



INFORME FINAL

Caracterización de la historia de vida de
anchoveta, sardina común y sardina austral
de la zona centro sur

FIP N° 2013-19 / Septiembre-2015



INFORME FINAL

Caracterización de la historia de vida de
anchoveta, sardina común y sardina austral
de la zona centro sur

FIP N° 2013-19 / Septiembre-2015

REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA Y ACUICULTURA
Presidente Consejo de Investigación Pesquera y Acuicultura:
Raúl Súnico Galdames

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación Pesquera
Claudio Bernal Ponce

JEFE DE PROYECTO

José Francisco Cerna Troncoso



FIP N° 2013-19 / Septiembre-2015

AUTORES

Instituto de Fomento Pesquero-IFOP
José Francisco Cerna Troncoso

P. Universidad Católica de Valparaíso-PUCV
Guido Plaza Pastén

COLABORADORES

Instituto de Fomento Pesquero-IFOP
Mackarena Gómez Beltrán
Cristian Canales Ramírez
Amalia López Ahumada
Cecilia Machuca Rodríguez
Guillermo Moyano Altamirano
Juan Carlos Saavedra Nievas

P. Universidad Católica de Valparaíso-PUCV
Alejandra Hernández Saso
Omar Olguín Caroca
Pamela Poblete Escalona
Grechel Taucare Vega



1. RESUMEN EJECUTIVO

En el presente documento se entregan los resultados finales del proyecto “*Caracterización de la historia de vida de anchoveta, sardina común y sardina austral de la zona centro-sur*”. Este proyecto emplea como herramienta el análisis de la microestructura de sus otolitos sagitales, para conocer información precisa sobre tasas de crecimiento, fechas de nacimiento y edad de reclutamiento de estas especies de la zona centro-sur de Chile. Para este propósito se emplearon otolitos sagitales de juveniles, con longitudes menores e iguales a la talla media de madurez, recolectados durante los principales meses de reclutamiento de estos recursos en el año 2013 y 2014 específicamente para la sardina austral.

Se analizó el patrón de la microestructura de los otolitos en el plano sagital, para peces cuyas tallas (LT) fluctuaron entre 3,5 a 12,0 cm en anchoveta, 3,0 a 12,0 cm en sardina común y 4,5 a 13 cm en sardina austral. Para ello los otolitos sagitales fueron embebidos en resina epóxica, pulidos por ambos lados en posición sagital y fotografiados mediante analizadores de imágenes compuestos por microscopio, cámaras digitales y software de captura y análisis, disponibles en la Sección de Edad y Crecimiento del Instituto de Fomento Pesquero y en el Laboratorio de Esclero-cronología de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. La lectura se llevó a cabo utilizando imágenes digitalizadas, siendo necesario realizar en la mayoría de los casos varias imágenes para lograr una secuencia completa de micro-incrementos desde el primordio hasta el borde del otolito, por lo que previo a la lectura las imágenes de las distintas áreas del otolito obtenidas a 400X de magnificación fueron debidamente ensambladas.

El análisis de la microestructura de los otolitos en las tres especies objetivos evidenció los siguientes tres rasgos sobresalientes: (i) elevada resolución de los



micro incrementos en ejemplares menores a 5 cm para sardina común y anchoveta; (ii) disminución de la resolución de los micro-incrementos primarios en otolitos sagitales de ejemplares de mayor talla (9-12 cm) para las tres especies estudiadas; y (iii) similitud de rasgos micro-estructurales entre las dos especies de sardinas en ejemplares de entre 6 y 10 cm. En este último caso se observó un patrón de crecimiento de bandas concéntricas regulares compuestas por 3-5 visibles a menor magnificación (100X) y compuestas por micro-incrementos de menor grosor, los cuales se observaron nítidamente a aumentos de mayor magnificación (400X-1000X). Estas estructuras se extendieron con posterioridad a una zona presumiblemente larval donde los micro-incrementos fueron más distintivo. En ausencia de una validación de la periodicidad de formación de los micro-incrementos primarios para ambas especies de sardinas, los micro-incrementos más finos, identificados a mayor magnificación, fueron considerados anillos diarios en el presente estudio.

Tanto en la sardina común como en la sardina austral la primera zona hialina (PZH), que fluctuó entre 50 -120 μm de grosor, no evidenció la presencia de micro-incrementos primarios visibles. Esta PZH comienza a formarse en promedio a los 185 y 169 días para sardina común y sardina austral, respectivamente, que coincide con los 6 primeros meses de mayor crecimiento asociado al depósito opaco en los otolitos o primera zona opaca (PZO). Si se considera además, que el grosor de los micro-incrementos, cuando son resolubles en ciertas áreas de la PZH, pueden estar en torno a 0,5 μm , es razonable inferir que la formación de esta zona puede abarcar los 6 meses posteriores a la PZO, conformando estas zonas (PZO y PZH) el primer anulo para ambas especies.

En el caso particular de la anchoveta de la zona centro-sur se demostró que la primera zona hialina observada en los otolitos presentó una periodicidad menor al



año, el que comenzaría a formarse entre los 3,5 a 4,8 meses de edad. A diferencias de la sardina común y sardina austral, este primer macro-anillo presentó micro-incrementos claramente identificables, no observándose discontinuidad en la microestructura, concluyéndose que la primera zona hialina en esta especie no correspondió a un anillo verdadero.

El análisis de la micro-estructura de los otolitos permitió reconstruir la distribución de fechas de nacimiento, que en general coincidieron con la época de desove descrita para las tres especies en las áreas de estudio; es decir extensa para la anchoveta (invierno a verano), más conspicua para sardina común (invierno - primavera) y sardina austral (principalmente primavera). Es importante destacar que la reconstrucción precisa de la época de desove respalda la confiabilidad en el proceso de identificación y lectura de los micro-incrementos primarios en las especies estudiadas. Los resultados demostraron que en el caso de juveniles de anchoveta de entre 7,0 y 11,5 cm de LT, capturados en enero de 2013 correspondieron principalmente a peces nacidos entre julio y octubre de 2012. A su vez anchovetas entre 3,5 y 7,0 cm LT, capturados en mayo del 2013 correspondieron a peces nacidos entre enero y marzo del mismo año. En el caso de la sardina común y sardina austral la mayoría de los ejemplares entre 7 y 11 cm LT (150-256 d) recolectados durante el proceso de reclutamiento del año 2013 provinieron de un pulso de desove que ocurrió entre 5-6 meses previos.

La relación talla edad a la fecha de captura para ejemplares de sardina común de entre 3 y 12 cm LT y edades de entre 47 a 256 días se ajustó significativamente a un modelo Laird-Gompertz que permitió estimar una tasa de crecimiento absoluta al punto de inflexión ($X_0=62$ días) de $0,62 \text{ mmd}^{-1}$. Por su parte la relación talla edad de sardina austral entre 4,5 y 13 cm LT y entre 128 y 214 días mostró una tendencia lineal, pero con una clara separación entre los ejemplares recolectados entre las



regiones X y XI, en los años 2013 y 2014, respectivamente, con tasas instantáneas de crecimiento (pendiente del modelo) significativamente distintas entre ambos grupos analizados ($0,6 \text{ mmd}^{-1}$ vs $0,2 \text{ mmd}^{-1}$). En el caso de la anchoveta el modelo Laird-Gompertz explicó de mejor forma la relación talla-edad en ejemplares entre 3,5 y 11,5 cm LT y edades entre 57 y 173 días, estimándose un coeficiente de crecimiento (parámetro K de las funciones) de $0,011 \text{ d}^{-1}$.

El análisis de la micro-estructura de los otolitos también permitió la reconstrucción de perfiles de grosores de los micro-incrementos y estimación de tasas de crecimiento globales (TCG) por cohortes de nacimiento para las tres especies objetivas. En el caso de la anchoveta, los juveniles que nacieron en verano presentaron grosores marcadamente inferiores que aquellos nacidos en invierno, aspecto que fue evidenciado también en las TCG ($0,72 \pm 0,18 \text{ mmd}^{-1}$ invierno vs $0,59 \pm 0,15 \text{ mmd}^{-1}$ verano). Estos resultados sugieren que la productividad más que la temperatura pareciera ser el principal controlador del crecimiento en los estadios temprano de esta especie, lo que es coincidente también con la existencia de un periodo principal de desove que ocurre invariablemente en esta especie en el periodo invernal. La existencia de una época de desove más conspicua en ambas especies de sardinas no permitió un análisis de este tipo. Un patrón inverso entre ambas especies fue también evidenciado en las TCG, las que fueron significativamente mayores para la sardina común recolectada en la zona centro sur en el año 2013 ($0,62 \text{ mmd}^{-1}$) que para la sardina austral colectada en la XI Región el año 2014 ($0,33 \text{ mmd}^{-1}$), similar a lo reportado para las tasas instantáneas de crecimiento. Para resolver esta disyuntiva se recomienda llevar a cabo un estudio abarcando una escala temporal y espacial más amplia, para verificar si las bajas tasas de crecimiento de sardina austral encontradas en la XI Región son un rasgo característico en esta área de fiordos, la cual posee características hidrográficas y de producción particulares.



En dos de las tres especies estudiadas (*S. bentincki* & *S. fueguensis*) los resultados alcanzados en este trabajo son suficientes para sugerir que los criterios de estimación de edad anual, actualmente empleados por IFOP, son correctos. Esta misma conclusión puede extenderse para los criterios de asignación de grupos de edad. Aunque se requiere realizar algunos cambios menores. En el caso de anchoveta no fue posible identificar el primer annulus y consecuentemente la asignación de edad anual no pudo ser confirmada. Sin embargo, la tasa de crecimiento estimada en juveniles, inferior a la registrada para la zona norte de Chile, nos permite sugerir preliminarmente que la estimación de edad anual podría estar correcta. No obstante, es altamente recomendable efectuar un estudio que analice la microestructura de ejemplares mayores a 12 cm (adultos) para confirmar esta inferencia.

Los resultados del análisis del crecimiento con metodologías alternativas, a saber que incluyó estimaciones de tasas de crecimiento derivadas del análisis de progresión modal de frecuencias de tallas y pesos del otolito, fueron consistentes en evidenciar que la especie con mayor tasa de crecimiento fue la anchoveta, seguido de la sardina común y sardina austral respectivamente, aunque los valores estimados no fueron estrictamente comparables a aquellos derivados de la lectura de micro-incrementos primarios, debido a que son metodologías independientes.

En conclusión los resultados de la presente investigación han demostrado que es factible reconstruir aspectos de la historia de vida de los estadios tempranos de estas tres especies, a partir del análisis de la micro-estructura de sus otolitos sagitales. Estos registros han evidenciado una dicotomía entre las especies de sardinias y anchoveta en el área de estudio, debido a la existencia de una primera zona hialina



(PZH) con características de ánulo verdadero en ambas sardinas vs la presencia de la PZH sin mostrar evidencias de detención de crecimiento en anchoveta.

Efectivamente, se ha venido acumulando evidencia que *Engraulis ringens* posee rasgos de historia de vida particulares, las que se potencian por la existencia de una época de desove prolongada. No obstante, las tres especies parecen compartir la tendencia a maximizar el crecimiento en los primeros 2-3 meses de vida, período donde se podría estar determinando la fuerza de las clases anuales de estas especies, ya que un mayor crecimiento en los estadios tempranos está directamente ligado a una mayor sobrevivencia larval y juvenil, constituyendo un factor precursor de clases anuales fuertes.

Finalmente, se recomienda reconstruir la historia de vida mediante la medición de micro-incrementos en los otolitos de los sobre-vivientes, en una escala interanual más extensa que abarque varios años. La existencia de colecciones históricas de otolitos derivados de los muestreos de seguimientos de las pesquerías de estas especies permitiría una aproximación de este tipo. Sin embargo, previo a un enfoque de este tipo, es altamente recomendable desarrollar un estudio de validación de la periodicidad de formación de los micro-incrementos en condiciones de confinamiento en sardina común y sardina austral.



EXECUTIVE SUMMARY

The Final Report shows the results of the project "Characterization of the life history of anchovy, common sardine and Patagonian sprat in the south-central zone". This project uses as tool the otolith microstructure analysis of their sagittal otoliths to obtain reliable information on growth rates, birth dates and age at recruitment of these species in the central- southern zone of Chile. For this purpose sagittal otoliths were used, which were obtained from juveniles \leq than the average size at maturity of this three species were, collected during the main recruitment season of 2013 and 2014, specifically for the southern sardine.

Otolith microstructure patterns were analyzed in sagittal otoliths of juveniles ranging from 3.5 to 12.0 cm in anchoveta, from 3.0 to 12.0 cm in common sardine and from 4.5 to 13.0 cm TL in the Patagonian sprat. Preparation protocols compassed embedding the otoliths in epoxy resin, polishing them on both sides in sagittal position and a digitalization process using Analysis image systems available in the Section of Age and Growth of IFOP and in the Sclero-chronology Laboratory at the Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. The reading was performed using digitized images taken at 400X of magnification, due to the fineness of the primary micro-increments in the three species. In most cases multiple images were needed to achieve a complete sequence of micro-increments from the primordium to the otolith edge.

Otolith microstructure analysis of the target species showed the following three distinctive features: (i) high resolution of micro increments in otolith from juveniles < 5 cm TL for common sardine and anchovy; (ii) decrease in the resolution of the



micro- increments in juveniles of larger size (9-12 cm) for the three species; and (iii) similarity of micro-structural features between the two species of sardines in juveniles between 6 and 10 cm TL. In this latter case the otolith growth pattern showed the occurrence of regular concentric bands (RCB), visible at lower magnifications (100X), and encompassed by of 3-5 narrower micro-increments, which were clearly visible at higher magnification (400X-1000X). RCBs extended after a presumably larval area where distinctive micro-increments occurred. In the absence of a validation study on the periodicity of formation of primary micro-increments primary for both species of sardines, finer micro-increments identified at higher magnification were considered as daily ring in this study.

In both the common sardine and the Patagonian sprat the first hyaline zone (FHZ), which ranged between 50 and 120 μm in thickness, did not show the presence of primary micro-increments. This FHZ was formed at a mean age of 185 and 169 days in the common sardine and southern sardine, respectively, matching with the first 6 months of deposition of the first opaque zone (FOZ). Assuming that the increment width of the micro-increments when are visible at the beginning of the FHZ may be about 0.5 μm it is reasonable to infer that the formation of the FHZ can encompass the posterior 6 months after the FOZ. Hence, both zones (FOZ & FHZ) seem to be corresponding to a true first annulus for these species. In the particular case of anchovy the FHZ started between 3.5 and 4.8 months of life. In this species micro-increments were visible within the FHZ, without evidence of discontinuity of otolith growth. Therefore, it was concluded that the FHZ on this species does not correspond to a true annulus.

Through otolith microstructure analysis was possible to back-calculate the birth dates, which matched the spawning period described for the three species in the study area, i.e., extensive for anchovy (winter to summer), most conspicuous for



sardine (winter and spring) and Patagonian sprat (mainly spring). Such an accurate reconstruction of the spawning season supports the reliability in the process of age determination at the daily level for these species. The results showed that in the case of juvenile anchovy between 7.0 and 11.5 cm TL, captured in January 2013 mainly corresponded to fish born between July and October 2012, whereas exemplars between 3.5 and 7.0 cm LT, captured in May 2013 were born between January and March of that year. In the case of common sardine and Patagonian sprat most individuals between 7 and 11 cm LT (150-256 d) collected during the recruitment process in 2013 came from a spawning pulse occurred 5-6 months before.

The age-length relationship at the time of capture for juveniles from 3 to 12 cm TL of the common sardine and from 47 to 256 in age fit to a Laird-Gompertz model, which estimated an absolute growth rate at the inflection point ($X_0=62$ days) of $0,62 \text{ mmd}^{-1}$. Meanwhile age-length relationship for juveniles of the Patagonian sprat ranging between 4.5 and 13.0 cm LT and between 128 and 214 days showed a linear trend, but with a clear separation between specimens collected between X and XI regions in the years 2013 and 2014, respectively. Instantaneous growth rates derived from lineal models significantly varied between the two groups analyzed relationship (0.6 vs 0.2 mmd^{-1}). For anchovy the best model that explained age-length relationship for individual ranging from 3.5 and 11.5 cm LT and ages between 57 and 173 days was the Laird-Gomperzt, which estimated of K parameter of 0.011 d^{-1} .

Otolith microstructure analysis also allowed the reconstruction of increment width profiles and overall growth rates (OGR) by birth month for the three target species. In the case of anchovy juveniles born in summer showed markedly finer increment with than those born in winter. This life history trait was also evident in



the OGRs ($0.72 \pm 0.18 \text{ mmd}^{-1}$ winter vs $0.59 \pm 0.15 \text{ mmd}^{-1}$ summer). These results suggest that productivity rather than the temperature seems to be the main growth controller in the early stages of this species, because the main spawning period occurs mainly in winter in this species. The existence of a more conspicuous spawning season in both species of sardines did not allow a similar analysis; however, it was evident wider increment width in juveniles closer to summer for common sardine and vice versa for southern sardine. A reverse pattern between the two species was also evidenced in the TCGs, which were significantly higher for sardine collected in the south central area in 2013 (0.62 mmd^{-1}) than for sardines collected in the southern region XI 2014 (0.33 mmd^{-1}), similar to that reported for the instantaneous growth rates. To resolve this controversy a further research is needed on wider temporal and spatial scales, to verify whether the low growth rates found for austral sardines at the XI region are a characteristic feature in this area of fjords, which have particular hydrographic and production conditions.

In two of the three species (*S. bentincki* & *S. fueguensis*) the results achieved in the current study are enough to suggest that the criteria used by IFOP for assigning annual age are correct. The same conclusion can be extended to the criteria used to assign age groups, although some minimal changes are required. In anchovy it was not possible to identify the first annulus, and consequently the assignment of annual age could not be evaluated. However, as the estimated growth rate in juveniles was lower than that recorded for the northern Chile, it is reasonable to infer that annual age assignment could be reliable. Nevertheless, it is highly recommended to perform to analyze the otolith microstructure in individuals > 12 cm (adults) to confirm this inference.



The analysis of growth with alternative methodologies included the estimation of growth through modal progression analysis (MPA) of both length and otolith weight. The results from these approaches were consistent in evidencing that the species with the highest rate of growth was the anchovy, followed by the southern sardine and sardine respectively, although the estimated values were not strictly comparable to those derived from the reading of micro-increments because they are independent methodologies.

In conclusion the results of this research showed that it is feasible to reconstruct early life history traits in these three species, from the analysis of the micro-structure of their sagittal otoliths. These records have shown a dichotomy between sardine and anchovy species in the study area due to the existence of PZH with characteristics of true annulus in both sardine species vs the presence of PZH without showing evidence of growth discontinuity in anchovy.

Indeed, evidence has been accumulating that *Engraulis ringens* seems to have particular life history traits, which are enhanced by the existence of a protracted spawning season. However, the three species appear to share a common trait, *i.e.*, the tendency to maximize growth within the first 2-3 months of life. Consequently, this period would be playing an important role in determining year class strength in these species. In this context it is important to underline that recent studies have shown that higher growth in the early stages is directly linked to increased larval and juvenile survival, and therefore be a precursor of strongest year classes. Therefore, it is recommended to reconstruct the early life history by measuring micro-increments in the otoliths of the survivors in a larger interannual scale covering several years. The existence of otoliths extracted from immature fish and stored as part of fishery monitoring process will allow applying



this kind of research. However, prior to such an approach it is highly advisable to develop a validation study of the periodicity of formation of micro-increments under rearing conditions in both the southern sardine and common sardine.



2. ÍNDICE GENERAL

	Página
1. RESUMEN EJECUTIVO /EXECUTIVE SUMMARY -----	1
2. ÍNDICE GENERAL -----	13
3. ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS -----	16
4. INTRODUCCIÓN -----	27
5. OBJETIVOS GENERAL -----	30
6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	30
7. ANTECEDENTES -----	31
7.1 Antecedentes sobre la pesquería e historia de vida de las especies objetivos en la zona de estudio -----	31
7.2 Evidencias de crecimiento rápido en pequeños pelágicos -----	37
7.3 Microestructura de otolitos -----	41
7.4 Modelos de crecimiento -----	44
8. METODOLOGÍA -----	50
8.1 Muestreo -----	50
8.2 Preparación y análisis de la micro-estructura de otolitos -----	52
8.2.1 Preparación de otolitos para análisis micro-estructural -----	52
8.2.2 Lectura de micro-incrementos primarios -----	53
8.2.3 Caracterización de la micro-estructura de otolitos -----	57
8.2.4 Precisión de la lectura de micro-incrementos (reproducibilidad)-----	58
8.3 Análisis derivados de la micro-estructura -----	59
8.3.1 Determinar las fechas de nacimiento (FN)-----	59
8.3.2 Determinar el crecimiento de las tres especies a partir del análisis de micro-incrementos de otolitos -----	59



8.3.2.1	Modelos talla-edad a la fecha de captura -----	59
8.3.2.2	Tasas de crecimiento Global -----	61
8.3.2.3	Perfiles del grosor de micro-incrementos-----	62
8.3.2.4	Reconstrucción de los patrones de edad y crecimiento usando retro-calculo -----	62
8.4	Validación de la periodicidad del primer macro-anillo de crecimiento Utilizados en anillos primarios -----	64
8.5	Análisis comparativo del crecimiento con metodologías alternativas	65
8.5.1	Análisis de Progresión Modal de frecuencia de tallas -----	65
8.5.2	Análisis de Progresión Modal del peso del otolito-----	67
9.	RESULTADOS-----	69
9.1	Muestreo -----	69
9.2	Caracterización de la micro-estructura de otolitos -----	69
9.2.1	Caracterización de la micro-estructura de otolitos de anchoveta----	70
9.2.2	Caracterización de la micro-estructura de otolitos de sardina común y austral -----	75
9.3	Precisión de la lectura de micro-incrementos (reproducibilidad)-----	82
9.3.1	Análisis de reproducibilidad de anchoveta -----	82
9.3.2	Análisis de reproducibilidad de sardina común y sardina austral ---	83
9.4	Análisis derivados de la microestructura de otolitos -----	84
9.4.1	Determinar las fechas de nacimiento (FN) -----	84
9.4.2	Determinar el crecimiento de las tres especies a partir del análisis de micro-incrementos de otolitos -----	91
9.4.2.1	Relación Longitud-Radio otolito -----	91
9.4.2.2	Relación Talla-Edad al momento de la captura -----	93
9.4.3	Tasa de crecimiento Global (TCG) -----	100
9.4.4	Perfiles del grosor de micro-incrementos-----	103
9.4.5	Reconstrucción de los patrones de edad y crecimiento usando retro-cálculo -----	106



9.4.6	Validación de la periodicidad del primer macro-anillo de crecimiento -	110
9.5	Revisión de los criterios utilizados para asignar edad y grupo de edad	114
9.5.1	Revisión de los criterios de anchoveta-----	114
9.5.2	Revisión de los criterios de sardina común y sardina austral -----	115
9.6	Análisis comparativo del crecimiento con metodologías alternativas -	116
9.6.1	Análisis de Progresión Modal de frecuencia de tallas-----	116
9.6.2	Análisis de Progresión Modal de frecuencia de pesos de otolitos---	122
10.	DISCUSIÓN -----	124
11.	CONCLUSIONES -----	139
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	142

ANEXOS:

Anexo I. Taller de Presentación de Resultados FIP N° 2013-19.

Anexo II. Plan detallado HH por objetivo específico FIP N° 2013-19.

Anexo III. Base de Datos FIP N° 2013-19.



3. ÍNDICE DE TABLAS FIGURAS Y ANEXOS

TABLAS

- Tabla 1.** Estudios publicados en peces pelágicos pequeños, donde se ha validado la periodicidad de formación de los incrementos de los otolitos, utilizando experimentos de laboratorio.
- Tabla 2.** Cuadro ilustrativo que resume los diferentes métodos de retro-cálculos disponibles en la literatura, para reconstrucción de longitudes previas utilizando la relación entre el tamaño del pez (L) y el tamaño de la estructura calcifica EC (R). L_i : Longitud a la edad " i "; R_c : Tamaño de la EC a la fecha de captura; R_i : Tamaño de la EC a una edad previa " i "
- Tabla 3.** Cuadro ilustrativo resumiendo las características de los tres modelos curvilíneos clásicos utilizados en ciencia pesquera.
- Tabla 4.** Resumen del número de muestras que ingresó al proceso de montaje y preparación, conjuntamente con las secciones resultantes para análisis micro-estructural de otolitos sagitales de las tres especies estudiadas.
- Tabla 5** Estadísticas descriptivas de la zona nuclear de otolitos sagitales de dos especies de clupeoideos, recolectados en la zona centro sur y austral de Chile durante el verano del año 2013. DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. Valores en μm .
- Tabla 6.** Resumen estadístico del radio a la formación de la primera zona hialina (PBH; medido en dirección caudal) y del grosor de la misma, para la sardina común ($n=22$) y sardina austral ($n=20$), en juveniles correspondientes al estrato de tamaño III. DE=desviación estándar.



- Tabla 7.** Análisis de varianza con un factor para evaluar la reproducibilidad en la lectura de micro-incrementos de otolitos en 40 juveniles de anchoveta del centro-sur.
- Tabla 8.** Análisis de Varianza de 1 factor para verificar la hipótesis de igualdad de media entre lecturas, para el número de incrementos para sardina común (SC) y sardina austral (SA).
- Tabla 9.** Estadísticas generales de los ejemplares agrupados, por cohorte mensual de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento de anchoveta, recolectados el 2013 en la zona centro sur de Chile.
- Tabla 10.** Estadísticas generales de los ejemplares agrupados, por cohorte de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento y determinación la relación talla-edad de sardina común, recolectados en el año 2013 en la zona centro sur de Chile.
- Tabla 11.** Estadísticas generales de los ejemplares, agrupados, por cohorte de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento y determinación la relación talla-edad de sardina austral, recolectados en los años 2013 y 2014 en X y XI primera regiones.
- Tabla 12.** Parámetros de crecimiento individual, donde se incluye el error estándar, el estadístico de contraste (t) y la probabilidad de contraste (P valor), para anchoveta de la zona centro-sur obtenidos a partir del modelo de vB estacional y Laird-Gompertz. Se presenta también el coeficiente de determinación (r^2), el tamaño de la muestra (n), el -logaritmo de la verosimilitud (-logLike) con los grados de libertad (df) y el criterio de información de Akaike (AIC).
- Tabla 13.** Parámetros estimados con sus respectivos errores estándares (ES) e intervalos de confianza al 95%, el estadístico de contraste (t) y la



probabilidad de contraste (P valor), para la relación talla-edad a la fecha de captura de juveniles de sardina común, recolectados en la zona centro sur de Chile en 2013. $r^2=0,97$. $n=133$.

Tabla 14. Parámetros estimados con sus respectivos errores estándares (ES) para las relaciones talla-edad y talla peso de juveniles de sardina austral, recolectados en la X y XI primera Región

Tabla 15. Resumen de estadísticas generales de la tasa de crecimiento global (TCG mmd^{-1}) determinada para juveniles de sardina común y sardina austral, mediante la lectura de micro-incrementos diarios por mes de nacimiento.

Tabla 16. Resultados de lectura de la macro-estructura y microestructura de ejemplares juveniles de anchoveta de la zona centro-sur.

Tabla 17 Parámetros de crecimiento estimados para anchoveta, sardina común y sardina austral en base a ajustes de modas de frecuencia de tallas mensuales. L_{∞} corresponde a la longitud asintótica del pez en cm; K es el coeficiente de crecimiento (mes^{-1}); L_0 es la longitud de la primera moda en cm; ds es la desviación estándar de las modas, $-\log\text{Like}$ es el logaritmo de la verosimilitud.

Tabla 18 Parámetros de crecimiento estimados para anchoveta, sardina común y sardina austral en base a ajustes de modas de frecuencia de peso de otolitos mensuales. P_{∞} corresponde al peso asintótico del otolito en mg; K es el coeficiente de crecimiento (mes^{-1}); P_0 es el peso del otolito de la primera moda en mg; ds es la desviación estandar de las modas, $-\log\text{Like}$ es el logaritmo de la verosimilitud.



FIGURAS

- Figura 1.** Distribución espacial de la pesquería de anchoveta, sardina común. La pesquería de la sardina austral se localiza en el área al sur desde los 42°S, en el mar interior de la isla de Chiloé hasta los fiordos y canales australes (Fuente: Aranís *et al.* 2007).
- Figura 2.** Fotografías tomadas bajo microscopía de luz que muestra la existencia de incrementos diarios en la región anti rostral de un otolito sagital, de un ejemplar de 14 cm TL de la anchoveta (*Engraulis ringens*), recolectado en junio de 2010. (a) 40X; (b) X 400 y (c) aumento de 1000x
- Figura 3.** Fotografías de microscopía óptica ilustrando rasgos de la microestructura de los otolitos de peces juveniles (1 & 2) Sagittae de un juveniles de *Sardinops melanosctitus* (Plaza *et al.* datos no publicados); (3) región del primordio de una otolito sagita del clupeideo *Etremeus teres* (Plaza *et al.* 2005); (4 y 5) Secciones frontales y sagitales de un juvenil de un pez de roca (*Sebastes inermis*, Plaza *et al.* 2001). P=primordio; me= marca a la eclosión; pa=marca a la primera alimentación; CSC= Centros Secundarios de crecimiento.
- Figura 4.** Relación lineal entre el crecimiento del pez y el crecimiento del otolito, es el principio de dependencia lineal, es base para la utilización del método retro-cálculo (Chugunova, 1963).
- Figura 5.** Ilustración de la relación tamaño del otolito-tamaño del pez para dos periodos ontogenéticos de pez teleósteo típico, donde se pierde la proporcionalidad.



- Figura 6.** Ilustración de la relación talla-edad a la captura (a) y derivada del retrocálculo (b). LT= longitud total.
- Figura 7.** Ilustración del método SGEM, para la preparación de secciones de otolitos para el análisis de micro-incrementos. **A:** Aplicación de cera termoplástica; **BC:** Mezcla de componentes de resina epóxica; **D& E:** Montaje del otolito; **FJ:** Creación del bloque; **HJJK:** Pulido de la sección; **LMNO:** Montaje de la sección (Fuente: Plaza *et al.* 2005).
- Figure 8.** Ilustración del sistema LDS utilizado para lectura de micro-incrementos de otolitos sagitales de juveniles de la anchoveta, sardina común y sardina austral, recolectados en la zona centro-sur y austral de Chile. Las flechas indican las marcas que facilitan la secuencia de la lectura a distintos niveles de magnificación. La secuencia corresponde a un otolito sagital de un ejemplar de 6,5 cm de LT de la sardina austral de la XI Región.
- Figura 9.** Ilustración del sistema utilizado para medir los radio a cada edad en otolitos sagitales de juveniles de la anchoveta, sardina común y sardina austral, recolectados en la zona centro-sur y austral de Chile. La fotografía corresponde a un otolito sagital de un ejemplar de 4 cm de LT de la sardina común, recolectado en enero de 2013.
- Figura 10.** Otolito de anchoveta perteneciente a un pez de 5 cm LT y 56 días. Corresponde a las cohortes nacidas en verano del 2013. La “P” indica el primordio del otolito.
- Figura 11.** Otolitos de anchoveta de 8,5 cm LT y 155 días de edad. En el lado izquierdo superior se muestra el otolito entero y un recuadro del área en que se leyó. Al lado derecho la sección del otolito leída con aumento 400X, donde se detallan 3 zonas distintas que se



caracterizan por el tipo y tamaño de los micro-incrementos. *P*= primordio, *Af* = anillo fino, *Ar*= anillo regular, *Bt*= banda con triple anillos, *Arf*= anillos regular y fino.

- Figura 12.** Otolitos de anchoveta de 10 cm LT y 167 días de edad. En el lado izquierdo superior derecho se muestra el otolito entero con luz reflejada y transmitida, señalando con un recuadro el área de lectura. Al lado izquierdo se muestra la fotografía compuesta de la zona del antirostro donde se realizó la lectura con aumento en 400X. Se detalla con tres recuadros distintas zonas que se caracterizan por el tipo y tamaño de los micro-incrementos. *P*= primordio, *Af* = anillo fino, *Ar*= anillo regular, *B*= banda de anillos, *Arf*= anillos regular y fino.
- Figura 13.** Fotografías bajo luz transmitida de un otolito sagital de sardina común a 20X (A) y 40X (B) de magnificación, de un juvenil de 5 cm de LT y 50 días de vida, capturado el 5 de abril de 2013. Barra de error=15 μ m. *Pr*: primordio; *md*=marca difusa; *mp*=marca prominente; *af*=anillos finos.
- Figura 14.** Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos en posición sagital, de un juvenil *Sprattus fueguensis*, recolectado en la zona austral Chile, en enero de 2013 (edad 152 días, LT= 8,5 cm; Aumento: A=10X; B-D=40X). *Pr*=primordio; *md*=marca difusa; *mp*=marca prominente.
- Figura 15.** Fotografías bajo luz transmitida, ilustrando la presencia de micro-incrementos de reducido grosor (A) y macro-bandas (B) en una misma región de un otolito sagital de *Sprattus fueguensis*. Perfil de grosor de los micro-incrementos entre ambas aproximaciones(C). Presencia de micro-incrementos finos resolubles a 40X de magnificación en un otolito sagital sin pulir de un ejemplar de 9 cm de



LT de sardina común *Strangomera bentincki* (D). Aumento: A-B=40X; mf=micro-incrementos finos. Las flechas negras indica el área por donde se midió el perfil de los micro-incrementos.

- Figura 16.** Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos de un ejemplar de 10,5 cm de sardina común *Strongomera bentinki*, recolectado el 8 de enero de 2013; Aumento: 1=10X; 3-9=40X). *Pbh*=primera banda hialina; *mhi*=micro-incrementos hialinos irresolubles.
- Figura 17.** Frecuencia de mes de captura de anchoveta en los Cruceros Hidroacústicos de Reclutamiento de verano e invierno del 2013 y su frecuencia de nacimiento mensual, estimada a través de análisis de la micro-estructura de otolitos sagitales de la anchoveta en la zona centro-sur de Chile.
- Figura 18.** Distribución de fechas de nacimiento para juveniles de sardina común, calculadas substrayendo la edad total de la fecha de captura.
- Figura 19.** Fotografía de la micro-estructura de un otolito de sardina austral *Spratus fuegensis* ilustrando las 3 zonas características, provenientes de un ejemplares de 6,5 cm LT, recolectado en la XI Región en mayo de 2014. Aumento 40X
- Figura 20.** Distribución de fechas de nacimiento (FN) para juveniles de sardina austral, recolectado en la XI Región en el año 2013. Las FNs fueron calculadas substrayendo la edad total de la fecha de captura.
- Figura 21.** Distribución de fechas de nacimiento (FN) para juveniles de sardina austral recolectados en la XI Región en mayo de 2014. Las FNs fueron calculadas substrayendo la edad total de la fecha de captura.



- Figura 22.** Relación Longitud total – Radio otolito para peces juveniles de anchoveta de la zona centro-sur. Se indican los parámetros de la relación lineal y el coeficiente de determinación.
- Figura 23.** Relación entre la longitud total y el radio caudal de otolitos sagitales de juveniles de sardina común y sardina austral.
- Figura 24.** Relación longitud-edad para peces juveniles de anchoveta de la zona centro sur. Se presentan la curva ajustada con el modelo de von Bertalanffy estacional (A) y el modelo de Laird-Gompertz.
- Figura 25.** Relación talla edad y ajuste de un modelo Laird Gompertz a la relación la relación talla-edad a la fecha de captura de juveniles de sardina común, recolectados en la zona centro sur de Chile en 2013.
- Figura 26.** Relaciones talla edad (a) y edad-peso (b) descritas mediante modelos lineales de juveniles de sardina austral, en función de los parámetros dados en la tabla 14.
- Figura 27.** Tasa de crecimiento global promedio y su error estándar por cohorte de nacimiento, obtenidas a través de la lectura de micro-incrementos diarios en otolitos sagitales de juveniles de anchoveta, recolectado en enero y mayo del 2013.
- Figura 28.** Distribución de frecuencia de la tasa de crecimiento global, obtenidas a través de la lectura de micro-incrementos diarios en otolitos sagitales de juveniles de sardina austral, recolectado en la X y XI región en los años 2013 y 2014 respectivamente.
- Figura 29.** Distribución de frecuencia de la tasa de crecimiento global por cohorte de nacimiento mensual,, obtenidas a través de la lectura de micro-incrementos diarios en otolitos sagitales de juveniles de



sardina austral y sardina común, recolectados en la X y XI Región en los años 2013 y 2014, respectivamente.

- Figura 30.** Perfiles de grosor de micro-incrementos diarios de otolitos de anchoveta correspondientes a la cohorte de invierno del 2012 y verano del 2013 (A). En el gráfico inferior se muestra el perfil de grosor de microincrementos para ambas cohortes combinadas.
- Figura 31.** Perfiles de grosor de micro-incrementos diarios de otolitos de sardina común correspondientes a la cohorte de noviembre y diciembre del 2012 (a). En la gráfico (b) se muestra la relación entre el radio caudal del otolito con la edad para las mismas cohortes.
- Figura 32.** Perfil del grosor medio de micro-incrementos primarios de un otolito sagital y radio medio caudal a la edad, de juveniles de sardina austral, a través de un análisis global (a) donde se ilustra la variabilidad individual y un análisis separado por cohorte de nacimiento (b y c). Los ejemplares fueron recolectados en la XI Región.
- Figura 33.** Perfil de tasas de crecimiento diarias (TCD) y longitudes retro-calculadas mediante el método del Intercepto Biológico, a partir de juveniles de sardina común *Strongomera bentinicki* correspondiente al estrato I, recolectados en la zona austral de Chile, durante el verano de 2013. La línea vertical segmentada indica el periodo en que se aplicó ANDEVA de medidas repetidas.
- Figura 34.** Perfil de tasas de crecimiento y longitudes retro-calculadas de juveniles de sardina austral, a través de un análisis global (a) donde se ilustra la variabilidad individual y un análisis separado por cohorte de nacimiento (b y c).



- Figura 35.** Otolitos de anchoveta de 10,5 cm LT correspondiente a 173 y 171 días de edad a-b y c-d, respectivamente. La foto a y c corresponden al otolito entero en que se observa la formación del primer macro-anillo translúcido o hialino en el borde. En las fotos b y d) se aprecia la microestructura de estos anillos fotografiados con aumento 400X.
- Figura 36** Tiempo de formación de la primera zona hialina (PZH) (a)n y longitud total a la fecha de captura para los ejemplares analizados de la sardina austral (b) recolectados en la X Región, durante el periodo de reclutamiento del año 2013. El grosor de la PZH (c) medido hacia la cauda de otolitos sagitales y LT retro-calculada (d), del radio de formación es también ilustrada (d).
- Figura 37** Tiempo de formación de la primera zona hialina (PZH) (a)n y longitud total a la fecha de captura para los ejemplares analizados de la sardina común (b) recolectados en la zona sur de Chile, durante el periodo de reclutamiento del año 2013. El I grosor de la PZH (c) medido hacia el cauda de otolitos sagitales y LT retro-calculada (d), del radio de formación es también ilustrada (d).
- Figura 38.** Curvas de crecimiento de von Bertalanffy para anchoveta, sardina común y sardina austral que relaciona la talla media estimada por mes a partir del análisis de modas de frecuencia de tallas para quince meses entre enero del 2013 y el primer semestre del 2014. Se muestra también la tasa de crecimiento absoluto por mes.
- Figura 39.** Composiciones de tallas observadas (barras) y ajustadas (líneas) por el modelo de crecimiento mensual de anchoveta de la zona centro-sur. El análisis de modas de frecuencia de tallas corresponde a quince meses entre enero de 2013 y el primer semestre de 2014.



- Figura 40.** Composiciones de tallas observadas (barras) y ajustadas (líneas) por el modelo de crecimiento mensual de sardina común de la zona centro-sur. El análisis de modas de frecuencia de tallas corresponde a quince meses entre enero de 2013 y el primer semestre del 2014.
- Figura 41.** Composiciones de tallas observadas (barras) y ajustadas (líneas) por el modelo de crecimiento mensual de sardina austral del mar interior de Chiloé. El análisis de modas de frecuencia de tallas corresponde a quince meses entre marzo de 2013 y el primer semestre de 2014.
- Figura 42.** Composiciones de peso del otolito observadas (barras) y ajustadas (líneas) por el modelo de crecimiento mensual para anchoveta, sardina austral y sardina común. El análisis de modas de frecuencia de pesos corresponde a enero y marzo en anchoveta; abril, junio y septiembre en sardina austral y enero, febrero y marzo en sardina común, 2013.
- Figura 43.** Comparación del crecimiento de la anchoveta de la zona centro-sur con la zona norte a través del ajuste del modelo de crecimiento estacional para la zona norte y Laird-Gompertz para la zona centro-sur (A) y el perfil de grosor de los microincrementos diarios con su error estándar (B).

ANEXOS

- Anexo I.** Taller de Presentación de Resultados FIP N° 2013-19.
- Anexo II.** Plan detallado HH por objetivo específico FIP N° 2013-19.
- Anexo III:** Base de Datos FIP N° 2013-19.



4. INTRODUCCIÓN

Los pelágicos pequeños, dentro de las cuales se encuentran la anchoveta, sardina común y sardina austral, se han descrito como especies de estrategia “r”, que entre otras características presentan una vida corta y crecimiento rápido. En efecto en estas especies se ha identificado edades máximas de 4 años, en anchoveta centro sur y sardina común (Cerna 2012), y 6 años en sardina austral (Cerna *et al.* 2014). Estos mismos autores han estimado para estas especies valores del coeficientes de crecimiento (K) de von Bertalanffy que oscilan entre 0,63 a 0,78 cm año⁻¹, que se corresponden con una velocidad de crecimiento media-alta.

En los últimos años se han venido acumulando evidencias que sugieren que los pelágicos pequeños tendrían un crecimiento más rápido de lo que hoy se conoce. En este sentido Lessa *et al.* (2008) estimó para el arenque brasileño *Opisthonema oglinum*, mediante el análisis de microincrementos diarios, que el mayor porcentaje de crecimiento ocurre el primer año de vida, alcanzando edades máximas de 14 meses en un especie en que la longevidad reportada era de 4 a 8 años. Otros casos similares de sobreestimación de la edad han sido reportados para *Sardinops aurita* (Boely *et al.*, 1982) y *H. jahuana* (Pierce *et al.* 2001). Estos hallazgos han conducido a inferir que en especies de crecimiento rápido la frecuencia de depositación de las bandas opacas y hialinas puede tener una periodicidad de sólo meses, por causas aún desconocidas.

De forma similar para la anchoveta de la zona norte de Chile, a través del conteo de micro-incrementos primarios en peces juveniles, se estimó que la talla media de madurez (12 cm LT) se alcanza a una edad promedio de 120 días. En tanto, el análisis de la microestructura de adultos, se demostró que en peces entre 13,0 y



17,5 cm LT, se observó una secuencia completa de micro-incrementos diarios desde el primordio hasta el borde del otolito que fluctuó entre 154 y 378, no coincidiendo con la edad anual asignada equivalente entre 1 y 3 años (Cerna *et al.* 2011). La periodicidad de los micro-incrementos fue validada, en peces juveniles nacidos en cautiverio y en peces adultos capturados vivos y marcados en cautiverio, estableciendo que esta periodicidad es diaria (Plaza *et al.* 2012). Estos autores junto con validar la periodicidad de los micro-incrementos, estiman la edad diaria de un mayor número de peces juveniles y adultos. La máxima cantidad de micro-incrementos diarios observados fue de 409 en un pez de 17 cm LT. Con un modelo de crecimiento estacional se pudo estimar una talla promedio de 16,23 cm LT a los 365 días de edad. Entonces, ejemplares que de acuerdo con los criterios de edad en actual uso, presentan 3 años, con los nuevos parámetros de crecimiento estimados en realidad tienen sólo un año de vida.

Considerando, que los mecanismos responsables de la intensidad de las clases anuales son desconocidos y que uno de los aspectos más importantes de la historia de vida de los peces es la determinación del crecimiento basado en la estimación de la edad, se hace necesario conocer información precisa sobre tasas de crecimiento, fechas de nacimiento y edad de reclutamiento de peces pelágicos pequeños, más aun ante la evidencia de altas tasas de crecimiento en la anchoveta de la zona norte de Chile, similar a lo reportado recientemente para otras especies pelágicas del mundo.

Cabe señalar además que un requisito básico para realizar la evaluación de stock es disponer de la estructura por edades de las capturas, información necesaria que permite determinar los niveles de biomasa, sus excedentes de producción y estimar la captura total permisible. Sin embargo, como los modelos de evaluación de stock utilizados en estos recursos son estructurados por edades, un requisito



básico es tener certeza en la estimación de la edad. Errores en la determinación de la edad afectan los resultados de los niveles de abundancia y explotación de los recursos. En este sentido es fundamental para la SUBPESCA la correcta determinación de la edad y su clasificación por grupos de edad o clase anual, particularmente en este tipo de especies que presentan un rápido crecimiento somático.



5. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la historia de vida de anchoveta (*Engraulis ringens*), sardina común (*Strangomera bentinki*) y sardina austral (*Sprattus fuegensis*) de la Zona Centro Sur de Chile, a partir del análisis de microestructura de otolitos.

6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 6.1 Determinar la fecha de nacimiento, edad de reclutamiento y validar la periodicidad del primer macro anillo de crecimiento utilizando anillos primarios, en ejemplares menores e iguales a la talla media de madurez.
- 6.2 Estimar el crecimiento y/o la tasa de crecimiento a partir del análisis de la microestructura de otolitos.
- 6.3 Revisar los criterios utilizados para asignar edad y grupos de edad, proponiendo nuevos criterios de asignación en caso de ser necesario.
- 6.4 Efectuar un análisis comparativo del crecimiento determinado por análisis de micro-incrementos de otolitos con metodologías alternativas actualmente disponibles.



