



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

**Composición dietaria de *Sprattus fuegensis* y
determinación del nivel trófico mediante isótopos estables
de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en la zona sur austral.**

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

SANDRA ORIANA MONTECINOS GARRIDO
CONCEPCIÓN, CHILE
2015

Profesor Guía: Dr. 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

Comisión Evaluadora



Dr. Luis Cubillos Santander
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

Dr. Sergio Neira Alarcón
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

Dr. Humberto González Estay
Instituto de Biología Marina
Universidad Austral de Chile, Valdivia

Director de Programa

Dr. Leonardo Castro Cifuentes
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

A Dios y a mi Familia



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que contribuyeron en el desarrollo de esta tesis, especialmente al Dr. Leonardo Castro Cifuentes, quien a pesar de todas las cosas que demandan su tiempo, me apoyó fielmente desde mis estudios de pregrado hasta el término de esta tesis de postgrado. Le doy infinitas gracias por todo su apoyo, comprensión, dedicación, disposición y paciencia que me ha brindado todo este tiempo y por su incondicional confianza. Pienso que personas así merecen ser reconocidas en vida.

Agradezco también Carolina Alarcón y a Erika Meerhoff por su tiempo y disposición en guiarme a analizar mis datos, a integrantes del LOPEL por su colaboración en forma indirecta o directa en la elaboración de este Proyecto, en especial a Aldo Barba por su ayuda en los análisis de contenidos gástricos. A Ana María Jara por la identificación de fitoplancton, a Germán Vásquez por las muestras colectadas y a todos a quienes me motivaron a terminar este trabajo en especial a Gabriela Medina y María José Cuevas, gracias por animarme cada día y hacerme ver que todo vale la pena.

Agradezco infinitamente a la hermosa familia que Dios me ha dado, en especial a mi madre por todo su esfuerzo, ayuda y amor en mi formación y siempre darnos lo mejor de lo mejor. A mis hermanos Pablo, Patrick y Darlyn por su gran apoyo y compañía en esta etapa. A mi compañero de la vida, amigo, confidente, mi marido Ignacio, quien ha sido un pilar fundamental para terminar este proceso. A mi hija Fernanda, quien ha sido mi motivación, mi alegría y quien me alentaba para culminar esta etapa. También a mis amigos de la vida Patricio y Susana muchas gracias por sus palabras de ánimo, escucharme y

aconsejarme para que todo pudiese ser de la mejor manera. A mis amados amigos de CBC, muchísimas gracias por ser parte de mi vida, ser testigos de lo que Dios ha hecho, muchas gracias por sus oraciones y por cada tiempo que pasamos juntos alentándonos.

Gracias a todos quienes estuvieron en este largo y duro proceso, gracias por aguantar mis mañas, penas, alegrías, tristezas, llanto y risa, al recordar todo esto se me vienen tantas cosas a la mente, pero solo puedo decir GRACIAS !



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Finalmente, quisiera expresar mis sinceros agradecimientos a las instituciones que apoyaron fielmente durante el desarrollo de esta tesis. En primer lugar a la Dirección de Postgrado de la Universidad de Concepción, al Director del Programa quien fue mi Guía de Tesis y a quien reitero mis agradecimientos y mi mayor admiración. También quisiera agradecer a CONICYT por brindar el financiamiento para poder realizar el Magister y al Programa COPAS SUR AUSTRAL por brindar financiamiento durante el último año de tesista y por financiar la asistencia a Congresos tanto Nacional como Internacional.



INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE TABLAS.....	10
RESUMEN	13
ABSTRACT	16
INTRODUCCION GENERAL	19
HIPÓTESIS	24
OBJETIVOS.....	25
OBJETIVO GENERAL	25
OBJETIVOS ESPECIFICOS	25
CAPITULO 1	26
Resumen	27
Abstract.....	29
1. Introducción	31
2. Metodología	35
3. Resultados	38
4. Discusión.....	42
5. Referencias.....	46
CAPITULO 2	65
Abstract.....	66
1. Introduction	68
2. Methods.....	72
3. Results	76
4. Discussion	79
5. References	86
DISCUSION GENERAL	109
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXO	124

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

- Figura 1:** Distribución geográfica de sardina austral en el cono sur austral..... 53
- Figura 2:** Mapa de distribución de adultos de sardina austral durante el año 2013 en el Norte de la Patagonia Chilena. Círculos azules = Zona ISCh y Círculos rojos = Zona SC. 54
- Figura 3:** Principales ítems encontrados en los contenidos gástricos de sardina austral, donde: a) Eufáusidos, b) Anfípodos, c) Megalopa, d) Copépodo grande, e) Apendicularia y f) Zoea..... 55
- Figura 4:** Composición dietaria (N% porcentaje numérico) de ítems zooplanctónicos en contenido estomacal de sardina austral en las tres estaciones (combinadas) del año 2013, donde a) zona ISCh, b) zona SC y c) zona austral Argentina. 61
- Figura 5:** Composición dietaria (N% porcentaje numérico) de ítems fitoplanctónicos en contenido estomacal de sardina austral en toda la data del año 2013, a) zona ISCh b) zona SC. 62
- Figura 6:** Índice de Importancia relativa (%IIR) de los componentes zooplanctónicos y fitoplanctónicos de la dieta correspondiente a la zona ISCh (Mar Interior de Chiloé) en los meses de otoño, invierno y verano, año 2013. 63
- Figura 7:** Comparación estacional de Índice Numérico (%N) entre el estudio de Aranís *et al.*, (2012) y nuestro estudio en la zona ISCh (Mar Interior de Chiloé). 64

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2

- Figure 1:** Areas sampled in North Chilean Patagonia and Argentina during 2013. ISCh: Inner Sea of Chiloe. SC: Southern Channels..... 97
- Figure 2:** Interannual variations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Patagonian sprat tissue during the winters of 2011, 2012, and 2013, in the Inner Sea of Chiloe (ISCh). Boxplots show the minima, maxima, medians, 25th and 75th percentiles of data, and outliers. 98
- Figure 3:** Spatial variation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Patagonian sprat. A) Top panels: Fall 2012, Arg = Argentina and ISCh = Inner Sea of Chiloe. B) Bottom panels: Fall 2013, ISCh = Inner Sea of Chiloe and SC = Southern Channels. Boxplots show the minima, maxima, medians, 25th and 75th percentiles of data and outliers. 99
- Figure 4:** Relationship between $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Patagonian sprat collected from the Inner Sea of Chiloe (white circles, ISCh) and Southern Channels (black circles, SC) during fall 2013. 100
- Figure 5:** Relationship between $\delta^{15}\text{N}$ values and total length (cm) of Patagonian sprat. A) Seasonal variability: fall, winter, and summer in ISCh in 2013, and B) Spatial variability in ISCh (open circles) and SC (black circles) during fall 2013. 101
- Figure 6:** Variations in $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and trophic levels with total length (cm) of Patagonian sprat. Top panels: Inner Sea of Chiloe (ISCh). Bottom panels: Southern Channels (SC). 102
- Figure 7:** Mean values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in phytoplankton, zooplankton, and Patagonian sprat, during fall 2013. Ps ISCh = Patagonian sprat from Inner Sea of Chiloe, Ps SC = Patagonian sprat from Southern Channels, Zoo ISCh = Zooplankton from Inner Sea of Chiloe, Phy ISCh = Phytoplankton from Inner Sea of Chiloe, Zoo SC = Zooplankton from Southern Channels, and Phy SC = Phytoplankton from Southern Channels. 103

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

Tabla 1: Número de individuos de analizados por año y zona.....	56
Tabla 2: Número de individuos analizados por año, clasificando sus contenidos gástricos por estado de digestión (Estado I= no digerido, Estado II= semidigerido Estado III= digerido completamente).....	57
Tabla 3: Número de individuos totales, número de estómagos con zooplancton reconocible y con fitoplancton, clasificados por estación del año, zona y región durante el año 2013...	58
Tabla 4: Índices de Frecuencia (%F), Abundancia (%N), Peso gravimétrico (%P) e Importancia Relativa (%IIR) en ítems zooplanctónicos y fitoplanctónicos presentes en todos los contenidos gástricos analizados en las zonas ISCh y SC durante el año 2013 (estaciones combinadas).....	59
Tabla 5: Índices de Frecuencia (%F), Abundancia (%N), e Importancia Relativa (%IIR) en ítems zooplanctónicos en la zona austral de Argentina durante el año 2012.	60

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 2

Table 1: Means (and standard deviations) of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and trophic levels (TLe) of Patagonian sprat in different years, study areas, and seasons. The number of samples analyzed per zone and the $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ are also shown.....	104
Table 2: Summary of data obtained during fall 2013 for Patagonian sprat. The average values, standard deviations (sd), and minimum and maximum values of total length (TL), total weight (TW), $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, trophic level (TLe), and $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ are presented.	105
Table 3: Distance-based linear model (DistLM) results for $\delta^{13}\text{C}$, not logx+1 transformed; $\delta^{15}\text{N}$, total length and total weight logx+1 transformed.	106
Table 4: Mean $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and trophic levels (TLe) of phytoplankton, zooplankton, and Patagonian sprat in the austral zone during fall 2013. (Phy ISCh = Phytoplankton from Inner Sea of Chiloe, Phy SC = Phytoplankton from Southern Channels, Zoo ISCh = Zooplankton from Inner Sea of Chiloe, Zoo SC = Zooplankton from Southern Channels, Ps ISCh = Patagonian sprat from Inner Sea of Chiloe, Ps SC = Patagonian sprat from Southern Channels).....	107
Table 5: Stable isotope values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$, and TLe of Patagonian sprat (data from fall 2013 and fall 2012) and other Clupeiforms and locations.	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo, Figura 1: Ejemplo de enriquecimiento trófico de C y N (extraído de tesis doctoral, Agurto, 2007).	124
Anexo, Figura 2: Masas de aguas presente en la zona del Mar Interior de Chiloé y la zona de los canales y fiordos, (Extraído desde Sievers & Silva, 2006).	125
Anexo, Figura 3: Modelo esquemático de las circulación horizontal de las masas de agua en el Mar Interior de Chiloé y la zona de los Canales y fiordos: a) nivel superficial (0- ~30 m); b) nivel intermedio (~30- ~150 m), c) nivel profundo (~150 m al fondo) (Sievers & Silva, 2006).	126
Anexo, Figura 4: Trama trófica de la sardina austral propuesta por Zuleta y Rubilar, (2010).	127
Anexo, Figura 5: Flujo vertical de carbono orgánico particulado en la trama trófica del Fiordo del Reloncaví en invierno y primavera (González <i>et al.</i> , 2010).	128
Anexo, Figura 6: Vías tróficas entre grupos funcionales en las tramas tróficas clásicas y microbianas de la (a) zona del Mar Interior de Chiloé y (b) del Canal Moraleda. El grosor de las líneas muestra el nivel de flujo de energía entre grupos funcionales (Pavés <i>et al.</i> , 2014).	129
Anexo, Figura 7: Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y nivel trófico con la longitud del individuo (LT cm) de sardina austral para otoño del año 2013.	130
Anexo, Tabla 1: Procedencia de las muestras durante el periodo de estudio.	131

RESUMEN

En este trabajo se determinó los componentes principales en la dieta y el nivel trófico de la sardina austral (*Sprattus fuegensis*) en la zona austral de Chile. Para ello, se obtuvieron muestras de individuos de 3 distintas localidades (Mar Interior de Chiloé, Canales australes de la región de Aysén y Zona austral de Argentina) entre los años 2011-2013.

Primero, con el objetivo de diferenciar la composición dietaria de *Sprattus fuegensis* a partir de contenidos gástricos, se obtuvieron muestras de adultos del Mar Interior de Chiloé (ISCh), Canales del Sur (SC) y zona austral Argentina. Los organismos fueron medidos (LT) y pesados (WT) y luego disectados para análisis de contenido estomacal. Se separó la fracción zooplanctónica de la fitoplanctónica utilizando un tamiz de 120 μm . La dieta fue caracterizada mediante índices de frecuencia de ocurrencia (%F), abundancia numérica (%N), abundancia gravimétrica (%P) e importancia relativa (% IIR) de cada taxón. Un total de 601 estómagos fueron analizados de los cuales 421 individuos fueron colectados durante el año 2013 en verano, otoño e invierno. Se identificaron 8 ítems principales: copépodos pequeños (<1mm), copépodos grandes (>1 mm), eufáusidos, isópodos, anfípodos, megalopas, apendicularias y zoeas. Copépodos pequeños fueron el ítem más importante dentro del zooplancton en ambas zonas durante al año (ISCh: %F=84.0, %N=94.4, %P= 38.9%, %IIR= 96.3; SC: %F=80, %N=88.6, %P=0.7, %IIR= 75.4). Los análisis de fitoplancton revelaron la presencia de 9 ítems: *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Asterionellopsis*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Pseudonitchia*, *Rhizosolenia*, otras diatomeas Céntricas y Pennadas, siendo las diatomeas céntricas el ítems más importante dentro del fitoplancton de ambas zonas (ISCh: %F=70.4, %N=38.9 y de %IIR=

54.8 y SC: %F=93.3, %N=27.2 y de %IIR=40). En ISCh, durante otoño y verano, copépodos pequeños fue el ítem más importante en la dieta de sardina austral mientras que en invierno fueron eufáusidos el componente principal. A su vez, no se encontró diferencias estacionales en los componentes de fitoplancton, siendo el grupo más importante las diatomeas céntricas. La mayor diversidad de ítems encontrados en las dietas, tanto de fito como de zooplancton coincidió con la zona de mayor productividad histórica. Al comparar entre zonas durante el año, copépodos pequeños y eufáusidos fueron los componentes principales de las dietas de sardina austral en la zona (ISCh) mientras que en SC fueron los copépodos pequeños e isópodos. Posiblemente la similitud de ítems dominantes estaría asociada a la oferta alimenticia de ambas zonas. La mayor abundancia de copépodos coincidiría con períodos reproductivos de sardina austral y con los meses de mayor abundancia larval (primavera), por lo que la variabilidad interanual en la abundancia de zooplancton en la zona Nor-Patagónica, relacionada con los procesos físicos, podría tener un gran impacto en la alimentación de sardina austral en los fiordos.

Con el fin de evaluar diferencias espaciales y estacionales en la composición isotópica y niveles tróficos de sardina austral, se obtuvieron muestras de tejido muscular en individuos adultos en diferentes años (2011 al 2013), así como de organismos que componen su dieta (zooplancton y fitoplancton). Los resultados revelaron variaciones interanuales en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de sardina austral durante invierno (2011-2013) en ISCh. También existió variación en los valores de isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) entre zonas (zona Nor-Patagónica Chilena y la zona austral Argentina) sugiriendo que sardina austral en el Atlántico recibiría un aporte de carbono orgánico de origen más terrígeno que lo observado en la parte Norte de la Patagonia chilena. En una escala espacial menor, en la Patagonia chilena, la sardina austral durante el otoño del año 2013 mostró diferencias en

$\delta^{13}\text{C}$ siendo los valores en SC inesperadamente más altos que en ISCh (-16.6‰ y -17.7‰, respectivamente). No existió diferencia entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y niveles tróficos estimados en la Patagonia Chilena fueron de 3.8 (ISCh) y 4.0 (SC). En la zona ISCh, de mayor productividad que en SC, se determinó una relación positiva entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y la longitud de los individuos, lo que insinuaría un aumento en el nivel trófico con la talla. En la zona históricamente considerada de menor productividad (SC) y con una trama trófica más heterotrófica, las tallas de los individuos de esta especie fueron menores que en ISCh y presentaron un mayor nivel trófico. Estas diferencias de nivel trófico en sus tallas menores entre zonas reflejarían un comportamiento versátil y beneficioso especialmente en la Patagonia en que hay marcadas variaciones en la disponibilidad de alimento y en la que cambios en la trama trófica ocurren estacionalmente.



ABSTRACT

In this study the principal components of the diet and trophic level of the Patagonian sprat (*Sprattus fuegensis*) was determined in southern Chile. Samples of individuals from three different locations (Inner Sea of Chiloé, Southern Channels in the Aysén Region and in the Southern Argentinean zone) between the years 2011-2013 were collected.

First, to differentiate the dietary composition of Patagonian sprat utilizing the analysis of gastric contents, samples of adults were obtained in the area Inner Sea of Chiloé (ISCh), South Channel (SC) and southern Argentina zone. The fishes were measured (LT) and weighted (WT) and then dissected for analysis of stomach contents. The zooplankton fraction was separated from the phytoplankton using a 120 mm mesh sieve. The diet was characterized by indices of frequency of occurrence (% F), numerical abundance (% N), gravimetric abundance (% P) and relative importance (% IIR) of each taxon. A total of 601 stomachs were analyzed of which 421 individuals were collected during the 2013 summer, fall and winter.

Eight main items were identified in the diet: small copepods (<1mm), large copepods (> 1 mm), euphausiids, isopods, amphipods, megalopas, appendicularians and zoeas. Small copepods were the most important in the zooplankton in both areas during the same year (ISCh: %F=84.0, %N=94.4, %P= 38.9%, %IIR= 96.3; SC: %F=80, %N=88.6, %P=0.7, %IIR= 75.4). The phytoplankton analysis revealed the presence of nine items: *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Asterionellopsis*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Pseudonitzschia*, *Rhizosolenia* other centric and pennate diatoms; the most important item phytoplankton in both zones were centric diatoms (ISCh: %F=70.4, %N=38.9 y de %IIR= 54.8 y SC: %F=93.3, %N=27.2 y de %IIR=40). In ISCh, during fall and summer, small copepods were

the most important in the diet of Patagonian sprat, while in winter euphausiids were the major component. In turn, no seasonal differences in the components of phytoplankton was found, the most important group were centric diatoms. The greatest diversity of items found in the diets of both phyto- as zooplankton coincided with the zone of greatest historical productivity, which corresponds to the Inner Sea of Chiloé. When comparing between zones during the year, small copepods and euphausiids were the main components of the diet in the ISCh zone, and in SC were small copepods and isopods. Possibly, the similarity in dominant items would be associated with the food availability in both areas. The most abundant copepod coincide with reproductive periods of Patagonian sprat and also when larval abundance increase (spring), therefore, that inter-annual variability in the abundance of zooplankton in the northern part of Patagonia, and physical processes, might have a large impact on feeding conditions for the Patagonian sprat population of in the fjords.

In order to evaluate spatial and seasonal differences in the isotopic composition and trophic levels in Patagonian sprat (*Sprattus fuegensis*) in the Northern Chilean Patagonia, samples of muscle tissue in adult individuals were obtained in different years (2011 to 2013), and in organisms in their diet; zooplankton and phytoplankton. The results showed inter-annual variations in $\delta^{15}\text{N}$ in Patagonian sprat during winter (2011-2013) at the ISCh. Also, variation in carbon isotopes $\delta^{13}\text{C}$ values were detected between zones (north-Patagonian Chile and Argentina southern zone) suggesting sprat in the Atlantic Patagonia would receive an input of organic carbon of more terrigenous origin than that in southern Chile. On a smaller spatial scale in the Chilean Patagonia, Patagonian sprat in the fall of 2013 showed differences in $\delta^{13}\text{C}$ values where values at the SC were unexpectedly higher than in ISCh (-16.6 ‰ and -17.7 ‰, respectively). Not existed difference between the values of $\delta^{15}\text{N}$ and trophic levels estimated in Chilean Patagonia were 3.8 (ISCh) and 4.0

(SC). A positive relationship was determined between $\delta^{15}\text{N}$ values and total length of Patagonian sprat individuals in the Inner Sea of Chiloé, an area reported to have high productivity. The collected sprats in the Southern Channels, a sector with low productivity and a heterotrophic food web, were smaller in size and showed a higher trophic level. However, these small size sprat consumed organisms of a higher trophic level, again suggesting the versatile feeding behavior of this species is part of a feeding strategy that may be beneficial in areas that experience large seasonal variations in food availability and in food webs structure.

Keywords: Stomach contents, stable isotopes, Patagonia sprat, Northern Chilean Patagonia.



INTRODUCCION GENERAL

El estudio de las relaciones tróficas en los ecosistemas marinos es un tema recurrente desde un punto de vista ecosistémico, oceanográfico y pesquero. La conceptualización de tramas tróficas generalmente se ha basado en inferencias realizadas a partir de distintas aproximaciones, entre ellas destacan el análisis de contenidos estomacales y recientemente el uso de métodos bioquímicos como isótopos estables.

El análisis de contenido estomacal ha sido uno de los métodos más antiguos y frecuentemente empleados para inferir las relaciones tróficas en los ecosistemas acuáticos (Kling *et al.*, 1992; Rodríguez, 2006). En la mayoría de los peces, la preferencia alimentaria por parte de un pez hacia una presa, se debe a que la dieta tiene una estrecha relación con la disponibilidad de alimentos, la cual es considerada como un factor clave para determinar el reclutamiento y el crecimiento en peces (García de Jalón *et al.*, 1993; Gertkin, 1994). Uno de los problemas en el estudio de las relaciones tróficas pelágicas radica en la dificultad de la observación directa de las interacciones entre los peces y sus presas en el medio ambiente, debido al pequeño tamaño de plancton. Los estudios tradicionales basados en el contenido intestinal sólo puede proporcionar información sobre la dieta en un periodo de tiempo corto (uno o dos días) (Madirolas *et al.*, 2000, Aranís *et al.*, 2007) y más próximo a la captura de predador.

En los últimos años ha incrementado el uso de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$), los cuales nos permiten estudiar las relaciones tróficas en ecosistemas marinos durante periodos de tiempo relativamente largos (de semanas a meses), debido a la lenta tasa de movimiento del isótopo en el tejido muscular (Dalerum & Angerbjorn, 2005; Martínez del Rio *et al.*, 2009; Peterson & Fry, 1987; Kwak & Zedler, 1997; Fantle *et al.*,

1999; Peterson, 1999). Estos elementos (carbono y nitrógeno) poseen dos tipos de isótopos estables: uno pesado (^{13}C y ^{15}N) y otro ligero (^{12}C y ^{14}N) (Ehleringer & Rundel, 1989; Dawson & Brooks, 2001). Los isótopos con menor peso atómico son eliminados más eficientemente por los procesos metabólicos de respiración (^{12}C) o excreción (^{14}N) y los isótopos de mayor peso atómico tienden a ser acumulados con el incremento en los niveles tróficos.

Para el isótopo de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) se ha detectado un enriquecimiento de 3.4 ‰ por cada nivel trófico (Minagawa & Wada, 1984; Cabana & Rasmussen, 1996; Vander Zanden & Rasmussen, 1999) y para el carbono ($\delta^{13}\text{C}$) de 0 a 1‰, siendo utilizado como indicador de la fuente original de carbono (Peterson & Fry, 1987; DeNiro & Epstein, 1978; Minagawa & Wada, 1984; Fry, 1988; Vander Zanden & Rasmussen, 2001; Bode *et al.*, 2007; Agurto, 2007; Rodríguez-Grana *et al.*, 2008; Véase Anexo, Figura 1). Las distintas fuentes de fijación de carbono terrígeno (alóctono) o en el medio marino en la producción primaria pueden conducir a diferencias en valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Fry, 2006). En la parte norte de la Patagonia se ha encontrado que aguas cercanas a la costa presentan valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ y en aguas oceánicas más enriquecidas en este isótopo (Miller *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2011)

La zona de la Patagonia norte en Chile es caracterizada por un alto grado de complejidad geomorfológica e hidrográfica que se traduce en la presencia de fiordos y canales (Silva *et al.*, 1998; Palma & Silva, 2004). Existe un gran aporte de agua dulce provenientes de lluvias, glaciares y ríos (Silva & Calvete, 2002). De esta manera, los fiordos patagónicos presentan un sistema de estuarios, con flujo de agua estuarina superficial hacia el océano y entrada de aguas oceánicas en la columna de agua inferior hacia el interior de los fiordos (Silva *et al.*, 1997; Silva & Calvete, 2002; Valdenegro &

Silva, 2003; Sievers & Silva, 2006; Kilian *et al.*, 2007^a; Véase Anexo, Figura 2 y 3). Esto determina una gran dinámica en las propiedades del agua de mar (salinidad, composición química y temperatura) que finalmente se vuelven en importantes aportes de nutrientes al sistema. Como resultado, se generan hábitats con extraordinaria productividad que hacen de esta zona el hogar de una gran diversidad de organismos, representados particularmente por invertebrados marinos, peces, aves y mamíferos (Silva & Calvete, 2002). Fiordos y canales también son considerados un sistema complejo en cuanto a dinámica de corrientes, permitiendo la existencia de condiciones favorables para el desarrollo de los primeros estadios de vida de una gran variedad de peces y crustáceos de importancia comercial (Balbontín & Bernal, 2005; Balbontín, 2006; Landaeta & Castro, 2006; León *et al.*, 2008; Mujica & Medina, 1997; Balbontín & Bernal 1997; Balbontín & Córdova, 2003; Bustos *et al.*, 2007; Sabatini *et al.*, 2001).

En la Patagonia habita un pez pelágico conocido como sardina austral (*Sprattus fuegensis*). La presencia de esta especie fue reportada en Argentina desde el año 1973 (Ramírez, 1976) y en Chile se ha detectado en las aguas interiores de la región de Los Lagos desde al año 2004 (Aranis *et al.*, 2006). Se distribuye en el cono sur de Sudamérica, en la plataforma continental de la zona sur austral de Chile entre los 41° y 55°S y por el lado Argentino en las mismas latitudes incluyendo las aguas de las islas Malvinas (Faulkland) (Madirolas *et al.*, 2000; Aranis *et al.*, 2007). Habita en los primeros 50 metros de la columna de agua, forma cardúmenes, especialmente costeros y tolera bajas salinidades. Los principales desembarques de esta especie se registran en la región de los Lagos X región, por la flota artesanal de cerco destinada a reducción (harina), carnada y consumo humano. Se ha señalado que esta especie cumpliría un rol fundamental en el ecosistema al interactuar con otros organismos que habitan en la zona austral de Chile, tales

como merluza de cola, merluza austral y congrios que son de importancia comercial, mamíferos (lobos de mar, delfines y ballenas) y aves marinas (pingüino de Magallanes, cormorán y pelicanos) que se considera necesario proteger (Madirolas *et al.*, 2000, Zuleta & Rubilar, 2010; Véase Anexo, Figura 4).

Existen estudios de alimentación de *Sprattus sprattus* en el hemisferio norte (Cardinale *et al.*, 2006; Casini *et al.*, 2004; Peck *et al.*, 2012) y de *Sprattus fuegensis* en Argentina (Ramírez, 1976). En Chile, se ha determinado los componentes principales en la dieta de *Sprattus fuegensis*, en aguas interiores de la Región de Los Lagos (Aranis *et al.*, 2012), pero no se sabe si existe alguna diferencia en las presas de sardina austral en las zonas contiguas (Canales al sur del Mar Interior de Chiloé) o entre estaciones del año. Por otra parte, se sabe que la zona del Mar Interior de Chiloé es altamente productiva en primavera-verano (Iriarte *et al.*, 2007) existiendo una alta diversidad de componentes del plancton (González *et al.*, 2011; Pavés *et al.*, 2014) y que, durante el invierno existiría una trama trófica microbiana y en primavera una trama trófica dominada por diatomeas (González *et al.*, 2010; Véase Anexo, Figura 5). Por otra parte, aguas dulces (aguas estuarinas) que provienen desde el continente son ricas en materia orgánica y ácido silícico y, aguas que provienen desde el océano (aguas subantárticas) poseen macronutrientes como nitrato y ortofosfatos, las cuales al mezclarse generan ambientes óptimos que determinan los niveles de producción primaria y a su vez, conducen la producción secundaria (zooplancton) y terciaria (peces pelágicos), por lo que se puede esperar que áreas con mayor conexión oceánica ofrecen una mezcla adecuada de nutrientes para alcanzar niveles altos de productividad (Pavés *et al.*, 2014; Véase Anexo, Figura 6), lo cual podría explicar las diferencias en tramas tróficas entre las cuencas de la zona del Mar Interior de Chiloé y del Canal Moraleda.

