



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Programa de Magister en Ciencias con Mención en Pesquerías

Estructura espacial de la unidad de stock de *Engraulis ringens* en la zona centro sur de Chile

Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias con Mención en
Pesquerías

MARÍA JOSÉ CUEVAS CUEVAS
CONCEPCIÓN-CHILE
2016

Profesor Guía: Leonardo Castro Cifuentes
Depto. de Oceanografía
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Universidad de Concepción

La presente tesis se realizó en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción y ha sido aprobada por la siguiente Comisión Evaluadora:

Profesor Guía

Dr. Leonardo Castro Cifuentes
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

Profesor Co- Guía

Comisión Evaluadora



Dr. Luis Cubillos Santander
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

Dr. Cristian Canales Ramírez
Escuela de Ciencias del Mar
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Director del programa

Dr. Konrad Górski
Departamento de Ecología
Universidad Católica de la Santísima Concepción

Dr. Luis Cubillos Santander
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción



Dedicada a mi madre

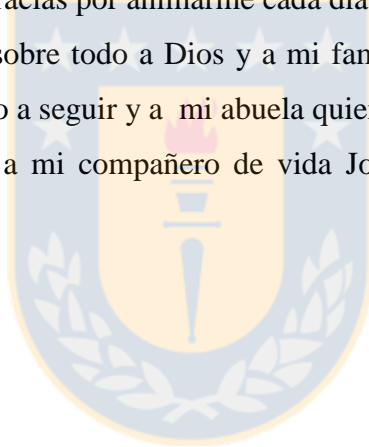
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi profesor guía Dr. Leonardo Castro, gracias por haberme incentivado a continuar mis estudios, por sus enseñanzas y apoyo. Agradezco también mi profesor co-guia Dr. Luis Cubillos por su infinita paciencia y disposición. Agradezco al Dr. Konrad Górski por el tiempo y conocimiento entregado. Agradezco al Dr. Cristian Canales por su enorme voluntad para enseñar.

Agradezco a mis compañeros de Magíster: Danetcy Mármol, Benjamín Suarez y Fernando Goyeneche por todos los traspasos compartidos. A mis amigos de la UDEC: Sandra Montecinos, Eduardo Escalona, Pamela Barrientos, Samuel Soto, Josefa Pino, Blanca Bustos, Camila Sagua, Pablo Rivara, Braulio Tapia, Francisco Santa Cruz, a la señora Sonia a Pedro Torres, gracias por animarme cada día a terminar este proceso.

Quiero agradecer por sobre todo a Dios y a mi familia, a mi madre Sonia Cuevas por haber sido el mejor ejemplo a seguir y a mi abuela quien es mi motivación.

Finalmente agradezco a mi compañero de vida Jorge Jiménez por ser mi apoyo incondicional.



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a las instituciones que hicieron posible el desarrollo de esta tesis. En primer lugar agradezco a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología de Chile (CONICYT) por brindarme el financiamiento para realizar el Magíster. Agradezco COPAS Sur Austral CONICYT PIA PFB31, por la beca otorgada durante los últimos años de tesista.

Finalmente agradezco al Instituto de Fomento Pesquero por facilitar los datos de la pesquería de anchoveta.



TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCION GENERAL	1
HIPÓTESIS	4
OBJETIVOS.....	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
CAPITULO I Spatial structure of the anchoveta <i>Engraulis ringens</i> stock off the coast of central-southern Chile determined by otolith microchemistry	6
Abstract.....	8
1. Introduction	9
2. Methodology.....	11
3. Results	13
4. Discussion.....	14
5. References	17
CAPITULO II Evaluación de la estructura espacial del stock de <i>Engraulis ringens</i> mediante un modelo de estimación edad estructurado en la zona centro-sur de Chile.....	32
Resumen	34
Abstract.....	35
1. Introducción.....	36
2. Materiales y métodos.....	38
3. Resultados.....	42
4. Discusión	44
5. Referencias	47
DISCUSION GENERAL	64
BIBLIOGRAFÍA	68

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I: Spatial structure of the anchoveta *Engraulis ringens* stock off the coast of central-southern Chile determined by otolith microchemistry.

Figure 1: *Engraulis ringens* fishing zones (central Chile and northern Patagonia) where samples were obtained..... 26

Figure 2: Centroid means and 95% CI based on non-metric multidimensional scaling plot (Euclidean distances) of the concentrations of element:calcium ratios for ^{24}Mg , ^{27}Al , ^{55}Mn , ^{60}Ni , ^{66}Zn , ^{88}Sr , ^{63}Cu , ^{85}Rb , ^{208}Pb , and ^{138}Ba in (A) core to edge profiles, (B) edges, and (C) cores of otoliths from *Engraulis ringens* collected in central Chile (\blacktriangle) and northern Patagonia (\bullet). (D, E, F) Vectors indicate the correlation (Spearman rank-order) between the relative concentrations of elements and specific samples for (D) core to edge profiles, (E) edges, and (F) cores..... 27

CAPITULO II: Evaluación de la estructura espacial del stock de *Engraulis ringens* mediante un modelo de estimación en la zona centro-sur de Chile.

Figura 1: Unidad de Pesquería de *Engraulis ringens* centro sur (33°S - 44°S) y las subdivisiones zona centro y sur realizada en este estudio..... 53

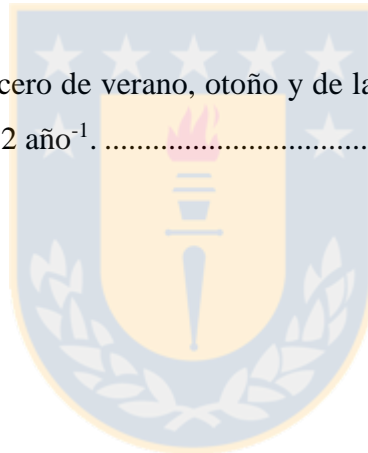
Figura 2: Esquema de las dos hipótesis de estructura poblacional de *Engraulis ringens* en la zona centro de Chile. SSB representa la biomasa reproductora de la población, z_c y z_s son subíndices que representan la zona centro y sur, R es el reclutamiento, F es la mortalidad por pesca zona específica y P_0 es el porcentaje asignación por zonas. El escenario S1.0 es el modelo tradicional que asume una distribución homogénea de la población y el escenario S2.0 es el modelo espacial, que asume una población con dos unidades discretas de desove que se mezclan por reclutamiento. 54

Figura 3: Ajuste del modelo espacial por zonas a los valores de biomasa de cruceros de verano, otoño, de huevos y a los desembarques en la zona centro (panel superior izquierdo) y zona sur (panel superior derecho). Los puntos representan la información y las líneas los valores esperados (modelo), las líneas verticales representan el intervalo de confianza del 95%..... 55

Figura 4: Biomasa total (A), Biomasa desovante (B), Reclutamientos (C), Mortalidad por pesca (D), Índice de Reducción de Biomasa desovante virginal (E), Selectividad caso base (F), Selectividad zona centro (G) y Selectividad zona sur (H) La zona sombreada corresponde al intervalo de confianza asintótico y la línea continua corresponde al valor del estimador central..... 56

ANEXO

Figura 1: Selectividad del crucero de verano, otoño y de la flota para la zona centro y sur, estimada con un valor de $M=1.2 \text{ año}^{-1}$ 63



INDICE DE TABLAS

CAPITULO I: Spatial structure of the anchoveta *Engraulis ringens* stock off the coast of central-southern Chile determined by otolith microchemistry.

Table 1: Month of collection, age group (1= adults 1 year; 2= adults >2 years), catch site, mean (\pm S.D.) total length (TL), and number of *Engraulis ringens* individuals used for otolith microchemical analyses. 28

Table 2: Results of the permutational multivariate analysis of variance based on Euclidean distance matrix of the standardized concentrations of element:calcium ratios for ^{24}Mg , ^{27}Al , ^{55}Mn , ^{60}Ni , ^{66}Zn , ^{88}Sr , ^{63}Cu , ^{85}Rb , ^{208}Pb , and ^{138}Ba in core-to-edge profiles, edges, and cores for otoliths from *Engraulis ringens* caught off central Chile and northern Patagonia (obtained using 9999 permutations of residuals under a reduced model). 29

Table 3: Pair-wise tests; t and P values were obtained using 9999 permutations of residuals under a reduced model. Specific sites were Talcahuano (central Chile) and Calbuco (northern Patagonia). 30

Table 4: Mean and standard error (S.E.) of the element:calcium ratios ($\times 10^{-6}$) for ^{24}Mg , ^{66}Zn , ^{85}Rb , ^{88}Sr , ^{138}Ba and ^{208}Pb for core-to-edge profiles, edges, and cores of *Engraulis ringens* otoliths from central Chile (CC) and North Patagonia (NP). 31

CAPITULO II: Evaluación de la estructura espacial del stock de *Engraulis ringens* mediante un modelo de estimación en la zona centro-sur de Chile.

Tabla 1: Años de información disponible de *Engraulis ringens* por zona (centro y sur) utilizados para la evaluación de la población. 57

Tabla 2: Descripción y valores de las variables de índice y los parámetros estructurales utilizados en el modelo de estimación de *Engraulis ringens*. 58

Tabla 3: Ecuaciones usadas para describir el Modelo de estimación de anchoveta en la zona centro sur de Chile. 59

Tabla 4: Estimaciones de los parámetros clave del modelo (escala logarítmica), componentes de probabilidad marginales para cada escenario. El error estándar de los parámetros se muestra entre paréntesis. 61

Tabla 5: Proyección de las capturas, la biomasa desovante y el índice de reducción de la biomasa desovante virginal para el año 2015, 2019, y la razón de desempeño de la biomasa desovante proyectada al año 2019, mediante distintas estrategias de explotación, para el modelo homogéneo, la adicción de las zonas propuestas en este estudio y las dos zonas por separado. 62



RESUMEN

La anchoveta *Engraulis ringens* es una especie pelágica de importancia comercial, que presenta una amplia distribución a lo largo del Océano Pacífico oriental, abarcando desde el norte de Perú hasta el sur de Chile. Del punto de vista administrativo, en la costa chilena existen tres unidades de pesquerías que explotan este recurso, dos en la zona norte y una en la zona centro sur.

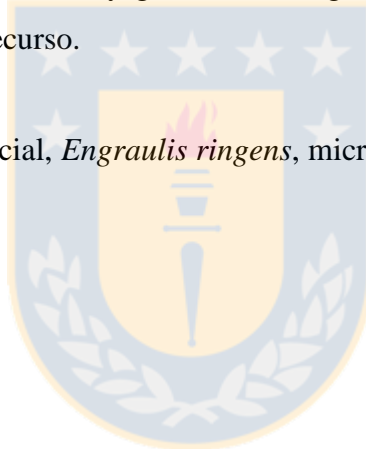
La unidad de pesquería centro-sur se encuentra definida desde la V Región de Valparaíso (33°S) hasta el límite sur de la X Región de los Lagos (44°S), y se caracteriza por presentar una amplia distribución latitudinal con cuatro zonas de desove históricas, encontrándose durante los últimos años estadios tempranos de desarrollo en el mar interior/exterior de Chiloé. Además, el proceso reproductivo presenta una asincronía espacial y estructural (tamaño de hembras) en este último sector, los enfoques tradicionales no han sido del todo concluyentes e incluso contradictorios respecto a la estructura de la población, existiendo poca claridad sobre si los individuos de la pesquería del mar interior/exterior de Chiloé constituyen una poblacional independiente o son parte de la unidad de stock centro sur, que durante el ciclo anual se desplazan latitudinalmente.

Se analizó la composición microquímica de los otolitos de 102 ejemplares, 56 de la zona centro (zona de Talcahuano) y 46 del mar interior de Chiloé (zona nor-Patagonica), usando LA-ICP-MS. La concentración microquímica del otolito completo difirió significativamente entre las localidades de estudio al igual que en los núcleos, a diferencia de los bordes que no fueron significativamente distintos entre las zonas. Este estudio entrega indicios de que pudiesen existir dos zonas discretas de desove, una en la zona centro y otra en la zona nor-Patagonica concordando con la ya conocida asincronía espacial y estructural en el proceso reproductivo entre ambas localidades. También sugiere que la mayoría de individuos se mantiene en un mismo lugar durante su crecimiento. Sin embargo, debido al alto grado de mezcla que existiría en los individuos, luego del reclutamiento no se puede considerar la pesquería del mar interior/exterior de Chiloé (zona nor-Patagonica) como una unidad de poblacional independiente.

Al considerar los resultados de la microquímica de otolitos, se analizó la estructura espacial de anchoveta en la zona centro sur y las implicancias que tiene en el manejo del recurso,

mediante la implementación de un modelo de estimación poblacional con dos zonas de desove discretas que se mezclan por reclutamiento. Las estimaciones del estado y la productividad del stock se compararon con las estimaciones de la evaluación tradicional que supone un stock homogéneo. Los resultados mostraron que los reclutamientos tendrían una asignación espacial alta para la zona centro con un 84% y el complemento 16% es atribuible a la zona sur, existiendo además diferencias en las curvas de selectividad entre zonas. La estimación de los puntos de referencias para cada zona (centro y sur) dejó en evidencia que la suma de las partes (zonas) no es igual al total (modelo homogéneo), siendo bastante más precautorias las estrategias de explotación que se desprenden del modelo espacial propuesto en este trabajo. Este enfoque se sugiere útil para el manejo del recurso por asignación de vedas y/o cuotas, existiendo diferencias espaciales que merecen ser consideradas al momento de modelar y generar estrategias de explotación que coincidan con la estructura espacial del recurso.

Palabras clave: Estructura espacial, *Engraulis ringens*, microquímica de otolitos, modelo de estimación poblacional.



ABSTRACT

The anchovy *Engraulis ringens* is a commercially important pelagic species, which is widely distributed throughout the eastern Pacific Ocean, ranging from northern Peru to southern Chile. From the administrative point of view, on the Chilean coast there are three fishing units that exploit this resource, two in the north zone and one in the central - south zone.

The central-south fishery unit is defined from the V region of Valparaiso (33 °S) to the southern boundary of the X region (44 °S), and is characterized by a wide latitudinal distribution with four historical spawning zones, although during the last years early stages of development have been observed in the interior / exterior sea of Chiloé. Besides a reproductive period and structure asynchrony in the latter sector respect to the four historical spawning zones, traditional approaches have not been entirely conclusive and even contradictory with respect to population structure, and it is not clear whether individuals in the inshore / offshore Chiloé area constitute an independent fishery or are part of the central south fishery unit, which during the annual cycle might move latitudinally.

The microchemical composition of otoliths of 102 specimens, 56 of the central zone (Zone of Talcahuano) and 46 of the inland sea of Chiloe (north-Patagonica), was determined using the-ICP-MS. The microchemical concentration of whole otolith as in their cores, differed significantly between the areas of study, but not at the edges of the otoliths between zones. This study suggests two discrete zones of spawning, one in the central area and another in the nor-Patagonic zone, which agrees with the already known spatial and structural asynchrony in the reproductive process between the two locations, and also suggests that the majority of individuals stay in the same zone as they grow. However, due to the high degree of mixing that exists among individuals after the recruitment, the fishery inside/outside of Chiloé (North-Patagonian area) cannot be considered as an independent fishery unit.

Based on the results of the microchemistry of otoliths analyses, the anchoveta spatial structure was analyzed in the central south area considering the implications this type of structure might have on the resource management. A model of estimation was implemented

that included two discreet spawning areas in which individuals mix at recruitment, and the state and productivity of the stock estimates were compared with the traditional evaluation models that suppose a homogeneous stock.

The results showed that recruitment would have a high spatial allocation for the central zone of 84% and only 16% allocable to the south zone; there were also differences in selectivity curves between areas. The estimate of the points of references for each zone (center and south) evidenced that the sum of parts (zones) is not equal to the total (homogenous model), being much more precautionary the exploitation strategies that emerge from the model proposed in this study.

This approach is suggested useful for the management of the resource for allocation of vedas and/or quotas, suggesting that existing spatial differences deserve to be considered for model building and at generating strategies of exploitation that match the spatial structure of the resource.

Keywords: Spatial structure, *Engraulis ringens*, otolith microchemistry, population estimation model.



INTRODUCCION GENERAL

El estudio de la estructura poblacional es fundamental para evaluar y administrar los recursos marinos ya que permite establecer poblaciones discretas o unidades de stock (Sinclair, 1988; Sinclair & Smith, 2002; Cadrin *et al.*, 2005). Sin embargo, en muchos casos, las estructuras espaciales son ignoradas debido a la falta de datos espacialmente explícitos y a la escasa comprensión de la dinámica espacial, por lo que usualmente las poblaciones de peces son consideradas poblaciones espacialmente homogéneas con alto grado de mezcla (Booth, 2000; Botsford *et al.*, 2009), lo que a menudo conduce a escenarios de sobreexplotación (Ying *et al.*, 2011; Kerr *et al.*, 2014; Yau *et al.*, 2014; Archambault, 2015).

Entre los factores que pueden contribuir a la posible estructuración espacial del stock están la variabilidad biológica (Begg *et al.*, 1999), la conectividad genética (Waples & Gaggiotti, 2006), la variabilidad ambiental (Lande *et al.*, 1999), la disponibilidad de hábitat (Botsford *et al.*, 2009), el esfuerzo de pesca y la migración (Booth, 2000; Ralston & O' Farrell, 2008), entre otros.

En la costa chilena habita la anchoveta (*Engraulis ringens*) que constituye la pesquería pelágica más grande del mundo. Esta especie presenta una amplia distribución a lo largo del Océano Pacífico oriental, abarcando desde Zorritos en el norte de Perú (4°30'S) hasta Chiloé, en el sur de Chile (44°14'S) (Serra, 1983; Pauly & Tsukayama, 1987), y se caracteriza por presentar un ciclo de vida corto y de rápido crecimiento, alcanzando una longitud total máxima de 19 cm, con una alta tasa de mortalidad natural, y un reclutamiento muy variable condicionado por factores ambientales (bióticos y abióticos) (Arcos *et al.*, 1996; Alheit & Ñiquen, 2004; Zúñiga & Canales, 2014; Serra, 1983, Cubillos *et al.*, 2001; Aranís *et al.*, 2013).

La explotación de esta especie en Chile se realiza con redes de cerco por una flota artesanal (eslora menor a 18 m) y otra industrial (Zúñiga & Canales, 2014), y desde el punto de vista administrativo existen tres unidades de pesquería que explotan este recurso: dos en la zona norte (la primera entre latitudes 17°S y 25°S (stock transfronterizo) y la segunda entre 26° S y 32°S) y la tercera en la zona centro sur (33°S - 44°S). En la actualidad, esta pesquería

se encuentra en estado de sobreexplotación en las unidades administrativas del norte y en estatus de agotado en la zona centro sur (SUBPESCA, 2015).

La unidad de pesquería de la zona centro sur se caracteriza por presentar una amplia distribución latitudinal con varios focos de desove históricos (Cubillos *et al.*, 2005, 2006), encontrándose durante los últimos años estadios tempranos de desarrollo también en el mar interior de Chiloé (zona nor-Patagónica) (Landaeta *et al.*, 2006, 2009; Niklitschek *et al.*, 2009; Castro *et al.*, 2015). Cubillos *et al.* (2009) evidenciaron que el proceso reproductivo implicaba una asincronía espacial y estructural en este sector, en que el inicio de la actividad reproductiva sería en julio en la zona central (33°- 37°S) extendiéndose hasta diciembre, mientras que hacia el sur (38°- 42°S) el proceso reproductivo estaría restringido temporalmente a dos meses de mayor actividad (septiembre- octubre), por hembras de mayor tamaño que en la zona central. Paralelamente, mediante estudios de modelación de transporte de estadios tempranos de desarrollo, utilizando IBM se ha propuesto que existe un transporte significativo de huevos y larvas desde Corral (39° 52'S) hacia la zona central (Soto *et al.*, 2012). Otros enfoques metodológicos que incluyen análisis morfométricos y merísticos, análisis electroforéticos de genética de proteínas, análisis de ADN y análisis utilizando parásitos (Barrueto, 1993; Hernández, 1994; Galleguillos *et al.*, 1996; Ferrada *et al.*, 2002; Valdivia *et al.*, 2007) que han abarcado desde la zona norte a la zona centro (Talcahuano) no han sido del todo concluyentes e incluso contradictorias respecto al número de unidades de stock, existiendo a la fecha interrogantes no resueltas dentro de las mismas unidades de pesquerías.