7 ANTECEDENTES

Para el cumplimiento del objetivo general y específicos, la presente propuesta contempla analizar la micro y macro-estructura de los otolitos de las tres especies objetivos: sardina común (*Strongomera bentinki*), anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina austral (*Sprattus fuegensis*). En forma previa se considera oportuno revisar algunos aspectos del estado del arte relacionados con la pesquería e historia de vida de estas especies, así como también sobre la técnica de micro-incrementos diarios de manera de contribuir a la comprensión de los aspectos metodológicos que se desarrollarán posteriormente.

7.1 Antecedentes sobre la pesquería e historia de vida de las especies objetivos en la zona de estudio

La pesquería pelágica de la zona centro sur abarca el área comprendida entre los 32° 10' LS y los 47°00' LS, esto es, entre San Antonio y Guaitecas (**Fig. 1**). Esta se inicia en los años 50 con la explotación de la sardina común en pequeñas embarcaciones artesanales. Luego, en los años 70, se desarrolla en la VIII Región la pesquería de cerco de sardina común y anchoveta. Posteriormente, debido a una disminución de estas dos especies, se incorporó a esta pesquería el recurso jurel que registró altos desembarques hasta el año 1997, a partir del cual han declinado significativamente en los últimos años. El año 2005, el IFOP incorpora a esta pesquería la sardina austral (artesanal) al reconocer la presencia de la especie *Sprattus fuegensis* en los desembarques artesanales de aguas interiores, presentando las características relevantes que la diferencian de la especie *Strangomera bentincki* (sardina común) (Aranis *et al.* 2007).



La sardina común y anchoveta son peces pelágicos pequeños de gran importancia pesquera para una flota industrial y otra artesanal de cerco que opera en la zona centro-sur de Chile, cuyos principales centros de desembarque son Talcahuano y Corral. Ambas especies se caracterizan por su distribución costera, corto ciclo de vida, con tres a cuatro años de longevidad, rápido crecimiento, elevada tasa de mortalidad natural, formar cardúmenes altamente densos, y por ser especies muy influenciadas por factores ambientales (bióticos y abióticos) en todas las etapas de su ciclo vital (Yáñez *et al.* 1992, Cubillos & Arancibia 1993, Cubillos *et al.* 1999, Cubillos *et al.* 2001, Cubillos & Arcos 2002).

La sardina común es la pesquería más importante en esta zona, la que se ha caracterizado por presentar clases anuales fuertes en los últimos seis años, con desembarques que se han mantenido en niveles altos, alcanzando las 820 mil toneladas el 2009. Este recurso sostiene una importante actividad pesquera industrial y artesanal (eslora menor a 18 m) en el litoral de la zona Centro-Sur de Chile. Su pesquería se distribuye entre la V (33°S) y X (42°S) Región, siendo los principales puertos de desembarque San Antonio en la V Región, Coronel, San Vicente y Talcahuano en la VIII Región, Corral en la XIV Región, Calbuco y Puerto Montt en la X Región. Los mayores desembarques se registran en un 90 y 95% entre la V y VIII Región (San Antonio, Talcahuano y Coronel). La actividad pesquera opera en profundidades que no sobrepasan los 50 m y en un margen costero que no supera las 30 millas náutica desde la costa (Zúñiga & Canales 2013).

En los últimos 5 años la cuota de sardina común se estableció en torno a las 600 mil toneladas, las cifras más altas de la serie. El procedimiento histórico de manejo establecido para estos recursos considera la asignación de una cuota inicial, que tiene el carácter de “precautorio” y una cuota final, que se obtiene de la revisión



asociada a los resultados provenientes de las evaluaciones directas (cruceos hidroacústicos). Una de las principales características de la sardina común es la enorme fluctuación interanual que puede ocurrir en la abundancia de su población, con una alta y variable mortalidad natural, lo que redonda en importantes fluctuaciones del desembarque (Zúñiga & Canales 2013).

El área de desove de los pelágicos pequeños se ubica fundamentalmente en la zona de Lebu-Corral, la cual correspondería a una zona de pre-reclutamiento/desove con un alto nivel de retención (Parada *et al.* 2012, Soto-Mendoza *et al.* 2012), producto de una alternancia entre convergencias costeras producidas por vientos norte que favorecerían la concentración y retención en lacosta y vientos sur que promoverían el enriquecimiento de aguas costeras con eventos de surgencia de moderada intensidad (Cubillos *et al.* 2001). La sardina común presenta un desove parcial y acotado temporalmente, donde el período de máxima actividad reproductiva se centra entre los meses de agosto y octubre, y un período de inactividad o reposo reproductivo durante los primeros meses del año (febrero-mayo) y hacia fines de año (noviembre y diciembre) reflejado en los bajos valores del IGS (Aranis *et al.* 2013). Para esta especie la talla media de madurez sexual se alcanza a los 10 cm de longitud promedio (Cubillos *et al.* 1999). Sin embargo, estimaciones no publicadas indican una talla media de madurez de 11,5 cm LT, cifra usada como referencia por el Comité Científico de Pequeños Pelágicos (Aranis *com. pers.*).

El reclutamiento de sardina común se presenta en forma masiva entre octubre y marzo, siendo máximo a la mitad del verano entre diciembre de un año y febrero del año siguiente. Las áreas de reclutamiento, se ubican principalmente frente a la VIII Región, concentrándose fundamentalmente al norte de Isla Mocha. Las condiciones ambientales que afectan a este proceso se vinculan con ciertas



masas de agua, anomalías de las variables (Temperatura, Salinidad, Oxígeno disuelto, gradientes, etc.); intensidad de los vientos y el nivel de los procesos vinculados (índice de surgencia, índice de turbulencia, transporte de Ekman, etc) (Castillo *et al.* 2013).

Por su parte la anchoveta se distribuye a lo largo de la costa de Sudamérica, desde los 4°30' S de Perú a los 42° 30' S de Chile (Pauly & Tsukayama 1987). Las principales poblaciones de anchoveta identificadas corresponden al stock centro norte de Perú, sur de Perú norte de Chile y zona centro sur de Chile. La pesquería de esta especie en la zona centro sur se distribuye entre la V (33°S) y X (42°S) regiones, siendo los principales puertos de desembarques Talcahuano, Coronel y San Vicente.

Las series de índices tales como el IGS, el peso gonadal y la madurez sexual de hembras de anchoveta, de la zona de San Antonio-Valdivia, presentaron valores y tendencia similares en el periodo 2001 al 2012, manifestándose un ciclo reproductivo estacional; el cual a inicios de año puede presentar leves incrementos en febrero, lo que debido a observaciones macroscópicas se ha confundido con un desove secundario. Posteriormente, luego del reposo reproductivo de otoño-invierno, entre agosto y diciembre se desarrolla el desove principal, el cual en este recurso es iteróparo (parcial), con expulsión de tandas de huevos, concluyendo el ciclo en los primeros meses del año siguiente (Aranis *et al.* 2013). La talla media de madurez sexual (L50%) corresponde a 11,5 cm para *E. ringens* (Cubillos *et al.* 1999). Sin embargo, estimaciones no publicadas indican una talla media de madurez de 12,0 cm LT, cifra usada como referencia por el Comité Científico de Pequeños Pelágicos (Aranis *et al.* 2013).



De acuerdo con lo informado por Aranís *et al.* (2013), el reclutamiento de anchoveta en la zona centro-sur a través de los años ha sido variable, con contribuciones de importancia en el año 1994, 2002 y 2009, destacando en la zona centro-sur, un bajo nivel de juveniles 16%-14% el 2010-2012, acentuado el último año y concomitante con la caída de la abundancia. La presencia de reclutas o juveniles en la pesquería de la zona centro-sur se manifiesta principalmente durante el primer trimestre, con énfasis en enero-febrero.

En relación a la sardina austral, antecedentes disponibles indican que posee una distribución austral muy similar en la costa Atlántica y Pacífico. Nakamura (1986) y Whitehead (1989), describen su presencia en la costa Argentina desde los 40°S hasta el extremo sur del continente. En Chile, se encuentra presente en la zona de los fiordos y canales del sur del país hasta los 41°5'S, en el mar interior de la décima región (Aranís *et al.* 2007, Bustos *et al.* 2008, Leal *et al.* 2011). Galleguillos *et al.* (2012) indican que esta especie en Chile, conforma un único stock genético con una importante cohesión reproductiva. No obstante el estudio también identifica, según sus caracteres de historia de vida (morfología de otolitos, fauna parasitaria, tamaño de los individuos), al menos dos stock ecológicos. Se reporta una segregación espacial, aunque con un nivel de mezcla importante, entre los individuos de la región de Lagos y los presentes al sur de esta área.

Los estudios de la pesquería de pelágicos pequeños en la zona sur se inician en el año 1999 con la recopilación de información de estructuras de tamaños de las capturas, dinámica de la flota y variables oceanográficas. No obstante, sólo el 2005 comienza formalmente el monitoreo de la pesquería de pelágicos pequeños y a partir de septiembre de ese año, luego de ser identificada como una especie diferente de sardina común, se inicia la recopilación de información de sardina austral (Leal *et al.* 2013). En cuanto a la reproducción se ha reportado que sardina

austral es una especie desovante parcial con una estación de desove concentrada entre septiembre y diciembre en la zona del mar interior de Chiloé (Leal *et al.* 2011). Estos resultados confirman lo señalado previamente por (Shirakova 1978) para la especie en la costa Argentina. La talla media de madurez corresponde a 13,5 cm valor superior a lo informado para *Sprattus fuegensis* en la costa Argentina (Feodorov & Baranov 1976); Hansen, 1999 y Leal *et al.*, 2011).

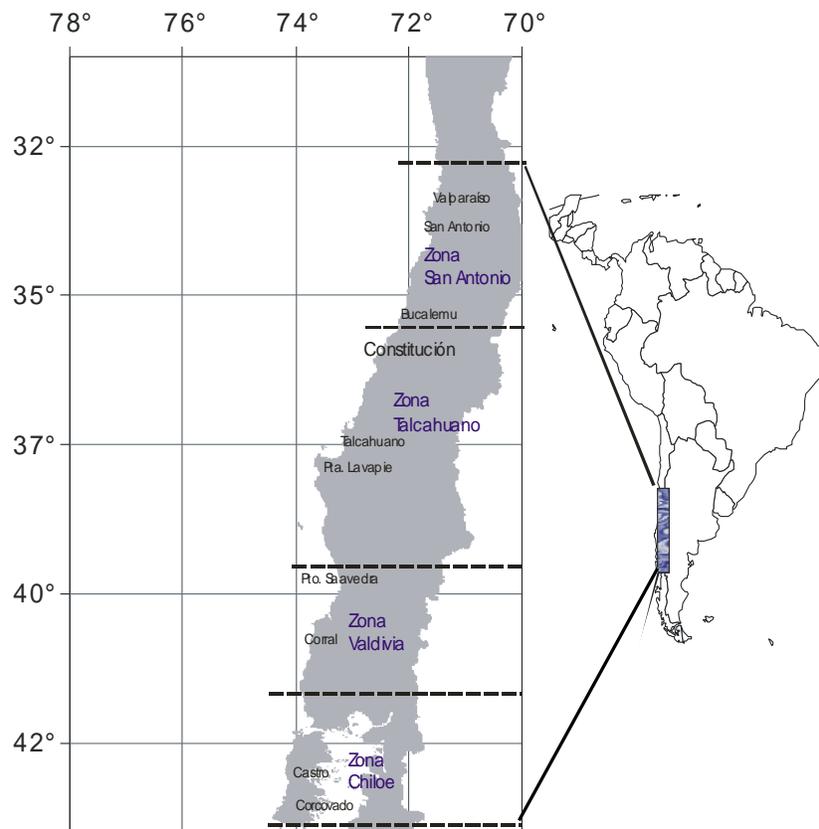


Figura 1. Distribución espacial de la pesquería de anchoveta, sardina común. La pesquería de la sardina austral se localiza en el área al sur desde los 42°S, en el mar interior de la isla de Chiloé hasta los fiordos y canales australes (Fuente: Aranís *et al.* 2007)..



7.2 Evidencias de crecimiento rápido en pequeños pelágicos

En un estudio reciente llevado a cabo por Namiki *et al.* (2010) fue posible determinar la edad de los peces adultos de la anchoveta japonesa (*E. japonicus*) contando los incrementos diarios en ejemplares de 8 a 14 cm longitud estándar (LS). Todos los individuos tuvieron edades menores a 365 días (es decir, 1 año), donde el ejemplar más longevo alcanzó los 329 días. Otras pruebas de crecimiento rápido provienen de dos estudios recientes utilizando análisis de la micro-estructura en *E. encrasicolus* en el Golfo de Vizcaya (Aldanondo *et al.* 2011) y en el Mar Adriático (La Mesa *et al.* 2009; Durovic *et al.* 2012). Estos estudios han demostrado que los juveniles pueden alcanzar 6-8 cm en aproximadamente 70-90 días. En el estudio de Aldanondo *et al.* (2011) en el Golfo de Vizcaya, el pez más grande datado (~ 14 cm LS) fue menor de 1 año de vida. Estos resultados de rápido crecimiento coinciden con los hallazgos en *E. ringens* en el norte de Chile, donde se reportaron tasas instantáneas de crecimiento diario de 1,2-1,3 mmd⁻¹ para juveniles menores a 12 cm LT, donde los ejemplares alcanzaron 12 cm LT en aproximadamente cuatro meses de la vida (Cerna *et al.* 2011). En un segundo estudio efectuado por Plaza *et al.* (2012) se pudo datar peces adultos de tamaños que van desde 13 hasta 17,5 cm de longitud total, con la misma metodología. El hallazgo más distintivo, en este caso, fue la presencia de micro-incrementos hacia los bordes de la otolitos, claramente identificable en 400X y 1000X de aumento (**Fig. 2**). Cabe destacar que el grosor de los micro-incrementos en la región antirostral osciló entre 1,5 a 3 μm de espesor, una cantidad muy por encima del límite inferior de la resolución de la microscopía óptica. En el presente estudio, la edad total de ejemplares maduros varió desde 122 hasta 378 días.

De los hallazgos descritos previamente se deduce que *E. ringens*, parece maximizar todo su potencial para lograr su longitud asintótica en el primer año de vida, para luego reducir drásticamente su crecimiento y maximizar quizás la reproducción. La pregunta inmediata que surge, ¿hasta que punto este diagnóstico de crecimiento acelerado de *E. ringens* en el norte de Chile puede también ser escalable para la anchoveta de la zona centro-sur, y/o también escalable a otros pelágicos pequeños como la sardina común y sardina austral?

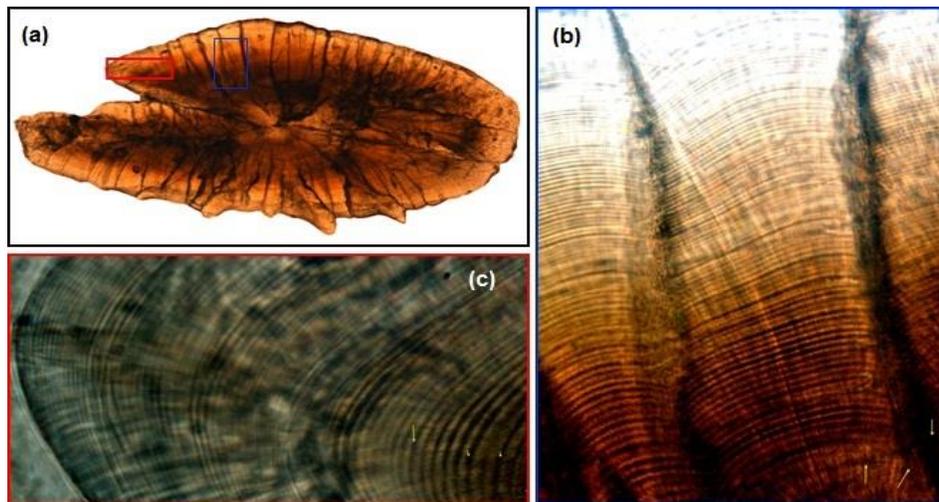


Figura 2. Fotografías tomadas bajo microscopía de luz que muestra la existencia de incrementos diarios en la región antirostral de un otolito sagital, de un ejemplar de 14 cm TL de la anchoveta (*Engraulis ringens*), recolectado en junio de 2010. (a) 40X; (b) X 400 y (c) aumento de 1000x.

Un estudio comparativo de la edad y los patrones de crecimiento entre pelágicos pequeños en la costa chilena, utilizando micro-incrementos de otolitos, descansa en el supuesto de que los micro-incrementos son producidos de forma diaria para las tres especies. En el caso de *E. ringens* en Chile, se ha demostrado en experimentos de confinamiento que los micro-incrementos de otolitos sagitales



tanto de juveniles como de adultos (maduros) tienen una periodicidad de formación diaria (Plaza & Cerna 2015). Para sardina común y sardina austral no existen estudios de validación de los micro-incrementos, por lo tanto se asume que en los otolitos de estas especies se forma un micro-incremento por día, basado en los resultados de validación de *E. ringens* y en varios estudios que han demostrado que la mayoría de larvas y juveniles de peces del orden clupeiformes los micro-incrementos tienen una periodicidad diaria (**Tabla 1**). Además, tres estudios recientemente han demostrado que cuando los peces adultos de *E. Japonicus* (Namiki *et al.* 2010), *E. encrasicouls* (Cermeño *et al.* 2003) y *E. ringens* (Plaza & Cerna, 2015) se mantuvieron en condiciones de confinamiento por cortos períodos, los micro-incrementos mostraron una periodicidad de formación diaria.

Tabla 1

Estudios publicados en peces pelágicos pequeños, donde se ha validado la periodicidad de formación de los incrementos de los otolitos, utilizando experimentos de laboratorio.

Familia	Especie	Etapa Ontogenética	Rango de tamaño (mm)	Fuente
Engraulidae	<i>Anchoa Mitchilli</i>	Larvae	37-42 SL	Fives & Warlen 1986
	<i>Engraulis mordax</i>	Larvae	0-100 days*	Brothers <i>et al.</i> (1976)
	<i>Engraulis anchoita</i>	Larvae	5-25 SL	Castello & Castello 2003
	<i>Engraulis japonicus</i>	Larvae	3-25 SL	Tsuji & Aoyama (1984)
		Juvenile	73.6-78.4 SL	Namiki <i>et al.</i> 2010
		Adult	109-114 SL	Namiki <i>et al.</i> 2010
	<i>Engraulis encrasicolus</i>	Larvae	2.5-20.0 SL	Aldanondo <i>et al.</i> 2008
		Juvenile	82.0±1.2 TL	Cermeño <i>et al.</i> 2003
		Adult	133.8±7.7 TL	Cermeño <i>et al.</i> 2003
	<i>Engraulis ringens</i>	Juvenile		Plaza <i>et al.</i> 2012
Clupeidae		Adult		Plaza <i>et al.</i> 2012
	<i>Sardinops melanostictus</i>	Larvae	3-25 SL	Hayashi <i>et al.</i> (1989)
	<i>Clupea harengus</i>	Larvae	< 40 SL	Geffen 1982
	<i>Opisthonema oglinum</i>	Juvenile & adult	43-220 FL	Lessa <i>et al.</i> 2008

(*) No se proporcionó rango de longitud.



Es importante subrayar que las especies de peces pelágicos pequeños tienden a compartir ciertos rasgos de la historia de vida, como por ejemplo: (i) una tendencia a maximizar el crecimiento durante los primeros meses de vida, alcanzando una gran fracción de la longitud asintótica durante dicho período; (ii) un reclutamiento muy variable en ambas escalas, temporal y espacial (Shannon *et al.* 1996; Borja *et al.* 1998; Cahuín *et al.* 2009; Cochrane *et al.* 1998; Oliveros-Ramos & Peña 2011), (iii) una temporada reproductiva prolongada asociada a una estrategia de desove parcial, que proporcionan múltiples cohortes que reclutan a la pesca (Ribeiro *et al.* 1996, Richardson *et al.* 1998; Funamoto *et al.* 2004; Claramunt *et al.* 2012), y (iv) altas tasas de mortalidad en estadios larvales y etapas juveniles (Anderson 1988). En un escenario de crecimiento aún más rápido, probablemente una gran fracción de la longitud asintótica podría alcanzarse en sólo unos pocos meses de vida, y la fuerza de la clase anual será resultado de las tasas de supervivencia que ocurren sólo unos pocos meses antes de la época de pesca.

En este contexto, un estudio comparativo de la edad y los patrones de crecimiento utilizando análisis micro-estructura de otolitos de los sobrevivientes (juveniles) entre especies, es altamente relevante, ya que bajo un escenario de crecimiento muy rápido, reclutamiento variable y vida corta, sería muy difícil evaluar la dinámica del reclutamiento y anticiparse a predecir la fuerza de las clases anuales (Stige *et al.* 2013). En este escenario, la evaluación de estas poblaciones debe incorporar proxies alternativos, que podrían ser utilizados como señal para anticipar la condición de la pesquería en la temporada posterior. Aquí adquieren especial importancia el reciente paradigma que señala que el crecimiento parece estar ligado a la supervivencia en los estadios tempranos de peces teleósteos (Anderson 1988; Leggett & DeBlois 1994; Hare & Cowen 1994; Takasuka *et al.* 2008).



7.3 Micro-estructura de otolitos

Los micro-incrementos primarios (**Fig. 3, Fotos 1~4**) son formados por la sucesiva deposición de una capa rica en carbonato de calcio y de una capa rica en proteína pero de baja concentración en carbonato de calcio. Ambas capas son denominadas zonas L y D (**Fig. 3, Foto 2**), apareciendo como una zona clara y oscura bajo luz transmitida, respectivamente. Panella (1971) fue quien descubrió estas estructuras y fue el primer en sugerir que su frecuencia de producción era diaria. El grosor del micro-incremento primario (MP) puede fluctuar desde menos de 1 μm a 15 μm o más. El grosor de la zona “L” es de alrededor de 1 μm , mientras que el grosor de la zona “D” puede ser más variable. Los micro-incrementos diarios (MD) son solamente visibles a través de un microscopio, principalmente durante el primer año de vida del pez, debido a que su crecimiento es mayor durante dicho período. No obstante, los MP se siguen formando durante la vida del pez, aunque su periodicidad diaria es difícil de evaluar, debido a que su grosor disminuye notoriamente, cayendo más allá de la resolución de la microscopía óptica e incluso electrónica. Algunos incrementos sub-diarios pueden ocurrir, particularmente en aquellos períodos de crecimiento rápido. Estas estructuras son menos uniformes y regulares que los incrementos primarios, y por consiguiente pueden fácilmente ser distinguidos por un lector experimentado (Campana & Jones 1992).

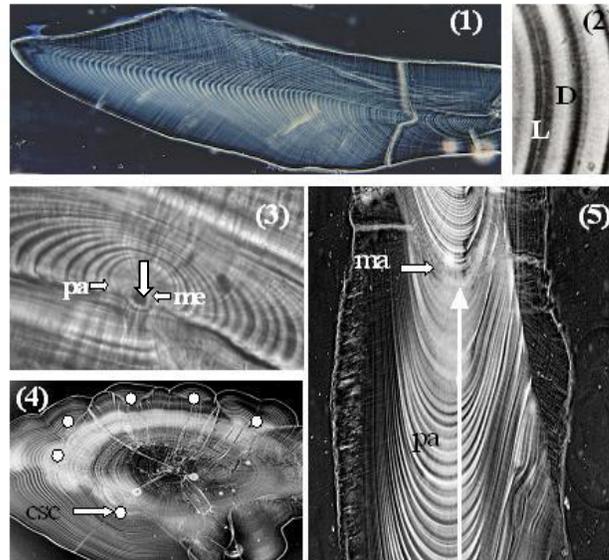


Figura 3. Fotografías de microscopía óptica ilustrando rasgos de la micro-estructura de los otolitos de peces juveniles (1 & 2) Sagittae de un juveniles de *Sardinops melanosctitus* (Plaza *et al.* datos no publicados); (3) región del primordio de una otolito sagita del clupeideo *Etremeus teres* (Plaza *et al.* 2005); (4 & 5) Secciones frontales y sagitales de un juvenil de un pez de roca (*Sebastes inermis*, Plaza *et al.* 2001). P=primordio; me= marca a la eclosión; pa=marca a la primera alimentación; CSC= Centros Secundarios de crecimiento.

El primordium

Los otolitos se desarrollan de uno o más estructuras parcialmente calcificadas denominada “primordium” (Fig. 3; Foto 3; *pr*), formado en el oído interno (Mann *et al.* 1983). Estos centros de crecimiento pueden ser circular, elongado o múltiple, dependiendo de la especie. En el caso de primordium múltiples, éstos se fusionan para formar el centro del otolito. El término “núcleo” también ha sido usado para describir la parte central del otolito, aunque es recomendable usarlo solamente para describir un área mucho mayor que define la zona central en otolitos de peces adultos.



El primer anillo primario

Los otolitos se forman durante la última etapa de formación del huevo. Por algún tiempo después de su formación, los otolitos crecen continuamente y en la mayoría de los casos sin producir capas concéntricas o incrementos primarios. El comienzo de la formación del primer incremento primario varía de una especie a otra, pero en la mayoría de las especies estudiadas, el primer incremento aparece prominente y bien definido (**Fig. 3; Foto 3; pa**). En algunas especies la formación del primer incremento coincide con la eclosión (Lagardere 1989; **Fig.3 Foto 3, me=marca de eclosión**), y en otros con la primera alimentación (Geffen 1982; (**Fig. 3; Foto 3; pa=marca de primera alimentación**)). En otras especies estructuras concéntricas han sido observadas antes de la eclosión, aunque aún no está claro si estas estructuras son incrementos diarios, o meramente artefactos visuales.

Centro secundarios de crecimiento (CSC)

En algunas especies es posible apreciar centros secundarios de crecimiento análogos al primordium (**Fig. 3; Foto 4; círculos blancos**), del cual emanan nuevas estructuras concéntricas. Estos SCSs son más comunes en el otolito más grande (sagita). Varias hipótesis han sido planteadas para explicar el origen de estos SCSs, entre las cuales se pueden citar: (i) cambio de hábitat (Sogard 1991), cambios ontogenéticos en la dieta (Marks & Conover 1993) y/o cambios fisiológicos asociados a la metamorfosis (Hare & Cowen 1994).

Estructuras discontinuas (ED)

Las ED son elementos sobresalientes, irregulares que ocurren a través de los incrementos primarios. Estas ED pueden interrumpir la sucesión de los IP en forma cíclica u acíclica. Las ED pueden ser distinguidas bajo magnificaciones alta o bajas y generalmente requieren que el otolito sea previamente preparado. Las



EDs son típicas de todas las especies y probablemente son productos del estrés ambiental al que los individuos están sujetos. Algunas EDs están relacionadas a eventos tales como asentamiento y/o metamorfosis y aparecen como drásticos cambios en el grosor del incremento (**Fig. 3**; *Foto 5*; *ma= marca de asentamiento*; *pa= Incrementos primarios post-asentamiento*).

Preparación de otolitos de peces juveniles

Para observar la micro-estructura de los otolitos peces juveniles es necesario obtener una lámina de alrededor de 50 μm de grosor en el plano sagital, frontal o transversal. Este proceso normalmente tiene que ser llevado a cabo manualmente usando lijas de distinta graduación. El procedimiento básico consiste en embeber el otolito en resina epóxica, pulirlo hasta revelar el primordio y los MP, y posteriormente montar la sección en un portaobjeto, para finalmente observarla a través de un microscopio óptico. Mayores detalles de estos procedimientos han sido descrito en Secor *et al.* (1992) y Plaza *et al.* (2005).

7.4 Modelos de crecimiento

El análisis de la micro-estructura de los otolitos, permite mediante los micro-incrementos reconstruir los patrones de crecimiento a través de una técnica llamada retro-cálculo (Francis 1990). El análisis retrospectivo o retro-cálculo es una técnica que permite utilizar esa información para estimar dimensiones corporales en edades o etapas previas de la historia de vida. Específicamente, se usan las dimensiones de las marcas de crecimiento de la estructura dura (otolito) (**Fig. 4**) junto a la longitud del cuerpo al momento de la captura, para estimar la longitud al tiempo de formación de cada una de estas marcas. (Francis, 1990; Araya & Cubillos 2002; Campana 1990).

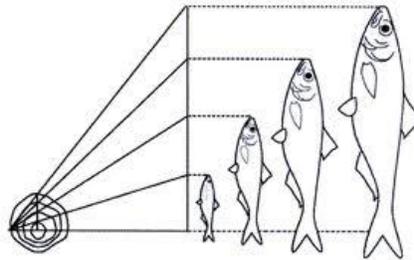


Figura 4. Relación lineal entre el crecimiento del pez y el crecimiento del otolito, es el principio de dependencia lineal, es base para la utilización del método retro-cálculo (Chugunova 1963).

En general existen diferentes procedimientos de retro-cálculo que pueden ser aplicados para la reconstrucción del crecimiento, tanto en peces adultos como en juveniles, los cuales se resumen en la tabla 2 (mayores detalles de describen en Francis 1990; Araya & Cubillos 2002). Estos métodos se dividen en dos aproximaciones metodológicas diferentes: (i) los métodos proporcionales y (ii) los métodos de regresión. Los primeros incorporan la información de cada pez en la reconstrucción de longitudes previas, incorporando la variación individual cuando se trabaja con muestras de una población. Por el contrario el método de regresión usa la relación tamaño del pez-tamaño de la estructura calcárea para estimar las longitudes pretéritas a cada edad, directamente desde las marcas periódicas sin preocuparse de la variación en el tamaño del otolito entre los peces (Araya & Cubillos 2002).

Para efectuar estimaciones de longitudes pretéritas utilizando los métodos de retro-cálculo descritos en la **Tabla 2**, se requiere verificar que exista una proporcionalidad (relación lineal y/o al menos linealizabile) entre el tamaño del pez y el tamaño de la estructura calcificada. Dicha proporcionalidad ha sido reportada en una gran cantidad de peces teleósteos, tanto en la fase juvenil como en la etapa adulta. No obstante, varios estudios han reportado que esta relación tiende

a ser alométrica en la etapa larval, particularmente en peces del orden clupeiformes (**Fig. 5a**; (Thorrold & Williams 1989; Jenkins & Davis 1990; Moksness & Fossum 1992; Watanabe & Kuroki 1997; Takahashi *et al.* 2001; Otterlei *et al.* 2002). Por lo tanto, no es recomendable reconstruir longitudes previas de la etapa larval, a partir de información de micro-incrementos obtenidos de juveniles (los sobrevivientes). En este caso, lo recomendado es estimar longitudes previas, a través de retro-cálculo, sólo hasta el micro-incremento asociado a ejemplar de menor edad de los peces recolectados (**Fig. 5b**).

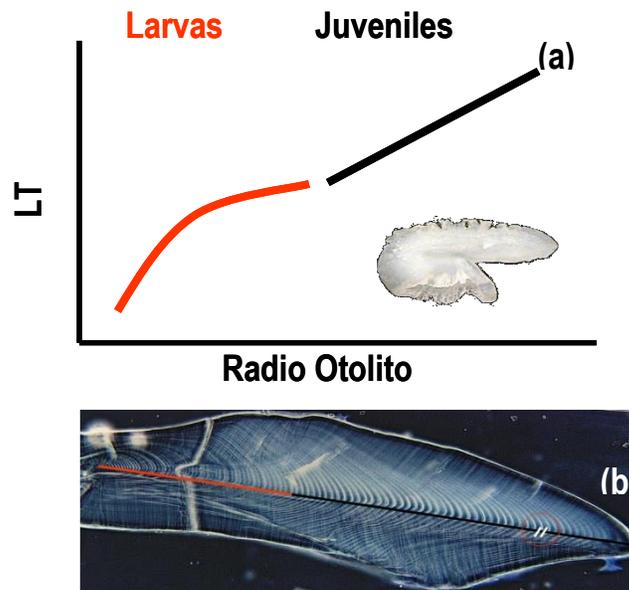


Figura 5. Ilustración de la relación tamaño del otolito-tamaño del pez para dos periodos ontogénicos de pez teleosteo típico, donde se pierde la proporcionalidad.



Tabla. 2

Cuadro ilustrativo que resume los diferentes métodos de retro-cálculos disponibles en la literatura, para reconstrucción de longitudes previas utilizando la relación entre el tamaño del pez (L) y el tamaño de la estructura calcifica EC (R). L_i : Longitud a la edad "i"; R_c : Tamaño de la EC a la fecha de captura; R_i : Tamaño de la EC a una edad previa "i"

Método	Característica	Ecuación
Método Dahl-Lea (Duncan 1980)	Este método se basa en que el otolito crece proporcionalmente a la longitud del pez.	$L_i = \left(\frac{R_i}{R_c} \right) L_c$
Método Frasser-Lee (Smedstad & Holm 1996)	Se basa en el supuesto "El incremento de crecimiento del otolito es, en promedio, una proporción constante del incremento de crecimiento del pez"	$L_i = c + \left(\frac{R_i}{R_c} \right) (L_c - c)$
Método Hile (Hile 1941)	Este se basa en el supuesto que "El porcentaje o desviación relativa del tamaño de cualquier otolito, desde el tamaño teórico, es constante al momento de formación de todos los anuli".	$L_i = -\left(\frac{a}{b} \right) + \left(L_c + \frac{a}{b} \right) \left(\frac{R_i}{R_c} \right)$
Método del Intercepto Biológico Campana (1990)	Emplea un intercepto determinado biológicamente mas que uno estimado estadísticamente. Considera el intercepto del comienzo de la proporcionalidad entre el tamaño del otolito y la longitud del pez.	$L_i = L_c + \frac{(R_i - R_c)}{(R_c - R_0)} (L_c - L_0)$
Método PBH-SPH (Francis, 1990)	La razón tamaño promedio de la estructura calcárea con el tamaño de la EC de un pez individual se mantiene constante a través de su vida	$f(L_i) = \left(\frac{R_i}{R_c} \right) f(L_c)$
Método PBH-SPH (Francis 1990)	La razón tamaño promedio del pez y tamaño del pez a un determinado tamaño del otolito se mantiene constante a través de su vida	$L_i = \frac{g(R_i)}{g(R_c)} L_c$
Método de Crecimiento Variante (TVG) (Sirois <i>et al.</i> 1998)	Este método incorpora la contribución de cada incremento en el cálculo de longitudes previas, usando un factor de crecimiento	$L_i = L_0 + \sum_{j=1}^i (W_j + B(W_j - W)) \frac{(L_c - L_0)}{(R_c - R_0)}$
SPH con efecto de la edad (Morita & Matsuishi 2001).	Utiliza como base el método SPH, pero incorpora el efecto de la edad para estimar los parámetros γ e β para retro-calculer longitudes previas.	$L_t = -\frac{\alpha}{\beta} + \left(L_T + \frac{\alpha}{\beta} + \frac{\gamma}{\beta} T \right) \frac{O_t}{O_T} - \frac{\gamma}{\beta} t$
Método de regresión	Utiliza la información de los coeficientes de la regresión entre el tamaño del pez y el tamaño de la EC para estimar longitud previas	$L_i = \alpha + \beta R_i$

Modelos talla-edad

La relación talla-edad en peces puede estudiarse con dos tipos de datos: (i) de tipo transversal y (ii) de tipo longitudinal (Tedesco *et al.* 2009; Chambers & Miller, 1995). Los primeros corresponden a la información pareada de longitud y edad al fecha de captura, que se representa por cada punto individual en un gráfico de dispersión talla-edad. Es importante destacar que cada par de datos es independiente de otro inmediatamente contiguo (**Fig. 6a**). También se puede estudiar la relación talla edad utilizando la información de longitudes previas derivadas de retro-cálculo, y en este caso se puede obtener una curva de crecimiento para cada ejemplar. Este tipo de datos es de tipo longitudinal porque representa información repetida auto-correlacionada de un mismo individuo (**Fig. 6b**). Es necesario destacar que ambos tipos de datos no pueden mezclarse, porque no son comparable desde un punto de vista estadístico (Francis, 1994). Cuando es posible realizar ambas aproximaciones, los resultados pueden ser comparables en términos de magnitud y/o consistencia en la tendencia de las magnitudes observadas.

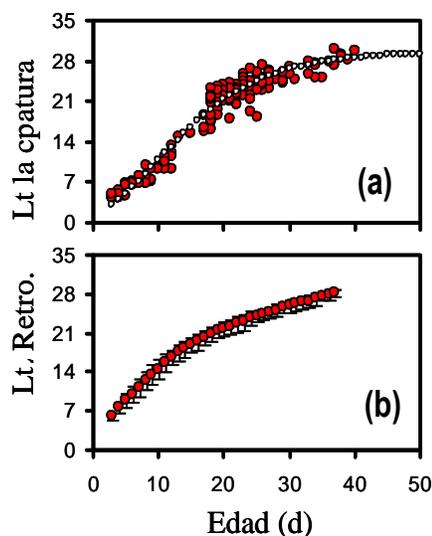


Figura 6. Ilustración de la relación talla-edad a la captura (a) y derivada del retrocálculo (b). Lt= longitud total,



Para ambos tipos de datos talla-edad (transversal y/o longitudinal) se pueden ajustar modelos de crecimiento. La tabla 3 resume las características asociadas a tres modelos curvilíneos clásicos, donde el modelo Gompertz ha sido ampliamente usado para caracterizar los patrones de crecimiento en los estadios tempranos de peces teleósteos, debido a que el crecimiento tiende a ser más sigmoideal (Hernández & Castro 2000; Contreras *et al.* 2013). El modelo VF por el contrario, ha estado más restringido a peces adultos, debido a que el crecimiento en este estado tiende a carecer de un punto de inflexión (Campana & Jones 1992).

Tabla 3
Cuadro ilustrativo resumiendo las características de los tres modelos curvilíneos clásicos utilizados en ciencia pesquera.

Modelo	Parámetros	Tasa de crecimiento
$L_x = L_\infty \exp[-\exp(-\alpha \{age - X_0\})]$ Gompertz	L_∞ longitud asintótica α = Tasa instantánea de crecimiento al punto de inflexión X_0 = Edad al punto de inflexión	$g_{X_0} = \alpha \cdot LX_0 (\ln L_\infty - \ln LX_0)$
$L = L_\infty (1 + \exp[-G \{age - X_0\}])^{-1}$ $L = L_\infty (1 + c \cdot \exp[-G \cdot age])^{-1}$ Logístico	L_∞ longitud asintótica G = Tasa instantánea de crecimiento al origen de la curva X_0 = Edad al punto de inflexión c = es un parámetro estimado	$g_x = GL_x (L_\infty - L_x) (L_\infty)^{-1}$
$L = L_\infty (1 + \exp[-k \{age - X_0\}])^{-1}$ Von Bertalanffy	L_∞ longitud asintótica X_0 = Edad predicha cuando la longitud del pez es cero k = es el coeficiente de crecimiento	$g_x = K(L_\infty - L_x)$



8. METODOLOGÍA

8.1 Muestreo

Las muestras fueron obtenidas de los cruceros de evaluación hidroacústica y del monitoreo regular que realiza el IFOP en la pesquería pelágica de la zona centro sur en el marco del “Programa de Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Centro Sur, 2013 y 2014”. Los otolitos de anchoveta y sardina común fueron obtenidos específicamente del crucero hidroacústico de reclutamiento de la zona centro-sur (RECLAS) efectuado en enero y mayo de 2013. En el caso de sardina austral los otolitos utilizados provienen del muestreo biológico específico de la captura de la flota artesanal que opera en la X Región, mar interior de Chiloé, durante los meses de abril y mayo, periodo donde se registra el reclutamiento de este recurso y también del crucero hidroacústico del mar interior XI región efectuado en abril de 2014.

Característica espacial del muestreo

Para poder obtener muestras representativas de la fracción juvenil y adulta temprana de los recursos en estudio, utilizando como plataforma de muestreo los cruceros hidroacústicos o las capturas comerciales de la flota, se tuvo en consideración el área de mayor desembarque. En el caso de anchoveta y sardina común los muestreos abarcan los lances de identificación de los cruceros RECLAS efectuadas en la zona de Talcahuano (35° S - 39° S). Esto de acuerdo a lo reportado por Aranís *et al.* (2012 y 2013), donde indican que la distribución latitudinal de las capturas de anchoveta a fines de 2011 y durante el 2012 se concentró en un 98% entre los 35° y 39° S. Por otra parte, sobre el 90% del



desembarque de sardina común se registra entre la V y VIII Región (San Antonio, Talcahuano y Coronel). En el caso de sardina austral la muestra proviene de la X región zona en que se registran los ´más altos desembarques, principalmente en la zona de Calbuco-La Vega con un 68% y en segundo lugar San Rafael con un 30% (Aranis *et al.* 2012).

Para obtener una muestra representativa de la fracción juvenil de anchoveta y sardina común, se optó por utilizar los otolitos colectados desde el muestreo biológico realizado por el crucero de evaluación hidroacústico de estos recursos en enero y mayo de 2013 (RECLAS). Este crucero permitió cubrir una muestra representativa de las zonas de reclutamiento, que se ubican frente a la VIII región, principalmente al norte de la Isla Mocha. Esta muestra consistió en ejemplares reclutas y pre-reclutas (< 7 cm LT) ausentes en el muestreo de la pesca comercial.

En el caso de sardina austral, en ausencia de otolitos del crucero de evaluación hidroacústico de 2013, se dispuso de ejemplares reclutas provenientes del muestreo de la pesca comercial de 2013 con tallas entre 7 y 13 cm LT y del crucero de evaluación hidroacústica del mar interior de la XI región de 2014 con tallas entre 4,5 y 7,0 cm LT.

En cada estrato de talla, se tomó una muestra aleatoria de ejemplares, a los cuales se les midió la longitud total con una precisión 0,5 cm y el peso con una precisión de 0,1 g; además, se determinó el sexo, el estado de madurez y se les extrajeron los otolitos. Los otolitos fueron puestos en cartones con 24 perforaciones circulares, de tamaño estándar, en los que se coloca el rótulo de secuencia por el anverso y timbre con datos de procedencia por el reverso. Los rótulos que identifican a cada otolito se corresponden con la información de cada ejemplar contenida en el formulario de muestreo de otolitos FD-9/PE-7-2. El detalle del procedimiento de muestreo está contenido en el manual de muestreo



del IFOP y corresponden a documentos certificados por el sistema de gestión de calidad SGC Nch ISO 9001/2000. De la misma forma los procedimientos de recepción, almacenamiento y ensayos realizados en la determinación de edad de las especies hidro-biológicas están contenidos en el documento del Sistema de gestión de la calidad Laboratorio Edad y Crecimiento de IFOP, SGC Nch ISO 17025. En el caso particular de los pre-reclutas, ejemplares menores a 7 cm LT, el muestreo se realizó en el Laboratorio de Edad y Crecimiento, donde los otolitos fueron extraídos bajo microscopio estereoscópico con luz reflejada y montados inmediatamente sobre un portaobjeto con pegamento termo plástico. En cada portaobjeto se montó el par de otolitos sagita con su correspondiente rótulo de identificación.

8.2 Preparación y análisis de la micro-estructura de otolitos

8.2.1 Preparación de otolitos para análisis micro-estructural para anchoveta, sardina común y sardina austral

Los otolitos sagitales de juveniles recolectados sobre una base mensual fueron procesados siguiendo el método SGEM descrito por Plaza *et al.* (2005). En este método los otolitos son montados en pequeños bloques de resina epóxica sobre portaobjetos. Para la correcta identificación de los micro-incrementos los otolitos embebidos en resina fueron pulidos hasta lograr una resolución adecuada del primordio utilizando lijas entre 800-2500 de tamaño de grano. Este procedimiento ya ha sido adecuadamente desarrollado para la especie *E. ringens* en el proyecto FIP 2009-17, donde se determinó que un doble pulido sagital es el más adecuado para la identificación de los micro-incrementos en juveniles menores a 12 cm en esta especie (**Fig. 7**).



Figura 7. Ilustraci3n del m3todo SGEM, para la preparaci3n de secciones de otolitos para el an3lisis de Micro-incrementos. **A:** Aplicaci3n de cera termopl3stico; **BC:** Mezcla de componentes de resina ep3xica; **D& E:** Montaje del otolito; **FJ:** Creaci3n del bloque; **HJK:** Pulido de la secci3n; **LMNO:** Montaje de la secci3n (Fuente: Plaza *et al.* 2005).

Para el caso de sardina com3n y sardina austral, al inicio del proyecto se desarroll3 un an3lisis orientado a evaluar la mejor posici3n de pulido (*i.e.*, sagital, transversal y/o frontal) para una correcta identificaci3n de los micro-incrementos de los otolitos sagitales de ejemplares juveniles. Este procedimiento dio como resultado que el doble pulido en posici3n sagital, al igual que en anchoveta, fue el m3s adecuado para analizar la microestructura de estas especies.

8.2.2 Lectura de micro-incrementos primarios

Despu3s de la obtenci3n de una secci3n fina en posici3n sagital y de elevada resoluci3n, los micro-incrementos fueron contados y medidos desde el n3cleo hacia la periferia del otolito, utilizando im3genes de la secciones que fueron digitalizadas



mediante analizadores de imágenes compuestos por microscopio ópticos, cámaras digitales y programas de captura y análisis, disponibles en la Sección de Edad y Crecimiento del Instituto de Fomento Pesquero y en el Laboratorio de Esclerocronología de la Escuela de ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. La lectura de imágenes digitalizadas fue preferida a la lectura tradicional a ojo desnudo bajo microscopio, debido a las dificultades de identificación e interpretación de los micro-incrementos primarios en las tres especies (ver Resultados). En la mayoría de los casos varias imágenes fueron necesarias para lograr una secuencia completa de micro-incrementos desde el primordio hasta el borde del otolito, por lo que previo a la lectura las imágenes de las distintas áreas del otolito, obtenidas a 400X de magnificación, fueron debidamente ensambladas. A todo este procedimiento de digitalización, ensamble e identificación de micro-incrementos se le denominó **Lectura Digital Secuencial (LDS) (Fig. 8)**. Para asegurar una correcta identificación de los micro-incrementos en el borde del otolitos se utilizaron imágenes digitalizadas a 1000X magnificación.