En el área de estudio que abarca este estudio (42 - 47°S), se ha evidenciado variaciones en los niveles de $\delta^{13}\text{C}$ en los sedimentos superficiales como resultado de las diferentes entradas de carbono orgánico entre la zona sur de los Canales (45 a 47 ° S) y en el Mar Interior de Chiloé (42 a 45°S). La zona sur de los canales recibe la entrada de $\delta^{13}\text{C}$ de origen más terrestre (Mayr *et al.*, 2011; Rebolledo *et al.*, 2011; Sepúlveda *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2011; Lafón *et al.*, 2014; Mayr *et al.*, 2014; Zapata- Hernández *et al.*, 2014) debido a las grandes cantidades de agua dulce desde de los ríos, la lluvia y deshielo de los glaciares, mientras que la zona del Mar Interior de Chiloé está más influenciado por el agua oceánica (Silva & Calvete, 2002; Valdenegro & Silva, 2003).

El año 2013, la Ley de Pesca y Acuicultura N°20.657 fue modificada con el objetivo de promover la conservación y el uso sustentable de los recursos pesqueros mediante la aplicación de un enfoque ecosistémico que permita salvaguardar los ecosistemas marinos en los que existan recursos; debido a que, los estudios de alimentación e isotópos estables son una herramienta complementaria que permite acercarnos a un enfoque ecosistémico proporcionando una visión más certera en el estudio de tramas tróficas (Lassalle *et al.*, 2014). El objetivo principal del presente estudio es determinar la composición dietaria de sardina austral a través del análisis de contenidos estomacales y, mediante el análisis de isotópos estables, determinar el origen del carbono orgánico consumido y el nivel trófico de sardina austral en diferentes localidades de la zona Nor Patagónica chilena.

Planteamiento del problema

Considerando que 1) la zona del Mar Interior de Chiloé es altamente productiva en primavera-verano existiendo una alta diversidad de componentes del plancton y que durante el invierno existiría una trama trófica microbiana y en primavera una trama trófica dominada por diatomeas 2) y que a través de modelos tróficos se determinó que en áreas de mayor conexión con el océano adyacente (Mar Interior de Chiloé) tiene mayor aporte de nutrientes (nitrato y ortofostatos) existiendo una alta biomasa, productividad y eficiencia de energía en la trama trófica pelágica (Pavés *et al.*, 2014), se plantea que:

HIPÓTESIS

H₁: Existe diferencia en la dieta (composición taxonómica) de sardina austral (*Sprattus fuegensis*) entre la zona norte de la región de los Lagos (Mar Interior de Chiloé) y la zona de los canales de la región de Aysén (SC).

H₂: El nivel trófico de sardina austral es mayor en la zona del Mar Interior de Chiloé (ISCh) y menor en la zona de los canales de la región de Aysén (SC).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la alimentación y el nivel trófico de *Sprattus fuegensis* en la zona Nor-Patagónica chilena.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar el contenido estomacal de la sardina austral en tres sectores (ISCh, SC y Argentina) e identificar ítems más frecuentes en cada zona.
2. Determinar la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en sardina austral, zooplancton y fitoplancton en la ISCh y SC.
3. Determinar el nivel trófico de la sardina austral utilizando el isótopo estable de $\delta^{15}\text{N}$.
4. Determinar si existen variaciones estacionales en el nivel trófico de *S. fuegensis* las zonas ISCh y SC.

CAPITULO 1

Composición dietaria entre zonas y estacional de *Sprattus fuegensis* (Jenyns, 1842) en la región Nor-Patagónica de Chile

Artículo en preparación

Sandra Montecinos ^{1,2,3}, Leonardo Castro ^{2,3}, Sergio Neira ³, Aldo Barba ².

¹ Magister en Ciencias con mención Pesquerías,

² Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología larval (LOPEL), Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile.

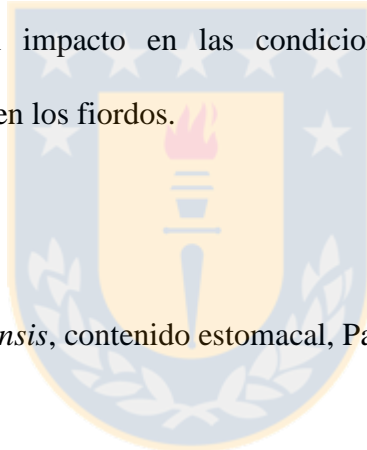
³ Programa Financiamiento Basal COPAS Sur-Austral. Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción

Resumen

Se determina la composición de la dieta de *Sprattus fuegensis*, a través de análisis de contenido estomacal. Muestras de adultos fueron obtenidas en las zonas Mar Interior de Chiloé (ISCh) y Canales y Fiordos (SC) del norte de la patagonia chilena y zona austral Argentina. Los organismos fueron medidos (LT) y pesados (WT) y luego disectados para análisis de contenido estomacal. Se separó la fracción zooplanctónica de la fitoplanctónica utilizando un tamiz de 120 μm . La dieta fue caracterizada mediante índices de frecuencia de ocurrencia (%F), abundancia numérica (%N), abundancia gravimétrica (%P) e importancia relativa (% IIR) de cada taxón. Un total de 601 estómagos fueron analizados de los cuales 421 individuos fueron colectados durante el año 2013 en verano, otoño e invierno. Se identificaron 8 ítems principales: copépodos pequeños (<1mm), copépodos grandes (>1 mm), eufáusidos, isópodos, anfípodos, megalopas, apendicularias y zoeas. Copépodos pequeños fueron el ítem más importante dentro del zooplancton en ambas zonas (ISCh: %F=84.0, %N=94.4, %P= 38.9%, %IIR= 96.3; SC %F=80, %N=88.6, %P=0.7, %IIR=75.4) al igual que en *S. fuegensis* de la zona austral Argentina (%F=88.2, %N=92.5 e %IIR=93.0). Los análisis de fitoplancton en la misma zona revelaron la presencia de 9 ítems: *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Asterionellopsis*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Pseudonitzschia*, *Rhizosolenia*, otras diatomeas Céntricas y Pennadas, siendo el ítems más importante dentro del fitoplancton las diatomeas céntricas (ISCh: %F=70.4, %N=38.9 y de %IIR= 54.8 y SC: %F=93.3, %N=27.2 y de %IIR=40). En ISCh, durante otoño y verano, copépodos pequeños fue el ítem más importante en la dieta de sardina austral y en invierno se encontró que eufáusidos fue el componente principal. A su vez, no se encontró diferencias estacionales en los componentes de fitoplancton, siendo el grupo más

importante las diatomeas céntricas. La mayor diversidad de ítems encontrados en las dietas, tanto de fito- como de zooplancton coincidió con la zona de mayor productividad histórica, la cual corresponde al del Mar Interior de Chiloé. Al comparar entre zonas durante el año 2013, mientras que copéodos pequeños y eufáusidos fueron los componentes principales de las dietas de sardina austral en la zona (ISCh), en SC fueron los copéodos pequeños e isópodos. En Argentina el año 2012, los copéodos pequeños también fueron el ítem dominante. La mayor abundancia de copéodos en la dieta y en el ambiente coincidiría con períodos reproductivos de sardina austral y con meses de mayor abundancia larval (primavera), por lo que la variabilidad interanual en la abundancia de zooplancton en el fiordo, puede tener un gran impacto en las condiciones de alimentación para las poblaciones de sardina austral en los fiordos.

Palabras claves: *Sprattus fuegensis*, contenido estomacal, Patagonia Norte Chilena.

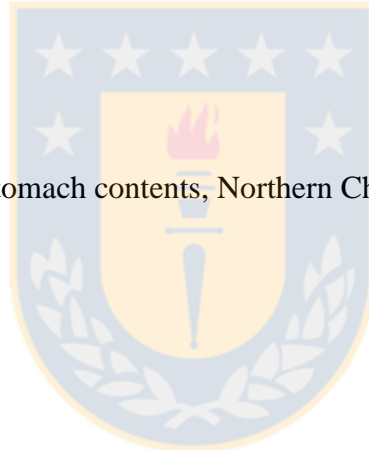


Abstract

We determined the composition of the diet Patagonian sprat, which is distributed along the Chilean Patagonia and Argentina, through analysis of stomach contents. Adult samples were obtained in the Inner Sea of Chiloé (ISCh), Southern Channels (SC) zones in the Northern Chilean Patagonia and Argentina southern areas. The organisms were measured (LT) and heavy (WT) and then dissected for analysis of gut contents. Was separated the zooplankton and phytoplankton fraction using a sieve of 120 μm . The diet was characterized by indices of frequency of occurrence (%F), numerical abundance (%N), gravimetric abundance (%P) and relative importance (%IIR) of each taxon. A total of 601 stomachs were analyzed of which 421 individuals were collected during the 2013 in summer, fall and winter. Were identified 8 main items: small copepods (<1mm), large copepods (> 1 mm), euphausiids, isopods, amphipods, megalopas, appendicularians and zoeas. Small copepods be greatest within the zooplankton in both zones (ISCh: % F = 84.0, % N = 94.4, % P = 38.9, % IIR= 96.3; SC: % F = 80, %N = 88.6, % P = 0.7, %IIR = 75.4). For this species has been reported in Argentina southern miscidáceos as dominant presence in the diet (summer) and in medium and large calanoid copepods (fall). The phytoplankton analysis revealed the presence of 9 items: *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Asterionellopsis*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Pseudonitzschia*, *Rhizosolenia*, other Centric diatoms, and pinnate, where the most important items in the phytoplankton correspond to centric diatoms (ISCh: %F = 70.4, %N = 38.9 and %IIR = 54.8; SC: %F = 93.3, %N = 27.2 and %IIR = 40). In ISCh, during fall and summer, small copepods was the most important in the diet of Patagonian sprat and in winter it was found that euphausiids was the major component. In turn, no was found seasonal differences in the components of phytoplankton, the most

important group of centric diatoms. The greatest diversity of items found in the diets of both phyto- and zooplankton coincided with greater historical productivity found in the area of the Inner Sea of Chiloé also small copepods and euphausiids were the main components of the diets of southern sardine in the area (ISCh) and small copepods and isopods dominated in the SC area. The similarity of dominant items would be associated with the food availability of the zones, finding that the greater abundance of copepods coincide with reproductive periods of Patagonian sprat and months of highest larval abundance (spring), so the interannual variability in zooplankton abundance in the fjord, related to physical processes can have a major impact on the feeding conditions for the populations of Patagonian sprat in the fjords.

Keywords: Patagonian sprat, stomach contents, Northern Chilean Patagonia.



1. Introducción

Las sardinas y anchovetas constituyen uno de los grupos de peces pelágicos más abundantes y con amplia distribución en todo el mundo, cuya pesquería es muy importante desde el punto de vista económico, principalmente con fines de alimentación y obtención de una serie de subproductos de interés comercial (Whitehead *et al.*, 1988; Silva & Pequeño, 2007). Asociados a la Corriente de Humboldt en el Océano Pacífico Sur-Oriental y conocidos también como pelágicos pequeños, están la sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) las que han sustentado capturas pesqueras de mayor magnitud y sostienen una importante actividad industrial y artesanal en nuestro país (Whitehead, 1985, Silva & Pequeño, 2007, Castillo *et al.*, 2001). La importancia que poseen los pelágicos pequeños está dada principalmente por la función de transferir energía de menores a mayores niveles tróficos teniendo un papel importante en la estructuración de los ecosistemas (Cury *et al.*, 1989).

La sardina austral (*Sprattus fuegensis*, Jenyns, 1842) es un pequeño pelágico que forma cardúmenes especialmente costeros, tolera muy bajas salinidades y habita en los primeros 50 metros de la columna de agua. Esta especie pelágica, se encuentran en el cono sur de Sudamérica, en la plataforma continental de la zona sur austral de Chile entre los 41° y 55°S y las mismas latitudes por el lado Argentino incluyendo las islas Malvinas (Faulkland) (Madirolas *et al.*, 2000; Aranís *et al.*, 2007; Figura 1). La presencia de esta especie fue reportada en Argentina desde el año 1973 (Ramírez, 1976) y en Chile se ha detectado en las aguas interiores de la Región de Los Lagos desde al año 2004 (Aranís *et al.*, 2006).

La biología de esta especie se ha estudiado mayormente en aguas del Mar Interior de Chiloé, donde se concentra principalmente la actividad pesquera. Estudios en otolitos (Cerna *et al.*, 2007, 2014) indican que la sardina austral presenta un patrón de crecimiento y mortalidad natural característico de peces pelágicos de pequeño tamaño, es decir, crecimiento rápido y ciclo de vida corto. Es un desovante parcial con una estación reproductiva entre septiembre y diciembre, donde la longitud promedio de madurez sexual ocurriría a los 13.5 cm (Leal *et al.*, 2011). Hasta la fecha se han realizado estudios de evaluación directa orientados a estimar la biomasa y abundancia de pequeños pelágicos en las aguas interiores de Chiloé. (Castillo & Molina, 2007; Niklistchek *et al.*, 2007, 2009; Cubillos *et al.*, 2011; Cubillos *et al.*, 2013; Lillo *et al.*, 2004). Por otro lado, se señala que esta especie cumpliría un rol fundamental en el ecosistema al interactuar con otros organismos que habitan en la zona austral de Chile tales como merluzas de cola, merluza austral y congrios que son de importancia comercial, mamíferos (lobos de mar, pingüino de Magallanes, delfines y ballenas) y aves marinas (cormorán y pelicanos) que se consideran necesario proteger (Madirolas *et al.*, 2000, Zuleta & Rubilar, 2010).

El conocimiento del funcionamiento trófico de un ecosistema acuático ha sido enfocado en estudios de dietas y hábitos alimentarios de peces. La dieta es una característica importante de los organismos que permite determinar la posición que ocupa dentro de la trama trófica y conocer qué papel desempeña en un ecosistema (Rodríguez, 2006). En la mayoría de los peces, la dieta tiene una estrecha relación con la disponibilidad de alimentos (García de Jalón *et al.*, 1993), es decir, que tales preferencias alimentarias por parte de un pez hacia una presa se deben a las condiciones ecológicas como la abundancia y disponibilidad de los alimentos (Gertkin, 1994). También se ha reportado que existe selectividad de presas en especies (por ejemplo *Sprattus sprattus* Mar Báltico) del

hemisferio norte (Arrhenius, 1996; Möllmann & Köster 1999; Falkenhaus & Dalpadado, 2014).

La alimentación de peces pelágicos pequeños en general es planctívora y su abundancia en los sistemas de afloramiento es atribuida a su capacidad para alimentarse directamente de fitoplancton y, por lo tanto, beneficiarse de una cadena alimentaria corta y eficiente (Ryther, 1969). Sin embargo, la disponibilidad de alimentos es considerada como un factor clave para determinar el reclutamiento y el crecimiento en peces.

Los fiordos de la Patagonia Chilena (ambiente en el cual habita la sardina austral), son ecosistemas estuarinos donde “sills o umbrales” actúan como barreras que impiden el libre intercambio de aguas oceánicas profundas y aguas provenientes desde el continente (Falkenhaus *et al.* 1995, 1997; Silva *et al.*, 1998; Palma & Silva, 2004). Estos ecosistemas suelen ser utilizados como zonas de crianza de peces juveniles (Thiel *et al.*, 1996; Silva & Calvete, 2002; Landaeta & Castro, 2006; Landaeta *et al.* 2011) y como refugio para los peces pelágicos evitando su depredación (Kaartvedt *et al.*, 2009). La composición del zooplancton en los fiordos está determinada por el intercambio advectivo existente entre las aguas continentales y entre aguas oceánicas (Salvanes *et al.*, 1995), es por esto que la abundancia y composición de presas disponibles para los peces planctívoros como la sardina austral puede variar dentro del sistema de fiordos.

Existen estudios de alimentación de *Sprattus sprattus* en el hemisferio norte (Cardinale *et al.*, 2006; Casini *et al.*, 2004; Peck *et al.*, 2012) y de *Sprattus fuegensis* en Argentina (Ramírez, 1976). En Chile, se ha determinado los componentes principales en la dieta de *Sprattus fuegensis*, en aguas interiores de la Región de Los Lagos (Aranis *et al.*, 2012), pero no se sabe si existe alguna diferencia en las presas de sardina austral entre zonas contiguas (Canales al sur del Mar Interior de Chiloé) o entre estaciones del año. Por

otra parte, se sabe que la zona del Mar Interior de Chiloé es altamente productiva en primavera-verano (Iriarte *et al.*, 2007) existiendo una alta diversidad de componentes del plancton (González *et al.*, 2011; Pavés *et al.*, 2014) y que, durante el invierno existiría una trama trófica microbiana y en primavera una trama trófica dominada por diatomeas (González *et al.*, 2010).

Este estudio tiene como objetivo determinar los componentes zoo y fitoplanctónicos de la dieta de *Sprattus fuegensis* en el Mar Interior de Chiloé (ISCh) y en la zona de canales y fiordos (SC) adyacentes y en diferentes estaciones del año.



2. Metodología

Un total de 601 individuos adultos de sardina austral (*Sprattus fuegensis*) fueron colectados desde la zona austral para el estudio de contenido estomacal provenientes de la zonas del Mar Interior de Chiloé (ISCh), Canales y Fiordos (SC) (Figura 2) y desde la zona sur austral Argentina (Tabla 1) entre los años 2011 (ISCh: 57 y SC: 20 individuos), 2012 (ISCh: 59 individuos y Argentina 44 individuos) y año 2013 (ISCh: 262 y SC: 159 individuos, Tabla 2). Durante el año 2013 se obtuvo gran parte de las muestras de sardina austral en las zonas ISCh en las estaciones de otoño, invierno y verano y SC solo durante el otoño.

Organismos adultos fueron medidos (Lt) y pesados (Wt), luego se extrajo el estómago y se fijaron en formalina al 5%. Posteriormente fueron disectados para análisis de contenido estomacal. Se separó la fracción zooplanctónica de la fitoplanctónica utilizando un tamiz de 120 μm , donde la fracción fitoplanctónica fue almacenada en frascos de 20 ml para su posterior identificación solo para el año 2013. Organismos pertenecientes al zooplancton fueron vistos bajo un microscopio estereoscópico y en el caso del fitoplancton se utilizaron cámaras de sedimentación bajo microscopio invertido.

Los ítems presa fueron identificados al nivel taxonómico más bajo posible, según su estado de digestión. El criterio de identificación para la determinación del estado de digestión fue:

Estado 1: no digerido, donde los organismos presentan características fácilmente identificables.

Estado 2: parcialmente digerido, donde la mitad del organismo esta digerido.

Estado 3: más de los dos tercios digerido o totalmente digerido.

Los métodos tradicionales de análisis de la dieta incluyen la frecuencia de ocurrencia, el número de individuos por taxón y el peso o volumen de las presas (Hynes, 1950; Hyslop, 1980; Fuentealba, 1993). Cada una de estas medidas proporciona distintas características de los hábitos alimenticios del predador. Además, dichas medidas entregan un estimado razonable del alimento consumido. La frecuencia de ocurrencia da cuenta de la disponibilidad de presas en el ambiente, la importancia numérica es informativa respecto de la abundancia de la misma, mientras que las medidas de peso o volumen reflejan el aporte energético de las presas al predador (Cortés, 1997).

Para caracterizar la dieta de sardina astral, se utilizarán los siguientes índices:

Índice de frecuencia de ocurrencia (%F): (Hynes, 1950) consiste en el número de veces que el ítem presa aparece en el total de los estómagos con contenido. Este índice, representa la amplitud de los hábitos alimentarios de la población (Cortés, 1997). Su expresión corresponde a:

$$\%F: (n_p / N_t) \times 100$$

donde n_p corresponde al número total de individuos presa p , y N_t al número total de estómagos con contenido.

Índice de abundancia numérica (%N): Método cuantitativo que revela el esfuerzo de selección de presa. Se expresa como porcentaje de un ítem dado, encontrado en todos los estómagos, con respecto a la suma de todos los ítems encontrados en todos los estómagos con contenido. En este caso no importa el número de estómagos que lo presenta sino la abundancia relativa con la que aparece en cada muestra (Hynes, 1950; García de Jalon *et al.*, 1993). Su expresión corresponde a:

$$\%N: (\sum n_p / \sum N_t) \times 100$$

donde n_p corresponde al número total de la presa p y N_t al número total de presas.

Índice de abundancia gravimétrica (%P): (Hynes, 1950) corresponde al volumen o peso de cada ítem presa del zooplancton. Es el peso húmedo del contenido estomacal, entrega información relacionada con el aporte energético de las presas al depredador (Cortés, 1997) y es expresada como un porcentaje del total del peso de todos los contenidos estomacales (Amundsen *et al.*, 1996; Costello, 1990; Hyslop, 1980). Puede ser expresado como:

$$\%P: (\sum p_p / \sum P_t) \times 100$$

donde p_p corresponde al peso total de la presa p y P_t al peso total de las presas.

Para determinar la importancia relativa de cada taxón presa se utilizará el Índice de Importancia Relativa (% IIR).

Índice de Importancia Relativa (%IIR): el porcentaje de frecuencia de ocurrencia de cada categoría de presa es multiplicado por la suma del porcentaje en volumen (o peso) y porcentaje en número.

$$IIR = \%F * (\%N + \%P)$$

donde:

$\%F$: frecuencia de aparición de los ítems alimenticios en porcentaje.

$\%N$: número de presas de cada taxón en los estómagos en porcentaje.

$\%P$: es el peso de cada ítem alimenticio en porcentaje.

Debido a que no se cuenta con los pesos de células individuales de fitoplancton, para ellas solo se calcularon los índices de frecuencia de ocurrencia (%F) y abundancia (%N).

3. Resultados

3.1) Estado de digestión de los contenidos gástricos

El análisis de contenido estomacal realizado en individuos de sardina austral señaló que el 22% de estómagos presentó contenido (Estado I y Estado II) y el 78% se encontró vacío o digerido completamente. El nivel de proceso digestivo mostró que el 10% se encontró en Estado I o completo, el 12 % se encontró en Estado II o semidigerido y el 78 % en Estado III digerido completamente o vacío (Tabla 2).

De los contenidos estomacales analizados el año 2011 en la zona ISCh se encontraron 3 estómagos en Estado I (completo), 6 estómagos en Estado II (semidigerido) y 48 estómagos en Estado III (totalmente digerido). Sin embargo, en la zona SC en el mismo año todos los individuos presentaron sus contenidos en Estado III (Tabla 2).

Durante el año 2012 en la zona ISCh todos los individuos presentaron sus estómagos vacíos, por lo que no se pudo disponer de esta información para efectos comparativos. En las muestras provenientes desde la zona austral Argentina en este mismo año se encontró que 14 individuos presentaron en sus contenidos organismos identificables (Estado I), 3 estómagos son contenido semidigerido y 27 estómagos en Estado III (completamente digeridos, Tabla 2).

Durante el año 2013 en la zona ISCh se analizaron 262 estómagos, de éstos 100 estómagos presentaron ítems zooplanctónicos y 71 fitoplanctónicos, mientras que en la zona SC se analizaron 159 estómagos de los cuales 5 presentaron ítems zooplanctónicos y 15 fitoplanctónicos (Tabla 3). En total 105 estómagos presentaron contenidos zooplanctónicos y 86 estómagos con contenidos fitoplanctónicos. El estado de digestión de las presas en los contenidos estomacales en este mismo año en la zona ISCh (Tabla 2),

mostró que 41 estómagos presentaron su estado de digestión en Estado I o presas completas, 59 estómagos en Estado II o semidigerido y en estado III o digerido completamente en 162 estómagos. Por otro lado, en la zona SC los estómagos sólo presentaron el Estado II (5 estómagos).

3.2) Composición de la dieta de sardina austral

En los contenidos estomacales analizados en año 2013 (año con mayor número de muestras), se encontraron 8 ítems zooplanctónicos en la zona ISCh, entre ellos los más importantes según sus índices fueron: copépodos pequeños (<1mm) (F=84.0%, N=94.4%, P=38.9% e IIR= 96.3%), copépodos grandes (>1mm) (F=9.0%, N=0.6%, P=1.9% e IIR= 0.2%) y eufáusidos (F=27%, N=4.2%, P=5.6% e IIR= 2.3%; Tabla 4). En la zona SC se encontró 3 ítems en los contenidos gástricos: copépodos pequeños (<1mm) (F=80%, N=88.6%, P=0.7% e IIR= 75.4%), copépodos grandes (>1mm) (F=40%, N=5.7%, P=0.1% e IIR= 2.5%) e isópodos (F=20%, N=5.7%, P=99.2% e IIR= 22.1%) (Tabla 4, Figura 3). En los contenidos gástricos de la zona austral de Argentina (2012) se encontraron 3 ítems: copépodos pequeños (F= 88.2%, N=92.5% e IIR=93.0%), copépodos grandes (F=82.4%, N=7.5% e IIR=7%) y anfípodos (F=5.9%, Tabla 5).

El análisis de los contenidos estomacales reveló la presencia de 9 ítems fitoplanctónicos presentes en los estómagos de los individuos de la zona ISCh y 7 ítems presentes en la zona SC (Tabla 4). Los ítems principales de fitoplancton encontrados en la zona ISCh fueron: diatomeas Céntricas (F=70.4%, N=38.9%, IIR=54.8%), diatomeas pennadas (F=56.3%, N=18.6%, IIR=21%), *Chaetoceros* (F=39.4%, N=23.8%, IIR=18.8). Por otro lado, en la zona SC los ítems principales fueron los mismos que para la zona ISCh:

diatomeas céntricas (F=93.3%, N=27.2%, IIR=40%), diatomeas pennadas (F=86.7%, N=24.0%, IIR=32.7%) y *Chaetoceros* (F=53.3%, N=25.3%, IIR=21.3%, Tabla 4).

Para el análisis de composición dietaria se graficó los porcentajes de abundancia numérica (N%), de ambas zonas (Figura 4). La zona ISCh presentó un 94% de copépodos pequeños, 4% de eufáusidos, 1% de copépodos grandes y 1% anfípodos. En la zona SC un 88% correspondió a copépodos pequeños, 6% a copépodos grandes y 6% a isópodos y en la zona austral Argentina un 93% de copépodos chicos y 7% de copépodos grandes. Los ítems fitoplanctónicos (Figura 5) encontrados en individuos pertenecientes a la zona ISCh fueron: diatomeas céntricas 39%, *Chaetoceros* 24%, diatomeas pennadas 18%, En la zona SC se encontraron: diatomeas céntricas 27%, *Chaetoceros* 25%, diatomeas pennadas 24%.

