 10.4067/S0718-19572017000200019

Young Z, Oliva J, Olivares A, Diaz E (1999). Aspectos reproductivos del recurso bacalao de profundidad en la I a X Regiones: Vol. Fip N° 97.

Yúfera M, Darias MJ (2007). The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268(1-4 SPEC. ISS.), 5363. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.04.050

Zavala-Muñoz F, Landaeta MF, Bernal-Durán V, Herrera GA, Brown DI (2016). Larval development and shape variation of the kelpfish *Myxodes viridis* (Teleostei: Clinidae). *Scientia Marina*, 0(0), 3949. doi: 10.3989/scimar.04263.24c

Anexo

Table 5: Datos de recolección de larvas de *D. eleginoides* extraídas del cultivo.

Fecha Recolección Larvas	Días Post-eclosión	UTA
15-03-19	25	188
20-03-19	30	225
25-03-19	35	263
30-03-19	40	300
02-04-19	43	323
11-04-19	52	390
22-04-19	63	473
28-04-19	69	518

Table 6: Datos de Componentes Principales realizado usando 10 Landmarks.

Landmarks	Componentes Principales															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x1	0,089	0,522	0,253	0,418	0,190	-0,055	0,354	-0,007	-0,122	0,146	-0,118	0,066	0,016	0,119	-0,033	0,062
y1	0,481	-0,054	0,084	-0,065	-0,152	-0,218	0,040	0,368	0,058	-0,231	-0,407	-0,156	-0,219	-0,008	0,027	0,088
x2	-0,043	0,092	0,244	-0,638	0,014	-0,222	0,075	0,016	0,408	0,007	0,234	0,081	-0,086	-0,112	0,010	-0,160
y2	0,235	0,138	-0,096	0,129	-0,233	0,172	0,003	-0,091	-0,197	-0,090	0,479	0,354	0,019	-0,325	0,076	-0,317
x3	0,020	-0,013	-0,120	-0,195	-0,389	-0,192	-0,310	-0,328	-0,444	0,016	-0,210	-0,134	0,327	-0,013	-0,017	0,110
y3	0,127	-0,018	-0,045	-0,245	0,059	0,542	0,162	-0,334	0,196	0,353	-0,097	-0,134	0,142	0,295	-0,034	0,107
x4	0,135	-0,148	-0,012	0,017	0,613	0,315	-0,504	0,140	-0,065	-0,244	0,012	0,044	0,041	-0,040	-0,034	0,029
y4	-0,151	-0,251	-0,016	0,089	0,222	-0,446	0,128	0,072	0,075	-0,066	0,178	0,224	0,562	0,258	0,009	0,148
x5	-0,061	-0,230	-0,486	0,118	-0,032	0,050	0,294	0,188	0,099	0,064	0,112	-0,208	-0,028	-0,302	-0,525	0,120
y5	-0,343	-0,056	0,034	0,074	0,279	-0,173	0,009	-0,085	-0,104	0,263	-0,147	-0,429	-0,062	-0,379	0,280	-0,360
x6	-0,148	-0,177	-0,432	0,101	-0,162	0,025	0,093	0,104	0,061	0,014	-0,019	0,138	-0,289	0,394	-0,555	-0,122
y6	-0,273	0,056	0,071	0,099	-0,003	-0,189	0,320	-0,228	-0,038	0,030	0,219	0,021	-0,571	0,224	-0,302	0,284
x7	-0,039	-0,544	0,598	0,313	-0,293	0,167	0,011	-0,067	0,112	0,044	-0,017	0,037	-0,001	-0,053	-0,026	-0,062
y7	-0,545	0,284	0,037	-0,032	-0,253	0,318	-0,132	0,372	0,119	-0,170	-0,274	0,173	0,179	-0,087	-0,065	0,045
x8	-0,095	0,147	-0,041	-0,045	0,085	-0,002	0,196	-0,333	-0,013	-0,558	-0,146	-0,072	-0,024	0,164	-0,196	-0,339
y8	0,093	-0,182	-0,060	-0,151	0,182	-0,014	0,240	-0,235	-0,153	-0,014	-0,295	0,457	-0,177	-0,292	0,058	0,234
x9	0,127	0,285	-0,100	0,170	-0,069	-0,092	-0,210	-0,122	0,404	0,095	0,066	-0,062	0,094	-0,284	0,289	0,397
y9	0,079	0,027	0,119	-0,063	-0,054	0,137	0,171	0,120	-0,198	-0,289	0,410	-0,492	0,040	0,108	0,195	0,214
x10	0,015	0,066	0,095	-0,259	0,042	0,006	0,003	0,409	-0,439	0,416	0,086	0,110	-0,051	0,125	-0,091	-0,035
y10	0,298	0,056	-0,129	0,165	-0,047	-0,127	-0,301	0,041	0,244	0,214	-0,065	-0,018	0,089	0,206	-0,244	-0,444

Table 7: Datos de Componentes Principales realizado usando 7 Landmarks.

Landmarks	Componentes Principales									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x1	0,285	0,025	0,640	0,095	-0,153	-0,207	-0,089	-0,071	0,126	-0,053
y1	0,299	0,200	-0,110	0,284	0,422	-0,033	-0,043	0,370	0,233	-0,063
x2	0,161	-0,350	-0,556	0,009	0,103	-0,405	0,300	-0,002	-0,159	0,076
y2	0,016	0,270	0,056	0,038	-0,255	0,156	0,324	-0,233	-0,555	0,346
x3	-0,116	0,010	-0,357	0,289	-0,235	0,535	-0,486	-0,035	0,013	-0,023
y3	-0,036	0,067	-0,207	-0,527	-0,444	-0,313	-0,257	-0,123	0,286	-0,141
x4	0,000	-0,164	0,140	-0,653	0,429	0,406	0,042	-0,018	-0,047	0,032
y4	-0,141	-0,357	0,108	0,265	0,325	-0,100	-0,193	-0,665	0,041	-0,038
x5	-0,451	0,267	0,083	0,070	0,087	-0,276	-0,038	0,143	-0,393	-0,522
y5	-0,207	-0,405	0,201	-0,008	-0,069	-0,093	-0,282	0,552	-0,203	0,364
x6	-0,425	0,263	0,017	0,103	0,010	-0,085	0,263	-0,020	0,505	0,486
y6	-0,109	-0,257	0,063	0,090	-0,224	0,338	0,544	0,133	0,239	-0,451
x7	0,546	-0,050	0,033	0,086	-0,241	0,031	0,007	0,004	-0,045	0,005
y7	0,178	0,482	-0,110	-0,142	0,247	0,045	-0,092	-0,034	-0,041	-0,017