Todas las lecturas se realizaron dos veces en cada estructura analizada utilizando la herramienta "Manual Tag" disponible en el analizador de imágenes IMAGE-plus. Se contempló además una tercera lectura en aquellos casos en que existió una alta diferencia entre la primera y segunda lectura, si la tercera lectura no fue coincidente con alguna de las anteriores se procedió a descartar el otolito.

La medición de los grosores y radios a cada edad se llevó a cabo en aquellas secciones donde se pudo seguir una secuencia a través de una línea recta desde el primordio hacia el borde del otolito, independiente de la región del mismo. Esto pudo ser llevado a cabo sólo en ejemplares menores a 6 cm LT en cada una de las tres especies. Similarmente a lo sucedido en el procedimiento de lectura, se requirió combinar cuidadosamente las imágenes previo a la medición.

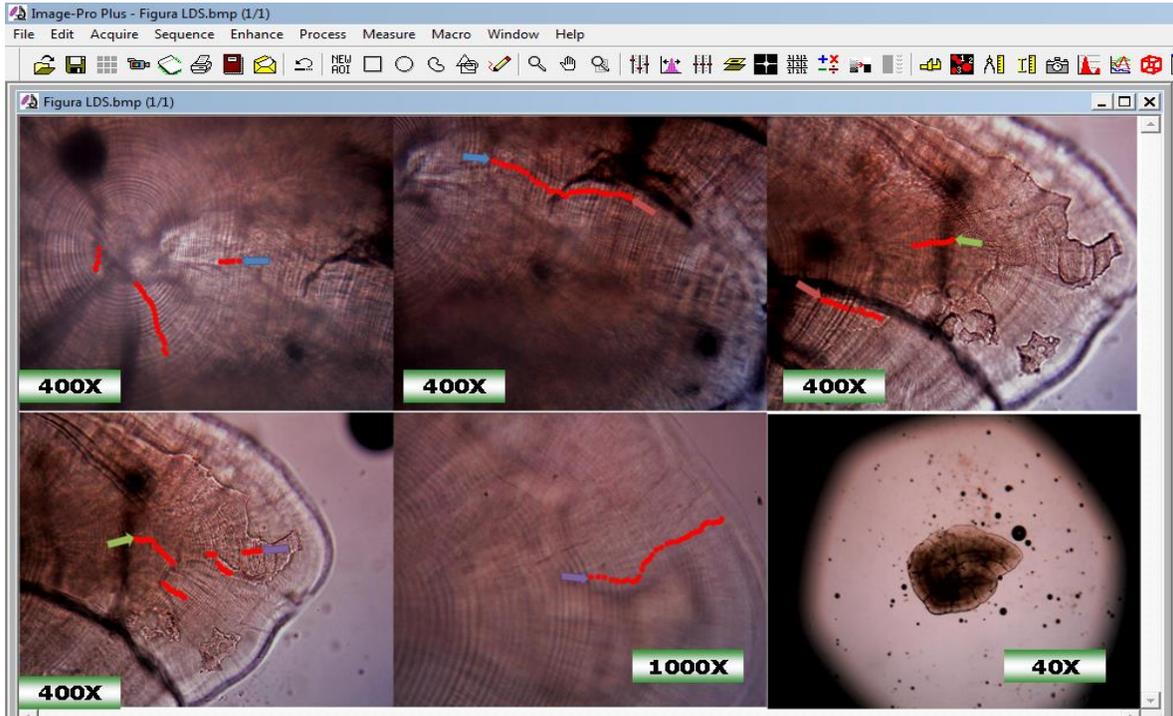


Figure 8. Ilustración del sistema LDS utilizado para lectura de micro-incrementos de otolitos sagitales de juveniles de la anchoveta, sardina común y sardina austral, recolectados en la zona centro-sur y austral de Chile. Las fechas indican las marcas que facilitan la secuencia de la lectura a distintos niveles de magnificación. La secuencia corresponde a un otolito sagital de un ejemplar de 6,5 cm de LT de la sardina austral de la XI región.

Todas las mediciones fueron realizadas utilizando la herramienta "Caliper" IMAGE-pro-plus (**Fig. 9**). Esta misma herramienta fue también utilizada para medir el radio caudal (RC), correspondiente a la distancia entre el núcleo y el borde del cauda en una imagen de menor magnificación que garantizó tanto la identificación del primordio como la medición del RC en una única imagen del otolito.

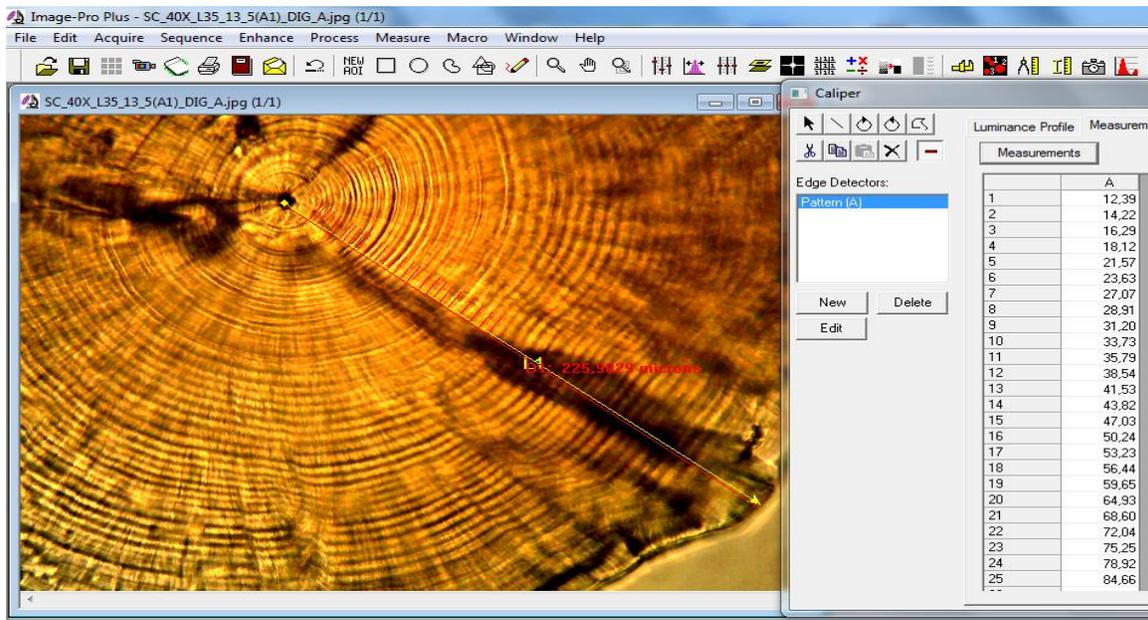


Figura 9. Ilustración del sistema utilizado para medir los radio a cada edad en otolios sagitales de juveniles de la anchoveta, sardina común y sardina austral, recolectados en la zona centro-sur y austral de Chile. La fotografía corresponde a un otolito sagital de un ejemplar de 4 cm de LT de la sardina común, recolectado en enero de 2013.

Se debe enfatizar que el tamaño de la muestra para análisis de micro-estructura no responde a un criterio estadístico, sino más bien a la necesidad de equilibrar el costo y el tiempo requerido para preparar secciones de alta resolución, que permitan examinar los micro-incrementos. Se debe considerar, también la eliminación de aquellas muestras que después de la preparación no mostraron una resolución suficiente para análisis de micro-incrementos diarios. En el presente, a través del uso del sistema LDS fue posible analizar 131, 133 y 139 secciones de otolitos sagitales para anchoveta, sardina común y sardina austral, respectivamente (**Tabla 4**). El detalle de las estadísticas generales edad, peso y longitud asociadas a estos ejemplares para cada especie se ilustran en las **Tablas 6 y 7**.

**Tabla 4**

Resumen del número de muestras que ingresó al proceso de montaje y preparación, conjuntamente con las secciones resultantes para análisis micro-estructural de otolitos sagitales de las tres especies estudiadas.

Mes	año	Anchoveta			Sardina común			Sardina Austral		
		Número		Rango Talla	Número		Rango Talla	Número		Rango Talla
		Preparadas	Leidas		Preparadas	Leidas		Preparadas	Leidas	
Enero	2013	127	43	7,0 - 12,0	130	94	3,0-10,5			
Abril								80	30	8,0-13,0
Mayo		95	88	3,5 - 7,0	110	39	8,2-12,0			
Mayo	2014							200	109	4,5-7,5
Total		222	131		240	133		280	139	

8.2.3 Caracterización de la micro-estructura de los otolitos

La caracterización de la micro-estructura de los otolitos es fundamental para desarrollar los criterios de interpretación de micro-incrementos, particularmente en especies donde no existen estudios previos de validación. Esta caracterización siguió los procedimientos descritos en la literatura para identificar aspectos micro-estructurales a medida que progresa el desarrollo ontogenético de los ejemplares (Campana & Neilson 1985; Campana 1992; Wright *et al.* 2002). En el marco de este estudio la caracterización se basó en tres estratos de longitud (I: <7 cm LT; II: 7,0-9,0 cm LT & III: 9,5-12 cm LT) para cada una de las especies estudiadas. La descripción también se llevó a cabo considerando la nueva información de microestructura de los otolitos levantada en este estudio y los criterios recientemente empleados para identificar micro-incrementos primarios de



periodicidad diaria en peces pelágicos (Palomera *et al.* 1988; Cermeño *et al.* 2006; Cermeño *et al.* 2008), incluido también los criterios de determinación de edad diaria validados en la anchoveta de la zona norte de Chile (Plaza *et al.* 2012).

8.2.4 Precisión de la lectura de micro-incrementos (reproducibilidad)

Un análisis de reproducibilidad o precisión de la lectura de microincrementos diarios fue realizado entre dos lectores, quienes estimaron la edad por separado en distintos tiempos, sin disponer de información biológica o pesquera de las muestras, que inflencie su lectura. El ejercicio fue hecho en anchoveta para 40 otolitos de peces juveniles, en sardina común para 20 otolitos y sardina austral para 17 otolitos, todos con preparación sagital.

La precisión se analizó utilizando el Porcentaje de Error Promedio (APE), descrito por Beamish & Fournier (1981) y el coeficiente de variación (CV), además de un análisis de variancia de un factor entre lectores.

Beamish y Fournier (1981) calculan el Porcentaje de Error Promedio (APE) como:

$$APE = \frac{100}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right]$$

Donde,

- N : Número de peces que se les asignó edad;
- R : Número de veces que fue leída la muestra;
- X_{ij} : i-ésima determinación de edad del j-ésimo pez;
- X_j : Edad promedio calculada para el j-ésimo pez;



8.3 Análisis derivados de la micro-estructura

8.3.1 Fechas de Nacimiento (FN)

Las FN de los juveniles procesados en cada mes fueron calculadas restando el número total de incrementos (“días”) a la fecha de captura. Se construyeron distribuciones de frecuencias de las FN para los individuos recolectados de cada especie y para cada mes de muestreo. Es importante destacar que en ausencia de un procedimiento de validación del tiempo de formación del primer micro-incremento en sardina común y sardina austral, la lectura se inicio a partir de la segunda marca prominente que rodeó el primordio (ver resultados) en ambas especies. Para el caso de la anchoveta, al número total de micro-incrementos se le sumaron dos días, debido a que esta especie forma el primer micro-incremento al tercer día posterior a la eclosión.

8.3.2 Determinar el crecimiento de las tres especies a partir del análisis de micro-incrementos de otolitos.

El desarrollo de este objetivo se llevó a cabo a partir de la información recopilada en la estimación de edad diaria, la que permitió caracterizar los patrones de crecimiento de las tres especies objetivos, a través de dos aproximaciones: (i) Modelos talla-edad a la fecha de captura; (ii) tasas de crecimiento globales; (iii) variación del grosor de los micro-incrementos y (iv) reconstrucción de los patrones de edad y crecimiento usando retro-cálculo.

8.3.2.1 Modelos talla-edad a la fecha de captura

La relación talla-edad observada para el rango de longitud de los ejemplares recolectados para las tres especies, fue explorada a través de un gráfico de



dispersión talla edad. En el caso de anchoveta los datos se ajustaron a un modelo von Bertalanffy estacional y Laird-Gompertz, que se especifican a continuación:
Modelo de von Bertalanffy estacional (Somers 1988).

$$L_t = L_\infty \left[1 - \exp \left\{ -K(t - t_0) - \frac{CK}{2\pi} [\text{seno}(2\pi(t - t_s)) - \text{seno}(2\pi(t_0 - t_s))] \right\} \right]$$

Donde; L_t = longitud promedio a la edad; L_∞ =longitud asintótica; K =coeficiente de crecimiento; t_0 = es la edad en que el pez tiene longitud cero, C = es la dimensión que expresa la amplitud de la oscilación del crecimiento, t_s = la fase de una oscilación del crecimiento en un año.

Modelo de Laird-Gompertz (Gompertz 1825; Laird *et al.* 1965).

$$L_t = L_\infty \exp \left[-\exp (-G \{X - X_0\}) \right]$$

Donde: L_t = longitud promedio a la edad; L_∞ =longitud asintótica; G = la tasa instantánea de crecimiento; X_0 = es el punto de inflexión de la curva.

Los modelos fueron ajustados empleando el paquete no lineal “nl” del software estadístico R (Ihaka & Gentleman 1996; <http://cran.es.r-project.org/>).

Para escoger el mejor modelo se empleó el criterio de información de Akaike (AIC, Akaike 1974), cuya ecuación es la siguiente:

$$AIC = -2 (\ln (\text{likelihood})) + 2 K$$



Donde: likelihood es la probabilidad de los datos entregados por el modelo y K es el número de parámetros libres del modelo. El mejor modelo será aquel que presente un menor AIC.

Para la sardina austral los datos edad-talla se ajustaron a un modelo lineal, de la forma:

$$L_i = \alpha + \beta E + e_i$$

Donde L_i y E corresponde a la longitud total y edad total (días) de cada ejemplar a la fecha de captura. En dicho modelo el coeficiente β representa una estimación de la tasa instantánea de crecimiento para el rango de longitud y edad de los juveniles recolectados.

En el caso de la sardina común la relación talla edad se ajustó a un modelo convencional Laird Gompertz , descrito en la página anterior.

8.3.2.2 Tasas de crecimiento Global

Una estimación de la tasa de crecimiento global fue realizada para cada individuo, empleando la siguiente expresión:

$$TCG = \frac{(LT - L_{ECLLO})}{DT}$$

Donde L_{ECLLO} correspondió a la longitud media a la eclosión (2,5 mm LT), determinada para la anchoveta por Llanos-Rivera & Castro (2004) y asumida también para sardina común y sardina austral y " DT " correspondió al número de días transcurridos desde la fecha de eclosión hasta la fecha de captura.



8.3.2.3 Perfiles del grosor de micro-incrementos

La información derivada de la medición de los micro-incrementos permitió obtener una base de datos del grosor de los micro-incrementos a través de la edad en días, los cuales son un proxy de la tasa de crecimiento para las tres especies. En el caso particular de anchoveta esto permitió comparaciones entre las cohortes de nacimiento de invierno y verano. Para el caso de la sardina común y sardina austral se compararon los grosores medios para cada cohorte de nacimiento mensual utilizando análisis de medidas repetidas ANDEVA, siguiendo los procedimientos descritos por Chambers & Miller (1995). Esta técnica permite establecer si existen diferencias significativas en el crecimiento considerando la influencia de la variabilidad del mismo con el desarrollo ontogenético de cada individuo que varía a medida que el ejemplar progresa en edad. El análisis correspondió a un diseño mixto de dos factores con los individuos agrupados en filas y las tasas como factor de repetición. Para reducir el elevado número de repeticiones, el análisis se efectuó a intervalos de 5 días. La última repetición ($Día_n$) correspondió al juvenil de menor edad recolectado. El factor cohorte y especie también se incorporó en el análisis. El análisis corresponderá a un diseño balanceado tanto en número de casos como número de repeticiones.

8.3.2.4 Reconstrucción de los patrones de edad y crecimiento usando retro-cálculo

La información derivada de la medición de los micro-incrementos permitió obtener una base de datos de tipo longitudinal para calcular las longitudes a edades pretéritas. A partir de estos datos fue posible estandarizar tasas de crecimiento para aplicar un enfoque comparativo entre cohortes de nacimiento para cada



especie, usando también ANOVA para medidas repetidas y siguiendo los mismos procedimientos descritos para el perfil de grosor de los micro-incrementos.

Antes de proceder con el análisis de retro-cálculo se evaluó, para sardina común y sardina austral, la relación entre el radio caudal del otolito y la longitud lineal mediante un análisis de regresión, considerando el rango de tallas de los ejemplares recolectados. Es importante destacar en este punto que el retro-cálculo sólo se efectuó hasta el micro-incremento que coincidió con el pez de menor edad en el tratamiento analizado (*i.e.*, cohorte y/o especie).

Para retro-calcular las longitudes previas se utilizó el método de intercepto biológico (MIB) Campana 1990) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$L_T = L_c + (R_i - R_c)(L_c - L_{T2d})(R_c - R_{2d})^{-1}$$

Donde:

- L_T = Intercepto biológico, longitud de la primera alimentación
- R_{2d} = Radio del otolito del primer anillo diario
- L_c = Tamaño del pez al momento de la captura
- R_c = Radio del otolito al momento de la captura

Se debe subrayar que el MIB ha sido también utilizado para *E. ringens* en la zona norte y también en otras especies emparentadas, lo que facilitará la comparación de los resultados las tasas de crecimiento individuales medias que se pueden obtener a través de este método. La longitud que se utilizó como intercepto biológico para las tres especies fue 2,5 mm L_T , valor reportado por Llanos-Rivera & Castro (2006) para anchoveta, debido que no existen antecedentes publicados del tamaño larval a la eclosión ni en condiciones de confinamiento y estudios de campo para sardina común y sardina austral.



La tasa de crecimiento diario individual (G_1) correspondió a:

$$G_1 = 0,1(L_{T_i} - L_T)$$

Donde: L_{T_i} es la longitud total a la edad i

8.4 Validación de la periodicidad del primer macro-anillo de crecimiento utilizando anillos primarios

Para la validación del tiempo de formación del primer macro-anillo se desarrolló un análisis comparativo entre la micro-estructura y macro-estructura de los otolitos sagitales de peces juveniles de las tres especies través de los siguientes procedimientos:

- ❖ El otolito izquierdo fue analizado macroscópicamente antes de ser pulido para análisis de micro-incrementos primarios. Esto permitió mantener la consistencia y reducir la influencia de potencial asimetría que pudiese existir entre el otolito izquierdo y derecho.
- ❖ Se identificó la primera zona hialina siguiendo los procedimientos metodológicos efectuado por la Sección de Edad y Crecimiento de IFOP, y que brevemente se describe como sigue. El otolito sagittae se sumerge en aceite como solución clarificante, que se ubica en una cápsula Petri con fondo negro para facilitar la observación. Posteriormente, se analizó bajo microscopio con aumento de 20X.

Cada zona hialina se identificó como un anillo traslúcido (gris oscuro) recorriendo el otolito en toda su superficie, más un crecimiento posterior a éste. Aunque es



posible seguir la trayectoria en toda la superficie del otolito, para mantener consistencia la zona translúcida se identificó tanto en la zona anterior como posterior del otolito.

Una vez que la macro-estructura de los otolitos fue leída, éstos fueron embebidos en resina epóxica y preparados para análisis micro-estructural utilizando los procedimientos descritos previamente. Sin embargo, previo a la preparación, los otolitos embebidos en resina fueron digitalizados a 40X de magnificación utilizando una lupa estereoscópica conectada a un analizador de imágenes (Dig-pro). Este procedimiento permitió tener una imagen macroscópica del mismo otolito que posteriormente fue pulido. La imagen macroscópica permitió determinar el radio a la formación a la zona hialina (RPZH), medido hacia el cauda, conjuntamente con el grosor de la zona hialina.

8.5 Análisis comparativo del crecimiento con metodologías alternativas

8.5.1 Análisis de Progresión Modal de frecuencia de tallas

En el análisis de progresión modal y crecimiento mensual de anchoveta y sardina común se utilizaron las distribuciones de frecuencias de tallas de la captura 2013 al primer semestre del 2014, además de la estructura de tallas de los cruceros de Evaluación Hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común de la V-XIV Region (RECLAS) de enero y mayo del 2013. En el caso de sardina austral la frecuencia de tallas correspondieron a la pesquería durante el 2013 y primer semestre del 2014 y al Crucero de Evaluación Hidroacústico de sardina austral del Mar Interior de Chiloé (PELAGUIN) de abril-mayo del 2014.

En el ajuste del conjunto de datos por especie se empleó un modelo de seguimiento de componentes modales a través de los meses, donde las composiciones de tallas se suponen construidas por grupos de edades



mensuales. Para las tres especies se consideraron tres grupos de edades dominantes, durante un año corriente se suponen 36 grupos de edad en la escala anual.

De acuerdo con Canales y Arana (2009), el análisis supone que una determinada estructura de tallas se encuentra compuesta por una o mas composición de edades, cada una de ellas siguiendo un patrón de distribución normal cuya talla media caracteriza cada grupo etario. Para cada grupo de edad (a) la talla media se establece como:

$$\bar{L}_a = L_{\infty} * (1 - \exp^{-k}) + \exp^{-k} * \bar{L}_{a-1} \quad (1)$$

Donde L_{∞} y k son parámetros desconocidos por resolver, al igual que la talla

$$p_{l,a} \sim N(\bar{L}_a, \sigma_a^2) \quad (2)$$

Donde la desviación estándar a la edad puede ser constante entre edades o bien funcional a la talla media a la edad:

$$\sigma_a = CV * \bar{L}_a \quad (3)$$

La composición de tallas en cualquier instante para un determinado grupo de edad queda representado por:

$$f_{l,a} = \pi_a * p_{l,a} * n \quad (4)$$

$$\sum_a^{na} \pi_a = 1 \quad (5)$$



Donde π_a representa la proporci3n de cada grupo etario y n el tama1o de muestra observado en composici3n de tallas. De esta forma, la composici3n de tallas es estimada sumando sobre cada componente modal:

$$\hat{F}_l = \sum_a^{na} f_{l,a} \quad (6)$$

El modelo es implementado en ADMB y se resume en determinar los par3metros de crecimiento, el coeficiente de variaci3n y las proporciones edad-específicas, de forma que minimicen el valor de un estimador de log-verosimilitud penalizado, asumiendo para ello que el error de observaci3n de las i-ésimas composiciones de tallas responden a una distribuci3n multinomial. En esta distribuci3n, se emplea un tama1o muestral efectivo fijo de 100 individuos (m).

$$\log L = 100 \sum_i \sum_l \left[\frac{F_{l,i}}{\sum_l F_{l,i}} * \log \left(\frac{\hat{F}_{l,i}}{\sum_l \hat{F}_{l,i}} \right) \right] + \lambda * \sum_i \sum_a (\pi_{a,i} - 1)^2 + \sum_j \theta_j \quad (7)$$

El segundo t3rmino corresponde a una penalizaci3n ($\lambda=1000$) para asegurar la suma de proporciones sobre los grupos de edad igual a uno y el tercer t3rmino corresponde a la suma de distribuciones a priori sobre los par3metros de crecimiento a resolver.

8.5.2 An3lisis de Progresi3n Modal del peso del otolito

Otolitos sagita de anchoveta, sardina com3n y sardina austral fueron lavados con agua destilada y posteriormente secados por 12 h en horno a 60°C con el prop3sito de eliminar la humedad que pueda afectar el peso. Los otolitos secos fueron revisados para evitar que est3n fracturados o con p3rdida de material, los otolitos no da1ados se pesaron individualmente con una balanza analítica de



0,0001 g de precisión. Los datos de peso otolitos fueron compilados por mes en histogramas de frecuencia, a partir de los cuales se hizo un análisis de progresión modal y estimación del crecimiento mensual, aplicando el mismo modelo MCCT, descrito más arriba (Canales & Arana 2009).

Los datos analizados correspondieron a la distribución de pesos de otolitos de enero y marzo del 2013 en el caso de anchoveta, para sardina común se analizaron los meses de enero, febrero y marzo 2013, y en sardina austral abril, junio y septiembre del mismo año. La secuencia de meses comienza con el mes de reclutamiento, aunque existen algunos meses intermedios ausentes por falta de información debido a vedas o imposibilidades de muestreo.

Para los ajustes de la estructura de modas de pesos de otolitos, se consideró como hipótesis nula que el peso del otolito es un buen predictor de la edad y que la relación entre ambas variables es lineal (Worthington *et al.* 1995, Araya *et al.* 2001). Se considera además, la existencia de tres grupos de edad dominante durante tres meses, equivalente a 9 grupos durante el trimestre.



9. RESULTADOS

9.1 Muestreo

El número total de peces juveniles preparados (montados y pulidos) y leídos para el análisis de microestructura, con su rango de tallas por especie y mes, se presenta en la **Tabla 4**. Para anchoveta y sardina las muestras fueron recopiladas durante enero y mayo en los cruceros de evaluación hidroacústica; en tanto, que para sardina austral los muestreos provienen de la pesquería artesanal, mes de abril y mayo de 2013, donde se observó la presencia de juveniles, además de los ejemplares juveniles colectados en el crucero hidroacústico de la X y XI Región durante mayo de 2014.

9.2 Caracterización de la microestructura de otolitos

La caracterización acuciosa de la micro-estructura de otolitos, conjuntamente con algunos aspectos técnicos, son claves para generar los criterios de interpretación de los micro-incrementos primarios, para obtener estimaciones de edad lo más confiablemente posible. Este proceso es particularmente importante en especies donde la micro-estructura de sus otolitos aún no ha sido caracterizada y cuando la periodicidad de formación de los micro-incrementos es aún desconocida. Para el caso del presente estudio se consideró adecuado efectuar dicha caracterización por estrato de tamaño, a fin tener una mejor aproximación de los cambios micro-estructurales a medida que transcurre el desarrollo ontogenético de los juveniles.



En consecuencia, se definieron tres estratos: Estrato I: ejemplares < a 7 cm; Estrato II: 7,0-9,0 cm LT y Estrato III: 9,5-12,0 cm LT. A continuación se describen los patrones micro-estructurales de los otolitos sagitales, haciendo hincapié en algunos aspectos específicos vinculados a los estratos definidos y en función de cada especie cuando amerite el caso.

9.2.1 Caracterización de la micro-estructura de otolitos de anchoveta

Estrato I

Los otolitos del Estrato I se caracteriza por presentar un alta resolución de los microincrementos desde el primordio hasta el borde, los que pueden ser identificados y medidos en una sola dirección. En este tipo de otolitos se distingue con claridad la marca de eclosión y/o primera alimentación (**Fig. 10**).

En este estrato se analizaron peces entre 3,5 y 5,5 cm LT, donde se apreció un rápido crecimiento en los primeros 20 días, lo que se refleja en un aumento del grosor de los microincrementos primarios de 2 a 5 μm . A los 50 días se reduce hasta alcanzar un grosor promedio de 4, para aumentar levemente después de los 80 días, alcanzando un grosor de 6 μm aproximadamente. Los otolitos de este tipo correspondieron a peces capturados en mayo de 2013, los que nacieron en verano de ese mismo año.

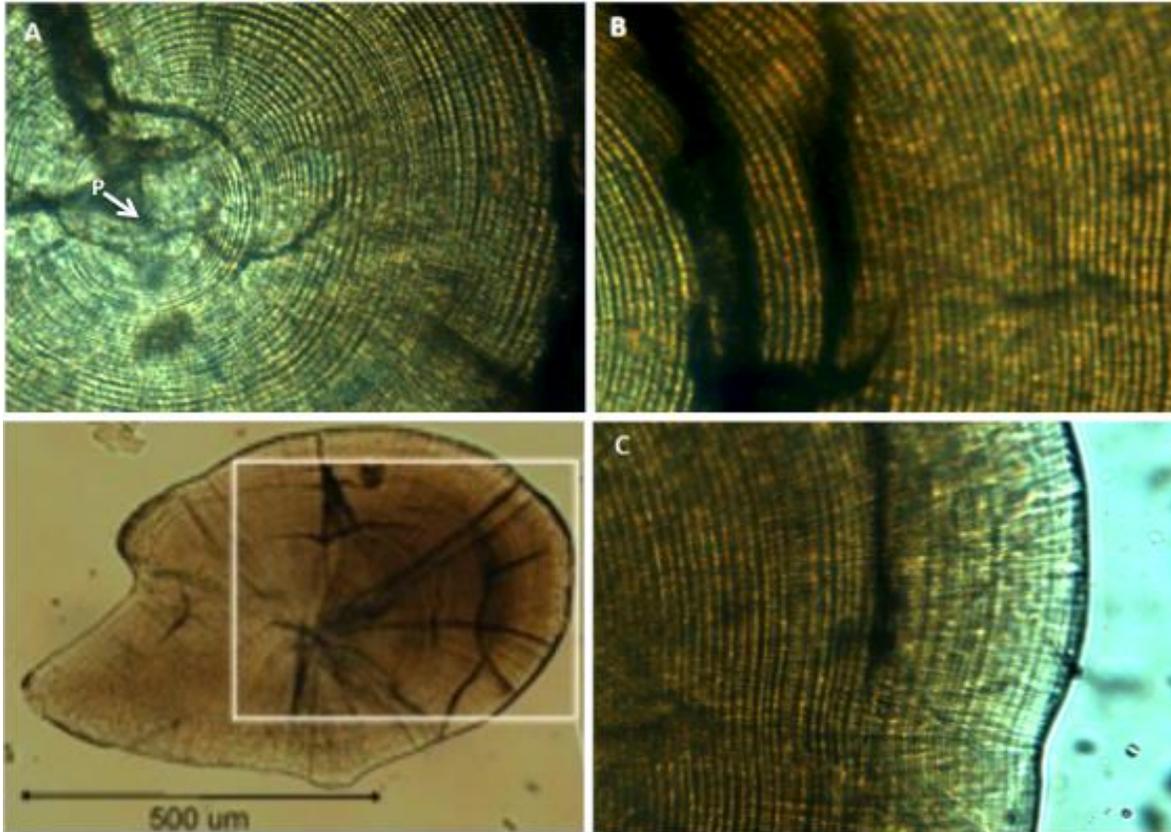


Figura 10. Otolito de anchoveta perteneciente a un pez de 5 cm LT y 56 días. Corresponde a las cohortes nacidas en verano de 2013. La “P” indica el primordio del otolito.

Estrato II

En los otolito del Estrato II, los primeros 30 microincrementos son muy finos y están ubicados en esta área del otolito que es marcadamente hialina. Los primeros 3 a 4 anillos cerca del primordio tienen un ancho promedio de $3,0\ \mu\text{m}$, le sigue a éstos un tramo de anillos concéntricos y regulares entre el anillo 5 y 28, con un grosor promedio de $2,1\ \mu\text{m}$ y desde el día 30 al 70 aproximadamente el ancho promedio de los microincremento aumenta levemente a $2,7\ \mu\text{m}$. Estos microincrementos están dispuestos regularmente y presentan una buena

resolución en las zonas más opacas del otolito. Posteriormente se observa un área con una secuencia de anillos más gruesos, con promedios de $4,2 \mu\text{m}$, entre los 70 y los 100 días. Luego se observa una serie de microincrementos que asemejan bandas formadas por anillos más finos, esta zona formada en los 40 días siguientes presenta anillos de un grosor promedio de $5,5 \mu\text{m}$. En el borde se ubican aproximadamente 15 a 20 anillos más finos de un ancho promedio de $1,9 \mu\text{m}$, los cuales se caracterizan por poseer un borde hialino visible en otolitos enteros y que se observa también en los otolitos de mayor tamaño (**Fig. 11**).

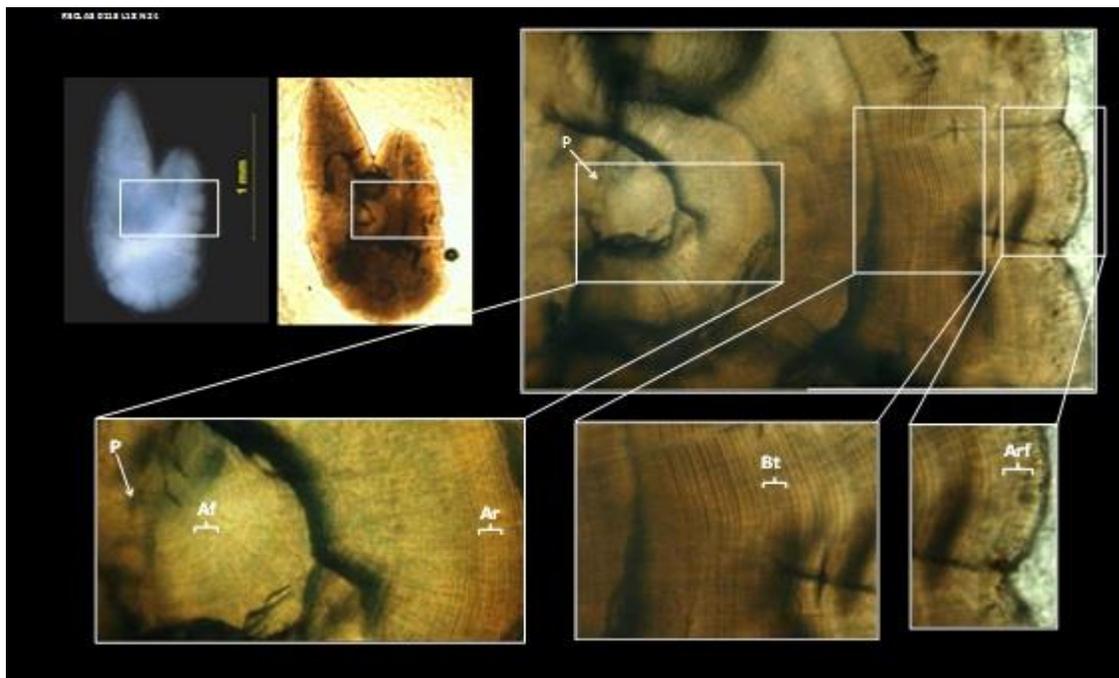


Figura 11. Otolitos de anchoveta de 8,5 cm LT y 155 días de edad. En el lado izquierdo superior se muestra el otolito entero y un recuadro del área en que se leyó. Al lado derecho la sección del otolito leída con aumento 400X, donde se detallan 3 zonas distintas que se caracterizan por el tipo y tamaño de los micro-incrementos. *P*= primordio, *Af* = anillo fino, *Ar*= anillo regular, *Bt*= banda con triple anillos, *Arf*= anillos regular y fino.

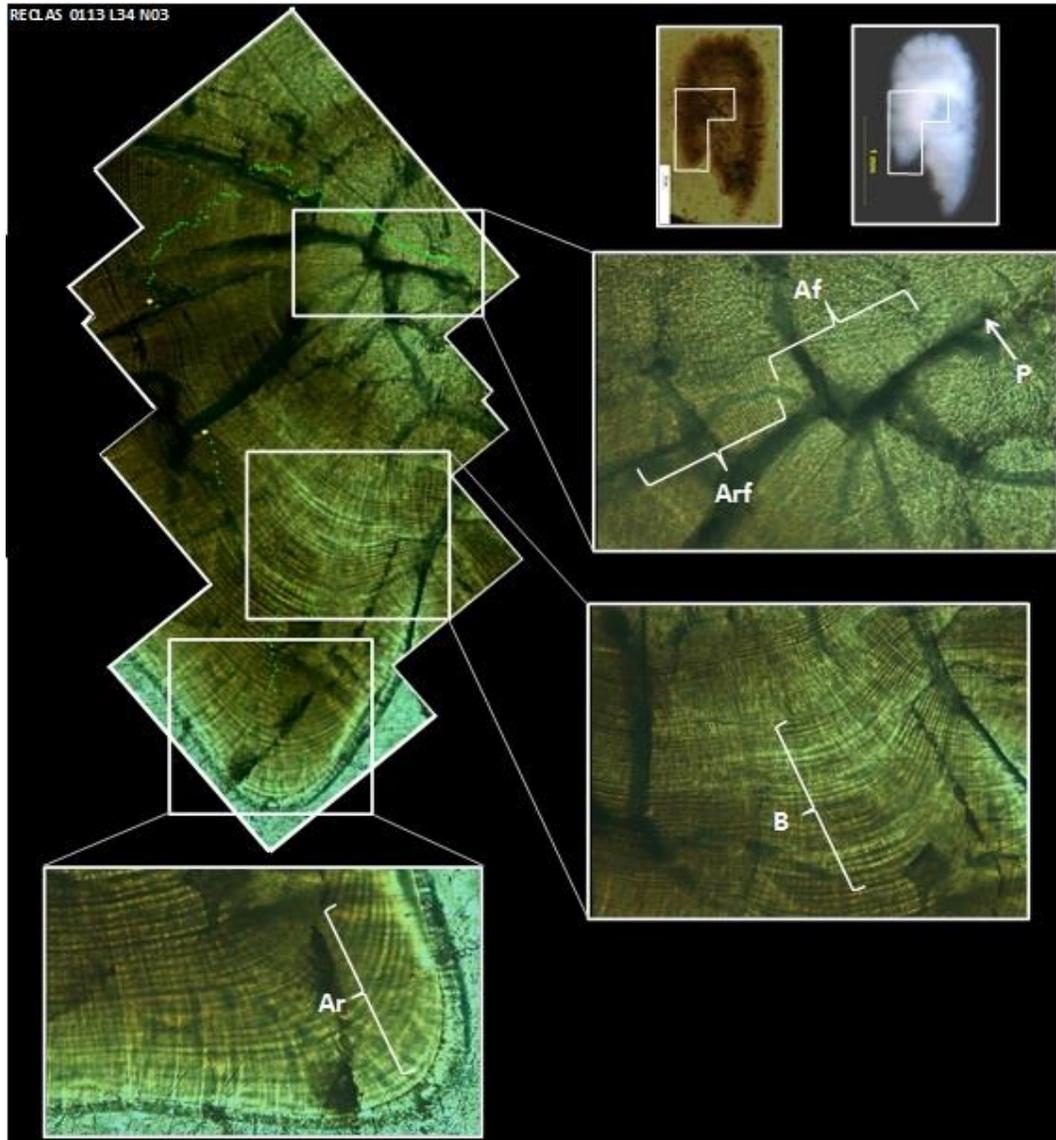


Figura 12. Otolitos de anchoveta de 10 cm LT y 167 días de edad. En el lado izquierdo superior derecho se muestra el otolito entero con luz reflejada y transmitida, señalando con un recuadro el área de lectura. Al lado izquierdo se muestra la fotografía compuesta de la zona del antirostro donde se realizó la lectura con aumento en 400X. Se detalla con tres recuadros distintas zonas que se caracterizan por el tipo y tamaño de los micro-incrementos. *P*= primordio, *Af* = anillo fino, *Ar*= anillo regular, *B*= banda de anillos, *Arf*= anillos regular y fino.



Estrato III

En el estrato III los otolitos se caracterizan por presentar un área muy hialina alrededor del primordio (30 días aproximadamente) con microincrementos muy finos con una resolución muy baja, posterior a esta área los micro-incrementos presentan una mejor resolución aunque en áreas intermedias se pueden observar bandas formadas por grupos de micro-incrementos, los que se cuentan separados de acuerdo al criterio validado por Plaza *et al.* (2012). En el borde existe una disminución del grosor de los micro-incrementos pero éstos no llegan a ser finos como a los 40 días. En la mayoría de los otolitos de este estrato es posible observar un macro-anillo hialino en el borde, que micro-estructuralmente presenta anillos con una buena resolución **(Fig.12)**.

En el estrato III todos los otolitos analizados corresponden a las cohortes nacidas en el invierno de 2013. Esta se caracteriza por un aumento significativo del crecimiento a partir 60 días aproximadamente para alcanzar una detención del crecimiento después de los 100 días. Esto se verifica a partir de la observación de la variación del grosor de los microincrementos, los que presentan un grosor promedio de 3 μm (2 a 4 μm) hasta aproximadamente los 50 días para luego incrementar su grosor de 4 a 6 μm , y mayores en algunos casos, en 40 días **(Fig.12)**.

9.2.2 Caracterización de la micro-estructura de otolitos de sardina común y austral.

Estrato I

Para ejemplares menores a 7 cm de LT de sardina común y sardina austral los micro-incrementos aparecieron distintivos y concéntricos, circundando una área central compuesta por un único primordio opaco, rodeado por una perturbación escasamente definida (**Fig. 13**). Posterior a esta marca se encuentra un área donde se observan micro-incrementos muy finos, visibles parcialmente, los cuales se ven interrumpidos por una marca concéntrica prominente formada entre los 15 y 20 μm , a partir de la cual los micro-incrementos primarios se depositaron de forma secuencial (**Tabla 5; Fig. 13**). Los micro-incrementos primarios fluctuaron entre 2 y 9 micrones ($4,37 \pm 1,19$), mostrando un patrón relativamente homogéneo para los primeros 50-60 días de vida, con una ligera tendencia a incrementar en grosor hacia la periferia y con esporádica ocurrencia de perturbaciones, discontinuidades y estructuras bi y/o tripartitas (**Tabla 5**).

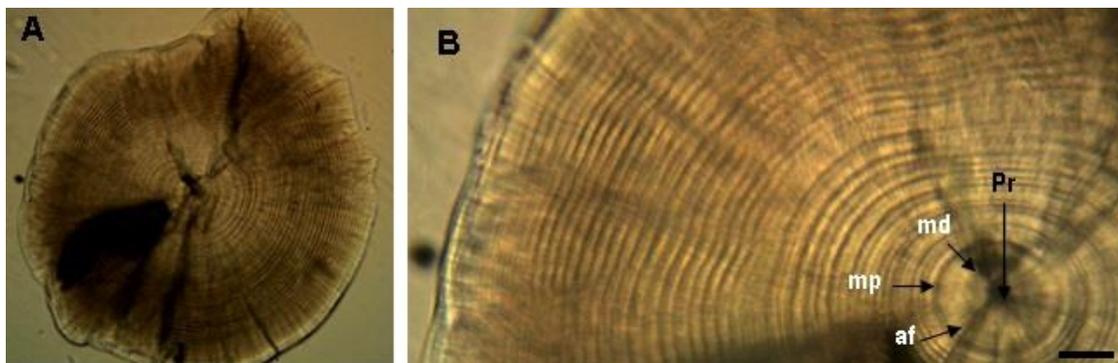


Figura 13. Fotografías bajo luz transmitida de un otolito sagital de sardina común a 20X (A) y 40X (B) de magnificación, de un juvenil de 5 cm de LT y 50 días de vida, capturado el 5 de abril de 2013. Barra de error=15 μm . Pr: primordio; md=marca difusa; mp=marca prominente; af=anillos finos.

**Tabla 5.**

Estadísticas descriptivas de la zona nuclear de otolitos sagitales de dos especies de clupeoideos, recolectados en la zona centro sur y austral de Chile durante el verano del año 2013. DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. Valores en μm .

Especie	Primordio		Marca Difusa		Marca Prominente	
	Media \pm DE	Rango	Media \pm DE	Rango	Media \pm DE	Rango
<i>S. bentincki</i>	8,5 \pm 2,06	6,4 - 12,5	13,1 \pm 3,48	8,3 - 18,9	19,3 \pm 3,73	15 - 25
<i>S. fueguensis</i>	8,4 \pm 1,23	5,1 - 10,7	13,6 \pm 4,01	8,8 - 21,7	19,7 \pm 3,47	11 - 25

Estrato II

Para ejemplares entre 7 y 9,5 centímetros los otolitos sagitales tanto para sardina común como para sardina austral fueron eminentemente opacos a luz inducida y de apariencia café marrón bajo luz transmitida (**Fig. 14**), excepto en algunos ejemplares de mayor talla, donde fue posible evidenciar una zona hialina incipiente hacia los bordes de los otolitos. En ambas especies la resolución de los micro-incrementos primarios varió ampliamente en función del área del otolito. En general fue posible diferenciar tres zonas micro-estructurales. La zona A se caracterizó por la presencia de micro-incrementos relativamente homogéneos y distintivos ($4,28 \pm 1,23$; rango: 2,4-6,7 μm) que se extendió desde la segunda marca prominente hasta aproximadamente los primeros 50 días y 90 de vida, para sardina austral y sardina común, respectivamente (**Fig. 14AB**). La zona B, comprendió un área de transición, caracterizada por la presencia de micro-incrementos pobremente definidos y presencia de tres a cuatro macro-bandas de crecimiento que correspondió al límite superior de esta zona. Estas macro-bandas en ocasiones estuvieron compuestas por hasta cuatro anillos de menor grosor ($2,25 \pm 0,5 \mu\text{m}$) (**Fig. 14BC**).

La zona C correspondió a un área donde los micro-incrementos se redujeron en grosor de forma marcada ($2,83 \pm 1,12 \mu\text{m}$ rango=0,89-5,2 μm), manteniendo su definición, presencia y concetricidad en diferentes áreas de esta zona y extendiéndose hasta el borde del otolito hasta aproximadamente los 150-180 días de vida. Se debe destacar que el patrón de macro bandas aún persistió en la Zona C, donde se apreciaron de forma menos pronunciada (**Fig. 14C**).