Las estaciones del año analizadas en ISCh fueron otoño, invierno y verano (Figura 6). Durante el otoño y verano los copépodos pequeños fueron el ítem más importante en la dieta (%IIR=96 y %IIR=100, respectivamente), mientras que en invierno el ítem más importante fueron pequeños eufáusidos (%IIR=65). En cuanto al fitoplancton, el Índice de Importancia Relativa indicó que las diatomeas céntricas se destacaron en todas las estaciones del año (otoño: 53%, invierno: 59% y verano= 35%). Al comparar los otoños de ambas zonas, no se encontró diferencias en la composición de la dieta, por lo que copépodos pequeños sigue siendo el ítem relevante.

En resumen, los ítems que obtuvieron altos índices de importancia relativa (IIR %) de presas zooplanctónicas de sardina austral en ambas zonas fueron copépodos pequeños. Sin embargo, como ítem secundario en la zona ISCh dominaron eufáusidos y en la zona SC dominó isópodos, obteniendo un amplio espectro de presas en la zona del Mar Interior de Chiloé con 8 ítems identificados y 3 ítems identificados en SC. Los índices de importancia relativa (IIR%) determinados para el fitoplancton indicaron que para ambas zonas las

presas más importantes fueron diatomeas céntricas y pennadas, sin embargo, 9 ítems de fitoplancton fueron encontrados en la zona ISCh y 7 ítems fueron encontrados en SC; *Skeletonema* y *Coscinodiscus* no fueron encontrados en SC.



4. Discusión

La dinámica trófica de los peces puede ser seguida a través de análisis de contenido estomacal. Este tipo de estudios permite cuantificar e identificar los vínculos entre predador-presa, los que son importantes desde el punto de vista de la administración y el manejo de los stocks de peces, puesto que la depredación ha sido señalada como uno de los factores importantes en la regulación de la abundancia poblacional (Cortés, 1997). Además, el conocimiento de la alimentación en peces pelágicos como sardina austral permite obtener una visión precisa sobre los periodos en que la especie está acumulando energía para su procesos como crecimiento y/o reproducción, pudiendo además establecerse si la disponibilidad y tipo de alimento que ingiere son factores determinantes en su abundancia.

En el presente trabajo, durante el año 2013 se determinó los componentes principales de fito y zooplancton en la dieta de *Sprattus fuegensis* provenientes de dos zonas: Mar Interior de Chiloé (ISCh) y Región de Aysén o Canales del Sur (SC), encontrándose que en los contenidos gástricos 9 ítems de fitoplancton en la zona ISCh y 7 ítems en la zona SC, siendo en ambos lugares diatomeas céntricas y pennadas las más importantes (IIR%). Por otro lado, las especies *Coscinodiscus* y *Skeletonema* no se presentaron en la dieta en la zona SC. En cuanto al zooplancton, se encontraron 8 ítems en la zona ISCh entre ellos copépodos pequeños (< 1 mm), copépodos grandes (> 1 mm), eufáusidos, isópodos, anfípodos, megalopas, apendicularias y zoeas y, en la zona SC solo 3 ítems: copépodos pequeños, copépodos grandes e isópodos. Estos datos sugieren que los ítems dominantes tanto de fitoplancton como de zooplancton son los mismos en ambas

zonas, difiriendo el segundo ítem zooplanctónico (dominaron los eufáusidos en ISCh y los isópodos en SC).

Aranis *et al.*, (2012) efectuaron un análisis exploratorio del contenido estomacal de *Sprattus fuegensis* durante el otoño, invierno y primavera, determinando solo organismos del zooplancton en la zona del Mar Interior de Chiloé, identificando 10 ítems: eufáusidos, zoeas, megalopas, anfípodos, copépodos, ostrácodos, peces, huevos indeterminados, restos de crustáceos y peces, en su trabajo predominaron larvas del tipo zoeas (IIR: 89,4%), seguidas de eufáusidos (IIR: 5,6%), difiriendo con nuestro estudio en la zona ISCh en el ítems principal al incluir toda la data, pero coincidiendo con el segundo ítems (eufáusidos), además los ítems: ostrácodos, peces y huevos no se observaron en los contenidos gástricos de nuestro trabajo.

Al analizar la composición trófica del contenido gástrico en una escala estacional para el Mar Interior de Chiloé, en nuestro estudio dominaron copépodos pequeños en otoño y verano y, durante invierno dominaron pequeños eufáusidos (Figura 7). Aranís *et al.*, (2012) determinaron que en otoño e invierno existió una dieta basada en eufáusidos y en primavera larvas zoeas dominaron notoriamente la dieta de sardina austral. En Argentina, Ciancio *et al.* (2008) observaron que en verano predominaron miscidáceos en la dieta y en otoño dominaron los copépodos calanoídeos medianos y grandes.

En otras especies de *Sprattus* (*Sprattus sprattus*) de la zona sur del Mar Báltico en todos sus rangos de talla sería zooplanctívora, seleccionando principalmente copépodos (*Temora longicornis*) y cladóceros (*Bosmina marítima*) durante otoño y copépodos de la especie *Pseudocalanus elongatus* en invierno (Casini *et al.*, 2004). Falkenhaus & Dalpadado, (2014) estudiaron la alimentación de *Sprattus sprattus* en el Fiordo de Hardangerfjord, (Noruega occidental) y encontraron que la alimentación estaba basada

sobre una amplia variedad de presas, entre las cuales estaban: copépodos, fitoplancton y meroplancton; y que la dieta habría variado significativamente entre años, estaciones y entre las áreas del fiordo, siendo los copépodos los más importantes en el otoño al igual que en el presente trabajo, Estos resultados sugieren que las especies de este género (*Sprattus*) son flexibles en su alimentación en las distintas localidades y periodos del año, consumiendo, probablemente, los ítems más abundantes en el ambiente cada ocasión.

La alta diversidad de ítems encontrada en la zona ISCh tanto de zooplancton como de fitoplancton coincide con la mayor productividad indicada para esa zona (Iriarte *et al.* 2007; González *et al.*, 2010, 2011), en contraste con la menor productividad de la zona SC, lugar en el que se registró una menor diversidad de ítems en la dieta, lo cual concordaría con la idea de que los miembros del género *Sprattus* se alimentan de los ítems más comunes en cada zona.

En conclusión, se determinó que copépodos pequeños y eufáusidos fueron los componentes principales de las dietas de sardina austral en el Mar Interior de Chiloé (ISCh) y copépodos pequeños e isópodos dominaron en los canales y fiordos (SC). La similitud de ítems dominantes estaría probablemente asociada a la oferta alimenticia de ambas zonas. La mayor abundancia de copépodos en la dieta y en el ambiente coincidiría con períodos reproductivos de sardina austral y con meses de mayor abundancia larval (primavera), por lo que la variabilidad interanual en la abundancia de zooplancton en el fiordo, relacionada con los procesos físicos, puede tener un gran impacto en las condiciones de alimentación para las poblaciones de sardina austral en los fiordos.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por los proyectos, FIP 2012-15 y 2013-11 y el Programa COPAS Sur-Austral. Durante el estudio, S.M. fue financiada por una beca de postgrado de CONICYT y Copas Sur Austral. Los autores agradecen a J. Betzhold, G. Vásquez y R. Riffo por colecciones de muestras de adultos de sardina austral a bordo de las embarcaciones de pesca y en el puerto de pesca artesanal; a C. Alarcón; y al equipo de trabajo del Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología larval (Lopel) de la Universidad de Concepción por el apoyo técnico. Las muestras de *S. fuegensis* de Argentina fueron obtenidas el proyecto FIP 2010-17, dirigido por el Dr. R. Galleguillos.



5. Referencias

- Amundsen, P., Gabler, H., Staldvik, F., 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data – modification of the Costello (1990) method. *Journ. of Fish Biol.* 48: 607–614.
- Aranis, A., Gómez, A., Muñoz, G., Ossa, L., Caballero, L., Cerna, F., López, A., Machuca, C., Vera, C., Eisele, G., 2012. Monitoreo de anchoveta y sardinas en las aguas interiores de la X Región de Los Lagos 2011. Informe Final Pesca de Investigación. IFOP/SUBPESCA. 161 pp.
- Aranis, A., Meléndez, R., Pequeño, G., Cerna, F., 2007. *Sprattus fuegensis* en aguas interiores de Chiloé, Chile (Osteichthyes: Clupeiformes: Clupeidae). *Gayana* 71(1): 102-113.
- Aranis, A., Caballero, L., Cerna, F., Gómez, A., López, A., Bernal, C., 2006. Monitoreo de la pesquería de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X Región, Año 2004. Informe Final, Proyecto FIP 2004-39: 96 pp.
- Arrhenius, F., 1996. Diet composition and food selectivity of 0-group herring (*Clupea harengus*) and sprat (*Sprattus sprattus*) in the northern Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 701e712
- Cardinale, B.J., Srivastava, D. S., Duffy, J. E., Wright, J.P., Downing, A.L., Sankaran, M., Jouseau, C., 2006. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nat.* 443, 989–992.

- Casini, M., Cardinale, M., Arrhenius, F., 2004. Feeding preferences of herring (*Clupea harengus*) and sprat (*Sprattus sprattus*) in the southern Baltic Sea. ICES J. Mar. Sci. 61: 1267-1277.
- Castillo, J., Molina, E., 2007. Evaluación Hidroacústica de Pequeños Pelágicos en el Mar Interior de Chiloé (X Región), año 2006. En Informe de Avance Proyecto de Investigación. 48 pp + Anexos.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Catasti, V., 2001. Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2000. Informe Final, FIP-IT/2000-09: 151 pp.
- Cerna, F., Leal, E., López, A., Plaza, G., 2014. Age, growth and natural mortality of the Patagonian sprat *Sprattus fuegensis* (Jenyns, 1842) in Chiloe inland sea, southern Chile. Latin American Journal of Aquatic Research, 42, 580-587.
- Cerna, F., Quiroz, J., López, A., Aranís, A., 2007. Edad y Crecimiento de sardina fueguina (*Sprattus fueguensis*, Jenyns, 1842) en el Mar Interior de la Isla Chiloé, Pacifico Sur-Este frente a Chile. XXVII Jornadas Ciencias del Mar. Iquique – CHILE.
- Ciancio, J.E., Pascual, M.A., Botto, F., Frere, E., Iribarne, O., 2008. Trophic relationships of exotic anadromous salmonids in the southern Patagonian Shelf as inferred from stable isotopes. Limnology and Oceanography, 53, 788-798.
- Cortés, E., 1997. A critical review a methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 726-738.
- Costello, M. J., 1990. Predator feeding strategy and prey importance: a new graphical analysis. J. Fish Biol. 36: 261-263.

- Cubillos, L., Pedraza, M., 2013. Evaluación hidroacústica de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X y XI regiones, año 2013. Informe preliminar de crucero Proyecto FIP 2013-11. 24 pp.
- Cubillos, L., Castillo, C., Paramo, J., Rodríguez, A., 2011. Determinar la abundancia y biomasa por clase de talla, grupo de edad y estrato geográfico, de los recursos anchoveta, sardina común y sardina austral, presentes en la zona de estudio durante el periodo de desove de sardina austral, esto es, en la primavera del 2010. En “Estimación de Abundancia, Biomasa y Distribución Espacial de Pequeños Pelágicos en Aguas Interiores de la X y XI Regiones y, su Relación con Algunas Variables Ambientales, Año 2010. Informe Final Corregido II.
- Cury, P., Roy, C., 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 670-680.
- Falkenhaus, T., Dalpadado, P., 2014. Diet composition and food selectivity of sprat (*Sprattus sprattus*) in Hardangerfjord, Norway. *Marine Biology Research.* 10(3): 203-215.
- Falkenhaus, T., Tande, K., Timonin, A., 1997. Spatio-temporal patterns in the copepod community in Malangen, Northern Norway. *Journal of Plankton Research* 19:44968.
- Falkenhaus, T., Nordby, E., Svendsen, H., Tande, K., 1995. Impact of advective processes on displacement of zooplankton biomass in a North Norwegian fjord system: A comparison between spring and autumn. In: Skjoldal HR, Hopkins C, Erikstad KE, Leinaas HP, editors. *Ecology of Fjords and Coastal Waters*. Amsterdam: Elsevier Science, p 195217.

- Fuentealba, M., 1993. Relaciones tróficas intraespecíficas de la merluza común *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) (Pisces, Gadiformes, Merluccidae), de Chile Central. Tesis de Magister para optar al título de Magister en Ciencias con Mención en Zoología. Univ. de Concep. 110 p.
- García de Jalón, D., Rustarazo, M., Hervella, R., Culebras, E., Fernández, T., 1993. Principios y técnicas de gestión de la pesca de aguas continentales. Mundi Prensa Madrid. 247 pp.
- Gerking, S.D., 1994. Feeding ecology of fish. Academy Press. San Diego. 416 pp.
- González, H.E., Castro, L.R., Daneri, G., Iriarte, J.L., Silva, N., Vargas, C.A., Giesecke, R., Sánchez, N., 2011. Seasonal plankton variability in Chilean Patagonia fjords: carbon flow through the pelagic food web of Aysén Fjord and plankton dynamics in the Moraleda Channel basin. *Continental Shelf Research*, 31, 225–243.
- González, H.E., Calderon, M.J., Castro, L., Clement, A., Cuevas, L.A., Daneri, G., Iriarte, J.L., Lizarraga, L., Martínez, R., Menschel, E., Silva, N., Carrasco, C., Valenzuela, C., Vargas, C.A., Molinet, C., 2010. Primary production and plankton dynamics in the Reloncaví Fjord and the Interior Sea of Chiloe, Northern Patagonia, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 13-30.
- Hynes, H. B. N., 1950. The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*) with a review of methods used in the studies of the food of fishes. *J. An. Ecol.* Vol. 19: 36-58.
- Hyslop, E.J., 1980. Stomach contents analysis - a review of methods and their application. *J. Fish Biol.* 17: 411-429.

- Iriarte, J., Gonzáles, H., Liu, K., Valenzuela, C., 2007. Spatial and temporal variability of chlorophyll and primary productivity in surface waters of southern Chile (41.5-43° S). *Estuar. Coas. and Sh. Scien.* 74: 471-480.
- Landaeta, M.F., Bustos, C.A., Palacios-Fuentes, P., Rojas, P., Balbontín, F., 2011. Distribución del ictioplancton en la Patagonia austral de Chile: potenciales efectos del deshielo de Campos de Hielo Sur. *Latin American Journal of Aquatic Research* 39(2): 236-249.
- Landaeta, M.F., Castro, L.R., 2006. Spawning and larval survival of the Chilean hake *Merluccius gayi* under strong summer upwelling conditions off central Chile. *Fisheries Research* 77: 115–121.
- Leal, E., Mariella Canales, T., Aranís, A., Gonzalez, M., 2011. Reproductive activity and maturity length of Patagonian sprat *Sprattus fuegensis* in Chiloe inland seawaters, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 46, 43-51.
- Lillo, S., Olivares, J., Braun, M., Díaz, E., Núñez, S., Saavedra, J., Tascheri, R., 2004. Evaluación hidroacústica de merluza común, año 2004. FIP 2004–09. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso (2005) pp. 396.
- Kaartvedt, S., Rostad, A., Klevjer, T.A., 2009. Sprat *Sprattus sprattus* can exploit low oxygen waters for overwintering. *Marine Ecology Progress Series* 390:237-49.
- Madirolas, A., Hansen, J.E., 2000. Sardina fueguina (*Sprattus fuegensis*). En: Síntesis del estado de las pesquerías marítimas argentinas y de la Cuenca del Plata, años 1997-1998, con una actualización de 1999 (S. Bezzi, R. Akselman y E. Boschi, Eds.). Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina, 388 pp.

- Möllmann, C., Köster, F. W., 1999. Food consumption by clupeids in the Central Baltic: evidence for top down control. *ICES Journal of Marine Science*, 56(Suppl.): 100-113.
- 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. Universidad Austral de Chile, 198 p.
- Niklitschek, E., Cornejo, J., Hernández, E., Toledo, P., Merino, R., Lafón, A., Meza, A., 2007. Evaluación hidroacústica de *Sprattus fuegensis* en los canales interiores de la X región. Universidad Austral de Chile- Centro Trapananda, Coyhaique. Informe CT 07-01, 31p.
- Palma, S., Silva, N., 2004. Distribution of siphonophores, chaetognaths and euphausiids and oceanographic conditions in the fjords and channels of southern Chile. *Deep-Sea Res. II*, 51: 513-535.
- Pavés, H., González, H.E., Castro, L., Iriarte, J.L., 2014. Carbon flows through the pelagic sub-foodweb in two basins of the Chilean Patagonian coastal ecosystem: the significance of coastal–ocean connection on ecosystem parameters. *Estuaries and Coasts*.
- Peck, M.A., Baumann, H., Bernreuther, M., Clemmesen, C., Herrmann, J.P., Haslob, H., Huwer, B., Kanstinger, Ph., Köster, F.W., Peterit, Ch., Temming, A., Voss, R., 2012. Reprint of: The ecophysiology of *Sprattus sprattus* in the Baltic and North Seas. *Progr. in Oceanogr.* 107 (2012): 31–46.
- Ramírez, F. C., 1976. Contribución al conocimiento del espectro alimenticio de la sardina fueguina (Clupeidae, *Sprattus fuegensis* (Jenyns)). *Neotropica (La Plata)* 22 (68),

137-142.

Ryther, J.H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science* 166, 72-76.

Rodríguez, J., Villamizar, E., 2006. Alimentación del pez tropical *Gobioides broussoneti* (Pisces: Gobiidae) en la laguna de Unare, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 54: 1093-1098.

Salvanes, A.G.V., Aksnes, D., Fossa, J.H., Giske, J., 1995. Simulated carrying capacities of fish in Norwegian fjords. *Fisheries Oceanography* 4:1732.

Silva, G.S., Pequeño, G. 2007. Los peces Clupeiformes del litoral valdiviano (Chile): Clave de reconocimiento y comentarios (Pisces: Osteichthyes). *Revista de Biología Marina y Oceanografía, Valparaíso.* 42: 357-363.

Silva, N., Calvete, C., 2002. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre el golfo de Penas y el estrecho de Magallanes (Crucero CIMAR Fiordo 2). *Cienc. Tecnol. Mar*, 22(1): 23-88.

Silva, N., Calvete, C., Sievers, H. A., 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (Crucero CIMAR-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 21: 17-48.

Thiel, R., Mehner, T., Kopcke, B., Kafemann, R., 1996. Diet niche relationships among early life stages of fish in German estuaries. *Marine and Freshwater Research* 47:12336.

Whitehead, P.J., 1985. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). F.A.O. Fish. Synopsis 125(7):1-303.

Zuleta, A., Rubilar, P., 2010. Impacto del desarrollo de una pesquería de sardina austral (*Sprattus fueguensis*) en aguas interiores de las regiones X-XII. (CEPES S.A.). Informe Técnico CEPES SA. 8 p.



Figura 1: Distribución geográfica de sardina austral en el cono sur austral.

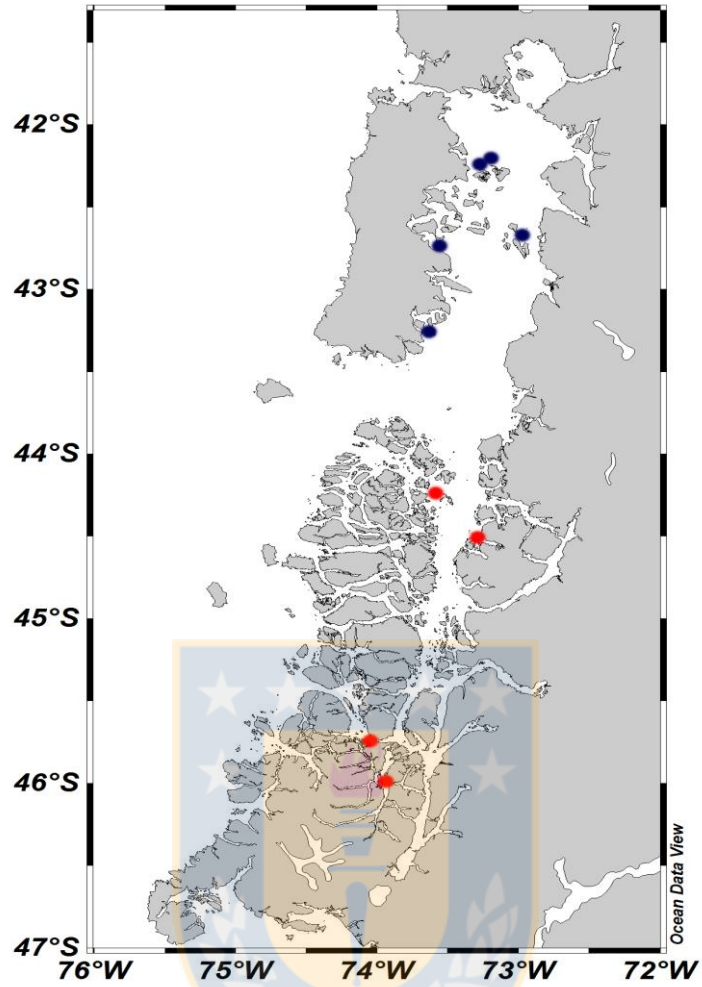


Figura 2: Mapa de distribución de adultos de sardina austral durante el año 2013 en el Norte de la Patagonia Chilena. Círculos azules = Zona ISCh y Círculos rojos = Zona SC.

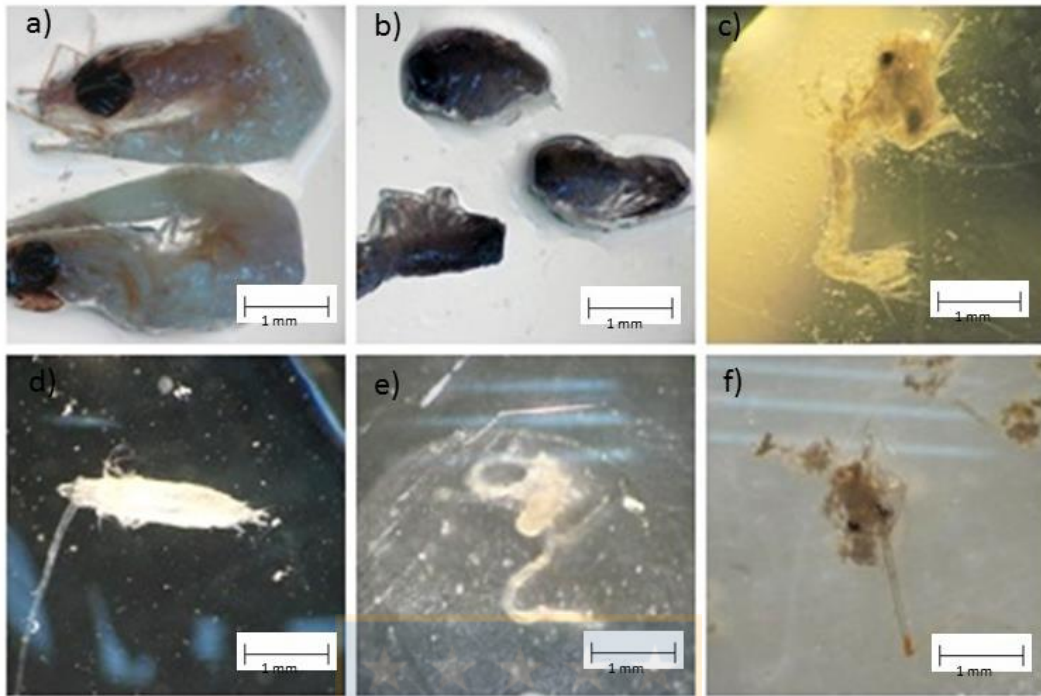


Figura 3: Principales ítems encontrados en los contenidos gástricos de sardina austral, donde: a) Eufáusidos, b) Anfípodos, c) Megalopa, d) Copépodo grande, e) Apendicularia y f) Zoea.

Tabla 1: Número de individuos de analizados por año y zona.

ZONA	2011	2012	2013	
ISCh	57	59	262	
SC	20		159	
Argentina	0	44	0	
Total	77	103	421	601



Tabla 2: Número de individuos analizados por año, clasificando sus contenidos gástricos por estado de digestión (Estado I= no digerido, Estado II= semidigerido Estado III= digerido completamente).

Número de Individuos/ Estado del contenido	2011		2012			2013		Total	
	ISCh	SC	ISCh	SC	Arg	ISCh	SC	N° ind	Porcentaje (%)
Estado I	3				14	41	0	58	10%
Estado II	6				3	59	5	73	12%
Estado III	48	20	59		27	162	154	470	78%
Total	57	20	59		44	262	159	601	

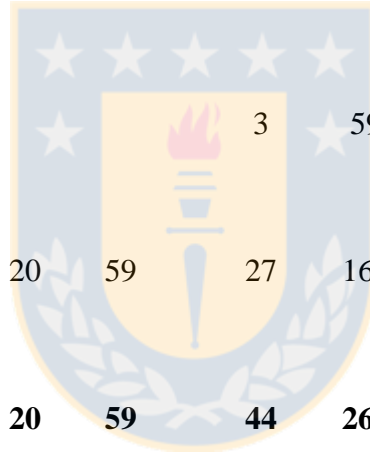


Tabla 3: Número de individuos totales, número de estómagos con zooplancton reconocible y con fitoplancton, clasificados por estación del año, zona y región durante el año 2013.

Zona	Estación de año	N° de estómagos	Estómagos con contenido de zooplancton	Estómagos con contenido de fitoplancton
ISCh	Otoño	178	94	35
	Invierno	35	2	16
	Verano	49	4	20
SC	Otoño	159	5	15
		421	105	86

Tabla 4: Índices de Frecuencia (%F), Abundancia (%N), Peso gravimétrico (%P) e Importancia Relativa (%IIR) en ítems zooplanctónicos y fitoplanctónicos presentes en todos los contenidos gástricos analizados en las zonas ISCh y SC durante el año 2013 (estaciones combinadas).

Ítems presas	ISCh				SC				
	F%	N%	P%	IIR%	F%	N%	P%	IIR%	
Zooplancton									
Copépodos pequeños	cpp	84.0	94.4	38.9	96.3	80	88.6	0.7	75.4
Copépodos grandes	cg	9.0	0.6	1.9	0.2	40	5.7	0.1	2.5
Eufáusidos	euf	27.0	4.2	5.6	2.3	0	0	0	0
Isópodos	isop	2.0	0.2	34.4	0.6	20	5.7	99.2	22.1
Anfípodos	anf	4.0	0.5	14.5	0.5	0	0	0	0
Megalopas	meg	2.0	0.1	1.9	0.03	0	0	0	0
Apendicularias	apen	1.0	0.02	0.5	0	0	0	0	0
Zoeas	zoe	3.0	0.1	2.3	0.1	0	0	0	0
Fitoplancton									
<i>Coscinodiscus</i>	cosci	4.2	2.8		0.2	0	0		0
<i>Pseudonitzschia</i>	pseudo	11.3	1.4		0.3	20	7.8		2.5
<i>Rhizosolenia</i>	rhizos	4.2	0		0	20	8.3		2.6
<i>Chaetoceros</i>	chae	39.4	23.8		18.8	53.3	25.3		21.3
Diat. Céntricas	cen	70.4	38.9		54.8	93.3	27.2		40
Diat. Pennadas	penn	56.3	18.6		21	86.7	24		32.7
<i>Asterionellopsis</i>	aste	14.1	3.1		0.9	13.3	1.4		0.3
<i>Thalassiosira</i>	thal	18.3	10.8		4	6.7	6		0.6
<i>Skelotonema</i>	ske	2.8	0.7		0.04	0	0		0

Tabla 5: Índices de Frecuencia (%F), Abundancia (%N), e Importancia Relativa (%IIR) en ítems zooplanctónicos en la zona austral de Argentina durante el año 2012.