Existen diversos estudios que han evaluado el desempeño de los métodos de evaluación de stock frente a escenarios de heterogeneidad espacial en las tasas de explotación (Guan *et al.*, 2013; Kerr *et al.*, 2014; Goethel *et al.*, 2015), mostrando que los métodos de evaluación que suponen que el stock se distribuye homogéneamente a través del espacio conducirán a resultados sesgados cuando la suposición es incorrecta. Históricamente cada unidad de pesquería de anchoveta en Chile ha sido evaluada y gestionada como una sola unidad de pesca homogénea, pero como se menciona anteriormente, existe poca claridad sobre la dinámica espacial de la especie. Uno de los aspectos aun no resueltos es si los individuos de

la pesquería del mar interior/exterior de Chiloé (zona nor-Patagonica) constituyen una unidad independiente (Zuñiga & Canales, 2014) o si son parte de la unidad de pesquería centro sur que durante el ciclo anual se desplaza latitudinalmente. En el presente estudio se aborda este aspecto de la dinámica espacial de la anchoveta utilizando microquímica de otolitos.

Los métodos más usuales para evaluar la estructura espacial de las poblaciones marinas comprenden análisis morfométricos y merísticos, análisis de fauna parasitaria, análisis de marcadores biológicos (índice gonadosomático, curva de madurez sexual), y análisis mediante marcadores genéticos (Cadrin *et al.*, 2005). En los últimos años ha incrementado el uso de la composición de elementos traza en otolitos como una herramienta eficaz para identificar la heterogeneidad espacial de las poblaciones (Hicks *et al.*, 2010; Blair & Hicks, 2012; Aldanondo *et al.*, 2010; Morais *et al.*, 2010; Guidetti *et al.*, 2012; Avigliano & Vanina, 2016). La técnica se basa en que los otolitos se originan durante la etapa embrionaria, y crecen en forma continua durante toda la vida del pez, y a medida que crecen presentan patrones morfológicos y de composición química característicos por lo que los incrementos formados durante la etapa larval pelágica se pueden distinguir de los que se forman durante el periodo juvenil, o más tarde durante la vida adulta. La capacidad de correlacionar una determinada parte de un otolito con un punto de tiempo discreto es uno de los aspectos más valiosos de esta estructura calcárea (Campana, 1999; Chang & Geffen, 2013), y debido que no parecen sufrir reabsorción química, quedan reflejadas las características físico químicas del agua, formando un registro permanente de las condiciones ambientales del pasado experimentadas por el pez (Bath *et al.*, 2000; Rooker *et al.*, 2003; Ashford *et al.*, 2005; Thorrold *et al.*, 2007).

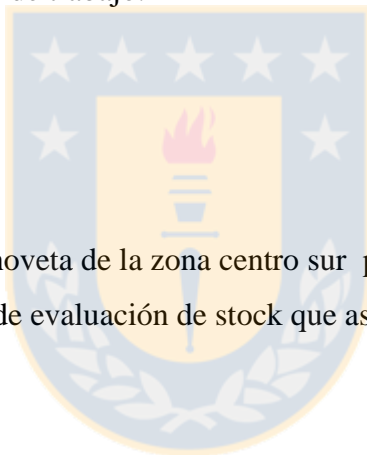
El objetivo principal de este estudio es identificar la estructura espacial de anchoveta en la unidad de pesquería centro sur mediante microquímica de otolitos, y paralelamente, determinar las implicancias de incluir la estructura espacial de anchoveta en el manejo del recurso mediante un modelo de estimación poblacional.

Planteamiento del problema

Considerando que dentro de la unidad de pesquería de anchoveta de la zona centro sur, i) existen dudas sobre si la pesquería del mar interior/ exterior de Chiloé constituye una unidad de pesquería independiente (Zúñiga y Canales, 2014), ii) El recurso presenta una amplia distribución latitudinal, con varias zonas de desove históricas, iii) El proceso reproductivo presenta una asincronía espacial y estructural (tamaño hembras) que determina el inicio de la actividad reproductiva en julio en la zona norte (V-VIII región) extendiéndose hasta diciembre, mientras que en la zona sur (IX-XIV región) está restringido temporalmente a dos meses de mayor actividad (septiembre-octubre), y que iv) existe un patrón de distribución diferencial de estadios tempranos desde el sur hacia el norte (Soto et al., 2009), se plantea la siguiente hipótesis de trabajo:

HIPÓTESIS

La unidad de pesquería de anchoveta de la zona centro sur presenta una estructura espacial, generando sesgo en el modelo de evaluación de stock que asume distribución homogénea.



OBJETIVOS

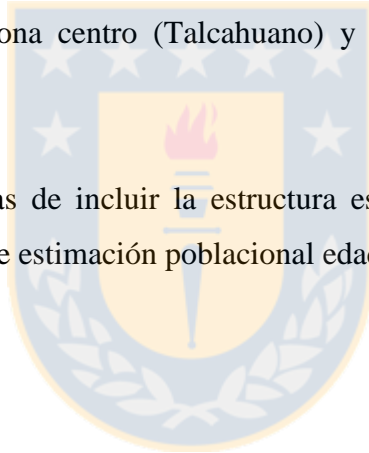
OBJETIVO GENERAL

Identificar la estructura espacial de anchoveta en la unidad de pesquería ubicada en la zona centro-sur de Chile.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

I.- Determinar mediante microquímica de otolitos la estructura espacial de anchoveta, entre las poblaciones ubicadas en la zona centro (Talcahuano) y la zona nor-Patagonica (Calbuco, mar interior de Chiloé).

II.- Identificar las implicancias de incluir la estructura espacial de anchoveta en el manejo del recurso, mediante un modelo de estimación poblacional edad estructurado.



CAPITULO I

Spatial structure of the anchoveta *Engraulis ringens* stock off the coast of central-southern Chile determined by otolith microchemistry



Spatial structure of the anchoveta *Engraulis ringens* stock off the coast of central-southern Chile determined by otolith microchemistry

María José Cuevas^{1,2}, Konrad Górski³, Leonardo Castro², Malcolm Reid⁴

¹Programa de Magíster en Ciencias con mención en Pesquerías, Universidad de Concepción, Chile. ²COPAS Sur-Austral y Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL), Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile. Casilla 160-C, Concepción, Chile. ³Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias y Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Universidad Católica de la Santísima Concepción, Casilla 297, Concepción, Chile. ⁴Chemistry Department, University of Otago, Box 56 Dunedin, New Zealand.

*Corresponding author: e-mail: lecastro@oceanografia.udec.cl

Artículo sometido a evaluación en *Fisheries Research*



Abstract

The anchoveta (*Engraulis ringens*) is a pelagic fishery resource widely distributed throughout the south eastern Pacific Ocean, from northern Peru to southern Chile. Administratively, in Chile this resource is exploited in three fishery units along the coast: two in the northern zone and one in the central-southern zone. The central-southern fishery is characterized by a wide latitudinal distribution (33°S - 44°S), that includes four historically recognised spawning areas located north of 40°S. In recent years, *Engraulis ringens* early stages of development have been found also in the interior/exterior sea around Chiloé Island, northern Patagonia, at southern limits of its distribution. The spatial and structural asynchrony of the reproductive process in this area, together with the lack of conclusiveness and even contradictory results regarding spatial structure of this population have led to the question of whether these individuals constitute an independent fishery or belong to the central-southern fishery that move latitudinally during their annual cycle. In this study we analyzed the microchemical composition of otoliths from 102 specimens (56 from central Chile and 46 from the interior sea of Chiloé Island, northern Patagonia) using LA-ICP-MS. Our results show that the microchemical concentrations of the entire otolith (core-to-edge) and otolith cores differed significantly between study sites. The otolith edges, however, did not differ significantly between these zones. Accordingly, the present study indicated the existence of two discrete spawning sites, one in central Chile and another in northern Patagonia, coinciding with the known spatial and structural asynchrony of the reproductive process between these two sites. Furthermore, most individuals remained in one place for their early growth period. However, due to a high degree of mixing of individuals following recruitment to adult population, the fishery of the interior/exterior sea of Chiloé (northern Patagonia) could not be considered as an independent fishery unit.

Keywords: Otolith microchemistry, *Engraulis ringens*, population structure, LA-ICP-MS, Peruvian anchovy.

1. Introduction

Understanding of fish population structures and determination of discrete populations or stock units is essential for sustainable management of fisheries resources (Sinclair, 1988; Sinclair and Smith, 2002; Cadrin et al., 2005). In the pelagic environment stock identification is a complex task, since fish can occupy different geographic areas, be segregated by spawning in different places, and have different larval or juvenile feeding areas, among other factors.

The most common methods for distinguishing between marine populations include analyses of morphometric variation, parasitic fauna, biological (gonadosomatic index, sexual maturity curve) and genetic markers (Cadrin et al., 2005). In recent years, the trace element composition of otoliths has become a more common and effective tool for identifying the spatial heterogeneity of populations. This type of analysis has helped identify migratory patterns and differentiate fish stocks (Aldanondo et al., 2010; Hicks et al., 2010; Morais et al., 2010; Blair and Hicks, 2012; Guidetti et al., 2012; Górski et al., 2015; Avigliano and Vanina, 2016). This technique is based on the fact that otoliths originate during the embryonic stage and grow continuously throughout the life of the fish. As they grow, otoliths present characteristic morphologic and chemical composition patterns. Thus, otolith growth that occurred during the pelagic larval stage can be distinguished from growth during the juvenile or later adult period. The ability to correlate a particular part of an otolith with a discrete point in time is one of the most valuable aspects of this structure (Campana, 1999; Chang and Geffen, 2013), and because otoliths do not seem to experience chemical reabsorption, they reflect the physico-chemical characteristics of the water, forming a permanent record of the past environmental conditions experienced by the fish (Bath et al., 2000; Rooker et al., 2003; Ashford et al., 2005; Thorrold et al., 2007).

Engraulis ringens (Jenyns, 1842) is a coastal pelagic anchoveta that is widely distributed throughout the eastern Pacific Ocean, ranging from Zorritos in northern Peru (4°30'S) to Chiloé in southern Chile (44°14'S) (Serra, 1983; Pauly and Tsukayama, 1987), and constitutes the largest pelagic fishery in the world. This species forms very dense shoals

and is strongly influenced by environmental factors (biotic and abiotic) at all stages of its life cycle (Arcos et al., 1996; Alheit and Ñiquen, 2004).

From an administrative point of view, three fishery units exploit this resource off the Chilean coast. Two are in the north zone: one between 17°S and 25°S, and another between 26°S and 32°S. The third is in the central-southern area between 33°S and 44°S. Currently, the northern units are operating under a full exploitation regime, whereas the central-southern unit is considered overexploited (SUBPESCA, 2015).

The central-southern fishery is characterized by a wide latitudinal distribution with several historic spawning locations (Cubillos et al., 2005, 2006). In recent years, early developmental stages of this anchoveta were also found in the southernmost zone, in the interior sea of Chiloé Island (northern Chilean Patagonia) (Landaeta et al., 2006, 2009; Niklitschek et al., 2009; Castro et al., 2015). Cubillos et al. (2009) revealed spatial and structural asynchrony of the reproductive process of anchoveta in this sector, with reproduction occurring from July through December in central Chile (33°S - 37°S) and only during September and October in the South (38°S - 42°S). Furthermore, female fish differed significantly between these zones in terms of their body size, being fish in the south significantly larger.

Evidence suggesting some connectivity along this south zone have also been proposed. Soto-Mendoza et al. (2012) used transport model studies of early developmental stages done with individually based models (IBM) to propose a significant northward transport of eggs and larvae from Corral (39°52'S) towards central Chile. Other methodological approaches including analyses of morphometrics, electrophoretic protein genetics, DNA and parasites (Barrueto, 1993; Hernández, 1994; Galleguillos et al., 1996; Ferrada et al., 2002; Valdivia et al., 2007) have been performed in anchovetas from northern to central Chile (Talcahuano) but have not been conclusive and were even contradictory in terms of the number of stock units reported. Thus, to date unanswered questions remain regarding these fishery units. One unresolved issue is whether the individuals found in the interior/exterior Sea of the Chiloé Island (northern Patagonia) constitute a separate unit (Zuñiga and Canales, 2014) or whether they are part of the central-southern fishery unit that move latitudinally throughout the annual cycle.

This study aims to determine whether Chile's central-southern fishery could be divided into subunits corresponding to different spawning and growth areas or, alternatively, whether the level of mixing of specimens throughout the entire area rendered inexistence of such subunits. For this, the microchemical composition of otoliths from individuals caught off central-southern Chile in 2014 and 2015 was analysed.

2. Methodology

2.1 Fish collection

Specimens of *Engraulis ringens* were collected off central-southern Chile (33°S - 44°S) at two sites: Talcahuano (central Chile) and Calbuco (interior sea of the Chiloé Island, northern Patagonia). The fish were taken from commercial catches performed in austral spring and autumn 2014 and summer 2015; only the general catch area was reported as the exact catch locations are commercially sensitive and were not informed (Fig.1). Fish samples were selected at random and the sex, weight, and total length (TL) were recorded for each fish that was selected for otoliths analyses. Fish were sorted into two age groups following the age-length key elaborated by Araya et al. (2008), which relied on the weight of the anchoveta otolith from central-southern Chile. Group 1 included adult fish between 11.5 and 13.4 cm TL (one-year-old), and group 2 consisted of adults larger than 13.4 cm TL (>2-years-old) (Table 1). Selected specimens were stored in a freezer (-20°C) until analysis at the Fisheries Oceanography and Larval Ecology Laboratory of the University of Concepción, Chile.

2.2 Otolith preparation

After the sagittal otoliths were extracted from each fish and any adhering tissue was cleaned away by rinsing with Milli-Q water, the samples were dry-stored in 0.5-mL polypropylene micro tubes. The left otolith of each individual was then mounted on a glass slide with epoxy resin and sonicated. The slides were stored in polyethylene bags for later microchemical analysis.

2.3 Microchemical analysis

The microchemical composition of each otolith was analysed using laser ablation inductively coupled mass spectrometry (LA-ICP-MS) at the Centre for Trace Element Analysis at the University of Otago, Dunedin, New Zealand. Depth profiles were obtained along ablation transects from the distal otolith surface (convex side), through the core, to the proximal surface (concave side), following the procedure of Macdonald et al. (2008) (Warburton et al., 2016). This was done using an ICP-MS Agilent 7500cs coupled to an ASI RESOLUTION M-50 laser ablation system powered by a Coherent 193 nm ArF excimer laser.

The otoliths were mounted on a glass slide and the core was located visually through a video imaging system at 400 X magnification. Each sample was ablated repeatedly in a cross section of the unpolished otolith using a 75-micron laser beam. The laser was operated at 5 Hz with an on-sample fluence of 2.2 mJcm⁻². Ablation occurred in an atmosphere of pure helium to minimize the re-condensation of the materials and potential elemental fractioning (Eggins et al., 1998). For each otolith ablation data was collected for up to 450 seconds to ensure that the transect completely traversed the core. To reduce the delay time associated with cleaning, no signal smoothing collector was used (Woodhead et al., 2008). Count rate data were collected for the following ions: ²⁴Mg, ²⁷Al, ⁴³Ca, ⁵⁵Mn, ⁶⁰Ni, ⁶⁶Zn, ⁸⁸Sr, ⁶³Cu, ⁸⁵Rb, ¹³⁸Ba, and ²⁰⁸Pb. NIST 612 calibration glass and MACS-3 otolith reference material were run bracketing groups of four otoliths.

2.4 Data analysis

Raw count rate data was reduced to mol ratios to calcium using the IOLITE (Iolite software.com version 2.5) software package, the relative standard deviation of the MACS-3 analyses was better than 3% for most elements with the means within 5% of the recommended values for most elements. The relationship between standardized concentrations of Ca and the elements ²⁴Mg, ²⁷Al, ⁵⁵Mn, ⁶⁰Ni, ⁶⁶Zn, ⁶³Cu, ⁸⁵Rb, ⁸⁸Sr, ¹³⁸Ba and ²⁰⁸Pb, was explored in three regions of each otolith: the core, edge, and entire otolith (core-to-edge transect). Concentrations of element: calcium ratios were averaged for each of the studied otolith regions: for the edge 5 microns (average edge concentration); for the

center 5 microns (average core concentration); and for the entire otolith (core-to-edge) concentrations of element:calcium ratios were averaged for all data from edge to core.

Non-metric multidimensional scaling (NMDS) analyses were performed (Kruskal, 1964) based on a Euclidean distance matrix of the standardized trace element concentrations. The centroids were plotted for the otolith edge, core, and core-to-edge in order to explore the spatial structure of the population. The NMDS reports stress levels as a measure of the representativeness of the ordination, where values <0.15 indicated a satisfactory representation of the data in the rank-order, whereas stress values between 0.16 and 0.2 provided a usable image of the relationships between data. Graphic NMDS representations of the vectors that identified which elements were highly correlated with the samples (Spearman rank correlations).

A permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA, Anderson, 2001) was used to determine differences in the element concentrations of the otoliths between catch sites and times. This provided an analysis of variance for a set of explanatory factors based on dissimilarity measures, thereby allowing the testing of differences at a multivariate level and across a wide range of distributions of empirical data. The analyses were performed based on a Euclidean distance matrix. The tests were performed separately for microchemical concentrations of the otolith edge, core and core-to-edge.

3. Results

This study used a total of 102 adult *Engraulis ringens* specimens. Otoliths were extracted for laser ablation from 29 specimens that were one-year-old and from 73 that were two-years-old or older. In total, 56 specimens came from central Chile and 46 from northern Patagonia (Table 1). The individuals from these two areas were similar in size, ranging from 13.1 to 16.1 cm in central Chile and 13.1 cm to 15.6 cm in northern Patagonia.

The NMDS rank-order and the PERMANOVA results for the entire otolith (core-to-edge) revealed significant differences of elemental concentrations in the otoliths of fish caught in central Chile versus northern Patagonia and between catch months, but no such differences between age groups or sexes (Fig. 2A, Table 2). Three elements (^{24}Mg , ^{66}Zn , ^{208}Pb) were

significantly correlated with central Chile and one (^{85}Rb) with northern Patagonia (Fig. 2 A, D; Table 4). The pair-wise analysis (sites and months) revealed significant differences between sites in spring (October, November) and summer (January).

The average concentrations of different trace elements at the otolith edges showed differences between the centroids of the sites in the rank-order (Fig. 2B). Concentrations of ^{24}Mg and ^{66}Zn were positively correlated with central Chile and ^{85}Rb with northern Patagonia (Fig. 2 E, Table 4). PERMANOVA, however, rendered these differences as no significant statistically for any of the factors (site, month, group, sex; Table 2).

In the cores, the average concentrations of the different trace elements showed different patterns in the rank-order. Cores of otoliths of specimens from central Chile were characterised by higher concentrations of ^{24}Mg , ^{66}Zn , ^{208}Pb , and ^{138}Ba compared to otoliths from specimens from northern Patagonia (Fig. 2 C, F; Table 4). The PERMANOVA revealed significant differences in core elemental concentrations between sites and months (PERMANOVA; pseudo-F = 36.7; $P < 0.001$, pseudo-F = 6.7; $P < 0.001$) but not between age groups or sexes (Table 2). When performing the pair-wise comparison analysis for the significant factors (site and month), April was the only month that did not differ between sites ($P > 0.05$; Table 3).

4. Discussion

The objective of this study was to determine whether the central-southern Chilean fishery of *Engraulis ringens* consisted of subunits corresponding to different spawning and growth areas, or whether the high level of mixing of individuals throughout the entire fishery disallowed this subdivision. For this, we analysed the elemental composition of anchoveta otoliths collected in different months of the year at two sites: one off central Chile (Talcahuano) and one in northern Patagonia (Calbuco, interior sea of the Chiloé Island). The results of this study showed significant differences between the elemental composition of otolith cores and core-to-edge profiles between the two catch sites, suggesting the existence of two distinct spawning areas and that most individuals spent their early life stages in the area where they hatched. However, the lack of differences in the elements at

the otolith edges indicated the possibility that adults from different origins mixed between different sites.

In the otolith cores, the most important differences in terms of their elemental composition were higher magnesium, zinc, and lead concentrations in central Chile as compared to northern Patagonia. In some fish species, magnesium has been positively associated with seawater temperature (Schuchert et al., 2010; Ferguson et al., 2011), consistent with the latitudinal temperature gradient along the Chilean coast, where warmer waters were found off central Chile ($>12^{\circ}\text{C}$) and colder waters occurred farther south ($<11.5^{\circ}\text{C}$) (Cubillos et al., 2015; Lillo et al., 2015). Zinc has generally been used to indicate particular habitats because it is influenced by fish diet (Ranaldi and Gagnon, 2008) and, in coastal areas, this element tended to be greater due to anthropogenic and tributary sources (Sturrock et al., 2012). Off central Chile, Ahumada (1995) found higher metal concentrations ($\text{Pb} \geq \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} \geq \text{Ni} > \text{Cd}$) from anthropogenic origins in San Vicente Bay (central Chile, $36^{\circ}44'\text{S}$, $73^{\circ}09'\text{W}$), where lead and zinc concentrations were three times higher than those of the other metals. Reports from other bays in the same area were consistent with these results. For example, lead was the predominant trace metal found in the seawater of Concepción Bay (central Chile; $36^{\circ}40'\text{S}$, $73^{\circ}01'\text{W}$) (Carrera et al., 1993). The greater concentrations of lead and zinc recorded in the otoliths from central Chile in this study might be a result of high heavy metal pollution recorded for this area traced to nearby iron and steel as well as petrochemical industrial complexes.