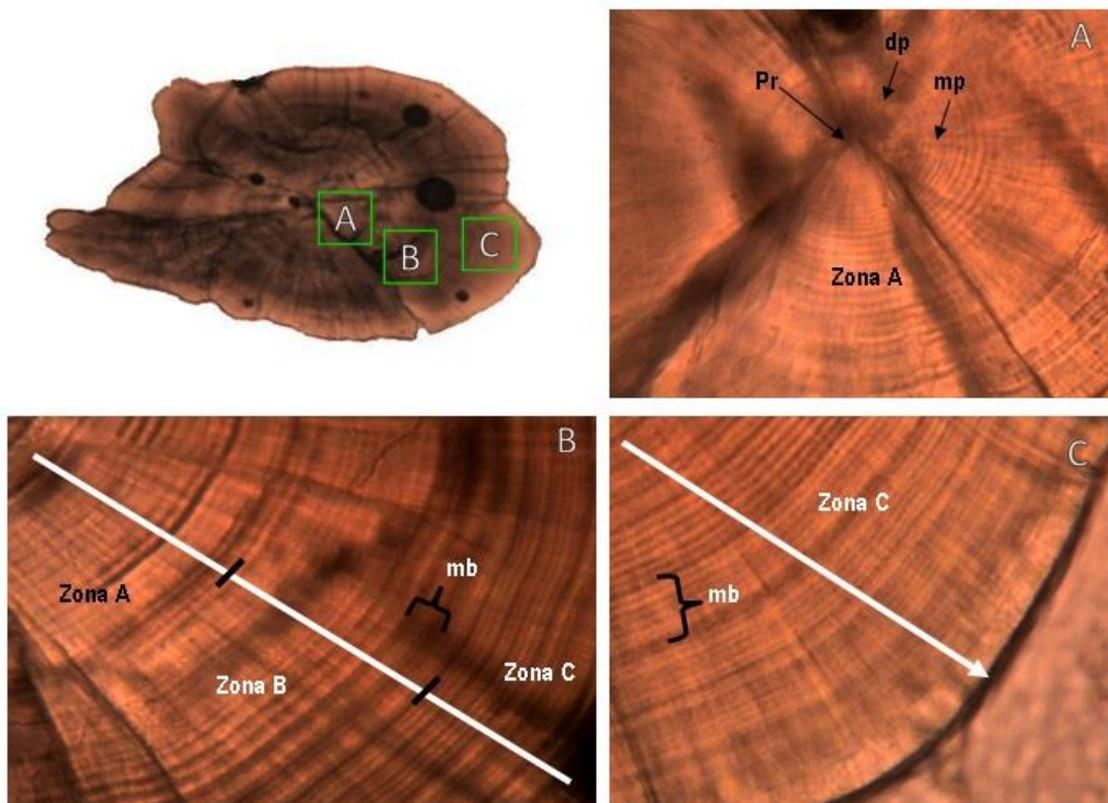


Figura 14. Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos en posición sagital, de un juvenil *Sprattus fueguensis*, recolectado en la zona austral Chile, en enero de 2013 (edad 152 días, LT= 8,5 cm ; Aumento: A=10X; B-D=40X). Pr=primordio; md=marca difusa; mp=marca prominente.



Un rasgo adicional característico presente en la zona C fue la desaparición de los micro-incrementos finos, cuando se redujo el foco de observación, tornándose mucho más distintivo el patrón de macro-bandas. La **Figura 15** ilustra este proceso, donde se evidenciaron diferencias de entre 17 y 50 anillos para el criterio de macro-bandas y anillos finos, respectivamente, para un área de 150 micrones (**Fig. 15AB**). Para verificar si los micro-anillos finos no fueron meramente un producto del proceso de preparación de otolitos, se analizaron muestras sin pulir bajo luz transmitida intensa y con diafragma focalizado. Este proceso permitió determinar que la existencia de los micro-incrementos finos fue un rasgo micro-estructural propio de ambas especies en esta zona (**Fig. 15D**).

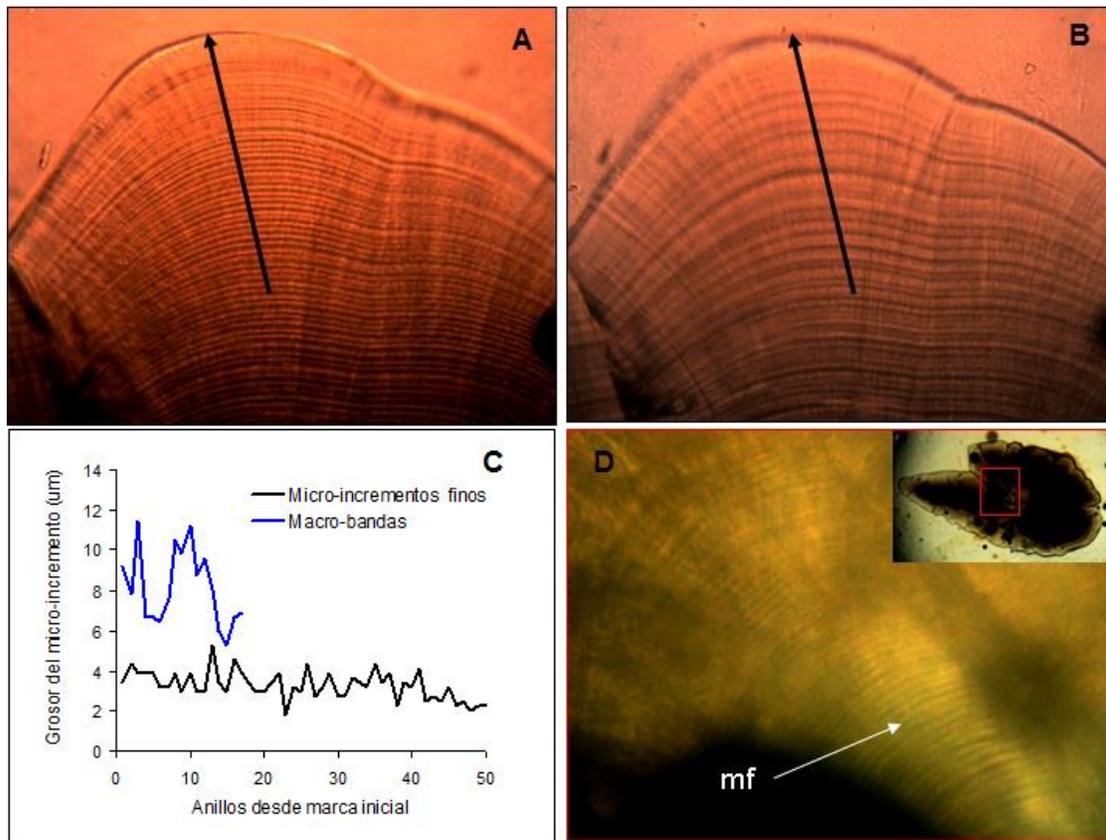


Figura 15. Fotografías bajo luz transmitida, ilustrando la presencia de micro-incrementos de reducido grosor (A) y macro-bandas (B) en una misma región de un otolito sagital de *Sprattus fueguensis*. Perfil de grosor de los micro-incrementos entre ambas aproximaciones(C). Presencia de micro-incrementos finos resolubles a 40X de magnificación en un otolito sagital sin pulir de un ejemplar de 9 cm de LT de sardina común *Strangomera bentincki* (D). Aumento: A-B=40X; mf=micro-incrementos finos. Las flechas negras indica el área por donde se midió el perfil de los micro-incrementos.



Estrato III

Los otolitos sagitales de juveniles entre 10 y 12 cm centímetros de sardina común y sardina austral mostraron una forma ovoide con el cauda y rostro mostrando una forma pronunciada (**Fig. 16-1**). Un rasgo distintivo del otolito, de estos ejemplares, visible tanto a luz inducida como incidente, fue la marcada transparencia de la zona nuclear, un área que se extendió desde el primordio hasta aproximadamente los 150 μm en dirección caudal. Esta característica dificultó el proceso de preparación de los otolitos para análisis micro-estructural, debido a la falta de resolución de los micro-incrementos en dicha área, condición que en muchos casos no mejoró sustantivamente con el proceso de pulido. En este estrato fue posible observar también algunas características de las tres zonas descritas en juveniles de menor tamaño, donde los micro-incrementos pueden ser identificados. No obstante, se apreció la presencia de una gran cantidad de discontinuidades, bandas irregulares y áreas difusas que dificultan la lectura (**Fig. 16-3-5**).

Con posterioridad a la zona C, se distinguió una primera banda hialina (PBH) muy bien definida que se formó aproximadamente a los 495 y 580 micrones desde el primordio, para sardina común y sardina austral, respectivamente (**Fig. 16.1-2; Tabla 6**). La PBH siempre apareció concéntrica y de un grosor aproximado de entre 60 a 100 micrones. A nivel micro-estructural no se observaron micro-incrementos con características de primarios en la PBH (**Fig. 16.6-7**), cuando se analizaron muestras pulidas, aunque si se evidenciaron en la zona opaca inmediatamente adyacente a ella (**Fig.16. 7**), aunque mostraron una baja resolución.

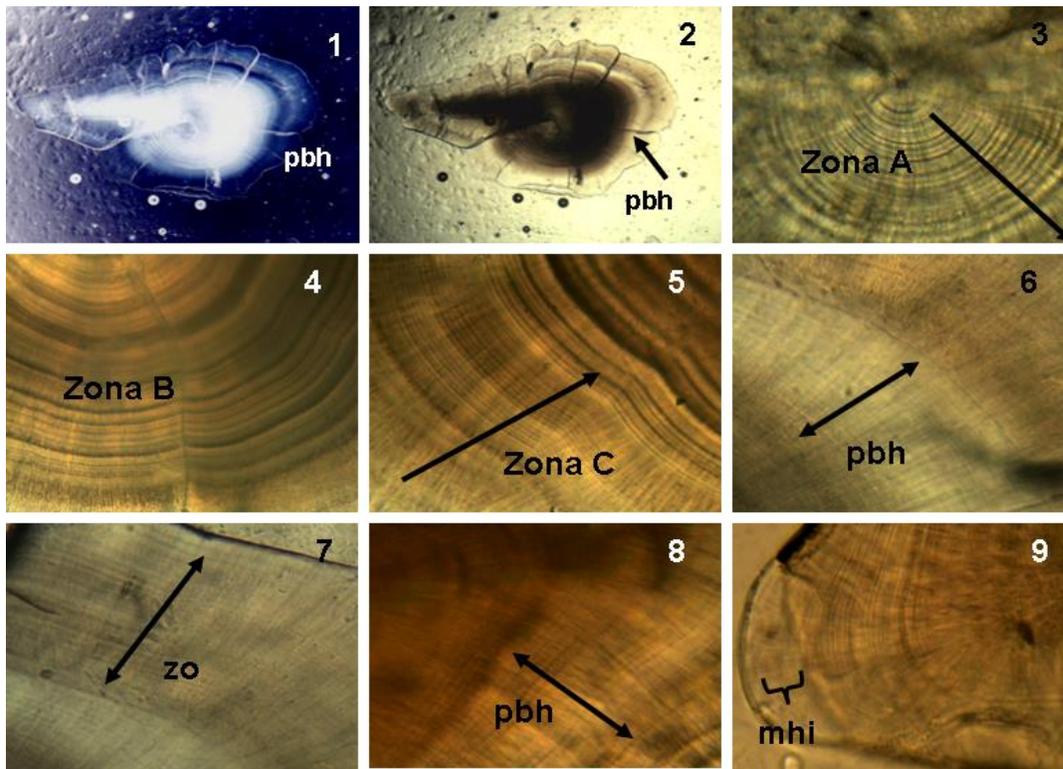


Figura 16. Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos de un ejemplar de 10,5 cm de sardina común *Strongomera bentinki*, recolectado el 8 de enero de 2013; Aumento: 1=10X; 3-9=40X). *pbh*=primera banda hialina; *mhi*=micro-incrementos hialinos irresolubles.

Cuando se aplicó luz transmitida intensa en muestras sin pulir se pudo distinguir un patrón de bandas de un grosor aproximado de entre 2 y 4 micrones ($3,44 \pm 0,54$) en la primera banda hialina PBH, sólo en ciertas regiones del otolito (**Fig.16. 7-8**). Cuando se analizó, siguiendo el mismo procedimiento, la región periférica del otolito cubriendo el área de un segundo depósito hialino incipiente, no se observaron micro-incrementos presumiblemente primarios, excepto en la región más opaca inmediatamente anterior, donde se distinguieron micro-incrementos muy finos pero resolubles ($2,42 \pm 0,51$; rango $1,61-3,45 \mu\text{m}$) en el rostro (**Fig.16.7-9**).

**Tabla 6.**

Resumen estadístico del radio a la formación de la primera zona hialina (PBH; medido en dirección caudal) y del grosor de la misma, para la sardina común (n=22) y sardina austral (n=20), en juveniles correspondientes al estrato de tamaño III. DE=desviación estándar.

Especie	BPH (um)		Radio Caudal (um)		Grosor PBH (um)	
	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango
<i>S. bentincki</i>	495,0 ± 44,2	438,4 - 554,6	779,5 ± 59,5	716,2 - 921,5	81,8 ± 12,6	63 - 100
<i>S. fueguensis</i>	580,1 ± 54,6	494,4 - 659,6	923,6 ± 36,9	881,6 - 989,4	73,2 ± 12,0	48 - 83

9.3 Precisión de la lectura de micro-incrementos (reproducibilidad)

9.3.1 Análisis de reproducibilidad de anchoveta

El nivel de error en la lectura de micro-incrementos de 40 otolitos de anchoveta entre dos lectores independientes fue bajo con un APE de 3,9% y un CV de 5,5%, para un rango de tallas entre 3,5 y 11,0 cm y edades entre 51 y 173 días. El análisis de varianza de un factor no detectó diferencias significativas en el número de anillos contados entre los 2 lectores (**Tabla 7**).

Tabla 7.

Análisis de varianza con un factor para evaluar la reproducibilidad en la lectura de micro-incrementos de otolitos en 40 juveniles de anchoveta del centro-sur.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	285,013	1	285,01	0,24	0,627
Dentro de los grupos	93467,68	78	1198,30		
Total	93752,69	79			



9.3.2 Análisis de reproducibilidad de sardina común y sardina austral

Se debe subrayar que para efectos de lectura de micro-incrementos de otolitos sagitales de juveniles se utilizó el criterio estándar descrito en la literatura, cuantificados a partir de la segunda marca prominente que rodeó el primordio. Se hace hincapié, sin embargo, que para el caso de la zona C, se optó por cuantificar los micro-incrementos finos. El promedio de dos lecturas efectuadas por lectores independientes fue utilizado como estimación de la edad diaria.

Se debe destacar que se evidenció una elevada reproducibilidad en las lecturas para ambas especies (*S. bentinkci* APE=7,8% n=17; *S. fueguensis* APE=4,28% n=19), no detectándose diferencias significativas en los valores medios entre lectores (**Tabla 8**).

Tabla 8.

Análisis de Varianza de 1 factor para verificar la hipótesis de igualdad de media entre lecturas, para el número de incrementos para sardina común (SC) y sardina austral (SA).

Especie	FV	SC	GL	CM	F	P
	Entre grupos	11,605	1	11,605	0,307	0,5829
SC	Dentro de los grupos	1360,7	36	37,798		
	Total	1372,3	37			
	Entre grupos	38,118	1	38,118	0,4776	0,4945
SA	Dentro de los grupos	2554,1	32	79,816		
	Total	2592,2	33			



9.4 Análisis derivados de la microestructura de otolitos

9.4.1. Determinar las fechas de Nacimiento (FN)

- Anchoveta

La edad diaria fue determinada contando el número de incrementos desde el segundo anillo concéntrico que rodea el primordio central hasta el borde del otolito. Las fechas de nacimiento fueron calculadas restando a la fecha de captura la edad diaria total. En total se logró analizar 121 otolitos de peces capturados en enero de 2013, donde se evidencia que juveniles de entre 7,0 y 11,5 cm de LT, con edades que fluctuaron entre 107 y 177 días (media: $137,5 \pm 18,9$ d), correspondieron principalmente a peces nacidos entre julio y octubre del 2012 y una menor cantidad desde abril y mayo. A su vez anchovetas entre 3,5 y 7,0 cm LT, con edades que fluctuaron entre 57 y 138 días (media: $85,5 \pm 17,4$ d), capturados en mayo del 2013 correspondieron a peces nacidos entre enero y marzo del mismo año (**Fig. 17**). En esta tabla se puede apreciar que la edad de reclutamiento de anchoveta varía mensualmente entre el día 57 (2º mes) y 173 (6º mes) desde la eclosión (**Tabla 9**).



Tabla 9

Estadísticas generales de los ejemplares agrupados, por cohorte mensual de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento de anchoveta, recolectados el 2013 en la zona centro sur de Chile.

Mes	Longitud Total (cm)			Peso Total (g)			Edad (días)				n
	Media ± DE	Rango	CV	Media ± DE	Rango	CV	Media ± DE	Rango	CV		
Ene	5,8 ± 0,56	5,0 - 6,7	9,6	1,1 ± 0,33	0,6 - 1,7	29,4	119,3 ± 5,5	110 - 130	4,6	12	
Feb	4,8 ± 0,45	3,6 - 5,6	9,4	0,7 ± 0,74	0,2 - 5,0	111,8	89,5 ± 6,8	78 - 103	7,6	38	
Mar	4,0 ± 0,39	3,3 - 4,8	9,7	0,3 ± 0,10	0,1 - 0,5	37,7	70,4 ± 5,6	57 - 80	7,9	37	
Abr	11,5 ± 0,71	11,0 - 12,0	6,1	8,8 ± 2,33	7,1 - 10,4	26,7	108,0 ± 19,8	94 - 122	18,3	2	
May	12,0 ± 0,00	12,0 - 12,0	0,0	8,3 ± 0,00	8,3 - 8,3	0,0	92,0 ± 0,0	92 - 92	0,0	1	
Jul	9,5 ± 1,41	8,5 - 10,5	14,9	5,6 ± 2,83	3,6 - 7,6	50,5	173,0 ± 0,0	173 - 173	0,0	2	
Ago	9,3 ± 1,15	7,5 - 11,5	12,4	5,4 ± 2,40	2,7 - 11,6	44,6	147,7 ± 10,6	135 - 171	7,2	15	
Sept	8,7 ± 0,77	7,0 - 10,0	8,9	4,3 ± 1,20	2,1 - 6,7	28,2	121,6 ± 7,1	109 - 135	5,9	16	
Oct	8,9 ± 1,07	8,0 - 11,0	12,1	4,7 ± 1,97	3,6 - 8,9	42,0	95,7 ± 9,5	81 - 107	9,9	7	
Total	8,3 ± 0,7	3,3 - 12,0	8,7	4,3 ± 1,3	0,1 - 11,6	30,5	113,0 ± 7,2	57 - 18,3	6,4	130	

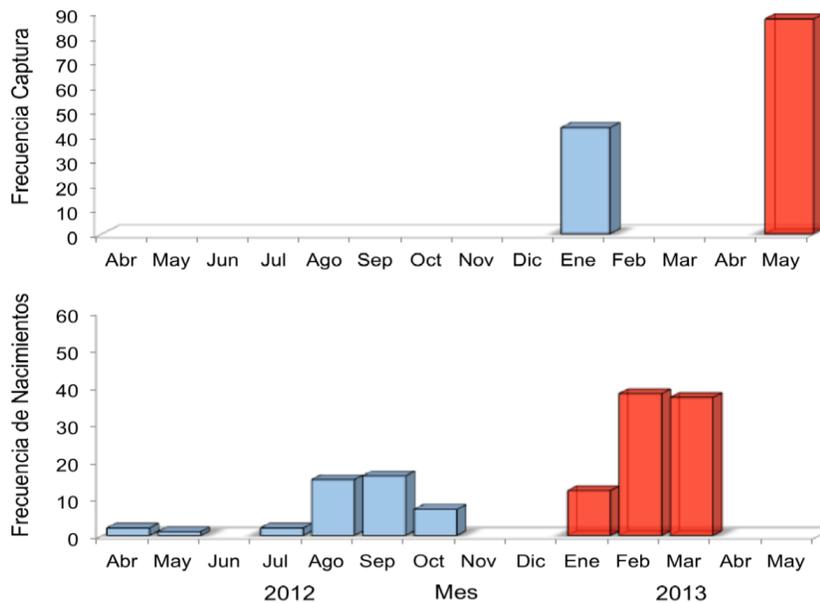


Figura 17. Frecuencia de mes de captura de anchoveta en los Cruceros Hidroacústicos de Reclutamiento de verano e invierno de 2013 y su frecuencia de nacimiento mensual, estimada a través de análisis de la micro-estructura de otolitos sagitales de la anchoveta en la zona centro-sur de Chile.



Sardina común y sardina austral

Un total de 133 y 136 otolitos sagitales estuvieron disponibles para estimación de fechas de nacimiento, para la sardina común y la sardina austral. Las estadísticas generales de edad, longitud y peso se muestran en las **Tablas 10 y 11**. Para el caso de la sardina común la distribución de frecuencia de las fecha se nacimiento se extendió de junio a diciembre, donde la mayoría de los ejemplares recolectados en enero de 2013 provinieron del desove de primavera y los recolectados en mayo de 2013 fueron producto de ejemplares que desovaron principalmente en la época de invierno (**Fig. 18**). La edad de reclutamiento de sardina común entre junio y diciembre del 2013 varió entre el día 47 (2º mes) y 200 (7º mes) desde la eclosión (**Tabla 10**).

Tabla10.

Estadísticas generales de los ejemplares agrupados, por cohorte de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento y determinación la relación talla-edad de sardina común, recolectados en el año 2013 en la zona centro sur de Chile.

Mes	Longitud Total (cm)				Peso Total (g)				Edad (días)			
	Media ± DE	Rango	CV	n	Media ± DE	Rango	CV	n	Media ± DE	Rango	CV	n
Jun	10,38 ± 0,25	10,00 - 10,5	2,41	4	9,4 ± 0,424	9 - 10,0	4,51	4	206 ± 8	193 - 210	3,98	4
Jul	10,14 ± 0,46	9,00 - 10,5	4,51	14	8,829 ± 1,595	4,7 - 10,7	18,07	14	181 ± 6	168 - 190	3,51	14
Ago	9,40 ± 0,74	8,50 - 10,5	7,89	5	7,00 ± 2,106	4,70 - 9,9	30,08	5	148 ± 7	140 - 153	4,95	5
Sep	11,85 ± 0,21	11,70 - 12	1,79	2	13,75 ± 1,061	13,00 - 14,5	7,71	2	254 ± 4	251 - 256	1,44	2
Oct	10,37 ± 0,38	10,00 - 11,1	3,64	6	8,33 ± 1,922	7,00 - 12,2	23,07	6	206 ± 7	200 - 220	3,56	6
Nov	5,67 ± 2,69	3,50 - 11,5	47,38	78	2,46 ± 3,567	0,20 - 13,7	145,21	78	90 ± 57	50 - 202	63,54	78
Dic	6,65 ± 2,95	3,00 - 11	44,44	24	3,42 ± 3,487	0,1 - 10,5	102,06	24	103 ± 56	47 - 172	53,84	24
Total	6,90 ± 3,05	3 - 12	44,22	133	4,12 ± 4,186	0,1 - 14,5	101,73	133	116 ± 65	47 - 256	56,62	133



Tabla 11.

Estadísticas generales de los ejemplares, agrupados, por cohorte de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento y determinación la relación talla-edad de sardina austral, recolectados en los años 2013 y 2014 en X y XI primera Región.

Mes	Longitud Total (cm)				Peso Total (g)				Edad (días)			
	Media ± DE	Rango	CV	n	Media ± DE	Rango	CV	n	Media ± DE	Rango	CV	n
Ago	9,33 ± 1,04	8,50 - 10,5	11,15	3	6,27 ± 1,815	4,60 - 8,2	29,0	3	170 ± 11	162 - 183	6,68	3
Sep	10,50 ± 2,12	8,50 - 13	20,20	4	9,13 ± 6,057	3,70 - 16,9	66,4	4	178 ± 29	150 - 211	16,06	4
Oct	9,29 ± 1,16	7,00 - 11	12,45	12	5,56 ± 2,072	2,00 - 8,9	37,3	12	180 ± 17	161 - 214	9,29	12
Nov	7,25 ± 1,66	5,50 - 11	22,92	35	2,84 ± 2,646	0,71 - 8,5	93,1	35	180 ± 15	152 - 202	8,54	35
Dic	5,62 ± 0,38	5,00 - 6,5	6,71	69	0,93 ± 0,239	0,55 - 1,7	25,7	69	157 ± 9	143 - 172	5,47	69
Ene *	5,19 ± 0,48	4,50 - 6	9,25	13	0,768 ± 0,241	0,49 - 1,1	31,3	13	135 ± 4	128 - 140	2,86	13
Total	6,55 ± 1,75	4,5 - 13	26,70	136	2,17 ± 2,631	0,49 - 16,9	121,3	136	164 ± 18	128 - 214	11,25	136

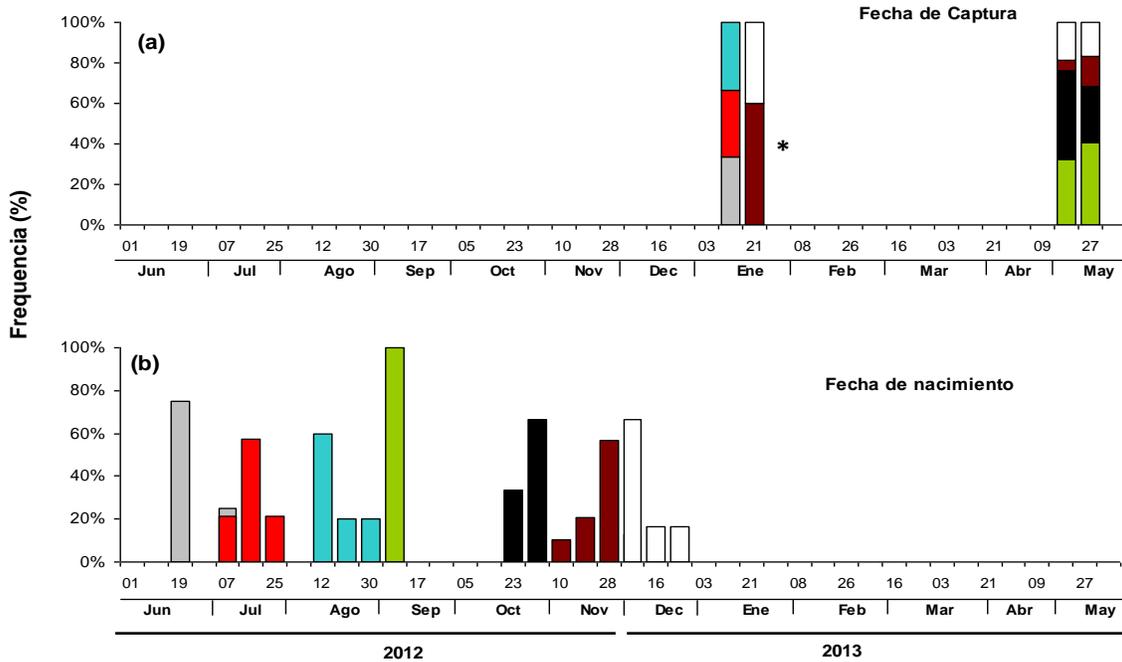


Figura 18. Distribución de fechas de nacimiento para juveniles de sardina común, calculadas substrayendo la edad total de la fecha de captura.
*: ejemplares < 6 cm LT.

Un total de 30 otolitos sagitales de sardina austral provenientes de juveniles del estrato II y III de entre 8,5 y 13 cm LT ($9,74 \pm 1,19$; $CV=15,5\%$), recolectados en la X Regi3n, mostraron resoluci3n suficiente para an3lisis de micro-incrementos, siguiendo los procedimientos de fotografiado serial descritos en la secci3n metodol3gica. Esta informaci3n se complement3 con un total de 109 otolitos provenientes de juveniles de entre 4,5 y 8 cm LT, recolectados en la XI regi3n durante mayo de 2014. Los otolitos de estos juveniles, aunque correspondieron mayoritariamente al estrato I, tuvieron rasgos micro-estructurales similares a aquellos ejemplares de mayor talla (estrato II), distingui3ndose por las tres zonas micro-estructurales caracteristicas (**Fig. 19**).

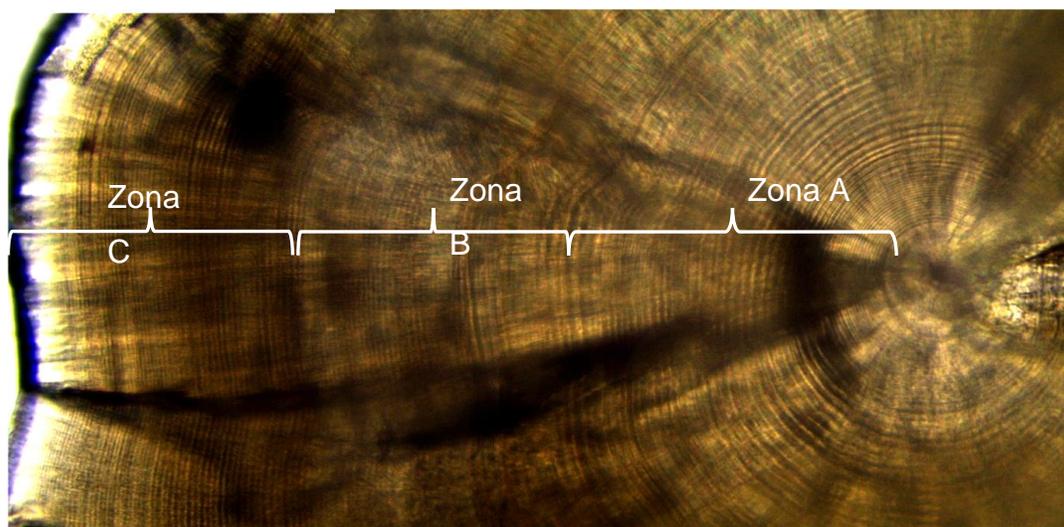


Figura 19. Fotografía de la micro-estructura de un otolito de sardina austral *Spratus fuegensis* ilustrando las 3 zonas caracteristicas, provenientes de un ejemplar de 6,5 cm LT, recolectado en la XI regi3n en mayo de 2014. Aumento 40X.



9.4.2 Determinar el crecimiento de las tres especies a partir del análisis de micro-incrementos de otolitos.

9.4.2.1 Relación Longitud- Radio otolito

La elevada resolución de los micro-incrementos descritos para el estrato I, observada principalmente en sardina austral, es auspiciosa, debido a que permite la estimación confiable de los radios a cada edad para efecto de reconstruir la historia previa de crecimiento a través de técnicas de retro-cálculo. No obstante un paso previo es la verificación de la proporcionalidad entre la longitud del ejemplar y el tamaño de la estructura calcárea.

- **Anchoveta**

La relación entre el radio máximo (RO), medido desde el primordio hacia el eje posterior máximo del otolito y la longitud total (LT) de anchoveta fue analizada en un total de 128 juveniles capturados en los meses de enero y mayo. La relación de estas dos variables se ajusta a una regresión lineal con un alto coeficiente de determinación ($R^2=0,95$) y coeficiente de correlación ($r = 0,97$) (**Fig. 22**). Se debe subrayar que para efectos de retro-cálculo en estudios posteriores, es imprescindible revelar si la relación RO-LT sigue una tendencia lineal.

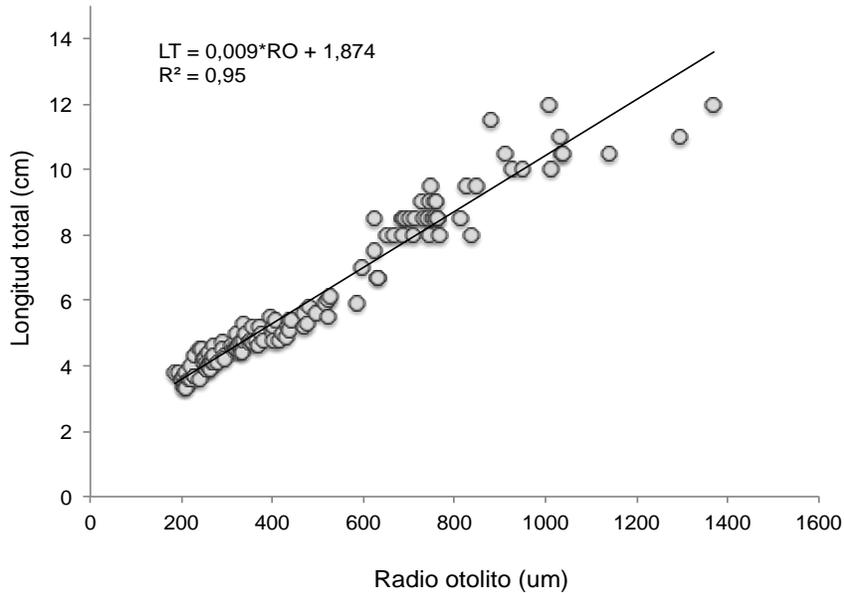


Figura 22. Relación Longitud total – Radio otolito para peces juveniles de anchoveta de la zona centro-sur. Se indican los parámetros de la relación lineal y el coeficiente de determinación.

- **Sardina común y sardina austral**

Para el caso de sardina común y sardina austral dicha relación fue altamente significativa y lineal (sardina común: $LT = -33,18 + 74,37 \times RC$, $R^2 = 0,97$; $r = 0,98$; $F = 3469,82$, $p < 0,01$; $n = 84$; sardina austral: $LT = 107,68 + 57,07 \times RC$, $R^2 = 0,62$; $r = 0,79$ $F = 50,45$; $p < 0,01$; $n = 211$ (**Fig. 23**).

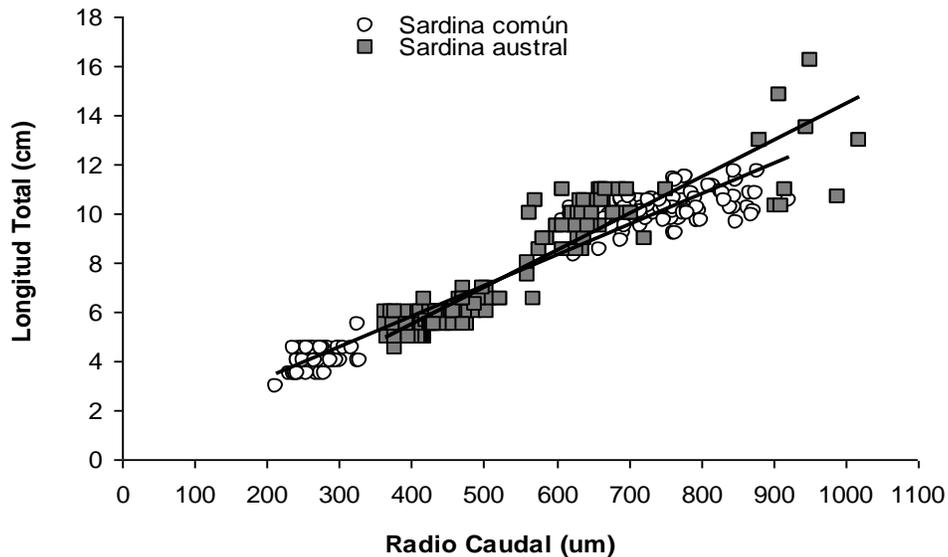


Figura 23. Relación entre la longitud total y el radio caudal de otolitos sagitales de juveniles de sardina común y sardina austral.

9.4.2.2 Relación Talla-Edad al momento de la captura

- **Anchoveta**

La relación talla-edad para la data de anchoveta se basó en los otolitos colectados en enero y mayo de 2013, que provienen de peces cuyo rango de tallas osciló entre los 3,5 y 11,5 cm LT y edades entre 57 y 173 días. La relación se ajustó significativamente con los modelos de von Bertalanffy estacional y Laird-Gompertz, con coeficientes de determinación superiores al 75% en ambos casos. Sin embargo, solo en el modelo Laird-Gomperz los parámetros estimados fueron altamente significativos ($P < 0,01$) (**Tabla 12**). Aunque el modelo estacional



presentó un menor AIC, en este ajuste los parámetros K y t_0 no fueron significativos. Esto nos permite concluir que el modelo Laird-Gompertz es aquel que representa adecuadamente la relación talla edad de anchoveta juvenil de la zona centro-sur.

La proyección de la curva de crecimiento Laird-Gompertz hacia la fase adulta (peces > 12 cm LT) permitió estimar una talla media al año de vida de 15,4 cm LT (**Fig. 24**).

Tabla 12.

Parámetros de crecimiento individual, donde se incluye el error estándar, el estadístico de contraste (t) y la probabilidad de contraste (P valor), para anchoveta de la zona centro-sur obtenidos a partir del modelo de vB estacional y Laird-Gompertz. Se presenta también el coeficiente de determinación (r^2), el tamaño de la muestra (n), el -logaritmo de la verosimilitud (-logLike) con los grados de libertad (df) y el criterio de información de Akaike (AIC).

Modelo	Parámetros	Estimación	ES	t valor	P valor
VB Estacional	L_{∞}	9,80	0,53	18,53	2E-16
	K	0,066	0,01	0,78	0,44
	t_0	0,01	0,06	0,06	0,95
	C	0,97	0,16	6,19	9E-09
	t_s	0,08	3E-05	240,4	2E-16
	r^2	0,79			
	n	121			
	-LogLike	-169,45 (df=6)			
	AIC	350,9			
Laird-Gompertz	L_{∞}	16,20	4,18	3,87	2E-04
	G	0,011	0,003	3,331	1E-03
	X_0	101,70	24,03	4,23	5E-05
	r^2	0,78			
	n	121			
	-LogLike	-174,0 (df=4)			
	AIC	356,0			

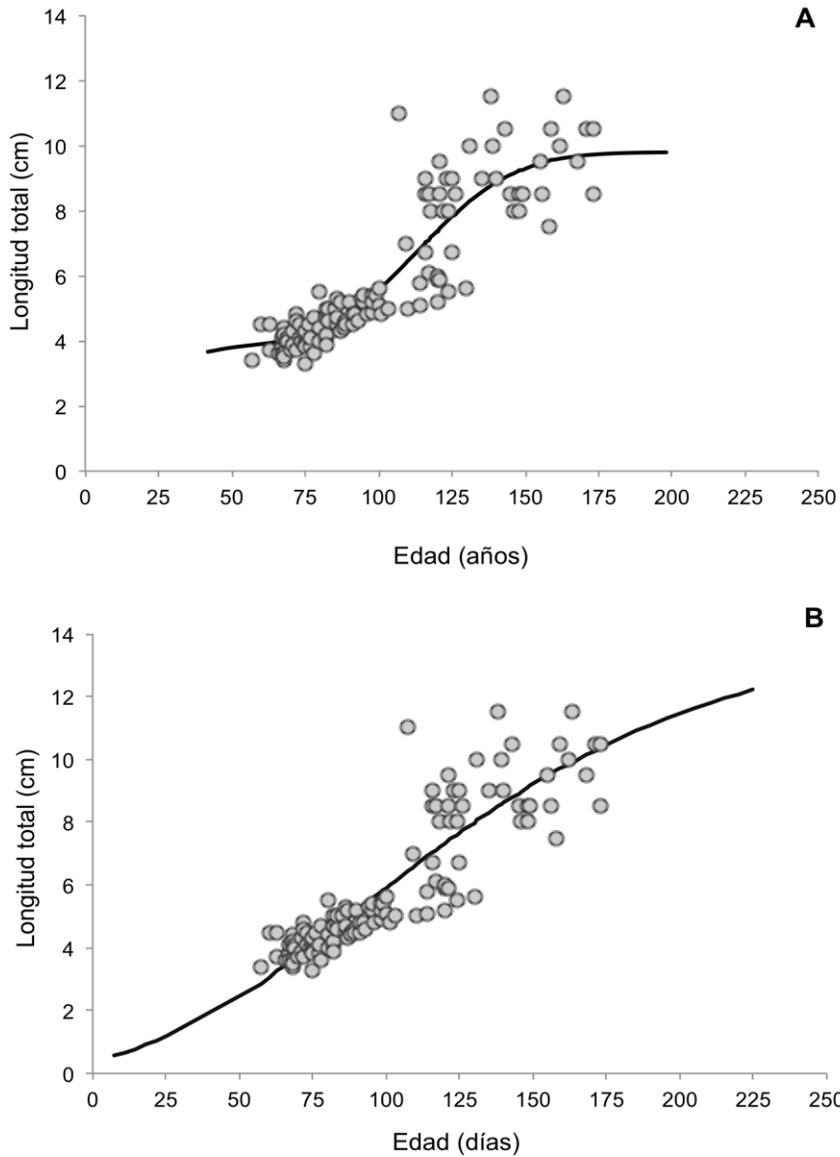


Figura 24. Relaci3n longitud-edad para peces juveniles de anchoveta de la zona centro sur. Se presentan la curva ajustada con el modelo de von Bertalanffy estacional (A) y el modelo de Laird-Gompertz (B).



- **Sardina com3n y sardina austral**

La relaci3n talla edad a la fecha de captura para la sardina com3n estuvo representada por dos grupos de ejemplares discretamente distinguidos. Por una parte destacaron los ejemplares menores a 6 cm LT con edades de entre 47 a 70 d3as y aquellos de mayor talla de entre 8 y 12 cm LT, correspondientes a edades de entre 140 y 256 d3as. Sin embargo, en su conjunto la relaci3n talla edad sigui3 un patr3n curvil3neo que se ajust3 significativamente a un modelo Laird-Gompertz (**Tabla 13; Fig. 25**), que permiti3 estimar una tasa de crecimiento absoluta al punto de inflexi3n ($X_0=62$ d3as) de $0,62 \text{ mmd}^{-1}$.

Tabla 13

Par3metros estimados con sus respectivos errores est3ndares (ES) e intervalos de confianza al 95%, el estadistico de contraste (t) y la probabilidad de contraste (P valor), para la relaci3n talla-edad a la fecha de captura de juveniles de sardina com3n, recolectados en la zona centro sur de Chile en 2013. $r^2=0,97$. $n=133$.

Par3metro	Estimaci3n \pm ES	inferior Superior	t valor	P valor
L_∞	12,1 \pm 0,42	11,31 - 12,97	28,9	<2e-16
α	0,014 \pm 0,001	0,012 - 0,017	11,18	<2e-16
X_0	61,7 \pm 2,872	56,04 - 67,4	21,49	<2e-16
-LogLike	-88,4 (df=4)			
AIC	185			

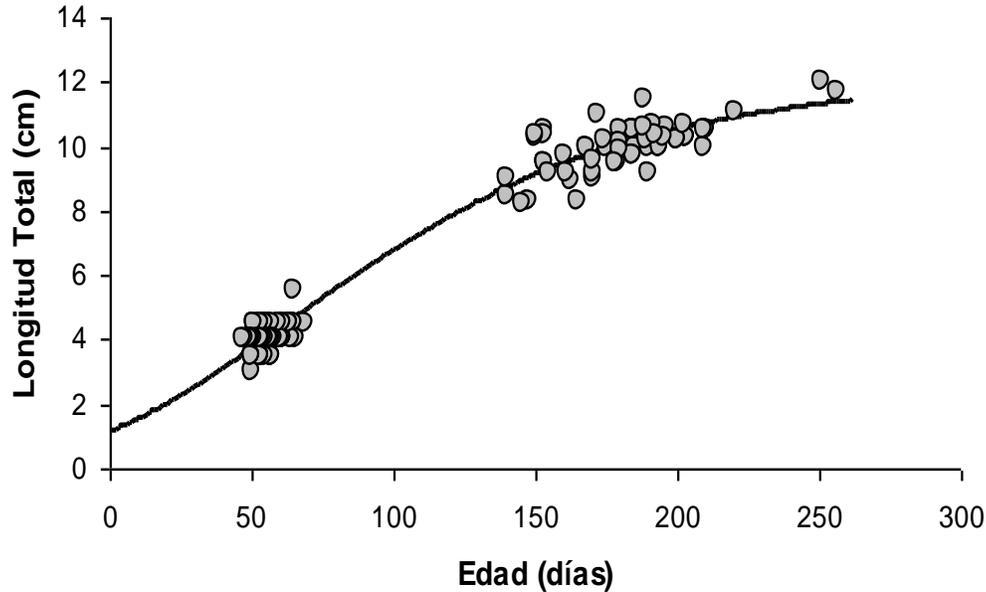


Figura 25. Ajuste de un modelo Laird Gompertz para la relación talla edad a la fecha de captura de juveniles de sardina común, recolectados en la zona centro sur de Chile el 2013.

La relación talla edad a la fecha de captura para ejemplares de sardina austral que fluctuaron entre 4,5 y 13,0 cm LT y entre 128 y 214 días mostró una tendencia lineal, pero con una clara separación entre los ejemplares recolectados entre la X y XI Región, en los años 2013 y 2014 (**Fig. 26a**). Ambos modelos fueron estadísticamente significativos (X Región: $F_{1,28}= 38,65$; $p<0,001$; XI Región: $F_{1,107}=136,34$; $p<0,001$), donde la edad explicó el 57 y 58% de la variabilidad en longitud, respectivamente.



Similarmente la relación entre la edad y el peso total siguió un mismo patrón con bondades de ajustes de entre 57 y 47%, respectivamente (X Región: $F_{1,28} = 37,07$; $p < 0,001$; XI Región: $F_{1,107} = 87,80$; $p < 0,001$) (**Fig. 26b**). Un análisis de co-varianza mostró diferencias significativas en las tasa instantánea de crecimiento (pendiente del modelo) entre ambos grupos analizados, tanto para la relación edad-talla ($0,6 \text{ mmd}^{-1}$ vs $0,2 \text{ mmd}^{-1}$; $F_{1,135} = 32,06$; $p < 0,001$) como edad-peso ($F_{1,135} = 120,01$; $p < 0,001$), respectivamente.

Tabla 14

Parámetros estimados con sus respectivos errores estándares (ES) para las relaciones talla-edad y talla peso de juveniles de sardina austral, recolectados en la X y XI Región.