Items	F%	N%	IIR%
Copépodos pequeños	88.2	92.5	93.0
Copépodos grandes	82.4	7.5	7.0
Anfípodos	5.9	0.0	0.0



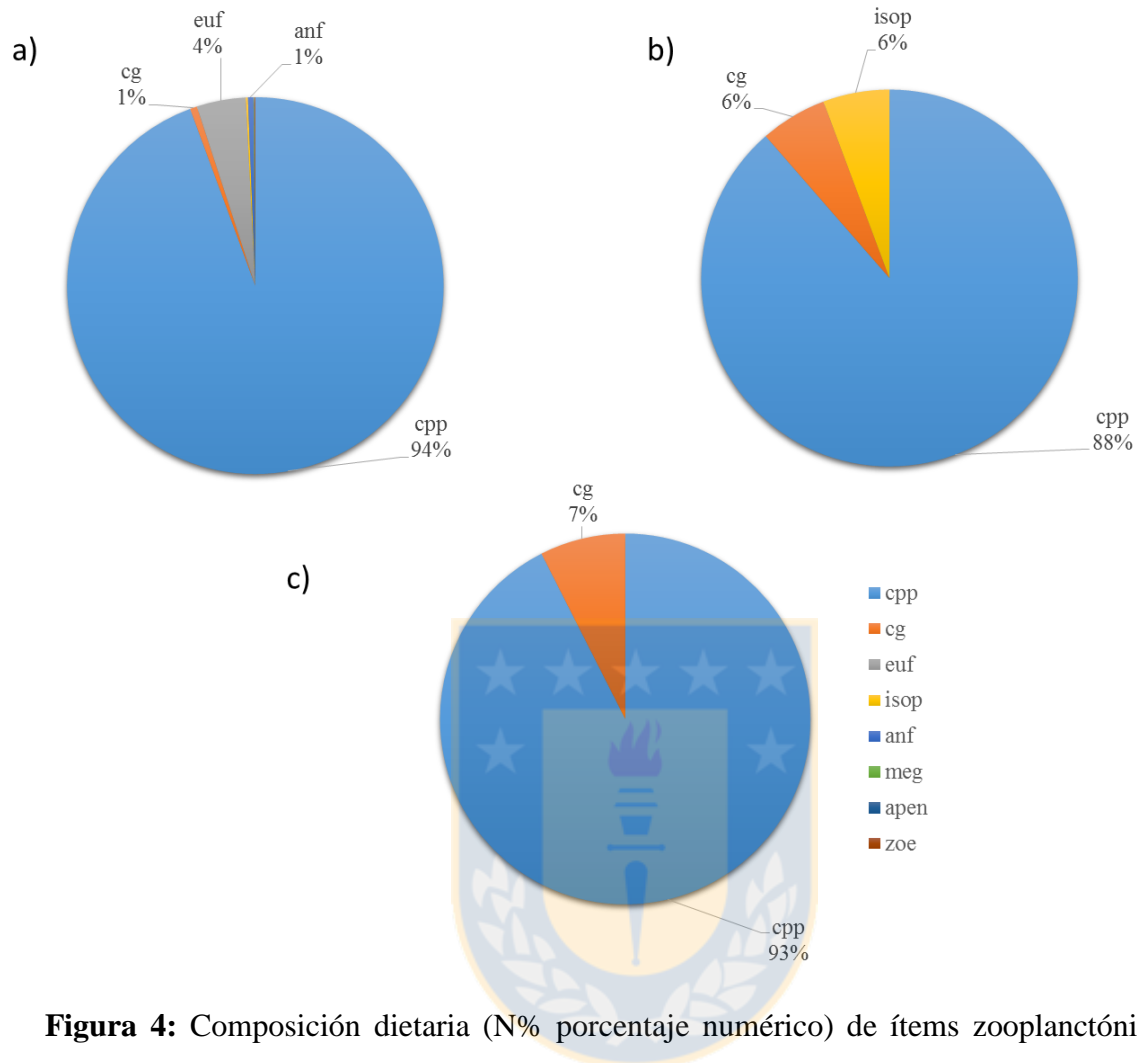


Figura 4: Composición dietaria (N% porcentaje numérico) de ítems zooplanctónicos en contenido estomacal de sardina austral en las tres estaciones (combinadas) del año 2013, donde a) zona ISCh, b) zona SC y c) zona austral Argentina.

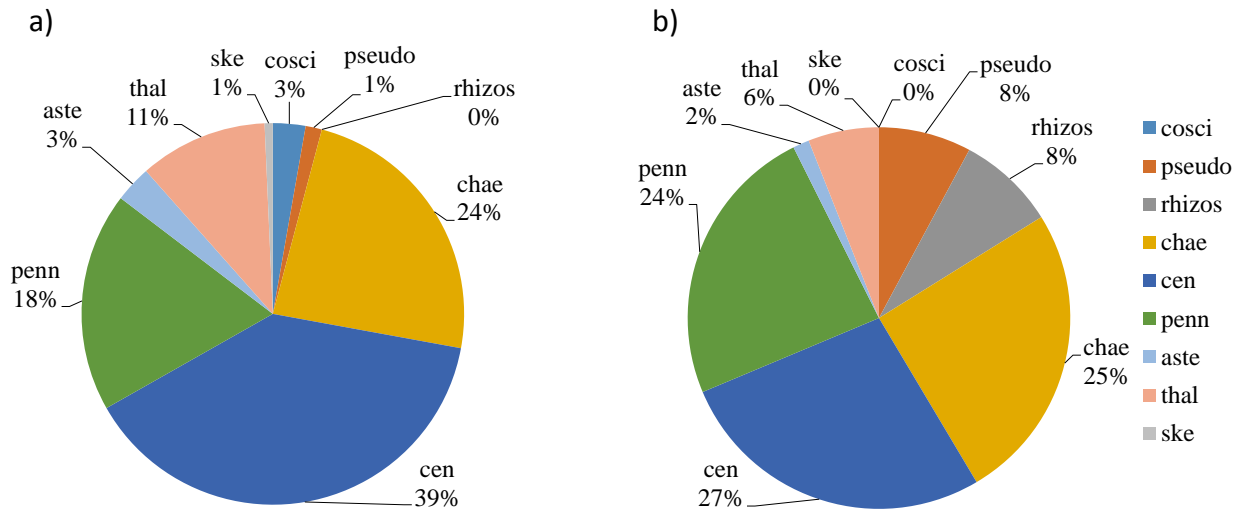


Figura 5: Composición dietaria (N% porcentaje numérico) de ítems fitoplanctónicos en contenido estomacal de sardina austral en toda la data del año 2013, a) zona ISCh b) zona SC.



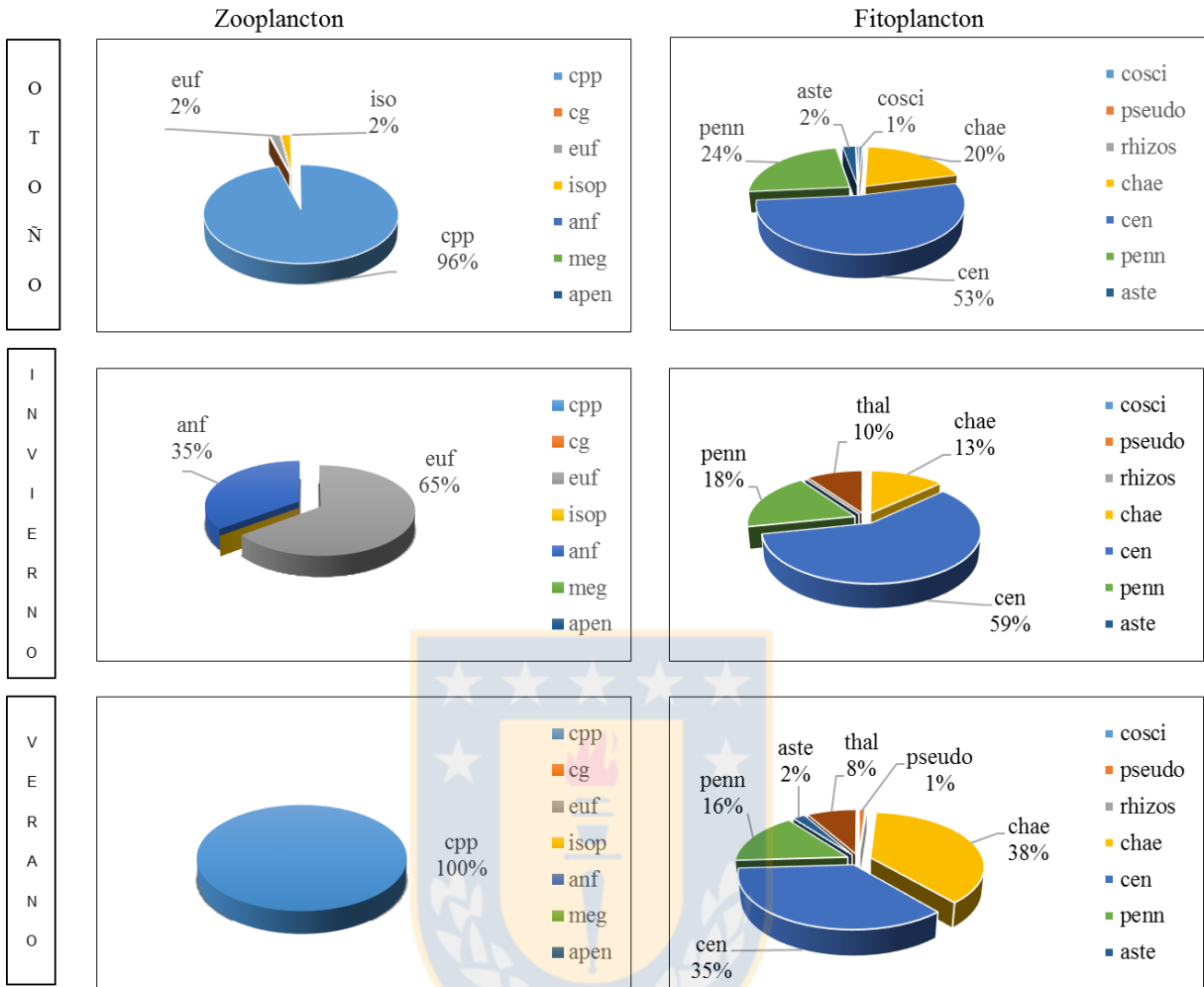


Figura 6: Índice de Importancia relativa (%IIR) de los componentes zooplanctónicos y fitoplanctónicos de la dieta correspondiente a la zona ISCh (Mar Interior de Chiloé) en los meses de otoño, invierno y verano, año 2013.

Estudio de Aranís *et al.*, (2012)

Nuestro estudio

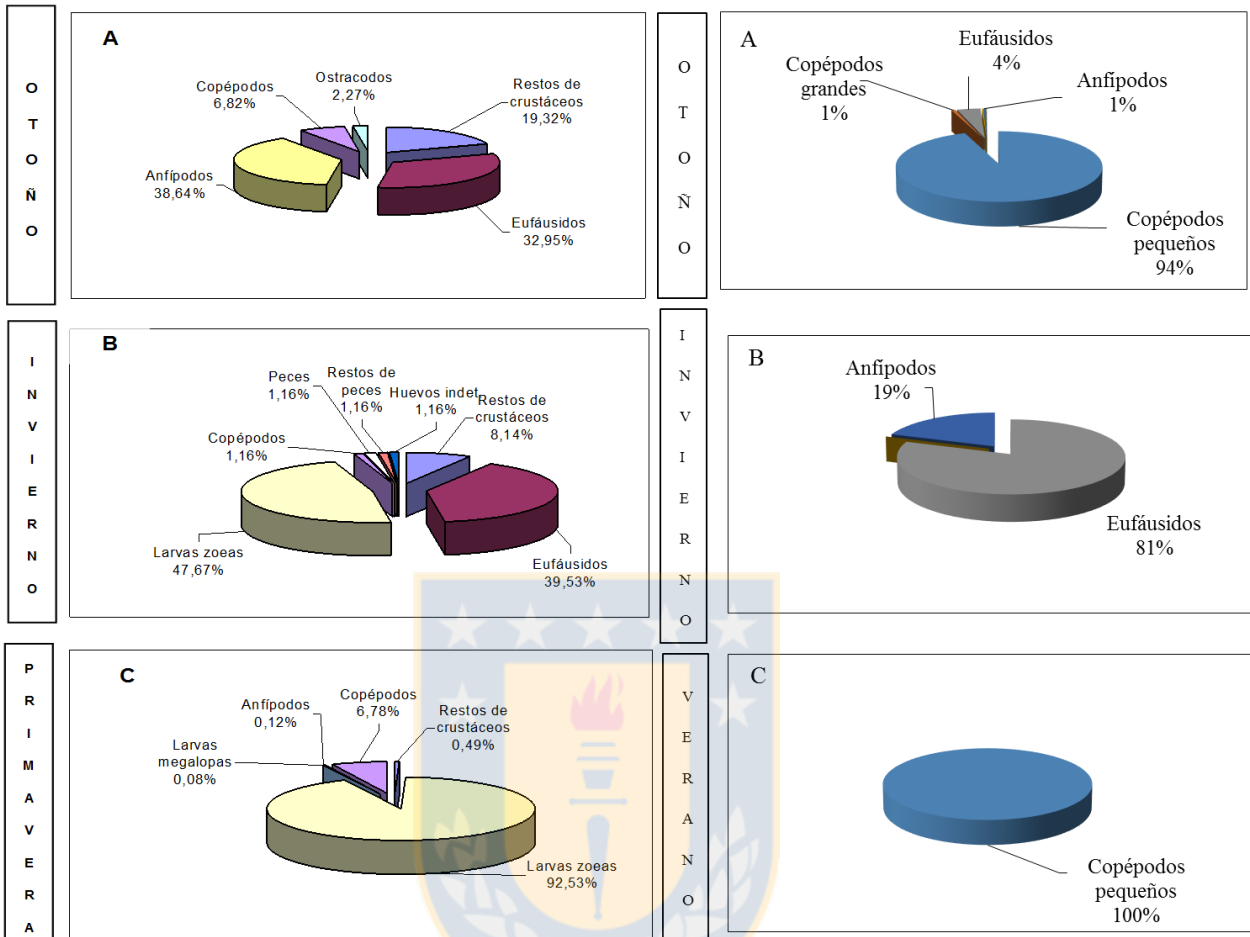


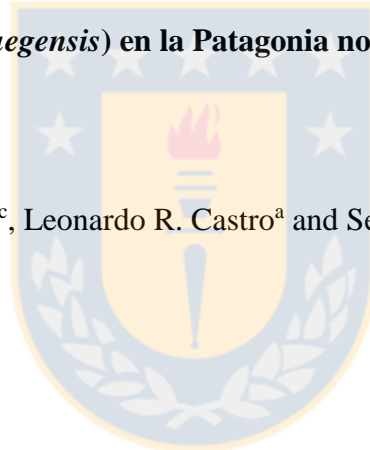
Figura 7: Comparación estacional de Índice Numérico (%N) entre el estudio de Aranís *et al.*, (2012) y nuestro estudio en la zona ISCh (Mar Interior de Chiloé).

CAPITULO 2

Title: Stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) and trophic level variation in Patagonian sprat (*Sprattus fuegensis*) in the Northern Chilean Patagonia.

Artículo enviado a Fisheries Research

Variación en la composición de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en Patagonian sprat (*Sprattus fuegensis*) en la Patagonia norte de Chile.



Authors: Sandra Montecinos^{a,c}, Leonardo R. Castro^a and Sergio Neira^b

^aLaboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología larval (LOPEL) and Programa COPAS Sur-Austral. Departamento de Oceanografía. Universidad de Concepción. Chile.

^bPrograma COPAS Sur-Austral. Departamento de Oceanografía. Universidad de Concepción. Chile.

^c Magíster en Ciencias com mención en Pesquerías. Universidad de Concepción. Chile.

Abstract

Patagonian sprat (*Sprattus fuegensis*) is an important forage fish species in the North Chilean Patagonia. We assessed spatial and seasonal differences in this species isotopic composition and trophic levels using stable isotopes of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$). Fish were sampled from the North Chilean Patagonia (Inner Sea of Chiloé, 42-45°S; Southern Channels, 45-47°S) and southern Argentina (53°S, 67°W). Samples of muscle tissue were obtained from adult sprat between 2011 and 2013. The zooplankton and phytoplankton that make up the sprat diet were also sampled. $\delta^{13}\text{C}$ was different for Patagonian sprat caught from Atlantic and Pacific areas, suggesting that the former receive larger contributions of terrigenous organic carbon than do the latter. The sprat from the north Chilean Patagonia had higher $\delta^{15}\text{N}$ values than in sprat from Argentina and then those reported in *Sprattus sprattus* in the Northern Hemisphere. However, the range of trophic levels calculated herein for the north Chilean Patagonian sprat was wide and encompassed the values previously reported for Argentina suggesting that the diet of this species is flexible and that the main food source may be different in different environments.

Within the north Chilean Patagonia, $\delta^{13}\text{C}$ values for sprat from the SC were higher (-16.6 vs -17.7‰) than those from the ISCh in fall 2013. Winter sprat from the Inner Sea of Chiloé showed inter-annual variations of $\delta^{15}\text{N}$. A positive relationship was determined between $\delta^{15}\text{N}$ values and total length of Patagonian sprat in the Inner Sea of Chiloé, a sector reported to have higher productivity. The collected sprat in the Southern Channels, a sector with lower productivity and a heterotrophic food web, were smaller. However, these small size sprat consumed organisms of a higher trophic level, again suggesting the versatile

feeding behavior as part of a feeding strategy that may be beneficial in areas that experience large seasonal variations in food availability and food webs.

Keywords: Stable isotopes, small pelagic fish, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, sprat, Patagonia, fjords



1. Introduction

The Patagonian sprat (*Sprattus fuegensis*; Jenyns, 1842) is a small pelagic Clupeid fish that inhabits the fjords and channels of the Chilean Patagonia. It is distributed along the southern tip of South America from 41°S and the Falkland Islands in the Atlantic to 41°S off Chiloé in the Pacific Ocean. This sprat tolerates low salinities and can be found within the first meters of the water column (Madirolas and Hansen, 2000; Sabatini et al., 2001; Aranís et al., 2007). Patagonian sprat has been reported in Argentina since 1975 (Ramírez, 1976), but it only recently (since 2004) appeared in Chilean fishery statistics for the North Chilean Patagonia (41-47°S) (Aranís et al., 2006). Most likely, this species was present in the region before that date but was mistakenly reported as common sardine.

During the last decade, Patagonian sprat has become the primary resource for the small pelagic fishery off southern Chile. Off Chiloé, sprat constitute the highest catches (66%) of artisanal fishery landings, followed by common sardine (18%) and anchoveta (12%) (Aranís et al., 2006). Niklitschek et al. (2007) reported biomass estimates for the Inner Sea of Chiloé (ISCh) of 335,000 tons in 2006, but Cubillos et al. (2011) later reported lower biomass estimates of only 68,000 tons in ISCh (41-45°S) and 48,000 tons in the Southern Channels (SC, 45- 47°S) for 2010.

Studies of Patagonian sprat in Chile have looked at growth parameters estimated from otolith analyses (Cerna et al., 2014), estimates of reproductive season and length at first reproduction or maturity (13.5 cm; Leal et al., 2011), adult distribution in the inner waters of North Patagonia (Aranís et al., 2006), larval and adult feeding (Aranís et al., 2012; Contreras et al., 2014), and genetic studies (mitochondrial DNA and microsatellites)

that revealed a single mixed population inhabiting North Patagonia (41-47°S; Galleguillos et al., 2012). Although information on Patagonian sprat as a forage species in this zone is still limited, some authors believe sprat plays a fundamental role in the Patagonian ecosystem. It is present in the diet of hoki (*Macroronnus magellanicus*), southern hake (*Merluccius australis*), congers (*Genypterus blacodes*, *Genypterus maculatus*; both commercially important), mammals (seals, dolphins and whales), penguins, and seabirds (cormorants, pelicans; Madirolas and Hansen, 2000).

The Patagonian sprat feeds on zooplankton, including zoeas, euphausiids, and amphipods (Aranis et al., 2012). Argentine studies have indicated that the sprat diet also includes medium and large copepods (Ciancio et al., 2008). Plankton, the preferred food of these fish, are very small, making it difficult to perform direct observations of sprat and their prey in the field. Studies of stomach contents of planktivorous fish are also complicated by this factor: zooplankton and phytoplankton are difficult to identify and quantify because of their small size. The time-consuming analyses required when working with such small species may also result in underestimates of some prey due to differential digestion rates in fish digestive tracts. Traditional studies based on gut contents, thereof, can only provide information on the most recent diet and it is not possible to identify items consumed more than a few hours after ingestion (Madirolas and Hansen, 2000; Aranis et al., 2007).

Stable isotope methods allow us to study the trophic organization of a pelagic food web over a relatively longer period of time (weeks to months) due to the slow rate of movement of isotopes in muscle tissues (Lindsay et al., 1998; Dalerum and Angerbjorn, 2005; Martínez del Río et al., 2009). Stable isotope analysis is commonly used to study trophic relationships in marine ecosystems (Peterson and Fry, 1987; Kwak and Zedler,

1997; Fantle et al., 1999; Peterson, 1999). Isotopes are measured as a ratio of their heavy to light forms relative to a standard (Peterson and Fry, 1987), and the stable isotope ratios of nitrogen ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) and carbon ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) are used to examine the temporal integration of an organism relative to trophic level and the origin of the organic carbon consumed (Post, 2002; Fry, 2006). For nitrogen, the heavier isotope (^{15}N) is retained at a higher rate than the lighter form (^{14}N), with each trophic level accounting for an approximate enrichment of 3.4‰ (Minagawa and Wada, 1984; Post, 2002). In *Sardina pilchardus*, for instance, Bode et al. (2007) showed that $\delta^{15}\text{N}$ in muscle integrate the diet for periods up to 80 days.

For carbon isotopes, trophic fractionation between levels is much less predictable, with mean values ranging from 0.8‰ (Vander Zanden and Rasmussen, 2001) to 0.4‰ (SD = 1.3; Post, 2002) per trophic level in aquatic systems. Different sources of carbon fixation at the level of primary production can lead to larger differences in $\delta^{13}\text{C}$ (Fry, 2006). In aquatic systems, differences in $\delta^{13}\text{C}$ occur between nearshore (more enriched in ^{13}C) and offshore waters (Miller et al., 2008), and also with depth (Bosley et al., 2002).

Spatial changes in the predominant trophic webs and in isotopic composition at different trophic levels have been reported along the Chilean Patagonia. Between 47°S and 52°S, the isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) of the more interior food webs differed from those of the more exterior areas (nearer the continental shelf). These variations resulted from different inputs of fresh versus salty water to the fjords and channels (Vargas et al., 2011).

In our study area (42-47°S), variations in $\delta^{13}\text{C}$ levels in the surface sediments have been reported resulting from differential inputs of organic carbon between the South

Channels zone (SC, 45-47°S) and the Inner Sea of Chiloe zone (ISCh, 42-45°S). SC receives more terrestrial input (Mayr et al., 2011; Rebolledo et al., 2011; Sepúlveda et al., 2011; Silva et al., 2011; Lafón et al., 2014; Mayr et al., 2014; Zapata-Hernández et al., 2014) due to the large amounts of fresh water from rivers, rain, and glacial melting, whereas ISCh is more influenced by offshore seawater (Silva and Calvete, 2002; Valdenegro and Silva, 2003). Other studies have shown inter-zonal differences in trophic webs as a consequence of the type and amount of nutrients that support the primary producers (González et al., 2010, 2011; Pavés et al., 2014).

The main objective of this study was to assess the existence of differences in organic carbon sources and the trophic level of Patagonian sprat between the ISCh and SC using two stable isotopes: $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. For this, we sampled adults of this species in different years and different seasons. We also compared these results with those obtained for individuals collected off the Argentine Patagonia in the Atlantic. This is the first trophic study of Patagonian sprat (*Sprattus fuegensis*), a key forage species in North Chilean Patagonia, utilizing stable isotopes. Not only have *Sprattus* fisheries experienced rapid changes throughout the past decade, but this ecosystem is also expected to change markedly as freshwater inputs vary due to increasing glacial melting (global climate change) and hydropower damming.

2. Methods

2.1 Data collection

Samples were taken in fall, winter, and summer of 2011, 2012, and 2013. A total of 141 muscle tissue samples were obtained from Patagonian sprat caught with seine trawls from artisanal boats. Two sectors of the North Chilean Patagonia were sampled: the Inner Sea of Chiloé (ISCh, 41°30' to 43°30' S), and the Southern Channels (SC, 43°50' to 46°44' S; Fig. 1). In 2012, samples were also obtained from southern Argentina (N = 5, 53°00' S, Table 1). The greatest number of samples (N = 109) was collected in fall 2013, with 67 individuals from ISCh and 42 from SC. All adult Patagonian sprat were measured on board for total length (TL) and total weight (TW) and then were immediately frozen at -20°C for later processing in the laboratory.

Zooplankton samples (0-70 m depth) were collected in fisheries (stock assessment) and during oceanographic cruises (CIMAR Fjord Cruises 18 and 19) in 2012 and 2013. Samples were collected with a Tucker Trawl net (1-m² mouth opening, 300-µm mesh) equipped with a GO flowmeter. At each station, while the zooplankton samples from one net were preserved in 10% formalin for later taxonomic analysis in the laboratory, the zooplankton samples from the other nets were sieved (120 µm) to remove the water, and then they were frozen in 20-mL bottles in liquid nitrogen.

In parallel, plankton samples were obtained from seawater samples collected with 2-L Niskin bottles at depths of 4 and 12 m. Seawater samples were pre-sieved (120-µm mesh) to remove any possible remains of zooplankton, and then the particulate material that passed through the 120-µm mesh was retained on pre-combusted (at 550°C) glass fiber

filters (GFF, 0.7- μm pore diameter, 47-mm diameter). All samples were then frozen in liquid nitrogen for later analysis. These samples were used to estimate the organic carbon that forms the basis of the food web (phytoplankton).

2.2 Laboratory analysis

In the laboratory, a small piece of white muscle was removed from the anterior-dorsal region of the adult Patagonian sprat. Tissue samples were dried in a drying oven for 48 h at 60°C. Later, 1.5 mg of the dried muscle tissue was dissected and packed in tin capsules to be sent for isotopes analyses. Zooplankton samples were washed with distilled water prior to separating subsamples of the most abundant zooplankton groups or taxa (copepods, euphausiids, amphipods, mysidacea) under a stereoscopic microscope. The zooplankton groups were dried in a drying oven for 48 h at 60°C, weighted up to 1.5 mg, and packed in tin capsules. Similarly, the pre-combusted filters containing phytoplankton were also dried for 48 h at 60°C but were stored in criovials for later isotopic analyses.