The microchemical concentrations of the entire otoliths (core-to-edge), like those of the cores, differed significantly between sites, supporting the existence of two spawning stocks. According to the core-to-edge elemental composition, these two stocks remained separate throughout the development. Specifically, magnesium, zinc, and lead concentrations were higher in central Chile than in northern Patagonia, whereas rubidium concentrations were lower in central Chile. The results of the present study align with results obtained for other species in which the core-to-edge otolith microchemistry has been successfully integrated with the life history of the fish (Edmonds et al., 1989, 1991; Thresher, 1999; Rooker et al., 2001, 2003; Ashford et al., 2006). Furthermore, the analysis of discrete otolith sectors of *Engraulis ringens* provided more detailed information that would have been lost if only the chemical signatures of all the otolith sections had been aggregated.

The chemical concentrations of the otolith edges, unlike those of the cores, did not differ significantly between the study sites. We found two possible explanations for this lack of a difference. First, the habitat of each site was heterogeneous, and the larger fish could move between smaller areas with different characteristics (coast vs. ocean). Second, the larger individuals could effectively move latitudinally between spawning areas and mix between the sites analysed. Elsdon et al. (2008) reported three general causes for findings of chemical differences between fish groups: (1) the fish may inhabit environments with sufficiently different physico-chemical characteristics, (2) the length of time the fish remain in one environment before being caught, and (3) the selection of the appropriate micro-chemical elements for study.

Heavy metal concentrations are usually reported several times higher in coastal versus oceanic waters due to greater continental contributions from urban areas or sites of high industrial concentrations (Luoma, 1990; Giordano et al., 1992; French, 1993). In our study, these higher concentrations allowed us to infer the presence of two discrete spawning grounds. Prior research cruises (September-October 2009, 2010, and 2012; Cubillos et al., 2010, 2011, 2013) verified that, spatially, spawning grounds occurred in coastal areas and did not exceed 15 nautical miles off-shore. However, the fishing area could extend into more oceanic areas. Thus, larger individuals that have hydrodynamic bodies adapted to a life of permanent swimming and often form shoals could be found as far as 30-40 nautical miles from the coastal spawning ground. Moreover, these larger specimens could present longitudinal (coast-ocean) migrations in short periods of time. Together, these factors (across-shelf movement) would homogenize microchemical differences in the otolith edges. Alternatively, the greater swimming capacity of the larger-sized individuals might allow them to move latitudinally, such that they could eventually access other spawning grounds where they would mix with specimens from other spawning and growth areas. Both alternatives are possible, and this study did not allow us to rule out or be inclined towards one explanation or the other. April was the only month in which the otolith cores from the two sites did not show any significant differences. During this month, only individuals from group 2 (i.e., fish over two-years-old) were analysed since latitudinal migrations probably occurred between the sampled sites in April.

In summary, this study provided evidence of two discrete spawning areas of *Engraulis ringens*: one in central Chile and another in northern Patagonia. This agrees with the spatial and structural asynchrony in the reproductive process already described for these two sites. However, due to the high degree of mixing of larger-sized individuals that occurred after recruitment, the fishery in the interior/exterior sea of the Chiloé Island (northern Patagonia) could not be considered as an independent fishery unit. Given these results, we suggest that stock assessments of *Engraulis ringens* used for management of this fishery should consider the existence of two discrete spawning areas from which individuals mix in the recruitment process to form adult populations taken by fisheries.

Acknowledgements

This study was financed by the CONICYT Basal Program COPAS Sur-Austral. During the study, the first author was supported by graduate fellowships from CONICYT and COPAS Sur-Austral CONICYT PIA PFR31. The authors thank J. Betzhold, G. Vásquez, and R. Riffo for collections at the artisanal fishery port and vessels; and colleagues at the Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL) at the Universidad de Concepción for technical support.

5. References

Ahumada, R., 1995. Bahías: Áreas de uso múltiple un enfoque holístico del problema de contaminación. Cienc. Tecnol. Mar, CONA. Número Especial, 59-68.

Alheit, J., Ñiquen. M., 2004. Regime shift in the Humboldt Current ecosystem. Prog. Oceanogr. 60, 201-222.

Aldanondo, N., Cotano, U., Tiepolo, M., Boyra, G., Irigoien. X., 2010. Growth and movement patterns of early juvenile European anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Bay of Biscay based on otolith microstructure and chemistry. Fish. Oceanogr. 19:3,196-208.

Anderson, M., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26, 32-46.

Araya, M., Cubillos, L., Peñailillo, J., 2008. Validación de la edad de la anchoveta en la costa de Chile. Informe final Proyecto FIP/2004-38. Fondo de Investigación Pesquera, Chile. 138 pp.

Arcos, D., Núñez, S., Acuña, A., 1996. Variabilidad de pequeña escala en la zona nerítica del sistema de surgencia de Talcahuano (Chile Central): Identificación y dinámica de áreas de retención larval. *Gayana Oceanol.* 4(1), 21-58.

Ashford, J., Jones, C., Hofmann, E., Everson, I., Moreno, C., Duhamel, G., Williams, R., 2005. Can Otolith elemental signatures record the capture site of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*), a fully marine fish in the Southern Ocean?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62, 2832-2840.

Ashford, J., Arkhipkin, A., Jones, C., 2006. Can the chemistry of otolith nuclei determine population structure of Patagonian tooth fish *Dissostichus eleginoides*?. *J. Fish. Biol.* 69, 708-721.

Avigliano, E., Vanina, A., 2016. A Review of the Application of Otolith Microchemistry Toward the Study of Latin American Fishes. *Review in Fisheries Science & Aquaculture*, 24:4, 369-384.

Barrueto, C., 1993. Edad y crecimiento de la anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns, 1842) de Iquique y Talcahuano mediante análisis de otolitos. Seminario para optar al Título de Biólogo Marino Universidad de Concepción. 81 pp.

Bath, G., Thorrold, S., Jones, C., Campana, S., McLaren, J., Lam, J., 2000. Strontium and barium uptake in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 1705–1714.

Blair, J., Hicks. B., 2012. Otolith microchemistry of koi carp in the Waikato region, New Zealand: a tool for identifying recruitment locations? *Inland Waters* 2(3), 109–118.

Cadrin, S., Friedland, K., Waldman. J., 2005. *Stock Identification Methods: Applications in Fishery Science*. Elsevier Academic Press, London. 719pp.

Campana, S., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 188, 263-297.

Castro, L., Soto, S., Llanos, A., Pérez, I., Cubillos, L., Alarcón, R., Claramunt, G., Herrera, G., Parada, C., Escalona, E., Barrientos, P., 2015. Identification of spawning zones and early life stages of small pelagic fishes in inshore waters of the X and XI regions, year 2013. FIP 2013-17 Final Research Report (in Spanish). Fondo de Investigación Pesquera, Chile. 414 pp.

Carrera, M., Rodríguez, V., Ahumada, R., Valenta. P., 1993. Metales trazas en la columna de agua y sedimentos blandos en Bahía de Concepción, Chile. Determinación mediante voltametría de redisolución. *Rev. Biol. Mar.*, 28 (1), 151 – 163.

Cubillos, L., Castro, L., Oyarzún, C., 2005. Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004, Informe Técnico Proyecto FIP-IT/2004-03, Instituto de Fomento Pesquero, Chile.130pp.

Cubillos, L., Castro, L., Claramunt G., Oyarzún C., 2006. Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005, Informe Técnico Proyecto FIP-IT/2005-02. Instituto de Fomento Pesquero, Chile.147pp.

Cubillos, L., Pedraza, M., Canales, M., Aranís. A., 2009. Dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común, zona centro-sur año 2006. Informe final Proyecto FIP/2006-13. Instituto de Fomento Pesquero, Chile.141pp.

Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, C., Alarcón, C., Zuñiga, M., Castillo-Jordán, C., Pedraza, M., Rebolledo, H., 2010. Evaluación del Stock Desovante de Anchoqueta y Sardina común entre la V y X Región, año 2009. Informe Final Proyecto FIP/2009-08. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 129pp.

Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., 2011. Evaluación del Stock Desovante de anchoqueta y sardina común entre la V y X Región, año 2010. Informe Final Proyecto FIP/2010-02. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 125pp.

Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E., 2013. Evaluación del stock desovante de anchoqueta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2012. Informe Final Proyecto FIP/2012-09. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 151pp.

Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E., 2015. Evaluación del stock desovante de anchoqueta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 212pp.

Chang, M., Geffen. A., 2013. Taxonomic and geographic influences on fish otolith microchemistry. *Fish Fish.* 14, 458-492.

Edmonds, J., Moran, M., Caputi. N., 1989. Trace element analysis of fish sagittae as an aid to stock identification: pink snapper (*Chrysophrys auratus*) in Western Australian waters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46, 50-54.

Edmonds, J., Caputi, N., Morita. M., 1991. Stock discrimination by trace-element analysis of otoliths of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*), a deep-water marine teleost. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 42, 383-389.

Eggins, S., Kinsley, L., Shelley. J., 1998. Deposition and fractionation processes during atmospheric pressure laser sampling for analysis by ICP-MS. *Appl. Surf. Sci.* 127-129, 278-286.

Elsdon, T., Wells, B., Campana, S., Gillanders, B., Jones, C., Limburg, K., Secor, D., Thorrold, S., Walther, B., 2008. Otolith Chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: Hypotheses, Assumptions, Limitations and inferences. *Oceanog. Mar. Biol.: An Annual Review*, 46, 297-330.

Ferrada, S., Hernández, K., Montoya, R., Galleguillos, R., 2002. Estudio poblacional del recurso anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns 1842) (Clupeiformes, Engraulidae), mediante análisis de ADN. *Gayana*, 66(2), 243-248.

Ferguson, G., Warda, T., Gillanders, B., 2011. Otolith shape and elemental composition: Complementary tools for stock discrimination of mulloway (*Argyrosomus japonicus*) in southern Australia. *Fish. Res.* 110, 17-83.

French, P., 1993. Post-industrial pollutant levels in contemporary Sverdrup estuary intertidal sediments compared to pre-industrial levels. *Mar. Pollut. Bull.* 26, 30-35.

Galleguillos, R., Chong, J., Oyarzún, C., Oliva, M., Roa, R., 1996. Unidades de stock en los recursos sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile. Informe Técnico Proyecto FIP/94-20. Fondo de Investigación Pesquera, Chile. 123pp.

Giordano, P., Musmeci, L., Ciaralli, P., Vernillo, J., Chirico, N., Piccioni, A., Costatini, S., 1992. Total content and sequential extractions of Hg, Cd and Pb in coastal sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 40, 1042-1050.

Górski, K., C. De Gruijter, and R. Tana., 2015. Variation in habitat use along the freshwater–marine continuum by grey mullet *Mugil cephalus* at the southern limits of its distribution. *J. Fish. Biol.* 87, 1059-1071.

Guidetti, P., Petrillo, M., Benedetto, G., Albertelli, G., 2012. The use of otolith microchemistry to investigate spawning patterns of European anchovy: A case study in the eastern Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Fish. Res.* 139, 1-4.

Hernández, A., 1994. Variabilidad de caracteres morfométricos y merísticos de anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns (1842) y sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), y su aplicación a la identificación de stocks. Seminario para optar al título de Biología Marina. Universidad de Concepción. 85 pp.

Hicks, A., Closs, G., Swearer, S., 2010. Otolith microchemistry of two amphidromous galaxiids across an experimental salinity gradient: a multi-element approach for tracking diadromous migrations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 394, 86–97.

Landaeta M., M.I. Muñoz & L.R. Castro. 2009. Seasonal and short-term variability in the vertical distribution of ichthyoplankton in a stratified fjord of southern Chile. *Cienc. Tec. Mar* 32(2), 27-42.

Landaeta M.F. & L.R. Castro. 2006. Seasonal variability in the spatial patterns of ichthyoplanktonic assemblages from the fjord zone of austral Chile. *Cienc. Tec. Mar* 29(2), 107-127.

Lillo, S., Lang, C., Molina, E., Cerna, F., López, A., Castro, L., Cubillos, L., Legua, J., 2015. Evaluación hidroacústica de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X y XI Regiones, año 2014. Informe Final Proyecto Convenio desempeño 2014. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 161pp.

Luoma, S., 1990. Processes affecting metal concentrations in estuarine and coastal sediments. In: *Heavy Metals in the Marine Environment*. Eds. R. Furnes & P. Rainbow. CRC Press. Inc New York. 225p.

Kruskal, J., 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika* 29, 1–27.

Macdonald, J., Shelley, M., Crook, D., 2008. A Method for Improving the Estimation of Natal Chemical Signatures in Otoliths. Transactions of the American Fisheries Society, 137, 1674-1682.

Morais, P., Babaluk, J., Correia, A., Chícharo, M., Campbell, J., Chícharo, L., 2010. Diversity of anchovy migration patterns in a European temperate estuary and in its adjacent coastal area: Implications for fishery management. J. of Sea Res. 64,295-303.

Niklitschek, E., Toledo, P., Hernández, E., Nelson, J., Soule, M., Herranz, C., Murillo, C., Valenzuela, X., 2009. Identificación y Evaluación hidroacústica de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X y XI regiones, año 2007. Informe Final Proyecto FIP/2007-05. Fondo Investigación Pesquera, Chile. 198 pp.

Pauly, D., Tsukayama, I., 1987. The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change. ICLARM Studies and Reviews, 15, 351 pp.

Ranaldi, M., Gagnon, M., 2008. Zinc incorporation in the otoliths of juvenile pink snapper (*Pagrus auratus* Forster): The influence of dietary versus waterborne sources. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 360, 56-62.

Rooker, J., Secor, D., Zdanowicz, V., Itoh, T., 2001. Discrimination of northern bluefin tuna from nursery areas in the Pacific Ocean using otolith chemistry. Mar. Ecol. Prog. Ser. 218,275-282.

Rooker, J., Secor, D., Zdanowicz, V., De Metrio, G., Orsi, L., 2003. Identification of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) stocks from putative nurseries using otolith chemistry. Fish. Oceanogr. 12(2), 75-84.

Serra, J.R., 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. In: Sharp, G., Csirke, J. (Eds.), Proceedings of the Expert Consultation to Examine

Changes in Abundance and Species Composition of Neritic fish Resources. FAO Fisheries Report, vol. 291, no. 2, pp. 255–284.

Sinclair, M., 1988. Marine populations: an essay on population regulation and speciation. Washington Sea Grant Program, Seattle, Washington. 252 pp.

Sinclair, M. M., Smith, T. D., 2002. The notion that fish species form stocks. ICES Marine Science Symposium 215, 297–304.

Soto-Mendoza, S., C. Parada, L. Castro, F. Colas & W. Schneider. 2012. Modelling transport and survival of anchoveta eggs and yolk–sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. Prog. Oceanogr. 92(1), 178-191.

Schuchert, P., Alexander, I., Arkhipkin, E., Koenig, A., 2010. Traveling around Cape Horn: Otolith chemistry reveals a mixed stock of Patagonian hoki with separate Atlantic and Pacific spawning grounds. Fish. Res. 102, 80-86.

Sturrock, A., Trueman, C., Darnaude, A., Hunter, E., 2012. Can otolith elemental chemistry retrospectively track migrations in fully marine fishes. J. Fish Biol. 81, 766-795.

Thresher, R., 1999. Elemental composition of otoliths as a stock delineator in fishes. Fish. Res. 43,165-204.

Thorrold, S., Zacherl, C., Levin, L., 2007. Population Connectivity and Larval Dispersal, Using Geochemical Signatures in Calcified Structures. Oceanography, 20(3), 80-89.

Valdivia, I., Chávez, A., Oliva, E., 2007. Metazoan parasites of *Engraulis ringens* as tools for stock discrimination along the Chilean coast. J. Fish Biol. 70, 1504-1511.

Warburton, M., Reid, M., Stirling, C., Closs, G., 2016. Validation of depth-profiling LA-ICP-MS in otolith applications. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 10.1139/cjfas-2016-0063.

Woodhead, J., Hellstrom, J., Paton, C., Hergt, A., Mass. R., 2008. A guide to depth profiling and imaging applications of LA-ICP-MS. In Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues; Sylvester, P., Ed.; Short Course 40; Mineralogical Association of Canada: Quebec City, QC, in Canadá, pp. 135–145.

Zúñiga, MJ., Canales. C., 2014. Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables anchoveta zona centro-sur, año 2014. Cuarto Informe Proyecto 2.5. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 81 pp. + anexos.



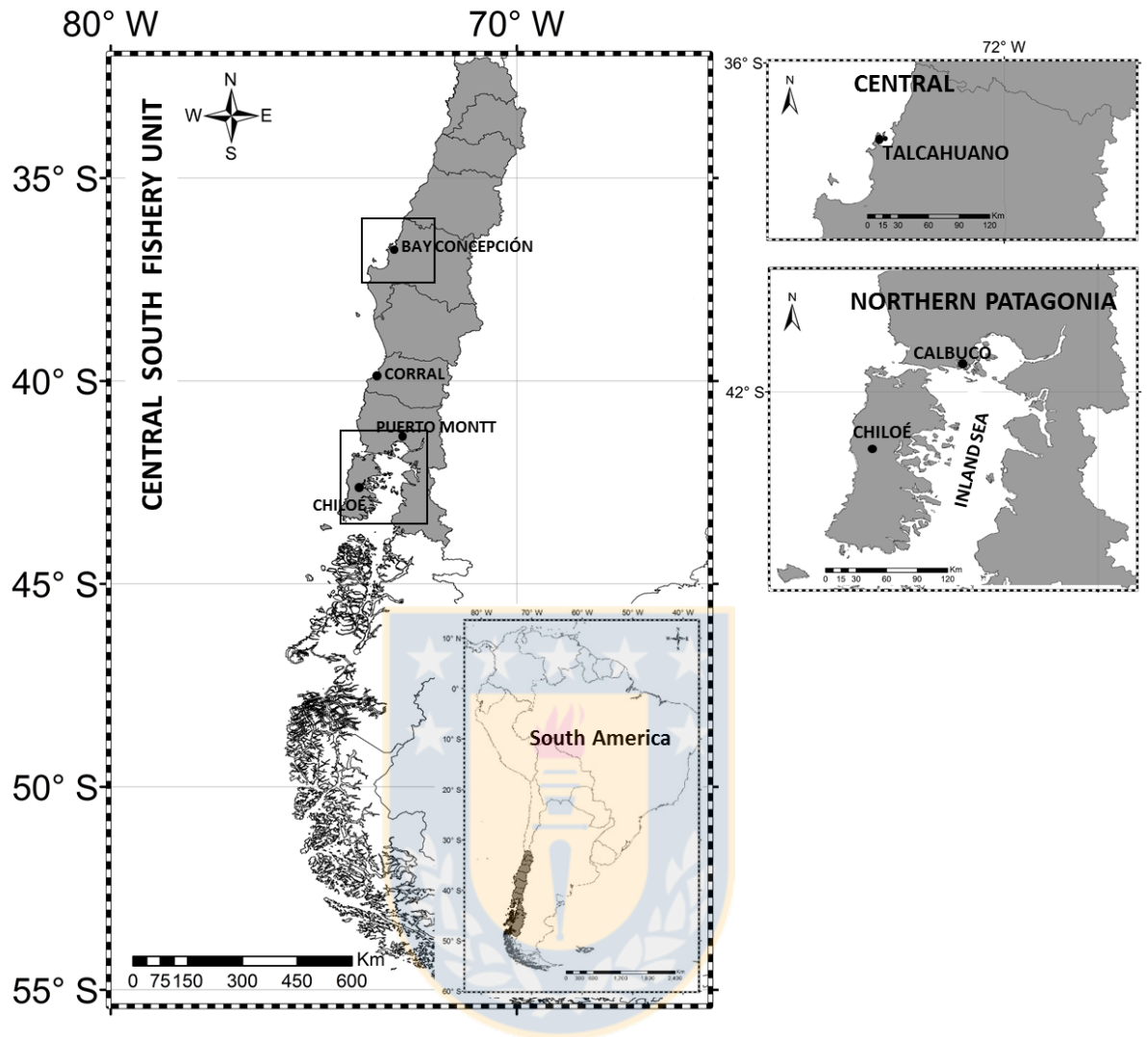


Figure 1: *Engraulis ringens* fishing zones (central Chile and northern Patagonia) where samples were obtained.

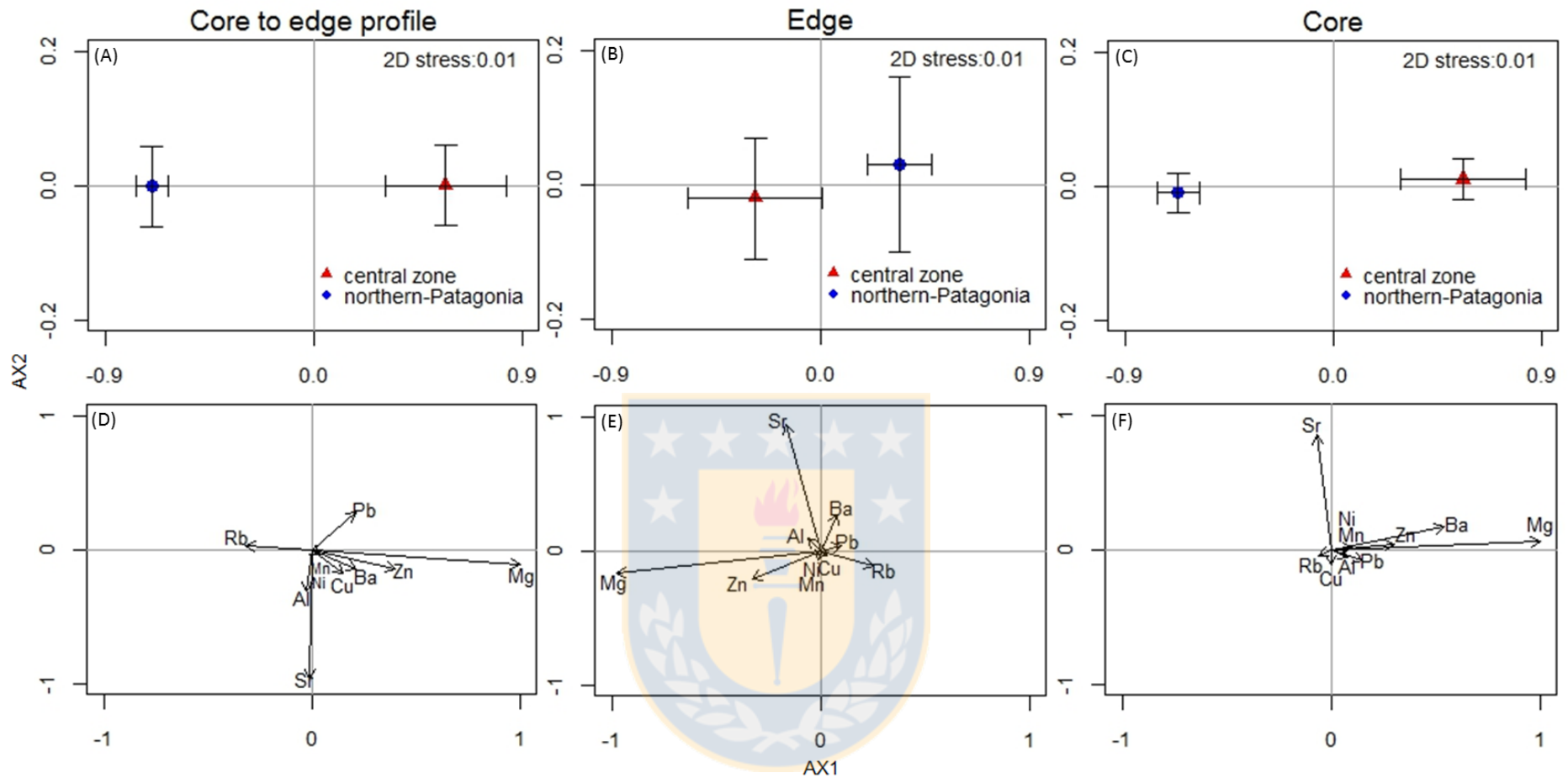


Figure 2: Centroid means and 95% CI based on non-metric multidimensional scaling plot (Euclidean distances) of the concentrations of element:calcium ratios for ^{24}Mg , ^{27}Al , ^{55}Mn , ^{60}Ni , ^{66}Zn , ^{88}Sr , ^{63}Cu , ^{85}Rb , ^{208}Pb , and ^{138}Ba in (A) core to edge profiles, (B) edges, and (C) cores of otoliths from *Engraulis ringens* collected in central Chile (▲) and northern Patagonia (●). (D, E, F) Vectors indicate the correlation (Spearman rank-order) between the relative concentrations of elements and specific samples for (D) core to edge profiles, (E) edges, and (F) cores.

Table 1: Month of collection, age group (1= adults 1 year; 2= adults >2 years), catch site, mean (\pm S.D.) total length (TL), and number of *Engraulis ringens* individuals used for otolith microchemical analyses.

Month	Group	Central zone		northern Patagonia zone	
		No. fish	TL (cm)	No. fish	TL (cm)
APR	2	8	16,1 \pm 1,1	10	15,1 \pm 1,6
OCT	1	7	14,7 \pm 1,7	10	13,1 \pm 0,6
	2	10	16,1 \pm 1,1	5	15,7 \pm 1,4
NOV	1	10	13,1 \pm 0,6	2	12,7 \pm 0,7
	2	11	15,7 \pm 1,4	10	15,6 \pm 1,4
JAN	2	10	15,7 \pm 1,4	9	15,1 \pm 1,6



Table 2: Results of the permutational multivariate analysis of variance based on Euclidean distance matrix of the standardized concentrations of element:calcium ratios for ^{24}Mg , ^{27}Al , ^{55}Mn , ^{60}Ni , ^{66}Zn , ^{88}Sr , ^{63}Cu , ^{85}Rb , ^{208}Pb , and ^{138}Ba in core-to-edge profiles, edges, and cores for otoliths from *Engraulis ringens* caught off central Chile and northern Patagonia (obtained using 9999 permutations of residuals under a reduced model).

Source	Core to edge profile					Edges				Cores			
	d.f	SS	Pseu do-F	P (perm)	No. perm	SS	Pseud o-F	P (perm)	No. perm	SS	Pseud o-F	P (perm)	No. perm
Location	1	6E-06	45,9	<0,001	9944	2E-07	1,3	NS	9912	5E-05	36,7	<0,001	9911
Month	3	2E-06	5,8	<0,001	9941	2E-06	3,3	NS	9956	3E-05	6,7	<0,001	9957
Group	1	2E-07	2,0	NS	9949	2E-07	1,4	NS	9935	5E-07	0,4	NS	9906
Sex	1	7E-10	0,01	NS	9942	4E-09	0,03	NS	9929	2E-07	0,1	NS	9916
Location x Month	3	3E-06	7,4	<0,001	9952	9E-07	1,8	NS	9952	1E-05	3,4	NS	9952
Location x Group	1	4E-08	0,4	NS	9928	2E-07	1,4	NS	9921	2E-07	0,1	NS	9895
Location x Sex	1	1E-07	0,8	NS	9939	2E-07	1,1	NS	9951	9E-07	0,6	NS	9905
Month x Group	1	5E-07	4,0	NS	9938	1E-07	0,7	NS	9927	2E-07	0,2	NS	9902
Month x Sex	3	4E-07	1,1	NS	9963	5E-07	1,0	NS	9948	4E-06	1,0	NS	9940
Group x Sex	1	4E-07	3,1	NS	9946	5E-08	0,3	NS	9936	2E-06	1,1	NS	9917
Location x Month x Group	1	8E-09	0,1	NS	9939	3E-08	0,2	NS	9925	3E-08	0,02	NS	9912
Location x Month x Sex	3	2E-07	0,6	NS	9943	3E-07	0,5	NS	9955	2E-06	0,4	NS	9945
Location x Group x Sex	1	1E-07	0,8	NS	9943	6E-08	0,3	NS	9932	3E-07	0,2	NS	9902
Month x Group x Sex	1	3E-07	2,6	NS	9933	2E-07	0,9	NS	9924	3E-07	0,2	NS	9906
Residual	79	9E-06				1E-05				1E-04			

Table 3: Pair-wise tests; t and P values were obtained using 9999 permutations of residuals under a reduced model. Specific sites were Talcahuano (central Chile) and Calbuco (northern Patagonia).

Level	Location, zone	Core to edge			Core		
		t	P (perm)	Unique perm	t	P (perm)	Unique perm
APR	central , northern Patagonia	1,6	<0,05	9941	0,1	NS	9953
OCT	central , northern Patagonia	4,7	<0,001	9938	6,5	<0,001	9911
NOV	central , northern Patagonia	7	<0,001	9903	4,4	<0,001	9882
JAN	central , northern Patagonia	3,1	0,001	9950	3,1	0,001	9940



Table 4: Mean and standard error (S.E.) of the element:calcium ratios ($\times 10^{-6}$) for ^{24}Mg , ^{66}Zn , ^{85}Rb , ^{88}Sr , ^{138}Ba and ^{208}Pb for core-to-edge profiles, edges, and cores of *Engraulis ringens* otoliths from central Chile (CC) and North Patagonia (NP).

Element	Location	<i>n</i>	Core to edge Mean \pm S.E.	Edge Mean \pm S.E.	Core Mean \pm S.E.
Mg:Ca	CZ	56	116.9 \pm 0.811	50.26 \pm 2.129	342.9 \pm 9.262
	NPZ	46	27.74 \pm 0.243	20.08 \pm 1.133	96.90 \pm 3.197
Zn:Ca	CZ	56	0.142 \pm 0.002	0.208 \pm 0.009	0.593 \pm 0.034
	NPZ	46	0.107 \pm 0.001	0.220 \pm 0.011	0.317 \pm 0.017
Rb:Ca	CZ	56	0.011 \pm 0.000	0.006 \pm 0.000	0.017 \pm 0.001
	NPZ	46	0.013 \pm 0.000	0.007 \pm 0.000	0.018 \pm 0.001
Sr:Ca	CZ	56	59.39 \pm 0.148	45.33 \pm 0.693	79.59 \pm 1.190
	NPZ	46	61.25 \pm 0.162	45.22 \pm 0.960	82.01 \pm 1.060
Ba:Ca	CZ	56	0.792 \pm 0.007	0.394 \pm 0.017	0.238 \pm 0.014
	NPZ	46	0.318 \pm 0.004	0.344 \pm 0.014	0.041 \pm 0.001
Pb:Ca	CZ	56	0.001 \pm 0.000	0.001 \pm 0.000	0.003 \pm 0.001
	NPZ	46	0.000 \pm 0.000	0.001 \pm 0.000	0.001 \pm 0.000



CAPITULO II

Evaluación de la estructura espacial del stock de *Engraulis ringens* mediante un modelo de estimación edad estructurado en la zona centro-sur de Chile.

Manuscrito en preparación



Evaluación de la estructura espacial del stock de *Engraulis ringens* mediante un modelo de estimación edad estructurado en la zona centro-sur de Chile.

Evaluation of the spatial structure of the *Engraulis ringens* stock using a structured age estimation model in the central-southern zone off Chile

María José Cuevas^{1,2}, Luis Cubillos^{2,3}, Cristian Canales⁴, Leonardo Castro^{2,5}

¹Programa de Magíster en Ciencias con mención en Pesquerías, Universidad de Concepción, Chile.

²Departamento de Oceanografía y COPAS Sur-Austral, Universidad de Concepción. ³Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas Explotadas (EPOMAR), Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile. Casilla 160-C, Concepción, Chile., Concepción, Chile. ⁴Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. ⁵Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL), Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile. Casilla 160-C, Concepción, Chile.

*Corresponding author: e-mail: mariajosecuevasc@gmail.com

Manuscrito en preparación



Resumen

La anchoveta *Engraulis ringens*, constituye un recurso de gran importancia para la actividad pesquera artesanal e industrial en la zona centro sur de Chile (33°S-44°S). La unidad de pesquería se encuentra definida desde la V región de Valparaíso (33°S) hasta el límite sur de la X región de los Lagos (44°S), y la evaluación de stock asume que el recurso no presenta una estructura espacial en el área, constituyendo una única unidad de pesca homogénea. Sin embargo, la unidad de pesquería de la zona centro-sur se caracteriza por presentar una amplia distribución latitudinal con varios focos de desove históricos, encontrándose también durante los últimos años estadios tempranos de desarrollo en el mar interior de Chiloé. Además, estudios recientes de microquímica de otolitos entregan indicios de la presencia de dos zonas discretas de desove que se mezclan por reclutamiento, concordando con la asincronía espacial y estructural en el proceso reproductivo descrita entre ambas localidades. En este trabajo se analizó la estructura espacial de anchoveta en la zona centro sur y las implicancias que tiene en el manejo del recurso, mediante la implementación de un modelo de estimación con dos zonas de desove discretas que se mezclan por reclutamiento, y se compararon las estimaciones de estado y productividad del stock, con la evaluación tradicional que supone un stock homogéneo. Los resultados mostraron que los reclutamientos tendrían una asignación espacial alta para la zona centro con un 84% y el complemento 16% es atribuible a la zona sur, existiendo además diferencias en las curvas de selectividad entre zonas. La estimación de puntos de referencias para cada zona (centro y sur) evidencia que la suma de las partes (zonas) no es igual al total (modelo homogéneo), siendo bastante más precautorias las estrategias de explotación que se desprenden del modelo espacial propuesto en este trabajo.

Palabras claves: estructura espacial, modelo de estimación, pelágico pequeño

Abstract

The anchoveta *Engraulis ringens*, is a resource of great importance to artisanal and industrial fishery activity in the Center South zone of Chile (33°S - 44°S). The unit of fishery is defined from the V region Valparaíso (33°S) to the southern edge of the (44° S) X region Los Lagos. The stock assessment of the fishery unit assumes that the resource does not have a spatial structure in the area, constituting a single homogeneous fishing unit. However, this fishery unit is characterized by a wide latitudinal distribution with several historical spawning areas. During the last years, however, early life stages of development have been observed in the interior sea of Chiloé. In addition, recent studies on microchemistry of otoliths give signs of the presence of two discrete spawning areas that mixed at recruitment, agreeing with the already documented spatial and structural asynchrony in the reproductive process between locations. In this study the spatial structure of the anchoveta was analyzed in the center south zone and the implications that this spatial structure might have on the resource management was explored by means of the implementation of a model of estimation that included two discrete spawning areas in which individuals mix at recruitment. Results were then compared with the estimations of the state and productivity of the stock obtained with the traditional evaluation model that supposes an spatially homogeneous stock. The results show that recruitment would have a high spatial allocation for the central zone with 84% and only 16% allocable to the south zone; there are also differences in the selectivity curves between areas. The estimation of points of references for both areas (center and south) evidence that the sum of the parts (zones) is not equal to the entire zone (homogeneous model), being the strategies of development that emerge of the spatial model proposed in this work more precautory than the homogeneous model.

Keywords: spatial structure, population estimation model, small pelagic

1. Introducción

Las consideraciones espaciales de la dinámica poblacional y los impactos de la pesca a menudo son ignorados en el enfoque clásico de evaluación de stock (Booth, 2000). Una de las razones para ignorar el espacio cuando se realiza una evaluación, radica en la conveniencia de asumir que la población se distribuye homogéneamente debido a la alta difusividad de los individuos, más que cuantificar la heterogeneidad (Seijo *et al.*, 2004). Otra razón para asumir *a priori* la estructura espacial se debe a que muchas veces la cantidad de datos disponibles para cada área evaluada es baja, aumentando de esta forma la incertidumbre y por extensión, la capacidad de informar correctamente las medidas de interés para administrar los recursos (Cope & Punt, 2011). El peso de la prueba queda en demostrar la estructura espacial de la población antes de aumentar la resolución espacial de una evaluación de stock (Booth, 2000). Entre los factores que pueden contribuir a la posible estructuración espacial del stock están la variabilidad biológica (Begg *et al.*, 1999), la conectividad genética (Waples & Gaggiotti, 2006), la variabilidad ambiental (Lande *et al.*, 1999), la disponibilidad de hábitat (Botsford *et al.*, 2009), el esfuerzo de pesca y la migración (Booth, 2000; Ralston & O' Farrell, 2008).

La anchoveta, *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842), es una pez pelágico pequeño de gran importancia pesquera, se distribuye desde el norte del Perú (4°30'S) al sur de Chile (44°14'S) (Serra, 1983; Pauly & Tsukayama, 1987; Bustos *et al.*, 2008), presenta un ciclo de vida corto con una tasa de mortalidad natural alta, el reclutamiento es variable y condicionado por factores ambientales (bióticos y abióticos) (Zúñiga & Canales, 2014; Serra, 1983; Cubillos *et al.*, 2001; Aranís *et al.*, 2013).

En Chile, la explotación de esta especie se realiza con red de cerco por una flota artesanal (eslora menor a 18 m) y otra industrial, las que operan en profundidades que no sobrepasan los 50 m y desde el borde costero hasta cerca de 30 millas náuticas (Zúñiga & Canales, 2014). Desde el punto de vista administrativo, en la costa chilena se han definido tres unidades de pesquería que explotan este recurso: la primera, entre el sur del Perú y sur de Antofagasta (19°S-24°S), la segunda entre Caldera y Coquimbo (24°S-32°S), y la tercera, en la zona centro-sur entre Valparaíso y Chiloé (33°S - 44°S). En la actualidad, esta pesquería se encuentra en estado de sobreexplotación en las dos unidades administrativas del norte y agotada en la zona centro-sur (SUBPESCA, 2015).

Históricamente los stocks de anchoveta han sido evaluados y gestionado en cada unidad de pesquería, asumiendo una unidad de stock homogénea, bajo la percepción de que el stock está formado por una única población biológica. Sin embargo, los estudios enfocados en comprender la estructura espacial del recurso, que incluyen análisis morfométricos y merísticos, análisis electroforéticos de genética de proteínas, análisis de ADN y análisis de la fauna parasitaria (Barrueto, 1993; Hernández, 1994; Galleguillos *et al.*, 1996; Ferrada *et al.*, 2002; Valdivia *et al.*, 2007) han considerado sólo muestras provenientes desde la zona norte (Arica, Iquique, Antofagasta) a la zona central (Talcahuano) y no han sido del todo concluyentes, ya que algunas técnicas han dado resultados contradictorios respecto al número de unidades de stock existentes. Paralelamente, estudios de modelación de transporte de estadios tempranos de desarrollo de anchoveta en la zona centro-sur, utilizando modelos biofísicos, han propuesto la existencia de un transporte significativo de huevos y larvas desde la zona sur (Corral, 39°52'S) hacia la zona central (Golfo de Arauco y Talcahuano; Soto *et al.*, 2012). En otras palabras, existe poca claridad sobre la dinámica espacial de la especie, en términos de la conectividad espacial y de la estructura poblacional.

La unidad de pesquería de la zona centro-sur, se caracteriza por presentar una amplia distribución latitudinal con varios focos de desove discretos que se reconocen históricamente (Cubillos *et al.*, 2005, 2006), encontrándose también focos de desove en el mar interior de Chiloé (zona nor-Patagónica) (Landaeta *et al.*, 2006; 2009; Niklitschek *et al.*, 2009; Castro *et al.*, 2015). Estudios recientes de microquímica de otolitos entregan indicios de la presencia de dos zonas discretas de desove, una en la zona centro y otra en la zona nor-Patagónica, y que debido al alto grado de mezcla que existiría entre los individuos de mayor talla, no se pueden considerar ambas zonas como unidades de pesquería independientes (Cuevas *et al.*, 2016, en revisión). Esto concuerda con la asincronía espacial y estructural en el proceso reproductivo descrita por Cubillos *et al.* (2009) entre ambas localidades, en que el inicio de la actividad reproductiva sería en julio en la zona central (33°-37°S) extendiéndose hasta diciembre, mientras que hacia el sur (38°-42°S) estaría restringido temporalmente a dos meses de mayor actividad (septiembre-octubre), por hembras de mayor tamaño que en la zona central.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la estructura espacial de la anchoveta en la zona centro-sur, y las implicancias que tiene en el manejo del recurso. Para lograr este

objetivo se implementó un modelo de estimación poblacional estructurado por edad con dos zonas de desove discretas (zona centro 33°-37°S y zona sur 38°-44°S) que se mezclan por reclutamiento. La evidencia de mezcla latitudinal de reclutas entre las dos zonas se sustenta en el estudio de microquímica de otolitos (Cuevas et al. en revisión) permitiendo excluir la hipótesis de dos poblaciones discretas. También se presentan aquí resultados de la evaluación tradicional que supone un stock homogéneo, para permitir comparaciones entre las estimaciones de estado y productividad del stock con la hipótesis alternativa propuesta.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio y datos analizados

El área de estudio consideró la distribución de anchoveta a lo largo de la unidad de pesquería centro sur de Chile, desde 33°S (norte de Valparaíso) a los 44°S (sur de Puerto Montt), y se clasificó en dos sectores zona centro (33°S-37°10'S) y zona sur (38°S-44°14'S) (Fig. 1).

La información de entrada al modelo de evaluación abarcó desde el año 1998 hasta el año 2014, y correspondió a: (1) las estadísticas de desembarques registradas por el Servicio Nacional de Pesca (<http://www.sernapesca.cl>), (2) estructura de tamaños, de edad y peso medio a la edad/talla registrado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), (3) las evaluaciones acústicas del reclutamiento realizadas por IFOP entre la V-X regiones, en dos cruceros; uno en verano (RECLAS) cuyo objetivo es evaluar la fuerza de los reclutamientos, y otro en otoño (PELACES), cuyo objetivo es evaluar la biomasa disponible a la flota y corroborar las estimaciones del crucero de verano. Otra fuente de datos consistió a la evaluación del stock desovante de anchoveta entre la V-X Regiones por el método de la producción diaria de huevos (MPDH) (e.g. Cubillos *et al.*, 2015). Por último, (4) información obtenida de la literatura y que dice relación con parámetros del ciclo vital de anchoveta. Los periodos que cubre cada uno de los datos se resume en la tabla 1, si bien estos periodos difieren con la disponibilidad de algunos cruceros, p.e. PELACES, ello se debe a que dicha información no estuvo disponible por zonas para los propósitos de este estudio.

2.2 Modelo poblacional

El modelo de la dinámica poblacional (ME) se implementó en AD Model Builder (C++) (Fournier *et al.*, 2012) y se basó en el modelo propuesto por Zúñiga y Canales (2014) para la zona centro sur, que es un modelo anual estructurado por edad, de sexos combinados, y cuya dinámica supone una estructura poblacional homogénea. Las modificaciones al modelo de Zúñiga y Canales (2014) que se realizaron en este estudio incluyeron las consideraciones espaciales. La definición de parámetros y ecuaciones utilizados se describen en las Tablas 2 y 3.

El modelo de estimación (ME) se expresó por zonas (zona centro= z_c , zona sur= z_s), en donde la hipótesis alternativa que se implementó, considero un stock único en la zona centro sur dado los antecedentes de estudios previos, considerando como supuesto principal una función stock-recluta de Beverton y Holt (1957) (A.2.1, A.2.2, Tabla 3) en función de la biomasa reproductora combinada (ambas zonas). Los parámetros que definen la función stock-recluta, α y β , se calcularon en función del steepness ($h=0.75$), mientras que los reclutamientos por zonas (con un error de proceso por zona) mediante las ecuaciones 1 A.2.3 (Tabla 3), se determinaron mediante la aplicación de un factor de asignación espacial (P_0) cuyo dominio se define en la ecuación 4.A.2.3 (Tabla 3), y se supone invariante (al centro: P_0 , al sur: $(1 - P_0)$). Luego de ocurridos los reclutamientos en cada zona, los niveles de explotación dependen de la mortalidad por pesca que se aplica en cada zona dentro del año.

En cada zona, la abundancia de peces de edad a para el año 1 se modeló según la Ec. A.2.4 (Tabla 3.), y la dinámica general de la abundancia por zonas se determinó siguiendo las ecuaciones A.2.3 (Tabla 3). Los coeficientes de selectividad y capturabilidad edad específica tanto de la flota comercial y cruceros acústicos (verano y otoño) variaron por zona, pero no en el tiempo. La selectividad en ambos casos fue modelada de tipo logístico (A.2.8, Tabla 3).

Las capturas por zonas se modelaron según la ecuación de captura de Baranov (A.3.1, Tabla 3), el desembarque en peso se obtuvo mediante la ecuación (A.3.2, Tabla 3) en la cual se multiplicó la captura a la edad en número por la matriz de peso medio a la edad. La biomasa total y la biomasa desovante se obtuvieron a partir de las ecuaciones (A.3.3, A.3.4, Tabla 3).

El ME se ajustó al índice acústico, a la composición por tallas obtenidas en esto cruceros de evaluación acústica en verano (RECLAS) y otoño (PELACES), y a la biomasa reproductora

dada por el índice de biomasa desovante estimado mediante el Método de Producción Diaria de Huevos (MPDH, Cubillos *et al.*, 2015). Los modelos de las observaciones se resumen en la Ec. A.3.5, A.3.6 (Tabla 3), donde destaca la estimación de una capturabilidad constante entre años y zonas para cada crucero acústico. La capturabilidad fue asumida invariante con el fin de asegurar que las observaciones acústicas reflejen lo que ocurre en el crucero y sean independientes de las capturas. Además, se estimó dos capturabilidades adicionales para la biomasa reproductora (una para cada zona). Las abundancias de las evaluaciones directas fueron descritas según la ecuación A.3.7 (Tabla 3) y la proporción predicha de la captura para la flota a la edad y año se obtuvo a partir de la Ec. A.3.8 (Tabla 3).

2.3 Modelos del Error

Se emplearon diferentes funciones de log-verosimilitud en el proceso de estimación (A.4, Tabla 3). Los modelos de los errores para el desembarque de la flota y los índices de biomasa asumieron una función de log-verosimilitud negativa log-normal. La desviación estándar de los índices de abundancia se supuso no variaron en el tiempo ni entre zonas (flota= 0.1, crucero verano= 0.2, crucero otoño= 0.2 y MPDH= 0.3), los valores se asignados en referencia al nivel de credibilidad relativa que se tiene a las distintas piezas de información (A.4.1, A.4.2, Tabla 3).

Para la proporción de individuos capturados por edad/tallas, tanto por la flota como en la evaluación acústica (cruceros de investigación), se empleó una función de log-verosimilitud negativa multinomial (ecuación A.4.3, Tabla 3) y tamaño efectivo de muestras de $n=80$ para la flota, $n=40$ para el crucero de verano y $n=10$ para el crucero de otoño (tamaño designado en referencia a lo informativa que son las fuentes de información).

La función objetivo además incluyó tres penalizaciones relacionadas con las desviaciones del reclutamiento por zona y las desviaciones de los coeficientes de capturabilidad (A.5, Tabla 3).

Las desviaciones en los errores aleatorios del reclutamiento se definieron según la Ec. A.5.1 (Tabla 3) y el nivel de correlación para el reclutamiento entre zonas (proporción de mezcla) se evaluó con $\sigma_p^2 = 0.2$ (alta correlación cruzada entre zonas), según la Ec. A.5.3 (Tabla 3).

La desviación en la capturabilidad de los cruceros hidroacústicos se supuso presenta una distribución log-normal cuya magnitud se encuentra sujeta a un coeficiente de variación (c.

verano= 0.01 y c. otoño= 0.1). El valor asignado al crucero de verano se justificó en la mayor cantidad de datos disponibles anualmente en ese crucero lo que permite que la estimación de biomazas para cada zona sea mejor representada por la escala de densidades locales, que el crucero de otoño, el cual cuenta con menor cantidad de información disponible por zona (Tabla 1, Tabla 3. A.5.2).

Finalmente los valores de los parámetros se estimaron minimizando la función objetivo, que consiste en la suma de los componentes marginales de log-verosimilitud y las penalizaciones mencionadas (A.6. Tabla 3).

2.4 Evaluación del estatus del recurso.

El estatus del recurso, que consiste en las variables de estado representadas por la abundancia, biomazas y los niveles de mortalidad por pesca relacionados a la explotación pesquera, se evaluaron a través de la determinación de los puntos biológicos de referencia (PBRs), mediante el análisis de la biomasa desovante por recluta (SPR) que describe el cambio de la abundancia de una cohorte por efectos de la mortalidad natural y la pesca (A.7.1, A.7.2, Tabla 3).

Los PBRs que se calcularon en este estudio, para la zona centro y sur fueron: la biomasa desovante en el nivel del rendimiento máximo sostenible, la biomasa desovante limite a partir de la cual la pesquería califica de agotada o colapsada, la mortalidad por pesca limite a partir de la cual el recurso califica en sobrepesca, y la reducción de la biomasa desovante virginal (RPR equilibrio, A.7.3, Tabla 3) que corresponde a un indicador de la reducción poblacional.

En cuanto a los PBR precautorios se consideró el marco de referencia biológica propuesto por el Comité Científico Técnico de Pesquerías de Pequeños Pelágicos (CCT-PP_1113) (Alarcón *et al.*, 2013), esto es $60\%B_0$ como proxy de B_{RMS} , $F_{60\%B_0}$ como proxy de F_{RMS} , $B_{limite}=20\%B_0$, además se calculó un $F_{40\%}$ de la biomasa desovante relativo al nivel no explotado que fue el primer PBRs recomendado como proxy de F_{RMS} , el cual se modificó luego de evaluar su pertinencia para especies de historia de vida corta, que además cumplen un importante rol ecológico como de base de la cadena trófica (Zúñiga & Canales, 2012).

3. Resultados

3.1 Ajuste del modelo

Los dos modelos considerados convergen a una estimación de los parámetros desconocidos, con valores máximos de gradiente < 0.0001 (Tabla 4). El ajuste del modelo espacial no parece reproducir bien los cambios interanuales de los índices de abundancia acústicos, particularmente el crucero de verano. En efecto, los índices de abundancia contienen un nivel de variabilidad importante que se resume en la amplitud de los intervalos de confianza, observándose que el modelo reproduce más bien la tendencia general a la disminución que han presentado dichos índices. Sin embargo, los valores más altos de los cruces de verano, otoño y de biomasa reproductora no son logrados de buena forma por el modelo (Figura 3).

3.2 Estructura Poblacional

En cuanto a la estructura poblacional, el valor del factor que mide la asignación espacial (P_0) se estimó en 84% con $CI_{95\%} = (83\%-85\%)$ (Tabla 3). Al comparar el modelo homogéneo con el modelo espacial, se observa que este último muestra estimaciones de biomasa total, desovante y reclutamiento menores. Esto podría estar asociado con el valor de R_0 menor estimado para la modelo espacial (Tabla 3). No obstante, en ambos escenarios se confirma la tendencia negativa de la población de anchoveta que comenzó entre 2005- 2006; tendencia que en distinta escala se refleja en ambas zonas (Figura 4A, B, C).

Las mortalidades por pesca de este recurso en los dos modelos estudiados han tendido al alza, con altos niveles de mortalidad (por sobre el valor de mortalidad natural) que lograron su máximo el año 2010, posteriormente estos niveles disminuyen al igual que la reducción de la biomasa del recurso. Según el modelo homogéneo, la biomasa en la zona centro sur al año 2014 no supera las 214 mil toneladas, y según el modelo espacial el recurso se encuentra en un estado aún más crítico presentando solo 115 mil toneladas en la zona centro y 36 mil en la zona sur. Al observar la mortalidad por pesca estimada por el modelo espacial, la zona centro se encuentra sometida a las mayores tasas de mortalidad por pesca que la zona sur y el caso base (Figura 4D).

En cuanto a la selectividad, el modelo espacial (por zonas) indica que el recurso es próximo a su completo reclutamiento a la pesquería a la edad de 2 años con selectividad de 100% en la

zona centro y de 98% en la zona sur, mientras que los individuos de edad 0 son vulnerados en 1% en ambas zonas y los de edad 1 en 60% en la zona centro y 40% en la zona sur. Por su parte la selectividad de los cruceros acústicos indica diferencias entre los cruceros de verano y otoño entre las zonas, a la edad 0 el crucero de verano presenta una selectividad del orden del 41% en la zona centro y de 7% en la zona sur, y el crucero de otoño presenta una retención del 8% en la zona centro y del 100% en la zona sur. En lo referente al modelo homogéneo el recurso presenta su reclutamiento completo a la edad de 1 año mientras que los peces de edad 0 son vulnerados un 1%, la selectividad de los cruceros acústicos indica leves diferencias entre los cruceros de verano y otoño, ambos comienzan a ser completamente vulnerados a partir de la edad 1, pero el crucero de otoño presenta una retención del orden del 23% a la edad 0 y el crucero de verano un 0% a la misma edad (Figura 4F, G, H).

3.2 Estatus del recurso

El indicador de reducción poblacional mostró que en los dos modelos (homogéneo y modelo espacial en estudio) el recurso se encuentra en situación de colapso ($RPR < 0.20$) al 2014, evidenciándose que a partir del año 2005 la explotación de anchoveta comenzó a alejarse de los valores de referencia considerados precautorios ($RPR > 0.6$) ingresando a un proceso de sobreexplotación. Este proceso fue más rápido en la zona centro (año 2007), que en la zona sur (año 2009) (Figura 4E). En el año 2010, el estatus se puede calificar en una condición de colapso¹ en ambas zonas, el caso base muestra un mejor estado en comparación con la zona centro ingresando el año 2008 a un estado de sobreexplotación y colapsando el año 2010 (Figura 4E).

Los valores proxy de los niveles de explotación utilizados son bastante menores al evaluar el recursos por zonas que de forma homogénea, la captura que mantiene al recurso en el rendimiento máximo sostenible en la evaluación homogénea es de 65 mil toneladas, muy por sobre la estimada según el modelo espacial, de 17 mil toneladas para la zona centro y 6 mil toneladas para la zona sur (Tabla 5).

Al proyectar la biomasa desovante al año 2015 con un $F_{60\%}$ que equivale a remover en equilibrio el 40% de la biomasa total, el modelo homogéneo superó el nivel de colapso, sin

¹ Según la Ley de Pesca, cuando la biomasa desovante es menor que el PBR límite implica un estatus de colapso. Desde el punto de vista biológico, esta situación indicaría una fase de agotamiento del recurso.

embargo, en la evaluación por zonas la captura estimada fue de 23 mil toneladas y el recurso continuo en una situación crítica, logrando un $RPR > 0.2$ al año 2016 (Tabla 5).

4. Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la estructura espacial de anchoveta en la unidad de pesquería centro sur y las implicancias que tiene en el manejo del recurso. Para lograr este objetivo se implementó un modelo de estimación poblacional con dos zonas de desove discretas (zona centro y zona sur) que se mezclan por reclutamiento, como lo sugieren estudios recientes de microquímica de otolitos (Cuevas et al., en revisión).

Los resultados mostraron que los reclutamientos tendrían una asignación espacial alta para la zona centro (P_0), con un 84%. El complemento (16%) es atribuible a la zona sur, concordando con los datos de las cruceros acústicos que muestran un aumento gradual en la longitud media de anchoveta de norte a sur, lo que se reflejaría en las mayores agregaciones de reclutas al norte, mientras que al sur se encontrarían las principales zonas de desove y alimentación de los adultos, las cuales se observan preferentemente en las regiones XIV y X, focalizándose principalmente entre Lebu ($37^{\circ}33'S$) y los $39^{\circ}10'S$, siendo la IX región un área virtual de refugio debido a la reducción de la actividad pesquera (Cubillos et al., 2001; Castillo et al., 2013).

La mortalidad por pesca (F) en la zona centro en general se encuentra muy por sobre el nivel de mortalidad natural (M), a diferencia de la zona sur que hasta el año 2008 se encuentra por debajo o en consonancia con el valor de M , asemejándose a las mortalidades por pesca estimadas en el caso base (que asume homogeneidad). A partir del año 2009 la F aumenta drásticamente en la zona sur lo que provoca que la población se situó bajo el límite de sobreexplotación al igual que en los otros dos escenarios (modelo homogéneo y zona centro). Al comparar el escenario de sobreexplotación entre zonas, la zona sur además de tener menor abundancia estaría sujeta a un menor esfuerzo de pesca como se observa en las figuras 3A,D, lo que concuerda con la inaccesibilidad de las flotas artesanales de las regiones VIII- XIV y la prohibición existente a la flota industrial a pescar a menos de las 5 millas náuticas de la costa (Castillo et al. 2013). Esto sugiere que pueden haber diferencias en la composición de tallas de las capturas entre las zonas, como se evidencia en las gráficas de selectividad, en donde en la

zona centro los peces de edad 1 son un 20% más vulnerados que en la zona sur, a diferencia del modelo homogéneo que al trabajar con una única selectividad con captura continua durante todo el año desconoce esta información, estimando que en toda la unidad de pesquera el reclutamiento es completo a la edad de 1 año (Figura 4.F, G, H).

El modelo con estructura espacial indica que el recurso presenta un reclutamiento completo a la edad de 2 años en ambas zonas (Figura 4.E). Al considerar que el reclutamiento a la zona de pesca ocurre en ejemplares en torno a los 5 a 6 meses de edad con una longitud modal centrada entre los 6 a 11 cm LT (Cubillos et al., 2001), la selectividad a la edad de 2 podría estar siendo sobreestimada debido a que se asume una M invariante de 0.7 años^{-1} (Cubillos et al., 1998, Zúñiga y Canales, 2014), lo que generaría que el modelo sobreestime la sobrevivencia del recurso.

Este valor de M empleado (0.7 años^{-1}) parece ser bajo al comparar las tasas de mortalidad natural empleadas en evaluaciones de anchoveta en el resto del mundo, las que fluctúan entre 0.4 y 1.2 años⁻¹, considerando la mortalidad natural de 1.2 años⁻¹ utilizada en la evaluación de *Engraulis encrasicolus* en la Bahía de Biscay de la Unión Europea (base de datos www.ramlegacy.org) se estimó el efecto en la selectividad del recurso en este estudio (Anexo 1). Quedando en evidencia que el patrón de explotación se modifica significativamente en la zona centro la cual presenta el 100% de retención a la edad de 1 año, en cambio la zona sur no presenta cambios en la edad de retención del 100%, por lo que solo en la zona centro se podría estar sobreestimando la sobrevivencia de las edades menores.

El modelo de evaluación de anchoveta asume un proceso de mortalidad continua donde compiten la mortalidad natural y la mortalidad por pesca mediante la ecuación de captura de Baranov (Hilborn y Walters, 1992). Esto implica que la mortalidad por pesca y la mortalidad natural ocurren simultáneamente y de manera uniforme a lo largo del año en toda el área evaluada, por lo que en presencia de altos niveles de mortalidad por pesca incluso los peces con baja selectividad podrían ser capturados (Branch, 2009). En el caso del modelo homogéneo, el modelo de captura asume que las flotas pesqueras operan en toda el área de distribución de la unidad de pesquería. No obstante, al considerar el hecho que la flota de pesca artesanal esté restringido a operar en su región de procedencia, el esfuerzo de pesca se aplica discretamente en la unidad de pesquería centro-sur. De esta manera, el modelo espacial

propuesto refleja de mejor manera el hecho que las capturas se obtienen de forma independiente y discreta en cada zona.

En cuanto al ajuste del modelo, este fue capaz de replicar la tendencia general que presentan las estimaciones de los cruceros (índices). Sin embargo, hay una serie de cruceros para los cuales el modelo de estimación de la biomasa cae fuera del intervalo de confianza del 95% de la observación del crucero (verano, otoño y crucero de huevos). Esto no es ideal, sobre todo para una especie de corta vida para la cual la evaluación se utiliza para proporcionar la base de asesoramiento de gestión a corto plazo. Existen diversos factores que pueden estar influyendo, entre ellos: i) se cuenta con poca información de los cruceros por zonas, como se muestra en la Tabla 1, ii) se estima un coeficiente de capturabilidad que se asume constante para toda la serie (para evitar sobre-parametrizar el modelo), lo que genera que las estimaciones sigan la tendencia general de las observaciones acústicas en diferente magnitud, iii) se estima un solo coeficiente de capturabilidad por zona, para asegurar que las estimaciones reflejen lo que ocurre en el ambiente y no sean dependientes de las capturas; iv) el error log-normal asumido como error de observación; y v) la complejidad, diseño, implementación y análisis tanto en tecnológica como de inferencia estadística de los cruceros acústicos.

Desde el punto de vista del manejo, la Ley General de Pesca y Acuicultura en Chile exige que todas las pesquerías establecidas alcancen o estén cerca del Rendimiento Máximo Sostenible (MRS), considerando las características biológicas de los recursos explotados. La estimación de biomasa del modelo en estudio fue menor que en el modelo tradicional (Figura 4.A, B, C), que evalúa la población bajo el supuesto de homogeneidad. El modelo homogéneo estima un nivel de captura mayor para alcanzar el MRS, mientras que el modelo espacial propuesto en este trabajo considera selectividades por zonas que permiten estimar puntos de referencias por zona (centro y sur). Queda en evidencia que la suma de las partes (zonas del modelo espacial) no es igual al total (modelo homogéneo), siendo las estimaciones con el modelo espacial más precautorias en comparación con el modelo tradicional (Tabla 5).

Las estrategias de explotación deben tener en cuenta la estructura espacial y además deben basarse en puntos de referencia para su gestión definidos localmente, para así coincidir con la heterogeneidad espacial del recurso. Al ignorar la estructura espacial se podría eventualmente conducir a: i) sesgos en la estimación de los parámetros poblacionales, ii) sesgos en la

estimación del estado de la población, iii) el desarrollo de objetivos de gestión inadecuados, iv) recomendar niveles inadecuados de captura, y v) el agotamiento de las poblaciones locales, todo lo cual podría acarrear mayores riesgos de agotamiento de las poblaciones (Ying et al., 2011, Ciannelli et al 2013, Yau et al., 2014, Kerr et al., 2014, Archambault et al., 2016). Sin embargo, el considerar la conectividad mediada por adultos en una población aumenta enormemente la complejidad de la dinámica de los modelos de estimación.

En este contexto este enfoque se sugiere útil para el manejo por asignación espacial de vedas y/o cuotas, existiendo diferencias espaciales que merecen tomarse en cuenta para modelar y obtener medidas de manejo que consideren las zonas. Sin embargo, se recomienda estudiar los índices de abundancia en términos de la contribución espacio-temporal, ya que si la variabilidad espacial es mayor que la temporal quiere decir que hay cambios en disponibilidad que no están siendo bien recogidos por los cruceros acústicos. Los cambios en capturabilidad podrían ser importantes para un recurso que presenta heterogeneidad espacial en la estructura, pero con suficiente capacidad de mezcla entre zonas.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Programa Basal CONICYT COPAS Sur-Austral. Durante el estudio, el primer autor fue apoyado por becas de posgrado de CONICYT y COPAS Sur Austral CONICYT PIA PFR31. Los autores agradecen al Instituto de Fomento Pesquero de Chile (IFOP) por la facilitación de datos de la pesquería de Anchoveta.

5. Referencias

Archambault, B., Le Pape, O., Baulier, L., Vermard, Y., Véron, M., Rivot, E., 2016. Adult-mediated connectivity affects inferences on population dynamics and stock assessment of nursery-dependent fish populations. *Fish. Res.* 187, 198-213.

Aranis, A., Gómez, A., Mora, S., Muñoz, G., Ossa, L., Cerna, F., Valero, C., López, A., Machuca, C., Muñoz, L., Vera, C., Valdebenito, V., Eisele, G., Ramírez, M., 2013. Informe Final, Convenio Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2012. Actividad 1: Seguimiento general de de peces y crustáceos. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 229 p + Anexos.

Alarcón, R., Aranís, A., Canales, M., Oyarzun, C., Bohm, G., Castillo, J., Leal, E., Zúñiga, M.J., Pedraza, M., 2013. Reporte Técnico N°1 del Comité Científico Técnico de Pesquerías de Pequeños Pelágicos (CCT-PP). Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, www.subpesca.cl.

Barrueto, C., 1993. Edad y crecimiento de la anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns, 1842) de Iquique y Talcahuano mediante análisis de otolitos. Seminario para optar al Título de Biólogo Marino Universidad de Concepción. 81 pp.

Branch, T.A., 2009. Differences in predicted catch composition between two widely used catch equation formulations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66(1), 126–132.

Beverton, R., Holt, S., 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations. *Fishery Invest.*, Ser. II, Vol. XIX. 533 pp.

Begg, G.A., Hare, J.A., Sheehan, D.D., 1999. The role of life history parameters as indicators of stock structure. *Fish. Res.* 43 (1–3), 141–163.

Booth, A.J., 2000. Incorporating the spatial component of fisheries data into stock assessment models. *ICES J. Mar. Sci.* 57 (4), 858–865.

Botsford, L.W., Brumbaugh, D.R., Grimes, C., Kellner, J.B., Largier, J., O'Farrell, M.R., Ralston, S., Soulanille, E., Wepestad, V., 2009. Connectivity, sustainability, and yield: bridging the gap between conventional fisheries management and marine protected areas. *Rev. Fish. Biol. Fisher.* 19, 69–95.

Bustos, C., Mauricio, F., Landaeta, M., Balbontín, F., 2008. Spawning and early nursery areas of anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 in fjords of southern Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 43(2), 381-389.

Canales, C., Company, J., Arana, P., 2016. Using a length-based stock assessment model to evaluate population structure hypotheses of nylon shrimp *Heterocarpus reedi* (Decapoda, Caridea) exploited off central Chile. *Fish. Res.* 183, 360-370.

Castro, L., Soto, S., Llanos, A., Pérez, I., Cubillos, L., Alarcón, R., Claramunt, G., Herrera, G., Parada, C., Escalona, E., Barrientos, P., 2015. Identification of spawning zones and early life stages of small pelagic fishes in inshore waters of the X and XI regions, year 2013. FIP 2013-17 Final Research Report (in Spanish). Fondo de Investigación Pesquera, Chile. 414 pp.

Castillo, J., Saavedra, A., Catasti, V., Leiva, F., Lang, C., Vargas, R., Reyes, H., Pizarro, M., Molina, E., Cerna, F., López, A., Núñez, A., Valenzuela, L., Silva, J., 2013. Evaluación hidroacústica reclutamiento anchoveta sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. Informe Final FIP 2012-12. Inst. De Fomento Pesquero. (Valparaíso, Chile). 307pp + Figuras y Tablas.

Ciannelli, L., Fisher, J., Skern-Mauritzen, M., Hunsicker, M., Hidalgo, M., Frank, K., Bailey, K., 2013. Theory, consequences and evidence of eroding population spatial structure in harvested marine fishes: a review. *Mar Ecol Prog Ser.* 480, 227-243.

Cope, J.M., Punt, A.E., 2011. Reconciling stock assessment and management scales under conditions of spatially varying catch histories. *Fish. Res.* 107, 22-38.

Cubillos, L., Alarcón, R., Bucarey, D., Canales, M., Sobarzo, P., Vilugrón, L., 1998. Evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur. *Informes Técnicos FIP, FIP-IT/ 96-10, 96-10, 223 pp.*

Cubillos, L., Arcos, D., Bucarey, D., Canales, M., 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile (37°S, 73°W): a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? *Aquat. Living Resour.* 14, 115–124.

Cubillos, L., Castro, L., Oyarzún, C., 2005. Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004, Informe Técnico Proyecto FIP-IT/2004-03, Instituto de Fomento Pesquero, Chile, 130pp.

Cubillos, L., Castro, L., Claramunt, G., Oyarzún, C., 2006. Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005, Informe Técnico Proyecto FIP-IT/2005-02. Instituto de Fomento Pesquero, Chile, 147pp.

Cubillos, L., Pedraza, M., Canales, M., Aranís, A., 2009. Dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común, zona centro-sur año 2006. Informe final Proyecto FIP/2006-13. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 141pp.

Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E., 2015. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 212pp.

Cuevas, M.J., Górski, K., Castro, L., Reid, M., Spatial structure of the anchoveta *Engraulis ringens* stock off the coast of central-southern Chile determined by otolith microchemistry. Fish. Res. En revisión.

Ferrada, S., Hernández, K., Montoya, R., Galleguillos, R., 2002. Estudio poblacional del recurso anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns 1842) (Clupeiformes, Engraulidae), mediante análisis de ADN. Gayana 66(2), 243-248.

Fournier, D. A., Skaug, H. J., Ancheta, J., Ianelli, J., Magnusson, A., Maunder, M. N., Nielsen, A., et al. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. Optim. Methods Softw. 27: 233-249.

Galleguillos, R., Chong, J., Oyarzún, C., Oliva, M., Roa, R., 1996. Unidades de stock en los recursos sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile. Informe Técnico Proyecto FIP/94-20. Fondo de Investigación Pesquera, Chile. 123pp.

Hernández, A., 1994. Variabilidad de caracteres morfométricos y merísticos de anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns (1842) y sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), y

su aplicación a la identificación de stocks. Seminario para optar al título de Biología Marina. Universidad de Concepción. 85 pp.

Hilborn, R., Walters, C.J., 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall, New York.

Kerr, L., Cadrin, S., Kovach, A., 2014. Consequences of a mismatch between biological and management units on our perception of Atlantic cod off New England. *ICES J Mar Sci.* 71, 1366–1381.

Lande, R., Engen, S., Saether, B.E., 1999. Spatial scale of population synchrony: environmental correlation versus dispersal and density regulation. *Am. Nat.* 154(3), 271–281.

Landaeta, M., Muñoz, M., Castro, L., 2009. Seasonal and short-term variability in the vertical distribution of ichthyoplankton in a stratified fjord of southern Chile. *Cienc. Tec. Mar* 32(2), 27-42.

Landaeta, M., Castro, L., 2006. Seasonal variability in the spatial patterns of ichthyoplanktonic assemblages from the fjord zone of austral Chile. *Cienc. Tec. Mar* 29(2), 107-127.

Niklitschek, E., Toledo, P., Hernández, E., Nelson, J., Soule, M., Herranz, C., Murillo, C., Valenzuela, X., 2009. Identificación y Evaluación hidroacústica de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X y XI regiones, año 2007. Informe Final Proyecto FIP/2007-05. Fondo Investigación Pesquera, Chile. 198 pp.

Pauly, D., Tsukayama, I., 1987. The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change. *ICLARM Studies and Reviews* 15, 351 pp.

Ralston, S., O'Farrell, M.R., 2008. Spatial variation in fishing intensity and its effect on yield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65, 588–599.

Seijo, J.C., Perez, E.P., Caddy, J.F., 2004. A simple approach for dealing with dynamics and uncertainty in fisheries with heterogeneous resource and effort distribution. *Mar. Freshw. Res.* 55 (3), 249–256.

Soto-Mendoza, S., Parada, C., Castro, L., Colas, F., Schneider, W., 2012. Modelling transport and survival of anchoveta eggs and yolk-sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. *Prog. Oceanogr.* 92(1), 178-191.

Serra, J.R., 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. In: Sharp, G., Csirke, J. (Eds.), *Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic fish Resources*. FAO Fisheries Report, vol. 291(2), pp. 255–284.

Valdivia, I., Chávez, A., Oliva, E., 2007. Metazoan parasites of *Engraulis ringens* as tools for stock discrimination along the Chilean coast. *J. Fish Biol.* 70, 1504-1511.

Waples, R.S., Gaggiotti, O.E., 2006. What is a population? An empirical evaluation of some genetic methods for identifying the number of gene pools and their degree of connectivity. *Mol. Ecol.* 15(6), 1419–1439.

Yau, A.J., Lenihan, H.S., Kendall, B.E., 2014. Fishery management priorities vary with self-recruitment in sedentary marine populations. *Ecol. Appl.* 24 (6), 1490–1504.

Ying, Y., Chen, Y., Lin, L., Gao, T., Quinn, T., 2011. Risks of ignoring fish population spatial structure in fisheries management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68, 2101–2120.

Zúñiga, M.J., Canales, C., 2014. Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables anchoveta zona centro-sur, año 2014. Cuarto Informe Proyecto 2.5. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 81 pp. + anexos.

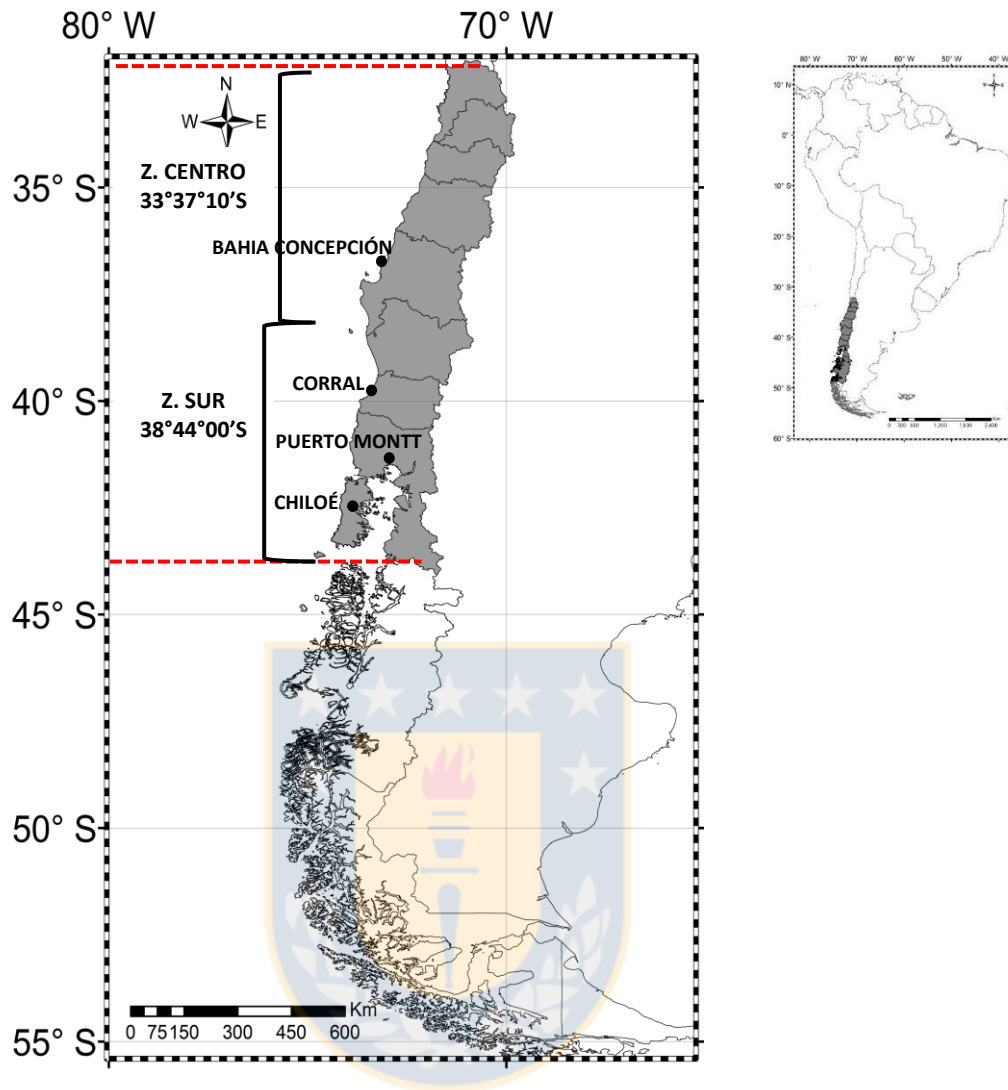


Figura 1: Unidad de Pesquería de *Engraulis ringens* centro sur (33°S - 44°S) y las subdivisiones zona centro y sur realizada en este estudio.

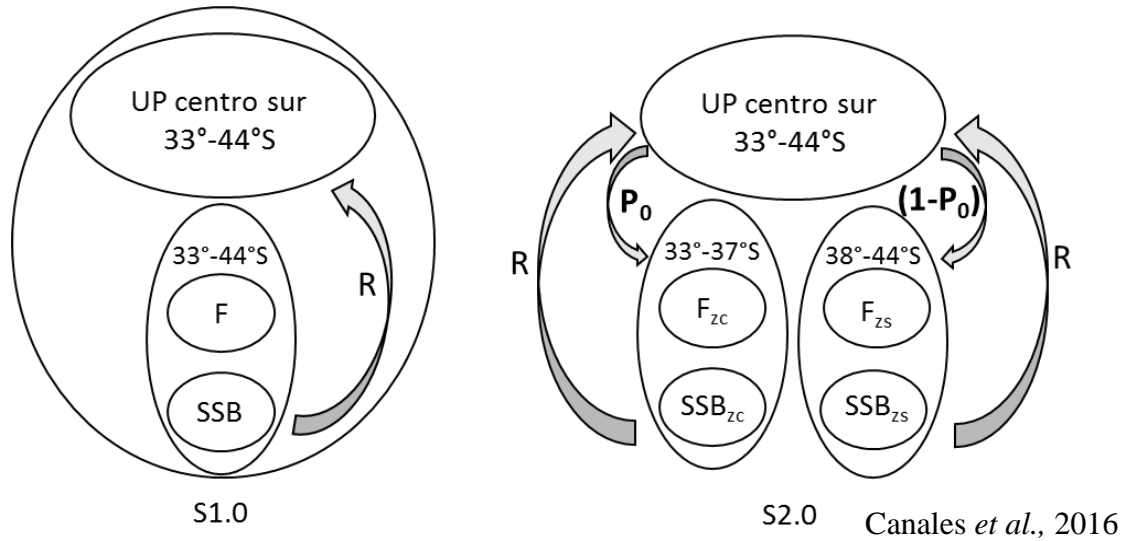


Figura 2: Esquema de las dos hipótesis de estructura poblacional de *Engraulis ringens* en la zona centro de Chile. SSB representa la biomasa reproductora de la población, *zc* y *zs* son subíndices que representan la zona centro y sur, *R* es el reclutamiento, *F* es la mortalidad por pesca zona específica y P_0 es el porcentaje asignación por zonas. El escenario S1.0 es el modelo tradicional que asume una distribución homogénea de la población y el escenario S2.0 es el modelo espacial, que asume una población con dos unidades discretas de desove que se mezclan por reclutamiento.

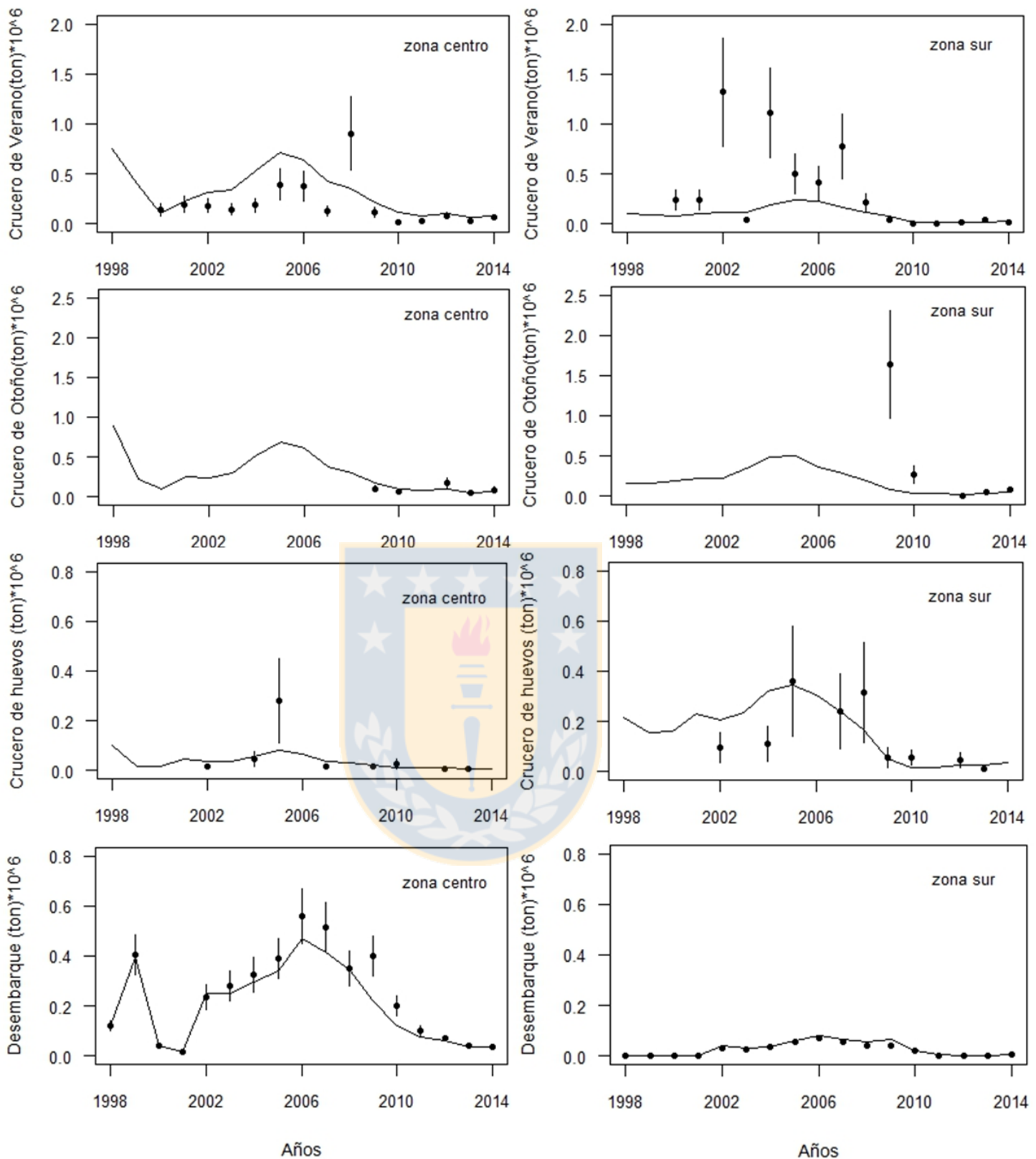


Figura 3: Ajuste del modelo espacial por zonas a los valores de biomazas de cruceros de verano, otoño, de huevos y a los desembarques en la zona centro (panel superior izquierdo) y zona sur (panel superior derecho). Los puntos representan la información y las líneas los valores esperados (modelo), las líneas verticales representan el intervalo de confianza del 95%.

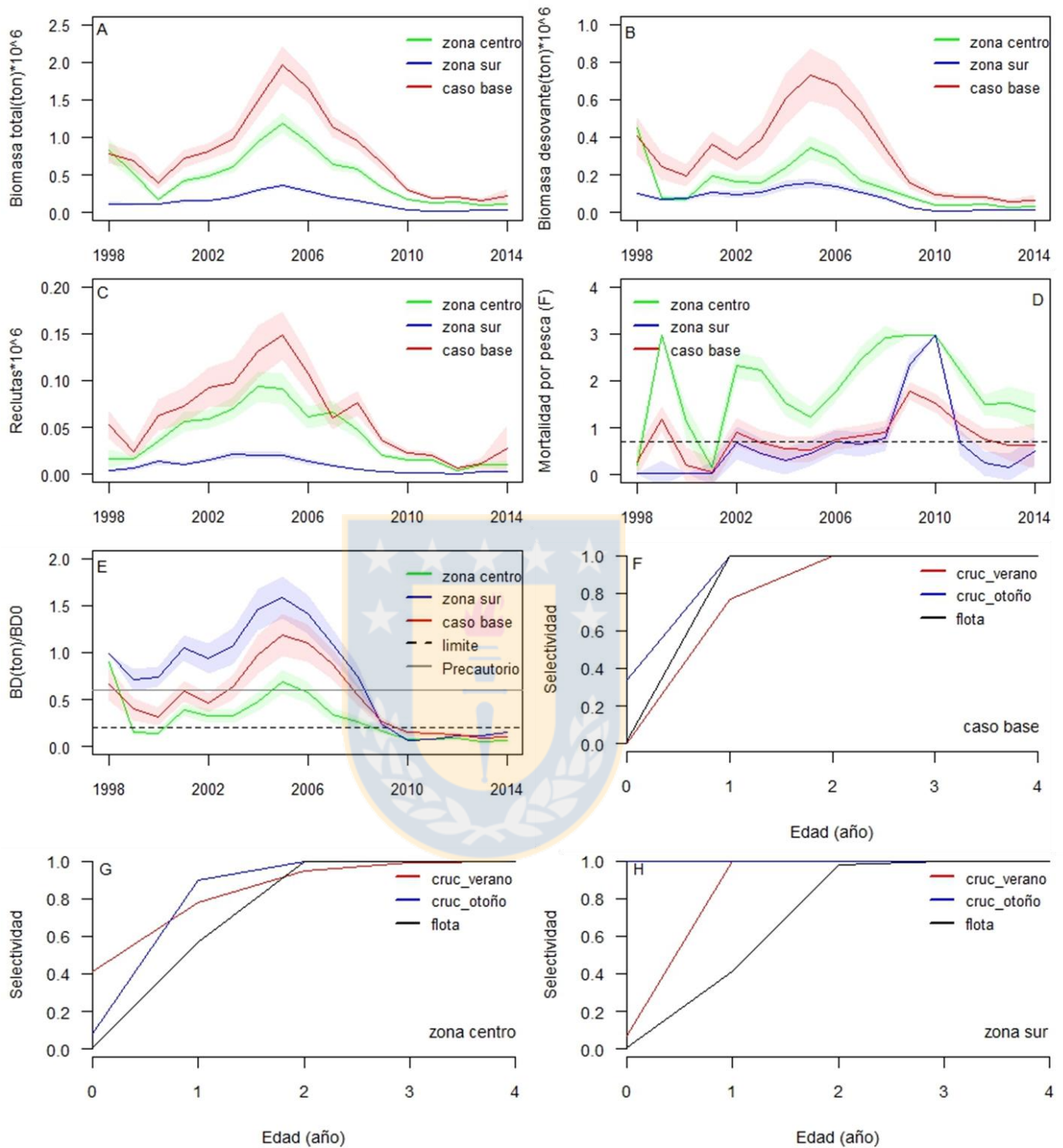


Figura 4: Biomasa total (A), Biomasa desovante (B), Reclutamientos (C), Mortalidad por pesca (D), Índice de Reducción de Biomasa desovante virginal (E), Selectividad caso base (F), Selectividad zona centro (G) y Selectividad zona sur (H) La zona sombreada corresponde al intervalo de confianza asintótico y la línea continua corresponde al valor del estimador central.

Tabla 1: Años de información disponible de *Engraulis ringens* por zona (centro y sur) utilizados para la evaluación de la población.

Información	Zona centro (33°- 37°S)	Zona Sur (38°- 44°S)
Capturas	1998-2014	1998-2014
Biomasa acústica verano (RECLAS)	2000-2014	2000-2014
Biomasa acústica otoño (PELACES)	2009-2010, 2012-2014	2009-2010, 2012-2014
Biomasa MPH	2002, 2004-2005, 2007, 2009- 2010, 2012-2013	2002, 2004-2005, 2007-2010, 2012- 2013
Composición edad capturas	2001-2013	2001-2013
Composición talla RECLAS	2000-2014	2000-2014
Composición talla PELACES	2009-2010, 2012-2014	2009-2010, 2012-2014
Peso medio a la edad	Matriz común para ambas zonas 1998-2014	
Peso inicial a la edad	Matriz común para ambas zonas 1998-2014	

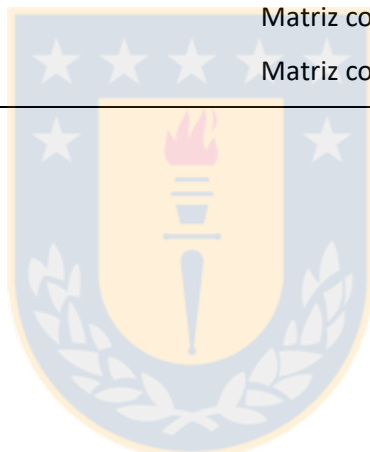


Tabla 2: Descripción y valores de las variables de índice y los parámetros estructurales utilizados en el modelo de estimación de *Engraulis ringens*.

Símbolo	Descripción	Valor
Variables de índice		
T	Intervalo de tiempo anual $T = 17$ (1998 - 2014)	$\{1, 2, \dots, T\}$
A	Clase de edad en años donde $A = 5$	$\{1, 2, \dots, A\}$
Z	Zonas, indica que el cálculo se realiza para cada zona	
zc	Zona centro (33°-37°S)	
zs	Zona sur (38°-44°S)	
c	Crucero (verano-invierno)	
F	Flota	
L	Talla	
Parámetros estructurales		
l_{∞}	Longitud asintótica (mm) ^a	19
k	Coefficiente de crecimiento (year ⁻¹) ^a	0.9
$w_{m,a}$	Matriz de peso medio a la edad	Observado
a_0	Longitud a la edad teórica 0 (year) ^a	7.2
δ_t	Vector de desvíos del reclutamiento	Estimado
σ_R^2	Coefficiente de variación del reclutamiento	0.6
h	Steepness h	0.75
R_0	Reclutamiento promedio	Estimado
ρ_a	Vector de desvíos de las condiciones iniciales	Estimado
P_0	Factor de asignación	Estimado
S_a	Sobrevivencia	Estimado
M	Mortalidad natural (year ⁻¹)	0.7
F_t	Tasa de mortalidad por pesca	Estimado
q	Capturabilidad de los cruceros hidroacústicos y del mph	Estimado
$\alpha_t - \beta_t$	Edad del 50% del reclutamiento- diferencia entre la edad al 95% y 50% de reclutamiento.	estimado
w_a	Peso a la edad	Observado
O_a	Ojiva de madurez sexual	Observado
q^c	Capturabilidad de los cruceros (verano y otoño)	Estimado
$q_{MPDH,z}$	Capturabilidad del mph para cada zona	Estimado
Δ^m	Fracción del año en la cual ocurre el desove	0.625
Δ^c	Fracción del año en la cual se realizan las evaluaciones directas	0.04-0.375
$\sigma_{i,z}^2$	Desviación estándar (cv) del índice de biomasa observado, según el crucero y la zona	Verano $zc, zs = 0.2$ Otoño $zc, zs = 0.2$ MPDH $zc, zs = 0.3$
σ_z^2	Desviación estándar (cv) de los desembarques por zona	$zc, zs = 0.1$
$P_{a,i}$	Clave talla edad	Estimada
$n^{f,c}$	Tamaño de muestra efectivo	Flota =80 c. verano =40 c. otoño =10
σ_q^2	Desviación estándar (cv) de los cruceros acústicos	c. verano= 0.01 c. otoño= 0.1
σ_p^2	Desviación estándar (cv) del factor de asignación	0.2
$F_{pbr,z}$	60%- 40% (mrs) -20%	$zc = 0.41-0.84-1.84$ $zs = 0.47-0.98-2.32$
$F_{pbr,CASOBASE}$	60%-40% (mrs) - 20%	0.5-1.04-2.58

Tabla 3: Ecuaciones usadas para describir el Modelo de estimación de anchoveta en la zona centro sur de Chile.

A.1 Historia de vida	
A.1.1 Crecimiento	$l_a = l_{\infty} * (1 - e^{(-k(a-a_0)})}$
A.2 Modelo de los procesos/ Dinámica de la población	
A.2.1 Relación stock-recluta	$\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1} \quad \beta = \frac{(1-h)(SSB_{0,zc}+SSB_{0,zs})}{5h-1}$
A.2.2 Reclutamiento	$R_{0a=0,t} = \frac{\alpha*(SSB_{t-1,zc}+SSB_{t-1,zs})}{\beta+(SSB_{t-1,zc}+SSB_{t-1,zs})}$
A.2.3 Dinámica de la abundancia	$N_{a,t,zc} \begin{cases} 1. P_0 * R_{0a=0,t} * e^{-\delta_{t,zc}} & \delta_{t,zc} \sim N(0, \sigma_R^2) & a = 0 \\ 2. N_{a-1,t-1,zc} * S_{a-1,t-1,zc} & & a = 1, \dots, A-1 \\ 3. N_{A-1,t-1,zc} * S_{A-1,t-1,zc} + N_{A,t-1,zc} & & a = A \end{cases}$ $N_{a,t,zs} \begin{cases} 1. (1 - P_0) * R_{0a=0,t} * e^{-\delta_{t,zs}} & \delta_{t,zs} \sim N(0, \sigma_R^2) & a = 0 \\ 2. N_{a-1,t-1,zs} * S_{a-1,t-1,zs} & & a = 1, \dots, A-1 \\ 3. N_{A-1,t-1,zs} * S_{A-1,t-1,zs} + N_{A,t-1,zs} & & a = A \end{cases}$ $0 \leq P_0 \leq 1$
A.2.4 Condición inicial de la abundancia	$N_{a>0,t=1,z} = N_{0,a>0,z} * e^{-\rho_{a,z}} \quad \rho_{a,z} \sim N(0, \sigma_R^2)$
A.2.5 Condición inicial en equilibrio	$N_{a,1,z} = N_{a=0,t,z} * e^{-M(a-1)}$ $N_{A,1,z} = N_{A-1,1,z} / (1 - e^{-M})$
A.2.6 Supervivencia	$S_{a,t,z} = e^{(-Z_{a,t,z})}$
A.2.7 Mortalidad total	$Z_{a-1,t-1,z} = M + F_{t,z} * \psi_t$
A.2.8 Selectividad logística	$\psi_{a,f,z} = (1 + e^{[-\ln 19 \frac{(a-a_0)}{\beta_t}]})^{-1}$
A.3 Modelo de las observaciones dependientes e independientes de la pesquería	
A.3.1 Captura estimada a la edad y año	$\hat{C}_{a,t,z} = \frac{F_{a,t,z}}{Z_{a,t,z}} N_{a,t,z} (1 - S_{a,t,z})$
A.3.2 Desembarque por año	$\hat{C}_{t,z} = \sum_{a=1}^A C_{a,t,z} W_{m,a,t}$
A.3.3 Biomasa total	$BT_{t,z} = \sum_a N_{a,t,z} W_{a,t}$
A.3.4 Biomasa desovante	$BD_{t,z} = \sum_{a=1}^A N_{a,t,z} e^{-\Delta^t Z_{a,t,z}} O_a W_{m,a,t}$
A.3.5 Bioma acústica	$\hat{I}_{t,z}^c = q^c \sum_a N_{a,t,z} S_{a,z}^c e^{-\Delta^c Z_{a,t,z}} W_{m,a,t}$
A.3.6 Biomasa MPH	$\hat{I}^{mph}_{t,z} = q_{MPDH,z} \sum_a N_{a,t,z} O_a e^{-\Delta^{mp} Z_{a,t,z}} W_{m,a,t}$
A.3.7 Proporción de la captura cruceros /abundancia a la talla y año	$\hat{P}_{l,t,z}^c = \frac{N_{a,t,z} \psi_{a,z}^c e^{-\Delta^c Z_{a,t,z}} * P_{a,l}}{\sum_a N_{a,t,z} \psi_a^c e^{-\Delta^c Z_{a,t,z}}}$
A.3.8 Proporción de la captura flota/abundancia a la edad y año	$\hat{P}_{a,t,z}^f = \frac{\hat{C}_{a,t,z}}{\sum_a \hat{C}_{a,t,z}}$
A.4 Componentes de verosimilitud	
A.4.1 Índices de abundancia	$-l(I_{c,z}) = \frac{1}{2 \sigma_{I_{c,z}}^2} \sum_t \left(\frac{\ln \hat{I}_{t,z}^c}{\ln I_{t,z}^c} \right)^2 + cte$
A.4.2 Desembarques	$-l(C_z) = \frac{1}{2 \sigma_z^2} \sum_t \left(\frac{\ln \hat{C}_{t,z}}{\ln C_{t,z}} \right)^2 + cte$
A.4.3 Proporción de la	$-l(p_z) = n^{f,c} p_{a,l,t,z}^{f,c} \ln \hat{p}_{a,l,t,z}^{f,c}$

captura/a la edad para la flota
y a la talla para los cruceros

A.5 Penalizaciones	
A.5.1 Desvíos del reclutamiento promedio	$-l(R) = \frac{1}{2\sigma_R^2} \sum_t (\delta_{t,zc}^2 + \delta_{t,zs}^2) \quad \delta_{t,z} \sim N(0, \sigma_R^2)$
A.5.2 Capturabilidad de cruceros	$-l(q^c) = \frac{1}{2\sigma_q^2} (\log q^c)^2$
A.5.3 Proporción de mescla	$-l(P_0) = \frac{1}{\sigma_P^2} \sum (\delta_{t,zc} - \delta_{t,zs})^2$
A.6 Función objetivo	
$-l(I_{c,z}) - l(C_z) - l(p) - l(R) - l(q^c) - l(P_0)$	
A.7 Estatus del recurso	
A.7.2 Biomasa desovante por recluta	$SPR_z = \sum_{a=0}^{a=A} N_{a,z} * e^{(-\Delta^m * z_{a,z})} * O_a * w_a$
A.7.3 RPR equilibrio	$RPR_{eq_t} = \frac{BD_t}{BD_0}$

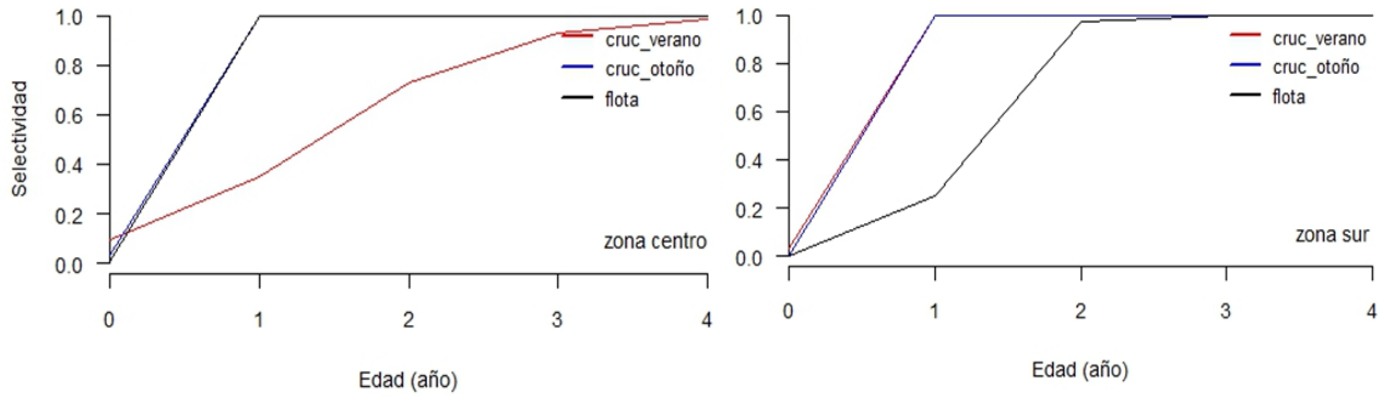


Tabla 4: Estimaciones de los parámetros clave del modelo (escala logarítmica), componentes de probabilidad marginales para cada escenario. El error estándar de los parámetros se muestra entre paréntesis.

Parámetro	fuente	nombre	stock	Hipótesis (escenario)				
				Espacial (heterogéneo)	stock	Tradicional (homogéneo)		
Selectividad	Flota	α_t	centro	0.95 (0.03)	único	0.04 (28)		
		$\log(\beta_t)$		-0.58 (0.04)		-3.53 (634)		
		α_t	sur	1.08 (0.03)				
		$\log(\beta_t)$		-0.39 (0.05)				
		Reclas	α_t	centro		0.23 (0.12)	único	0.97 (24)
			$\log(\beta_t)$			0.60 (0.00)	-2.54 (734)	
	α_t		sur	0.04 (26)				
	$\log(\beta_t)$			-3.19 (721)				
	Pelaces		α_t	centro	0.53 (0.19)	único	0.03 (14)	
			$\log(\beta_t)$		-0.44 (0.35)	-2.01 (446)		
		α_t	sur	0.38 (556)				
		$\log(\beta_t)$		-2.97 (1491)				
Reclutamiento virginal		$\log(R_0)$		10.70 (0.04)		10.91 (0.04)		
		Factor de asignación	$\log(P_0)$		-0.18 (0.01)			
	Capturabilidad		Reclas	centro	-0.01 (0.01)	único	-0.003 (0.01)	
sur								
Pelaces		centro	0.38 (0.06)	único	0.25 (0.08)			
	sur							
MPDH	$\log(q^{MPDH})$	centro	-1.48 (0.12)	único	-0.55 (0.11)			
		sur	0.79 (0.11)					
Gradiente máximo				1.2e-04		9.9e-05		

Tabla 5: Proyección de las capturas, la biomasa desovante y el índice de reducción de la biomasa desovante virginal para el año 2015, 2019, y la razón de desempeño de la biomasa desovante proyectada al año 2019, mediante distintas estrategias de explotación, para el modelo homogéneo, la adicción de las zonas propuestas en este estudio y las dos zonas por separado.

Hipótesis (escenario)	Estrategias explotación	valor	Captura 2015	BD 2015	RPR 2015	RPR 2019	BD 2019/2014
Tradicional (Homogéneo)	F _{60%MRS}	0.50	65.585	140.004	0.22	0.63	5
	F _{40%}	1.04	111.719	110.254	0.17	0.36	3
	F _{20%limite}	2.58	175.227	64.258	0.10	0.14	1
Espacial (heterogéneo)	F _{60%MRS}		23.645	96.504	0.16	0.68	8
	F _{40%}		42.685	84.953	0.14	0.47	6
	F _{20%limite}		72.622	65.227	0.10	0.26	3
Zona centro	F _{60%MRS}	0.41	17.164	74.513	0.14	0.68	10
	F _{40%}	0.84	31.071	66.137	0.13	0.46	7
	F _{20%limite}	1.87	52.848	51.927	0.10	0.26	4
Zona sur	F _{60%MRS}	0.47	6.481	21.991	0.22	0.68	4
	F _{40%}	0.98	11.614	18.816	0.18	0.47	3
	F _{20%limite}	2.32	19.774	13.300	0.13	0.27	2



Anexo

Figura 1: Selectividad del crucero de verano, otoño y de la flota para la zona centro y sur, estimada con un valor de $M=1.2 \text{ año}^{-1}$.



DISCUSION GENERAL

El ignorar o especificar mal la estructura espacial de las poblaciones puede conducir a visiones sesgadas de su estado, y por lo tanto, a un asesoramiento de gestión engañoso dando origen a la sobreexplotación y agotamiento de los recursos (Booth, 2000; Ying *et al.*, 2011; Guan *et al.*, 2013).

En el presente estudio se identificó la estructura espacial de anchoveta en la unidad de pesquería ubicada en la zona centro sur de Chile, mediante microquímica de otolitos, y las implicancias que esta estructura espacial tiene para el manejo, mediante un modelo de estimación estructurado espacialmente.

En el primer capítulo se determinó que la composición elemental en los núcleos (core) y de los otolitos completos (core to edge), difirió significativamente entre la zona centro (Talcahuano) y la zona nor-Patagónica (Calbuco, mar interior de Chiloé).

Las diferencias más importantes de la composición elemental en los núcleos entre las localidades, se originaron por las altas concentraciones de magnesio, zinc y plomo en la zona centro en comparación con la zona nor-Patagónica. El magnesio en algunas especies se suele asociar positivamente con la temperatura del agua del mar, lo que concuerda con el gradiente latitudinal de temperatura existente a lo largo de la zona centro sur de Chile, con aguas más cálidas en el centro y más frías hacia el sur (Schuchert *et al.*, 2010; Ferguson *et al.*, 2011; Cubillos *et al.*, 2014; Lillo *et al.*, 2014). La mayor concentración de plomo y zinc registrada en los otolitos de la zona centro estaría probablemente asociada a la alta concentración registrada en esta zona, debido a los complejos industriales de actividad siderúrgica, petroquímica y pesquera ubicada en su entorno (Ahumada, 1995; Carrera *et al.*, 1993).

La concentración química de los bordes (edges) en los otolitos, a diferencia de los núcleos, no fue significativamente distintas entre las localidades en estudio, si se considera que las diferencias químicas entre grupos de peces dependen de (1) que los peces habiten en entornos que sean suficientemente diferentes en sus características físico-químicas, (2) la extensión temporal que pasan en un ambiente antes de ser capturados y, (3) de la selección de los elementos microquímicos adecuados (Elsdon *et al.*, 2008). La composición química homogénea entre los bordes de ambas localidades se pudo deber a que ambos hábitats sean altamente heterogéneo, en el cual los peces más grandes puedan desplazarse entre zonas más pequeñas de diferentes características químicas (costa vs océano) y/o que los individuos más

grandes puedan efectivamente moverse latitudinalmente entre zonas de desove y mezclarse con los presentes en cada una de las localidades.

En las zonas de estudio la concentración de metales pesados en el sector costero es varias veces mayor que en aguas oceánicas, producto del aporte que produce el continente, aporte que se incrementa en zonas urbanas o en áreas de concentración industrial (Luoma, 1990; Giordano *et al.*, 1992; French, 1993). Estas mayores concentraciones costeras son las que permiten inferir, a través de los núcleos, la presencia de dos zonas discretas de desove, concordando con los resultados de diversos cruceros de investigación realizados en septiembre-octubre 2009, 2010 y 2012 (Cubillos *et al.*, 2010, 2011, 2013) los cuales han verificado que la expresión espacial del desove es costera y no supera las 15 millas náuticas. Sin embargo, la extensión de la zona de pesca puede abarcar áreas más alejadas de la costa lo que indicaría que los individuos más grandes, que poseen cuerpos hidrodinámicos adaptados a la vida natatoria permanente y que habitualmente forman cardúmenes, podrían alejarse de la zona costera en donde nacieron, hasta las 30- 40 millas náuticas y presentar migraciones longitudinales (costa-océano) en periodos cortos de tiempo, homogenizando las diferencias microquímicas. Alternativamente, debido a su mayor poder de natación, los individuos de mayor talla podrían también moverse latitudinalmente y eventualmente, acceder a las demás zonas de desove, mezclándose con los residentes potencialmente originados y desarrollados en una zona distinta a la de origen de aquellos que migraron.

En resumen, los resultados obtenidos a partir de los análisis microquímicos en los otolitos (completo, borde y centro) sugieren la existencia de dos zonas discretas de desove, una en la zona centro y otra en la zona nor-Patagónica lo que concuerda con la asincronía espacial y estructural en el proceso reproductivo descrita por Cubillos *et al.* (2009) entre ambas localidades. Sin embargo, debido al alto grado de mezcla que existiría en los individuos de mayor talla, luego del reclutamiento no se pueden considerar la pesquería del mar interior/exterior de Chiloé como una unidad de pesquería independiente.

En el segundo capítulo, basándose en los resultados microquímicos se implementó un modelo de estimación de poblacional con dos zonas de desove discretas (zona centro y zona sur) que se mezclan por reclutamiento.

Los resultados mostraron que los reclutamientos tendrían una asignación espacial alta para la zona centro con un 84% siendo el complemento (16%) atribuible a la zona sur, lo que concuerda con el aumento gradual de la longitud media de anchoveta de norte a sur, reflejado

en los cruceros acústicos, y se reflejaría en mayores agregaciones de reclutas al norte, mientras que al sur se encontrarían las principales zonas de desove y alimentación de adultos, focalizándose principalmente entre Lebu $37^{\circ}33'S$ y los $39^{\circ}10'S$, siendo la IX región un área virtual de refugio debido a la reducción de la actividad pesquera (Cubillos *et al.*, 2001; Castillo *et al.*, 2013).

Al comparar el escenario de sobreexplotación entre zonas, la zona sur además de tener menor abundancia estaría sujeta a un menor esfuerzo de pesca, lo que probablemente se asocia a la inaccesibilidad de las flotas artesanales de las regiones VIII- XIV y la prohibición existente a la flota industrial a pescar a menos de las 5 millas náuticas de la costa (Castillo *et al.*, 2013).

Esto sugiere que pueden haber diferencias en la composición de tallas de las capturas entre las zonas, lo que se evidencia en las gráficas de selectividad, en donde en la zona centro los peces de edad 1 son un 20% más vulnerados que en la zona sur, a diferencia del modelo homogéneo que al trabajar con una única selectividad con captura continua durante todo el año desconoce esta información, estimando que en toda la unidad de pesquera el reclutamiento es completo a la edad de 1 año.

El modelo espacial se ajustó a la tendencia general que presentan las estimaciones de los cruceros (índices), pero hubo una serie de cruceros para los cuales las estimaciones cayeron fuera del intervalo de confianza del 95% de la observación del crucero. Esto no es ideal, sobre todo para una especie de corta vida, para la cual la evaluación se utiliza para proporcionar la base de asesoramiento de gestión a corto plazo. Sin embargo, hay que considerar que los modelos de evaluación de stock son una abstracción de la realidad por lo que siguen siendo necesarias suposiciones simplificadoras, dada la limitación de la disponibilidad de datos y la incertidumbre asociada a la comprensión de la dinámica de las poblaciones (Guan *et al.*, 2013)

La Ley General de Pesca y Acuicultura en Chile exige que todas las pesquerías establecidas alcancen o estén cerca del Rendimiento Máximo Sostenible (MRS), considerando las características biológicas de los recursos explotados. La estimación de biomasa del modelo en estudio fue menor que en el modelo tradicional, que evalúa la población bajo el supuesto de homogeneidad. El modelo homogéneo estima un nivel de captura mayor para alcanzar el MRS, mientras que el modelo espacial propuesto en este trabajo considera selectividades por zonas que permiten estimar puntos de referencias por zona (centro y sur). Queda en evidencia que la suma de las partes (zonas del modelo espacial) no es igual al total (modelo

homogéneo), siendo bastante más precautorias las estrategias de explotación que se desprenden del modelo espacial propuesto en este trabajo.

El enfoque empleado en este estudio se sugiere útil para el manejo por asignación espacial de vedas y/o cuotas, existiendo diferencias espaciales que merecen tomarse en cuenta para modelar y obtener medidas de manejo que consideren las zonas. Sin embargo, el considerar la conectividad mediada por adultos en una población aumenta enormemente la complejidad de la dinámica de los modelos de estimación. Al respecto se recomienda estudiar los índices de abundancia en términos de contribución espacio temporal, ya que si la variabilidad espacial es mayor que la temporal quiere decir que hay cambios en disponibilidad que no están siendo bien recogidos por los cruceros acústicos.



BIBLIOGRAFÍA

Ahumada, R., 1995. Bahías: Áreas de uso múltiple un enfoque holístico del problema de contaminación. Cienc. Tecnol. Mar, CONA. Número Especial, 59-68.

Alheit, J., Ñiquen. M., 2004. Regime shift in the Humboldt Current ecosystem. Prog. Oceanogr. 60, 201-222.

Aldanondo, N., Cotano, U., Tiepolo, M., Boyra, G., Irigoien. X., 2010. Growth and movement patterns of early juvenile European anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Bay of Biscay based on otolith microstructure and chemistry. Fish. Oceanogr. 19:3,196-208.

Archambault, B., Le Pape, O., Baulier, L., Vermard, Y., Véron, M., Rivot, E., 2016. Adult-mediated connectivity affects inferences on population dynamics and stock assessment of nursery-dependent fish populations. Fish. Res. 187, 198-213.

Aranis, A., Gómez, A., Mora, S., Muñoz, G., Ossa, L., Cerna, F., Valero, C., López, A., Machuca, C., Muñoz, L., Vera, C., Valdebenito, V., Eisele, G., Ramírez, M., 2013. Informe Final, Convenio Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2012. Actividad 1: Seguimiento general de de peces y crustáceos. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 229 p + Anexos.

Arcos, D., Núñez, S., Acuña, A., 1996. Variabilidad de pequeña escala en la zona nerítica del sistema de surgencia de Talcahuano (Chile Central): Identificación y dinámica de áreas de retención larval. Gayana Oceanol. 4(1), 21-58.

Ashford, J., Jones, C., Hofmann, E., Everson, I., Moreno, C., Duhamel, G., Williams. R., 2005. Can Otolith elemental signatures record the capture site of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*), a fully marine fish in the Southern Ocean?. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 62, 2832-2840.

Avigliano, E., Vanina, A., 2016. A Review of the Application of Otolith Microchemistry Toward the Study of Latin American Fishes. *Review in Fisheries Science & Aquaculture*, 24:4, 369-384.

Barrueto, C., 1993. Edad y crecimiento de la anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns, 1842) de Iquique y Talcahuano mediante análisis de otolitos. Seminario para optar al Título de Biólogo Marino Universidad de Concepción. 81 pp.

Bath, G., Thorrold, S., Jones, C., Campana, S., McLaren, J., Lam, J., 2000. Strontium and barium uptake in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 1705–1714.

Blair, J., Hicks, B., 2012. Otolith microchemistry of koi carp in the Waikato region, New Zealand: a tool for identifying recruitment locations? *Inland Waters* 2(3), 109–118.

Begg, G.A., Hare, J.A., Sheehan, D.D., 1999. The role of life history parameters as indicators of stock structure. *Fish. Res.* 43 (1–3), 141–163.

Booth, A.J., 2000. Incorporating the spatial component of fisheries data into stock assessment models. *ICES J. Mar. Sci.* 57 (4), 858–865.

Botsford, L.W., Brumbaugh, D.R., Grimes, C., Kellner, J.B., Largier, J., O'Farrell, M.R., Ralston, S., Soulanille, E., Wepestad, V., 2009. Connectivity, sustainability, and yield: bridging the gap between conventional fisheries management and marine protected areas. *Rev. Fish. Biol. Fisher.* 19, 69–95.

Cadrin, S., Friedland, K., Waldman, J., 2005. *Stock Identification Methods: Applications in Fishery Science*. Elsevier Academic Press, London. 719pp.

Campana, S., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 188, 263-297.

Castro, L., Soto, S., Llanos, A., Pérez, I., Cubillos, L., Alarcón, R., Claramunt, G., Herrera, G., Parada, C., Escalona, E., Barrientos, P., 2015. Identification of spawning zones and early life stages of small pelagic fishes in inshore waters of the X and XI regions, year 2013. FIP 2013-17 Final Research Report (in Spanish). Fondo de Investigación Pesquera, Chile. 414 pp.

Cubillos, L., Arcos, D., Bucarey, D., Canales, M., 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile (37°S, 73°W): a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? *Aquat. Living Resour.* 14, 115–124.

Carrera, M., Rodríguez, V., Ahumada, R., Valenta, P., 1993. Metales trazas en la columna de agua y sedimentos blandos en Bahía de Concepción, Chile. Determinación mediante voltametría de redisolución. *Rev. Biol. Mar.*, 28 (1), 151 – 163.

Castillo, J., Saavedra, A., Catasti, V., Leiva, F., Lang, C., Vargas, R., Reyes, H., Pizarro, M., Molina, E., Cerna, F., López, A., Núñez, A., Valenzuela, L., Silva, J., 2013. Evaluación hidroacústica reclutamiento anchoveta sardina común entre la V y X Regiones, año 2013.

Cubillos, L., Arcos, D., Bucarey, D., Canales, M., 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile (37°S, 73°W): a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? *Aquat. Living Resour.* 14, 115–124.

Cubillos, L., Castro, L., Oyarzún, C., 2005. Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004, Informe Técnico Proyecto FIP-IT/2004-03, Instituto de Fomento Pesquero, Chile.130pp.

Cubillos, L., Castro, L., Claramunt G., Oyarzún C., 2006. Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005, Informe Técnico Proyecto FIP-IT/2005-02. Instituto de Fomento Pesquero, Chile.147pp.

Cubillos, L., Pedraza, M., Canales, M., Aranís, A., 2009. Dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común, zona centro-sur año 2006. Informe final Proyecto FIP/2006-13. Instituto de Fomento Pesquero, Chile.141pp.

Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., 2011. Evaluación del Stock Desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Región, año 2010. Informe Final Proyecto FIP/2010-02. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 125pp.

Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E., 2013. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2012. Informe Final Proyecto FIP/2012-09. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 151pp.

Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E., 2015. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 212pp.

Chang, M., Geffen. A., 2013. Taxonomic and geographic influences on fish otolith microchemistry. *Fish Fish.* 14, 458-492.

Elsdon. T., Wells, B., Campana, S., Gillanders, B., Jones, C., Limburg, K., Secor, D., Thorrold, S., Walther. B., 2008. Otolith Chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: Hypotheses, Assumptions, Limitations and inferences. *Oceanog. Mar. Biol.: An Annual Review*, 46, 297-330.

Ferrada, S., Hernández, K., Montoya, R., Galleguillos. R., 2002. Estudio poblacional del recurso anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns 1842) (Clupeiformes, Engraulidae), mediante análisis de ADN. *Gayana*, 66(2), 243-248.

Ferguson, G., Warda, T., Gillanders. B., 2011. Otolith shape and elemental composition: Complementary tools for stock discrimination of mulloway (*Argyrosomus japonicus*) in southern Australia. *Fish. Res.* 110, 17-83.

French, P., 1993. Post-industrial pollutant levels in contemporary Sverm estuary intertidal sediments compared to pre-industrial levels. *Mar. Pollut. Bull.* 26, 30-35.

Galleguillos, R., Chong, J., Oyarzún, C., Oliva, M., Roa, R., 1996. Unidades de stock en los recursos sardina común y anchoveta de la zona centro-sur de Chile. Informe Técnico Proyecto FIP/94-20. Fondo de Investigación Pesquera, Chile. 123pp.

Giordano, P., Musmeci, L., Ciaralli, P., Vernillo, J., Chirico, N., Piccioni, A., Costatini, S., 1992. Total content and sequential extractions of Hg, Cd and Pb in coastal sediments. Mar. Pollut. Bull. 40, 1042-1050.

Goethel, D.R., Legault, C.M., Cadrin, S.X., 2015. Testing the performance of a spatially explicit tag-integrated stock assessment model of yellow tail flounder (*Limanda ferruginea*) through simulation analysis. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 72,582–601.

Guan, W., Cao, J., Chen, Y., Cieri, M., 2013. Impacts of population and spatial structures on fishery stock assessment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 70, 1178–1189.

Guidetti, P., Petrillo, M., Benedetto, G., Albertelli, G., 2012. The use of otolith microchemistry to investigate spawning patterns of European anchovy: A case study in the eastern Ligurian Sea (NW Mediterranean). Fish. Res. 139, 1-4.

Hernández, A., 1994. Variabilidad de caracteres morfométricos y merísticos de anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns (1842) y sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), y su aplicación a la identificación de stocks. Seminario para optar al título de Biología Marina. Universidad de Concepción. 85 pp.

Hicks, A., Closs, G., Swearer, S., 2010. Otolith microchemistry of two amphidromous galaxiids across an experimental salinity gradient: a multi-element approach for tracking diadromous migrations. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 394, 86–97.

Kerr, L., Cadrin, S., Kovach, A., 2014. Consequences of a mismatch between biological and management units on our perception of Atlantic cod off New England. ICES J Mar Sci. 71, 1366–1381.

Lande, R., Engen, S., Saether, B.E., 1999. Spatial scale of population synchrony: environmental correlation versus dispersal and density regulation. *Am. Nat.* 154 (3), 271–281.

Landaeta M., M.I. Muñoz & L.R. Castro. 2009. Seasonal and short-term variability in the vertical distribution of ichthyoplankton in a stratified fjord of southern Chile. *Cienc. Tec. Mar* 32(2), 27-42.

Landaeta M.F. & L.R. Castro. 2006. Seasonal variability in the spatial patterns of ichthyoplanktonic assemblages from the fjord zone of austral Chile. *Cienc. Tec. Mar* 29(2), 107-127.

Lillo, S., Lang, C., Molina, E., Cerna, F., López, A., Castro, L., Cubillos, L., Legua, J., 2015. Evaluación hidroacústica de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X y XI Regiones, año 2014. Informe Final Proyecto Convenio desempeño 2014. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 161pp.

Luoma, S., 1990. Processes affecting metal concentrations in estuarine and coastal sediments. In: *Heavy Metals in the Marine Environment*. Eds. R. Furnes & P. Rainbow. CRC Press. Inc New York. 225p.

Morais, P., Babaluk, J., Correia, A., Chícharo, M., Campbell, J., Chícharo, L., 2010. Diversity of anchovy migration patterns in a European temperate estuary and in its adjacent coastal area: Implications for fishery management. *J. of Sea Res.* 64,295-303.

Niklitschek, E., Toledo, P., Hernández, E., Nelson, J., Soule, M., Herranz, C., Murillo, C., Valenzuela, X., 2009. Identificación y Evaluación hidroacústica de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X y XI regiones, año 2007. Informe Final Proyecto FIP/2007-05. Fondo Investigación Pesquera, Chile. 198 pp.

Pauly, D., Tsukayama, I., 1987. The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change. *ICLARM Studies and Reviews*, 15, 351 pp.

Ralston, S., O'Farrell, M.R., 2008. Spatial variation in fishing intensity and its effect on yield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65, 588–599.

Rooker, J., Secor, D., Zdanowicz, V., De Metro, G., Orsi, L., 2003. Identification of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) stocks from putative nurseries using otolith chemistry. *Fish. Oceanogr.* 12(2), 75-84.

Serra, J.R., 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. In: Sharp, G., Csirke, J. (Eds.), *Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic fish Resources*. FAO Fisheries Report, vol. 291, no. 2, pp. 255–284.

Sinclair, M., 1988. *Marine populations: an essay on population regulation and speciation*. Washington Sea Grant Program, Seattle, Washington. 252 pp.

Sinclair, M. M., Smith, T. D., 2002. The notion that fish species form stocks. *ICES Marine Science Symposium* 215, 297–304.

Soto-Mendoza, S., C. Parada, L. Castro, F. Colas & W. Schneider. 2012. Modelling transport and survival of anchoveta eggs and yolk-sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. *Prog. Oceanogr.* 92(1), 178-191.

Schuchert, P., Alexander, I., Arkhipkin, E., Koenig, A., 2010. Traveling around Cape Horn: Otolith chemistry reveals a mixed stock of Patagonian hoki with separate Atlantic and Pacific spawning grounds. *Fish. Res.* 102, 80-86.

Thorrold, S., Zacherl, C., Levin, L., 2007. Population Connectivity and Larval Dispersal, Using Geochemical Signatures in Calcified Structures. *Oceanography*, 20(3), 80-89.

Valdivia, I., Chávez, A., Oliva, E., 2007. Metazoan parasites of *Engraulis ringens* as tools for stock discrimination along the Chilean coast. *J. Fish Biol.* 70, 1504-1511.

Waples, R.S., Gaggiotti, O.E., 2006. What is a population? An empirical evaluation of some genetic methods for identifying the number of gene pools and their degree of connectivity. *Mol. Ecol.* 15 (6), 1419–1439.

Yau, A.J., Lenihan, H.S., Kendall, B.E., 2014. Fishery management priorities vary with self-recruitment in sedentary marine populations. *Ecol. Appl.* 24 (6), 1490–1504.

Ying, Y., Chen, Y., Lin, L., Gao, T., Quinn, T., 2011. Risks of ignoring fish population spatial structure in fisheries management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68, 2101–2120.

Zúñiga, MJ., Canales, C., 2014. Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables anchoveta zona centro-sur, año 2014. Cuarto Informe Proyecto 2.5. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 81 pp. + anexos.