Variable	Area	Año	$a \pm \text{ES}$	$b \pm \text{ES}$	R^2	n
<i>Longitud</i>	X	2013	$-0,64 \pm 1,68$	$0,062 \pm 0,010$	0,58	30
	XI	2013	$2,04 \pm 0,31$	$0,023 \pm 0,002$	0,57	109
<i>Peso</i>	X	2013	$-18,21 \pm 4,12$	$0,148 \pm 0,024$	0,57	30
	XI	2013	$-1,09 \pm 0,23$	$0,013 \pm 0,001$	0,46	109

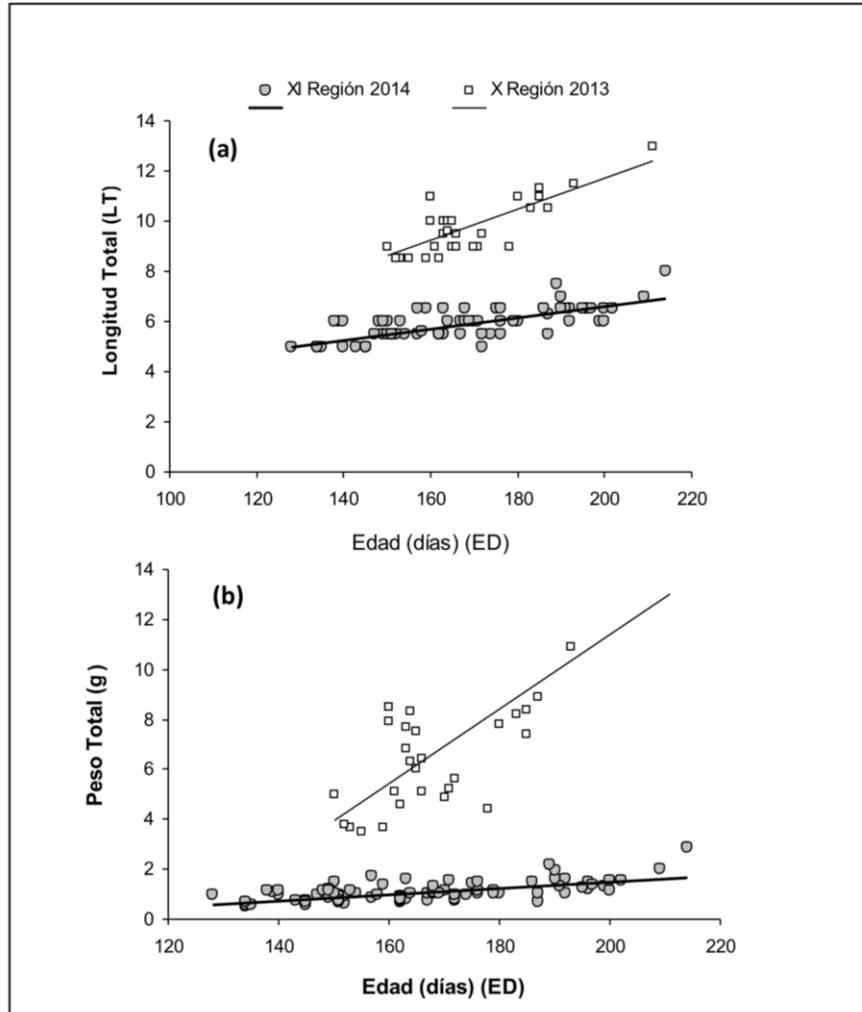


Figura 26. Relaciones talla edad (a) y edad-peso (b) descritas mediante modelos lineales de juveniles de sardina austral, en funci3n de los parámetros dados en la tabla 14.



9.4.3 Tasa de crecimiento Global (TCG)

- **Anchoveta**

En el periodo de estudio, la tasa de crecimiento global (TCG) promedio y su desviación estándar en anchoveta fue de $0,72 \pm 0,18 \text{ mmd}^{-1}$ para la cohorte de invierno; $0,52 \pm 0,06 \text{ mmd}^{-1}$ para la cohorte de verano y $0,59 \pm 0,15 \text{ mmd}^{-1}$ para ambas cohortes combinadas (**Fig. 27**).

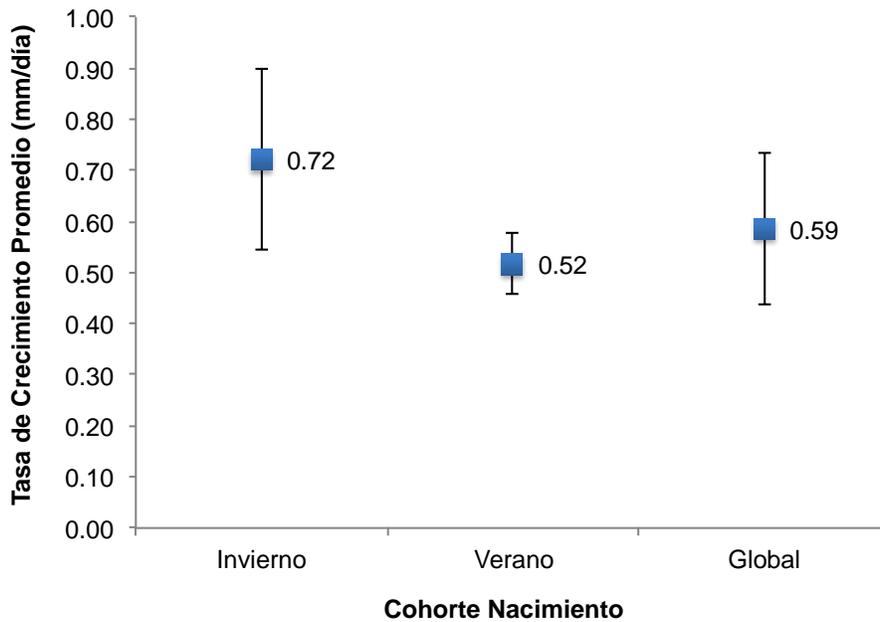


Figura 27. Tasa de crecimiento global promedio y su error estándar por cohorte de nacimiento, obtenidas a través de la lectura de micro-incrementos diarios en otolitos sagitales de juveniles de anchoveta, recolectado en enero y mayo de 2013.



- **Sardina austral**

En el periodo de estudio, la tasa de crecimiento global (TCG) de la sardina austral fluctuó entre 0,49 mmd^{-1} y 0,67 mmd^{-1} para ejemplares recolectados en la X Región (2013) y entre 0,27 y 0,41 mmd^{-1} para juveniles recolectados en la XI Región (2014) (**Fig. 28**), variando significativamente entre ambos grupos (ANOVA; ($F_{1,137}=1254,80$; $p<0,001$)). La TCG para sardina común fluctuó entre 0,44 a 0,83 mmd^{-1} con un variabilidad 15% (CV) (**Tabla 15**).

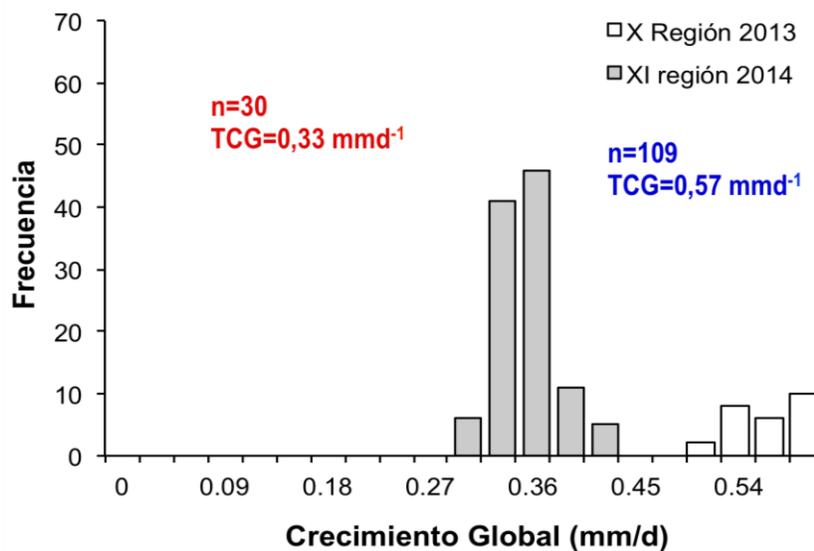


Figura 28. Distribución de frecuencia de la tasa de crecimiento global, obtenidas a través de la lectura de micro-incrementos diarios en otolitos sagitales de juveniles de sardina austral, recolectado en la X y XI Región en los años 2013 y 2014, respectivamente.

Estimaciones de TCG por cohorte de nacimiento fue posible en algunos casos, donde se confirmó que la sardina austral en la XI Región del año 2014 presentó significativamente las menores tasas (ANOVA; $p<0,05$) de crecimiento (**Fig. 29. Tabla 15**).

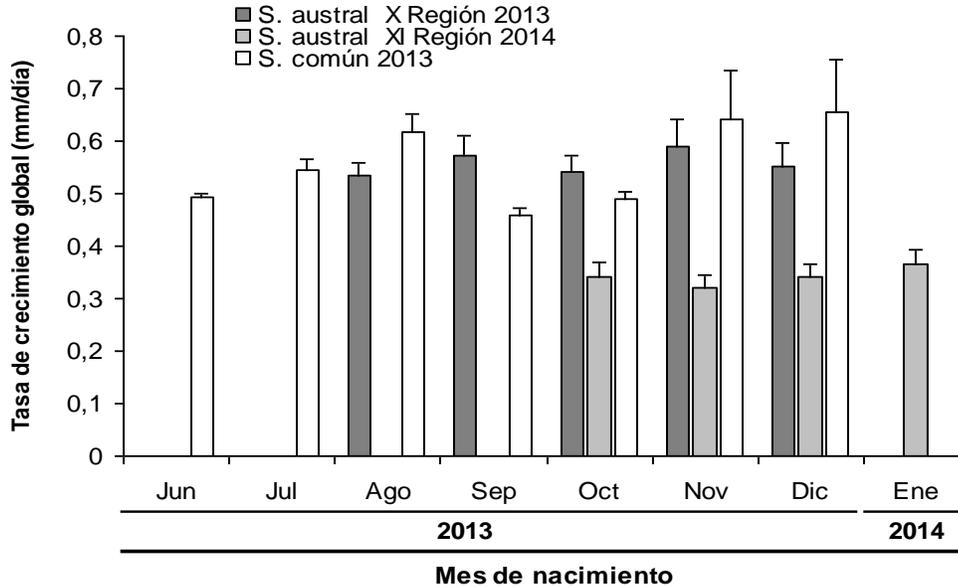


Figura 29. Distribución de frecuencia de la tasa de crecimiento global por cohorte de nacimiento mensual y obtenidas a través de la lectura de micro-incrementos diarios en otolitos sagitales de juveniles de sardina austral y sardina común, recolectados en la X y XI Región en los años 2013 y 2014 respectivamente.

Tabla 15.

Resumen de estadísticas generales de la tasa de crecimiento global (TCG mmd^{-1}) determinada para juveniles de sardina común y sardina austral, mediante la lectura de micro-incrementos diarios por mes de nacimiento.

Mes	Sardina común 2013				Sardina austral X región 2013				Sardina austral XI región 2014			
	Media \pm DE	Rango	CV	n	Media \pm DE	Rango	CV	n	Media \pm DE	Rango	CV	n
Jun	0,49 \pm 0,01	0,49 - 0,5042	1,58	4								
Jul	0,55 \pm 0,02	0,51 - 0,5798	3,76	14								
Ago	0,62 \pm 0,03	0,59 - 0,6699	5,11	5	0,53 \pm 0,026	0,51 - 0,56	4,79	3				
Sep	0,46 \pm 0,01	0,45 - 0,4681	3,27	2	0,57 \pm 0,037	0,52 - 0,60	6,47	4				
Oct	0,49 \pm 0,01	0,47 - 0,4982	2,42	6	0,54 \pm 0,032	0,49 - 0,60	5,94	10	0,34 \pm 0,03	0,32 - 0,42	8,09	13
Nov	0,64 \pm 0,09	0,47 - 0,8333	14,02	78	0,59 \pm 0,05	0,53 - 0,67	8,56	10	0,32 \pm 0,02	0,28 - 0,36	7,32	2
Dic	0,66 \pm 0,10	0,49 - 0,7979	14,97	24					0,34 \pm 0,02	0,28 - 0,38	6,57	25
Ene									0,37 \pm 0,03	0,33 - 0,40	7,77	69
Total	0,62 \pm 0,10	0,45 - 0,8333	15,55		0,55 \pm 0,045	0,492 - 0,67	8,14	27	0,34 \pm 0,03	0,28 - 0,42	7,80	109



9.4.4 Perfiles del grosor de micro-incrementos

Una primera aproximación para caracterizar la historia de vida temprana es a través del perfil del grosor de los micro-incrementos y el radio medido a cada edad, ambos son indicadores del crecimiento somático.

- **Anchoveta**

Las estructuras que presentaron una resolución de micro-incrementos adecuada desde el primordio hasta el borde del otolito permitieron la estimación de grosor de los micro-incrementos por días transcurridos desde la eclosión de la larva. En este análisis se pudo observar los cambios aparentes en el grosor de los micro-incrementos entre la cohorte de anchoveta nacida en invierno de 2012 respecto de la nacida en verano de 2013. Este indicador usado como un proxy de la velocidad del crecimiento, muestra un menor crecimiento de la cohorte de verano entre los 10 y 100 días de vida con ancho de microincrementos que no superan los 6,5 μm , luego se aprecia una pequeña meseta para comenzar a disminuir a partir de los 120 días.

La cohorte de invierno muestra un bajo incremento en grosor en los primeros 40 días para luego aumentar hasta los 70 días. Entre los 70 y 120 días después de la eclosión se produce una meseta donde el ancho de los microincrementos no supera los 9 μm , luego el grosor de los microincrementos comienza a disminuir paulativamente hasta alcanzar los 3 μm a los 173 días. El perfil para ambas cohortes combinadas muestra un aumento del crecimiento desde los 20 a los 90 días, luego entre los 90 y 130 días después de la eclosión se registra una relativa estabilidad en que el ancho de los microincrementos alcanza un máximo de 8,6 μm , luego comienza a descender el grosor hasta llegar a un mínimo de 3 μm a los 173 días (**Fig.30**).

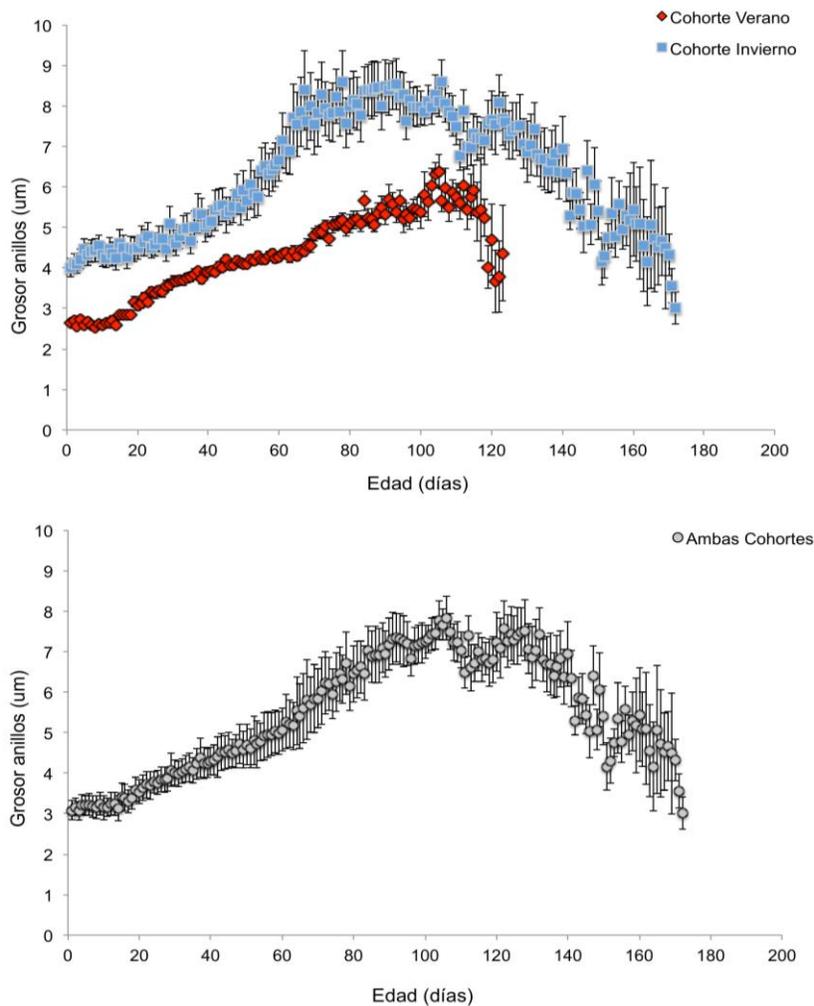


Figura 30. Perfiles de grosor de micro-incrementos diarios de otolitos de anchoveta correspondientes a la cohorte de invierno de 2012 y verano de 2013. En el gráfico inferior se muestra el perfil de grosor de microincrementos para ambas cohortes combinadas.

- **Sardina común y sardina austral**

El perfil de grosor se efectuó en ejemplares del estrato "I" para la sardina común y sardina austral, el 2013 y 2014, respectivamente. **La Figura 31** muestra este análisis para dos cohortes de otoño de 2012 para sardina común, para los primeros

dos meses de vida. La tasa media de crecimiento diaria del otolito para los primeros dos meses de vida alcanzó entre los $4,80 \mu\text{m d}^{-1}$ (rango: $1-17 \mu\text{m}$; CV: 33%). y $5,31 \mu\text{m d}^{-1}$ (rango: $1-13 \mu\text{m}$; CV: 29%). A pesar de la elevada variabilidad individual en el grosor de los micro-incrementos, se apreció una tendencia alométrica en ambas cortes con máximos en los primeros 30-40 días de vida (**Fig. 31a**). Por otra parte, la relación radio a la edad mostró un patrón heterocedástico distintivo con el progreso del desarrollo ontogenético (**Fig. 31b**). Las cohortes más cercanas al periodo estival tendieron a mostraron mayores grosores medios a la edad, aunque dicho patrón no resultó estadísticamente significativo (RM ANOVA $p > 0,05$).

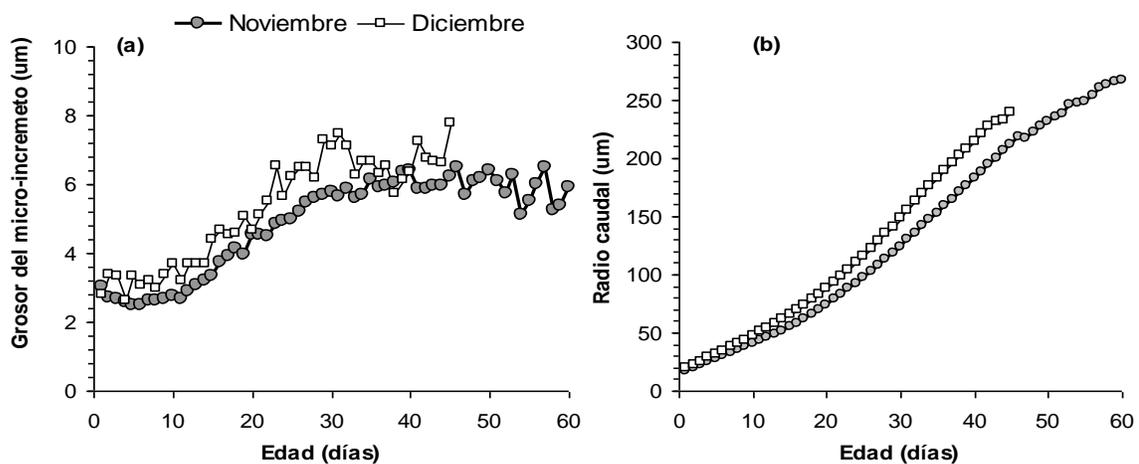


Figura 31. Perfiles de grosor de micro-incrementos diarios de otolitos de sardina común correspondientes a la cohorte de noviembre y diciembre de 2012 (a). En la gráfico (b) se muestra la relación entre el radio caudal del otolito con la edad para las mismas cohortes.

La **Figura 32** muestra las fluctuaciones diarias en los valores promedios del grosor de los micro-incrementos y el radio caudal de ejemplares juveniles de sardina austral de entre 4 y 7 cm, recolectados en la XI Región en el año 2014. Se observó una elevada variabilidad en el crecimiento del otolito, en los primeros 5 meses de vida (rango: $1-17 \mu\text{m}$; CV: 33%), aunque similarmente a lo observado



en la sardina común, las mayores tasas de crecimiento diaria del otolito se lograron en el segundo mes de vida (**Fig. 32a**). La relación entre el la edad y el RC mostró también un patrón heterocedástico (**Fig. 32b**). Cuando se separó el análisis por cohorte de nacimiento, se mantuvo el patrón ontogenético, aunque las cohortes más cercanas al periodo estival tendieron a mostraron mayores grosores medios a la edad, aunque dicho patrón no resultó estadísticamente significativo cuando se compararon a través de un análisis longitudinal a intervalos de 5 días (RM ANOVA $p>0,05$; **Fig. 32b**). Contrariamente el radio caudal varió significativamente entre las cohortes de noviembre y diciembre y enero, las cuales no variaron significativamente entre si (RM ANOVA $p>0,05$; **Fig. 32c**).

9.4.5 Reconstrucción de los patrones de edad y crecimiento usando retro-cálculo.

La existencia de una relación lineal entre el radio caudal y la longitud total de los ejemplares garantizó la aplicación de retro-cálculo para sardina común y sardina austral, mediante la utilización del Método del Intercepto Biológico. Es importante destacar que dicha relación se confirmó sólo para el rango de LT de los ejemplares recolectados (periodo juvenil), por lo que la reconstrucción hacia el periodo larval es incierta (**Fig. 33 ab**). Las tasas de crecimiento diarias retro-calculadas (TCDR) fluctuaron entre el 0,44 y 1,64 mmd^{-1} ($0,88\pm 0,28$) y entre 0,61 y 1,45 mmd^{-1} ($1,02\pm 0,27$) para las cohortes de noviembre y diciembre de sardina común, respectivamente, entre los 31th y 45th días, periodo que fue comparable. Un análisis de medidas repetidas evidenció diferencias significativas tanto en las TCDRs como en las LT retro-calculadas entre ambas cohortes (RM ANOVA $p<0.001$).

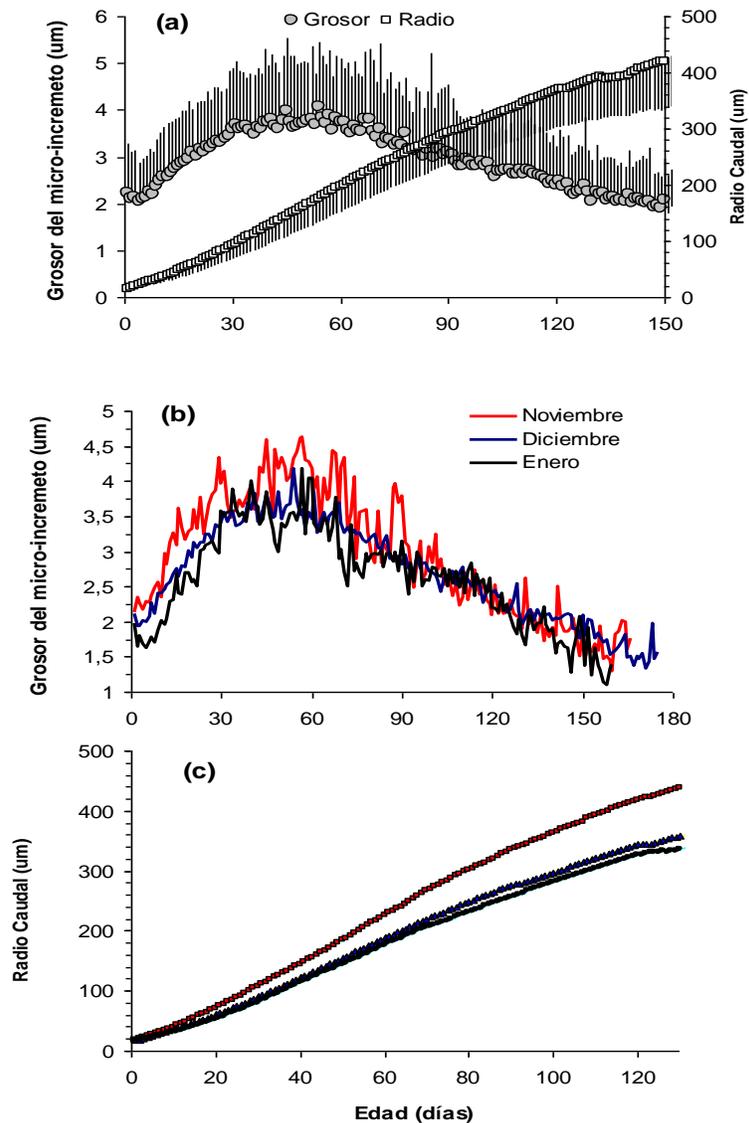


Figura 32. Perfil del grosor medio de micro-incrementos primarios de un otolito sagital y radio medio caudal a la edad, de juveniles de sardina austral, a través de un análisis global **(a)** donde se ilustra la variabilidad individual y un análisis separado por cohorte de nacimiento **(b y c)**. Los ejemplares fueron recolectados en la XI Región.

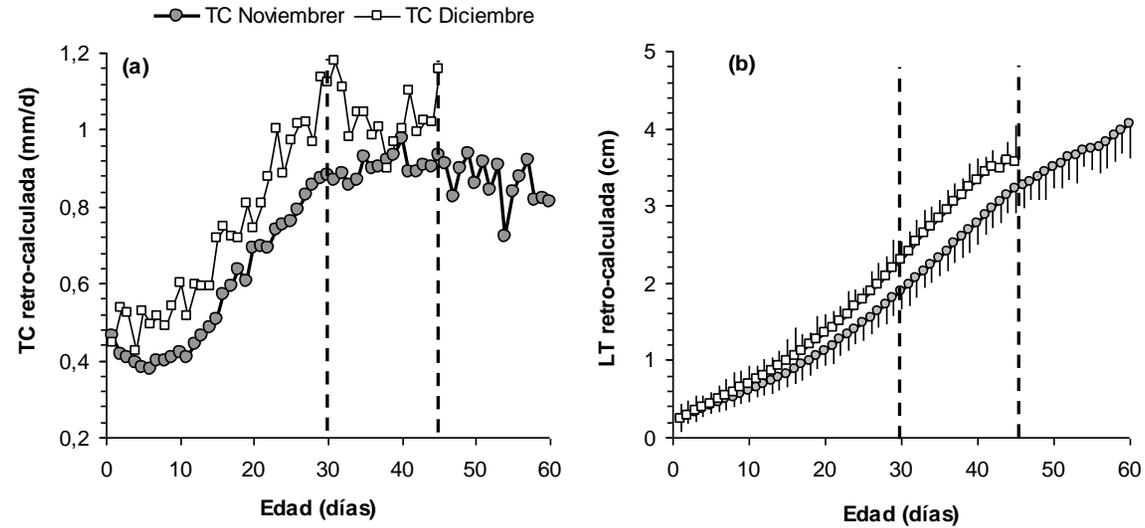


Figura 33. Perfil de tasas de crecimiento diarias (TCD) y longitudes retro-calculadas mediante el método del intercepto biológico, a partir de juveniles de sardina común *Strangomera bentincki* correspondiente al estrato I, recolectados en la zona austral de Chile, durante el verano de 2013. La línea vertical segmentada indica el periodo en que se aplicó ANDEVA de medidas repetidas.

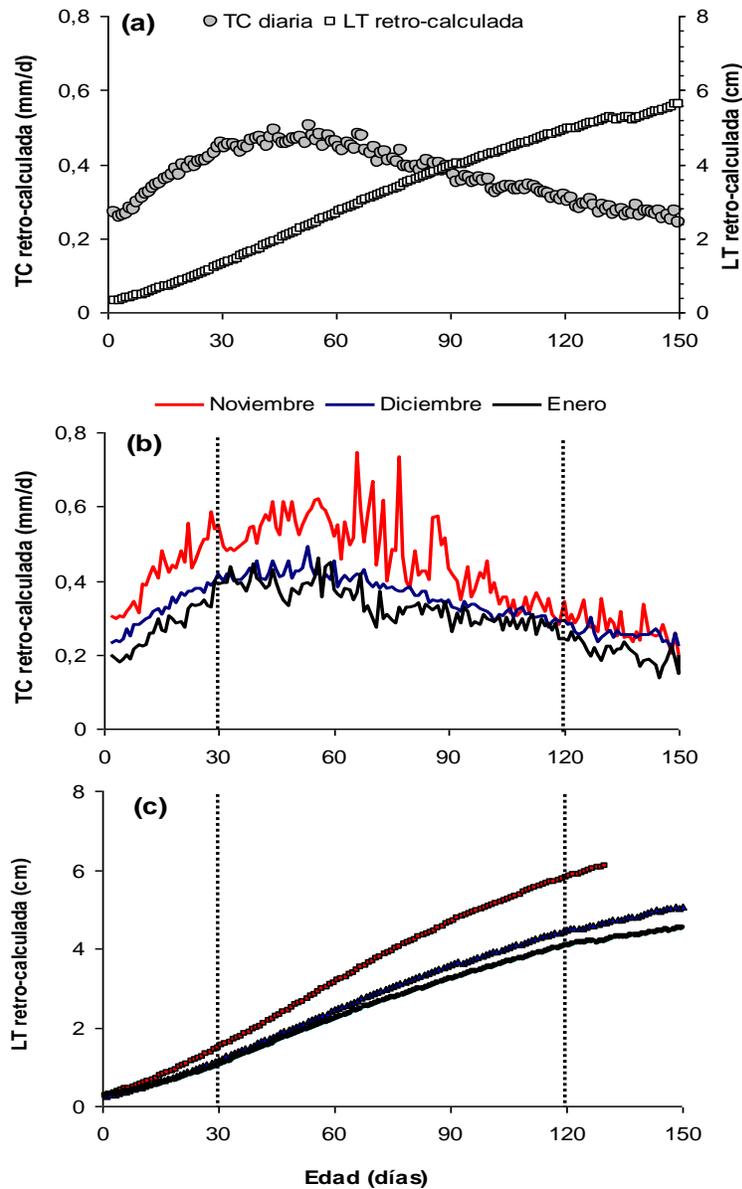


Figura 34. Perfil de tasas de crecimiento y longitudes retro-calculadas de juveniles de sardina austral, a trav3s de un an3lisis global (a) donde se ilustra la variabilidad individual y un an3lisis separado por cohorte de nacimiento (b y c).



El procedimiento de retro-cálculo permitió también la reconstrucción de las longitudes previas a cada edad, que permitió a su vez la determinación de las tasas de crecimiento individual por mes de nacimiento para los ejemplares de menor tamaño de sardina austral recolectados en la XI Región (**Fig. 34**). En general los perfiles tanto de las TCR como la LTR siguieron un patrón similar a aquellos descritos para el grosor de los micro-incremento y el radio caudal, aunque evidenciado mucho más claramente las diferencias entre la cohorte de primavera (noviembre) con las del periodo estival (diciembre y enero), donde se encontraron diferencias significativas tanto en las TCD

9.4.6 Validación de la periodicidad del primer macro-anillo de crecimiento

- **Anchoveta**

No se dispuso de peces adultos que permitieran validar la periodicidad del primer macro anillo de crecimiento anual de anchoveta, sin embargo en 22 otolitos de peces juveniles con tallas entre 8 y 10,5 cm LT se comparó la lectura de la macro-estructura con la micro-estructura.

Del total de otolitos analizados en 11 de éstos la macro-estructura muestra en el borde el inicio de la formación de un macro-anillo hialino, que de acuerdo a los criterios de lectura anual utilizados por IFOP no correspondería al macro-anillo hialino que se forma al completar el primer año de vida. El análisis de la micro-estructura indica que estos 11 ejemplares presentan una edad que fluctúa entre los 106 y 171 días, con una media de 143 ± 24 días y un radio del otolito que varió entre 650 y 1139 μm (**Tabla 16**).

En estos otolitos enteros se observa la formación del primer macro-anillo translúcido o hialino en el borde. En la microestructura de estos bordes se aprecian microincrementos finos de aproximadamente 3 μm en un área hialina que, en estos otolitos, no supera los 30 μm (**Fig. 35**).

Tabla 16.

Resultados de lectura de la macro-estructura y microestructura de ejemplares juveniles de anchoveta de la zona centro-sur.

Longitud del pez (cm)	Mes de Captura	Fecha de Nacimiento	Macro-estructura			Micro-estructura	
			Número de annulus	Tipo de borde	Edad (años)	Edad (días)	Radio otolito
8,0	20/1/2013	29/8/2012	0	h	0,5	144	667,8
8,0	17/1/2013	28/9/2012	0	h	0,5	111	649,5
8,5	15/1/2013	19/8/2012	0	h	0,5	149	712,0
8,5	15/1/2013	20/8/2012	0	h	0,5	148	740,3
8,5	15/1/2013	14/9/2012	0	h	0,5	123	686,9
8,5	13/1/2013	29/9/2012	0	h	0,5	106	753,5
9,0	15/1/2013	12/9/2012	0	h	0,5	125	743,2
10,0	15/1/2013	1/8/2012	0	h	0,5	167	949,4
10,0	17/1/2013	10/8/2012	0	h	0,5	160	911,5
10,5	20/1/2013	31/7/2012	0	h	0,5	173	1038,0
10,5	20/1/2013	2/8/2012	0	h	0,5	171	1138,8

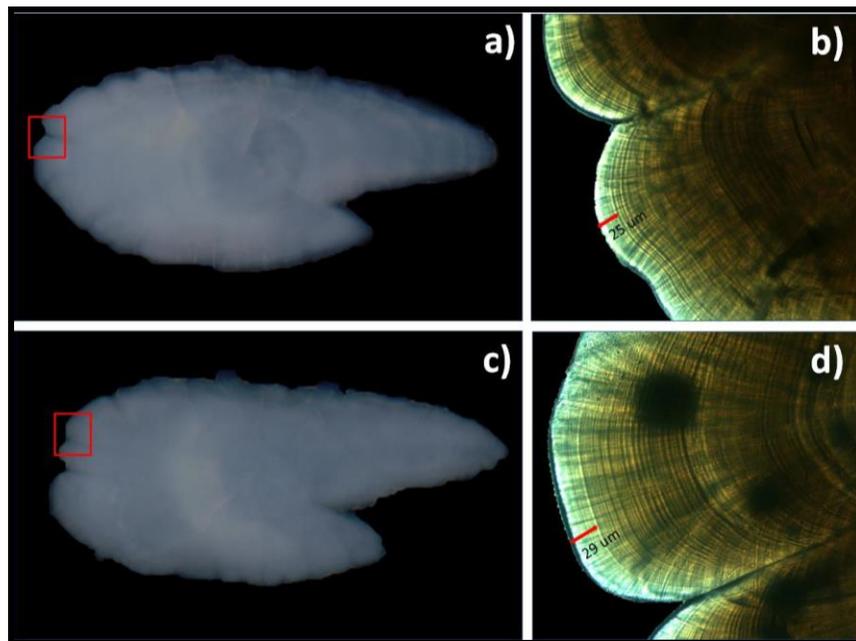


Figura 35. Otolitos de anchoveta de 10,5 cm LT correspondiente a 173 y 171 días de edad a-b y c-d, respectivamente. La foto a y c corresponden al otolito entero en que se observa la formación del primer macro-anillo translúcido o hialino en el borde. En las fotos b y d) se aprecia la microestructura de estos anillos fotografiados con aumento 400X.

- **Sardina común y sardina austral**

La edad de formación de la primera zona hialina (PZH) pudo ser determinada en ejemplares principalmente del estrato II, que mostraron suficiente resolución de sus micro-incrementos para efectuar estimaciones confiables hasta el borde del otolito. La edad en que se inicia la formación de la PZH fluctuó entre 139 y 220 días (CV=10,7%) y entre 150 y 211 días (CV=8,3%) para la sardina común y sardina austral, respectivamente. Esta edad de inicio de la PZH corresponde, en ambas especies, aproximadamente a los primeros 6 meses de vida (**Fig. 36a y 37a**), para ejemplares que fluctuaron entre 8 y 12 cm y entre 8,5 y 13 cm de LT para ambas especies respectivamente (**Fig. 36b y 37b**).

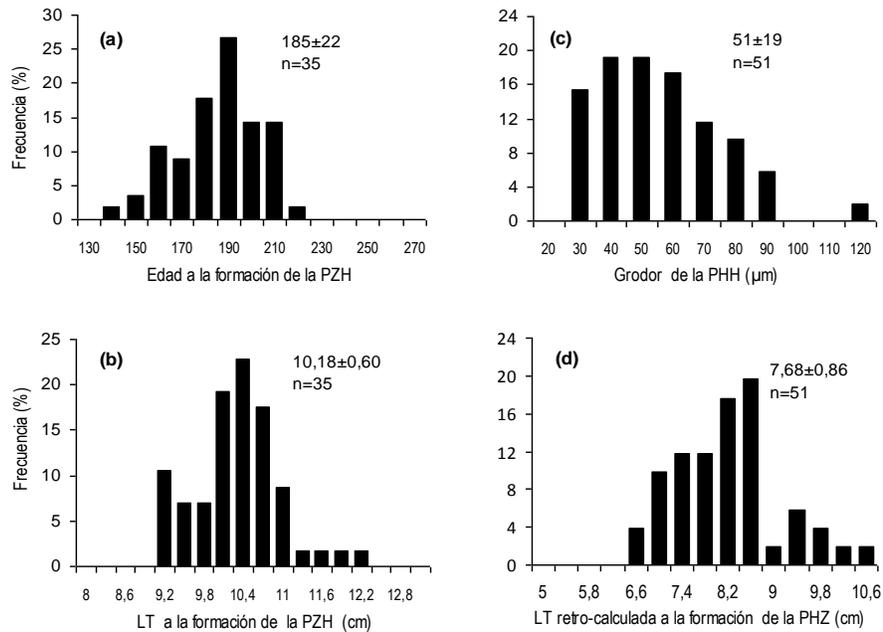


Figura 36 Tiempo de formación de la primera zona hialina (PZH) (a) y longitud total a la fecha de captura para los ejemplares analizados de la sardina austral (b) recolectados en la X Región, durante el periodo de reclutamiento del año 2013. El grosor de la PZH (c) medido hacia el cauda de otolitos sagitales y LT retro-calculada (d), del radio de formación es también ilustrada (d).

A través de las relaciones entre el RC y LT (**Tabla 15**) fue posible obtener una estimación del tamaño que tienen los ejemplares en ambas especies, cuando comenzó a formarse la PZH utilizando sólo individuos donde la PZH estuvo completamente formada. Este análisis evidenció que la PZH comienza a formarse a un tamaño estimado de aproximadamente de 8 cm LT en ambas especies (**Fig. 36d y 37d**). Estas longitudes estimadas fueron significativamente inferiores (ANOVA $p < 0,05$) a la longitud observada de los ejemplares a los que se le determinó el tiempo de formación de la PZH, mediante conteo de micro-incrementos primarios (**Figs. 36b y 37b**). El grosor de la PZH medido en la región caudal de estos ejemplares mostró una gran variabilidad, fluctuando entre 23 y 111 μm (CV= 37,9%) para sardina común y entre 21 y 166 μm (CV=37, 8%) para sardina austral.

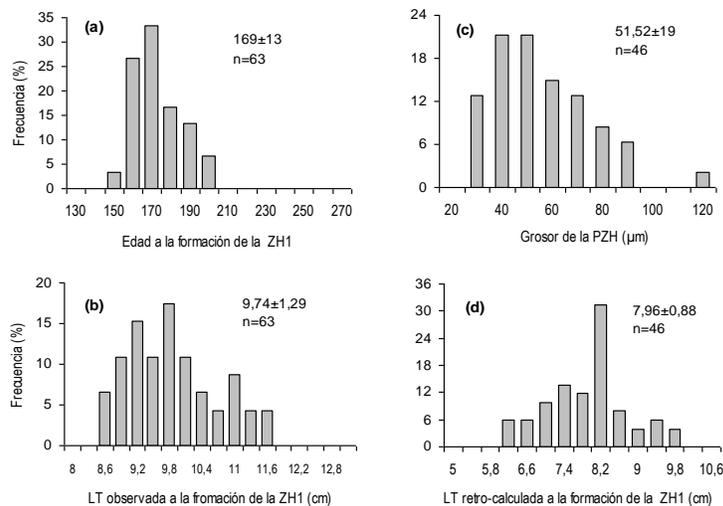


Figura 37. Tiempo de formación de la primera zona hialina (PZH) (a) y longitud total a la fecha de captura para los ejemplares analizados de la sardina común (b) recolectados en la zona sur de Chile, durante el periodo de reclutamiento del año 2013. El grosor de la PZH (c) medido hacia el cauda de otolitos sagitales y LT retro-calculada (d), del radio de formación es también ilustrada (d).



9.5 Revisión de los criterios utilizados para asignar edad y grupo de edad

9.5.1 Revisión de los criterios de anchoveta

Los antecedentes recopilados en el presente estudio demuestran que el primer macroanillo observado en otolitos enteros de anchoveta tiene una periodicidad menor al año, con una edad que puede oscilar entre 4 a 6 meses, lo que es equivalente con la lectura anual realizada por IFOP en que se le asigna a este macroanillo 0,5 años. En esta especie no fue posible identificar y validar el primer annulus, principalmente porque en todos los peces juveniles analizados (peces < 12 cm LT) no se observó un segundo macroanillo en otolitos y las estimaciones de edad en la microestructura no superaron los 180 días (**Tabla 16**).

Aunque no haya sido posible identificar el primer annulus, el hecho de haber validado el primer macroanillo, junto con los resultados de crecimiento de peces juveniles, en que se estimó una baja de crecimiento, comparada con la registrada para la zona norte de Chile (ver **Tabla 12**, **Fg. 43**; Plaza *et al.* 2012), nos permite sugerir preliminarmente que la estimación de edad anual que realiza IFOP en anchoveta de la zona centro-sur, que incluyen la identificación de dos macroanillos por año, podría estar correcta. No obstante, es altamente recomendable efectuar un estudio de análisis de la microestructura de ejemplares mayores a 12 cm (adultos) para confirmar esta inferencia.

Por lo tanto, los antecedentes recopilados hasta el momento sugieren no innovar en los criterios de asignación de grupo de edad empleados actualmente, hasta que no se tenga una correcta validación del annulus en ejemplares adultos de esta especie.



9.5.2 Revisión de los criterios de sardina común y sardina austral

En el caso de sardina común y sardina austral, el análisis de la microestructura permitió validar la formación del primer macroanillo de periodicidad anual (annulus), compuesto por una banda opaca que se forma desde la eclosión hasta los en promedio 185 ± 22 días y 169 ± 13 días en sardina común y sardina austral, respectivamente; seguida de una banda hialina (PZH) cuyo ancho fluctua entre 23-111 μm y 21-166 μm , para sardina común y austral respectivamente.

Esta PZH se caracteriza, en ambas especies, por la ausencia y/o presencia espaciadamente irregular de anillos de crecimiento primario (“presumiblemente diarios”), que denota la fusión de estos microincrementos originada por la disminución y/o detención del crecimiento en esta etapa. Esta situación hace imposible determinar el tiempo exacto de formación de esta banda hialina, sin embargo, su disposición y forma característica, descrita anteriormente en otras especies (Wright *et al.* 2002), sugiere tendría la cantidad de días necesarios para, que junto a la banda opaca que la antecede configuren la presencia del primer annulus en estas especies.

Los resultados de validación en ambas especies de sardinas nos permiten concluir que los criterios de asignación de edad utilizados por IFOP para la estimación de edad anual están correctamente definidos. Sin embargo, considerando que el inicio de la PZH podría comenzar a los 4 meses de vida con peces entre 8 a 9 cm LT, durante el segundo trimestre biológico (oct-dic) los peces de edad cero que aun no inicien la formación de la PZH debieran corresponder al GE 0. Actualmente sólo para los peces capturados en noviembre y diciembre se considera este criterio de asignación de GE, el que de acuerdo a los resultados de este estudio, debiera extenderse al mes de octubre en ambas especies.



9.6 Análisis comparativo del crecimiento con metodologías alternativas

9.6.1 Análisis de Progresi3n Modal de frecuencia de tallas

Para las tres especies los datos fueron analizados considerando como supuesto que tienen al menos tres grupos de edad dominantes en la pesquería (36 grupos de edad anual), y las principales fuentes de incertidumbre analizadas corresponden al supuesto de proporcionalidad entre la desviaci3n estándar de la talla por grupo de edad respecto de la talla promedio por grupo de edad. Se considero una longitud asint3tica fija de 18 cm LT. Los resultados se resumen en la **Tabla 17** y las curva de crecimiento se presentan en la **Figura 38**, mientras el ajuste de las modas de frecuencia de tallas se entrega en la Figuras **39, 40 y 41** destacando tanto la calidad del ajuste del modelo a los datos como la clara identificaci3n de los diferentes componentes modales.

Tabla 17.

Parámetros de crecimiento estimados para anchoveta, sardina común y sardina austral basados en los ajustes de modas de frecuencia de tallas mensuales. L_{∞} corresponde a la longitud asint3tica del pez en cm; K es el coeficiente de crecimiento (mes^{-1}); L_0 es la longitud de la primera moda en cm; ds es la desviaci3n estándar de las modas, $-\log\text{Like}$ es el logaritmo de la verosimilitud.