A total of 146 fish samples from the different years and locations were analyzed for isotopes (99 from ISCh, 42 from SC, 5 from Argentina). In parallel, 42 and 30 samples containing copepods and 22 and 26 samples of phytoplankton collected in fall 2013 were analyzed for isotopes from ISCh and SC, respectively. Stable isotope ratios of carbon and nitrogen were measured at the University of California, Davis, USA, by continuous flow isotope ratio mass spectrometry (20-20 mass spectrometer, PDZ Europa) after sample combustion to CO₂ and N₂ at 1000°C in an on-line elemental analyzer (PDZ Europa ANCA-GSL).

2.3 Stable isotope analysis

Stable isotope ratios are expressed in delta (δ) notation, defined as the parts per thousand (‰) deviation from a standard material (Pee Dee Belemnite for $\delta^{13}\text{C}$ and atmospheric nitrogen for $\delta^{15}\text{N}$) according to:

$$\delta X = \left[\frac{(R_{\text{sample}})}{(R_{\text{standard}})} - 1 \right] \times 1000 \quad \text{Eq (1)}$$

where $X = ^{13}\text{C}$ or ^{15}N , and $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ or $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (Peterson and Fry, 1987).

To estimate the trophic level (TL), we considered phytoplankton to be the basis of the food web, or the first trophic level. The following trophic positions were computed according to:

$$TL_{\text{consumer}} = \left[\frac{(\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}})}{3.4} \right] + 1 \quad \text{Eq (2)}$$

where $\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}}$ is the $\delta^{15}\text{N}$ measured value. The $\delta^{15}\text{N}$ base value was attributed to primary producers ($\delta^{15}\text{N}_{\text{phytoplankton}}$) and thus represents the reference value at the base of the food web (trophic position = 1); 3.4‰ is the enrichment in $\delta^{15}\text{N}$ per trophic level (Post, 2002).

We based our calculations of trophic levels during all falls and winters in ISCh and SC on the phytoplankton values measured in 2013 in those areas. Trophic level estimates of sprat from Argentina were done following Ciancio et al. (2008; Table 1), using a $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ of 7.3 that corresponded to the euphausiid *Euphausia lucens*.

2.4 Statistical analysis

Statistical analyses were conducted in R software (R Development Core Team, 2011). We compared $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values for the winters of 2011, 2012, and 2013 in ISCh. For the season with the highest number of samples (fall 2013), we also compared $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values between ISCh and SC. Isotopic data from the 2012 Argentine samples were also compared with the 2012 data from ISCh. The data were first examined for normality and homogeneity of variance using the Bartlett Test. A Mann-Whitney U Test was used to analyze non-parametric data. For parametric data, we used ANOVA to test for differences among dates/locations. Linear regressions were used to describe the relationship between fish length and $\delta^{15}\text{N}$.

To estimate the factors that accounted for most of the variance in isotope fractionation between locations and dates, we used a distance-based lineal model analysis (DistLM) to compare the variability between ISCh and SC, TL, and TW for 2013. DistLM is a routine for analyzing and modeling the relationship between a multivariate data cloud, as described by a resemblance matrix and one or more predictor variables. DistLM provides quantitative measures and tests the variation explained by one or more predictor variables, allowing the partitioning of variance according to a regression (or multiple regression) model. These analyses were carried out using PRIMER and the routine DistLM with forward procedure in PERMANOVA. Model selection was based on Akaike's Information Criterion. Values of $\delta^{15}\text{N}$, TL, and TW were transformed to $\log x+1$ (Anderson et al., 2008).

3. Results

3.1 Stable isotope composition between years, study areas, and seasons

The isotopic composition of Patagonian sprat was determined and spatial and inter-annual comparisons were made by analyzing a total of 146 samples of muscle tissue from sprat taken from ISCh, SC, and Argentina (Arg). Estimations of the isotopic composition were carried out for the winters 2011, 2012, and 2013 (ISCh); fall 2012 (ISCh, Arg) and fall 2013 (ISCh, SC). Isotopic compositions for fish collected in summer were only obtained in ISCh 2013, when $\delta^{13}\text{C}$ showed values of $-17.8 \pm 0.8\text{‰}$ and $\delta^{15}\text{N}$ registered $14.6 \pm 0.3\text{‰}$ (Table 1).

Mean winter $\delta^{13}\text{C}$ values did not vary inter-annually (t-test, $p > 0.05$) in ISCh ($n = 22$, Fig. 2). $\delta^{13}\text{C}$ values ranged from -18.9‰ to -16.8‰ in 2011 ($n = 13$). However, mean winter $\delta^{15}\text{N}$ values differed among years (t-test, $p < 0.05$), declining from 2011 (maximum value = 16.1‰ ; $n = 13$) to 2013 (minimum value = 14.1‰ ; $n = 5$).

In fall 2012, the $\delta^{13}\text{C}$ values ($n = 10$) showed differences (t-test, p-value < 0.05) between ISCh (-16.8‰ , $n = 5$) and Arg (-25.3‰ , $n = 5$), but the $\delta^{15}\text{N}$ values did not differ between these same areas (t-test, p-value > 0.05). Minimum $\delta^{15}\text{N}$ values were found in fish from Arg (13.5‰) and maximum $\delta^{15}\text{N}$ values (14.8‰) in those from ISCh (Fig. 3A).

In fall 2013, a total of 109 individuals were analyzed: 67 from ISCh and 42 from SC (Table 1). Differences in mean $\delta^{13}\text{C}$ values ($p < 0.05$) occurred between zones (Table 2, Fig. 3B), with higher $\delta^{13}\text{C}$ values in SC than in ISCh (Fig 4).

3.2 Characterization of Patagonian sprat in ISCh and SC during 2013

The TL of the individuals analyzed for fall 2013 differed by site, with median values of 14.02 cm at ISCh and 11.04 cm at SC (Mann-Whitney test, $p < 0.05$). The TW of the individuals analyzed also differed between areas (Mann-Whitney test, $p < 0.05$), with medians of 9.12 g (ISCh) and 17.93 g (SC). Individuals collected in ISCh ranged between 8.3 and 17.5 cm TL (average TL: 13.4 ± 2.2 cm) and between 4.0 g and 39.0 g TW (mean TW: 18.2 ± 8.7). In SC, individuals ranged between 8.3 and 12.1 cm TL (mean TL: 10.6 ± 1.1) and 3.4 and 12.2 g TW (mean TW: 8.2 ± 2.7 g; Table 2).

$\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values differed by sampling area, TL, and TW (Table 3). The marginal test revealed that sampling area accounted for 32% of the total variance ($p < 0.001$), TL for 24%, and TW for 27%. All these differences were significant ($p < 0.001$). The sequential test showed that, after controlling for sampling area, TL and TW explained only 4% and 3%, respectively.

No differences ($p > 0.05$) were observed in $\delta^{15}\text{N}$ for sprat from ISCh (Fig. 5A) among seasons in 2013. The TL for fish from ISCh, however, did differ among seasons ($p < 0.05$). The range of TL was larger in fall than in winter (mean TL: $15.5 \pm 0.79\%$) and summer (mean TL: $14.48 \pm 0.71\%$). In fall 2013, $\delta^{15}\text{N}$ increased along with TL ($y = 0.163x + 12.138$, $R^2 = 0.39$; $p < 0.05$) for specimens from ISCh. However, no relationship was observed between TL and $\delta^{15}\text{N}$ ($y = -0.1591x + 16.215$, $R^2 = 0.23$; $p > 0.05$) for fish from SC, where the TL range was narrower (Fig. 5B). Within the size range in which individuals from both study areas overlapped (< 12 cm), fish from SC had higher $\delta^{15}\text{N}$ than those from ISCh.

3.3 $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in phytoplankton, zooplankton, and sprat and trophic level variability among years, study areas, and seasons

The highest trophic level estimated for Patagonian sprat was 4.0 ± 0.1 (SC, fall 2013; Arg, fall 2012) and the lowest was 2.8 ± 0.1 (ISCh, winter 2013). The average trophic levels estimated for fall 2013 were different for ISCh (3.8 ± 0.2) and SC (4.0 ± 0.1) (Mann-Whitney test, p-value < 0.05; Table 2).

Both $\delta^{15}\text{N}$ values and trophic levels increased, the latter from 3.4 to 4.1, along with TL. This was particularly evident in ISCh, where the range of TL was larger (Fig. 6). No such relationship was observed in SC, where the range of TL was narrower (8-12 cm; Fig. 6B). No significant relationship was observed among the $\delta^{13}\text{C}$ values, trophic level, and TL.

$\delta^{15}\text{N}$ values for fall 2013 samples from ISCh and SC increased from phytoplankton to zooplankton to Patagonian sprat, as did the corresponding trophic levels (phytoplankton, TLe = 1; zooplankton, TLe = 2.9; Patagonian sprat, TLe = 3.8 - 4.0; Fig. 7). The $\delta^{13}\text{C}$ values for the groups differed between areas. Whereas phytoplankton had higher $\delta^{13}\text{C}$ in ISCh, zooplankton and sprat had lower $\delta^{13}\text{C}$ values there than in SC (Table 4).

4. Discussion

In recent years, the use of the stable isotopes $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ has increased considerably in ecological studies, particularly when studying food webs in order to understand the energy flow up through higher trophic levels (Hobson, 1993; Cabana and Rasmussen, 1994; Vander Zanden et al., 1997; Vander Zanden and Rasmussen, 1999, 2001; Post, 2002; McCutchan et al., 2003; Bearhop et al., 2004; Ruiz-Cooley et al., 2006; Layman et al., 2007; Sweeting et al., 2007a, 2007b; McMeans et al., 2009; Hückstädt et al., 2012; Fair et al., 2013). Stable isotopes of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ have also been used to study commercially important fish species worldwide, including small pelagic fishes such as sardines and *Sprattus* from the Northern Hemisphere (Jennings et al., 2002; Bode et al., 2003, 2007; Chauvelon et al., 2014; Lassalle et al., 2014). Herein, we assessed the trophic ecology of Patagonian sprat, a pelagic species found in the North Chilean Patagonia, using the stable isotope composition of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ to explore its temporal (seasonal, interannual) and spatial variability.

4.1 Isotope values of small pelagic fish and trophic level

Our study shows higher average $\delta^{13}\text{C}$ values for Patagonian sprat in the North Chilean Patagonia (41-47°S, 73°W) than in southern Argentina (53°S, 67°W): $-17.9 \pm 0.6\text{‰}$ (ISCh) and $-16.6 \pm 0.8\text{‰}$ (SC) vs $-21.7 \pm 2.1\text{‰}$ (Arg). The $\delta^{13}\text{C}$ values found herein for Argentine Patagonian sprat are similar to those found previously in that study area ($\delta^{13}\text{C} = -20.2\text{‰}$, Ciancio et al., 2008). According to earlier studies, lower $\delta^{13}\text{C}$ values are indicators of terrigenous organic carbon contributions from the continent, whereas higher

values show a greater influence from oceanic waters (-19‰ to -14.5‰, respectively; Hobson et al., 1995; Miller et al., 2008; Kline, 2009; Boecklen et al., 2011). Therefore, our results show that Patagonian sprat off Argentina receive larger inputs of organic carbon from terrigenous sources than do the sprat found off Chile. Differences in $\delta^{13}\text{C}$ values were also observed between zones within the Chilean Patagonia: individuals collected at the Southern Channels (SC) showed higher average $\delta^{13}\text{C}$ (-16.6 ± 0.8 ‰) than in ISCh (-17.7 ± 0.7 ‰). The higher values in Patagonian sprat from the SC were unexpected because that zone typically receives a larger contribution of freshwater from glaciers than does the area further north (Pavés et al., 2014). However, our precise sprat sampling area for SC receives a larger influence of high-salinity waters (near Boca del Guafo, west zone of Moraleda Channel) than the area inside the fjords and east of Moraleda Channel, where sediment studies have shown higher proportions of organic carbon derived from the continent (Valdenegro and Silva, 2003; Sievers and Silva, 2008; Silva et al., 2011).

The present study shows fluctuations in the average $\delta^{15}\text{N}$ values for sprat (14.3 ± 0.6 ‰ and 15.2 ± 0.4 ‰) from the Chilean Patagonia (Table 1). Our $\delta^{15}\text{N}$ estimates for sprat from the Argentine Patagonia (53°S , 67°W) reached 14.0 ± 0.1 , whereas previous values reported for this species also in southern Argentina (50°S , 52°S) were 13.1‰ (Ciancio et al., 2008). Other studies on *Sprattus* species in the northern hemisphere have reported $\delta^{15}\text{N}$ values of 13.6 ‰ in the North Sea (*Sprattus sprattus*; Jennings et al., 2002)(Table 5). In other Clupeiform such as in *Sardina pilchardus* in the Iberian Peninsula, $\delta^{15}\text{N}$ values of 10.7 ‰ have been reported (Bode et al., 2004, 2007). Since the fish incorporates nitrogen isotopes through its diet, and since lower values correspond to an herbivorous diet and higher values to an omnivorous or carnivorous diet, our results indicate that Patagonian

sprat in the North Chilean Patagonia should consume a rather more-carnivorous diet than in southern Argentina and then other species of *Sprattus* or *Sardina pilchardus* in the Northern Hemisphere. However, our study showed also a wide range for the estimated trophic level (TLe) of Patagonian sprat, regardless of study area (2.8 ± 0.1 to 4.0 ± 0.1 in ISCh, SC, and Arg). This range encompasses the values previously reported for southern Argentina (3.72; Ciancio et al., 2008) and is very close to the Northern Hemisphere estimates (TLe = 4.3) reported for *Sprattus sprattus* in the North Sea (Jennings et al., 2002). This all suggests that species of the *Sprattus* genus are capable of modifying their feeding, shifting from more herbivorous-omnivore feeding to more omnivorous-carnivore feeding, probably depending on the food available in the environment.

4.2 Relationship between TL and $\delta^{15}\text{N}$ in Patagonian sprat

No clear relationship was found between the $\delta^{15}\text{N}$ and TL of Patagonian sprat when analyzing the pooled data for fall 2013. However, when the data was separated by study area (ISCh, SC), $\delta^{15}\text{N}$ and trophic level increased along with TL in individuals from ISCh (the zone with the widest size range). These results suggest a change in feeding habits associated with individual growth in ISCh. Changes in $\delta^{15}\text{N}$ with TL have been observed in other fish species, but have not been reported for species of the genus *Sprattus*. Iitembu et al. (2012) determined this same trend in hakes (*Merluccius capensis*, *Merluccius paradoxus*) in the marine ecosystem of Namibia, where increased length coincided with increased $\delta^{15}\text{N}$ values as well as trophic level. Le Loc'h and Hily (2005) also found positive relationships between the two isotopes and body length in hake (*Meluccius merluccius*)

from the Benguela Current. Ontogenetic changes in diet, however, do not always imply increased trophic level in fish. Bode et al. (2003, 2004) found a decrease in $\delta^{15}\text{N}$ for larger sardines (*S. pilchardus*) in 1998 and 1999. This was explained by the higher efficiency of large sardines when capturing phytoplankton, which is less enriched in $\delta^{15}\text{N}$ than zooplankton.

A pattern of ontogenetic changes in feeding by Patagonian sprat, as observed in ISCh, could result from weeks of exposure to abundant and varied food (e.g., different sizes or taxa). However, this pattern could change given limited food availability. A comparison of $\delta^{15}\text{N}$ values and trophic levels in the overlapping size range of Patagonian sprat (<12cm) from ISCh and SC revealed higher trophic levels of *Spratus fuegensis* in SC than in ISCh. A preliminary stomach content analysis indicated that, in ISCh (historically, a more productive zone), the highest proportion of items corresponded to herbivorous copepods and euphausiids, whereas in SC (a zone with lower productivity and a more heterotrophic food web), small copepods and isopods predominated in the diet. In other words, ontogenetic changes in trophic level may occur under conditions of high food availability, but in periods and zones of lower productivity, Patagonian sprat will feed on the type of food available, regardless of its trophic level.

4.3 Spatial variability of zooplankton and phytoplankton organic carbon signatures in the North Chilean Patagonia

Feeding on phytoplankton and zooplankton by Patagonian sprat may be inferred from the analysis of the stable isotope composition of carbon and nitrogen. The results of

this study showed that Patagonian sprat is mainly omnivorous with a large participation of zooplankton in the diet. Preliminary results from the stomach content analysis of adult Patagonian sprat revealed phytoplankton in the diet, but also the presence of copepods and larger zooplankton (isopods and euphausiids), taxa that can also consume phytoplankton directly. In general, the availability of organic carbon in fjord ecosystems is mainly produced by phytoplankton and macroalgae or it comes from allochthonous plant material (Nilsen et al., 2008) and chemosynthetic bacteria (McLeod and Wing, 2009). The $\delta^{13}\text{C}$ values we found for phytoplankton in the North Chilean Patagonia ranged from -20.3‰ (ISCh) to -22‰ (SC). These values were in the higher range of $\delta^{13}\text{C}$ values in reported by Vargas et al. (2011) as POC (particulate organic carbon, equivalent methodology to phytoplankton in our study) for an area of terrestrial fresh water influence farther south in Patagonia where they took samples from Andean lakes ($\delta^{13}\text{C} = -28‰$) to the coastal zone of oceanic influence ($\delta^{13}\text{C} = -20‰$). Our results, thus, suggest that the organic carbon present in the phytoplankton of North Patagonia (our study) was influenced by terrigenous organic carbon. However, we found a smaller proportion of organic carbon from terrigenous origins in our study than they found further south where the shallow layer in the channels is dominated by freshwater from two of the largest rivers (Baker and Pascua) in Chile in terms of flow and from glaciers melting from the North and South Patagonia ice fields, the largest ice reserves of South America. In, turn, the mean $\delta^{13}\text{C}$ values determined from zooplankton (copepods) in our study were -19.7‰ (ISCh) and -19.1‰ (SC). These were also higher than those observed in copepods from the Baker River basin (-23.7‰ to -21.2‰), which has a greater presence of allochthonous organic carbon, as explained above (Vargas et al., 2011). In terms of nitrogen isotopes, $\delta^{15}\text{N}$ values in copepods in our study (ISCh: 11.1‰, SC: 10.8‰) were similar to those reported for the more southerly Baker

River area (10.3-12.7‰), suggesting that the trophic levels of the dominant zooplankton (copepods) showed no significant differences between areas.

In summary, the analysis of stable carbon and nitrogen isotopes allowed us to determine spatial and temporal variations in organic carbon sources and trophic levels of Patagonian sprat. Variations in the sources of organic carbon ($\delta^{13}\text{C}$) of Patagonian sprat between zones were detected between the Chilean North Patagonia and southern Argentina, suggesting that Patagonian sprat in the South Atlantic receives more terrigenous organic carbon than it does in Chile. When only considering the Chilean Patagonia, differences in $\delta^{13}\text{C}$ were observed between SC (higher values) and ISCh (fall 2013). $\delta^{15}\text{N}$ values estimated for the North Chilean Patagonia were higher than those registered previously for this species in Argentina and also higher than has been found for other *Sprattus species* in the Northern Hemisphere. However, when the trophic levels were estimated, the range calculated for *S. fuegensis* in the North Chilean Patagonia was wide and encompassed the trophic level values previously reported for Argentina, suggesting flexibility in the sprat diet in terms of the main food source of this species in different environments. A positive relationship between $\delta^{15}\text{N}$ values and TL was determined for Patagonian sprat at ISCh, where higher productivity has been reported, indicating an increase in the trophic level of Patagonian sprat with body size. The SC study area (Moraleda and nearby channels) has historically been considered to have lower productivity and to be supported by a heterotrophic food web (González et al., 2010, 2011; Pavés et al., 2014). There, smaller Patagonian sprat consumed organisms from a higher trophic level, again suggesting the use of a versatile feeding behavior as part of a feeding strategy that may be beneficial in areas with very large seasonal variations in food availability and food webs.

Acknowledgements

This study was financed by the CONICYT Basal Program COPAS Sur-Austral, the CIMAR-Fiordos Program (Cruises CIMAR 18 and 19) and the fisheries projects FIP 2012-15 and FIP 2013-11. During the study, the first author was supported by graduate fellowships from CONICYT and COPAS Sur-Austral. The authors thank J. Betzhold, G. Vásquez, and R. Riffo for collections at the artisanal fishery port and vessels; C. Alarcon, and E. Meerhoff for statistical analyses; and their colleagues at the Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL) at the Universidad de Concepción for technical support.



5. References

- Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R., 2008. PERMANOVA for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-E Ltd., Plymouth, United Kingdom, 214 pp.
- Aranis, A., Gomez, A., Muñoz, G., Ossa, L., Caballero, L., Cerna, F., López, A., Machuca, C., Vera, C., Eisele, G., 2012. Monitoreo de anchoveta y sardinas en aguas interiores de la X Región de Los Lagos, 2011. Informe Final Pesca de Investigación. IFOP. 161 pp.
- Aranis, A., Meléndez, R., Pequeño, G., Cerna, F., 2007. *Sprattus fuegensis* en aguas interiores de Chiloé, Chile (Osteichthyes: Clupeiformes: Clupeidae). *Gayana* 71(1): 102-113.
- Aranis, A., L. Caballero, F. Cerna, A. Gómez, A. López., Bernal, C., 2006. Monitoreo de la pesquería de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X Región, Año 2004. Informe Final, Proyecto FIP 2004-39: 96 pp.
- Bearhop, S., Adams, C.E., Waldron, S., Fuller, R.A., Macleod, H., 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, 73, 1007-1012.
- Bode, A., Alvarez-Ossorio, M.T., Cunha, M.E., Garrido, S., Peleteiro, J.B., Porteiro, C., Valdes, L., Varela, M., 2007. Stable nitrogen isotope studies of the pelagic food

web on the Atlantic shelf of the Iberian Peninsula. *Progress in Oceanography*, 74, 115-131.

Bode, A., Alvarez-Ossorio, M.T., Carrera, P., Lorenzo, J., 2004. Reconstruction of trophic pathways between plankton and the North Iberian sardine (*Sardina pilchardus*) using stable isotopes. *Scientia Marina*, 68, 165-178.

Bode, A., Carrera, P., Lens, S., 2003. The pelagic food web in the upwelling ecosystem of Galicia (NW Spain) during spring: natural abundance of stable carbon and nitrogen isotopes. *Ices Journal of Marine Science*, 60, 11-22.

Boecklen, W.J., Yarnes, C.T., Cook, B.A., James, A.C., 2011. On the Use of Stable Isotopes in Trophic Ecology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42, 411-440.

Bosley, K.L., Witting, D.A., Chambers, R.C., Wainright, S.C., 2002. Estimating turnover rates of carbon and nitrogen in recently metamorphosed winter flounder *Pseudopleuronectes americanus* with stable isotopes. *Marine Ecology Progress Series*, 236, 233-240.

Cabana, G., Rasmussen, J.B., 1994. Modeling food-chain structure and contaminant bioaccumulation using stable nitrogen isotopes. *Nature*, 372, 255-257.

Cerna, F., Leal, E., Lopez, A., Plaza, G., 2014. Age, growth and natural mortality of the Patagonian sprat *Sprattus fuegensis* (Jenyns, 1842) in Chiloe inland sea, southern Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42, 580-587.

- Chouvelon, T., Chappuis, A., Bustamante, P., Lefebvre, S., Mornet, F., Guillou, G., Violamer, L., Dupuy, C., 2014. Trophic ecology of European sardine *Sardina pilchardus* and European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Bay of Biscay (north-east Atlantic) inferred from delta C-13 and delta N-15 values of fish and identified mesozooplanktonic organisms. *Journal of Sea Research*, 85, 277-291.
- Ciancio, J.E., Pascual, M.A., Botto, F., Frere, E., Iribarne, O., 2008. Trophic relationships of exotic anadromous salmonids in the southern Patagonian Shelf as inferred from stable isotopes. *Limnology and Oceanography*, 53, 788-798.
- Contreras, T., Castro, L.R., Montecinos, S., González, H.E., Soto, S., Muñoz, M.I., Palma, S., 2014. Environmental conditions, early life stages distributions and larval feeding of Patagonian sprat *Sprattus fuegensis* and common sardine *Strangomera bentincki* in fjords and channels of the northern Chilean Patagonia. *Progress in Oceanography*, 129, 136–148.
- Cubillos L., Castillo, C., Paramo, J., Rodríguez, A., 2011. “Estimación de Abundancia, Biomasa y Distribución Espacial de Pequeños Pelágicos en Aguas Interiores de la X y XI Regiones y su relación con algunas variables ambientales, Año 2010. Informe Final, 339 pp.
- Dalerum, F., Angerbjorn, A., 2005. Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia*, 144, 647-658.
- Fair, J.M., Ryder, T.B., Loiselle, B.A., Blake, J.G., Larson, T.E., Davis, P., Syme, J., Perkins, G.B., Heikoop, J.M., 2013. Estimates of dietary overlap for six species of

- Amazonian manakin birds using stable isotopes. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 49, 420-435.
- Fantle, M.S., Dittel, A.I., Schwalm, S.M., Epifanio, C.E., Fogel, M.L., 1999. A food web analysis of the juvenile blue crab, *Callinectes sapidus*, using stable isotopes in whole animals and individual amino acids. *Oecologia*, 120, 416-426.
- Fry, B. (2006) *Stable Isotope Ecology*. New York: Springer, 308 pp.
- Galleguillos, R., Ferrada, S., Canales, C., Hernández, C., Oliva, M., González, M.T., Cubillos, L., Niklitschek, E., Toledo, P., 2012. Determinación de unidades poblacionales de sardina austral entre la X y XII regiones de Chile. Informe Final, Proyecto FIP 2010-17: 221 pp.
- González, H.E., Calderon, M.J., Castro, L., Clement, A., Cuevas, L.A., Daneri, G., Iriarte, J.L., Lizarraga, L., Martínez, R., Menschel, E., Silva, N., Carrasco, C., Valenzuela, C., Vargas, C.A., Molinet, C., 2010. Primary production and plankton dynamics in the Reloncavi Fjord and the Interior Sea of Chiloe, Northern Patagonia, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 13-30.
- González, H.E., Castro, L.R., Daneri, G., Iriarte, J.L., Silva, N., Vargas, C.A., Giesecke, R., Sánchez, N., 2011. Seasonal plankton variability in Chilean Patagonia fjords: carbon flow through the pelagic food web of Aysen Fjord and plankton dynamics in the Moraleda Channel basin. *Continental Shelf Research*, 31, 225–243.
- Hobson, K.A., 1993. Trophic relationships among high arctic seabirds-insights from tissue-dependent stable-isotope models. *Marine Ecology Progress Series*, 95, 7-18.

- Hobson, K.A., Ambrose, W.G., Renaud, P.E., 1995. Sources of primary production, benthic-pelagic coupling, and trophic relationships within the Northeast Water Polynya: Insights from delta C-13 and delta N-15 analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 128, 1-10.
- Hückstädt, L.A., Koch, P.L., McDonald, B.I., Goebel, M.E., Crocker, D.E., Costa, D.P., 2012. Stable isotope analyses reveal individual variability in the trophic ecology of a top marine predator, the southern elephant seal. *Oecologia*, 169, 395-406.
- Iitembu, J.A., Miller, T.W., Ohmori, K., Kanime, A., Wells, S., 2012. Comparison of ontogenetic trophic shift in two hake species, *Merluccius capensis* and *Merluccius paradoxus*, from the Northern Benguela Current ecosystem (Namibia) using stable isotope analysis. *Fisheries Oceanography*, 21, 215-225.
- Jennings, S., Greenstreet, S.P.R., Hill, L., Piet, G.J., Pinnegar, J.K., Warr, K.J., 2002. Long-term trends in the trophic structure of the North Sea fish community: evidence from stable-isotope analysis, size-spectra and community metrics. *Marine Biology*, 141, 1085-1097.
- Kline, T.C., Jr., 2009. Characterization of carbon and nitrogen stable isotope gradients in the northern Gulf of Alaska using terminal feed stage copepodite-V *Neocalanus cristatus*. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography*, 56, 2537-2552.
- Kwak, T.J., Zedler, J.B., 1997. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. *Oecologia*, 110, 262-277.

- Lafón, A., Silva, N., Vargas, C.A., 2014. Contribution of allochthonous organic carbon across the Serrano River Basin and the adjacent fjord system in Southern Chilean Patagonia: Insights from the combined use of stable isotope and fatty acid biomarkers. *Progress in Oceanography*, 129, 98-113.
- Lassalle, G., Chauvelon, T., Bustamante, P., Niquil, N., 2014. An assessment of the trophic structure of the Bay of Biscay continental shelf food web: Comparing estimates derived from an ecosystem model and isotopic data. *Progress in Oceanography*, 120, 205-215.
- Layman, C.A., Arrington, D.A., Montana, C.G., Post, D.M., 2007. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Ecology*, 88, 42-48.
- Le Loc'h, F., Hily, C., 2005. Stable carbon and nitrogen isotope analysis of *Nephrops norvegicus* *Merluccius merluccius* fishing grounds in the Bay of Biscay (Northeast Atlantic). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 123-132.
- Leal, E., Mariella Canales, T., Aranis, A., Gonzalez, M., 2011. Reproductive activity and maturity length of Patagonian sprat *Sprattus fuegensis* in Chiloe inland seawaters, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 46, 43-51.
- Lindsay, D.J., Minagawa, M., Mitani, I., Kawaguchi, K., 1998. Trophic shift in the Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in its early life history stages as detected by stable isotope ratios in Sagami Bay, Central Japan. *Fisheries Science*, 64, 403-410.
- Madirolas, A., Hansen, J.E., 2000. *Sardina fueguina* (*Sprattus fuegensis*). En: Síntesis del estado de las pesquerías marítimas argentinas y de la Cuenca del Plata, años 1997-

1998, con una actualización de 1999 (S. Bezzi, R. Akselman y E. Boschi, Eds.). Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina, 388 pp.

Martínez del Rio, C., Wolf, N., Carleton, S.A., Gannes, L.Z., 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews*, 84: 91–111.

Mayr, C., Rebolledo, L., Schulte, K., Schuster, A., Zolitschka, B., Foersterra, G., Haeussermann, V., 2014. Responses of nitrogen and carbon deposition rates in Comau Fjord (42° S, southern Chile) to natural and anthropogenic impacts during the last century. *Continental Shelf Research*, 78, 29-38.

Mayr, C.C., Foersterra, G., Haeussermann, V., Wunderlich, A., Grau, J., Zieringer, M., Altenbach, A.V., 2011. Stable isotope variability in a Chilean fjord food web: implications for N- and C-cycles. *Marine Ecology Progress Series*, 428, 89-104.

McCutchan, J.H., Lewis, W.M., Kendall, C., McGrath, C.C., 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, 102, 378-390.

McLeod, R.J., Wing, S.R., 2009. Strong pathways for incorporation of terrestrially derived organic matter into benthic communities. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 82, 645-653.

McMeans, B.C., Olin, J.A., Benz, G.W., 2009. Stable-isotope comparisons between embryos and mothers of a placental shark species. *Journal of Fish Biology*, 75, 2464-2474.

- Miller, T.W., Brodeur, R.D., Rau, G.H., 2008. Carbon stable isotopes reveal relative contribution of shelf-slope production to the northern California Current pelagic community. *Limnology and Oceanography*, 53, 1493-1503.
- Minagawa, M., Wada, E., 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1135–1140.
- Niklitschek, E., Cornejo, J., Hernandez, E., Toledo, P., Merino, R., Lafón, A., Meza, A., 2007. Evaluación hidroacústica de *Sprattus fuegensis* en los canales interiores de la X región. Universidad Austral de Chile- Centro Trapananda, Coyhaique. Informe CT 07-01, 31p.
- Nilsen, M., Pedersen, T., Nilssen, E.M., Fredriksen, S., 2008. Trophic studies in a high-latitude fjord ecosystem - a comparison of stable isotope analyses ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) and trophic-level estimates from a mass-balance model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65, 2791-2806.
- Pavés, H., González, H.E., Castro, L., Iriarte, J.L., 2014. Carbon flows through the pelagic sub-food web in two basins of the Chilean Patagonian coastal ecosystem: the significance of coastal–ocean connection on ecosystem parameters. *Estuaries and Coasts*, <http://dx.doi.org/10.1007/212237-014-9780-y> (in press).
- Peterson, B.J., Fry, B., 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecological Systems* 18, 293–320.

- Peterson, B.J., 1999. Stable isotopes as tracers of organic matter input and transfer in benthic food webs: A review. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 20, 479-487.
- Post, D.M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83, 703-718.
- Ramírez, F. C., 1976. Contribución al conocimiento del espectro alimenticio de la sardina fueguina (Clupeidae, *Sprattus fuegensis* (Jenyns)). *Neotropica (La Plata)* 22 (68), 137-142.
- R Development Core Team., 2011. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. (www.R-project.org).
- Rebolledo, L., González, H.E., Muñoz, P., Iriarte, J.L., Lange, C.B., Pantoja, S., Salamanca, M., 2011. Siliceous productivity changes in Gulf of Ancud sediments (42 degrees S, 72 degrees W), southern Chile, over the last similar to 150 years. *Continental Shelf Research*, 31, 356-365.
- Ruiz-Cooley, R.I., Markaida, U., Gendron, D., Aguinga, S., 2006. Stable isotopes in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) beaks to estimate its trophic position: comparison between stomach contents and stable isotopes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86, 437-445.
- Sabatini, M., J. Giménez., Rocco, V., 2001. Características del zooplancton del área costera de la plataforma patagónica austral (Argentina). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 17 (3 y 4): 245-254.

- Sepúlveda, J., Pantoja, S., Huguen, K.A., 2011. Sources and distribution of organic matter in northern Patagonia fjords, Chile (similar to 44-47 degrees S): A multi-tracer approach for carbon cycling assessment. *Continental Shelf Research*, 31, 315-329.
- Sievers, H., Silva, N., 2008. Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. In: N. Silva, S. Palma (Eds.) 2008. *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*. Comité Oceanográfico Nacional- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 53-58.
- Silva, N., Calvete, C., 2002. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre el golfo Penas y el estrecho de Magallanes (Crucero CIMAR Fiordo 2). *Ciencia y Tecnología del Mar* 25 (1), 23–88.
- Silva, N., Vargas, C.A., Prego, R., 2011. Land-ocean distribution of allochthonous organic matter in surface sediments of the Chiloe and Aysen interior seas (Chilean Northern Patagonia). *Continental Shelf Research*, 31, 330-339.
- Sweeting, C.J., Barry, J., Barnes, C., Polunin, N.V.C., Jennings, S., 2007a. Effects of body size and environment on diet-tissue delta N-15 fractionation in fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 340, 1-10.
- Sweeting, C.J., Barry, J.T., Polunin, N.V.C., Jennings, S., 2007b. Effects of body size and environment on diet-tissue delta C-13 fractionation in fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 352, 165-176.

- Valdenegro, A., Silva, N., 2003. Caracterización oceanográfica física y química de la zona de canales y fiordos australes de Chile entre el estrecho de Magallanes y cabo de Hornos (CIMAR 3 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar*, 26(2): 19-60.
- Vander Zanden, M.J., Cabana, G., Rasmussen, J.B., 1997. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ($\delta N-15$) and literature dietary data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, 1142-1158.
- Vander Zanden, M.J., Rasmussen, J.B., 1999. Primary consumer $\delta C-13$ and $\delta N-15$ and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*, 80, 1395-1404.
- Vander Zanden, M.J., Rasmussen, J.B., 2001. Variation in $\delta N-15$ and $\delta C-13$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*, 46, 2061-2066.
- Vargas, C.A., Martinez, R.A., San Martin, V., Aguayo, M., Silva, N., Torres, R., 2011. Allochthonous subsidies of organic matter across a lake-river-fjord landscape in the Chilean Patagonia: Implications for marine zooplankton in inner fjord areas. *Continental Shelf Research*, 31, 187-201.
- Zapata-Hernández, G., Sellanes, J., Thurber, A.R., Levin, L.A., 2014. Trophic structure of the bathyal benthos at an area with evidence of methane seep activity off southern Chile (similar to 45 degrees S). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 94, 659-669.

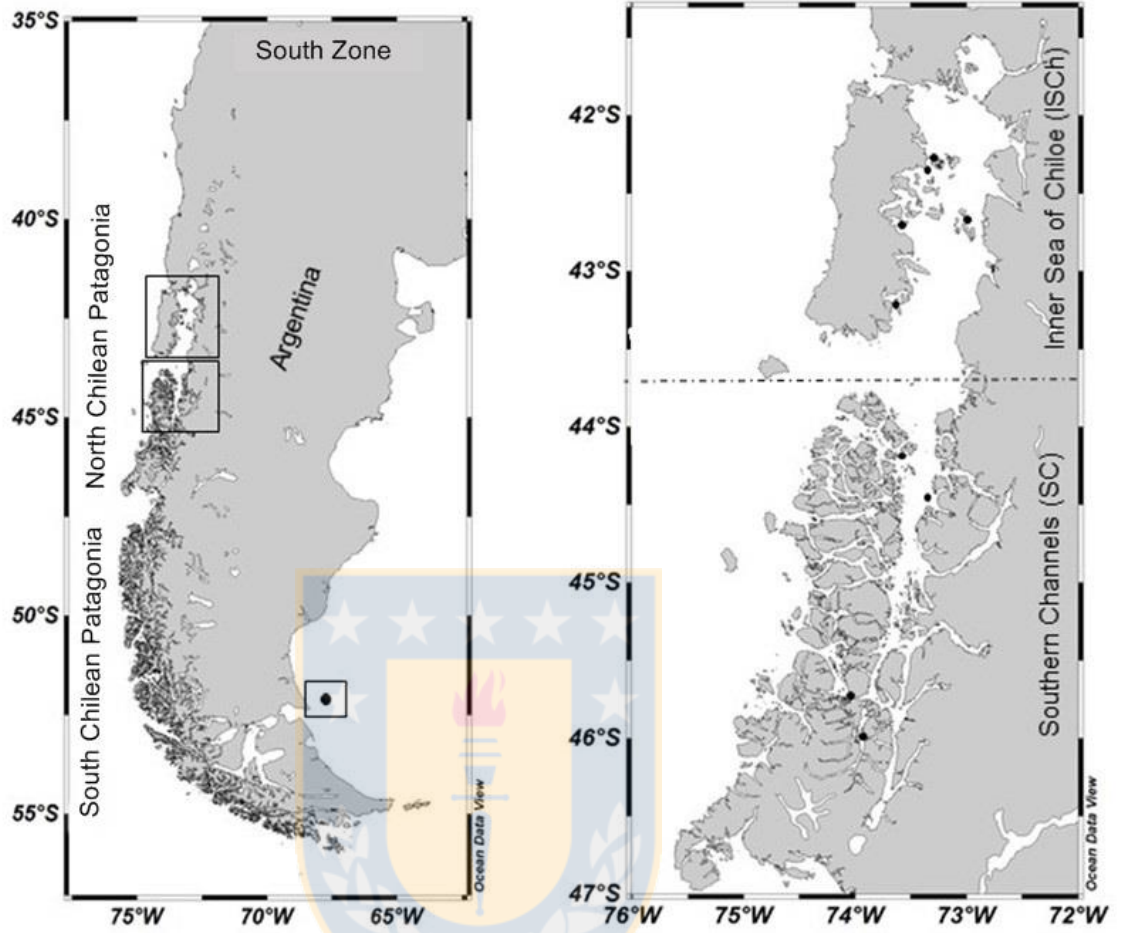


Figure 1: Areas sampled in North Chilean Patagonia and Argentina during 2013. ISCh: Inner Sea of Chiloe. SC: Southern Channels.

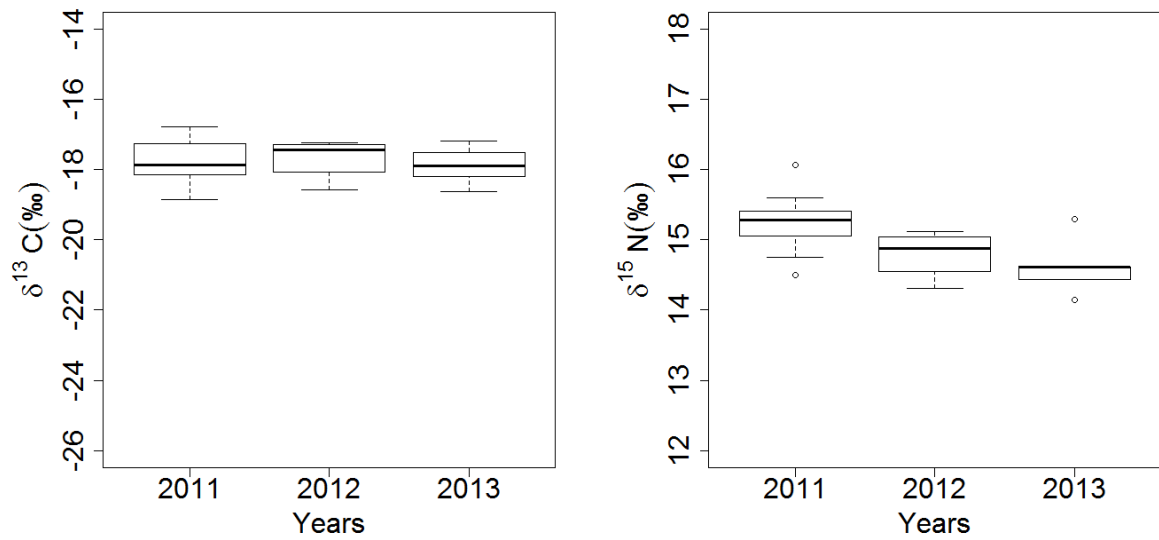
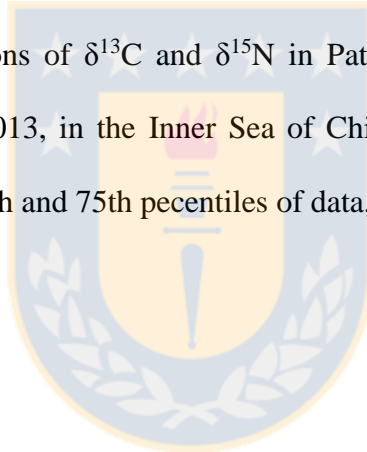


Figure 2: Interannual variations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Patagonian sprat tissue during the winters of 2011, 2012, and 2013, in the Inner Sea of Chiloe (ISCh). Boxplots show the minima, maxima, medians, 25th and 75th percentiles of data, and outliers.



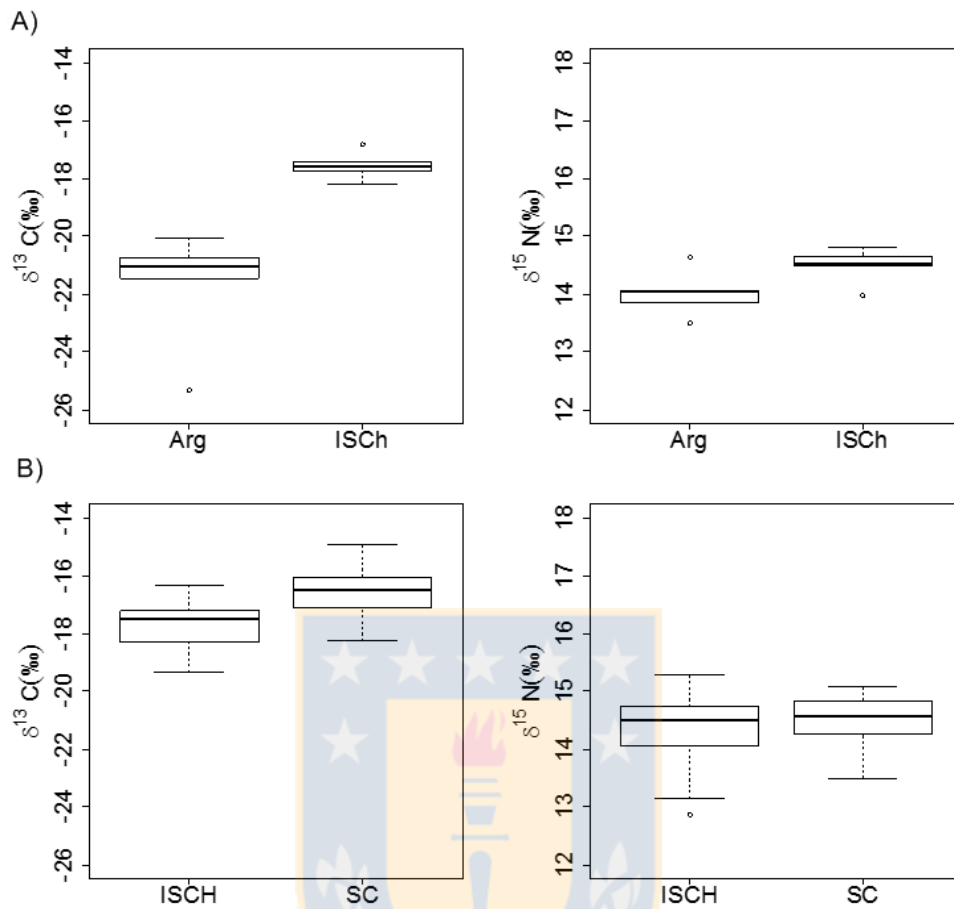


Figure 3: Spatial variation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Patagonian sprat. A) Top panels: Fall 2012, Arg = Argentina and ISCh = Inner Sea of Chiloé. B) Bottom panels: Fall 2013, ISCh = Inner Sea of Chiloé and SC = Southern Channels. Boxplots show the minima, maxima, medians, 25th and 75th percentiles of data and outliers.

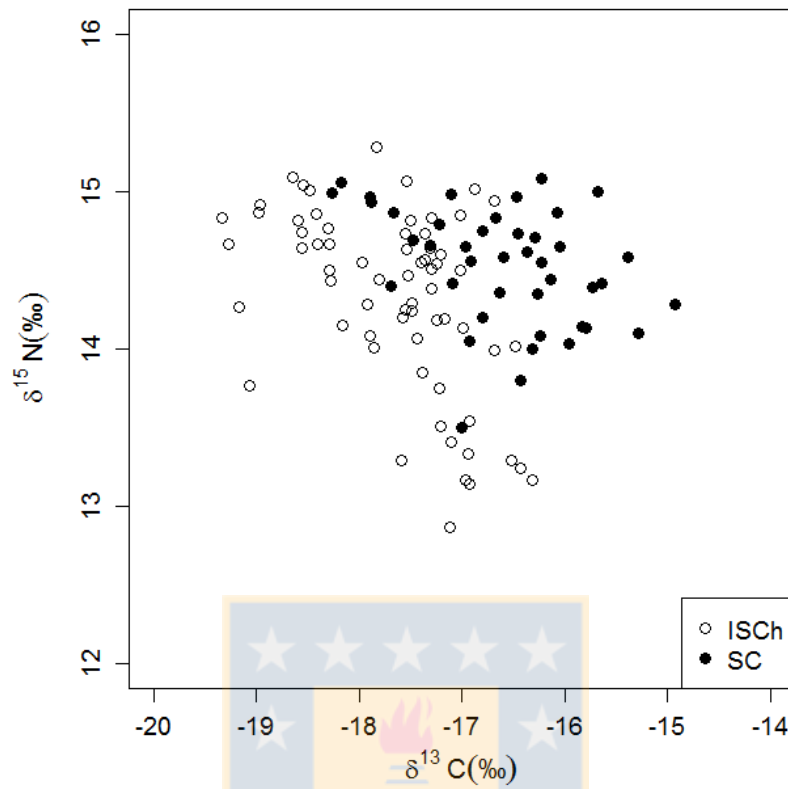


Figure 4: Relationship between $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Patagonian sprat collected from the Inner Sea of Chiloé (white circles, ISCh) and Southern Channels (black circles, SC) during fall 2013.

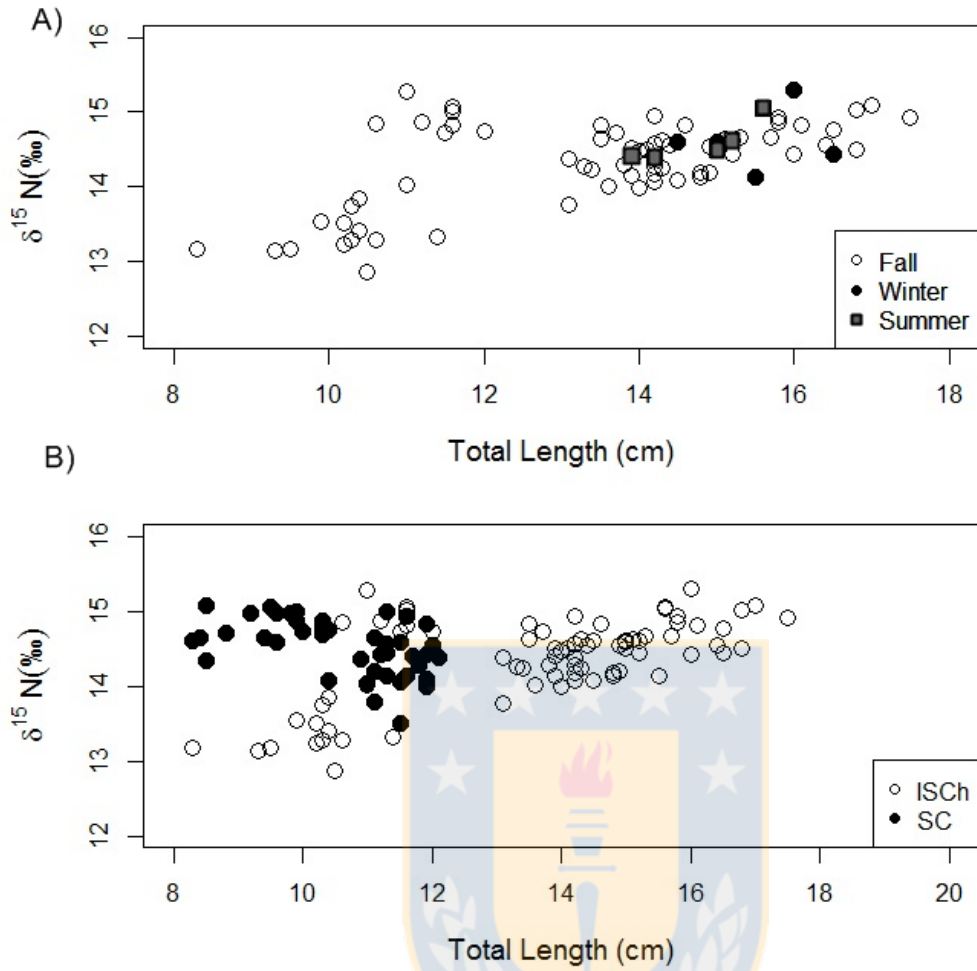


Figure 5: Relationship between $\delta^{15}\text{N}$ values and total length (cm) of Patagonian sprat. A) Seasonal variability: fall, winter, and summer in ISCh in 2013, and B) Spatial variability in ISCh (open circles) and SC (black circles) during fall 2013.

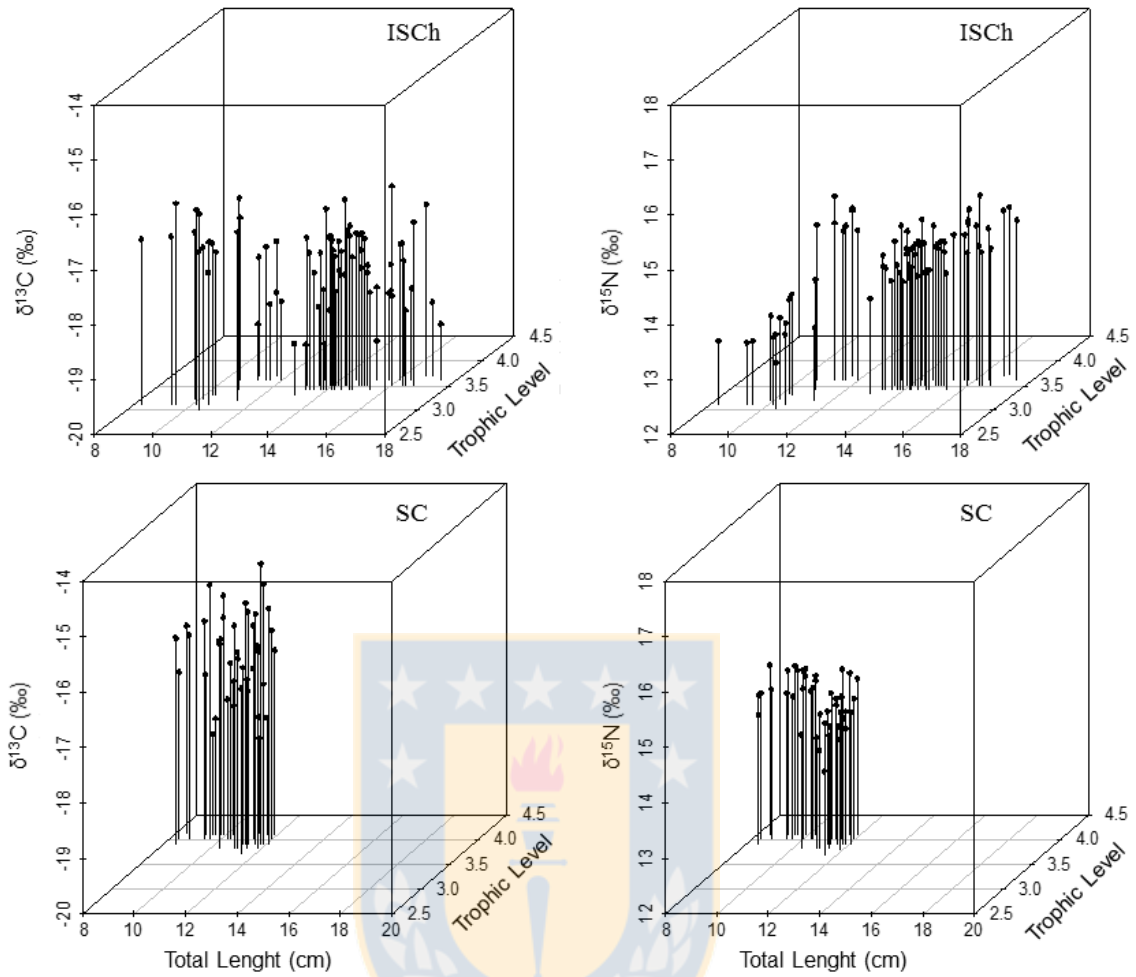


Figure 6: Variations in $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and trophic levels with total length (cm) of Patagonian sprat. Top panels: Inner Sea of Chiloe (ISCh). Bottom panels: Southern Channels (SC).

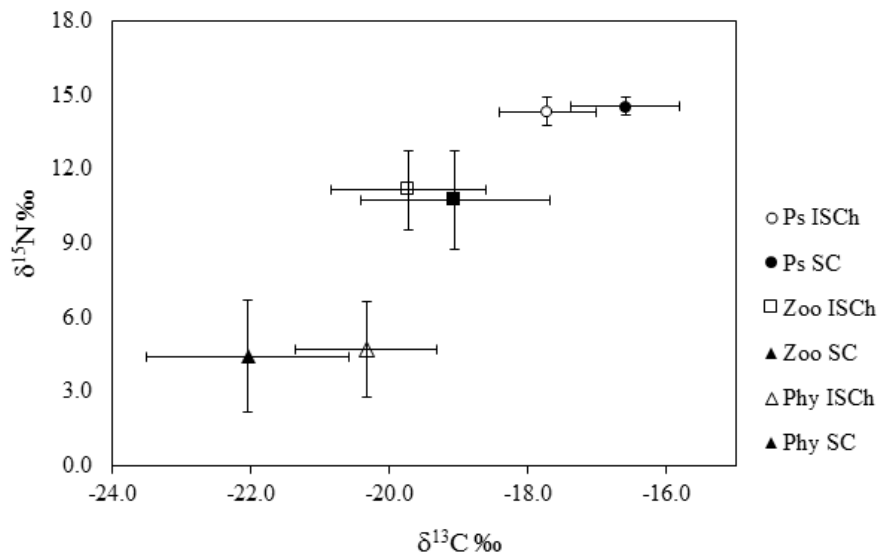


Figure 7: Mean values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in phytoplankton, zooplankton, and Patagonian sprat, during fall 2013. Ps ISCh = Patagonian sprat from Inner Sea of Chiloe, Ps SC = Patagonian sprat from Southern Channels, Zoo ISCh = Zooplankton from Inner Sea of Chiloe, Phy ISCh = Phytoplankton from Inner Sea of Chiloe, Zoo SC = Zooplankton from Southern Channels, and Phy SC = Phytoplankton from Southern Channels.

Table 1: Means (and standard deviations) of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and trophic levels (TLe) of Patagonian sprat in different years, study areas, and seasons. The number of samples analyzed per zone and the $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ are also shown.

Year	Study area	Season	<i>N</i>	Mean $\delta^{13}\text{C}$	Mean $\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$	TLe
2011	ISCh	Winter	13	-17.7±0.6	15.2±0.4	8.5	3.0±0.1
2012	ISCh	Fall	5	-17.6±0.5	14.5±0.3	4.7	3.9±0.5
		Winter	4	-17.7±0.6	14.8±0.4	8.5	2.9±0.5
2013	ISCh	Fall	67	-17.7±0.7	14.3±0.6	4.7	3.8±0.2
		Summer	5	-17.8±0.8	14.6±0.3	5.3	3.7±0.1
		Winter	5	-17.9±0.6	14.6±0.4	8.5	2.8±0.1
2013	SC	Fall	42	-16.6±0.8	14.5±0.4	4.4	4.0±0.1
2012	Arg	Fall	5	-21.7±2.1	14.0±0.4	7.3	4.0±0.1
Total			146				

Table 2: Summary of data obtained during fall 2013 for Patagonian sprat. The average values, standard deviations (sd), and minimum and maximum values of total length (TL), total weight (TW), $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, trophic level (TLe), and $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ are presented.

Patagonian sprat	<i>n</i>	<i>Mean</i> <i>TL(cm)</i>	<i>Mean</i> <i>TW(g)</i>	<i>Mean</i> $\delta^{13}\text{C}$	<i>Mean</i> $\delta^{15}\text{N}$	<i>Mean</i> <i>TLe</i>	<i>Mean</i> $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$
Inner Sea of Chiloé	67	13.4±2.2	18.2±8.7	-17.7±0.7	14.3±0.6	3.8±0.2	4.7±1.9
Southern Channels	42	10.6±1.1	8.2±2.7	-16.6±0.8	14.5±0.4	4.0±0.1	4.4±2.3
Total (pooled)	109	12.3±2.3	14.4±8.5	-17.2±0.9	14.4±0.5	3.9±0.2	4.5±2.1



Table 3: Distance-based linear model (DistLM) results for $\delta^{13}\text{C}$, not logx+1 transformed; $\delta^{15}\text{N}$, total length and total weight logx+1 transformed.

Marginal Test

Group	Sum of squares	Pseudo-F	P value	Proportion	res.df
Zone	29.527	51.483	0.001*	0.32485	107
Length	21.963	34.092	0.001*	0.24163	107
Weight	24.566	39.63	0.001*	0.27027	107

Sequential Tests

Group	AIC	SS(trace)	Pseudo-F	P value	Proportion	Cumul.	res.df
+Zone	-58.616	29.527	51.483	0.001*	0.32485	0.32485	107
+Length	-62.982	3.4814	6.375	0.018*	3.83E-02	0.36315	106
+Weight	-66.275	2.7439	5.2248	0.031*	3.02E-02	0.39334	105



Table 4: Mean $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and trophic levels (TLe) of phytoplankton, zooplankton, and Patagonian sprat in the austral zone during fall 2013. (Phy ISCh = Phytoplankton from Inner Sea of Chiloe, Phy SC = Phytoplankton from Southern Channels, Zoo ISCh = Zooplankton from Inner Sea of Chiloe, Zoo SC = Zooplankton from Southern Channels, Ps ISCh = Patagonian sprat from Inner Sea of Chiloe, Ps SC = Patagonian sprat from Southern Channels).

Species	Mean $\delta^{13}\text{C}$	Mean $\delta^{15}\text{N}$	TLe	<i>N</i>
<i>Phy ISCh</i>	-20.3±1.0	4.7±1.9	1.0	22
<i>Phy SC</i>	-22.0±1.5	4.4±2.3	1.0	26
<i>Zoo ISCh</i>	-19.7±1.1	11.1±1.6	2.9	42
<i>Zoo SC</i>	-19.1±1.4	10.8±2.0	2.9	30
<i>Ps ISCh</i>	-17.7±0.7	14.3±0.6	3.8	67
<i>Ps SC</i>	-16.6±0.8	14.5±0.4	4.0	42

Table 5: Stable isotope values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$, and TLe of Patagonian sprat (data from fall 2013 and fall 2012) and other Clupeiforms and locations.

Species	Location	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$	TLe	Ref.
<i>Sprattus fuegensis</i> (Patagonian sprat)	Inner Sea of Chiloe (ISCh)	-17.7±0.7	14.3±0.6	Phytoplankton	3.8±0.2	This study
	Southern Channels (SC)	-16.6±0.8	14.5±0.4	Phytoplankton	4.0±0.1	This study
	South Argentina (53°S)	-21.7±2.1	14.0±0.4	Phytoplankton	4.0±0.1	This study
	South Argentina (50°- 52°S)	-20.2±1.0	13.1±0.9	Eufáusiids (<i>Euphausia lucens</i>)	3.7	Ciancio et al. (2008)
<i>Sprattus sprattus</i>	North Sea		13.6	Bivalve molluscs	4.3	Jennings et al. (2002)
<i>Sardina pilchardus</i>	Atlantic coast of the Iberian Peninsula	-17.8	10.7±0.8	Herbivorous zooplankton	3.5	Bode et al. (2004, 2007)

DISCUSION GENERAL

Estudios de alimentación e isótopos estables son usados de manera complementaria en el conocimiento trófico de especies de importancia ecológica y pesquera, debido a que la alimentación provee información a corto plazo y el uso de isótopos estables a mayor plazo. En el presente estudio se determinó los componentes principales en la dieta de sardina austral y el nivel trófico a través del uso de isótopos estables en la zona sur austral.

En el primer capítulo, se encontró en los contenidos gástricos 9 ítems de fitoplancton para la zona ISCh y 7 ítems para la zona SC, siendo en ambas zonas el grupo de diatomeas céntricas el ítem principal. El análisis de ítems zooplanctónicos en el contenido gástrico reveló 8 ítems en la zona ISCh y 3 ítems en la zona SC, siendo según los índices determinados, el grupo copépodos pequeños el ítem más importante. Esto sugiere que, a pesar de las distintas diversidades en los ítems ingeridos en cada zona, los ítems dominantes tanto de fitoplancton como de zooplancton, son los mismos en ambas zonas. Hubo, sin embargo, diferencias en el segundo ítem zooplanctónico donde dominaron los eufáusidos en ISCh y los isópodos en SC. El que exista mayor diversidad de ítems tanto de fitoplancton como de zooplancton en la zona del Mar Interior de Chiloé, puede deberse a lo propuesto por Pavés *et al.*, (2014), quienes encontraron que zonas con mayor conectividad con el océano poseen mayor biomasa y productividad gracias al aporte de nutrientes provenientes desde masas de aguas sub antárticas que son ricas en nitrato y ortofosfatos.

En un estudio previo del contenido estomacal de sardina austral en otoño, invierno y primavera, determinaron solo organismos del zooplancton en la zona del Mar Interior de Chiloé (Aranis *et al.*, 2012). En ese estudio se identificaron 10 ítems (eufáusidos, zoeas, megalopas, anfípodos, copépodos, ostrácodos, peces, huevos indeterminados, restos de

crustáceos y peces) predominando larvas del tipo zoeas seguidas de eufáusidos. En nuestro estudio al incluir toda la data en la zona ISCh, el ítem principal no es el mismo que en el encontrado en el trabajo de Aranís *et al.* (2012), pero sí coincide con el segundo ítem encontrado (eufáusidos). Los ítems ostrácodos, peces y huevos no se observaron en los contenidos gástricos de nuestro trabajo. Al analizar composición dietaria del contenido gástrico en una escala estacional, en el Mar Interior de Chiloé dominaron copépodos pequeños en otoño y verano; en invierno dominaron pequeños eufáusidos. Aranís *et al.*, (2012) determinaron que en otoño e invierno existió una dieta basada en eufáusidos y en primavera larvas zoeas dominaron notoriamente la dieta de sardina austral. En el sur de Argentina, por otro lado, se registró que en verano predominaron miscidáceos y en otoño dominaron los copépodos calanoídeos medianos y grandes (Ciancio *et al.*, 2008). Estos resultados en conjunto señalan que la sardina austral presentaría un comportamiento flexible en su alimentación consumiendo los ítems probablemente más abundantes en este ambiente.

Otra especie del género *Sprattus* (*Sprattus sprattus*) de la zona sur del Mar Báltico ha sido en todos sus rangos de talla, una especie zooplanctívora, seleccionando principalmente copépodos (*Temora longicornis*) y cladóceros (*Bosmina maritima*) durante otoño y copépodos de la especie *Pseudocalanus elongatus* en invierno (Casini *et al.*, 2004), lo cual indica que existe un cierto grado de selectividad en otras especies del género *Sprattus* en el hemisferio norte. En nuestro estudio no se logró diferenciar las especies de copépodos debido al estado de digestión de las presas. Falkenhaus & Dalpadado (2014) estudiaron la alimentación de *Sprattus sprattus* en el Fiordo de Hardangerfjord, (Noruega occidental) y encontraron que la alimentación estaba basada sobre una amplia variedad de presas, entre las cuales estaban copépodos, fitoplancton y meroplancton; y que la dieta

habría variado significativamente entre años, estaciones y entre las áreas del fiordo, siendo los copépodos los más importantes en el otoño al igual que en el presente trabajo.

Los resultados obtenidos a partir de los contenidos estomacales sugieren que las especies de este género (*Sprattus*) son flexibles en su alimentación en las distintas localidades y periodos del año, consumiendo, probablemente, los ítems más abundantes en el ambiente en cada ocasión. La alta diversidad de ítems encontrada en la zona ISCh tanto de zooplancton como de fitoplancton coincide con la mayor productividad indicada para esa zona (Iriarte *et al.* 2007; González *et al.*, 2010, 2011), en contraste con la menor productividad de la zona SC, lugar en el que se registró una menor diversidad de ítems en la dieta, lo cual concordaría con la idea de que los miembros del género *Sprattus* se alimentan de los ítems más comunes en cada zona. Por lo tanto, la similitud de ítems dominantes estaría probablemente asociada a la oferta alimenticia de ambas zonas. La mayor abundancia de copépodos en la dieta y en el ambiente coincidiría con períodos reproductivos de sardina austral y con meses de mayor abundancia larval (primavera), por lo que la variabilidad interanual en la abundancia de zooplancton en el fiordo, relacionada con los procesos físicos, puede tener un gran impacto en las condiciones de alimentación para las poblaciones de sardina austral en los fiordos.

En el segundo capítulo, se determinó la ecología trófica de sardina austral (*Sprattus fuegensis*) a través de la composición de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en la zona Norte de la Patagonia. Esto permitió determinar las variaciones espaciales y temporales en las fuentes de carbono orgánico y los niveles tróficos de la sardina austral. Se detectaron variaciones en las fuentes de carbono orgánico ($\delta^{13}\text{C}$) de esta especie entre el Norte de la Patagonia Chilena y la zona sur de Argentina (ISCh: -17.9‰ y SC: -16.6‰ vs. -21.7 ± 2.1 en Argentina), lo que sugiere que la sardina austral en el Atlántico Sur recibe más carbono

orgánico terrígeno que en el lado austral de Chile. Al considerar sólo la Patagonia Chilena, se observaron diferencias en $\delta^{13}\text{C}$ entre SC (valores más altos) e ISCh durante otoño del año 2013. Los valores más altos en la zona SC fueron inesperados por cuanto esa zona presenta normalmente mayor aporte de aguas dulces que la zona más al norte (Pavés *et al.*, 2014a y 2014b).

Al analizar los datos en conjunto de la zona Norte de la Patagonia se determinó que no existía diferencia en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ ni en nivel trófico, con la talla de sardina austral (Véase Anexo, Figura 7). Sin embargo, al separar por zonas se evidenció una diferencia en estos valores. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ estimados para el Norte de la Patagonia Chilena fueron más altos (ISCh: 14.3 ‰ y SC: 14.5 ‰) que los registrados para esta especie en Argentina (14.0‰) y también más altos de los que se ha encontrado en otras especies de *Sprattus* en el hemisferio norte (Jennings *et al.*, 2002). Sin embargo, cuando se estimaron los niveles tróficos (basados en fitoplancton como nitrógeno base), el rango calculado para sardina austral en la Patagonia Chilena Norte fue de 3.8 (ISCh) y 4.0 (SC); y valores de nivel trófico reportados anteriormente en Argentina (basados en eufáusidos) de 3.7, lo que sugiere una flexibilidad en la dieta de la sardina austral, en términos de la principal fuente de alimento de esta especie en diferentes ambientes.

Una relación positiva entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y TL se determinó en la zona ISCh, donde se ha informado de una mayor productividad que en SC, lo que indica un aumento en el nivel trófico con el tamaño corporal. En la zona SC (Moraleta y canales cercanos), de menor productividad y con una cadena alimentaria basada en heterótrofos (González *et al.*, 2010, 2011; Pavés *et al.*, 2014), la sardina austral presentó un menor tamaño corporal, pero que habría consumido organismos desde un nivel trófico superior. Estas aparentes diferencias en nivel trófico entre los individuos pequeños entre ambas zonas sugirieron de

nuevo un comportamiento de alimentación versátil que podría ser parte de una estrategia de alimentación que resultaría beneficiosa en áreas como la Patagonia con grandes variaciones estacionales en la disponibilidad de alimentos y trama trófica.

El estudio de la ecología trófica mediante la composición dietaria e isótopos estables en peces pelágicos como sardina austral, es parte del conocimiento que nos permite lograr la aplicación de un enfoque ecosistémico a las pesquerías, puesto que proporciona información de las interacciones que existe entre la especie objetivo, su ambiente trófico y el medio (por ejemplo, en zonas con distintos aportes de carbono orgánico). La modificación de la Ley y de Pesca y Acuicultura N°20.657 tiene como objetivo conservar y lograr tener una utilización sustentable de los recursos pesqueros mediante la aplicación con un énfasis ecosistémico. Acorde con este propósito, este trabajo ha permitido conocer el componente principal en la alimentación de la sardina austral en 2 zonas correspondientes a la Patagonia Norte, determinar el nivel trófico y composición isotópica a través de ^{13}C y ^{15}N obteniendo diferencias espaciales y estacionales. Estudios con isótopos estables y modelos tróficos (Ecosim – Ecopath) están siendo utilizados en conjunto para describir con mejor precisión la estructura de las tramas tróficas reduciendo la incertidumbre y beneficiando el manejo basado en ecosistemas (Lassalle *et al.*, 2014), por lo que se sugiere considerar ambas aproximaciones en forma conjunta en futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Agurto, C., 2007. Assessing mesozooplankton trophic levels in the Baltic Sea and North Sea: a stable isotope study. Dissertation Thesis, University of Kiel, Germany, 135 p.
- Aranis, A., Gómez, A., Muñoz G., Ossa, L., Caballero, L., Cerna, F., López, A., Machuca, C., Vera, C., Eisele G., 2012. Monitoreo de anchoveta y sardinas en las aguas interiores de la X Región de Los Lagos 2011. Informe Final Pesca de Investigación. IFOP/SUBPESCA. 161 pp.
- Aranis, A., Meléndez, R., Pequeño, G., Cerna, F., 2007. *Sprattus fuegensis* en aguas interiores de Chiloé, Chile (Osteichthyes: Clupeiformes: Clupeidae). Gayana 71(1): 102-113.
- Aranis, A., Caballero, L., Cerna, F., Gómez, A., López, A., Bernal, C., 2006. Monitoreo de la pesquería de pequeños pelágicos en aguas interiores de la X Región, Año 2004. Informe Final, Proyecto FIP 2004-39: 96 pp.
- Balbontín, F., 2006. Ictioplancton de los canales y fiordos australes. En: Silva, N. y S. Palma (eds). Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos, pp 115-120. Comité Oceanográfico Nacional y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- Balbontín, F., Bernal, R., 2005. Cambios estacionales en la composición y abundancia del ictioplancton de los canales australes entre el golfo Corcovado y golfo Elefantes, Chile. Ciencia y Tecnología del Mar 28: 99-111.

- Balbontín, F., Bernal, R., 1997. Distribución y abundancia del ictioplancton en la zona austral de Chile. *Cienc. Tecnol. Mar, CONA*, 20: 155-163.
- Balbontín, F., Córdova, G., 2003. Áreas de retención de larvas de peces en los canales ubicados al occidente del Canal Moraleda, Chile (43° 39' S – 45° 49' S). Libro de Resúmenes pág. 69 – 73. Taller sobre los Resultados del Crucero CIMAR 8 Fiordos. Valparaíso.
- Bode, A., Alvarez-Ossorio, M.T., Cunha, M.E., Garrido, S., Peleteiro, J.B., Porteiro, C., Valdes, L., Varela, M., 2007. Stable nitrogen isotope studies of the pelagic food web on the Atlantic shelf of the Iberian Peninsula. *Progress in Oceanography*, 74, 115-131.
- Bustos, C.A., Balbontín, F., Landaeta, M.F., 2007. Spawning of the southern hake *Merluccius australis* (Pisces: Merluccidae) in Chilean fjords. *Fish. Res.* 83, 23–32.
- Cabana, G., Rasmussen, J. B., 1996. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 93:10844–10847.
- Cabana, G., Rasmussen, J.B., 1994. Modeling food-chain structure and contaminant bioaccumulation using stable nitrogen isotopes. *Nature*, 372, 255-257.
- Cardinale, B.J., Srivastava, D. S., Duffy, J. E., Wright, J.P., Downing, A.L., Sankaran, M., Jouseau, C., 2006. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nat.* 443, 989–992.
- Casini, M., Cardinale, M., Arrhenius, F., 2004. Feeding preferences of herring (*Clupea harengus*) and sprat (*Sprattus sprattus*) in the southern Baltic Sea. *ICES J. Mar. Sci.* 61: 1267-1277.

- Ciancio, J.E., Pascual, M.A., Botto, F., Frere, E., Iribarne, O., 2008. Trophic relationships of exotic anadromous salmonids in the southern Patagonian Shelf as inferred from stable isotopes. *Limnology and Oceanography*, 53, 788-798.
- Dalerum, F., Angerbjorn, A., 2005. Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia*, 144, 647-658.
- Dawson, T.E., Brooks, P.D., 2001. Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement. See Unkovich et al. 2001, pp. 1–18.
- Deniro, M. J., Epstein, S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42. 495-506.
- Ehleringer, J.R., 1989. Carbon isotope ratios and physiological processes in aridland plants, p. 41-54. In P. W. Rundel, J. R. Ehleringer, and K.A. Nagy (eds.), *Stable Isotopes in Ecological Research*. Ecological Studies Series. Springer-Verlag, New York.
- Falkenhaus, T., Dalpadado, P., 2014. Diet composition and food selectivity of sprat (*Sprattus sprattus*) in Hardangerfjord, Norway. *Marine Biology Research*. 10(3): 203-215
- Fantle, M.S., Dittel, A.I., Scwalm, S.M., Epifanio, Ch.E., Fogel, M.L., 1999. A food web analysis of the juvenile blue crab, *Callinectes sapidus*, using stable isotopes in whole animals and individual amino acids. *Oecologia* 120, 416–426.
- Fry, B., 2006. *Stable Isotope Ecology*. New York: Springer, 308 pp.
- Fry, B., 1988. Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnol Oceanogr* 33: 1182–1190
- García de Jalón, D., Rustarazo, M., Hervella, R., Culebras, E., Fernández, T., 1993. *Principios y técnicas de gestión de la pesca de aguas continentales*. Mundi Prensa Madrid. 247 pp.

- Gerking, S.D., 1994. Feeding ecology of fish. Academy Press. San Diego. 416 pp.
- Glasser, N.F., Ghiglione, M.C., 2009. Structural, tectonic and glaciological controls on the evolution of fjord landscapes. *Geomorphology*, 105: 291–302.
- González, H.E., Castro, L.R., Daneri, G., Iriarte, J.L., Silva, N., Vargas, C.A., Giesecke, R., Sánchez, N., 2011. Seasonal plankton variability in Chilean Patagonia fjords: carbon flow through the pelagic food web of Aysén Fjord and plankton dynamics in the Moraleda Channel basin. *Continental Shelf Research*, 31, 225–243.
- González, H.E., Calderon, M.J., Castro, L., Clement, A., Cuevas, L.A., Daneri, G., Iriarte, J.L., Lizarraga, L., Martínez, R., Menschel, E., Silva, N., Carrasco, C., Valenzuela, C., Vargas, C.A., Molinet, C., 2010. Primary production and plankton dynamics in the Reloncavi Fjord and the Interior Sea of Chiloe, Northern Patagonia, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 13-30.
- Iriarte, J.L., González, H.E., Liu, K.K., Rivas, C., Valenzuela, C., 2007. Spatial and temporal variability of chlorophyll and primary productivity in surface waters of southern Chile (41.5–43°S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74: 471- 480.
- Jennings, S., Greenstreet, S.P.R., Hill, L., Piet, G.J., Pinnegar, J.K., Warr, K.J., 2002. Long-term trends in the trophic structure of the North Sea fish community: evidence from stable-isotope analysis, size-spectra and community metrics. *Marine Biology*, 141, 1085-1097.
- Kilian, R., Baeza, O., Steinke, T., Arévalo, M., Ríos, C., Schneider, C., 2007a. Late Pleistocene to Holocene marine transgression and thermohaline control on

- sediment transport in the western Magellanes fjord system of Chile (53°S). *Quaternary International*, 161: 90–107.
- Kling, G.W., Fry, B., O'Brien, W.J., 1992. Stable isotopes and planktonic trophic structure in arctic lakes. *Ecology* 73:561-566.
- Kwak, T.J., Zedler, J.B., 1997. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. *Oecologia* 110, 262-277.
- Lafón, A., Silva, N., Vargas, C.A., 2014. Contribution of allochthonous organic carbon across the Serrano River Basin and the adjacent fjord system in Southern Chilean Patagonia: Insights from the combined use of stable isotope and fatty acid biomarkers. *Progress in Oceanography*, 129, 98-113.
- Landaeta, M.F., Castro, L.R., 2006. Spawning and larval survival of the Chilean hake *Merluccius gayi* under strong summer upwelling conditions off central Chile. *Fisheries Research* 77: 115–121.
- Lassalle, G., Chauvelon, T., Bustamante, P., Niquil, N., 2014. An assessment of the trophic structure of the Bay of Biscay continental shelf food web: Comparing estimates derived from an ecosystem model and isotopic data. *Progress in Oceanography*, 120, 205-215.
- León, R., Castro, L.R., Cáceres, M., 2008. Dispersal of *Munida gregaria* (Decapoda: Galatheidae) larvae in Patagonian channels of southern Chile. *ICES Journal of Marine Science* 65: 1131-1143.

Madirolas, A., Hansen, J.E., 2000. Sardina fueguina (*Sprattus fuegensis*). En: Síntesis del estado de las pesquerías marítimas argentinas y de la Cuenca del Plata, años 1997-1998, con una actualización de 1999 (S. Bezzi, R. Akselman y E. Boschi, Eds.). Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina, 388 pp.

Martínez del Rio, C., Wolf, N., Carleton, S.A., Gannes, L.Z., 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews*, 84: 91–111.

Mayr, C., Rebolledo, L., Schulte, K., Schuster, A., Zolitschka, B., Foersterra, G., Haeussermann, V., 2014. Responses of nitrogen and carbon deposition rates in Comau Fjord (42° S, southern Chile) to natural and anthropogenic impacts during the last century. *Continental Shelf Research*, 78, 29-38.

Mayr, C.C., Foersterra, G., Haeussermann, V., Wunderlich, A., Grau, J., Zieringer, M., Altenbach, A.V., 2011. Stable isotope variability in a Chilean fjord food web: implications for N- and C-cycles. *Marine Ecology Progress Series*, 428, 89-104.

Miller, J.F., Millar, J.S., Longstaffe, F.J., 2008. Carbon- and nitrogen-isotope tissue–diet discrimination and turnover rates in deer mice, *Peromyscus maniculatus*. *Can. J. Zool.* 86, 685–691.

Minagawa, M., Wada, E., 1984 Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age; *Geochim. Cosmochim. Acta* 48 1135–1140

- Mujica, A., Medina, M., 1997. Larvas de crustáceos decápodos de los canales australes de Chile (41o 30' - 46o 30' S). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20: 147-154.
- Palma, S., Silva, N., 2004. Distribution of siphonophores, chaetognaths and euphausiids and oceanographic conditions in the fjords and channels of southern Chile. *Deep-Sea Res. II*, 51: 513-535.
- Pavés, H., González, H.E., Castro, L., Iriarte, J.L., 2014. Carbon flows through the pelagic sub-foodweb in two basins of the Chilean Patagonian coastal ecosystem: the significance of coastal–ocean connection on ecosystem parameters. *Estuaries and Coasts*.
- Peck, M.A., Baumann, H., Bernreuther, M., Clemmesen, C., Herrmann, J.P., Haslob, H., Huwer B., Kanstinger, Ph., Köster, F.W., Petereit, Ch., Temming, A., Voss, R., 2012. Reprint of: The ecophysiology of *Sprattus sprattus* in the Baltic and North Seas. *Progr. in Oceanogr.* 107 (2012): 31–46
- Peterson, B.J., 1999. Stable isotopes as tracers of organic matter input and transfer in benthic food webs: a review. *Acta Oecol.* 20, 479–487.
- Peterson, B.J., Fry, B., 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecological Systems* 18, 293–320.
- Post, D.M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83, 703-718.
- Ramírez, F. C., 1976. Contribución al conocimiento del espectro alimenticio de la sardina fueguina (Clupeidae, *Sprattus fuegensis* (Jenyns)). *Neotropica (La Plata)* 22 (68), 137-142.
- Rebolledo, L., González, H.E., Muñoz, P., Iriarte, J.L., Lange, C.B., Pantoja, S.,

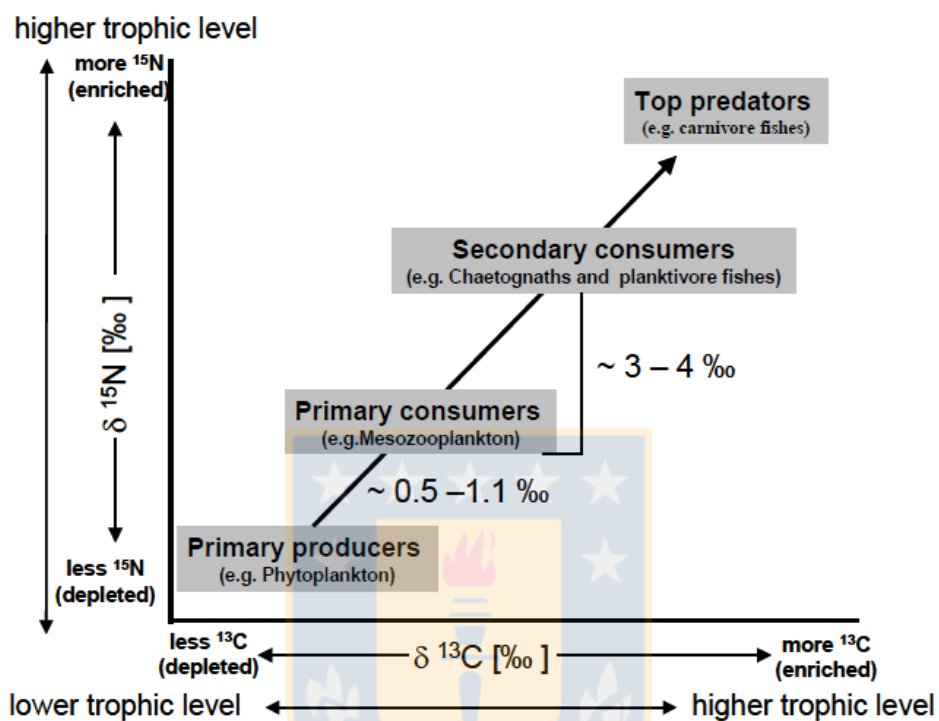
- Salamanca, M., 2011. Siliceous productivity changes in Gulf of Ancud sediments (42°S, 72° W), southern Chile, over the last similar to 150 years. *Continental Shelf Research*, 31, 356-365.
- Rodríguez, J., Villamizar, E., 2006. Alimentación del pez tropical *Gobioides broussoneti* (Pisces: Gobiidae) en la laguna de Unare, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 54: 1093-1098.
- Rodríguez-Grana, L., Calliari, D., Conde, D., Sellanes, J., Urrutia, R., 2008. Food-web of a SW Atlantic shallow coastal lagoon: spatial environmental variability does not impose substantial changes in the trophic structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 362, 69–83.
- Sabatini, M.E., Álvarez Colombo, G.L., 2001. Seasonal pattern of zooplankton biomass in the Argentinian shelf off Southern Patagonia (45°– 55°S). *Sci. Mar.* 65, 21 – 31.
- Sepúlveda, J., Pantoja, S., Huguen, K.A., 2011. Sources and distribution of organic matter in northern Patagonia fjords, Chile (similar to 44-47 degrees S): A multi-tracer approach for carbon cycling assessment. *Continental Shelf Research*, 31, 315-329.
- Silva, N., Vargas, C.A., Prego, R., 2011. Land-ocean distribution of allochthonous organic matter in surface sediments of the Chiloe and Aysen interior seas (Chilean Northern Patagonia). *Continental Shelf Research*, 31, 330-339.
- Silva, N., Calvete, C., 2002. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre el golfo de Penas y el estrecho de Magallanes (Crucero CIMAR Fiordo 2). *Cienc. Tecnol. Mar*, 22(1): 23-88.
- Silva, N., Calvete, C., Sievers, H. A., 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (Crucero CIMAR-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 21: 17-48.

- Silva, N., Calvete, C., Sievers, H.A., 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (Crucero CIMAR-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20: 23-106.
- Sievers, H.A., Silva, N., 2006. Masas de aguas y circulación en los canales y fiordos australes. En: *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a Cabo de Hornos*. Silva, N. & Palma, S. (Eds.), Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia universidad Católica de Valparaíso, pp. 53-58.
- Valdenegro, A., Silva, N., 2003. Caracterización oceanográfica física y química de la zona de canales y fiordos australes de Chile entre el Estrecho de Magallanes y Cabo de Hornos (CIMAR 3 Fiordos). *Ciencia y Tecnología del Mar*, 26(9): 19-60.
- Whitehead, P.J. 1985. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeioidi). *F.A.O. Fish. Synopsis* 125(7):1-303.
- Vander Zanden, M.J., Rasmussen, J.B., 2001. Variation in delta N-15 and delta C-13 trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*, 46, 2061-2066.
- Vander Zanden, M.J., Rasmussen, J.B., 1999. Primary consumer delta C-13 and delta N-15 and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*, 80, 1395-1404.
- Zapata-Hernández, G., Sellanes, J., Thurber, A.R., Levin, L.A., 2014. Trophic structure of the bathyal benthos at an area with evidence of methane seep activity off southern Chile (similar to 45 degrees S). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 94, 659-669.

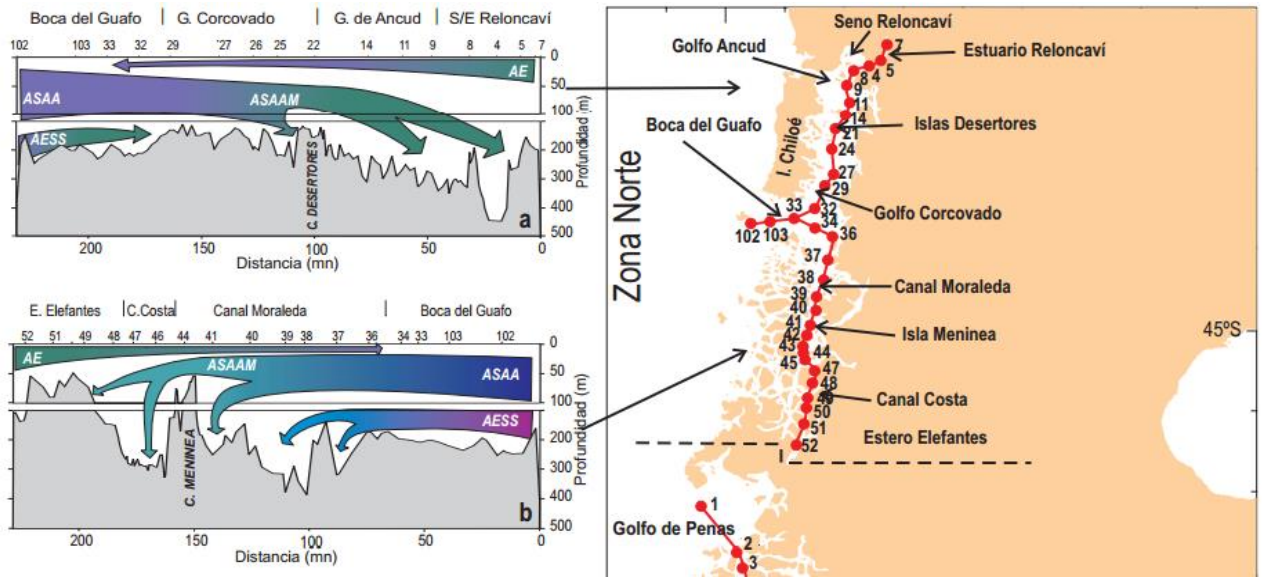
Zuleta, A., Rubilar, P., 2010. Impacto del desarrollo de una pesquería de sardina austral (*Sprattus fueguensis*) en aguas interiores de las regiones X-XII. (CEPES S.A.).
Informe Técnico CEPES SA. 8 p.



ANEXO

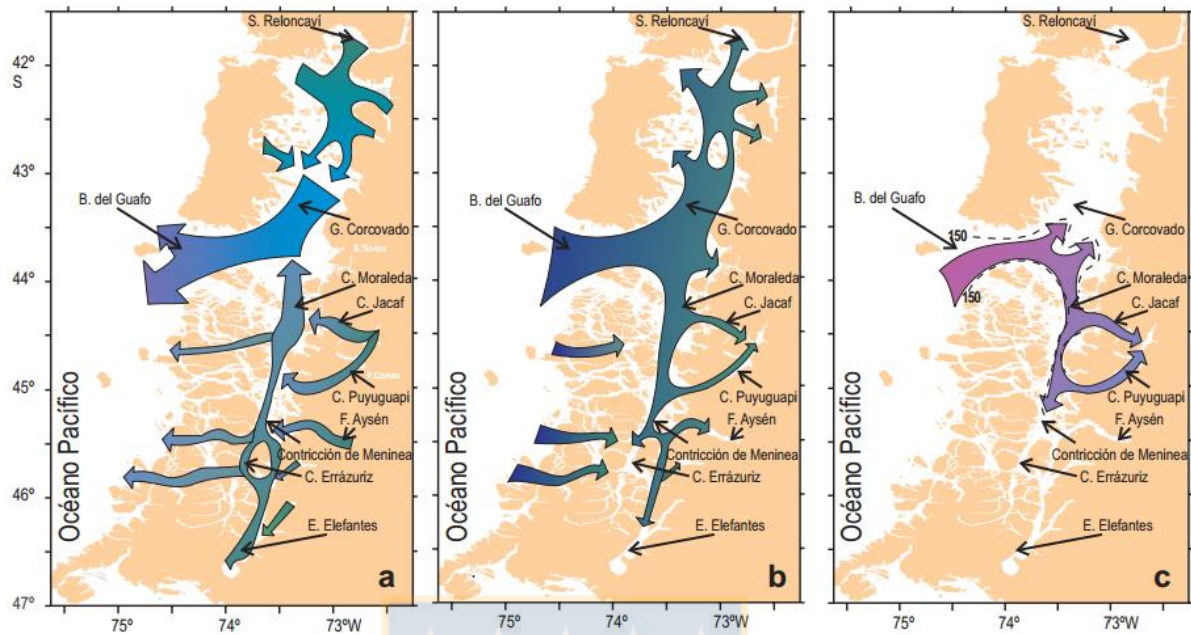


Anexo, Figura 1: Ejemplo de enriquecimiento trófico de C y N (extraído de tesis doctoral, Agurto, 2007).

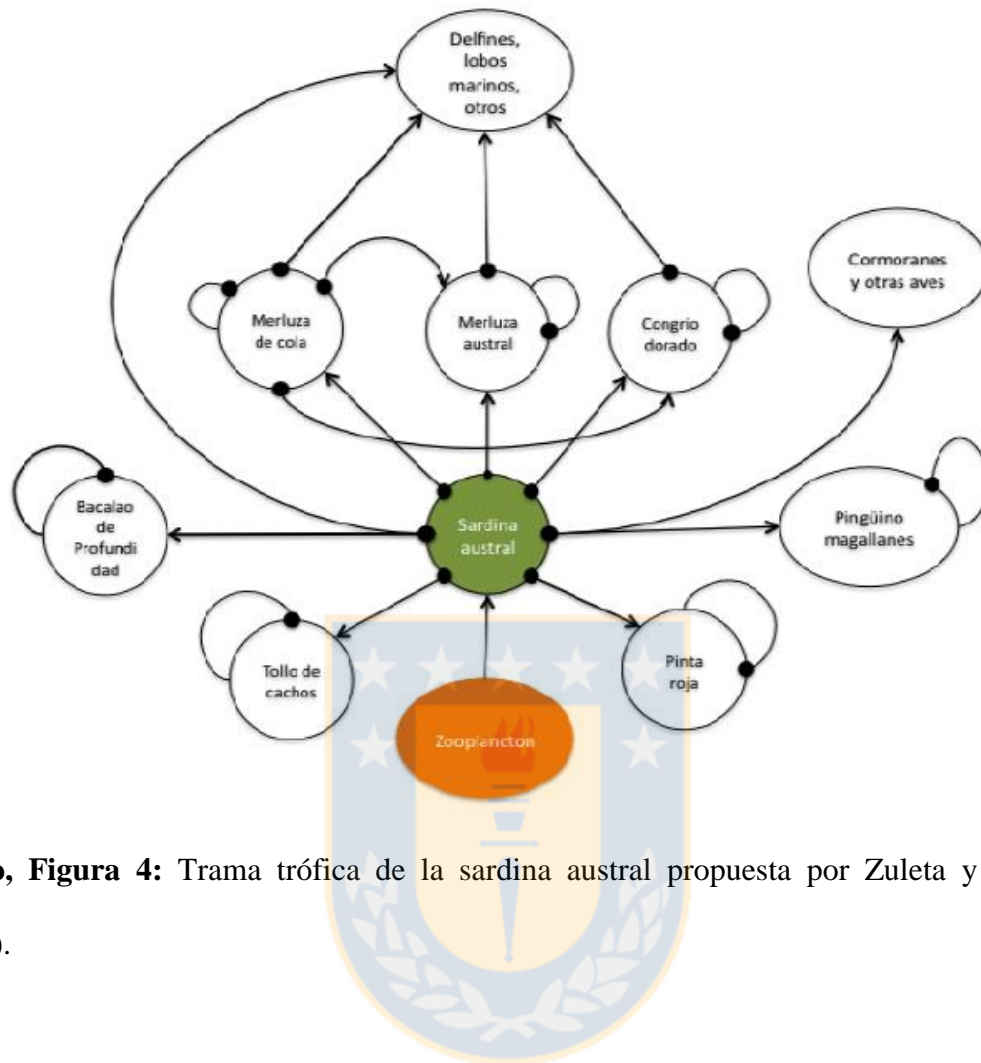


Anexo, Figura 2: Masas de aguas presente en la zona del Mar Interior de Chiloé y la zona de los canales y fiordos, (Extraído desde Sievers & Silva, 2006).

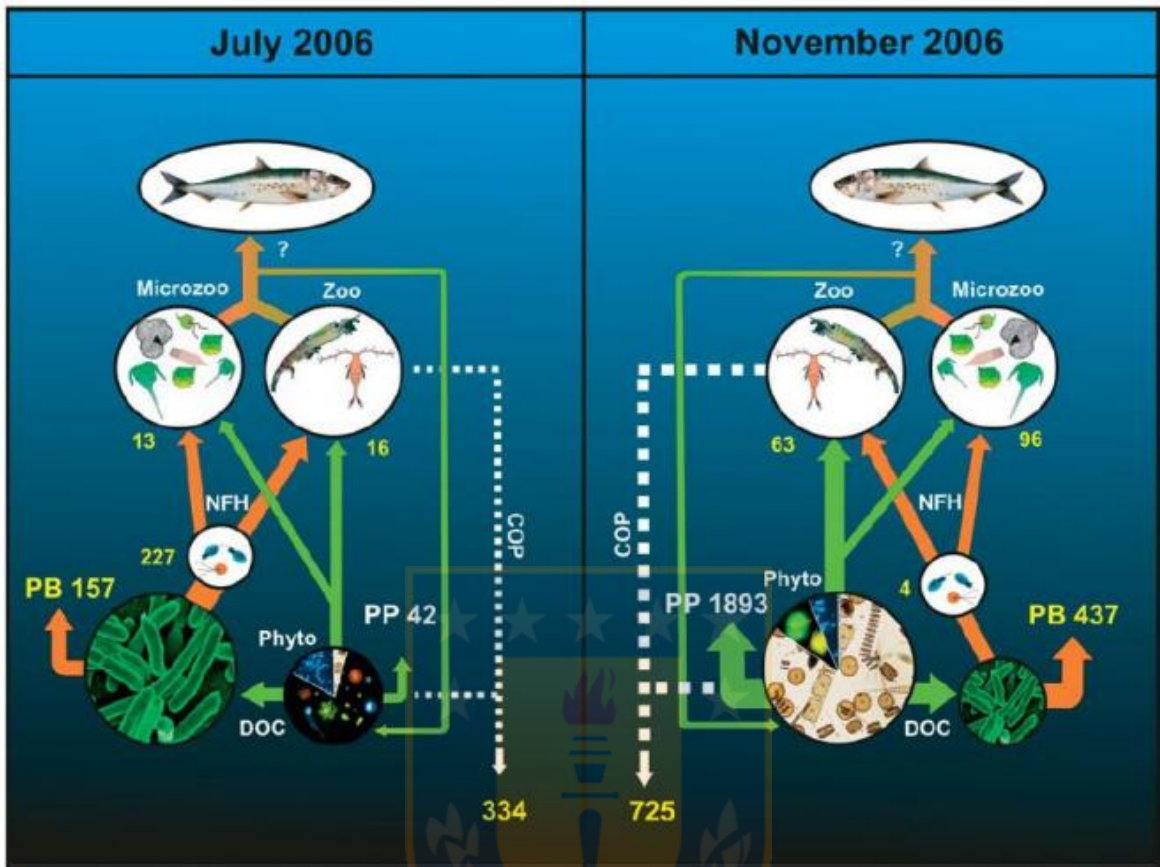




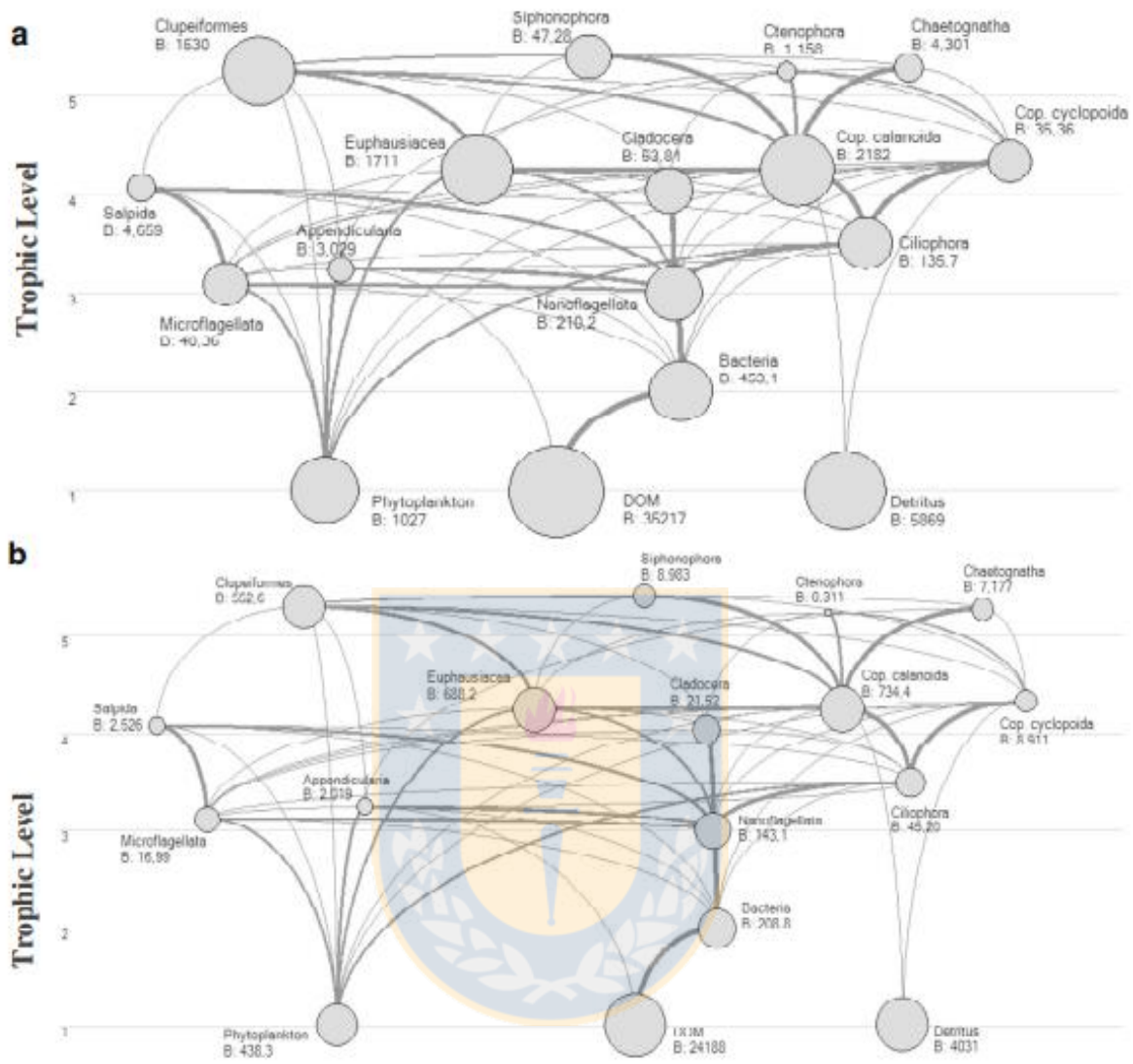
Anexo, Figura 3: Modelo esquemático de las circulación horizontal de las masas de agua en el Mar Interior de Chiloé y la zona de los Canales y fiordos: a) nivel superficial (0- ~30 m); b) nivel intermedio (~30- ~150 m), c) nivel profundo (~150 m al fondo) (Sievers & Silva, 2006).



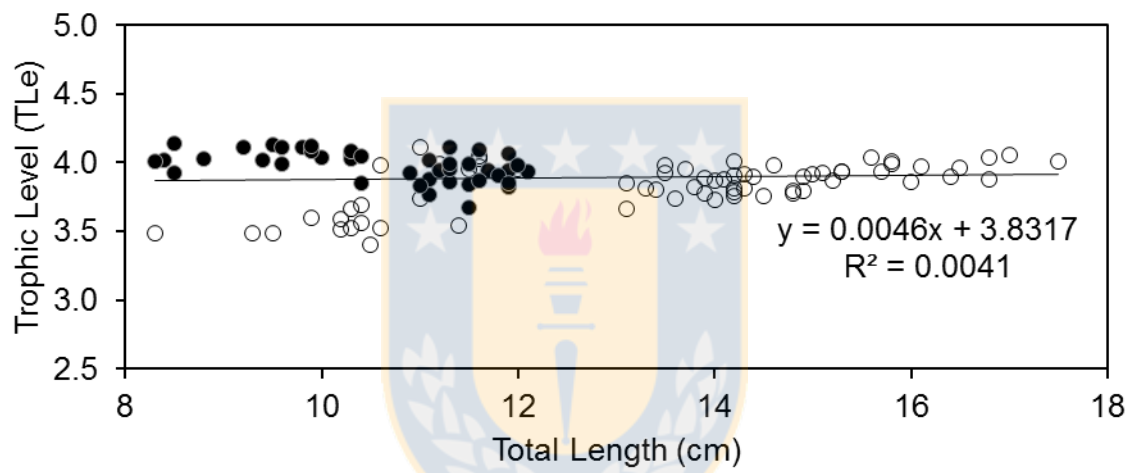
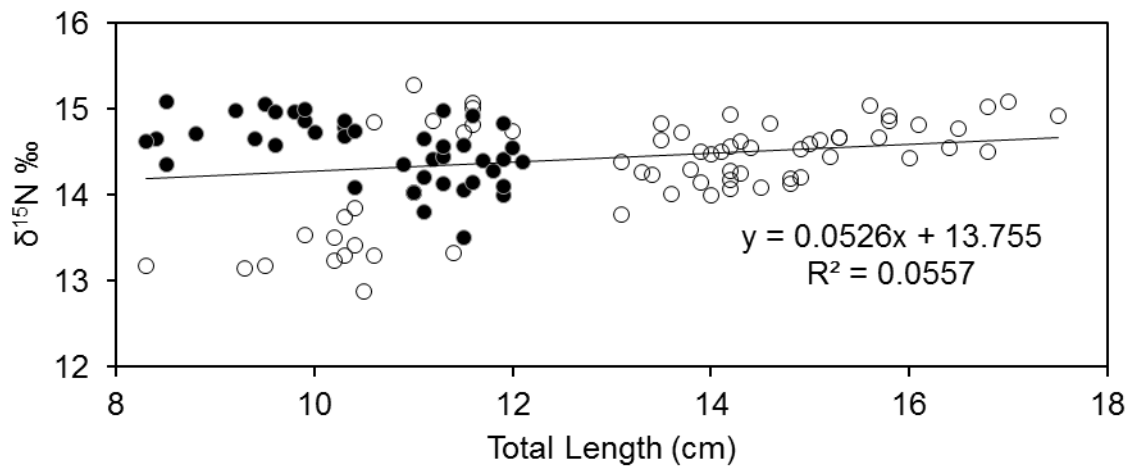
Anexo, **Figura 4:** Trama trófica de la sardina austral propuesta por Zuleta y Rubilar, (2010).



Anexo, Figura 5: Flujo vertical de carbono orgánico particulado en la trama trófica del Fiordo del Reloncaví en invierno y primavera (González *et al.*, 2010).



Anexo, Figura 6: Vías tróficas entre grupos funcionales en las tramas tróficas clásicas y microbianas de la (a) zona del Mar Interior de Chiloé y (b) del Canal Moraleda. El grosor de las líneas muestra el nivel de flujo de energía entre grupos funcionales (Pavés *et al.*, 2014).



Anexo, Figura 7: Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y nivel trófico con la longitud del individuo (LT cm) de sardina austral para otoño del año 2013.

Anexo, Tabla 1: Procedencia de las muestras durante el periodo de estudio.

Date	Zone	Cruise	Type of sample
June-July 2011	X región, P. Montt, Estero Pillan	Otorgadas por L. Cubillos	Patagonian sprat
March-April 2012	Argentina (50° a 52°S)	FIP 2010-17 "Determinación de unidades poblacionales de sardina austral presente en la X y XII regiones de Chile"	Patagonian sprat
June 2012	X región, Canal San Antonio	Jürgen Betzhold	Patagonian sprat
July 2012	X región, Bahía Colaco	Jürgen Betzhold	Patagonian sprat
Febrery 2013	Bajos de Quicaví, Isla Chauques, Chiloé, X región.	Jürgen Betzhold	Patagonian sprat
April 2013	Mar Interior de Chiloé	FIP 2012-15 "Rol ecosistémico de sardina austral e impacto de su explotación sobre la sustentabilidad de otras especies de interés comercial"	Patagonian sprat
May 2013	X región	FIP 2013-11 "Hidroacústico de pelágicos pequeños"	Patagonian sprat, plankton, phytoplankton
June 2013	XI región	FIP 2013-11 "Hidroacústico de pelágicos pequeños"	Patagonian sprat, plankton, phytoplankton
July 2013	X región	CIMAR 19	plankton, phytoplankton