Parámetros	Anchoveta	Sardina común	Sardina austral
L_{∞} (cm)	18,0	18,0	18,0
K (mes^{-1})	0,066	0,079	0,073
L_0 (cm)	4,0	4,7	6,0
ds	0,49	0,68	0,40
$-\log\text{Like}$	1847,7	1940,7	16212,2



El modelo de crecimiento ajustado indica que al año de edad la anchoveta alcanzaría 11 cm y al segundo 15 cm de longitud total. Este crecimiento a la talla es algo más alto que algunas estimaciones conocidas anteriormente (Barría *et al.* 1999; Cubillos *et al.* 2001), alcanzando los 8 cm LT a los 6 meses de edad (**Fig. 38a**)

El modelo de crecimiento ajustado indica que al año de edad la sardina común alcanzaría 12 cm y al segundo año 16 cm de longitud total, en tanto que a los 6 meses alcanza una talla promedio de 9 cm LT (**Fig. 38 b**)

El modelo de crecimiento ajustado indica que al año de edad la sardina austral alcanzaría 13 cm y al segundo año 16 cm de longitud total. Este crecimiento a la talla es mayor que lo reportado por Cerna *et al.* (2014), llegando a estimar una talla media de 10 cm LT a los 6 meses de vida (**Fig. 38 c**)

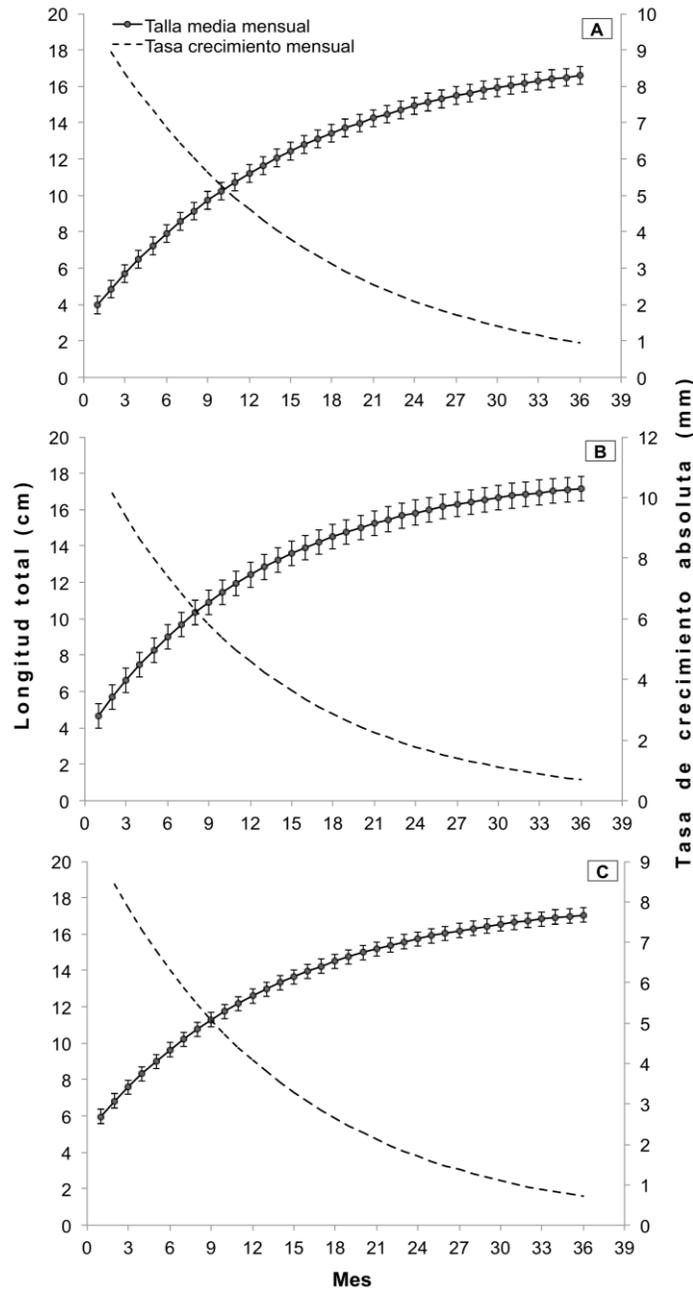


Figura 38. Curvas de crecimiento de von Bertalanffy para anchoveta, sardina com3n y sardina austral, que relaciona la talla media estimada por mes a partir del an3lisis de modas de frecuencia de tallas para quince meses entre enero de 2013 y el primer semestre de 2014. Se muestra tambi3n la tasa de crecimiento absoluto por mes.

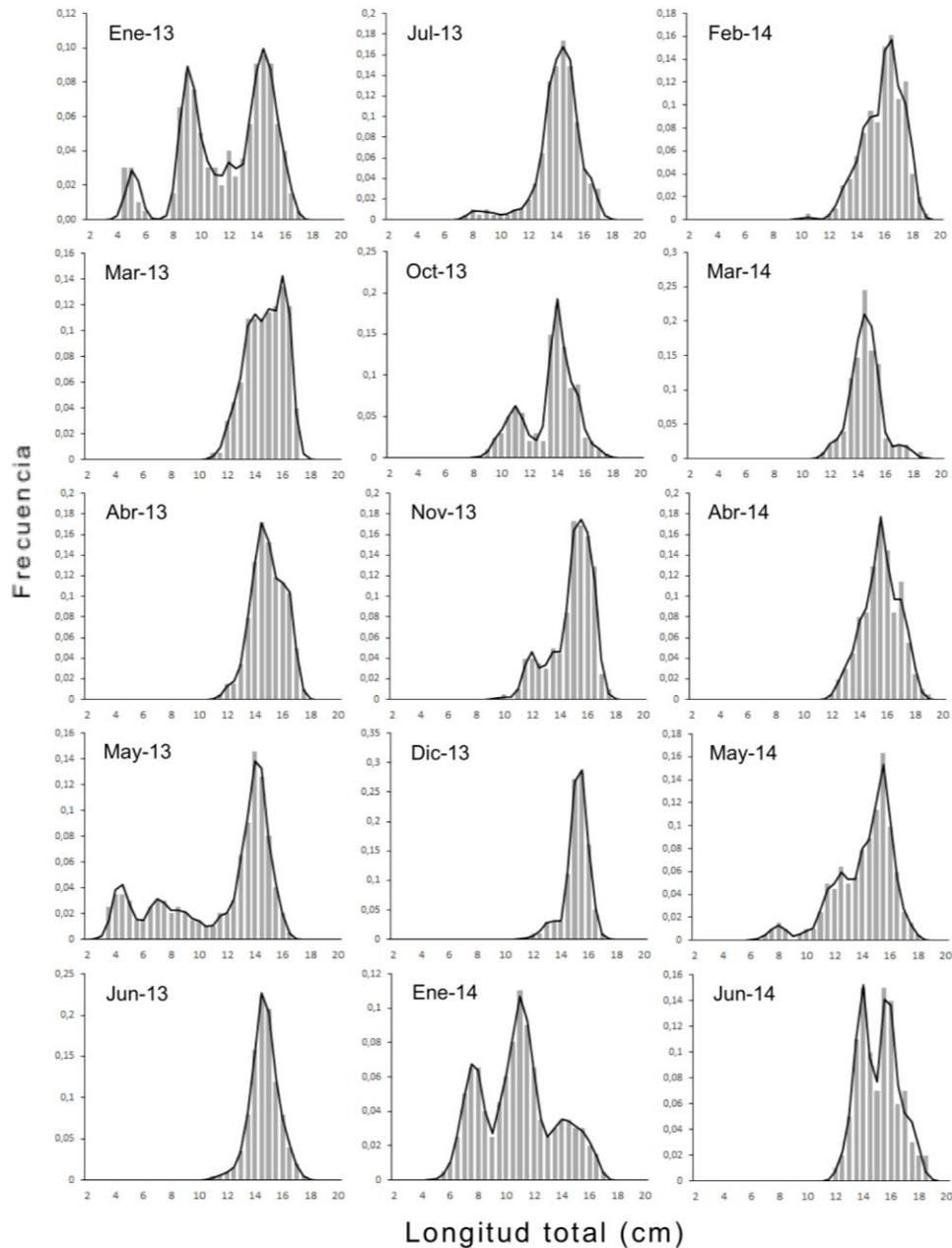


Figura 39. Composiciones de tallas observadas (barras) y ajustadas (líneas) por el modelo de crecimiento mensual de anchoveta de la zona centro-sur. El análisis de modas de frecuencia de tallas corresponde a quince meses entre enero de 2013 y junio de 2014.

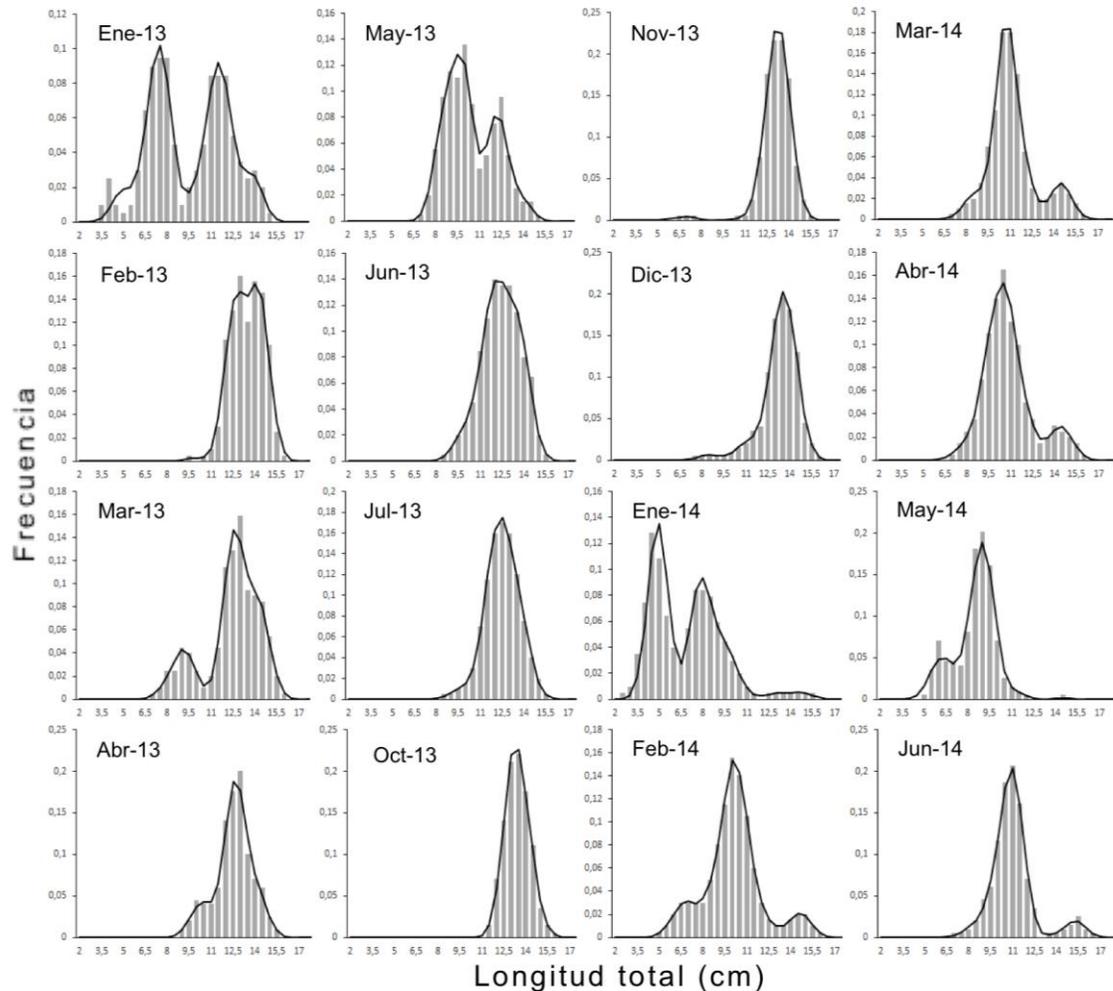


Figura 40. Composiciones de tallas observadas (barras) y ajustadas (líneas) por el modelo de crecimiento mensual de sardina común de la zona centro-sur. El análisis de modas de frecuencia de tallas corresponde a quince meses entre enero del 2013 y junio de 2014.

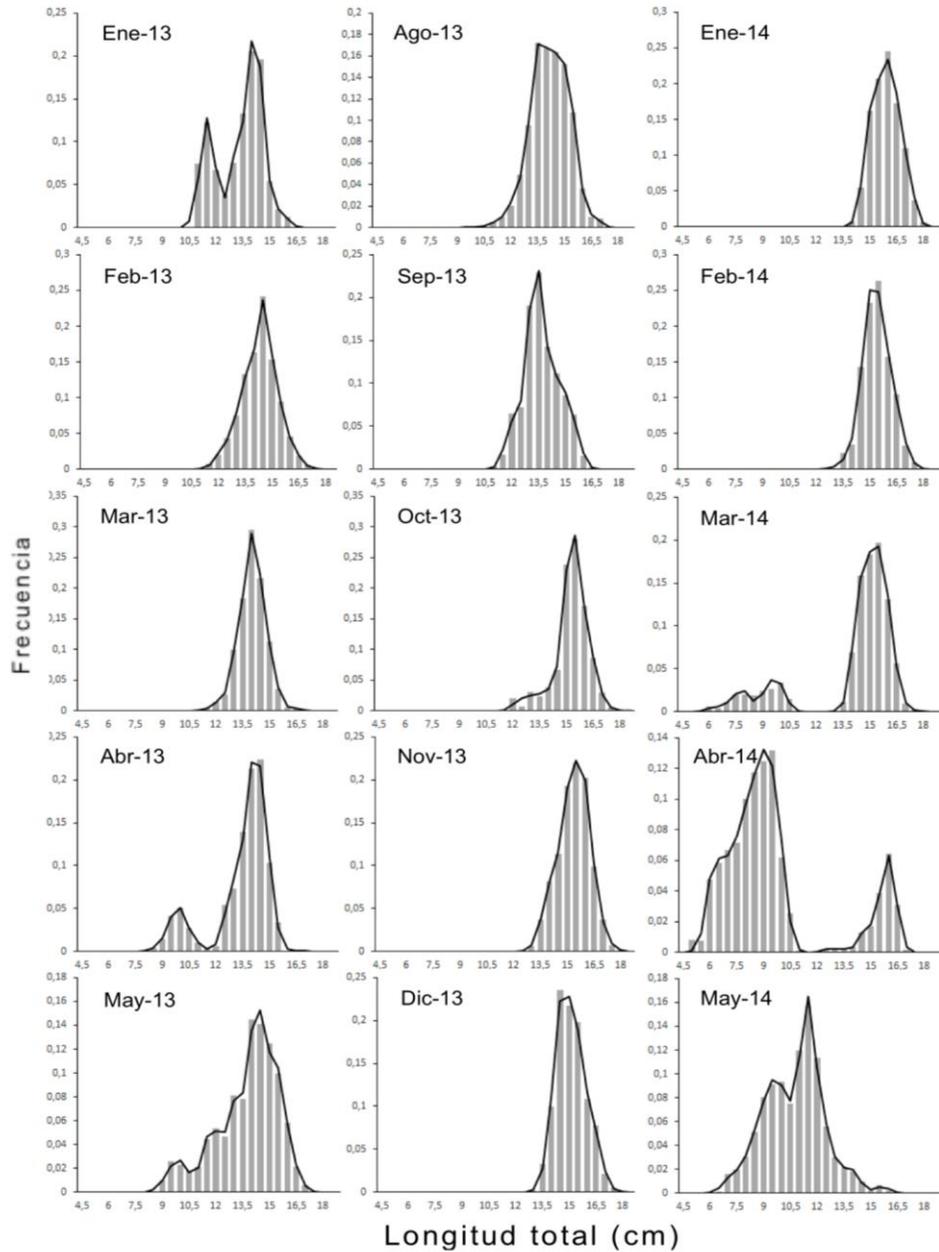


Figura 41. Composiciones de tallas observadas (barras) y ajustadas (líneas) por el modelo de crecimiento mensual de sardina austral del mar interior de Chile. El análisis de modas de frecuencia de tallas corresponde a quince meses entre enero de 2013 y mayo de 2014.



9.6.2 Análisis de Progresi3n Modal de frecuencia de pesos de otolitos

Para las tres especies los datos fueron analizados considerando como supuesto que tiene a lo m3s tres grupos de peso dominantes en la pesquería (9 grupos en tres meses), y las principales fuentes de incertidumbre analizadas correspondieron al supuesto de proporcionalidad entre la desviaci3n est3ndar de la talla por grupo de edad respecto de la talla promedio por grupo de edad. Se consider3 un peso del otolito asint3tico fijo asignado arbitrariamente desde la distribuci3n de los datos. Los resultados se resumen en la **Tabla 18**, mientras el ajuste de las modas de frecuencia de tallas se entrega en la **Figura 42** destacando tanto la calidad del ajuste del modelo a los datos como la clara identificaci3n de los diferentes componentes modales.

Tabla 18.

Par3metros de crecimiento estimados para anchoveta, sardina com3n y sardina austral en base a ajustes de modas de frecuencia de peso de otolitos mensuales. $P_{o\infty}$ corresponde al peso asint3tico del otolito en mg; K es el coeficiente de crecimiento (mes^{-1}); P_0 es el peso del otolito de la primera moda en mg; d_s es la desviaci3n estandar de las modas, $-\log\text{Like}$ es el logaritmo de la verosimilitud.

Par3metros	Anchoveta	Sardina com3n	Sardina austral
$P_{o\infty}$ (mg)	4.5	1.8	1.4
K (mes^{-1})	0.427	0.304	0.215
P_0 (mg)	0.3	0.1	0.3
D_s	0.52	0.30	0.23
$-\text{LogLike}$	245.3	400.2	323.2



Los coeficientes de crecimiento K, del ajuste mensual de las modas de peso del otolito, fueron 0,43; 0,30. y 0,22 mes^{-1} en anchoveta, sardina com3n y sardina austral, respectivamente. (**Tabla 18**)

El mayor peso asint3tico y coeficiente de crecimiento (K) se registr3 en anchoveta, es decir alcanzan un mayor peso en menos tiempo. El caso opuesto de las dos especies de sardinas, en particular la sardina austral, que tiene el menor peso asint3tico y tasa instant3nea de crecimiento.

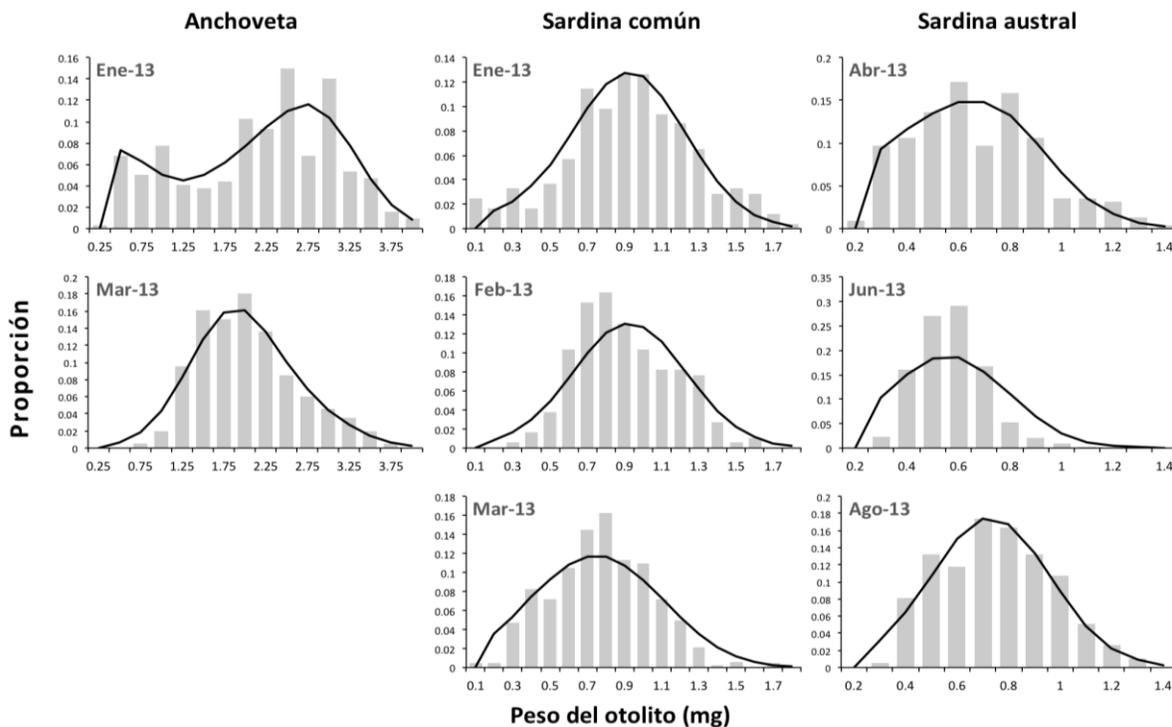


Figura 42. Composiciones de peso del otolito observadas (barras) y ajustadas (l3neas) por el modelo de crecimiento mensual para anchoveta, sardina austral y sardina com3n. El an3lisis de modas de frecuencia de pesos corresponde a enero y marzo en anchoveta; abril, junio y agosto en sardina austral y enero, febrero y marzo en sardina com3n, 2013.



10. DISCUSIÓN

Caracterización de la micro-estructura de los otolitos

El análisis de la micro-estructura de otolitos de juveniles de las tres especies estudiadas presentó los siguientes tres rasgos sobresalientes: (i) elevada resolución de los micro incrementos en ejemplares menores a 5 cm para sardina común y anchoveta; (iii) disminución de la resolución de los micro-incrementos primarios en otolitos sagitales de ejemplares de mayor talla (7-12 cm) para las tres especies estudiadas; y (iv) similitud de rasgos micro-estructurales entre las especies de sardinas, destacando la presencia de una primera banda hialina distintiva y concéntrica formada en ejemplares de entre 9 y 12 cm de longitud total.

La elevada resolución de los micro incrementos en ejemplares menores a 5 cm para anchoveta y sardina común siguió el patrón general de los estudios en peces clupeoideos, caracterizados por presentar micro-incrementos muy bien definidos, independiente del grosor, durante la etapa larval y juvenil temprana, incluso hasta aproximadamente los 6 meses de vida (Waldron 1998; 1994; Fey 2002; Plaza *et al.* 2006; Aldanondo *et al.* 2011). Dicha resolución ha sido atribuida a una condición relativamente homogénea dada por una permanencia pelágica extensa, a diferencia de otros grupos taxonómicos que están sujetas a continuos cambios ontogenéticos, de hábitat y condiciones ambientales durante la etapa juvenil (Plaza *et al.* 2012). En contraposición, la resolución de los micro-incrementos de los sobrevivientes (juveniles tardíos), independiente de la especie, no siguió este patrón, sino más bien mostró una micro-estructura muy compleja, con abundantes perturbaciones que dificultó el proceso de interpretación, particularmente después del periodo larval y juvenil temprano (ZONA A; primeros



dos meses de vida). En este contexto, se debe mencionar que para este mismo rango de talla, la resolución de los micro-incrementos fue elevada en otolitos sagitales de anchoveta de la zona norte de Chile (Plaza *et al.* 2012). Más aún, en esa misma área se demostró que el patrón de depósito distintivo de los micro-incrementos fue evidente también en años con condiciones ambientales muy diferentes (*i.e.*, El Niño vs La Niña). Por consiguiente, es razonable inferir que el patrón de depósito complejo observado en los juveniles sobrevivientes en el presente estudio, pareciera estar asociado a una condición ambiental local, más que ser producto de la ontogenia de las especies bajo estudio. Debido a que el otolito es un marcador natural de procesos ontogenéticos y ambientales (Panella 1971; Campana & Neilson 1985) se hace mandatorio verificar si este patrón de depósito es una condición que ocurre independientemente del año de estudio. De ser efectivo, el patrón de depósito puede convertirse en un marcador natural para distinguir ejemplares de áreas geográficas extremas y distinguir potenciales niveles de mezcla para *Engraulis ringens*.

Otro aspecto de la micro-estructura de los otolitos para sardina común y sardina austral, fue la presencia de un patrón de crecimiento de bandas concéntricas regulares compuestas por 3-5 micro-incrementos de menor grosor. Estas estructuras se extendieron con posterioridad a la zona larval hasta el borde de otolitos de ejemplares del estrato de talla II (9-12), siendo mucho más visibles a magnificaciones menores y al tornar difuso el foco de la muestra. Estas macro-bandas no se asemejaron a las discontinuidades típicas y/u otras estructuras de crecimiento descritos en la literatura de la disciplina (e.g., Campana & Neilson 1985; Campana 1992; Wright *et al.* 2002). Sin embargo, es importante señalar que estructuras dobles, compuestas por dos micro-incrementos han sido reportadas en los otolitos sagitales de la anchoveta del mediterráneo *E. encrasicolus* (Palomera *et al.* 1988; Cermeño *et al.* 2006; Cermeño *et al.* 2008). Debido a esta característica,



se han desarrollado dos criterios de interpretación para leer micro incrementos diarios en esta especie: (1) el criterio GBR, donde cada banda es cuantificada como un micro-incremento diario y (2) el criterio IMR, donde cada micro-incremento, independientemente de su aspecto se considera como formado diariamente (Cermeño *et al.* 2008). Estos autores concluyeron que la GBR fue el procedimiento de determinación más fiable para esta especie, aunque el modo de contar los incrementos diarios en los otolitos de juveniles de *E. encrasicolus* está todavía en controversia debido a la ausencia de un experimento de validación para apoyar criterios de interpretación (Arneri *et al.* 2011).

La existencia de anillos dobles también fueron reportados recientemente para la anchoveta en la zona norte de Chile, tanto para ejemplares silvestres (Cerna *et al.* 2011) como en condiciones experimentales (Plaza *et al.* 2012; Plaza & Cerna 2015), aunque en ambos casos estuvieron restringidos a una zona pequeña de transición posterior a la fase larval, aspecto que fue confirmado también para ejemplares de la zona centro sur. Se debe enfatizar también que en el estudio de Plaza & Cerna (2015) se confirmó que los anillos dobles correspondieron a dos micro-incrementos diarios independientes. En base a estos resultados en el caso de la sardina común y la sardina austral se cuantificaron los micro-incrementos en aumento 40X y 100X (inmersión) considerando los micro-incrementos de menor grosor al interior de las bandas como presumiblemente diarios. Mediante este método fue posible lograr secuencias completas de micro-incrementos desde el primordio hasta el borde de los otolitos para la mayoría de las secciones de otolitos en ejemplares entre 7 y 9 cm LT (estrato II). Este procedimiento no sólo permitió la determinación de edad diaria con niveles de reproducibilidad adecuados, sino también la determinación de la época de desove que se sobrepuso a la derivada de indicadores reproductivos en sardina común y sardina austral. Por consiguiente, es razonable inferir que la cuantificación de micro-incrementos utilizando



magnificaciones elevadas parece ser el procedimiento idóneo para determinación de edad diaria en ambas especies, hipótesis que debería ser puesta a prueba en un estudio de validación en condiciones de confinamiento. En este contexto, se enfatiza que llevar a cabo un estudio de validación es crucial debido a que las estimaciones de tasas de crecimiento y edades de reclutamiento podrían variar en un 50% cuando se aplica el IMR y/o GBR.

Información derivada del análisis de la micro-estructura de otolitos

El análisis de otolitos de anchoveta correspondiente a peces juveniles colectados en enero y mayo de 2013, permitió identificar una cohorte de invierno y otra de verano, lo que es coherente con la característica del desove de anchoveta en la zona centro-sur, que de acuerdo con Aranís *et al.* (2013) el evento principal ocurriría entre agosto y diciembre, aunque como especie iterópara (parcial), con expulsión de tandas de huevos, el ciclo puede concluir en los primeros meses del año siguiente.

La relación entre el radio del otolito y la longitud total de anchoveta fue lineal con un coeficiente de correlación alto, lo cual demuestra lo apropiado del uso de esta estructura para analizar el crecimiento somático de esta especie con la edad, para eventuales estudios de edad a través del retrocálculo. El crecimiento de anchoveta estimado a través de la relación talla edad estimada al momento de la captura mostró una tendencia no-lineal para el rango de longitudes y edades estudiadas. Ante este escenario se ajustó el crecimiento aplicando un modelo de crecimiento estacional y Laird-Gompertz, aunque ambos modelos ajustan bien con coeficientes de determinación altos, cercanos al 80%, el modelo estacional es mas verosímil y presenta un menor AIC.



Como la distribución de datos edad-talla corresponde a ejemplares juveniles (< 12 cm LT) con edades que no superan los 173 días, el ajuste de los modelos da cuenta exclusivamente del patrón de crecimiento de esta etapa y no permite proyectar con confianza la relación talla-edad de los ejemplares adultos. Esto se ve reflejado en los parámetros como la longitud asintótica que, en el modelo estacional, alcanza apenas los 10 cm LT, lo que se corresponde con la primera fase de detención del crecimiento que coincide con la talla media de madurez sexual. Este hecho ha sido reportado por Cubillos *et al.* (2001) quienes sugieren que está es una estrategia adaptativa de la anchoveta y también de la sardina común en la zona de surgencia estacional de Chile central, en que a un periodo de alto crecimiento y acumulación de energía le sigue un periodo de gasto de energía destinada a la reproducción, que se refleja en una disminución drástica del crecimiento, en un ciclo que se repite anualmente.

Por su parte el modelo de Gompertz, al estimar parámetros altamente significativos, ajustó más adecuadamente que el modelo estacional la relación talla edad de anchoveta juvenil de la zona centro-sur.

La proyección de la curva de crecimiento Laird.Gompertz hacia la fase adulta (peces > 12 cm LT) permitió estimar una talla media al año de vida de 15,4 cm LT, valor algo mayor que la talla media que se obtiene del análisis de la lectura anual a través de la macroestructura del otolito que es de 14 cm. Sin embargo, esta estimación debiera ser confirmada con un nuevo ajuste que incorpore datos talla-edad en días, para peces adultos con tamaños mayores a 12 cm LT.

La tasa de crecimiento global (TCG) para la anchoveta fue de $0,72 \pm 0,18$ mmd⁻¹ para la cohorte de invierno; $0,52 \pm 0,06$ mmd⁻¹ para la cohorte de verano y $0,59 \pm 0,15$ mmd⁻¹ para ambas cohortes combinadas. Un hallazgo importante es el hecho

que estas tasas de crecimiento son muchos más bajas, alrededor de la mitad, que las reportadas para este mismo recurso en la zona norte donde los valores de TCG fluctuaron entre 0,84 y 1,2 mmd^{-1} (Cerna *et al.* 2011). Esto se confirma al comparar los ajustes de crecimiento talla-edad actual, como también el patrón de resolución y grosor de los micro-incrementos, estimados por los mismos autores, para la zona norte. En esta zona para un rango de edad entre 1 y 60 días el grosor medio fue de 14 μm llegando a presentar un valor máximo de 21 μm , entre los 30 y 50 días que es el periodo de máximo crecimiento, en comparación con estimaciones realizadas en el presente estudio para la zona centro-sur donde el grosor medio fue 8,0 y 5,5 μm para la cohorte de invierno y verano, respectivamente, con un máximo, en ambas cohortes combinadas, que no superó los 9 μm , para un periodo de máximo crecimiento entre los 90 y 130 días (**Fig. 43 B**)

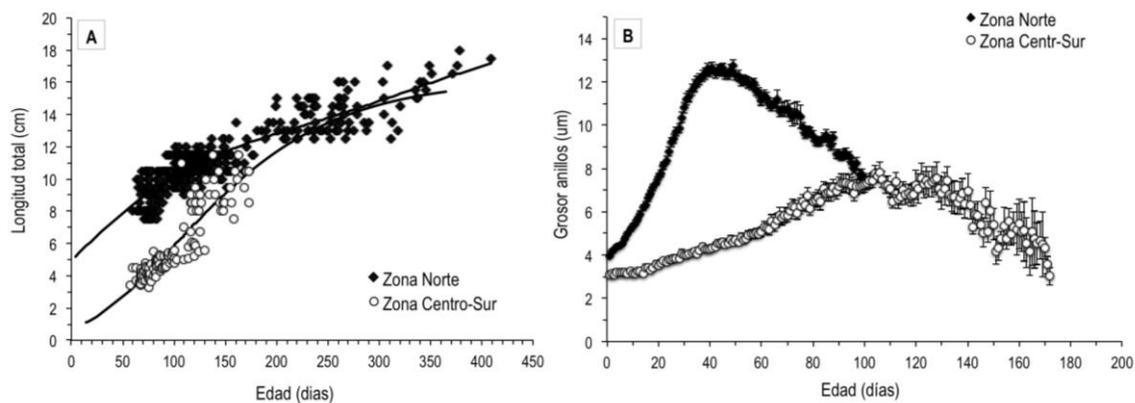


Figura 43. Comparación del crecimiento de la anchoveta de la zona centro-sur con la zona norte a través del ajuste del modelo de crecimiento estacional para la zona norte y Laird-Gompertz para la zona centro-sur (A) y el perfil de grosor de los microincrementos diarios con su error estándar (B).



Esta diferencia en las tasas de crecimiento y patrón de la micro-estructura de los otolitos de anchoveta de la zona norte y centro-sur de Chile, confirma la existencia de unidades poblacionales discretas adaptadas a condiciones ambientales propias. Esta inferencia se sustenta en el hecho de que las principales variables que controlan el crecimiento en los estadios tempranos de peces son la temperatura (Miller *et al.* 1988; Houde & Zastrow 1993) y la disponibilidad de alimento (Shepherd & Cushing 1980; Jenkins 1987), y ambas variables presentan una marcada diferencia entre la zona norte y centro-sur de Chile.

Esta tasa de crecimiento reportada para la anchoveta de la zona centro-sur resulta similar a las reportadas por otros estudios realizados en juveniles del género *Engraulis* para la etapa larval y juvenil temprana, utilizando micro-incrementos diarios de otolitos. A saber, para *E. mordax* se han reportado tasas de crecimiento entre 0,36 y 0,55 mmd^{-1} para juveniles de entre 10 y 35 mm de longitud (Hunter 1976, Methot 1983; Butler 1989). En forma similar, las tasas de crecimiento variaron entre 0,49 y 0,73 mmd^{-1} para *E. japonicus* con longitudes entre 5-35 mm (Mitani 1990; Takahashi *et al.* 2001 y Takahashi & Watanabe 2004). Recientemente Cermeño *et al.* (2008) reportó tasas de crecimiento entre 0,56-0,77 mmd^{-1} para juveniles de *Engraulis encrasicolus* entre 5-53 mm de longitud estándar y edades entre 5 a 90 días.

Otro rasgo observado en el presente estudio fue también la diferencia estacional en el grosor de los incrementos con la edad de anchoveta entre las cohortes de invierno y verano, donde los micro-incrementos de otolitos de las cohortes de invierno presentaron un mayor grosor que los de la cohorte de verano en los primeros 90 días desde la eclosión, lo cual puede asociarse a variaciones en las tasas de crecimiento asociadas a variaciones en las condiciones ambientales de la época de nacimiento y primera alimentación. Diferencias de este tipo han sido



reportadas en clupeidos, *e.g.*, para las cohortes de otoño e invierno para el arenque *Etremeus teres* (Plaza *et al.* 2006) y para el arenque del atlántico *Clupea harengus* (Moksness & Fossum, 1991; Fossum & Moksness 1993). Dada el extenso periodo de desove experimentado por *E. ringens* en un ciclo anual es altamente factible encontrar diferencias en las tasas de crecimiento de los otolitos sobre una base mensual o estacional.

Un hallazgo algo controversial caracterizó la relación talla edad a la fecha captura para ambas especies de sardinas. Mientras esta relación mostró el patrón de crecimiento curvilíneo típico en los estadios tempranos de peces teleósteos para sardina común, en caso de la sardina austral la relación fue lineal mostrando dos grupos diferenciados con tasas de crecimiento significativamente distintas, pero en un rango de longitud muy restringido. La linealidad del crecimiento no parece poco común, debido a que varios estudios han reportando la existencia de relaciones lineales entre la edad y longitud en juveniles de peces para rangos de tamaño restringidos (Zastrow *et al.* 1991). Sin embargo, las diferencias en las tasas de crecimiento son más difíciles de explicar, posiblemente atribuidas a un efecto de variabilidad inter-anual, debido a que se compararon dos años (2013 y 2014) y/o a un efecto espacial en el crecimiento, debido a que se compararon dos regiones (X y XI). En el caso de la XI Región las tasa de crecimiento instantánea obtenida ($0,2 \text{ mmd}^{-1}$) está por debajo de lo que se ha reportado para juveniles de otros clupeideos donde las tasas de crecimiento utilizando una metodología similar han oscilados entre $0,4$ a $0,8 \text{ mmd}^{-1}$ para tramos de la etapa juvenil (Zastrow *et al.* 1991; Hunter, 1976, Methot, 1983; Butler, 1989; Mitani, 1990; Takahashi *et al.*, 2001; Takahashi & Watanabe 2004; Cermeño *et al.* 2008). Contrariamente, la tasa de crecimiento de $0,6 \text{ mmd}^{-1}$ para la misma especie durante el 2013 en la X Región se encuentra dentro del rango señalado anteriormente y se asemeja también a las estimaciones de tasas de crecimiento para anchoveta y sardina común en la zona



centro sur. Para resolver esta disyuntiva se recomienda llevar a cabo un estudio abarcando una escala temporal y espacial mas amplia, para verificar si las bajas tasas de crecimiento de sardina austral encontradas en la XI Región son un rasgo característico en esta área de fiordos, la cual posee características hidrográficas y de producción particulares (Iriarte *et al.* 2014), donde actualmente esta especie predomina (Contreras *et al.* 2014).

Un hallazgo distintivo en sardina común y sardina austral fue la tendencia parabólica de la tasa de crecimiento del otolito para los primeros 60 días de vida, con máximos alrededor del segundo mes de vida, después del cual el crecimiento del otolito se reduce sustancialmente. La tendencia ascendente en la primera etapa sugiere un periodo de crecimiento acelerado una vez que las larvas logran alimentarse de forma autónoma. Es importante destacar que durante este periodo hay un desarrollo continuo de aspectos morfológicos y sensoriales de la larva que permiten incrementar la motilidad y habilidad de la larva para capturar su presa (O'Connell 1981; Thorrold & William 1989). Por tanto, un incremento ontogenético del crecimiento es esperable. Por su parte el plateau alcanzado hacia el día 30 parece ser un indicador de una reducción en el crecimiento, presumiblemente vinculado al proceso de metamorfosis, similarmente como se ha reportado en otras especies de pelágicos pequeños (Youson 1988; Oozeki & Zenitani 1996; Watanabe & Kuroki 1997). Se debe destacar también que es bien conocido que el grosor de los micro-incrementos primarios de otolitos, varía en función de la estación de nacimiento en las etapas tempranas de desarrollo en peces teleósteos marinos. En este contexto, algunos autores han reportado perfiles parabólicos del crecimiento del otolito (proxy de crecimiento somático) para las cohortes que nacen en estaciones con mayores niveles de temperatura y/o productividad o ambas (Watanabe & Kuroki 1997; Plaza *et al.* 2006). Por consiguiente, este parece ser caso de la sardina común y sardina austral debido



a que todos los ejemplares analizados nacieron a fines de primavera, lo que condujo a que los ejemplares estuvieron sujetos a la mayor temperatura de la estación estival.

Aunque ambas especies parecen compartir un patrón de crecimiento ontogenético en los primeros dos meses de vida, la magnitud del crecimiento pareció variar sustantivamente entre ellas, independiente de la cohorte de nacimiento, donde la sardina común mostró micro incrementos por sobre los 4 μm en gran parte de sus primeros 2 meses de vida, contrariamente a la sardina austral cuyos grosores medios estuvieron por debajo de este valor. Cuando estas mediciones fueron convertidas a tasas de crecimiento, las diferencias se destacaron con mayor nitidez, donde la sardina común presentó tasas de crecimiento diarias promedio cercanas a 1 mmd^{-1} para el segundo mes de vida, periodo de comparación más confiable debido al método de retro-cálculo. Contrariamente las tasas de crecimiento diarias retro-calculadas estuvieron por debajo de lo 0,6 mmd^{-1} para la sardina austral. Estos resultados en parte coinciden con los resultados de las tasas de crecimiento absolutas que integran toda la historia de vida hasta la fecha de captura, que también evidenciaron diferencias, aunque mucho menos marcadas debido a que en ambas especies pareció ocurrir una reducción marcada del crecimiento con posterioridad al segundo mes de vida. Esta disminución en el crecimiento en la etapa juvenil tardía también pareció ser recogida por la relación talla-edad a la fecha de captura, con tasas de crecimiento bajas (0,2 mmd^{-1}) para la sardina austral en la XI Región en el año 2014. A la luz de estos resultados es evidente que a pesar del efecto potencial de la componente espacial y la mezcla de clases anuales en las comparaciones, los dos primeros meses de vida estarían jugando un rol crucial, debido a que en ellos pareciera maximizarse el crecimiento, lo que puede tener consecuencias importantes para la sobrevivencia de ambas especies. En este sentido es



importante subrayar que estudios recientes han señalado que un mayor crecimiento en los estadios tempranos está directamente ligado a una mayor sobrevivencia larval y juvenil, y por consiguiente ser un factor precursor de clases anuales más potentes (Anderson 1988; Leggett & DeBlois 1994; Hare & Cowen 1997; Takasuka *et al.* 2008; Plaza & Ishida 2008). ¿Hasta que punto las elevadas tasas de crecimiento encontradas para sardina común podrían ser evidencia parcial que este mecanismo está operando en esta especie, considerando su nivel de producción actual? Para resolver esta problemática se recomienda reconstruir la historia de vida mediante la medición de micro-incrementos en los otolitos de los sobre-vivientes, en una escala interanual más extensa que abarque varios años. La existencia de otolitos almacenados derivados de los muestreos de seguimiento de la pesquería de esta especie permitiría una aproximación de este tipo.

Validación de la formación del primer annulus

Hasta la fecha sólo unos pocos estudios han caracterizado la apariencia micro-estructural del primer ánulo en peces teleósteos (Panella 1980; Victor & Brother 1982; Taubert & Tranquilli 1982; Waldron 1994, Waldron 1998; Wright *et al.* 2002). Estos trabajos han demostrado que un ánulo verdadero se caracteriza por una marcada discontinuidad en el patrón formación de micro-incrementos visibles en una zona opaca inmediatamente adyacente, seguida por la aparición de micro-incrementos muy finos e irresolubles, con la posterior aparición de micro-incrementos distintivos en la zona opaca siguiente. Consecuentemente, esta zona hialina se forma en un periodo de crecimiento muy reducido y en ocasiones cuando existe detención total del mismo. En estos estudios también se ha demostrado que la región opaca previa al primer ánulo cubre dos estaciones (5-6 meses).



En el presente estudio, el otolito de anchoveta adulta fue difícil de analizar macroscópicamente ya que presenta muchas marcas hialinas que muestran sucesivas detenciones del crecimiento durante el transcurso de su ontogenia, presentando micro-incremento primarios de baja resolución, lo que en el caso particular de la anchoveta de la zona centro-sur se observan ya en otolitos de peces juveniles tardíos (8-12 cm LT), estrato II y III descritos en este estudio. Debido a esta situación, la comparación entre la macro y microestructura de peces juveniles permitió solo confirmar que el primer macroanillo observado en los otolitos de anchoveta presenta una periodicidad menor al año, el que comenzaría a formarse entre los 3,5 a 4,8 meses de edad. Este macroanillo presenta microincrementos diarios claramente identificables, donde no se observa la discontinuidad en la microestructura, con que en algunos estudios se ha descrito la presencia del primer annulus (Wright *et al.* 2002).

En el caso de la sardina común como la sardina austral las características micro-estructurales de la primera zona hialina siguen el patrón descrito en la literatura para peces teleósteos. No obstante un aspecto distintivo fue su grosor que varió alrededor de los 50 μm . Si se considera que el grosor de los micro-incrementos cuando son resolubles en ciertas áreas de la PBH pueden estar en torno a 0,5 μm , es razonable inferir que la formación de esta zona se puede cubrir fácilmente más allá de una simple estación. Adicionalmente, la primera zona hialina se formó en promedio a los **185 y 169** días para sardina común y sardina austral, respectivamente, lo que coincide con los 6 primeros meses de mayor crecimiento asociado al depósito opaco en los otolitos. Por consiguiente, parece razonable inferir, que la primera zona hialina corresponde a un área de reducido crecimiento, siendo este el primer annulus para ambas especies.



Criterios de asignación de edad y grupos de edad

En dos de las tres especies estudiadas (*S. bentincki* & *S. fueguensis*) los resultados alcanzados son suficientes para sugerir que los criterios de estimación de edad anual, actualmente empleados por IFOP, son correctos. Esta misma conclusión puede extenderse para los criterios de asignación de grupos de edad. Aunque se requiere realizar algunos cambios menores.

Actualmente durante el segundo trimestre biológico (oct-dic), año biológico que se inicia el 1º de julio (fecha de cumpleaños arbitraria), los peces de noviembre y diciembre que aún no han formado la PZH, se les asigna el GE **0**. Como los resultados del presente estudio indican que el inicio de la PZH podría comenzar a los 4 meses de vida (con tallas entre 8 a 9 cm LT), peces sin PZH capturados en octubre perfectamente podría haber nacido después del 1º de julio y corresponder también al GE **0**. Es decir el criterio de asignación de GE **0** del segundo trimestre podría incluir también el mes de octubre.

Hay que tener presente que el criterio que IFOP aplica actualmente, es un criterio flexible de asignación, empleado con el propósito de evitar la subestimación del reclutamiento (peces del GE **0**), en contraste con el criterio convencional de asignación de GE usado en la mayoría de las especies, incluidos los peces pelágicos pequeños, que en la primera mitad del año todos los ejemplares que aún no presentan la PZH son asignados al GE **1**, como es el caso de la anchoveta de la bahía de Bizcaya (Uriarte *et al.* 2002).

Aunque esta mínima modificación puede ser atendible, subyace la pregunta de ¿qué sucede con los peces capturados entre julio y septiembre que aún no han



formado la PZH? ¿Deben ser asignados al GE 0 o GE 1?. Actualmente son asignados al GE 1, atendiendo a que es altamente probable que hayan nacido antes del 1º de julio (fecha de cumpleaños biológica). Es un problema que debe discutirse para el caso de las especies de crecimiento rápido y baja longevidad, en que las capturas de un año en particular están sustentadas en el reclutamiento del mismo año.

Análisis del crecimiento con metodologías alternativas

El análisis del crecimiento con metodologías alternativas incluyó la estimación del crecimiento a través del análisis de progresión modal de tallas y peso de los otolitos. La progresión modal de tallas entregó valores bajos del coeficiente de crecimiento K (entre 0,066 a 0,079 mes^{-1}) para las tres especies. Las curvas de crecimiento de von Bertalanfy derivadas del ajuste de la distribución de modas de frecuencia de tallas nos permite verificar las tallas medias a la edad, que en el caso de la anchoveta la talla media al primer año es menor (11,5 cm LT) que la estimada a partir de la lectura de otolitos (14 a 15 cm LT). En el caso de sardina común y sardina austral las tallas medias correspondientes al primer año fueron similares a las estimadas a partir de la lectura de otolitos 12,5 y 13 cm LT, respectivamente (**Fig. 38**).

La menor velocidad de crecimiento estimada en anchoveta al año de vida a través del ajuste de modas de talla en comparación con el resultado del ajuste de crecimiento desde la lectura de microestructura diarios en otolitos, puede tener su origen en que las modas de tallas representan la distribución de múltiples cohortes, que no permiten recoger adecuadamente la tasa de crecimiento a partir de la variación en las tallas medias entre meses, siendo la lectura de microincrementos primarios un análisis de mayor frecuencia y precisión que las



variaciones de las tallas medias de una progresión modal mensual. De hecho, el análisis de progresión modal es útil y confiable cuando se cumplen los siguientes supuestos, a saber: a) La muestra de frecuencia de tallas es representativa de la población, b) una sola cohorte es generada por año, c) las cohortes subyacente en la muestra de frecuencia de tallas han reclutado con distinta abundancia, d) el crecimiento es rápido en los primeros años, tal que en las fracciones menores puedan observarse modas evidentes, e) la longitud de los peces de cada cohorte se distribuye normal.

Las tasas de crecimiento derivadas del análisis de progresión del peso del otolito tampoco entregaron resultados confiables, que nos permitan verificar si las tasas que se obtienen de la lectura de microincrementos primarios son acertadas. Este análisis entregó una tasa de crecimiento mayor en anchoveta que en sardina común y sardina austral, esta última especie presenta la menor tasa, al igual que lo estimaciones del análisis de progresión modal de tallas.

La distribución de pesos de otolitos no permite la estructuración de modas durante el primer mes analizado que corresponde al reclutamiento. En el caso del peso de los otolitos también debe influir la mezcla de cohortes en la distribución, al igual que lo que pudiera estar ocurriendo en el análisis de progresión modal de frecuencias de tallas.

En este sentido el único elemento duro de verificación de la tasa de crecimiento observada en la microestructura es la validación directa de la periodicidad de los microincrementos leídos a través de métodos directos, como son los experimentos en cautiverio y el marcaje y recaptura.



11. CONCLUSIONES

1. El análisis de la micro-estructura de los otolitos en las tres especies objetivas evidenció los siguientes cuatro rasgos sobresalientes: (i) elevada resolución de los micro incrementos en ejemplares menores a 5 cm para sardina común y anchoveta; (iii) disminución de la resolución de los micro incrementos primarios en otolitos sagitales de ejemplares de mayor talla (9-12 cm) para las tres especies estudiadas; y (iv) similitud de rasgos micro-estructurales entre las dos especies de sardinas en ejemplares de entre 6 y 10 cm.
2. El análisis de la micro-estructura de los otolitos permitió reconstruir la distribución de fechas de nacimiento, que en general coincidieron con la época de desove descrita para las tres especies en las áreas de estudio; es decir extensa para la anchoveta (invierno a verano), más conspicua para sardina común (invierno y primavera) y sardina austral (principalmente primavera).
3. El modelo que explicó mejor la relación talla-edad de anchoveta en ejemplares de entre 3,5 y 11,5 cm LT y edades entre 57 y 173 días fue el Laird-Gomperzt, el cual estimó un coeficiente de crecimiento (parámetro K de la función) de $0,011 \text{ d}^{-1}$.
4. La relación talla-edad de sardina común para ejemplares entre 4 y 12 cm LT y edades de entre 47 a 256 días se ajustó significativamente a un modelo Laird-Gompertz que permitió estimar una tasa de crecimiento absoluta al punto de inflexión ($X_0=62$ días) de $0,62 \text{ mmd}^{-1}$. Por su parte la relación talla edad a la fecha de captura para ejemplares de sardina austral



que fluctuaron entre 4,5 y 13 cm LT y entre 128 y 214 días mostró una tendencia lineal, pero con una clara separación entre los ejemplares recolectados entre la X y XI Región, en los años 2013 y 2014, con tasas instantáneas de crecimiento significativamente diferentes (pendiente del modelo) entre ambos grupos analizados ($0,6 \text{ mmd}^{-1}$ vs $0,2 \text{ mmd}^{-1}$).

5. En el caso particular de la anchoveta de la zona centro-sur se demostró que la primera zona hialina observada en los otolitos presentó una periodicidad menor al año, el que comenzaría a formarse entre los 3,5 a 4,8 meses de edad. A diferencia de la sardina común y sardina austral, este primer macroanillo presentó microincrementos claramente identificables no observándose discontinuidad en la microestructura.
6. Tanto en la sardina común como en la sardina austral la primera zona hialina (PZH), que fluctuó entre 50 -120 μm de grosor, no evidenció la presencia de micro-incrementos primarios visibles. Esta zona hialina se formó en promedio a los 185 y 169 días para sardina común y sardina austral, respectivamente, que coincide con los 6 primeros meses de mayor crecimiento asociado al depósito opaco en los otolitos. En conclusión, la primera zona hialina estaría correspondiendo al primer annulus para ambas especies.
7. En dos de las tres especies estudiadas los resultados alcanzados en este trabajo son suficientes para sugerir que los criterios de estimación de edad anual, actualmente empleados por IFOP, son correctos. Esta misma conclusión puede extenderse para los criterios de asignación de grupos de edad. Aunque algunos cambios mínimos se podrían realizar en sardina común y austral.



8. Las tasas de crecimiento derivadas del análisis de progresión modal de frecuencias de tallas y pesos del otolito no permitieron verificar en forma efectiva la tasa de crecimiento estimada a través de la lectura de microincrementos primarios en las tres especies. En este sentido el único elemento duro de verificación de las tasa de crecimiento observada en la microestructura es la validación directa de la periodicidad de los microincrementos leídos a través de métodos directos, como son los experimentos en cautiverio y el marcaje y recaptura.

9. Las recomendaciones emanadas del taller sugieren por una parte realizar estudios de validación experimental de los incrementos diarios en ambas especies de sardinas y una vez realizado esta validación hacer estudios de crecimiento diario interanuales.

10. Otros de los argumentos planteados en el taller de difusión, fue que en el caso de la sardina austral existen estudios preliminares que evidencian que la XI Región constituiría una unidad poblacional independiente de la X Región. Para probar esta hipótesis se hace necesario un estudio del crecimiento de estadíos tempranos en ambas regiones, como marcadores naturales que permitan incluso evaluar el nivel de mezcla de los stocks de esta especie. Esto fue sugerido como necesario antes de decidir el manejo independiente de dos stocks de sardina austral en el sur de Chile.



12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Trans. Automat. Contr. 19: 716–723.
- Aldanondo, N., Cotano U. & Etxebeste E. 2011. Growth of young-of-the-year European anchovy (*Engraulis encrasicolus*, L.) in the Bay of Biscay. Sci. Mar. 75: 227-235.
- Anderson, J. 1988. A Review of Size Dependent Survival During Pre-Recruit Stages of Fishes in Relation to Recruitment. J. Northw. All. Fish. SCI. 8: 55-66.
- Aranis A., Caballero L., Gómez A., Zúñiga M.J., Muñoz G., Ossa L., Cerna F., Bocic V., López A., Machuca C., Vera C., Ramírez M. & Eisele G. 2012. Informe Final, Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur, 2011. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 188p + Anexos
- .Aranis, A. G., Caballero, L., Vera, C., Gómez, A., Rosson, G. 2010. Informe de Avance Asesoría Integral para la Toma de Decisiones Pesca y Acuicultura, 2010. Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur, 2010 IFOP/SUBPESCA. 253 pp + Anexos.)
- 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., Gómez A., Mora S., Muñoz G., Ossa L., Caballero L., Cerna F., Valero C., López A., Machuca C., Muñoz L., Vera C., Valdebenito V., Eisele G. & Ramírez M. 2013. Informe Final, Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur, 2012. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 188p + Anexos.
- Araya, M. & Cubillos L. 2002. Análisis retrospectivo de crecimiento en peses y sus problemas asociados. *Gayana*. 66(2): 161-179.
- Araya, M., Cubillos L., Guzmán M., Peñailillo J. & Sepúlveda A. 2001. Evidence of the relationship weight of otolith – age for the Chilean horse mackerel *Trachurus murphyi* (Carangidae). *Fish. Res.* 7. 51: 17-26.
- Arneri, E., Carpi, P., Donatatom, F. & Santojanni, A. 2011. Growth in small pelagic fishes and its implications in their population dynamics. *Biol. Mar. Medi.* 18: 106–113.
- Barría, P., Böhm M.G., Aranis A., Gili R., Donoso M. & Rosales S. 1999. Evaluación indirecta y análisis de la variabilidad del crecimiento de sardina común y anchoveta en la zona Centro-Sur. Informe Final. FIP N° 97-10. 115 pp + Anexos.
- Beamish, R.J. & Fournier, E.A. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 982-983.
- Boely, T., Freon P. & St_equet B. 1982. La croissance de *Sardinella aurita* (Val., 1847) au Senegal. *Ocea. Trop.* 17: 103–119.



- Borja, A., Uriarte A., Egana J., Motos L. & Valencia V. 1998. Relationships between anchovy (*Engraulis encrasicolus*) recruitment and environment in the Bay of Biscay (1967-1996). *Fish. Oceanogr.* 7: 375-380
- Brothers, E.B., Mathews C.P. & Lasker R. 1976. Daily growth increments in otoliths from larval and adults fishes. *Fish. Bull.* 74: 1-8.
- Bustos, C., Landaeta M. & Balbontín F. 2008. Efectos ambientales sobre la variabilidad espacial el ictioplancton de Chile austral durante noviembre de 2005. *Rev. chil. hist. nat.* 81: 205-219.
- Butler, J.L. 1989. Growth during the larval and juvenile stages of the northern anchovy, *Engraulis mordax*, in the California Current during 1980-84. *Fish. Bull.*, 87: 64-652.
- Cahuín, S., Cubillos L., Ñiquen M. & Escribano R. 2009. Climatic regimes and the recruitment rate of anchoveta, *Engraulis ringens*, off Peru. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 84: 591-597.
- Campana, E.S. & Jones C.M. 1992. Analysis of otolith microstructure data, p 73-100. In D.K. Stevenson and SE Campana (ed) *Otolith microstructure examination and analysis*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117.
- Campana, E.S. 1990. Measurement and interpretation of the microstructure of the fish otoliths, p 59-71. In D.K. Stevenson and SE Campana (ed) *Otolith microstructure examination and analysis*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117.
- Campana, S.E. & Neilson J.D. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42:1014-1032.



- Campana, S.E. 1990. How reliable are growth back-calculations based on otolith?
Can. J. Fisher. Aquat. Sci. 47: 2219-2227.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. J. Fish Biol. 59: 197–242.
- Canales, C. & Arana P. 2009. Crecimiento, mortalidad y evaluación de la población de cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) explotado en el Archipiélago de Juan Fernández, Chile. Lat. Am. J. Aquat. Res. 37(3): 313 – 326.
- Castillo, J. Saavedra Á. Catasti V., Leiva F., Vargas R., Reyes H., Pizarro M., Molina E., Cerna F., López A., Núñez S., Valenzuela L. & Silva J. 2013. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. Informe Pre Final: FIP 2009-17. 307 p. + Figuras y Tablas.
- Cermeño, P., Uriarte A., Morales-nin B., Cotano M. & Alvarez P. 2008. Setting up interpretation criteria for ageing juvenile european anchovy otoliths. Sci. Mar. 72: 733-742.
- Cermeño, P., Uriarte A, Murgia D.A.M. & Morales-Nin B. 2003. Validation of daily increment formation in otoliths of juvenile and adult European anchovy. J. Fish Biol. 62: 679–691.
- Cermeño, P., Morales-Nin B. & Uriarte A. 2006. Juvenile European anchovy otolith microstructure. Sci. Mar. 70: 553-557.



- Cerna, F. 2012. Estimación de parámetros de crecimiento de anchoveta y sardina común. En: Zúñiga y Canales, Colaboradores: Aranis A., Castillo J., Cerna F. 2013. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2014. Primer Informe Anchoveta V-X Regiones 2014 IFOP/SUBPESCA. 89 p +Anexos.
- Cerna, F., Plaza G., López A., Machuca C., Serra R., Gaspar C. & Moyano G. 2011. Revisión de la asignación por grupo de edad en la anchoveta de la zona norte. Informe Final: FIP 2009-17. 124 p. + anexos.
- Cerna, F., Leal E., López A. & Plaza G. 2014. Age, growth and natural mortality of the Patagonian sprat *Sprattus fuegensis* (Jenyns, 1842) in Chiloé inland sea, southern Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 42(3): 580-587.
- Chambers, R.C. & Miller T.J. 1995. Evaluating fish growth by means of otolith increment analysis: special properties of individual-level longitudinal data. In *Recent Developments in Fish Otolith Research* (Secor, D. H., Dean, J.M. & Campana, S.E., eds), pp. 155-175. University of South Carolina Press, Columbia, SC.
- Chambers, R. C. & Leggett W. C. 1987. Size and age at metamorphosis in marine fishes: an analysis of laboratory-reared winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) with a review of variation in other species. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 1936–1947.
- Chirinos, A. & Chumán E. 1968. Validez de la lectura de otolitos para determinar la edad de la anchoveta (*Engraulis ringens*). *Inf. Inst. Mar Perú, Callao* 22: 34 p.



- Chugunova, N.I. 1963 Age and Growth Studies in Fish. National Science Foundation, Washington D.C., Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem. 132 p.
- Claramunt, G., Castro L.R., Cubillos L.A., Hirche H.J., Perez G. & Braun M. 2012. Inter-annual reproductive trait variation and spawning habitat preferences of *Engraulis ringens* off northern Chile. *Rev. Biol. Mar. & Oceanog.* 47: 227-243.
- Cochrane, K., Buuterworh D.S., De Olivera J.A.A. & Roel B.A. 1998. Management procedures in a fishery based on highly variable stocks and with conflicting objectives: experiences in the South African pelagic fishery. *Rev. Fish Biol. & Fisher.* 8: 177-214
- Contreras, J., Landaeta M.F. & Plaza G. 2013. The contrasting hatching patterns and larval growth of two sympatric clingfishes inferred by otolith microstructure analysis. *Mar. Fresh. Wat. Res.* 64: 157-167.
- Contreras, T., Castro R.L., Montecinos S., Gonzalez H.E., Soto E., 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. *Prog. Oceanogr.* 129: 136–148.
- Cubillos, L. & Arancibia H. 1993. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. *Invest. Mar., Valparaíso.* 21: 3-21.
- Cubillos, L., Canales M. & Bucarey D. 1999. Epoca reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens*



en el período 1993-1997, en la zona centro-sur de Chile. Invest. Mar., Valparaíso. 27:73-85.

- Cubillos, L.A. & Arcos D.F. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) in the 1990s, and impact of the 1997-98 El Niño. Aquat. Living Resour.15: 87-94.
- Cubillos, L.A., Arcos, D.F., Bucarey, D.A. & Canales, M.T. 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile (37°S, 73°W): a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? Aquat. Living Resource. 14: 115–124.
- Duncan, K.W. 1980. On the back-calculation of fish lengths; modifications and extensions to the Fraser-Lee equation. J. Fish. Biol. 16:725-730.
- Durović, M., Pešić A., Regner S., Joksimović, A., Mandić M., , Kasalica O., Ikica Z. & Krpo-četković J. 2012. Daily otolith increments and growth rate of juvenile anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), in the south-eastern Adriatic Sea. Acta Adriat. 53: 331–340.
- Feodorov, S. & Baranov A. 1976. Algunos datos nuevos acerca la biología de sardina fueguina. Hoz-va I Okeanografii Kaliningrad. 65: 135-142.
- Fey, D.P. 2002. Formation of daily increments in otoliths of larval and juvenile herring (*Clupea harengus*) and early juvenile smelt (*Osmerus eperlanus*) in low food conditions. Arch. Fish. Mar. Res. 49: 189-197
- Fossum, P. & Moksness E. 1993. A study of spring-and autumn spawned herring (*Clupea harengus* L.) larvae in the Norwegian coastal current during spring 1990. Fish Oceanogr. 2: 73–81.



- Francis, R. 1994. Are growth-parameters estimated from tagging and age length data comparable. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45 (6): 936-942.
- Francis, R. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *J. Fish Biol.* 36: 883-902.
- Funamoto, T., Aoki I. & Wada Y. 2004. Reproductive characteristics of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in two bays of Japan. *Fish. Res.* 70: 71-81.
- Galleguillos, R., Ferrada S., Canales C., Hernández C., Oliva M., González M.T., Cubillos L., Niklitschek E. & Toledo P.C. 2012. Determinación de unidades poblacionales de sardina austral entre la X y XII regiones de Chile. Informe Final, Proyecto FIP 2010-17: 221 p.
- Geffen, A.J. 1982. Otolith ring deposition in relation to growth rate in herring (*Clupea harengus*) and turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae. *Mar. Biol.* 71: 317–326.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of the human mortality, and on a new mode of determining the value of the contingencies. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 115: 515-585.
- Hansen, J.E. 1999. Estimación de parámetros poblacionales del efectivo de sardina fueguina (*Sprattus fueguensis*) de la costa continental Argentina. (Informe no Publicado). Bibliot. INEDEC N°1109, Mar del Plata, Argentina, 92p., Anexos.
- Hare, J.A. & Cowen K.C. 1997. Size, growth, development. And survival of the planktonic larvae of *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae). *Ecology.* 78: 2415-2431.



- Hare, J.A. & Cowen R.K. 1994. Ontogeny and otolith microstructure of bluefish *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae). Mar. Biol. 118:541-550.
- Hernández, E. & Castro L. 2000. Larval growth of the anchoveta *Engraulis ringens* during the winter spawning off central Chile. Fish. Bull. 98: 704-710.
- Hile, R. 1941. Age and growth of the rock bass. *Ambloplites rupestris* (Rafinesque), in Nebish Lake, Wisconsin. Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters. 33:189-337.
- Houde, E.D. & Zastrow C.E. 1993. Ecosystem- and taxon-specific dynamic and energetics properties of fish larvae assemblages. B. Mar. Sci. 53, 290–335.
- Hunter, J.R. 1976. Culture and growth of Northern Anchovy *Engraulis mordax*, larvae. Fish. Bull. 74: 81-88.
- Ihaka, R. & Gentleman R. 1996. R: a language for data analysis and graphics. J. Comput. Graph. Stat. 5: 299–314.
- Iriarte, J., Pantoja S. & Daneri G. 2014. Oceanographic Processes in Chilean Fjords of Patagonia: From small to large-scale studies. Progr. Oceanogr. 129:1–7.
- Jenkins, G.P. 1987. Age and growth of co-occurring larva of two flounder species, *Rhombosolea tapirina* and *Ammotretis rostratus*. Mar. Biol. 95: 157–166.
- Jenkins, G.P. & Davis T.L.O. 1990. Age, growth rate, and growth trajectory determined from otolith microstructure of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* larvae. Mar. Ecol-Prog. Ser. 63: 93-104.



- La Mesa, M., Donato F., Giannetti G. & Arneri E. 2009. Growth and mortality rates of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Adriatic Sea during the transition from larval to juvenile stages. *Fish. Res.* 96: 275-280.
- La Mesa, M. 2007. The utility of otolith microstructure in determining the timing and position of the first annulus in juvenile Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*) from the South Shetland Islands. *Polar Biol.* 30: 1219–1226.
- Lagardere, F. 1989. Influence of feeding conditions and temperature on the growth rate and otolith increment deposition of larval Dover sole (*Solea solea* (L)). *Cons. Int. Expl. Mer.* 191: 390-399.
- Laird, A.K., Tyler S.A. & Barton AD. 1965. Dynamics of normal growth. *Growth.* 29: 233-248.
- Leal, E., Canales C. & Zúñiga M.J. 2013. Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables en sardina común zona centro-sur y sardina austral, zona de aguas interiores, año 2014: Sardina austral, 2014. IFOP/SUBPESCA. 101 p.
- Leal, E., Canales T.M., Aranís A. & González M. 2011. Actividad reproductiva y longitud de madurez de sardina austral *Sprattus fuegensis*, en el mar interior de Chiloé, Chile. *Rev. biol. mar. oceanogr.* 46 (1): 43-51.
- Leggett, W.C. & DeBlois E. 1994. Recruitment in marine fishes: is it regulated by starvation and predation in the egg and larval stage. *Nether. J. Sea Res.* 32: 119-134.



- Lessa, R., Duarte-neto N., Morize E. & Maciel R. 2008. Otolith microstructure analysis with OTC validation confirms age overestimation in Atlantic thread herring *Opisthonema oglinum* from north-eastern Brazil. J. Fish Biol. 73: 1690–1700.
- Llanos-Rivera, A. & Castro L. 2004. Latitudinal and seasonal egg size variation of the anchoveta *Engraulis ringens*, off the Chilean coast. Fish. Bull. 102: 207-212.
- Llanos-Rivera, A. & Castro L. 2006. Interpopulation dereferences in temperature effects on *Engraulis ringens* yolk-sac larvae. Mar. Ecl. Prog. Ser. 312: 245-253.
- Mann, S., Parker S.B., Ross M.D., Skarnulis A.J. & Williams RJP. 1983. The ultrastructure of the calcium carbonate balance organs of the inner ear: an ultra-high resolution electron microscopy study. Proc. R. Soc. Lond. B. 218: 415-424
- Marks, R.E. & Conover DO. 1993. Ontogenetic shift in the diet of young-of-the-year bluefish *Pomatomus saltatrix* during the oceanic phase on the early life history. Fish. Bull. 30: 225-243.
- Methot, R.D. 1983. Seasonal variation in survival of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*, estimated from the age distribution of juveniles. Fish. Bull. 81: 741-750.
- Miller, T.J., Crowder L.B., Rice J.A. & Marschall E.A. 1988. Larval size and recruitment mechanisms in fishes: toward a conceptual framework. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45: 1657–1670.



- Mitani, I. 1990. The biological studies on the larvae of Japanese anchovy, *Engraulis japonica* HOUTTUYN, in Sagami Bay. Spec. Rep. Kanagawa Prefectural Fish. Exp. Station, 5: 1-140.
- Moksness, E. & Fossum P. 1992. Daily growth rates and hatching dates distribution of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.). ICES J. Mar Sci. 49: 217-221.
- Moksness, E. & Fossum P. 1991. Distinguishing spring- and autumn-spawned larvae (*Clupea harengus* L.) by otolith microstructure. ICES J Mar Sci. 48: 66-61.
- Morita, K. & Matsuishi T. 2001. A new model of growth back-calculation incorporating age effect based on otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58 (9): 1805–1811.
- Nakamura, I. 1986. Important fishes trawled off Patagonia, 369 pp. JAMARC, Tokyo.
- Namiki, S., Tanaka H., Katayama S., Funaki O., Aoki I. & Oozeki Y. 2010. Validation of daily increment formation in otoliths of immature and adult Japanese anchovy *Engraulis japonicus*. Fis. Nakamura I. 1986. Important fishes trawled off Patagonia, 369 pp. JAMARC, Tokyo Sci. 76: 951-959.
- O'Connell, C.P. 1981. Development of organ systems in the northern anchovy *Engraulis mordax* and other teleosts. Am. Zool. 21: 429–446.
- Oliveros-Ramos, R. & Peña C. 2011. Modeling and analysis of the recruitment of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) between 1961 and 2009. Cienc. Mar. 37(4B): 659–674.



- Oozeki, Y. & Zenitani H. 1996. Factors affecting the recent growth of Japanese sardine larvae (*Sardinops melanostictus*). In Survival Strategies in Early Life Stages of Marine Resources (Watanabe, Y., Yamashita, Y. & Oozeki, Y., eds), p. 95–104. Rotterdam: AA Balkema.
- Otterlei, E., Folkvord A. & Nyhammer G. 2002. Temperature dependent otolith growth of larval and early juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). ICES J. Mar. Sci. 59: 401-410.
- Palomera, I. 1991. Vertical distribution of eggs and larvae of *Engraulis encrasicolus* in stratified waters of the western Mediterranean. Mar. Biol. 111: 37-44.
- Palomera, I., Morales-Nin B. & Lleonart J. 1988. Larval growth of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) in the northeast Mediterranean. Mar. Biol. 99: 283-291.
- Panella, G. 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. Sci. 173: 1124-1125.
- Pannella, G. 1980. Growth patterns in fish sagittae. In Skeletal growth of aquatic organisms, p. 519–560. Ed. by D. C. Rhoads, and R. A. Lutz. Plenum, New York.
- Parada, C., Yannicelli B., Hormazábal S., Vásquez S., Porobić J., Ernst B., Gatica C., Arteaga M., Montecinos A., Núñez S. & Gretchina A. 2012. Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. Lat. Am. J. Aquat. Res. 41 (1): 1-28.



- Paul, L.J. & Horn P.L. 2009. Age and growth of sea perch (*Helicolenus percooides*) from two adjacent areas off the east coast of South Island, New Zealand. *Fish. Res.* 95: 169–180.
- Pauly, D. & Tsukayama I. 1987. The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. *ICLARM Stud. Rev.* 15: 351.
- Pierce, D.J., Mahmoudi B. & Wilson R.R.Jr. 2001. Age and growth of the scaled herring, *Harengula jaguana*, from Florida waters as indicated by microstructure of the sagittae. *Fish. Bull.* 99: 202–209.
- Plaza, G., Honda H., Sakaji H. & Nashida K. 2006. Patterns of growth in the early life history of the round herring *Etrumeus teres*. *J. Fish Biol.* 68: 1421-1435.
- Plaza, G., Honda H., Sakaji H. & Nashida K. 2005. Preparing fish sagittae for examination of daily growth increments of young-of-the-year fishes: A modification of the embed method. *J. Fish Biol.* 66: 592-597.
- Plaza, G., Cerna F. & Legua J. 2012. Validación de formación de anillos primarios y macro-anillos de crecimiento en otolitos de anchoveta de la zona norte. Informe Final. PROY. SUBPESCA ID N°4728-31LP11. 130 p.
- Plaza, G. & Cerna F. 2015. Validation of daily microincrement deposition in otoliths of juvenile and adult Peruvian anchovy *Engraulis ringens*. *J. Fish Biol.*, 86 (1): 203-216.
- Plaza, G. & Ishida M. 2008. The growth–mortality relationship in larval cohorts of *Sardinops melanostictus*, revealed by using two new approaches to analyse longitudinal data from otoliths. *J. Fish Biol.* 73: 1531–1553.



- Plaza, G., Katayama S. & Omori M. 2001. Otolith microstructure of the black rockfish, *Sebastes inermis*. Mar. Biol. 139: 797-805
- Ribeiro, R., Reis J., Santos C., Goncalves F. & Soares A.M.V.M. 1996. Spawning of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Mondego estuary, Portugal. Estuarine Coastal and Shelf Science 42: 467-482.
- Richardson, A.J., Mitchell-Innes B.A., Fowler J.L., Bloomer S.F., Verheye H.M., Field J.G., Hutchings L. & Painting S.J. 1998. The effect of sea temperature and food availability on the spawning success of Cape anchovy *Engraulis capensis* in the southern Benguela. South Afr. J. Mar. Sci. 19: 275-290.
- Secor, D.H., Dean J.M. & Laban E.H. 1992. Otolith removal and preparation for microstructural analysis. In Otolith microstructure examination and analysis (Stevenson D.K. & Campana S.E. eds). p. 19-57. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Science 117.
- Shannon, L.J., Nelson G., & Crawford, R.J.M. 1996. Possible impacts of environmental change on pelagic fish recruitment: Modelling anchovy transport by advective processes in the southern Benguela. Glob. Change Biol. 2: 407-420.
- Shepherd, J.G. & Cushing D.H. 1980. A mechanism for density dependent survival of larval fish as the basis of a stock-recruitment relationship. J. Cons. Int. Explor. Mer. 39: 160–167.
- Shirakova, EN. 1978. Contribution to the biology of Tierra del Fuego sprat *Sprattus fuegensis* (Jenyns, 1842). Biol. Sea. 3: 78-84.



- Sirois, P., Lecomte, F. & Dodson, J.J. 1998. An otolith-based back-calculation method to account for time-varying growth rate in rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 2662–2671.
- Smedstad, O.M. & Holm J.C. 1996. Validation of back-calculation formulae for cod otoliths. *J. Fish. Biol.* 49:973-985.
- Sogard, S.M. 1991. Interpretation of otolith microstructure in juvenile winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*): ontogenetic development, daily increments validation, and somatic growth relationships. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 1862-1871.
- Somers, I.F. 1988. On a seasonally growth function. *ICLARM Fish byte.* 6: 8–11.
- Soto-Mendoza, S., Parada C., Castro L., Colas F.& Schneider W. 2012. Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk-sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. *Prog. Oceanogr.* 92(1): 178-191.
- Stige, L.C., Hunsicker M., Bailey K., Yaragina N. & Hunt G. 2013. Predicting fish recruitment from juvenile abundance and environmental indices. *Mar. Ecol-Prog. Ser.* 480: 245–261.
- Takahashi, M., Kinoshita T. & Watanabe C. 2001. Growth of larval and early juvenile Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in the Kuroshio-Oyashio transition region. *Fish. Oceanogr.* 10: 235-247.
- Takahashi, M. & Watanabe Y. 2004. Staging larval and early juvenile's Japanese anchovy based on the degree of guanine deposition. *J. Fish. Biol.* 64: 262-267.



- Takasuka, A., Oozeki Y., Kubota H. & Lluch-Cota S.E. 2008. Contrasting spawning temperature optima: Why are anchovy and sardine regime shifts synchronous across the North Pacific? *Progr. Oceanogr.* 77: 225-232.
- Taubert, B.D. & Tranquilli J.A. 1982. Verification of the formation of annuli in otoliths of *largemouth bass*. *T Am. Fish. Soc.* 111: 531–534.
- Tedesco, P.A., Sagnes P. & Laroche J. 2009. Variability in the growth rate of chub *Leuciscus cephalus* along a longitudinal river gradient. *J. Fish. Biol.* 74: 312-319
- Thorrold, R.S. & Williams M.C.B. 1989. Analysis of otolith microstructure to determine growth histories in larval cohorts of a tropical herring (*Herklotsichthys castelnaui*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1615–1624.
- Uriarte, A., Blanco M., Cendrero O., Grellier P., Millán M., Morais A., & Rico I. 2002. Workshop on anchovy otoliths from subarea viii and division IXa. In AZTI, Pasaia (Spain) from 14 to 18 January. 23 p + Anexos.
- Victor, B.C. & Brothers E.B. 1982. Age and growth of the fallfish *Semotilus corporalis* with daily otolith increments as a method of annulus verification. *Can. J. Zool.* 60: 2543–2550.
- Waldron, M. 1998. Annual ring validation of the South African sardine *Sardinops sagax* using daily growth increments. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 19: 425–430.
- Waldron, M.E. 1994. Validation of annuli of the South African anchovy, *Engraulis capensis*, using daily otolith growth increments. *ICES J. Mar. Sci.* 51: 233–234.



- Watanabe, Y. & Kuroki T. 1997. Asymptotic growth trajectories of larval sardine (*Sardinops melanostictus*) in the costal waters off western. Mar. Biol. 127: 369-378.
- Whitehead, P.J. 1989. Clupeoid fishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, anchovies and wolf herrings. Part 1. Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. FAO Fisheries Synopsis. 125(7): 1-303.
- Worthington, D., Fowler A.& Doherty P. 1995. Determining the most efficient method of age determination for estimating the age structure of a fish population. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52 (11): 2320-2326.
- Wright, P.J., Woodroffe D.A., Gibb F.M. & Gordon J.D. 2002. Verification of first annulus formation in the illicia and otoliths of white anglerfish, *Lophius piscatorius* using otolith microstructure. ICES J. Mar. Sci. 59: 587–593.
- Yáñez, E., Barbieri M.A. & Santillán L. 1992. Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. In: Payne, A.I., Brink, L., Mann, K.H., Hilborn, R. (Eds.), Benguela Trophic Functioning. S. Afr. J. Mar. Sci. 12: 175-188.
- Youson, J.H. 1988. First metamorphosis. In Fish Physiology, Vol. XI (Hoar, W. S. & Randall, D. J., eds), p. 135–196. San Diego, CA: Academic Press.
- Zastrow, C.E, Houde E.D. & Morin L.G. 1991. Spawning, fecundity, hatch-date frequency and young-of-the-year growth of bay anchovy *Anchoa mitchilli* in mid-Chesapeake bay. Mar. Ecol-Prog. Ser. 73: 161-171.



Zúñiga, M.J. & Canales C. 2013. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2014. Anchoqueta V-X Regiones 2013. Segundo Informe. Instituto de Fomento Pesquero. 135 p.

A N E X O S

ANEXO I

Taller de Presentación de Resultados
FIP N° 2013-19



Taller de Presentación de Resultados

Proyecto FIP N° 2013-19

“Caracterización de la historia de la vida de anchoveta, sardina común y sardina austral de la zona centro sur”



Anchoveta



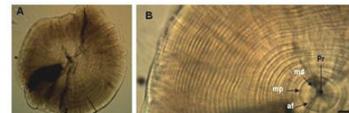
Sardina Austral



Sardina común

Valparaíso, Jueves 27 de noviembre 2014

Auditórium IFOP “Marcos Espejo Vidal” (Almte. M. Blanco Encalada 839, Valparaíso.)



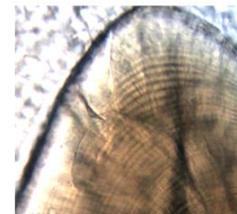
Agenda

10:30 a 10:50 Presentación resultados características historia de vida de anchoveta centro sur.
J. Francisco Cerna T. (IFOP)

11:00 a 11:20 Presentación resultados características historia de vida de sardina común centro sur y sardina austral.
Guido Plaza P. (PUCV)

11:30 a 11:45 Café

11:45 a 12:30 Discusión





Taller de Presentación
de Resultados
Proyecto FIP N° 2013-19

Valparaíso, Jueves 27 de noviembre 2014

"Caracterización de la historia de la vida de anchoveta,
sardina común y sardina austral de la zona centro sur"

ASISTENCIA

N°	Nombre	Mail	Institución	Firma
1	MACKRENA Gomez	MackrenaGomez@gmail.com	IFOP	
2	Amelia Lopez	amelia.lopez@ifop.cl	IFOP	
	Velma OpdeC	velma.opde@ifop.cl	IFOP	
4	Cecilia Maduca	cecilia.maduca@ifop.cl	IFOP	
5	Felipe Sanchez G	CORREOFELIPESANCHEZ@gmail.com	RUCV	
6	Karen Walker	Karen.Walker@ifop.cl	IFOP	
7	José Acedo	jaacedo@subpesca.cl	SSPA	
8	Selma Hernández	shernandez@subpesca.cl		
	Zaida Young	zaida.young@ifop	IFOP	
10	Antonio Bravis K	antonio.bravis@ifop.cl	IFOP	
11	Elsou Lal F.		IFOP	
12	James Ligua	james.ligua@ifop.cl	IFOP	
13	Maria José Zúñiga	Mariajose.zuniga@ifop.cl	IFOP	
14	Guillermo Muñoz	Guillermo.Munoz@ifop.cl	IFOP	
15				

Presentación: Sr. José Francisco Cerna Troncoso

Instituto de Fomento Pesquero



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Taller de Presentaci3n de Resultados

Proyecto FIP N° 2013-19
"Caracterizaci3n de la historia de la vida de anchoveta, sardina com3n y sardina austral de la zona centro sur"

Valparaiso, Jueves 27 de noviembre 2014
Auditorio IFOP "Marcos Espinoza" (dono, St. Bocco Embudo 800 Valparaiso)

Agenda

- 10:30 a 10:50 Presentaci3n resultados caracteristicas historia de vida de anchoveta centro sur. J. Francisco Cerda T. (IFOP)
- 11:00 a 11:20 Presentaci3n resultados caracteristicas historia de vida de sardina com3n centro sur y sardina austral. Galdo Plaza F. (PUCV)
- 11:30 a 11:45 Caf3
- 11:45 a 12:30 Discusi3n

www.ifop.cl

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

TALLER DIFUSI3N RESULTADOS

Caracterizaci3n de la historia de vida de anchoveta, sardina com3n y sardina austral de la zona centro-sur.
FIP 2013-19



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



Equipo de Trabajo IFOP

- Francisco Cerna T.
- Mackarena Gómez
- Guillermo Moyano A.
- Cecilia Machuca R.
- Amalía López

Equipo de Trabajo PUCV

- Guído Plaza P.
- Alejandra Hernández
- Grechel Taucare
- Paula Poblete

Colaboración:

Juan Carlos Saavedra
Álvaro Saavedra
Sergio Lillo
Elson Leal
Verónica Valdebenito

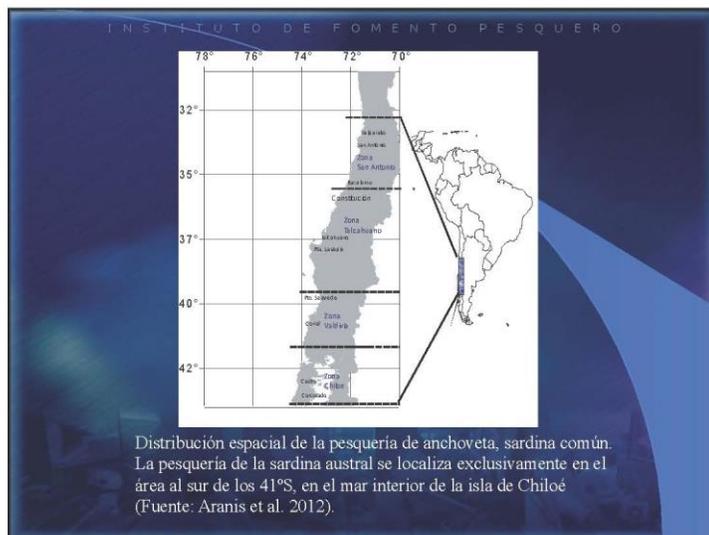
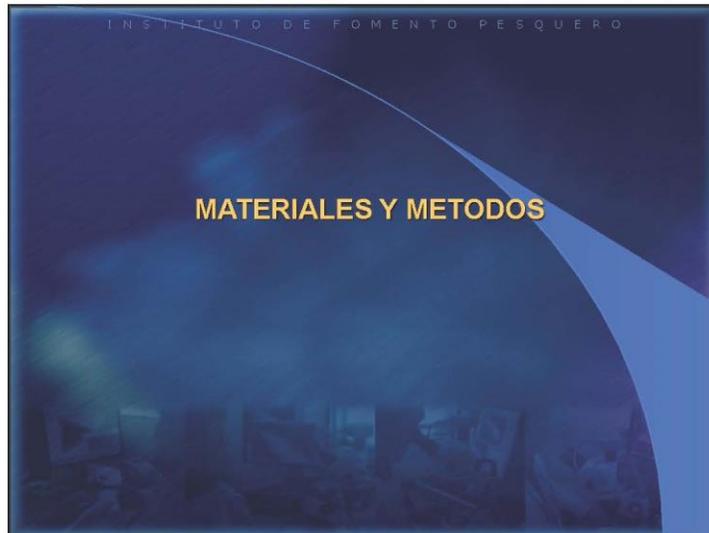
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la historia de vida de anchoveta (*Engraulis ringens*), sardina común (*Strangometa bentink*) y sardina austral (*Sprattus fuegensis*) de la Zona Centro Sur de Chile, a partir del análisis de microestructura de otolitos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar la fecha de nacimiento, edad de reclutamiento y validar la periodicidad del primer macro anillo de crecimiento utilizando anillos primarios, en ejemplares menores e iguales a la talla de media de madurez.
2. Estimar el crecimiento y/o la tasa de crecimiento a partir del análisis de la microestructura de otolitos.
3. Efectuar un análisis comparativo del crecimiento determinado por análisis de micro-incrementos de otolitos con metodologías alternativas actualmente disponibles.





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Distribución espacial y temporal del muestreo de anchoveta, sardina común y sardina austral para cada una de las unidades de muestreo empleadas.

Unidad de muestreo	Especie	Periodo Muestreo	Zona	Latitudes
Pesquería Industrial y artesanal de ceto	anchoveta	Octubre '13 - Febrero '14	Talcahuano	35°00'S - 39°30'S
	sardina común	Diciembre '13 - Abril '14	Cobuco (X Región)	41°30'S - 42°30'S
	sardina austral			
Cruceros de Evaluación Hidroacústicos	anchoveta	Enero 2014	Matanza-Pto. San Vicente	34°05'S - 36°33'S
	sardina común	Abril 2014	Matanza-Pto. Saavedra	34°05'S - 38°50'S
	sardina austral		XI Región	44°00'S - 45°30'S

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Preparación de los otolitos

SGEM

Slide Glass Embed Method

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Lectura de micro-incrementos primarios se realiza en un sistema de análisis de imagen.

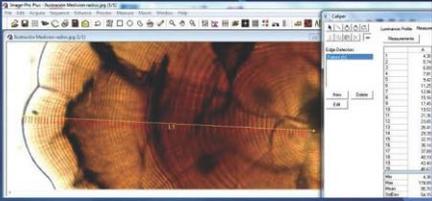


Ilustración de un proceso de lectura en un juvenil de *E. ringoni*, utilizando la herramienta "Tag" del programa IMAGE-pro-plus. La flecha roja denota el radio máximo (RM).

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Modelos de crecimiento aplicados

Modelo de Laird-Gompertz (Gompertz, 1925; Laird et al., 1965).

$$L_t = L_\infty \exp[-\exp(-G\{X - X_0\})]$$

Modelo de von Bertalanffy estacional (Somers, 1988).

$$L_t = L_\infty \left[1 - \exp\left\{-K(t - t_0) - \frac{CK}{2\pi} [\text{seno}(2\pi(t - t_2)) - \text{seno}(2\pi(t_0 - t_2))]\right\}\right]$$

Tasa de Crecimiento Global

$$TCG = \frac{(LT - L_{ECL0})}{DT}$$



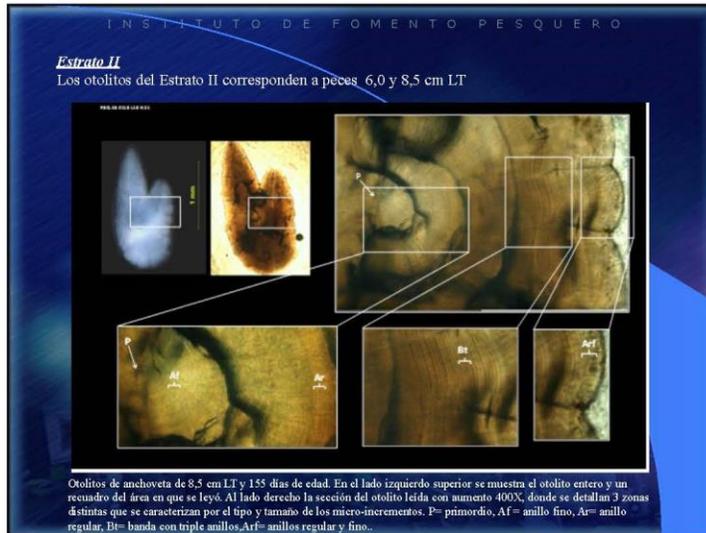
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

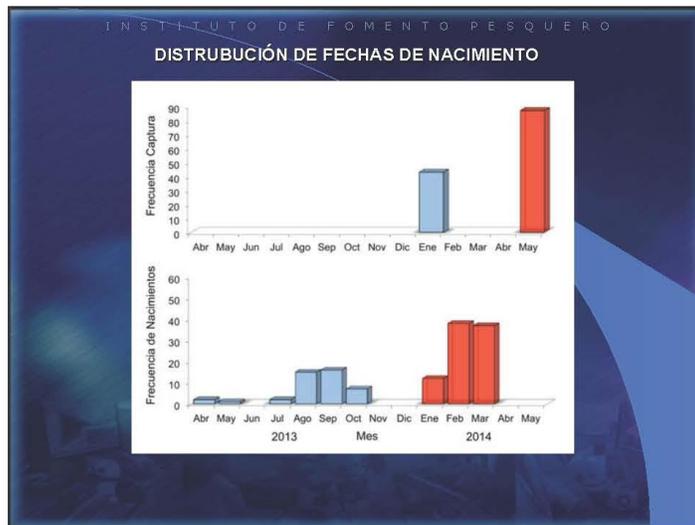
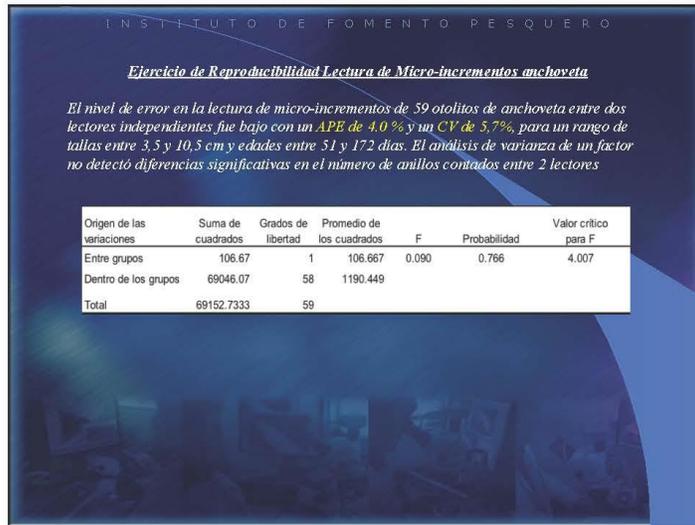
CARACTERIZACI3N MICROESTRUCTURA ANCHOVETA

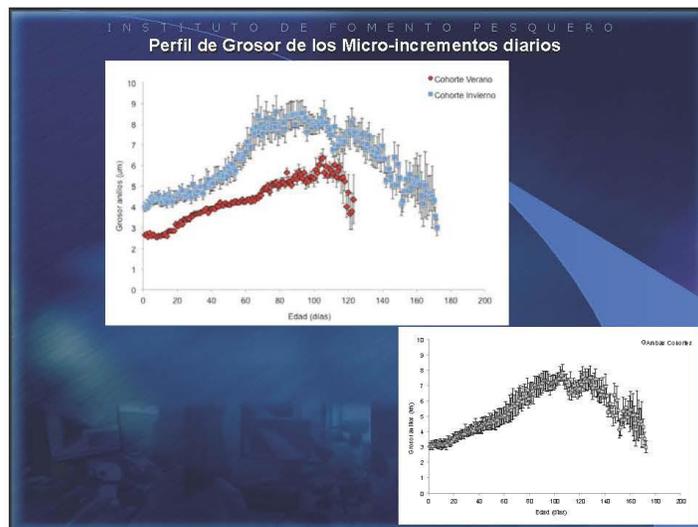
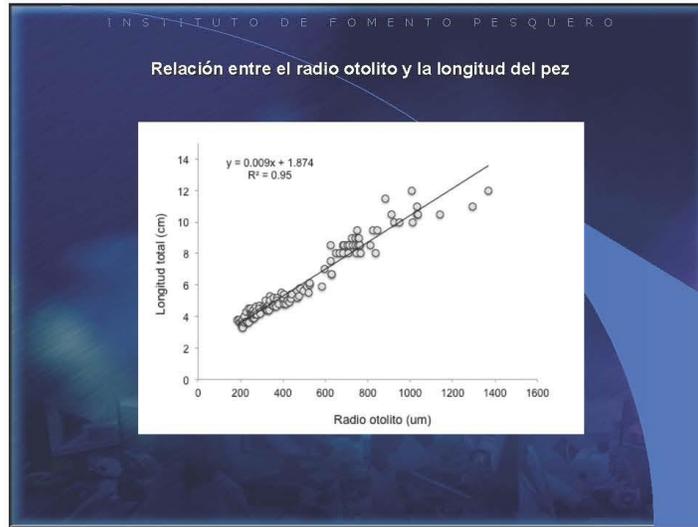
Estrato I

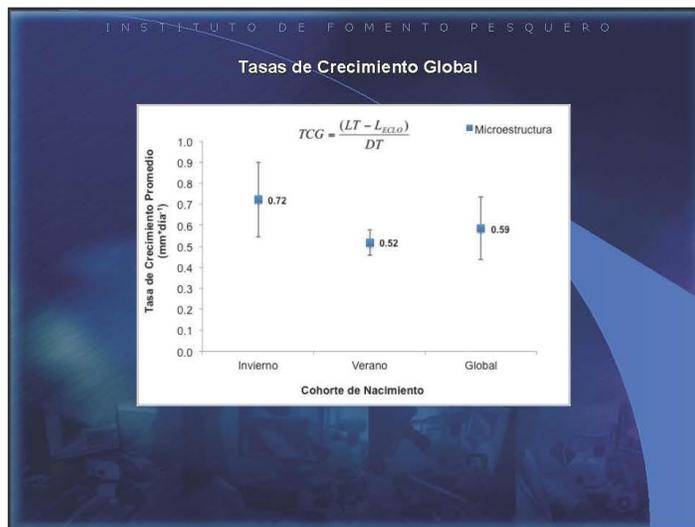
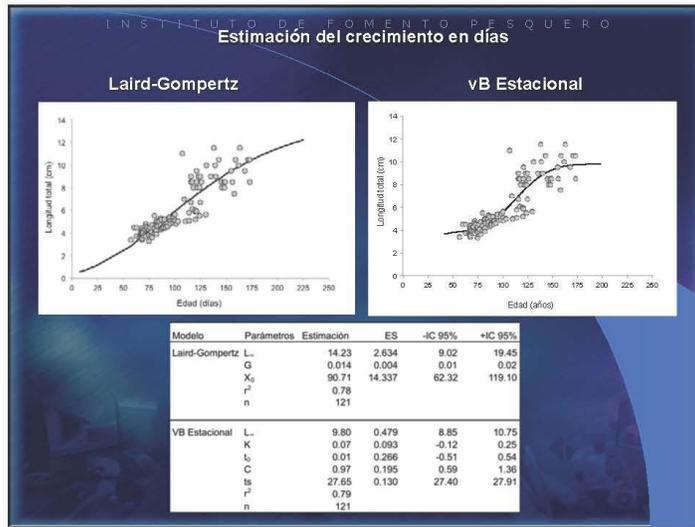
Los otolitos del Estrato I se caracteriza por presentar un alta resoluci3n de los microincrementos desde el primordio hasta el borde, los que pueden ser identificados y medidos en una sola direcci3n. En este estrato se analizaron peces entre 3,5 y 5,5 cm LT

Otolito de anchoveta perteneciente a un pez de 5 cm LT y 56 dıas. Corresponde a las cohortes nacidas en verano del 2013. La "P" indica el primordio del otolito.











INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

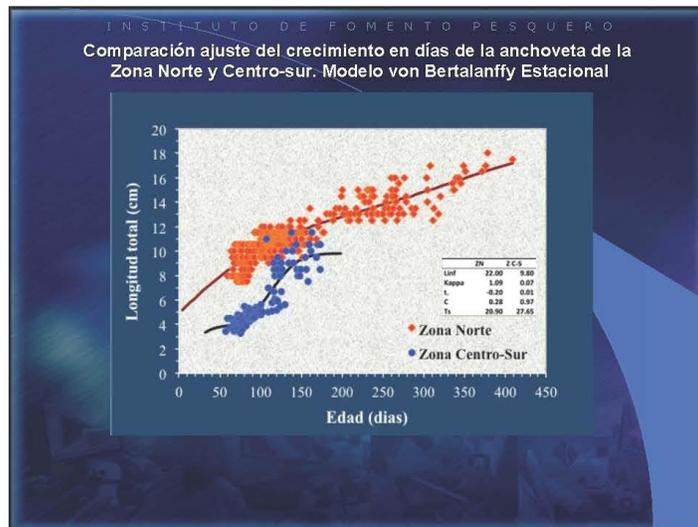
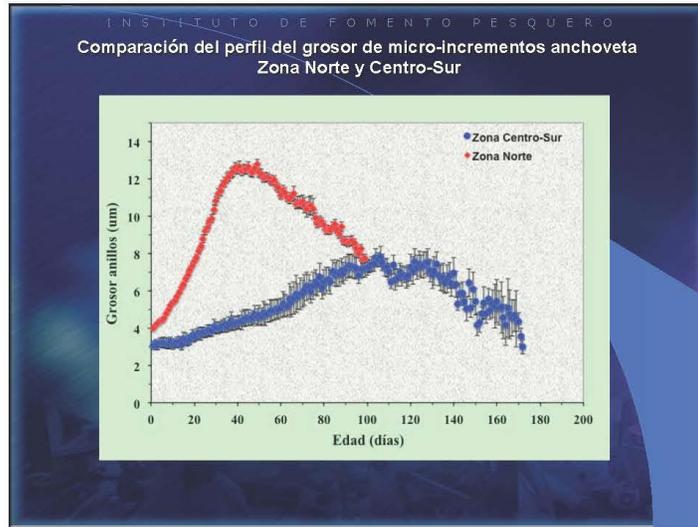
Comparaci3n Macro con Micro-estructura

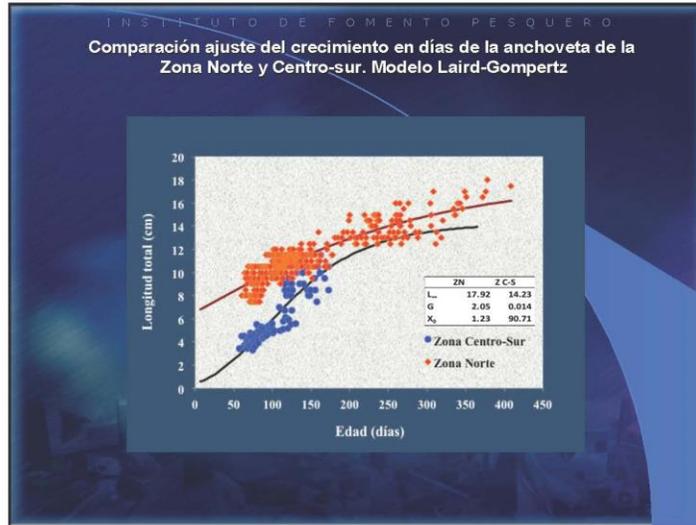
Ubicaci3n 1er Macro-anillo
Radio otolito: 880 -1292 μ m
Edad del pez: 107 - 173 dıas

Otolitos de anchoveta de 10.5 cm LT correspondiente a 173 y 171 dıas de edad a-b y c-d, respectivamente. La foto a y c corresponden al otolito entero en que se observa la formaci3n del primer macro-anillo translucido o hialino en el borde. En las fotos b y d) se aprecia la microestructura de estos anillos fotografıados con aumento 400X. En este caso particular el anillo translucido tiene 25 y 29 μ m de ancho en sector del recuadro rojo.

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

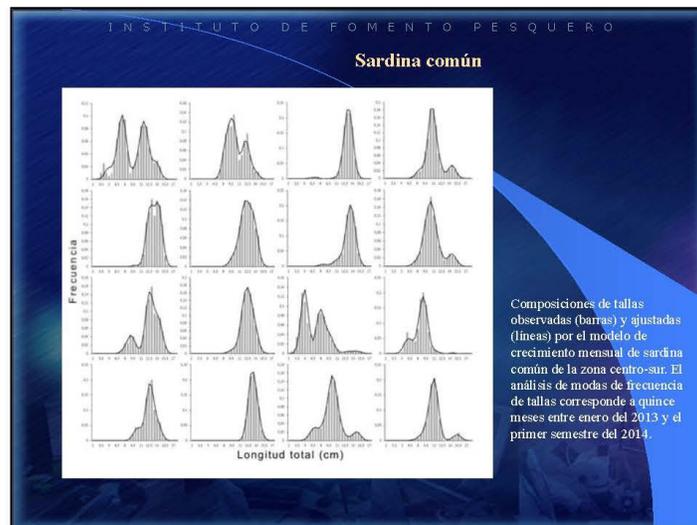
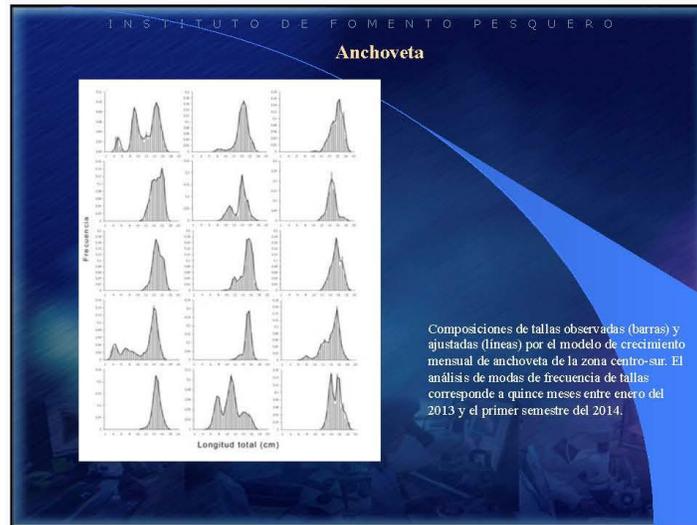
COMPARACI3N CRECIMIENTO ANCHOVETA ZONA NORTE VS CENTRO-SUR

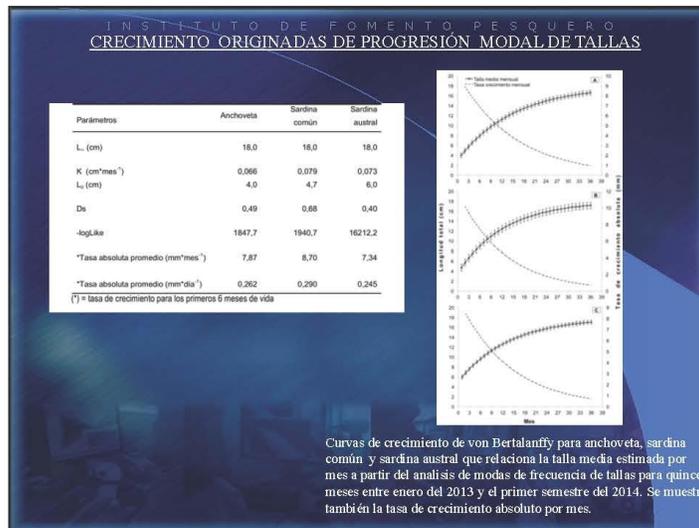
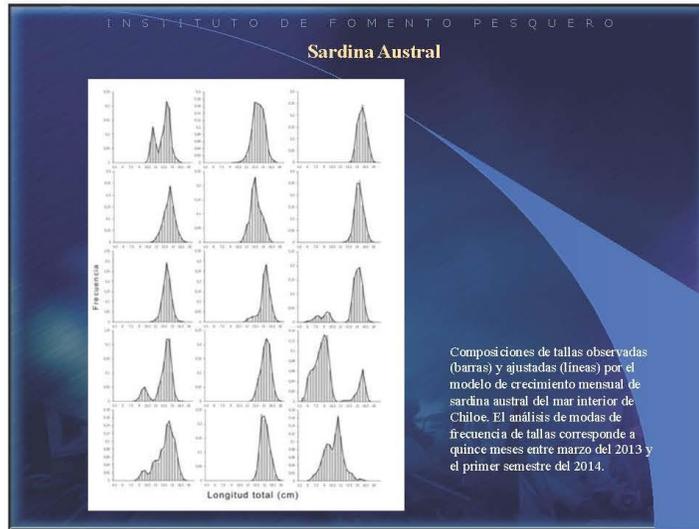




INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

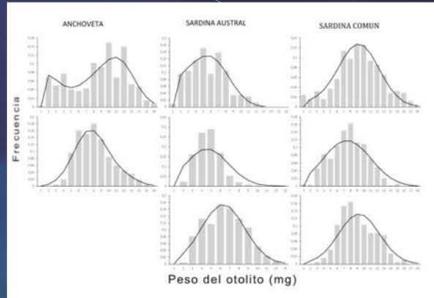
Análisis comparativo del crecimiento determinado por análisis de micro-incrementos de otolitos con metodologías alternativa.







ANÁLISIS DE PROGRESIÓN MODAL DE FRECUENCIA DE PESOS DE OTOLITOS



Composiciones de peso del otolito observadas (barras) y ajustadas (líneas) por el modelo de crecimiento mensual para anchoveta, sardina austral y sardina común. El análisis de modas de frecuencia de pesos corresponde a enero y marzo en anchoveta; abril, junio y septiembre en sardina austral y enero, febrero y marzo en sardina común, 2013.

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Parámetros de crecimiento estimados para anchoveta, sardina común y sardina austral en base a ajustes de modas de frecuencia de peso de otolitos mensuales. P_{∞} corresponde al peso asíntotico del otolito en mg; K es el coeficiente de crecimiento ($\text{mg} \cdot \text{año}^{-1}$); P_0 es el peso del otolito de la primera moda en mg; ds es la desviación estándar de las modas, $-\log\text{Like}$ es el logaritmo de la verosimilitud.

Parámetros	Anchoveta	Sardina común	Sardina austral
P_{∞} (mg)	4.5	1.8	1.4
K ($\text{mg} \cdot \text{mes}^{-1}$)	0.427	0.304	0.215
P_0 (mg)	0.3	0.1	0.3
ds	0.52	0.30	0.23
$-\log\text{Like}$	245.3	400.2	323.2
*Tasa absoluta promedio ($\text{mg} \cdot \text{mes}^{-1}$)	1.22	0.39	0.19
*Tasa absoluta promedio ($\text{mg} \cdot \text{día}^{-1}$)	0.041	0.013	0.006

(*) = tasa de crecimiento para los primeros 3 meses de vida



INSTITUTO **CONCLUSIONES** O PESQUERO

- Los micro-incrementos primarios de otolitos sagitales de anchoveta para ejemplares menores a 7 cm de LT presentaron una elevada resoluci3n, que permiti3 una dataci3n confiable y elevada reproducibilidad. Se demostr3 que el patr3n de dep3sito de micro-incrementos primarios en juveniles de entre 7 y 12 cm de LT fue m3s complejo.
- La anchoveta mostr3 una relaci3n lineal significativa entre el radio caudal del otolito y la longitud total de los ejemplares en diferentes estratos de tama1o. Esto es indicativo que existe una proporcionalidad entre el crecimiento de la estructura calc3rea y el crecimiento som3tico, lo que justifica la aplicaci3n de retro-3culo para las tres especies.
- La estimaci3n de fechas de nacimiento mostraron que los peces capturados en enero nacieron a finales de invierno durante el periodo de m3ximo desove (julio a Octubre). Por su parte los peces capturados en mayo nacieron en verano (enero a marzo).
- Entre la cohorte de invierno y verano se observan diferencias en la velocidad del crecimiento, evidenciada en el perfil de ancho de micro-incrementos. Los peces nacidos durante el pico m3ximo de desove (invierno) presentan un mayor crecimiento que aquellos nacidos en verano.
- Los datos edad (a1as) vs talla (cm) fueron ajustados a un modelo estacional y Gompertz. Los par3metros de crecimiento reportados por ambos modelos evidencian una menor tasa de crecimiento que las estimaciones realizadas para la anchoveta de la zona norte.
- La tasa de crecimiento de anchoveta de la zona centro-sur es mucho m3s baja, alrededor de la mitad con un TCG entre $0,52 \text{ mm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ a $0,72 \text{ mm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, que las reportadas para este mismo recurso en la zona norte, donde los valores de TCG varían entre $0,84$ y $1,2 \text{ mm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.
- Se determin3 que el primer macro-a1illo tiene una periodicidad menor al a1o de edad al igual que lo reportado para la anchoveta de la zona norte.
- Con los par3metros del modelo de crecimiento Gompertz se estim3 que a los 365 d1as la talla media fue de 13,9 cm LT.
- Las tasas de crecimiento derivadas del an3lisis de progresi3n modal de frecuencias de tallas y pesos del otolito no permitieron verificar la tasa de crecimiento estimada a trav3s de la lectura de micro-incrementos primarios en las tres especies. En este sentido el 3nico elemento duro de verificaci3n de las tasas de crecimiento observada en la microestructura es la validaci3n directa de la periodicidad de los microincrementos le1dos a trav3s de metodos directos, como son los experimentos en cautiverio y el marcaje y recaptura.

Presentación Sr. Guido Plaza Pasten:

P. Universidad Católica de Valparaíso



12/10/2014

Taller de Resultados

CARACTERIZACI3N DE LA HISTORIA DE VIDA DE ANCHOVETA, SARDINA COM3N Y SARDINA AUSTRAL DE LA ZONA CENTRO SUR

PROBLEMA

¿Cu3l es la estructura de edad a nivel diaria de los reclutas de sardina com3n y sardina austral en la zona centro sur de Chile

```
graph TD; Q[¿Cu3l es la estructura de edad a nivel diaria de los reclutas de sardina com3n y sardina austral en la zona centro sur de Chile] --> A[Asignar correctamente los pulsos de reclutamiento a grupos de edad]; Q --> B[Validar la formaci3n del primer anulo]; A --> C[Se puede determinar la fecha de nacimiento de los reclutas utilizando MO]; B --> D[Se podr3an identificar el n3mero de d3as a la formaci3n de 1er anulo usando MO];
```



12/10/2014

OBJETIVOS



Objetivo General:

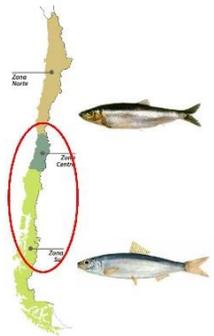
Caracterizar la historia de vida de anchoveta (*Engraulis ringens*), sardina común (*Strangomera bentinki*) y sardina austral (*Sprattus fuegensis*) de la Zona Centro Sur de Chile, a partir del análisis de microestructura de otolitos

Objetivos específicos:

Determinar la fecha de nacimiento, edad de reclutamiento y validar la periodicidad del primer macro anillo de crecimiento utilizando anillos primarios, en ejemplares menores e iguales a la talla de media de madurez.

Estimar el crecimiento y/o la tasa de crecimiento a partir del análisis de la microestructura de otolitos.

METODOLOGIA



Extracción de otolitos

4-12 cm LT

Procesados usando SGEM

otolitos de juveniles

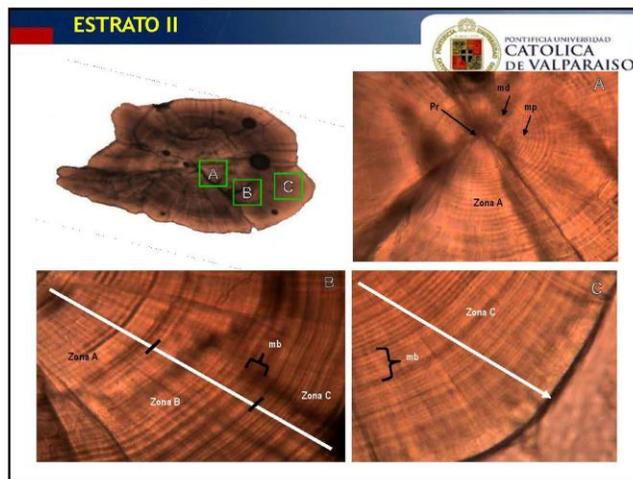


12/10/2014



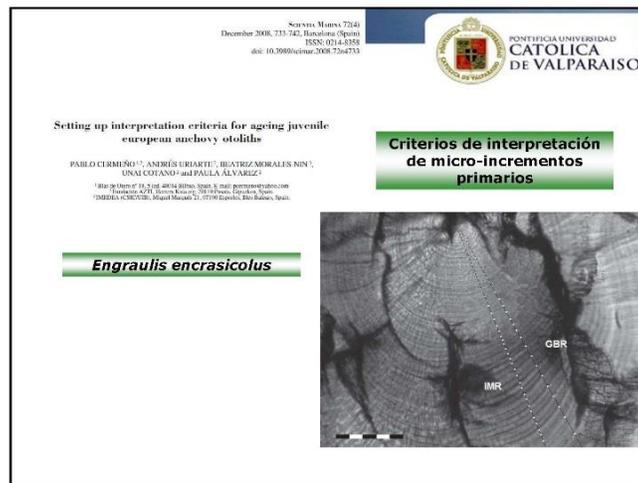
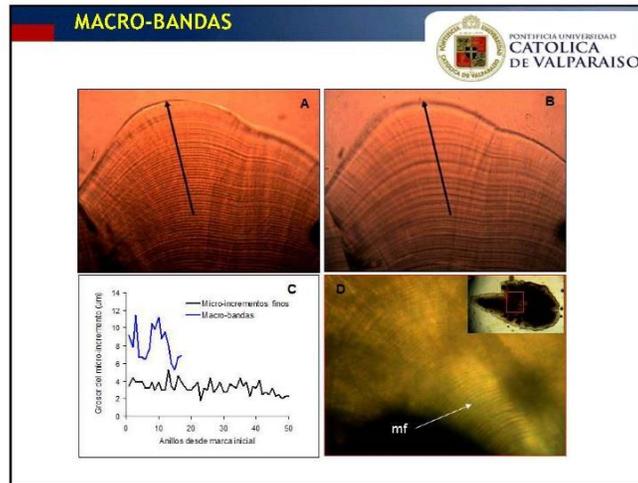


12/10/2014





12/10/2014





12/10/2014

Biol. Mar. Mediterr. (2011), 18 (1): 106-113

E. ARNERI^{1,2}, P. CARPI¹, F. DONATO¹, A. SANTOIANNI¹

¹Istituto di Scienze Marine CNR - Sede di Ancona,
Largo Fiera della Pesca - 60125 Ancona, Italia.

²FAO-AdriaMed/MedSudMed, Viale delle Terme di Caracalla - 00153 Roma, Italia.
enrico.arneri@fao.org

GROWTH IN SMALL PELAGIC FISHES AND ITS IMPLICATIONS
IN THEIR POPULATION DYNAMICS

LACCRESIMENTO NEI PICCOLI PELAGICI E LE SUE
IMPLICAZIONI NELLA DINAMICA DI POPOLAZIONE

Abstract - Growth of the two most important commercial species small pelagic fishes in Mediterranean (Engraulis encrasicolus and Sardina pilchardus) is reviewed in the various phase of the life history of these fishes. The impact of different assumptions regarding age determination and growth on natural mortality estimates and thus on population dynamics analysis is discussed.

Growth in small pelagic fishes and its implications in their population dynamics 109

growth in the bay of Biscay. It must also be added that the Adriatic study includes anchovy up to a maximum length of 6 cm, so the results between Adriatic and bay of Biscay are not directly comparable.

Although the way of counting daily increments on otoliths of juvenile anchovy is still an open question, the implications linked to the choice of using a higher (400×) or a lower (100×) magnification are rather striking when it comes to the estimate of the growth rate of these juveniles. According to the slow growth hypothesis (i.e. higher magnification, thinner and more numerous increments) of the Adriatic, juvenile anchovies reach on average a total length of 6 cm in about 90-100 days; whilst according to the "lower magnification, fast growth" hypothesis of the Bay of Biscay, in the same period a juvenile anchovy can attain a total length of 12-14 cm (Aldanondo *et al.*, 2011), with daily increments width up to 22,19 μm, and a maximum individual growth rate of 1.85 mm day⁻¹ against the 0.6 mm day⁻¹ of the Adriatic late-larvae/juveniles.



12/10/2014

Journal of Fish Biology (2014) 85, 9–18
doi:10.1111/jfb.12561, available online at www.blackwell-sydney.com

Validation of daily microincrement deposition in otoliths of juvenile and adult Peruvian anchovy *Engraulis ringens*
G. PLAZA* AND E. CRESNA†

*Facultad de Ciencias del Mar, Facultad de Recursos Acuáticos, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Avenida Almirante 1500, Valparaíso, Chile and †División de Investigación Pesquera, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Meda Blanco Escondida 876, Valdivia, Chile

(Received 18 January 2014, Accepted 25 September 2014)

En ausencia de un estudio de validación, en el presente estudio se aplicó el método de IMR

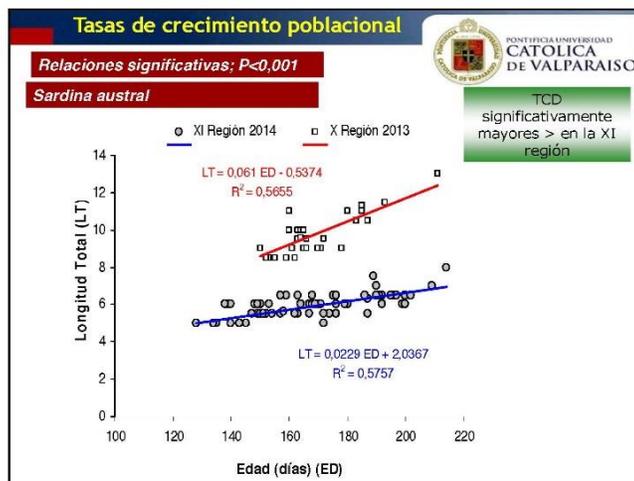
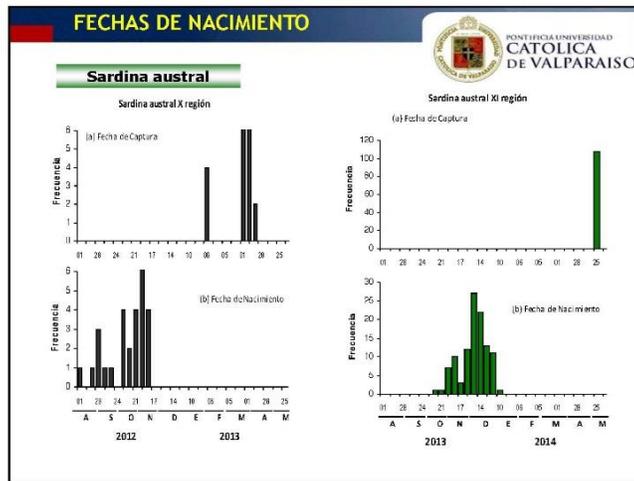
400X

Después de un trabajo de preparación y posterior digitalización y lectura, las secciones de mayor resolución fueron utilizadas para análisis

Sardina común= 135 **Sardina austral= 137**

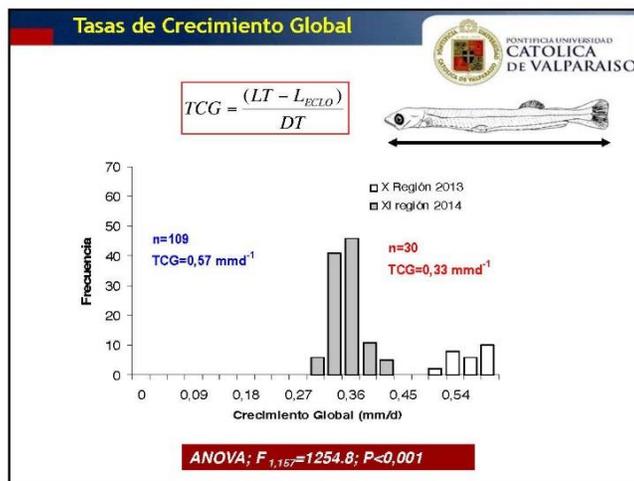
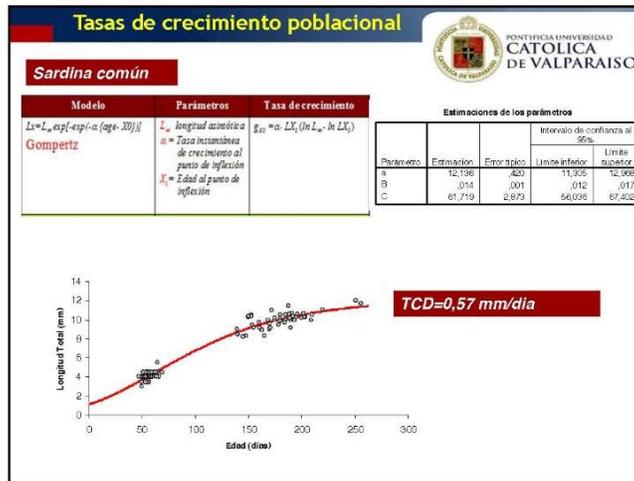


12/10/2014



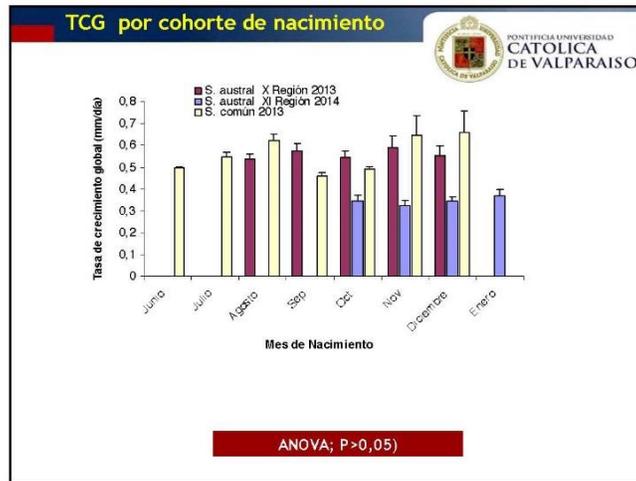


12/10/2014



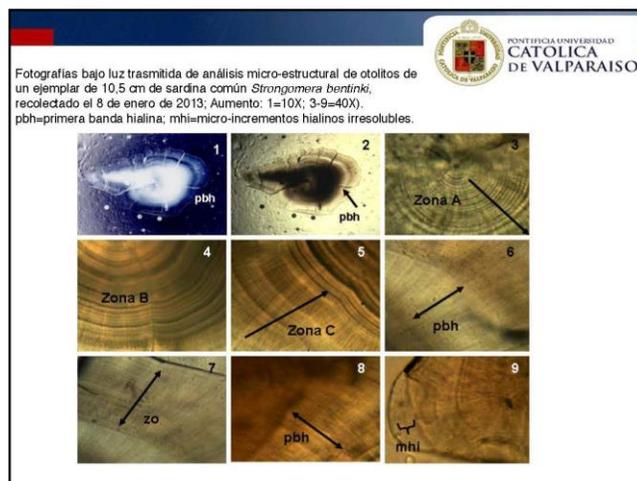


12/10/2014



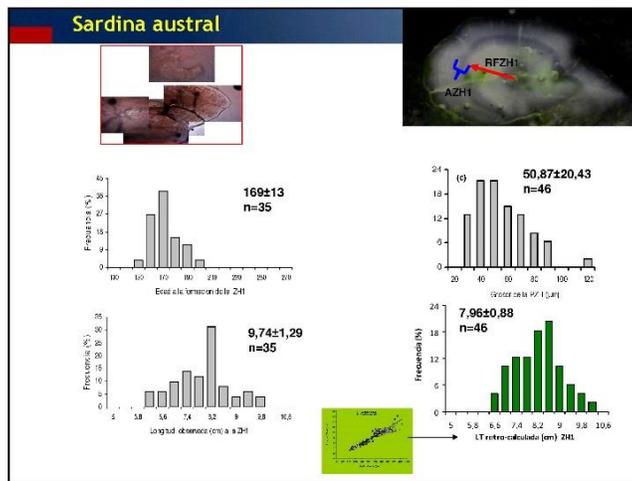
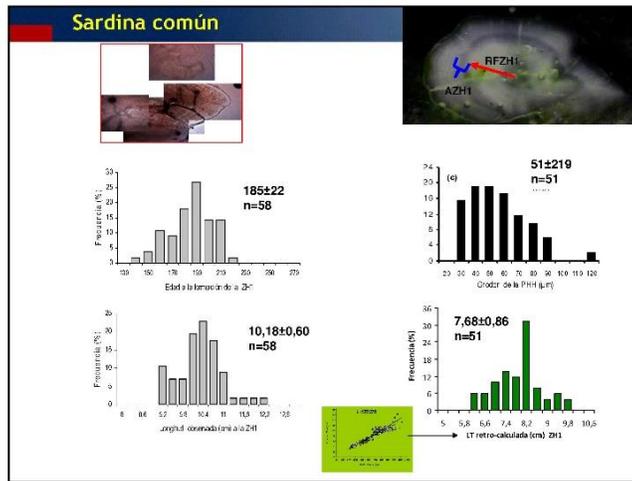


12/10/2014

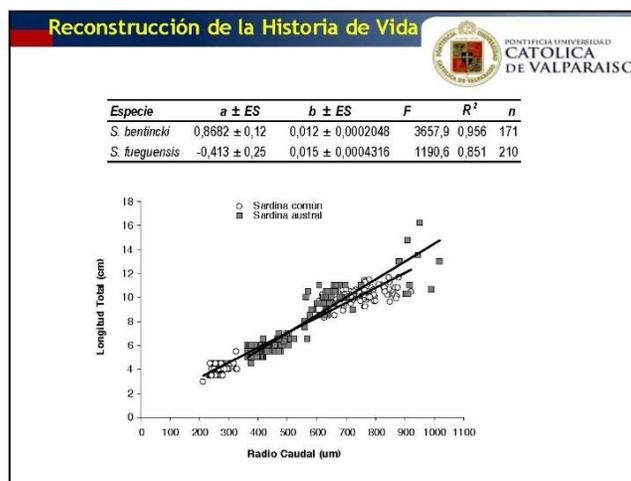
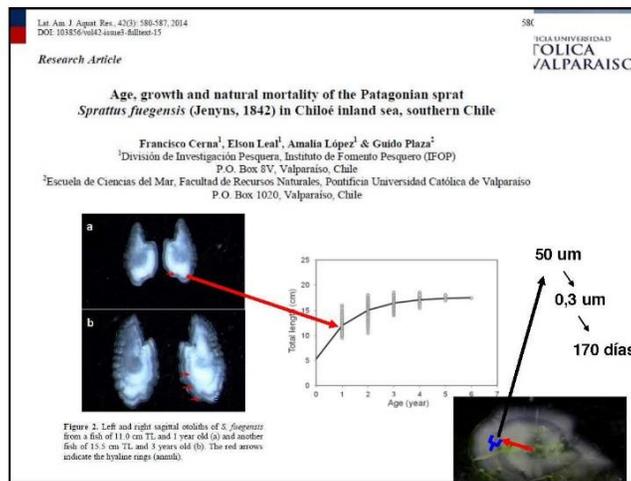




12/10/2014

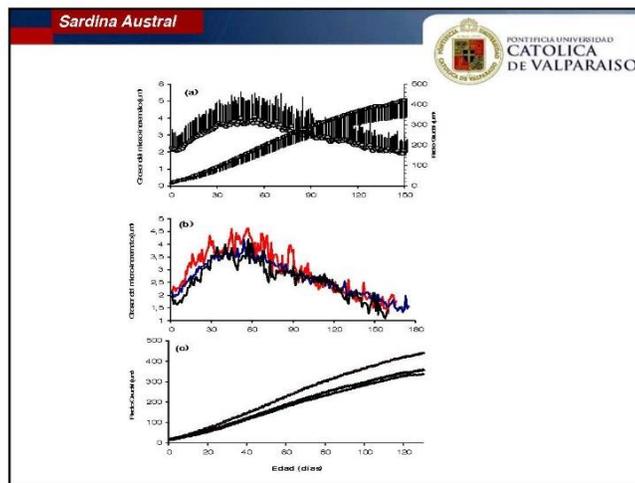
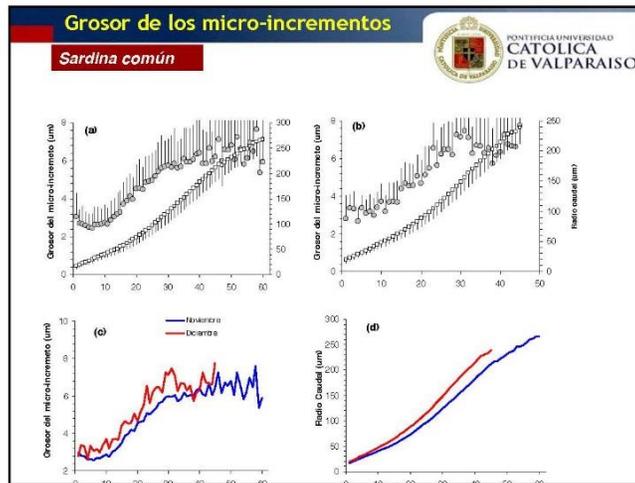


12/10/2014





12/10/2014





12/10/2014

HALLAZGOS PRINCIPALES



- ❖ Se demostró que el patrón de depósito de micro-incrementos primarios en juveniles de entre 6 y 12 de LT mostró la característica presencia de patrón de crecimiento de bandas GBR y de micro-incrementos de menor grosor (IMR), reportados para otras especies de clupeoideos.
- ❖ La distribución de fechas de nacimiento determinadas a través del método IGR coincidió con la época de desove, otorgando la primera evidencia de validación indirecta para la aplicación de este método para determinación de edad diaria en estas especies.
- ❖ Mediante la aplicación del método IMR se logró determinar que ambas especies reclutan a la pesquería en un promedio de 6 meses a partir de la estación de desove.
- ❖ Para el rango de LT de entre 4 y 12 cm LT de la sardina común, la relación edad-talla fue significativamente explicada por un modelo Laird-Gompertz, que estimó una tasa máxima al punto de inflexión de $0,57 \text{ mmd}^{-1}$.

HALLAZGOS PRINCIPALES



- ❖ Para la sardina austral la relación talla-edad fue explicada significativamente por un modelo lineal, que estimó tasas de crecimiento significativamente mayores para ejemplares recolectados en la X y la XI región para los años 2013 y 2014, respectivamente.
- ❖ La zona hialina se formó a edades promedios de 169 y 185 días para ejemplares de entre 9,7 y 10 cm LT para sardina austral y sardina común respectivamente, donde la ausencia de micro-incrementos en la primera zona hialina, estaría indicando que correspondería al primer anulo para ambas especies.
- ❖ En ambas especies estudiadas se demostró la existencia una relación lineal significativa entre el radio caudal del otolito y la longitud total de los ejemplares lo que es indicativo que existe una proporcionalidad entre el crecimiento de la estructura calcárea y el crecimiento somático.
- ❖ El perfil de grosor de los micro-incrementos mostró evidencias preliminares de cambios en el crecimiento a mediada que la estación de desove transcurre para la primera parte de la historia de vida, particularmente de la sardina común.



12/10/2014

GBR VS IMR												
ID	Fecha_cap	FN_GBR	FN_IMR	GBR					IMR			
				ZL	ZT	ZH_1	Z0+ZH2	Age	ZL	ZT	Age	TIPO
SC_230513_L44_19	23-05-2013	10-02-2013	02-12-2012	82	15	5	20	102	62	110	172	1
SC_160513_L30_01	16-05-2013	07-02-2013	07-11-2012	60	38			98	60	130	190	2
SC_230513_L44_05	23-05-2013	21-01-2013	09-11-2012	75	47			122	75	120	195	2
SC_230513_L44_10	23-05-2013	10-01-2013	24-12-2012	80	20	7	26	133	80	70	150	1
SC_230513_L44_01	23-05-2013	20-01-2013	16-11-2012	85	38			123	85	103	188	2
SC_230513_L44_18	23-05-2013	09-01-2013	08-11-2012	94	40			134	94	102	196	2
SC_130513_L44_09	13-05-2013	27-01-2013	11-12-2012	73	12	6	15	106	73	80	153	1
SC_230513_L44_13	23-05-2013	08-02-2013	02-11-2012	61	43			104	61	141	202	2
SC_230513_L44_14	23-05-2013	13-01-2013	05-10-2012	90	40			130	90	140	230	2
SC_230513_L44_12	23-05-2013	16-02-2013	12-11-2012	60	36			96	60	132	192	2
SC_230513_L37_22	23-05-2013	25-01-2013	13-12-2012	70	48			118	70	91	161	2
SC_230513_L33_02	23-05-2013	13-02-2013	14-11-2012	67	32			99	67	123	190	2
SC_170513_L33_10	17-05-2013	07-02-2013	09-11-2012	69	30			99	69	120	189	2
SC_170513_L33_05	17-05-2013	01-02-2013	08-12-2012	70	35			105	70	90	160	2
SC_170513_L33_07	17-05-2013	27-01-2013	20-10-2012	73	37			110	73	136	209	2
SC_170513_L33_14	17-05-2013	02-02-2013	08-09-2012	64	40			104	64	187	251	2
SC_170513_L33_06	17-05-2013	11-02-2013	18-12-2012	70	25			95	70	80	150	2
SC_170513_L33_12	17-05-2013	13-02-2013	03-12-2012	88	25			93	88	97	165	2

ANEXO II

Plan detallado HH por objetivo específico
FIP N° 2013-19



Plan detallado de asignación de personal profesional y técnico (HH): FIP N° 2013-19

Objetivo general

IFOP	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
F. Cerna			84	120	120	45	45	26	135	575
G. Moyano		247		64	50			24	110	495
A. Lopez		256		48				16		320
C. Machuca		256		48				16		320
JC. Saavedra						30	30		15	75
V. Valdebenito	100									100
G. Muñoz	100									100
NN Obs. Cient. 1	400									400
NN Obs. Cient. 2	480									480
NN Investigador		960	40	65	40	97	96	24	127	1449
Total	1080	1719	124	345	210	172	171	106	387	4314

PUCV	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
G. Plaza		50	100	150	150	30	30	30	145	685
A. Hernandez		1000	65	65				10	10	1150
O. Olguín		1000	65	65				10		1140
Técnico NN		1440								1440
Técnico NN		1440								1440
Total		4930	230	280	150	30	30	50	155	5855

IFOP	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
PUCV										
Total	1080	6649	354	625	360	202	201	156	542	10169



Objetivo específico 2.1

IFOP	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
F. Cerna			84					10	45	139
G. Moyano		247						24	74	345
A. Lopez		256						6		262
C. Machuca		256						6		262
JC. Saavedra										
V. Valdebenito	100									100
G. Muñoz	100									100
NN Obs. Cient. 1	400									400
NN Obs. Cient. 2	480									480
NN Investigador		960	40					24	80	1104
Total	1080	1719	124					70	199	3192

PUCV	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
G. Plaza		50	100					10	45	205
A. Hernandez		1000	65	65				10	10	1150
O. Olguin		1000	65	65				10		1140
Técnico NN		1440								1440
Técnico NN		1440								1440
Total		4930	230	130				30	55	5375

IFOP	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
PUCV										
Total	1080	6649	354	130				100	254	8567



Objetivo específico 2.2

IFOP	ACTIVIDAD								TOTAL	
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres		Informes
PERSONAL										
F. Cerna				120	120			8	40	288
G. Moyano				64	50				11	125
A. Lopez				48				5		53
C. Machuca				48				5		53
JC. Saavedra										
V. Valdebenito										
G. Muñoz										
NN Obs. Cient. 1										
NN Obs. Cient. 2										
NN Investigador				65	40				20	112
Total				345	210			18	71	631

PUCV	ACTIVIDAD								TOTAL	
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres		Informes
PERSONAL										
G. Plaza				150	150			10	50	360
A. Hernandez										
O. Olguín										
Técnico NN										
Técnico NN										
Total				150	150			10	50	360

IFOP	ACTIVIDAD								TOTAL	
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres		Informes
PUCV										
Total				495	360			28	121	991



Objetivo específico 2.3

IFOP	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
F. Cerna						45	45	8	50	148
G. Moyano									25	25
A. Lopez								5		5
C. Machuca								5		5
JC. Saavedra						30	30		15	75
V. Valdebenito										
G. Muñoz										
NN Obs. Cient. 1										
NN Obs. Cient. 2										
NN Investigador						97	96		27	220
Total						172	171	18	117	478

PUCV	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
G. Plaza						30	30	10	50	120
A. Hernandez										
O. Olguín										
Técnico NN										
Técnico NN										
Total						30	30	10	50	120

IFOP	ACTIVIDAD									TOTAL
	Diseño de muestreo y régimen operacional	Preparación de otolitos para análisis micro-estructural	Análisis de la información derivada de la micro-estructura de otolitos	Análisis de información asociados al ajuste de modelos talla-edad	Análisis de edad y crecimiento en ejemplares mayores a la talla de madurez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivada de la talla del pez	Comparación entre micro-estructura y metodologías alternativas derivadas del peso del otolito	Talleres	Informes	
PUCV										
Total						202	201	28	167	598

ANEXO III

Base de Datos FIP N° 2013-19
(Incluida en el CD presentado al comienzo del documento)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl