



INFORME FINAL

PROYECTO FIPA 2021-21

Actualización de información asociada a edad y crecimiento de
Jurel (*Trachurus murphy*), en el contexto de la OROP-PS

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA Y ACUICULTURA 02-2023



INFORME FINAL
Actualización de información asociada a edad
y crecimiento de jurel, en el contexto de la OROP-PS
FIPA 2021-21 / FEBRERO 2023

REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA Y
ACUICULTURA-FIPA
Presidente Consejo de Investigación Pesquera y
Acuicultura
Rafael Hernández Vidal
EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Gonzalo Pereira Puchy

Jefe División Investigación Pesquera
Carlos Montenegro Silva

JEFE DE PROYECTO
José Francisco Cerna Troncoso

AUTORES
IFOP

José Francisco Cerna Troncoso
Camilo Rodríguez Valentino
Christian Valero Beretta
Guillermo Moyano Altamirano
Lizandro Muñoz Rubio

PUCV
Guido Plaza Pasten
Jorge Contreras



Lista de autores por institución junto con la descripción de la función realizada.

Institución a la que pertenece	Nombre del autor	Función desarrollada
Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)	José Francisco Cerna T.	Dirección del proyecto, conducción talleres criterios de lectura, lectura de otolitos, estimación de parámetros de crecimiento, mortalidad natural y redacción de informe.
	Camilo Rodríguez V.	Elaboración colección de referencia, participación en talleres criterios de lectura, lecturas de otolitos, redacción de resultados objetivo 1 y 2.
	Cristian Valero B	Participación en talleres criterios de lectura, lecturas de otolitos, transformación claves edad-tallas históricas, redacción de resultados objetivo 3.
	Guillermo Moyano A.	Elaboración colección de referencia, participación en talleres criterios de lectura, lecturas de otolitos, estimación de madurez a la edad, redacción de resultados objetivo 3.
	Lizandro Muñoz R.	Participación en talleres criterios de lectura, lecturas de otolitos.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)	Guido Plaza P.	Dirección del objetivo 5, participación en talleres criterios de lectura, lectura micro-estructura de otolitos, redacción resultados objetivo 5 del informe.
	Jorge Contreras	Preparación de otolitos, lectura de micro-incrementos diarios.
Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA)	Aquiles Sepúlveda	Participa en talleres de coordinación y talleres internos de INPESCA
	Marcia Neira S.	Participa en talleres de coordinación Participa en taller de definición criterios de lectura, lectura de otolitos. Participa en taller de expertos nacionales e internacionales
	Evelin Sanhueza A	Participa en taller de definición criterios de lectura, lectura de otolitos. Participa en taller de expertos nacionales e internacionales
	Lilian Cisterna A.	Participa en taller de definición criterios de lectura, lectura de otolitos. Participa en taller de expertos nacionales e internacionales
Universidad Arturo Prat (UNAP)	Miguel Araya C.	Asesor experto en edad Participa en taller de definición criterios de lectura, lectura de otolitos. Participa en taller de expertos nacionales e internacionales



RESUMEN EJECUTIVO

Se generó una colección de referencia compuesta por 521 pares de otolitos provenientes de las tres macrozonas de pesca de Chile, Arica-Antofagasta, Caldera-Coquimbo y San Antonio-Guaitecas colectados el 2007 y 2009. En esta colección el otolito izquierdo se conservó entero y el derecho una sección transversal. Junto a la base de datos biológico y lectura de edad. La colección incluye las fotografías de cada par de otolitos.

Se generó un nuevo procedimiento de lectura de otolitos de jurel que considera las últimas evidencias de validación. Este procedimiento se presenta en el protocolo de lectura de edad de jurel y el catálogo de otolitos para la interpretación de anuli de jurel. Este procedimiento de lectura fue utilizado para la homologación de los criterios de lectura de otolitos de jurel entre los laboratorios de Chile (IFOP e INPESCA). Los ejercicios de reproducibilidad de la edad de jurel realizado por lectores de ambas instituciones, analizando secciones trasversales del otolito derecho, mostraron bajos porcentajes de error promedio y bajo sesgo para el caso particular de los lectores con más experiencia en lectura de otolitos de jurel. Existiendo un avance significativo en el trabajo de homologación de los criterios de lectura de edad de jurel.

Se reconstruyó la serie de estructura de edad de la captura por trimestre y zona para el periodo comprendido entre 1980 y 2021. La estructura de edad de la captura histórica, basada en los nuevos criterios de edad validados, se caracteriza por una menor cantidad de los grupos de edad, cuya distribución se desplazó hacia ejemplares de menor edad. Esta nueva serie de captura por grupo de edad permite registrar con mayor claridad el ingreso de las nuevas clases anuales.

Se estimó la edad media de madurez utilizando datos de histología y lecturas de edad de los mismos peces, registrados el 2011 por Leal et al. (2013). La nueva edad



media fue 1,5 años menor que la estimada anteriormente por este autor. De acuerdo con la actual lectura de edad, el 50% de la población de jurel comienza a desovar cuando cumple un año de vida.

Se estimaron los parámetros de crecimiento a partir de la lectura de edad empleando los nuevos criterios en secciones transversales de otolitos ($L_{\infty} = 56,94$ cm LH, $K = 0,17 \text{ año}^{-1}$ y $t_0 = -2,33$ años). Estos parámetros estiman tallas medias a la edad más altas que las descritas en trabajos anteriores. A su vez, estimaciones de mortalidad natural con modelos empíricos que usan los parámetros de crecimiento y edad máxima, oscilaron entre $0,25$ y $1,37 \text{ años}^{-1}$.

En el presente estudio se llevó a cabo un análisis de la micro-estructura de otolitos sagitales de ejemplares del jurel (*Trachurus murphy*) de entre 21 y 50 cm de longitud de horquilla (LH), utilizando microscopía de campo claro y microscopía electrónica de barrido. Los otolitos fueron procesados utilizando técnicas estandarizadas de la disciplina. Los resultados evidenciaron que las secciones micro-estructurales de otolitos del jurel permitieron determinar edad a nivel diario, reportándose rangos de edad de entre 335 y 1003 días para ejemplares de entre 21 y 32 cm. El modelo talla-edad evidenció un crecimiento significativo con tasas de $0,18 \text{ mmdía}^{-1}$, y $1,6 \text{ mmdía}^{-1}$, mediante el ajuste de un modelo lineal y Laird-Gompertz, respectivamente para el mismo rango etario. Otros resultados fueron la existencia de relaciones lineales significativas en las relaciones edad vs radio caudal y LH vs radio caudal. Un análisis de quiebres estructurales para ejemplares en el límite superior de LH datados, evidenció que existieron transiciones significativas en el grosor en todos los ejemplares, predominado una fase juvenil de mayor crecimiento, que se diferenció de los ciclos del primer y segundo año. Todos estos resultados demuestran que esta especie mantiene un crecimiento sustantivo durante el segundo y tercer año, que corresponde aproximadamente a un tercio, del alcanzado en la fase de crecimiento rápida del jurel del primer año, validado en estudios previos. Para ejemplares



mayores 33 cm de longitud de horquilla la micro-estructura no fue resoluble para determinaci3n de edad a nivel diario para esta especie.

EXECUTIVE SUMMARY

A reference collection composed of 521 pairs of otoliths from the three Chilean fishing macrozones, Arica-Antofagasta, Caldera-Coquimbo and San Antonio-Guaitecas, collected in 2007 and 2009, was prepared. In this collection the left otolith was preserved whole and the right one was stored as a cross section. The collection includes photographs of each pair of otoliths linked to a biological database containing age reading records.

A new jack mackerel otolith reading procedure was developed based on the latest validation evidence as well as the results of objective 5 of the present study. This procedure is presented in the jack mackerel age reading protocol and the otolith catalog for the interpretation of jack mackerel annuli. This reading procedure was used to homologate the jack mackerel otolith reading criteria between the Chilean laboratories (IFOP and INPESCA). The reproducibility exercises of the age of jack mackerel carried out by readers from both institutions, analyzing transverse sections of the right otolith, showed low average error percentages and low bias, particularly among readers with expertise in ageing jack mackerel otoliths. This outcome represents a significant progress in the work of homologation ageing reading criteria.

The age structure series of catches by quarter and zone was reconstructed for the period between 1980 and 2021. The historical series of age structure of catches,



supported by the new validated age criteria, was characterized by a decrease in age groups, moving the abundance distribution to the left, i.e., towards the younger age groups. This new series of age structure of catches synchronize well with the new annual classes.

The mean age at maturity was estimated using histology data and age readings from the same fish, recorded in 2011 by Leal et al. (2013). The new mean age was 1.5 years lower than previous estimated by this author. According to the current age reading criteria, 50% of the jack mackerel population begins to spawn when they are one year old. Growth parameters were estimated from the age reading using the new criteria in transverse sections of otoliths ($L_{\infty} = 56.94$ cm LH, $K = 0.17$ and $t_0 = -2.33$). These parameters estimate higher mean sizes at age than those described in previous works. In addition, estimates of natural mortality with empirical models, with the new growth parameters and maximum age estimated, ranged between 0.25 and 1.37 years⁻¹.

In the present study, an analysis of the microstructure of sagittal otoliths of jack mackerel specimens between 21 and 50 cm fork length (LH) was carried out, using light microscopy and scanning electron microscopy. The otoliths were processed using standardized techniques of the discipline. The results showed that the microstructural sections of jack mackerel otoliths allowed daily age determination, evidencing age ranges between 335 and 1003 days for fish between 21 and 32 cm fork length (FL). Age-at-length models showed significant growth, with rates of 0.18 mmday⁻¹, and 1.6 mmday⁻¹, when linear and Laird-Gompertz model were used, respectively. Other results were the existence of significant linear relationships between age vs. postrostral radius (PR) and FL vs PR. An analysis of structural breaks for specimens at the upper limit of length dated, showed that there were significant transitions in increment width, predominating a juvenile phase of higher



growth, which differed from the cycles of the first and second year. The results demonstrate that this species maintains a substantial growth during the second and third years, which corresponds to approximately one third of that register in the fast growth phase of jack mackerel in the first year old, validated in previous studies. For fish larger than 33 cm FL, the otolith microstructure showed a bad resolution for daily age determination.



2. 3NDICE GENERAL

	P3gina
1. RESUMEN EJECUTIVO -----	4
2. 3NDICE GENERAL -----	9
3. 3NDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS -----	11
4. INTRODUCCI3N-----	24
5. OBJETIVOS GENERAL -----	28
6. OBJETIVOS ESPEC3FICOS -----	28
7. ANTECEDENTES -----	29
8. METODOLOG3A -----	33
8.1 Metodolog3a para objetivo espec3fico 6.1-----	33
8.1.1 Selecci3n de otolitos para colecci3n de referencia -----	33
8.1.2 Preparaci3n de secciones y toma de im3genes -----	34
8.2 Metodolog3a para objetivo espec3fico 6.2-----	37
8.2.1 Metodolog3a estimaci3n de precisi3n de la edad-----	38
8.3 Metodolog3a para objetivo espec3fico 6.3 -----	40
8.3.1 Reconstrucci3n de las matrices de captura a la edad hist3ricas -----	41
8.3.1 Reconstruir ojivas de madurez a la edad -----	50
8.4 Metodolog3a para objetivo espec3fico 6.4-----	51
8.4 Estimaci3n de mortalidad natural-----	53
8.4 Metodolog3a para objetivo espec3fico 6.5-----	54
8.4.1 Antecedentes considerados para este objetivo -----	54
8.4.2 Muestras disponible -----	58
8.4.3 Digitalizaci3n de otolitos enteros-----	58
8.4.4 Preparaci3n de muestras para an3lisis micro-estructural-----	59
8.4.5 Proceso de digitalizaci3n y registro de secciones micro-estructurales	60
8.4.6 Precisi3n de las lecturas -----	62
8.4.7 An3lisis estructural de series de grosores-----	62



9.	RESULTADOS	63
9.1	Colecci3n de referencia de otolitos	63
9.1.1	Procedimiento de preparaci3n de las secciones transversales	66
9.2	Generar los cat3logos gr3ficos a partir de la colecci3n de referencia de otolitos validados por lectores experimentados	71
9.2.1	Descripci3n de los procedimientos de lectura de otolitos	71
9.2.2	An3lisis de precisi3n de la edad	82
9.3	Reconstruir las claves talla-edad hist3ricas, matrices de captura, pesos medios y ojiva de madurez a la edad	87
9.3.1	Reconstrucci3n de las matrices de captura a la edad hist3ricas	87
9.3.2	Reconstruir ojiva de madurez a la edad	91
9.4	Estimar los par3metros de crecimiento y mortalidad natural a partir de las nuevas lecturas	92
9.4.1	Estimaci3n de los par3metros de crecimiento	92
9.4.3	Estimaci3n de la mortalidad natural (M)	96
9.5	Determinaci3n de edad del Jurel en ejemplares adultos (2+)	97
9.5.1	Microestructura de otolitos de ejemplares < 25 cm	97
9.5.2	Microestructura de otolitos de ejemplares entre 26 y 32 cm de LH	100
9.5.3	An3lisis de cambios estructurales en series de perfiles de grosores	104
9.5.4	Relaciones Edad vs Longitud	106
9.5.5	Edad diaria con microscop3a 3ptica vs electr3nica	109
9.5.6	Relaciones Edad vs Radio Caudal y Radio Caudal vs LH	110
10.	DISCUSI3N	111
11.	CONCLUSIONES	123
12.	REFERENCIAS BIBLIOGR3FICAS	126



3. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

FIGURAS

- Figura 1.** A) Curva que ajusta la longitud horquilla del pez (cm) con la edad en días de juveniles de *Trachurus murphyi* que estima una talla media de 22 cm LH a los 365 días de vida. B) Relación lineal entre la lectura anual de otolitos enteros de acuerdo al criterio convencional con la edad en días desde la lectura de micro-incrementos primarios para el mismo otolito (tomado de Cerna *et al.* 2016).
- Figura 2.** Relación entre la cronología del nivel de radiocarbono del halibut usada como cronología de referencia de los niveles de radiocarbono del Pacífico (curva punteada) y las estimaciones de calicut radiocarbono del núcleo de los otolitos de jurel con fecha de nacimiento calculada a partir de la estimación de la edad en otolitos enteros (tomada de Cerna *et al.* 2016).
- Figura 3.** A) Modelo Gompertz ajustados a la relación edad vs longitud horquilla para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH de jurel; B) relación logarítmica entre la edad y el tamaño el otolito. Las líneas rojas indican la longitud del pez y radio medio del otolito a los 365 días de vida (tomado desde Araya *et al.* 2019).
- Figura 4.** Diagrama del proceso de selección y preparación de la colección de referencia de otolitos de jurel.
- Figura 5.** Muestra los dos principales equipos que se usarán en la preparación de secciones transversales del otolito de jurel. A) Horno de secado Binder ED115, B) máquina de corte de alta velocidad marca Struers



Secotom.

- Figura 6.** Muestra el sistema de an3lisis de imagen equipado con el software Image-Pro Premier (mediacybernetics), que ser3 utilizado para tomar las im3genes de los otolitos de la colecci3n de referencia y hacer lecturas de las mismas.
- Figura 7.** Diagrama del proceso que se aplicar3 para la elaboraci3n de protocolo de lectura de jurel y cat3logo gr3fico de otolitos, a partir de la colecci3n de referencia y los talleres de trabajo de expertos nacionales e internacionales.
- Figura 8.** Esquema explicativo del proceso de correcci3n de la lectura hist3rica del jurel seg3n los resultados obtenidos de la validaci3n. Otolito de la derecha muestra el criterio de lectura hist3rico y otolito de la izquierda la lectura considerando la validaci3n de la edad, que considera el primer y tercer anillo, del criterio hist3rico, como falsos.
- Figura 9.** 3ndice de la rutina disponible en *RPubs* construida en el programa estad3stico R (<https://cran.r-project.org>), que permitir3 modificar la serie hist3rica de la estructura de edad de las capturas de jurel, ya que con esta se puede manipular y analizar bases de datos grandes de manera eficaz y r3pida.
- Figura 10.** Estructura de edad de la captura para toda la serie acumulada entre 1980 y 2021, elaboradas a partir de la edad estimada con el criterio de lectura antiguo y el validado.



- Figura 11.** Comparación entre la macro y micro-estructura de un ejemplar de jurel (*Trachurus murphy*), de 23 cm de LH, recolectado en la costa chilena durante el año 2009. Las flechas rojas y azules indican la exacta correspondencia entre la macro y microestructura de la primera (banda de invierno) y segunda banda hialina (anulo formado en primavera). Las estrellas indican las discontinuidades hialinas finas a nivel micro-estructural. Figura reproducida de Araya et al (2019).
- Figura 12.** Fotografía ilustrativa del proceso de registro de las dimensiones del radio y grosor de las bandas opacas y hialinas, de un otolito sagital de un ejemplar de 23 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, durante el desarrollo del presente proyecto. Las mediciones fueron llevadas con el módulo “Caliper” del analizador de imágenes Image Pro-Plus. Los números representan el número de potenciales ámulos (r1, r2 & r3; opacos) y las letras los grosores de las bandas hialinas y opacas.
- Figura 13.** Micro-estructura de un otolito sagita de *Trachurus murphy* de 18 cm LH, ilustrando el proceso de recuento de los micro-incrementos, mediante la herramienta “Manual Tag” del Software Image Pro-plus. Las cruces y las fechas rojas denotan un ejemplo del recuento y el uso de un marcador para efectuar un cambio de aumento para obtener mayor visibilidad de los micro-incrementos. Reproducido de Araya et al. (2019).
- Figura 14.** Distribución de frecuencia de longitud horquilla de los peces que forman parte de la colección de referencia de otolitos, por macrozona.
- Figura 15.** Frecuencia relativa de tallas de las capturas (línea continua) y la colección de referencia (línea segmentada) para las macrozonas Arica-Antofagasta (A), Caldera-Coquimbo (B), San Antonio-Guaitecas 2007 (C) y 2009 (D).



- Figura 16.** Procedimiento de tostado de otolitos de *Trachurus murphyi*. Los otolitos son depositados cuidadosamente en recipientes de aluminio y horneados en una estufa de secado Binder ED-115 durante 10 minutos a 300°C.
- Figura 17.** Confección de bloques de resina epóxica con los otolitos tostados de *Trachurus murphyi*. Cada bloque de resina está etiquetado con el ID del otolito y una línea transversal en el bloque que guía la dirección y lugar del corte.
- Figura 18.** Procedimiento de corte de los bloques de resina epóxica para obtener la sección de otolito.
- Figura 19.** Montaje de la sección de otolito en su portaobjeto con el ID del otolito, los que son guardados en cajas plásticas.
- Figura 20.** A) Cara externa del otolito izquierdo entero de jurel con aumento de 10x. B) Sección del otolito derecho tostado y fotografiado con aumento de 20x. R: rostrum, C: cauda, V: margen ventral, D: margen dorsal, I: cara interna, E: cara externa.
- Figura 21.** Otolito derecho de jurel en que se muestran los componentes principales de la estructura y una visión de los anillos de crecimiento.
- Figura 22.** Otolitos con bandas hialinas formadas por anillos finos, de difícil interpretación. El polígono verde muestra la zona de anillos finos múltiples. LH: (A) 21 cm, (B) 38 cm, (C) 36 cm, (D) 42 cm.
- Figura 23.** Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 18 cm LH y edad cero, capturado en octubre 2009 (ID17). Se observa con claridad una zona opaca amplia, alto



crecimiento, la que es seguida por la banda de crecimiento de invierno próxima al borde. Esta banda es seguida por una zona con anillos hialinos débiles Check en una zona hialina menos marcada que la anterior.

- Figura 24.** Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 21 cm LH y edad cero, capturado en enero 2009 (ID32). Se observa con claridad la banda de crecimiento de invierno, que es seguido por una zona con anillos falsos o checks.
- Figura 25.** Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 23 cm LH y edad uno, capturado en marzo 2009 (ID53). Se observa después de la banda formada en invierno de 2008, el primer annulus seguido de una zona con anillos múltiples (Cheks).
- Figura 26.** Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 24 cm LH y edad uno, capturado en octubre 2009 (ID71). Se observa después de la banda formada en invierno de 2009, el primer annulus seguido de serie de anillos hialinos que parecen ser parte del mismo annulus que se formó.
- Figura 27.** Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 28 cm LH y edad dos, capturado en julio 2009 (ID113). Se observa después del anillo formado el invierno de 2009, el segundo annulus cerca del borde. La barra de referencia corresponde a 1 mm.
- Figura 28.** Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 32 cm LH y edad tres, capturado en septiembre 2009 (ID161). La barra de referencia corresponde a 1 mm.



- Figura 29.** Otolito izquierdo entero (A) y secci3n transversal del otolito derecho (B) de un pez de 62 cm LH y nueve a1os, capturado en marzo 2009 (ID306). La barra de referencia corresponde a 1 mm.
- Figura 30.** Boxplot con radio medio estimado por cada lector para el radio total caudal del otolito entero (A), primer anillo de invierno (B), primer annulus (C), segundo anillo de invierno (D) y segundo annulus (E).
- Figura 31.** Gr1ficos de sesgo por edad de Bland-Altman para la comparaci3n de la estimaci3n de la edad entre diferentes lectores. En eje “x” corresponde a la edad promedio entre los lectores que se comparan y el eje “y” a la diferencia de la estimaci3n de la edad de cada lector con el lector de referencia (LMR). La l3nea punteada corresponde al ajuste GAM con el intervalo de confianza (1rea en color). Los gr1ficos de la izquierda corresponden a las lecturas de otolitos enteros y los de la derecha a las secciones transversales.
- Figura 32.** Comparaci3n de frecuencia porcentual de las capturas por grupo de edad basadas en las lecturas hist3ricas y lecturas corregidas (validadas), correspondiente a las d3cadas 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009, 2010-2019 y 2020-2021.
- Figura 33.** Comparaci3n del peso medio de los peces por grupo de edad basadas en las lecturas hist3ricas y lecturas corregidas (validadas), correspondiente a las d3cadas 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009, 2010-2019 y 2020-2021.
- Figura 34.** Ploteo del efecto del criterio de lectura por grupo de edad sobre la captura como variable de respuesta.



- Figura 35.** Ojiva de madurez sexual a la edad (E50%) de hembras de jurel, basada en análisis histológico de muestras colectadas en el periodo reproductivo de 2011 (Leal, et al. 2013).
- Figura 36.** Curva de crecimiento del modelo de von Bertalanffy de jurel para los datos edad-talla de jurel de la zona nacional de pesca frente a Chile. Para datos de edad provenientes de la lectura de otolitos enteros (A) y de secciones transversales (B) de la colección de referencia. La curva muestra con línea discontinua el intervalo al 95% confianza.
- Figura 37.** Histograma de los intervalos de confianza de los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy de jurel, estimados por Bootstrap, para datos de edad provenientes de la lectura de otolitos enteros y de secciones transversales.
- Figura 38.** Histograma de los intervalos de confianza de los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy de jurel, estimados por Bootstrap, para tres simulaciones con Bootstrap tradicional, con reemplazo y sin reemplazo.
- Figura 39.** Fotografía con una ficha ilustrativa de las zonas micro-estructurales a diferentes magnificaciones, de un otolito sagital de un ejemplar de 23 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el año 2009 en la zona norte de Chile. La secuencia del panel inferior corresponde a una amplificación de la secuencia de micro-incrementos en la Zona C. Pr: primordio; Tr: Transiciones. La imagen puede ser magnificada para ver los detalles micro-estructurales.



- Figura 40.** Perfiles de grosores de micro-incrementos registrados en secciones de otolitos sagitales de ejemplares adultos de jurel de 21 cm (a) y 22 (22) cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el a1o 2009 en la zona norte de Chile.
- Figura 41.** Ficha que ilustra la secuencia de micro-incrementos en una secci3n sagital de un otolito derecho a diferentes magnificaciones, de un ejemplar de 27 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el a1o 2009 en la zona norte de Chile. La imagen puede ser magnificada para ver los detalles micro-estructurales.
- Figura 42.** Ficha que ilustra la secuencia de micro-incrementos en una secci3n sagital de un otolito derecho a diferentes magnificaciones, de un ejemplar de 31 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el a1o 2009 en la zona norte de Chile. La imagen puede ser magnificada para ver los detalles micro-estructurales.
- Figura 43.** Ficha que ilustra la secuencia de micro-incrementos en una secci3n sagital de un otolito derecho a diferentes magnificaciones, de un ejemplar de 31 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el a1o 2009 en la zona Centro-Sur de Chile. La imagen puede ser magnificada para ver los detalles micro-estructurales.
- Figura 44.** Perfiles de grosores de micro-incrementos registrados en secciones de otolitos sagitales de 2 ejemplares adultos de jurel de 31 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, ilustrando la localizaci3n de las zonas micro-estructurales. Los paneles de la derecha (b & d) tienen una modificaci3n de escala para ilustrar mejor los cambios despu3s de los primero 300 d1as de vida. La l1nea continua representa un promedio m3vil de orden 5. Zt: zona de transici3n.



- Figura 45.** Series de perfiles de grosores de micro-incrementos diarios de otolitos sagitales de *Trachurus murphy*, analizados a trav3s de un m3todo de cambio estructural (Zeileis et al. 2002). Las l3neas rojas segmentadas representan quiebres significativos.
- Figura 46.** Perfil de reproducibilidad del proceso de determinaci3n de edad a nivel diario en ejemplares de jurel (*Trachurus murphy*) de entre 21 y 31 cm LH, en secciones sagitales con resoluci3n alta. Las l3neas rojas segmentadas, representan el valor del IAPE.
- Figura 47.** Modelos Laird-Gompertz (a) y lineal (b) ajustados a la relaci3n edad vs longitud de horquilla para ejemplares de entre 21 y 34 cm LH del jurel (*Trachurus murphy*), cuyos par3metros se detallan en la Tabla 13a. Los c3rculos rojos y l3nea roja, corresponden a un ajuste de un modelo LG a la relaci3n edad vs talla, proveniente del proyecto FIPA 2017-67.
- Figura 48.** Relaciones edad vs radio caudal (a) y longitud vs radio caudal (b), para ejemplares de entre 21 y 34 cm LH del jurel (*Trachurus murphy*), cuyos par3metros se detallan en la Tabla 13b. Los c3rculos rojos corresponden a las mismas relaciones obtenidas en el proyecto FIPA 2017-67.

TABLAS

- Tabla 1.** N3mero de lecturas de otolitos de jurel por trimestre y a3o desde 1980 hasta 2021.



- Tabla 2.** Registro histórico de frecuencias de tallas de las capturas de jurel desde 1980 hasta 2021.
- Tabla 3.** Estadísticas generales de ejemplares del jurel (*Trachurus murphy*) disponibles para los análisis macro y micro-estructurales, para tres clases anuales.
- Tabla 4.** Resumen del número de pares de otolitos por año y mes para cada macrozona, que componen la colección de referencia de jurel del pacífico sur-este frente a Chile.
- Tabla 5.** Resultados del test pareado no paramétrico de Wilcoxon comparando la proporción de tallas de la colección de referencia y las capturas en las tres macrozonas. AA: Arica-Antofagasta, CC: Caldera-Coquimbo, SG: San Antonio-Guaitecas.
- Tabla 6.** Razón entre distintos tipos de medidas de radio total y anillos en el otolito entero y seccionado. RAIV es el radio de anillo de invierno ventral en otolito entero; RAICE es el radio del anillo de invierno hacia el cauda en otolito entero; RAIV es el radio de anillo de invierno ventral en la sección otolito; 1AV es el primer annulus hacia la zona ventral el otolito entero; 1AC es el primer annulus hacia la zona caudal otolito entero; 1AVS es el primer annulus en la sección; RTV es el radio total ventral en el otolito entero; RTC es el radio total hacia el cauda en el otolito entero y RTVS es el radio total en la sección del otolito.
- Tabla 7.** Resultados del porcentaje de concordancia, coeficiente de variación y porcentaje de error promedio e índices de sesgo de la comparación de lecturas de edad de otolitos enteros de jurel entre seis lectores.



- Tabla 8.** Resultados del porcentaje de concordancia, coeficiente de variación y porcentaje de error promedio e índices de sesgo de la comparación de lecturas de edad de secciones transversales de otolitos de jurel entre seis lectores.
- Tabla 9.** Resumen de los coeficientes del intercepto y pendientes del modelo lineal generalizado que relaciona la captura con el grupo de edad para el factor fijo criterio de lectura. Se muestra el error estándar (E.E.), el tvalor y Pvalor para cada coeficiente. GE corresponde al grupo de edad y CL Validado al criterio de lectura validado.
- Tabla 10.** Parámetros de crecimiento con su error estándar, intervalo confianza 95% y significación, estimados con el modelo de von Bertalanffy, para los datos edad-talla de jurel de la zona nacional de pesca frente a Chile.
- Tabla 11.** Resultados de las simulaciones para estimar parámetros de crecimiento empleando una muestra fija por edad.
- Tabla 12.** Estimación de mortalidad natural (M) aplicando cuatro modelos empíricos.
- Tabla 13.** Estadísticas generales de registro de grosores de micro-incrementos diarios (μm), en función de la extensión de las zonas, en dos 2 ejemplares de 31 cm de LH del (*Trachurus murphy*). CV= coeficiente de variación.
- Tabla 14.** Estadísticas derivadas de un análisis de quiebres estructurales en series de perfiles de grosores, registrados en otolitos sagitales del jurel *Trachurus murphy*. F= Estadístico. Serie: corresponde a la identificación de los perfiles ilustrados en la Figura 5.



Tabla 15. Parámetros estimados a partir del ajuste de modelos Laird-Gompertz a la relación edad vs longitud de horquilla (LH)(a), edad vs LH(b), edad vs radio caudal (RC) y Longitud de horquilla vs RC, para ejemplares de entre 21 y 33 cm LH del jurel (*Trachurus murphy*) recolectados en la costa chilena. ES: 1 error estándar α : tasa instantánea de crecimiento al punto de inflexión X_0 ; L_∞ : longitud asintótica. Todos los ajustes fueron significativos ($p < 0.001$).

Tabla 16. Resumen comparativo de determinación de edad media en otolitos sagitales del jurel, utilizando microscopía óptica y electrónica. LH: longitud de horquilla; DE: desviación estándar).

ANEXOS

- Anexo I.** Chilean Jack Mackerel Age Reading Protocol.
Catálogo de otolitos para interpretación de annuli de jurel (*Trachurus murphy*).
- Anexo II.** Reuniones y talleres de trabajo.
- Anexo III.** Tablas con los parámetros peso longitud empleados y matrices históricas de la captura y pesos medios a la edad recalculados para las zonas de Arica – Antofagasta y Caldera – Guaitecas.
- Anexo IV.** Horas ejecutadas por el equipo de trabajo
- Anexo V.** Base de datos.



4. INTRODUCCIÓN

El jurel (*Trachurus murphy*) es una especie que presenta una amplia distribución en el Pacífico sur oriental y ha sido uno de los recursos pelágicos más importantes de la actividad comercial en Chile, focalizándose su extracción en tres áreas de pesca: zona norte (18°21'- 24°00' S), zona Caldera-Coquimbo (24°01'-32°00' S) y zona centro-sur (32°01' - 43°30'S). En esta última área, pero fuera de Zona Económica Exclusiva (ZEE), el jurel también ha sido explotado por una flota extranjera conformada por barcos con bandera rusa, china, europea, coreana y de Vanuatu. Además, Perú y Ecuador igualmente capturan esta especie dentro de sus respectivas ZEE (Canales et al. 2013).

En Chile, en el periodo 1960-1995 la captura de jurel creció en forma sostenida llegando a un máximo de 4,6 millones de toneladas. Más tarde producto de la alta tasa de explotación ejercida sobre el recurso, la captura comienza a declinar hasta alcanzar las 230 mil t el 2013 (Aranis et al., 2014). Conforme evolucionaba la pesquería de jurel se realizaron estudios de evaluación del stock en el Pacífico sur, para así establecer la condición del recurso. En la evaluación se han empleado principalmente modelos edad estructurados, por lo que la determinación de la edad de la especie es una parte esencial en este tipo de estudios.

Actualmente, en la evaluación de stock que realiza el Comité Científico de la Organización Regional de Ordenamiento Pesquero del Pacífico Sur (OROP-PS), se utilizan las claves talla-edad de Chile para estimar la estructura de edad de las capturas de este país, como también de las capturas de la flota internacional que opera frente a Chile. Para incluir la información de las pesquerías frente a Ecuador y Perú se han utilizado funciones de crecimiento ya sea de Chile, Rusia y recientemente de Perú.

En el marco del Grupo jurel del ahora Comité Científico (antes Grupo de Trabajo



Científico) de la OROP-PS, se han examinado críticamente los datos utilizados en el modelo de evaluaci3n y una de las piezas de informaci3n sobre la que ha surgido discrepancia es la determinaci3n de edad del jurel y ello principalmente con Perú. La determinaci3n de la edad en especies de importancia comercial es fundamental para la aplicaci3n de modelos donde la estructura del stock se analiza en funci3n de la edad y su evoluci3n en escalas temporales, lo que permite a su vez obtener estimaciones de reclutamiento, mortalidad y otras características de la condici3n del stock (Summerfelt & Hall, 1987; Catalano & Allen, 2010; Francis, 2016). En casos donde la determinaci3n de edad sobreestima la verdadera estructura de edad de la poblaci3n, el stock puede ser percibido como más grande y la mortalidad por pesca menos intensa, mientras que lo opuesto tiende a ocurrir cuando ocurre una subestimaci3n de la verdadera estructura de edad. Adicionalmente, los errores en la determinaci3n de edad pueden impactar las series temporales de reclutamiento, así como también afectar las predicciones de corto plazo del tamaño del stock y en consecuencia impactar los procesos decisionales conducentes al establecimiento de CBA. Estos impactos potenciales son especialmente preocupantes en recursos que son compartidos por varios países, debido a que pueden existir diferentes criterios de lectura entre los distintos laboratorios, aún en presencia de evidencias de validaci3n de la periodicidad de formaci3n de las bandas anuales de crecimiento en estructuras calcificadas.

En este contexto, se han ejecutado los proyectos FIPA N°2014-32 “Protocolo de lectura de jurel” y FIPA N°2017-61 “Validaci3n de la formaci3n de los anillos de crecimiento diario de jurel”. El primero de estos proyectos permitió validar la edad usando: lectura de microestructura del otolito, seguimiento de modas de tallas (clase anual fuerte) y bomba de radiocarbono, estimando con ello una alta tasa de crecimiento durante el primer y segundo ańo de vida y una menor a partir del tercer ańo (Cerna et al. 2016; Cerna et al. 2022). El segundo proyecto valid3 la periodicidad de los micro-incrementos diarios y confirm3 la tasa de crecimiento del primer ańo



de vida (Araya et al. 2019). Estos resultados de validaci3n soportan un cambio significativo en la estructura de edad de la captura de jurel, que bajo nuevos criterios de estimaci3n de edad debiera desplazar esta hacia grupos m1s j3venes.

En este sentido es necesario por una parte confirmar la edad absoluta de los peces mayores a 2 a1os, para tener una mayor exactitud de los criterios de estimaci3n de la edad, pero tambi3n en segundo lugar, y no menos importante, asegurar una alta precisi3n en la estimaci3n de edad de los laboratorios miembros de OROP-PS, que realizan lecturas de otolitos y aportan con ello datos de la estructura de edad de sus flotas. A pesar de los esfuerzos ya realizados en los talleres del 2011 en Lima y del 2016 en Valpara3so, a1n est1 pendiente levantar un trabajo conjunto de reproducibilidad de las lecturas de otolitos sagita de jurel. Esta es una actividad de suma importancia que nos permitir1 generar un manual o protocolo de lectura de otolitos para el jurel del Pac3fico sur oriental, elaborado a partir de una colecci3n de referencia, que permita homologar las claves talla-edad conforme a criterio OROP-PS.

El 3xito de la determinaci3n de edad, cuya principal utilidad en los laboratorios est1 orientada a la evaluaci3n de stock de recursos pesqueros comerciales (Morison *et al.* 1998), depende del monitoreo del control de calidad de la determinaci3n de edad o lectura. Es decir, mantener la consistencia en la determinaci3n de edad desde un a1o a otro es de primera importancia, ya que incluso un deterioro gradual de la precisi3n de la estimaci3n de edad puede dar lugar a errores graves en la evaluaci3n de stock (Beamish & MacFarlane 1995, Campana 1995, Eklund *et al.* 2000, Campana 2001). Este control de calidad cobra una mayor importancia cuando existe m1s de un laboratorio que contribuyen con datos de edad para la evaluaci3n de stock, como es el caso de OROP-PS.

En este sentido, los principales desaf3os de este estudio son: a) aumentar las piezas de validaci3n de la edad ya existentes, en lo que se refiere a la edad absoluta; b)



disponer de una colección de referencia suficiente para abordar los desafíos de homologación de la edad a nivel nacional e internacional; c) elaborar un protocolo de lectura de otolitos de jurel, que recoja las evidencias de validación y sea el marco de referencia en la determinación de edad de esta especie para los países miembros de la OROP-PS.



5. OBJETIVO GENERAL

Generar un protocolo de lectura de otolitos de jurel (*Trachurus murphy*) a partir de colecciones de referencia y cat3logos gr3ficos, que aporten a la homologaci3n del proceso de determinaci3n de edad y a la actualizaci3n de insumos para la evaluaci3n de stock, en el contexto de la OROP- PS.

6. OBJETIVOS ESPEC3FICOS

- 6.1 Generar una colecci3n de referencia de otolitos basados en porcentajes de reproducibilidad entre lectores experimentados de los pa3ses de la OROP- PS.
- 6.2 Generar los cat3logos gr3ficos a partir de la colecci3n de referencia de otolitos validados por lectores experimentados y elaborar un manual que contenga los criterios y protocolos de lectura definitivos.
- 6.3 Reconstruir las claves talla-edad hist3ricas, matrices de captura, pesos medios y ojiva de madurez a la edad a partir de la re-asignaci3n de los grupos de edad.
- 6.4 Estimar los par3metros de crecimiento y mortalidad natural a partir de las nuevas lecturas.
- 6.5 Reducir la incertidumbre en el proceso de determinaci3n de edad del Jurel, en ejemplares adultos (2+), mediante la aplicaci3n de t3cnicas micro-estructurales y microscop3a electr3nica de alta resoluci3n u otra metodolog3a de mayor resoluci3n.



7. ANTECEDENTES

La determinaci3n de edad de jurel, hasta el d3a de hoy, se sustenta en la validaci3n indirecta de la edad a trav3s del an3lisis de la periodicidad en la formaci3n de macro-anillos de crecimiento, que indican la formaci3n, en invierno, de un macro-anillo hialino por a3o (Serra & Gili, 1995; Castillo & Arrizaga, 1987). Otros estudios permitieron confirmar el criterio de identificaci3n de anillos a trav3s de la comparaci3n o an3lisis de precisi3n con investigadores seniors, que muestra una alta exactitud en muchas edades (1 a 10 a3os) y una leve subestimaci3n de la edad por parte de los lectores de IFOP en edades superiores a 11 a3os, aunque en general concluyen que los test de reproducibilidad de la lectura de jurel muestran que la precisi3n de los lectores regulares es alta y adecuada, mientras que la variabilidad entre lectores se considera aceptable y con un error normal (Morales-Nin, 1997).

Actualmente contamos con evidencias de validaci3n de la edad que fueron el resultado del estudio de FIPA 2014-32 "Protocolo de lecturas de jurel" ejecutado por el Instituto de Fomento Pesquero. En este estudio fue posible identificar la ubicaci3n del primer annulus a trav3s del an3lisis de la micro-estructura de otolitos, que identifico 365 micro-incrementos primarios con un radio (distancia desde el n3cleo al 1 annulus) de 3 mm, y asociado a una longitud horquilla media del pez de 22 cm (**Figura 1A**), distancia que correspondi3 a la ubicaci3n del segundo macro-anillo hialino o edad 2 para la lectura de otolitos tradicional (**Figura 1B**). Esto evidencia una alta tasa de crecimiento el primer a3o de vida respecto a las estimaciones hecha hasta ese momento. Este resultado se sustenta en la alta resoluci3n de los micro-incrementos primarios que pudieron ser le3dos de manera ininterrumpida.

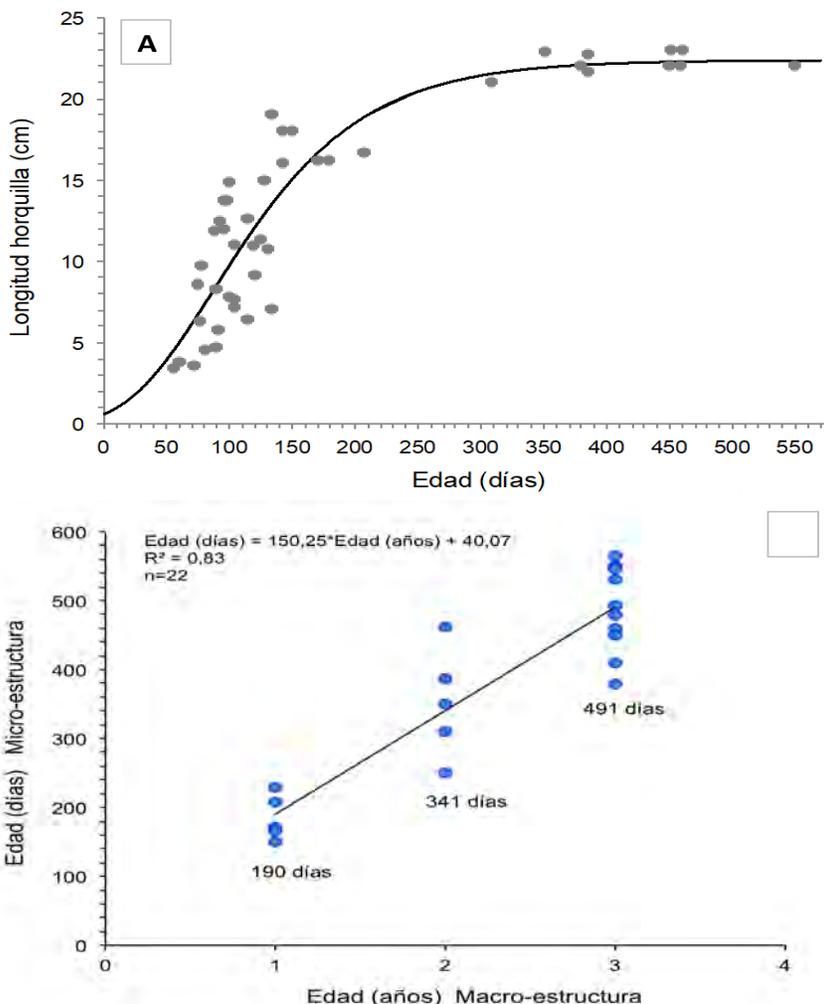


Figura 1. A) Curva que ajusta la longitud horquilla del pez (cm) con la edad en días de juveniles de *Trachurus murphyi* que estima una talla media de 22 cm LH a los 365 días de vida. B) Relación lineal entre la lectura anual de otolitos enteros de acuerdo al criterio convencional con la edad en días desde la lectura de micro-incrementos primarios para el mismo otolito (tomado de Cerna *et al.* 2016).

En este mismo estudio se determinó también una alta tasa de crecimiento durante el segundo año de vida, el que fue confirmado a través del seguimiento de una clase anual fuerte, que correspondió a reclutas ingresados el 2008 que pudo ser seguida hasta el 2011. Esto reveló que la talla media para el segundo año fue de 27 cm LH, que de acuerdo a la lectura tradicional correspondería al cuarto año. Este resultado



mostr3 tambi3n una alta tasa de crecimiento el segundo a1o de vida (Cerna *et al.* 2016; Cerna *et al.* 2022).

Otra pieza de validaci3n fue obtenida con el uso del m3todo bomba de radiocarbono, que consiste en registrar el delta ^{14}C en el n3cleo de los otolitos y relacionarlo con la fecha de nacimiento, que se calcula a partir de la edad. As3 la fecha de nacimiento (edad) para un nivel de radiocarbono se ajusta con una curva de referencia del radiocarbono en el mar, que para el caso del jurel fue la del halibut del Pac3fico norte (Piner & Wischniowski 2004). El delta de radiocarbono de los n3cleos de otolitos de jureles sobre los 40 cm LH, mostr3 que estos no son tan longevos, sin embargo, tienen una tasa de crecimiento menor que la registrada para el 1^{er} y 2^{do} a1o de vida (**Figura 2**).

Un segundo estudio de validaci3n fue el FIPA 2017-61 "Validaci3n de la formaci3n de los anillos de crecimiento diario de jurel" que fue ejecutado por la Facultad de Recurso Naturales Renovables de la Universidad Arturo Prat, en conjunto la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Cat3lica de Valpara3so y el Instituto de Investigaci3n Pesquera Octava Regi3n, permiti3 validar los micro-incrementos primarios de los otolitos de jurel, confirmando que estos tienen una periodicidad diaria. La relaci3n entre los micro-incrementos diarios con la longitud del pez y el radio del otolito mostr3 que la longitud y radio medio a los 365 d3as fue de 21,3 cm LH y 3 mm, respectivamente. Valores similares a los estimados en el estudio FIPA 2014-32, lo cual confirma la alta tasa de crecimiento para el primer a1o de vida de jurel (**Figura 3**).

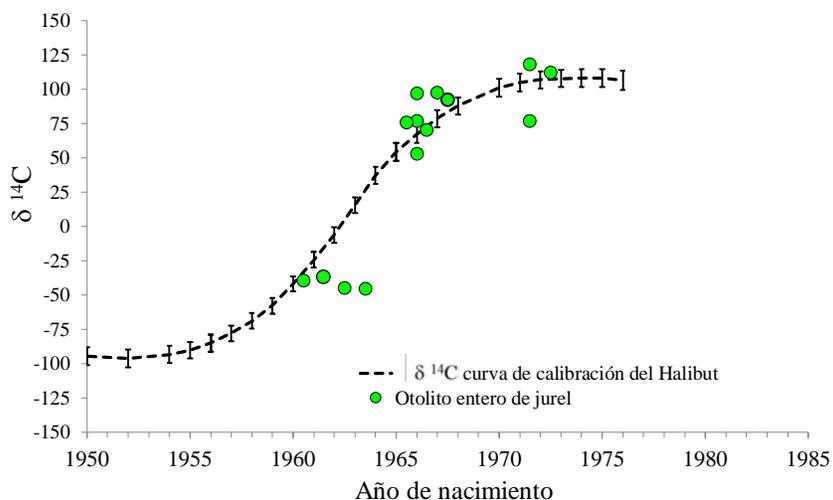


Figura 2. Relación entre la cronología del nivel de radiocarbono del halibut usada como cronología de referencia de los niveles de radiocarbono del Pacífico (curva punteada) y las estimaciones de Poner radiocarbono del núcleo de los otolitos de jurel con fecha de nacimiento calculada a partir de la estimación de la edad en otolitos enteros (tomada de Cerna *et al.* 2016).

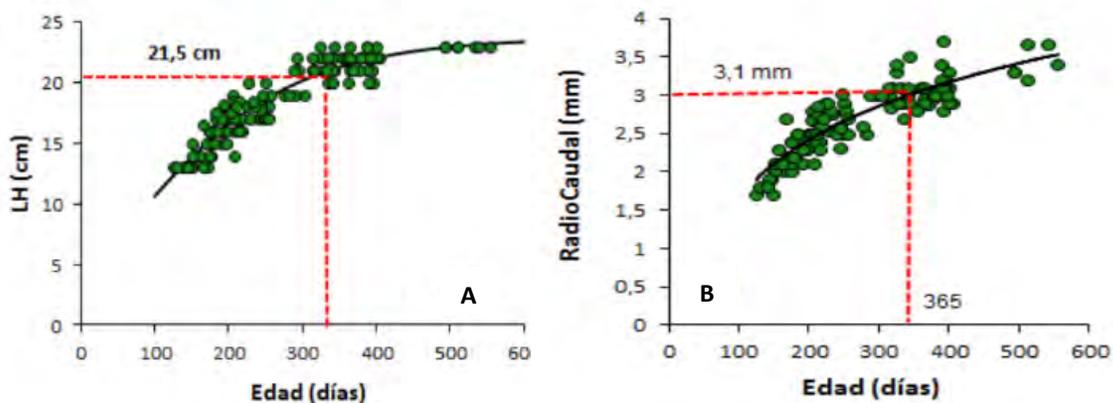


Figura 3. A) Modelo Gompertz ajustados a la relación edad vs longitud horquilla para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH de jurel; B) relación logarítmica entre la edad y el tamaño el otolito. Las líneas rojas indican la longitud del pez y radio medio del otolito a los 365 días de vida (tomado desde Araya *et al.* 2019)



Estos resultados de validación constituyen los antecedentes de exactitud de la edad que deberán ser considerados en la modificación de los criterios de lectura de otolitos para estimar la edad de jurel.

8. METODOLOGÍA

8.1 Metodología para objetivo específico 6.1:

"Generar una colección de referencia de otolitos basados en porcentajes de reproducibilidad entre lectores experimentados de los países de la OROP-PS."

8.1.1 Selección de otolitos para colección de referencia.

Para la colección de referencia se seleccionaron otolitos desde la colección histórica del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) correspondiente a peces capturados en las macrozonas: Arica-Iquique, Caldera-Coquimbo, San Antonio-Guaitecas el 2007 y 2009. No se pudo contar con material del 2008 debido a que no estaba disponible, al haber sido usado en los proyectos FIPA 2014-32 y FIPA 2017-61. Sin embargo, una colección de otolitos de 2007 y 2009 es adecuada, ya que corresponden a años con anomalías negativa y positivas de la temperatura del mar, respectivamente, ocasionadas por el evento climático-oceanográfico ENSO. Esta diferencia permite tener una colección con otolitos que también recojan la variabilidad que eventualmente podría ser ocasionada por este tipo de cambios en el ambiente.

Para asegurar la diversidad espacial de la colección se seleccionaron en la mayoría de las macrozonas 100 o más otolitos, en cuya muestra también se trató de asegurar el adecuado balance mensual, dentro de la disponibilidad de muestras. La selección fue proporcional a la distribución de tallas de la captura. Este método fue



recomendado en el estudio realizado por Young *et al.* (2006), referido a la estimación de tamaño de muestras para clave edad-talla de jurel, anchoveta y sardina común.

La colección de referencia incluyó 521 pares de otolitos de los cuales el izquierdo se conserva entero y del derecho una sección transversal, previamente tostada. Cada par, entero y sección, fueron fotografiados y almacenados con su número de registro que los vincula con la base de imágenes, datos biológicos georreferenciados y finalmente con la lectura de edad de cada ejemplar. El proceso de selección, preparación de los otolitos para la colección de referencia se resume en la **figura 4**.

La base de datos quedo constituida por los siguientes campos: ID pez; código de barco; fecha del lance; latitud lance; longitud del lance; zona; longitud del pez; peso total del pez; peso eviscerado; peso gónada; sexo; estado de madurez; tipo de lectura (otolito entero o seccionado); número de annuli; tipo de borde; edad; grupo de edad; radio caudal del otolito; radio de cada annulus, legibilidad de la lectura; coeficiente variación reproducibilidad; APE de repetibilidad (cuando sea el caso); identificación de lectores.

8.1.2 Preparación de secciones y toma de imágenes.

La preparación de secciones transversales incluyó el tostado del otolito en horno de secado marca Binder ED115, precalentado a 300°C, para posteriormente mantener los otolitos por 10 minutos de exposición (**Figura 5A**). Luego el otolito se incluyó en un bloque de resina epóxica, el cual se deja secar por 12 horas a temperatura ambiente. Finalmente, el otolito en el bloque se corta para obtener una sección transversal, empleando una máquina de corte de alta velocidad marca Struers

Secotom 10 provista de un disco diamantado (**Figura 5B**).

Las im3genes de los otolitos que forman parte de la base de datos digital de la colecci3n de referencia, fueron tomadas utilizando un sistema de an3lisis de im3genes, provisto de un microscopio estereosc3pico trinocular con c3mara digital Olympus Q-Color 3 de 3,2 megapixeles, conectada a un computador provisto del software Image-Pro Premier (*mediacybernetics*) (**Figura 6**).

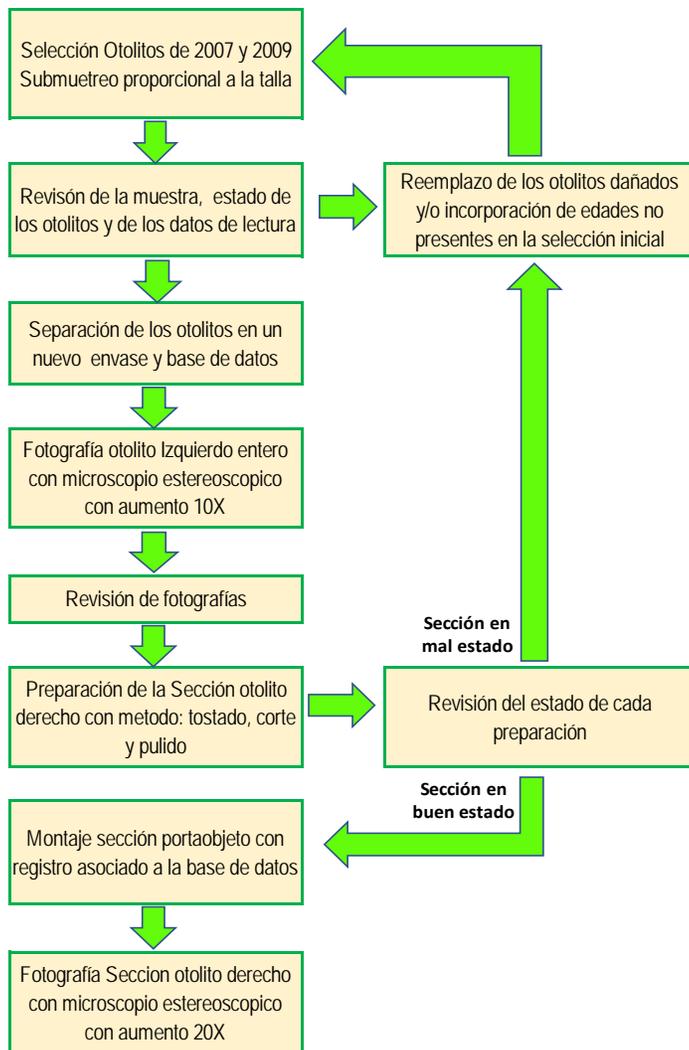


Figura 4. Diagrama del proceso de selecci3n y preparaci3n de la colecci3n de referencia de otolitos de jurel.

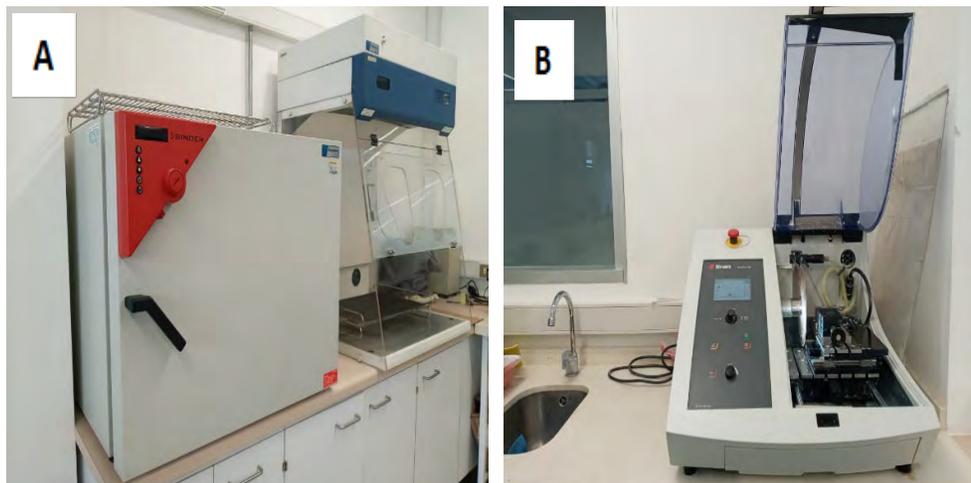


Figura 5. Muestra los dos principales equipos que se usar3n en la preparaci3n de secciones transversales del otolito de jurel. A) Horno de secado Binder ED115, B) m3quina de corte de alta velocidad marca Struers Secotom.



Figura 6. Muestra el sistema de an3lisis de imagen equipado con el software Image-Pro Premier (mediacybernetics), utilizado para tomar las im3genes de los otolitos de la colecci3n de referencia y hacer lecturas de las mismas.



8.2 Metodología para objetivo específico 6.2:

" Generar los catálogos gráficos a partir de la colección de referencia de otolitos validados por lectores experimentados y elaborar un manual que contenga los criterios y protocolos de lectura definitivos."

Este objetivo considera la elaboración de un catálogo de lectura de otolitos de jurel como resultado del análisis conjunto de los expertos de IFOP, INPESCA (Instituto de Investigación Pesquera), además de los expertos nacionales: Dr. Miguel Araya C. y el Dr. Guido Plaza P, de acuerdo al diagrama de actividades presentado en la **figura 7**. Aunque realizamos una invitación al SPRFMO, para que participaran investigadores internacionales en determinación de edad de jurel, no hubo interés de otros países en sumarse a esta iniciativa de Chile.

Los resultados muestran el trabajo de discusión, elaboración y ensayos de reproducibilidad realizados en las siguientes reuniones y talleres:

1. Reunión-taller presencial de investigadores de IFOP con el apoyo, del Dr. Guido Plaza de la PUCV.
2. Reunión-taller on-line con la participación de investigadores de IFOP e INPESCA, y los asesores expertos Dr. Miguel Araya y Guido Plaza.
3. Ejercicio de reproducibilidad entre lectores de IFOP.
4. Taller Nacional "Calibración de la lectura de annuli en otolitos sagita de jurel" presencial, con participación de investigadores de IFOP e INPESCA y los expertos Dr. Miguel Araya y Dr. Guido Plaza.
5. Ejercicio de calibración de la edad de jurel entre IFOP-INPESCA.
6. Taller Final IFOP-INPESCA "Calibración de la lectura de annuli en otolitos sagita de jurel" presencial, con participación de investigadores de IFOP el experto Dr. Miguel Araya.



8.2.1 Metodologfa estimaci3n de precisi3n de la edad.

El an3lisis de reproducibilidad se realiz3 aplicando dos medidas de error, que reflejan el grado de dificultad promedio en la determinaci3n de edad, a saber: el Porcentaje de Error Promedio (APE en ingl3s) (Beamish y Fournier 1981), el coeficiente de variaci3n (CV) (Campana, 2001). 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 es el n3mero de peces que se les asign3 edad; R es el n3mero de veces que fue lefd la muestra; X_{ij} es la i-3sima determinaci3n de edad del j-3simo pez; X_j es la edad promedio calculada para el j-3simo pez.

El coeficiente de variaci3n (CV), es expresado como la raz3n de la desviaci3n est3ndar sobre el promedio, y puede ser escrita de la siguiente forma:

$$CV_j = 100\% \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j}$$

donde CV_j es la precisi3n de la edad estimada para el j-3simo pez. Como en la ecuaci3n de APE, la estimaci3n de todos los peces puede ser promediada para producir el promedio del CV.

Los indicadores ser3n complementados con el uso del m3todo gr3fico (promedio de la edad estimada por un lector con respecto a otro lector patr3n) y su coeficiente de variaci3n (CV), como un modo de representar el sesgo a la edad (Campana *et al.* 1995; Campana, 2001).

Se aplicaron tambi3n tres test para evaluar la simetrfa de una matriz de concordancia de la edad entre lectores, de acuerdo con Evans & Hoening (1998).

El test de McNemar (McNemar 1947; Hoening *et al.* 1995), de Evans-Hoening (Evans & Hoening 1998) y el test de Bowker (Bowker 1948; Hoenig *et al.* 1995). Adem3s, el gr3fico de Bland-Altman con GAM. En estos an3lisis se us3 el paquete estadístico FSA de Rproject (Ogle, 2016). (<http://derekogle.com/fishR>).

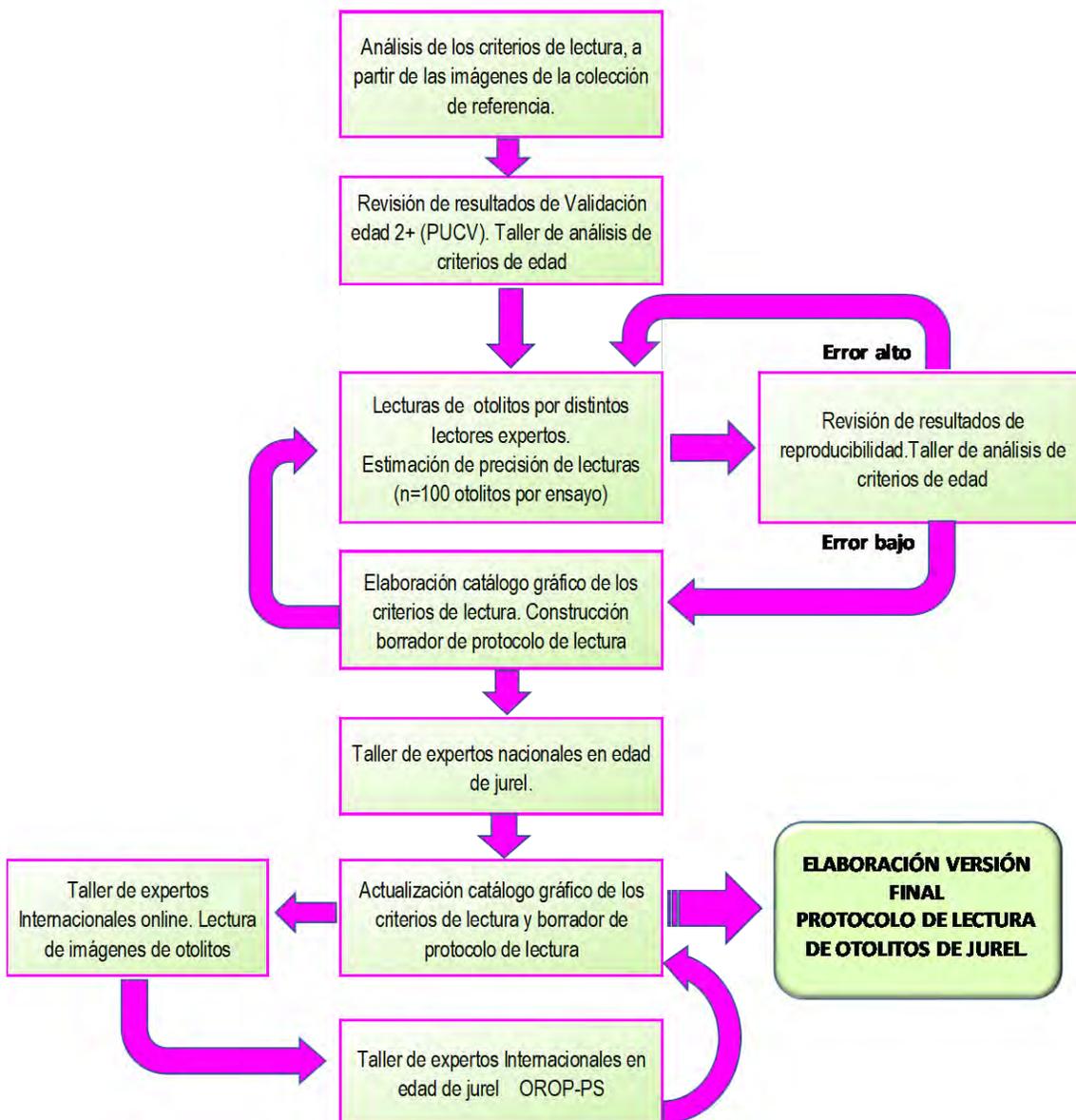


Figura 7. Diagrama del proceso que se aplicará para la elaboraci3n de protocolo de lectura de jurel y cat3logo gr3fico de otolitos, a partir de la colecci3n de referencia y los talleres de trabajo de expertos nacionales e internacionales.

8.3 Metodologí3 para objetivo específico 6.3. “Reconstruir las claves talla-edad históricas, matrices de captura, pesos medios y ojiva de madurez a la edad a partir de la re-asignaci3n de los grupos de edad”.

La edad del pez fue determinada mediante lectura de otolitos enteros sumergidos en vaselina como soluci3n aclaradora, para ser observada en un microscopio estereosc3pico con aumento 10X y luz reflejada.

Modificaci3n de las matrices edad-talla antiguas.

Se corrigió la edad de las matrices clave edad-talla antiguas de la serie 1980-2020, eliminando el primer y tercer anillo de crecimiento, que de acuerdo con la validaci3n son falsos, es decir con una periodicidad de formaci3n menor a uno y dos ańos, respectivamente (Cerna et al. 2016; Araya et al. 2019). (**Figura 8**)

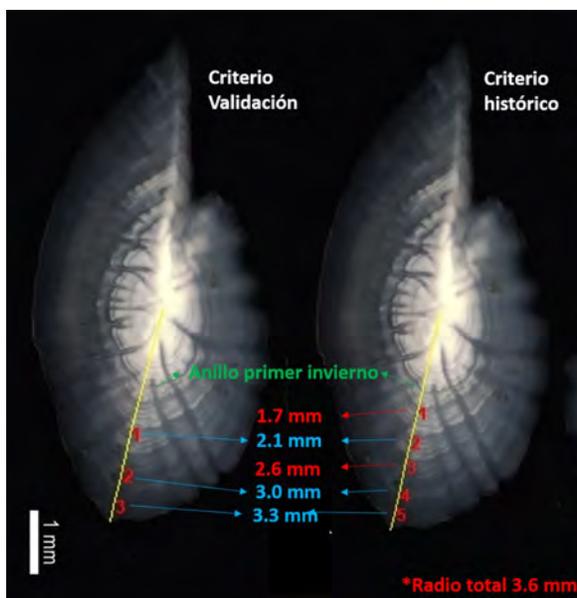


Figura 8. Esquema explicativo del proceso de correcci3n de la lectura histórica del jurel segun los resultados obtenidos de la validaci3n. Otolito de la derecha muestra el criterio de lectura histórica y otolito de la izquierda la lectura considerando la validaci3n de la edad, que considera el primer y tercer anillo, del criterio histórico, como falsos.



8.3.1 Reconstrucci3n de las matrices de captura a la edad hist3ricas.

Cabe destacar que actualmente la base de datos de edad de jurel cuenta con m1s de 150.000 estimaciones de edad individual comprendidas en una serie de tiempo de 40 a1os, por lo que se hace pr1cticamente imposible que se puedan volver a analizar todos los ejemplares con los criterios ajustados a la validaci3n de edad.

Para esto se desarroll3 una rutina con el programa estadístico R (<https://cran.r-project.org>), constituida principalmente de funciones de los paquetes dplyr, tidyr y tidiverse, que permiten manipular y analizar grandes bases de datos de manera eficaz y sint3tica. Esta rutina considera la siguiente formulaci3n para estimar la estructura de edad de las capturas y sus pesos medios.

Clave talla-edad

Con la estimaci3n de edad individual (expresada en grupo de edad) se construyeron claves talla edad trimestrales y anuales para cada zona con el fin de extrapolar la captura por estrato de talla a captura por GE. Esta 3ltima consiste en una matriz que contiene las frecuencias talla (expresada en proporci3n) por cada GE presente en la muestra. Donde la probabilidad de los individuos de longitud j de pertenecer a un GE i se expresa como:

$$q_{ij} = n_{ij}/n_j$$

donde:

n_{ij} : numero de individuos del GE i del estrato de talla j

n_j : numero total de individuos por estrato de talla j



Estructura de edad

Una vez que se dispone de una clave, las muestras de peces a las que s3lo se les ha medido la longitud pueden distribuirse en grupos de edad en consecuencia. Esto es posible porque se supone que la muestra de peces de edad y la muestra de peces medidos por su longitud son simples muestras aleatorias de la misma poblaci3n, por lo que la probabilidad de que un pez sea de una edad determinada, dada su longitud, es la misma en ambas muestras.

Los individuos presentes en cada intervalo de longitud (N_j) se asignan a diferentes edades seg3n una clave de tama3o-edad. El n3mero estimado de individuos de longitud j que pertenecen a cada GE i se expresa como:

$$n_{ij} = q_{ij}/n_j$$

donde:

n_j : numero total de individuos por estrato de talla j .

n_{ij} : numero estimado de individuos de longitud j que pertenecen a cada GE i

q_{ij} : proporci3n de ejemplares de longitud j pertenecientes a cada GE i

Por lo tanto, la abundancia por cada GE se expresa como:

$$n_i = \sum_{j=1}^n n_{ij}$$

donde: n_{ij} : numero estimado de individuos de longitud j que pertenecen a cada GE i

Longitud promedio por grupo de edad

Considerando estos datos de entrada la longitud media por cada GE se expresa como



$$\bar{p}_i = \frac{\sum_{i=1}^n l_j n_{ij}}{n_i}$$

donde:

l_j : estrato de talla j

n_{ij} : numero estimado de individuos de longitud j que pertenecen a cada GE i

n_i : numero estimado de individuos por cada GE i .

La varianza de la talla media se expresa como (Ricker 1958, Piennar y Ricker 1968):

$$P_i = \sum_{j=1}^L p_j q_{ij}$$

$$\sigma_{p_j} = \sum_{j=1}^L \left(\frac{p_j^2 q_{ij} (1 - q_{ij})}{n_j - 1} + \frac{p_j (q_{ij} - P_i)^2}{N} \right)$$

donde:

n_j : n3mero total de individuos por estrato de talla j .

N : tama3o de la muestra

p_j : tama3o de la subuestra por estrato de talla j

q_{ij} : probabilidad de un individuo de estrato de talla j de pertenecer a un GE i

Tomando en consideraci3n los antecedentes relacionados a la validaci3n de los primeros a3illos de crecimiento anual, se han realizado cambios en las series temporales estructuradas por edad para el periodo 1980-2021 integrando la posici3n geogr3fica, la fecha de captura, la longitud de horquilla del pez y el tama3o y radio (mm) de cada otolito muestreado.



Relaci3n longitud peso

La relaci3n longitud-peso se utiliza ampliamente en la pesca para estimar el peso a partir de la longitud de un individuo y tambi3n para estimar los 3ndices de condici3n. La expresi3n m3s utilizada para esta relaci3n corresponde a la ecuaci3n barom3trica, en la que el peso se expresa en funci3n de la longitud, y sus par3metros se estiman por regresi3n lineal de datos transformados logar3tmicamente. Dado que la variabilidad del peso suele aumentar con la longitud, esta transformaci3n tiene la ventaja de que tiende a estabilizar la varianza del peso, pero introduce un factor de sesgo en las predicciones retro transformadas que requiere correcci3n.

El modelo de peso/longitud es:

$$W_i = a * L_i^b$$

Podemos derivar un modelo de regresi3n lineal simple aplicando una transformaci3n logar3tmica:

$$\ln(W_i) = \ln(a) + b * \ln(L_i)$$

donde:

W_{ij} : Peso del individuo i

L_i : nLongitud del individuo i

a : Intercepto modelo longitud peso

b : pendiente modelo longitud peso

Pesos medios por grupo de edad

Suponiendo que la longitud es una variable aleatoria normal el valor de la funci3n del peso promedio esperada podr3a definirse seg3n lo descrito por Ricker (1958), Piennar & Ricker (1968):



$$E(W) = a(\bar{p}_i^b + a_1\bar{p}_i^{b-2}\sigma^2 + a_2\bar{p}_i^{b-4}\sigma^4)$$

donde:

\bar{p}_i : talla media de cada GE i

σ : varianza

a : intercepto de la relaci3n longitud peso

b : pendiente de la relaci3n longitud peso

a_1 : coeficiente 1 de Pienaar y ricker (1968)

a_2 : coeficiente 2 de Pienaar y ricker (1968)

La estructura de edad, longitud y pesos promedio mediante la funci3n CapturaEdad(), desarrollada especialmente para estos fines, permiti3 estimar los par3metros a escala anual, trimestral y espacial (por flota) de manera autom3tica, con lo que fue posible evaluar otros criterios de ajuste de la edad sin comprometer tiempo excesivo en el an3lisis de datos (**Figura 9**) (https://rpubs.com/Christian_Valero/615932).

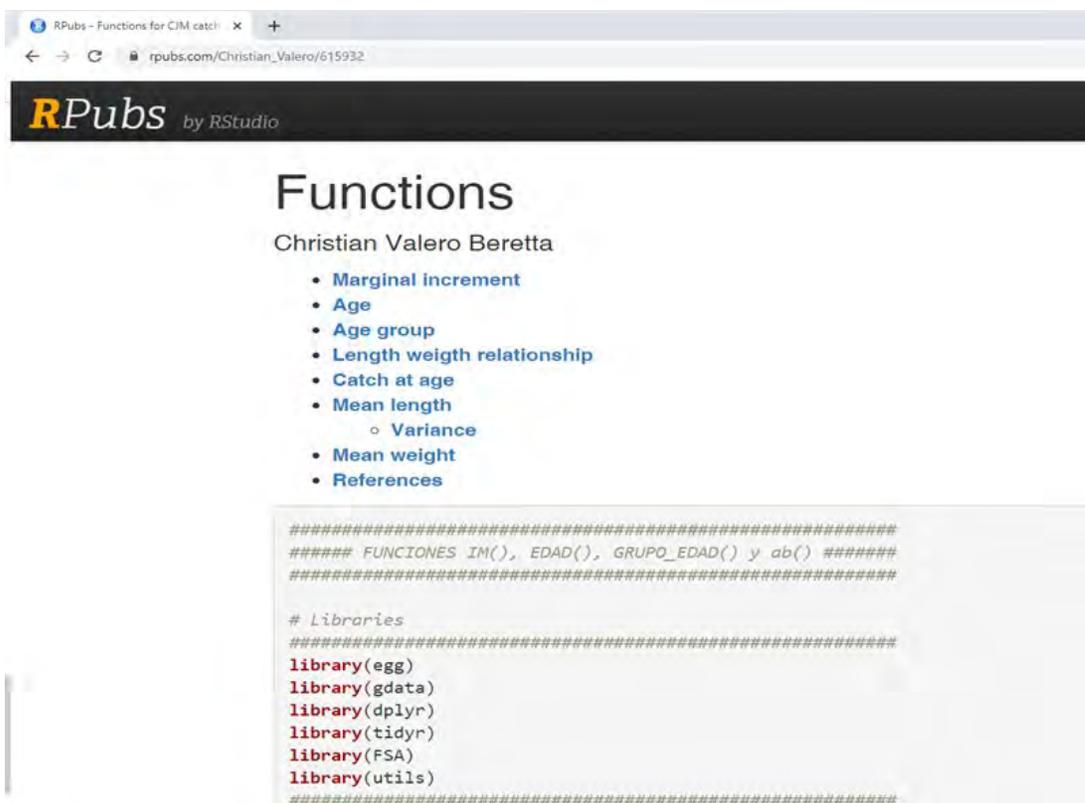


Figura 9. Índice de la rutina disponible en RPub construida en el programa estadístico R (<https://cran.r-project.org>), que permitirá modificar la serie histórica de la estructura de edad de las capturas de jurel, ya que con esta se puede manipular y analizar bases de datos grandes de manera eficaz y rápida.

Se utilizó un total de 205.940 lecturas individuales de otolitos estimadas mediante los protocolos históricos de edad de jurel. Estas muestras son provenientes de la zona norte de Chile (Arica Antofagasta) y de la zona centro sur (Caldera Guaitecas) (**Tabla 1**).

Se contó con frecuencias de tallas entre los años 1980 al 2020 de la macrozona norte (Arica Antofagasta) y centro sur (Caldera Guaitecas) a una periodicidad



trimestral provenientes del programa de seguimiento de pelágicos ejecutado de forma rutinaria por el instituto de fomento pesquero (**Tabla 2**).

Tabla 1
Número de lecturas de lecturas de otolitos de jurel por trimestre y año desde 1980 hasta 2021.

Año	Total	Arica - Antofagasta				Caldera - Guaitecas			
		1° trim	2° trim	3° trim	4° trim	1° trimestre	2° trimestre	3° trimestre	4° trimestre
1980	4050	708	834	111	165	603	525	664	440
1981	5053	886	1313	692	289	644	381	354	494
1982	5951	679	1149	335		687	1227	1204	670
1983	5521	195	571	871	419	766	875	865	959
1984	5499	667	851	648	47	895	482	1247	662
1985	4723	698	926	72		963	1046	613	405
1986	4981	576	163	75	74	848	1091	1086	1068
1987	7183	420	549	464	480	1279	1752	1060	1179
1988	5355			516	240	1304	1527	1291	477
1989	6339	653	327	80	204	1407	1384	1278	1006
1990	6390	276	371	195	491	1158	1538	1161	1200
1991	6829	246	267	436	472	1239	1569	1338	1262
1992	7888	109	514	545	519	1603	1713	1855	1030
1993	7241	496	562	1018	878	1602	1121	1004	560
1994	6861	708	1052	337	361	885	1471	1326	721
1995	5614	642	298	292	301	1811	1638	322	310
1996	9427	1260	1848	1316	914	1189	1245	1225	430
1997	9125	546	219	392	435	1979	2025	2087	1442
1998	5961	131	370	593	626	680	1511	1238	812
1999	5473	462	591	291	255	753	1109	1033	979
2000	5614	389	452	134	515	639	1104	1188	1193
2001	7360	532	567	698	514	1498	1598	1009	944
2002	7058	668	626	666	225	1282	1295	1184	1112
2003	4841	490	470	569	165	930	875	792	550
2004	6061	510	490	284	619	940	1349	1106	763
2005	4446	361	409	320	259	818	1030	557	692
2006	3644	213	183	195	208	720	859	867	399
2007	2810	214	183	202	191	688	523	426	383
2008	3148	222	203	218	347	512	576	669	401
2009	4060	486	507	257	482	567	562	566	633
2010	2228	83	76	87	162	508	447	440	425
2011	1949	213	271	296	283	511	46	131	198
2012	2388	604	285	251	201	109	614	48	276
2013	4271	273	414	241	241	1072	811	494	725
2014	3124	210	456	263		616	478	542	559
2015	2766	338	275		178	510	555	639	271
2016	3349		289	374	351	630	666	529	510
2017	2974	287	430		362	565	442	633	255
2018	2868	163	488		204	610	624	302	477
2019	2590	36	243		385	605	547	330	444
2020	2927	305	475	275	270	531	372	425	274
2021	2175			72	270	512	509	331	481



Tabla 2
Registro histórico de frecuencia de tallas de las capturas de jurel desde 1980 hasta 2021.

Año	Total	Arica - Antofagasta				Caldera - Guaitecas			
		1° trim	2° trim	3° trim	4° trim	1° trimestre	2° trimestre	3° trimestre	4° trimestre
1980	707	248	323	6	35	19	60	12	4
1981	1163	174	727	53	70	10	93	19	17
1982	2551	469	1697	178		18	108	71	10
1983	897	11	200	403	157	6	39	39	42
1984	2405	439	1186	540	14	32	166	17	11
1985	1673	752	688	15		23	153	36	6
1986	255	87	7	4	3	23	70	49	12
1987	1728	357	403	47	728	25	125	26	17
1988	336			12	252	2	2	58	10
1989	1580	497	182	68	90	78	440	194	31
1990	8576	142	354	26	336	1692	3363	2219	444
1991	8763	210	159	406	225	1582	3002	3150	29
1992	8661	62	532	449	141	1504	2853	2938	182
1993	8954	373	1021	206	666	2305	3482	665	236
1994	7969	225	272	44	447	1381	4240	1289	71
1995	17862	161	265	72	547	3946	8765	3148	958
1996	12290	250	584	343	486	3643	4802	1568	614
1997	12781	125	102	22	299	3111	4525	3455	1142
1998	10659	34	93	27	26	4241	3116	2437	685
1999	9635	31	315	13	47	2293	959	2989	2988
2000	8410	296	371	49	51	2959	1214	2297	1173
2001	9403	104	495	1138	340	2149	1671	1925	1581
2002	6927	389	120	91	99	1276	2014	1073	1865
2003	4750	344	347	374	30	597	1565	1150	343
2004	4033	496	131	7	177	1076	1123	773	250
2005	3946	280	533	175	264	864	1129	590	111
2006	3023	651	360	8	122	436	715	550	181
2007	3055	293	470	133	180	817	631	519	12
2008	2749	238	321	635	424	338	460	218	115
2009	2045	388	417	1	79	498	288	243	131
2010	1751	361	730	23	23	308	250	48	8
2011	705	77	195	41	48	180	91	55	18
2012	608	33	29	1	15	407	109	1	13
2013	798	1	134	62	2	360	218	4	17
2014	676	68	156	1		232	167	22	30
2015	886	143	26		1	110	449	142	15
2016	714	4		39		279	285	40	60
2017	871	163	58		1	102	369	150	28
2018	1034	64	86		0	348	399	46	91
2019	970	1	13		17	502	341	66	30
2020	761	20	99	1	4	405	197	21	14
2021	15974	101	27	88	384	8133	3097	1770	2374

Los parámetros de la relación peso longitud se obtuvieron de los muestreos biológicos de rutina, los valores de a y b para cada año, macrozona y trimestre empleado en este análisis se presentan en **Anexo III**).



Comparaci3n de las estructuras de edad

Se realiz3 una comparaci3n entre la estructura de edad elaborada a partir del criterio de lectura antiguo y aquella realizada a partir del criterio de lectura validado, para estimar que tan importante es la reducci3n en la frecuencia de grupos de edad con el cambio en el criterio de lectura. Con este prop3sito se evalu3 la pendiente de la curva de captura descendente por GE, de los dos tipos de estructura de edad mencionados. Para esto se aplic3 un modelo lineal generalizado (GLM) que consider3 el logaritmo natural de la captura en n3mero como variable de respuesta, y como variables de explicativas el grupo de edad, el criterio de lectura (antiguo o validado) como efecto fijo y la interacci3n entre GE con el criterio de lectura, de acuerdo con la siguiente formulaci3n:

$$\ln(Y_{ij}) = \beta_0 + \beta_i X_{ij} + C_j + X_{ij}: C_j$$

$\ln(Y_{ij})$ corresponde al logaritmo natural de la captura en n3mero del i ésimo grupo de edad para el criterio de lectura j , β_0 representa al intercepto o media global, β_i la pendiente; X_{ij} al grupo de edad (covariable); C_j al tipo de lectura de otolitos.

La fracci3n descendente de la curva de captura para la estructura de edad antigua incluy3 los grupos de edad del 4 al 12, en tanto que la para la estructura de edad validada correspondi3 a los grupos de edad del 2 al 12 (**Figura 10**)

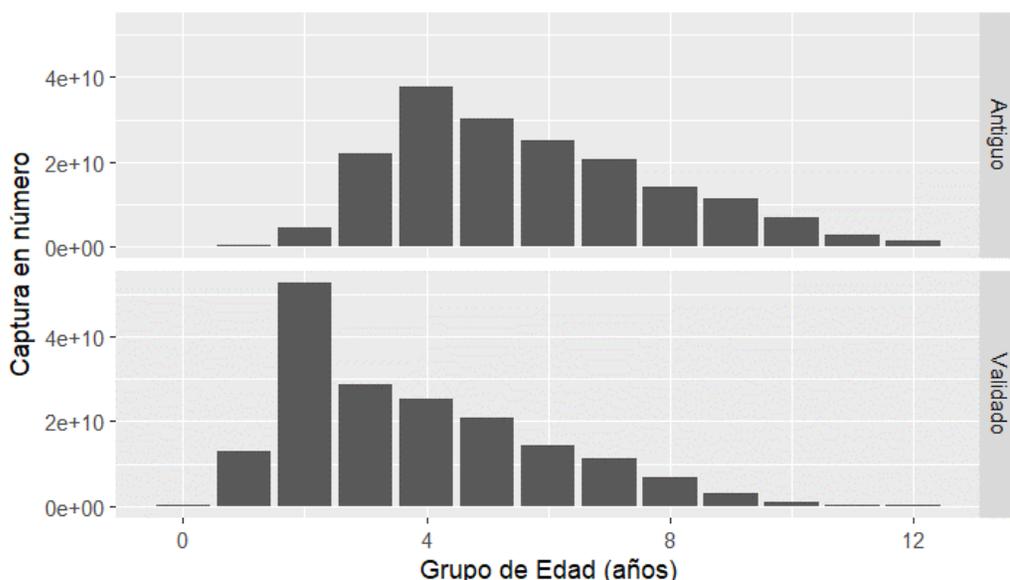


Figura 10. Estructura de edad de la captura para toda la serie acumulada entre 1980 y 2021, elaboradas a partir de la edad estimada con el criterio de lectura antiguo y el validado.

8.3.2 Reconstruir ojivas de madurez a la edad.

Se estimó la ojiva de madurez a la edad de hembras utilizando los datos de madurez histológica en muestras colectadas entre septiembre del 2011 y enero 2012, estimados por Leal et al. (2013). La edad, de los peces analizados, fue estimada a través de la lectura de otolitos enteros de 179 hembras, basado en los nuevos criterios de determinación de edad históricos.

Se aplicó un modelo logístico para describir la madurez sexual en función de la edad de jurel, el cual se describe como sigue:

$$P = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 - \beta_1 * L, E)}$$

donde P es la proporción de ejemplares maduros a la longitud (L) o edad(E), β_1 y β_2 son los parámetros que representan la posición y la pendiente de la curva, respectivamente. Estos parámetros serán obtenidos por máxima verosimilitud,



asumiendo una distribuci3n binomial (maduro/inmaduro) de la variable aleatoria. La funci3n de estimaci3n log-verosimilitud se expresa de la siguiente forma:

$$L(\beta_0, \beta_1) = \sum k \ln(P) + (1 - h) \ln(1 - P)$$

donde k indica la presencia o ausencia de individuos maduros, P es la funci3n logística previamente descrita.

La longitud o edad media de madurez que se define como aquella a la cual se alcanza el 50% de probabilidad de estar maduro, se estim3 como la raz3n entre los parámetros β_0 y β_1 , como sigue:

$$E_{50} = \frac{\beta_0}{\beta_1}$$

Se consideraron maduros todos los ejemplares que presentaron los estados II al V, de acuerdo con la tabla microsc3pica de estados de madurez de jurel descrita por Leal et al. (2013).

8.4 Metodología para objetivo específico 6.4. “Estimar los parámetros de crecimiento y mortalidad natural a partir de las nuevas lecturas”.

8.4.1 Estimaci3n de parámetros de crecimiento

En la estimaci3n de parámetros se utiliz3 la base de datos de lectura del 2007 y 2009, correspondiente a 521 pares de otolitos de la colecci3n de referencia. Las lecturas fueron utilizadas de acuerdo con los nuevos criterios de edad validados y correspondieron al n3mero de annulus identificados usando otolito entero y la secci3n transversal del otolito derecho, pulida y tostada, apoyado con la observaci3n del otolito izquierdo entero, principalmente en la identificaci3n de los dos primeros



annulus. Se ajustaron las estimaciones de edad que presentaron una legibilidad de muy bueno y bueno.

La relaci3n longitud-edad de datos al momento de la captura fue ajustada con el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (vB) para sexos combinados, cuya funci3n es la siguiente:

$$L_t = L_\infty * (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

donde: L_t es la longitud del pez a la edad t , L_∞ es la longitud m3xima asint3tica, K es el coeficiente de crecimiento velocidad con que se alcanza el L_∞ , t es la edad, t_0 es la edad hipot3tica cuando la longitud del pez es cero.

En el ajuste se us3 el paquete "FSA" de R-project, desarrollado por Ogle (2016). Esta estimaci3n incluye el intervalo de confianza al 95% de los par3metros calculado por bootstrapping, usando funci3n `nlsBoot()` del paquete `nlstools` (Baty et al. 2015).

Para evaluar si el desbalance en los datos por edad, principalmente entre los 2 y 7 a3os, podr3a sesgar la estimaci3n de los par3metros de longitud asint3tica (L_∞) y coeficiente de crecimiento (K), se realiz3 un an3lisis de sensibilidad con el m3todo de remuestreo Bootstrap tradicional con reemplazo y otros dos "tipo Bootstrap" con y sin reemplazo para una muestra fija de 10 individuos por edad, para 999 simulaciones utilizando los paquetes estad3sticos FSA (Ogle 2016) y `nlstools` (Baty et al. 2015) del software Rproject.



8.4.2 Estimaci3n de la mortalidad natural (M).

En este informe de avance se presentan estimaciones de M utilizando modelos empíricos que usan los parámetros de crecimiento (L_{∞} , K y t_0), longevidad y talla y edad media de madurez (L_{50} , E_{50}).

De acuerdo con las sugerencias del evaluador usamos los estimadores de Hoening_nls y Pauly_nls-T recomendados por Then et al. (2015). Adem3s del método de Rikhter y Efanov (1976), que considera la edad media de madurez y el de Zhang y Megrey (2006) que incluye el K y t_0 del modelo de crecimiento vB y la longevidad o edad máxima.

- Método Hoening_nls.

$$M = 4,899t_{max}^{-0,916}$$

En esta ecuaci3n se utiliza la edad máxima (T_m) observada que corresponde 14 ańos.

- Método Pauly_nls-T.

$$M = 4,118k^{0,73}L_{\infty}^{-0,33}$$

- Método de Rikhter y Efanov (1976).

Este método muestra la relaci3n entre M y la edad media de madurez sexual (E_{50}) de acuerdo a la siguiente expresi3n:

$$M = \left(\frac{1,521}{E_{50}^{0,72}} \right) - 0,155$$

donde M es la mortalidad natural y E_{50} es la edad de madurez, la cual ser3 estimada en el presente estudio.



- Método de Zhang y Megrey (2006) calculado usando la plataforma de Cope http://barefootecologist.com.au/shiny_m

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(t_{mb}-t_0)} - 1} \quad t_{mb} = C_i(t_{max})$$

donde M es la mortalidad natural, L_∞ y K son parámetros del modelo de von Bertalanffy, t_{max} es la edad máxima registrada, β es la pendiente de la relación longitud-peso y C_i es una constante para grupo ecológico i, en pelágicos es igual a 0,38 (Zhang y Megrey 2006).

8.4 Metodología para objetivo específico 6.5: *"Reducir la incertidumbre en el proceso de determinación de edad del Jurel, en ejemplares adultos (2+), mediante la aplicación de técnicas micro-estructurales y microscopía electrónica de alta resolución u otra metodología de mayor resolución."*

8.4.1 Antecedentes considerados para el objetivo.

La validación del tiempo de formación primer anulo en estructural calcificadas, en una necesidad fundamental en la determinación de edad y crecimiento de peces, debido a que se puede arrastrar un error de forma constante en toda la determinación de edad, que puede afectar las estimaciones de biomasa en aquellos casos en que se usan modelos de evaluación de stock basados en edad (Campana 2001; Natanson *et al.* 2001). Aunque el impacto de esta dificultad puede ser menor en peces viejos, su influencia incrementa a medida que ocurre un proceso de juvenalización de la población, debido a que la estructura de edad de la captura se mueve a grupos de edades menores. La necesidad validación de tiempo de formación de los anulos se puede extender más del primer año, particularmente en especies donde la macro-estructura de sus otolitos presenta abundantes



perturbaciones y alternancia de bandas opacas y hialinas de periodicidad de desconocida, antes de transitar a un periodo de bandas anuales m1s distintivas en individuos m1s longevos. Precisamente esta caracter1stica ha sido considerada una de las principales fuentes de incertidumbre en la determinaci3n de la edad anual del jurel *Trachurus murphy*, con el consecuente impacto en el proceso de evaluaci3n de stock de este recurso (Dioses 2013; Goicochea *et al.* 2013, Diaz 2013, Canales 2013; Horn & Maolag1in 2021).

Para el caso del jurel en la 1ltima d1cada se han evidenciado avances en la validaci3n de tiempo de formaci3n del primer 1nulo en otolitos, partiendo por el trabajo de Goicochea *et al.* (2013), quien utiliz3 el an1lisis de la microestructura en secciones transversales de otolitos sagitales de esta especie en la zona costera del Per1, reportando que la longitud horquilla (LH) media a los 365 d1as de vida fue de 17,7 cm y el radio caudal medio del otolito a la formaci3n de primer 1nulo correspondi3 2,49 mm. Adicionalmente, en el proyecto FIP 2014-32 "*Protocolo de lectura de otolitos de jurel*" (Cerna *et al.*, 2016; Cerna *et al.* 2017) se demostr3 que en ejemplares adultos de esta especie es posible observar secuencias de micro-incrementos desde una marca distintiva que circunda al primordio hasta el borde de otolito, sagitales utilizando microscop1a de campo claro. El n1mero de micro-incremento visibles sobrepas3 incluso los 365, y su secuencia apareci3 ininterrumpida, particularmente en ejemplares menores a 20 cm LH. M1s recientemente Araya *et al.* (2020) confirmaron estos hallazgos donde se demostr3 para dos a1os de estudio (2008 y 2009) que la primera zona hialina correspondi3 a un anillo falso complet3, debido a que culmin3 su formaci3n a edades medias de 180 d1as, muy por debajo de los 365 d1as requeridos para ser considerado el primer 1nulo en esta especie, recomend1ndose que sea obviado de los procesos de determinaci3n de edad para prop3sitos de evaluaci3n del recurso (**Fig. 1**). Estos hallazgos confirmaron los resultados reportados por Cerna *et al.* (2016), quien,

utilizando una metodologfa similar, reportaron que el primer macro-anillo que se le asigna un afo de vida, de acuerdo con los criterios de lectura anual, no corresponderfa al annulus, al presentar un nfmero de micro-incrementos inferior a 200 dfa (Figura 11). Es importante destacar que los avances realizados en la validaci3n del tiempo de formaci3n el primer anulo en otolitos del jurel en Chile estf respaldado en la validaci3n de la periodicidad diaria de formaci3n de los micro-incrementos en otolitos sagitales, tanto en juveniles como en adultos (Araya et al. 2003; Araya et al. 2020).

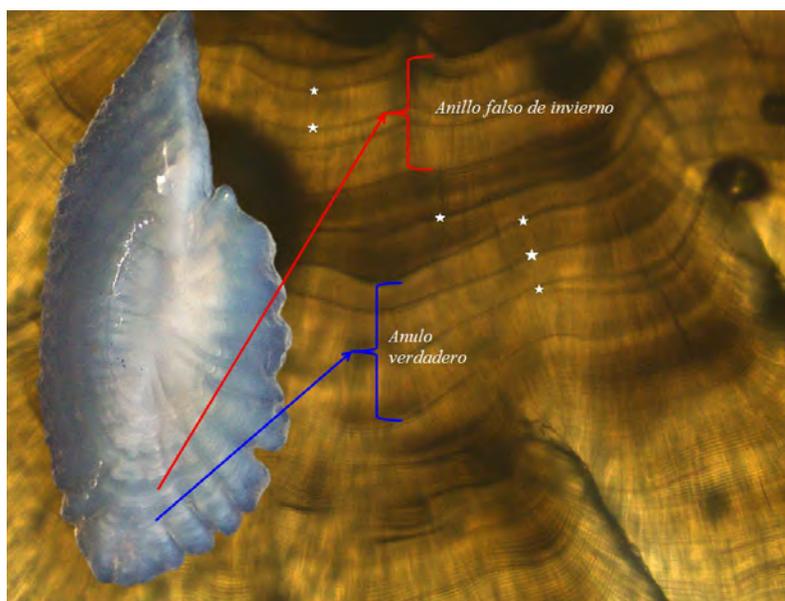


Figura 11. Comparaci3n entre la macro y micro-estructura de un ejemplar de jurel (*Trachurus murphy*), de 23 cm de LH, recolectado en la costa chilena durante el afo 2009. Las flechas rojas y azules indican la exacta correspondencia entre la macro y microestructura de la primera (banda de invierno) y segunda banda hialina (anulo formado en primavera). Las estrellas indican las discontinuidades hialinas finas a nivel microestructural. Figura reproducida de Araya et al (2019).

Estos estudios de validaci3n del primer anulo realizados en Chile han permitido sustentar la hip3tesis de que la primera banda hialina marcada despu3s de un dep3sito nuclear opaco algo irregular, se forma en el primer invierno, despu3s de aproximadamente 6-7 meses del nacimiento en la estaci3n de primavera, que ocurre



principalmente entre octubre y diciembre de cada a1o (Arancibia & Cubillos 1993, Grechina *et al.* 1998; Leal *et al.* 2013). Al completar su primer a1o biol3gico los ejemplares han alcanzado aproximadamente la talla media de madurez e iniciado su primer desove que traduce en una ca3da en el crecimiento y formaci3n de la segunda banda hialina, que corresponde al primer 1nulo verdadero. Estos estudios han permitido tambi3n demostrar que el resto de las bandas hialina tenues que se forma entre las bandas hialinas m1s pronunciadas, aparecen como discontinuidades a nivel micro-estructural, pero que no parecieran interrumpir la secuencia diaria de micro-incrementos, por lo que est1n asociadas a crecimiento estacional. Es importante estacar que resultados similares han sido reportados para el Jurel *Trachurus trachurus*, donde se demostr3 la existencia de abundantes bandas hialinas tenues dentro de un ciclo de crecimiento anual con existencia de un primer y un tercer anillo falso marcado (Waldrom & Kerstan, 2001)

La falta de sincron3a entre el periodo de desove y la estaci3n e invierno fr3a ha sido postulada como las causas de la formaci3n de dos bandas hialina pronunciadas en otolitos sagitales del jurel por a1o. Sin embargo, es esperable que estos dos eventos (invierno frio y desove de primavera) registrados como dep3sitos separados en los otolitos en las primeras fases de desarrollo se terminen fundiendo en una 1nica banda hialina en ejemplares m1s longevos. Por lo tanto. La problem1tica a resolver es a partir de que marca hialina pronunciada formada con posterioridad a la segunda banda ya validada se debiese comenzar a contar una banda hialina por a1o.

Para resolver esta problem1tica en la presente investigaci3n se llev3 cabo un an1lisis comparativo entre la macro y micro-estructura, usando microscop3a de campo claro y microscop3a electr3nica de barrido, en otolitos sagitales de ejemplares de entre 21 a 50 cm de LT. A continuaci3n, se describen los



procedimientos metodol3gicos y los resultados obtenidos.

8.4.2 Muestras disponibles.

Para el desarrollo de esta investigaci3n se cont3 con 138 para de otolitos sagitales, de entre 21 y 50 cm de longitud de horquilla (LH), recolectados en entre los a1os 2008 y 2011, principalmente de en la macro-zona "Centro Sur" (**Tabla 3**). Para el caso de la zona norte se dispuso de 46 otolitos de entre 21 y 36 cm recolectados en el a1o 2009.

Tabla 3

Estadísticas generales de LH de ejemplares del Jurel (*Trachurus murphy*) disponibles para los análisis macro y micro-estructurales, para tres clases anuales.

A1o	Media	±	DE	Rango	N
2008	38,96	±	7,68	22 - 49	28
2009	32,07	±	8,79	21 - 50	82
2011	35,46	±	8,27	23 - 50	28
Total	34,16	±	8,86	21 - 50	138

8.4.3 Digitalizaci3n de otolitos enteros.

Para el análisis comparativo de las tres técnicas todos los otolitos sagitales (derechos e izquierdos) fueron digitalizados utilizando un analizador de imágenes, compuesto de una lupa digital Leica EZ4 y un software de captura LAS 3.2. Los otolitos fueron fotografiados sobre un fondo oscuro, inmersos en agua en una cápsula Petri y también fueron fotografiados directamente sin liquido aclarador. A cada otolito se le registr3 el radio caudal y en casos de elevada resoluci3n y escasa presencia de anillos falsos potenciales, se registr3 el radio al a la formaci3n de cada annulus potencial siguiendo un eje en línea recta desde un punto central has el borde caudal del otolito. Se debe destacar que en otolitos enteros no es posible

visualizar el primordio, por lo que no es factible posicionar de forma consistente el inicio de la formaci3n. No obstante, es factible observar una regi3n nuclear macro-estructural central, a partir de la cual se inici3 el registro de radios (**Figura 12**).

- ❖ Se registr3 el grosor de las zonas hialinas opacas, a fin de tener un registro de su magnitud a nivel macrosc3pico, para posteriormente comparar estas zonas a nivel micro-estructural.

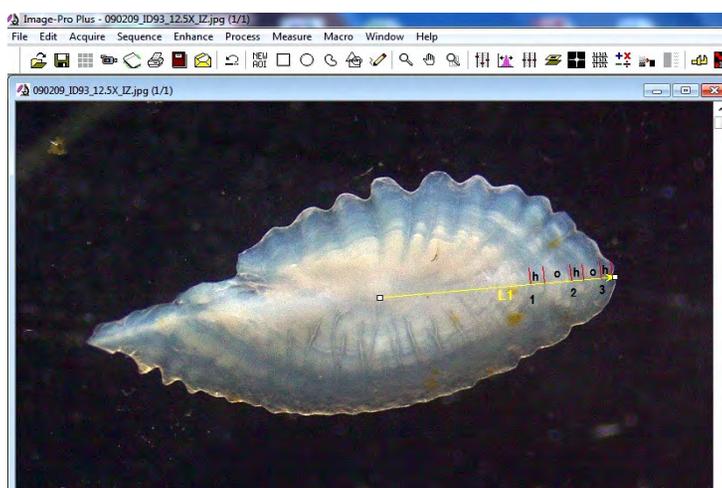


Figura 12. Fotografía ilustrativa del proceso de registro de las dimensiones del radio y grosor de las bandas opacas y hialinas, de un otolito sagital de un ejemplar de 23 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, durante el desarrollo del presente proyecto. Las mediciones fueron llevadas con el m3dulo “Caliper” del analizador de imágenes Image Pro-Plus. Los n3meros representan el n3mero de potenciales 3nulos (r1, r2 & r3; opacos) y las letras los grosores de las bandas hialinas y opacas.

8.4.4. Preparaci3n de muestras para an3lisis micro-estructural.

Una vez culminado el proceso de digitalizaci3n macro-estructural, el otolito derecho est3 siendo procesado con el m3todo SGEM (Plaza *et al.* 2005), donde est3n siendo embebidos en resina ep3xica y posteriormente pulidos en posici3n sagital utilizando lijas de diferentes niveles de graduaci3n de entre 800 a 2500 de tamaño de grano.



La preparaci3n de los otolitos de peces juveniles cercanos a la primera madurez sexual y hasta los 25 cm de LT, sigui3 los mismos procedimientos de montaje y pulido descritos por Cerna *et al.* (2016) y Araya *et al.* (2019), donde un doble pulido en posici3n sagital permite revelar los micro-incrementos diarios con confiabilidad en esta especie (**Figura 13**) y revelar con nitidez el primordio. Para ejemplares de entre 25 y 50 cm se exploraron la elaboraci3n de secciones transversales y frontales, sin embargo, las primeras no fueron satisfactorias porque, s3lo los micro-incrementos de la etapa juvenil fueron visibles. Aunque la capacidad de registro micro-estructural mejor3 en las secciones frontales, la interpretaci3n de los micro-incrementos se torn3 muy dif3cil, debido a que el 3rea de la secuencia micro-estructural fue reducida, sobre todo hacia los bordes anteriores y posteriores, donde los micro-incrementos fueron irresolubles, incluso en ejemplares menores a 30 cm de LH. Adicionalmente, la preparaci3n de estas secciones fue altamente demandante de tiempo y recursos, razones por la que fueron descartadas. Las secciones con doble pulido sagital tambi3n fueron muy complejas de elaborar, en ejemplares > 25 cm de longitud, debido a la marcada profundizaci3n del sulcus ac3stico y a la marcada concavidad del otolito sagital, donde ambos rasgos incrementaron con la edad. Esta limitaci3n ha conducido a la destrucci3n de una cantidad sustantiva de muestras, aunque ha sido posible obtener secciones para an3lisis micro-estructural, para ejemplares de entre 21 y 33 cm LH, y algunos de los resultados parciales se describen en el presente informe.

8.4.5. Proceso de digitalizaci3n y registro de secciones micro-estructurales.

Despu3s de la obtenci3n de las secciones de otolitos preparadas, los micro-incrementos fueron contados y medidos desde el primordio hasta la periferia, utilizando im3genes de las secciones digitalizadas mediante analizadores de

imágenes compuestas por microscopio ópticos (LEICA DM 1000 LED & ZEISS Lab.A1 AXIO), cámaras digitales (ARTRAY W300 MT & LEICA MC 120 HD) y programas de captura (LEICA LAS EZ & RATOC JP). Las imágenes fueron combinadas 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 magnificaciones similares fueron debidamente ensambladas. Cuando no fue posible seguir la secuencia, se fotografiaron diferentes áreas hacia la región caudal, incorporando ciertos puntos de referencia que permitiese el seguimiento y recuento de los micro-incrementos. Las lecturas se realizaron utilizando la herramienta "Manual Tag" y para la medición de grosores se utilizó el módulo "Caliper", ambas disponibles en el analizador de imágenes IMAGE-pro-plus (**Figura 13**). Para la lectura de los micro-incrementos se siguieron los criterios validados desarrollados por Araya *et al.* (2003) y Araya *et al.* (2019).

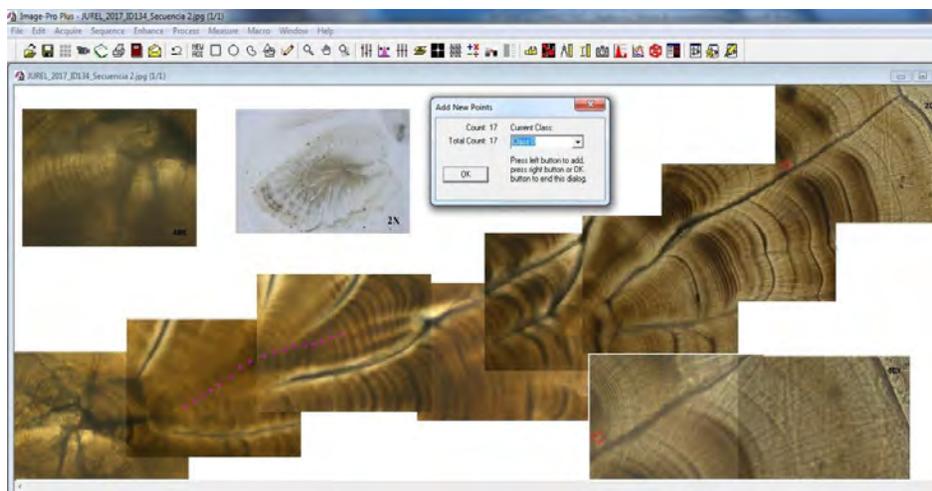


Figura 13. Microestructura de un otolito sagita de *Trachurus murphy* de 18 cm LH, ilustrando el proceso de recuento de los micro-incrementos, mediante la herramienta "Manual Tag" del Software Image Pro-plus. Las cruces y las fechas rojas denotan un ejemplo del recuento y el uso de un marcador para efectuar un cambio de aumento para obtener mayor visibilidad del micro-incremento. Reproducido de Araya *et al.* (2019).



8.4.6. Precisi3n de las lecturas.

Para determinar el nivel de precisi3n de los registros diarios de edad, una submuestra de 14 secciones fue leída por 2 investigadores con nivel avanzado y medio y de experticia. El resto de las secciones fue leído por duplicado por un investigador con experticia y la edad total correspondió al promedio de las lecturas. El nivel de reproducibilidad fue evaluado a trav3s del Índice de Porcentaje de Error Promedio (APE por sus siglas en ingl3s), propuesto por Beamish & Fournier (1981), y calculado como:

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

Donde X_{ij} corresponde al i -ésimo edad para el j -ésimo pez, X_j es la edad del j -ésimo pez, y R el número de veces que el pez fue datado. Al promediar el APE a trav3s de varias muestras se obtuvo un índice global de error promedio en cada procedimiento.

8.4.7. Análisis estructural de series de grosores.

En algunas secciones de alta resoluci3n fue posible realizar una medici3n de los grosores de los micro-incrementos desde el primordio hacia el borde del otolito, siguiendo un eje en línea recta, aunque en ocasiones no sobre una misma área del otolito. Esta aproximaci3n preliminar se realizó para identificar posibles ciclos en el crecimiento del otolito. Para evaluar la significancia de estos bloques o ciclos se utiliz3 el paquete de “R Structchange” (Zeileis et al. 2002), disponible en el programa estadístico R(CRAN).



9. RESULTADOS

9.1 Colecci3n de referencia de otolitos.

Una colecci3n de referencia puede ser definida como una colecci3n de estructuras duras usadas para la determinaci3n de edad, cuya edad de referencia se base en criterios exactos originados desde estudios de validaci3n y/o del consenso de expertos. La colecci3n debe incluir muestras que incluyan todos los tipos de factores como longitud, edad, sexo, estaci3n, mes, rango geogr3fico y distintos a1os de captura.

La colecci3n de referencia est3 constituida por 521 pares de otolitos correspondientes al 2009 para las macrozonas Arica-Antofagasta, Caldera-Coquimbo y San Antonio-Guaitecas, complementado con otolitos de 2007 provenientes de la macrozona San Antonio-Guaitecas (**Tabla 4**).

Tabla 4

Resumen del n1mero de pares de otolitos por a1o y mes para cada macrozona, que componen la colecci3n de referencia de jurel del pacifico sur-este frente a Chile.

Mes	Arica- Antofagasta	Caldera- Coquimbo	San Antonio-Guaitecas		Total
	2009	2009	2007	2009	
Enero	5			10	15
Febrero	5	23		8	36
Marzo	6	14		24	44
Abril	5	14			19
Mayo	19	13	29	16	77
Junio			33	12	45
Julio		12	30	12	54
Agosto		6	32	21	59
Septiembre		6	27		33
Octubre	29	8	37		74
Noviembre	10		13		23
Diciembre		10	12	20	42
Total	79	106	213	123	521

La distribuci3n de longitudes horquilla de los peces que forman parte de la colecci3n de referencia representa la estructura demogr3fica de jurel que es caracter3stica de cada macrozona, donde Arica-Antofagasta concentra los peces reclutas, Caldera-Coquimbo los tama1os juveniles e intermedios, en tanto que, en la macrozona San Antonio-Guaitecas, la estructura de tama1os es caracter3stica de peces adultos, registrando esta zona los peces de mayor talla de la poblaci3n (**Figura 14**).

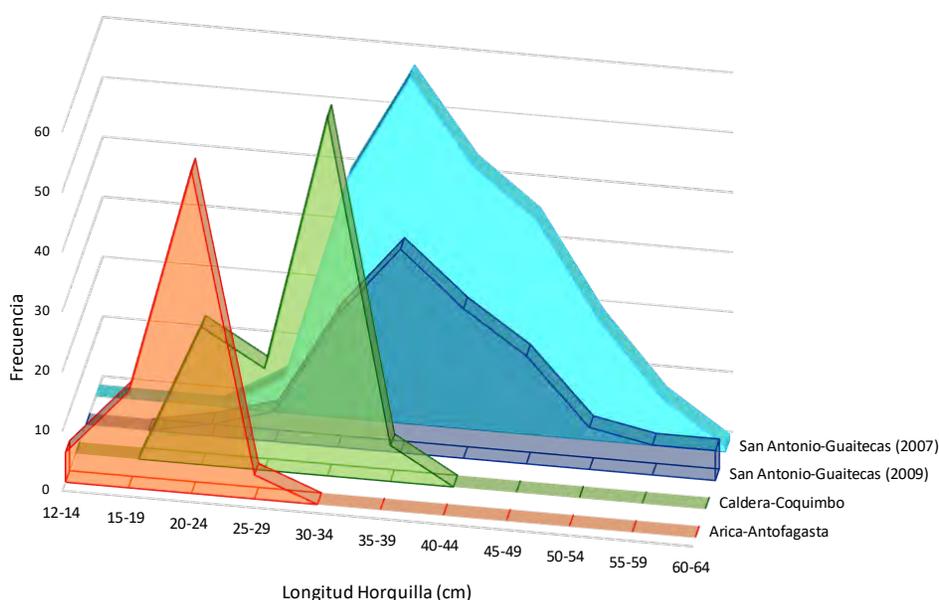


Figura 14. Distribuci3n de frecuencia de longitud horquilla de los peces que forman parte de la colecci3n de referencia de otolitos, por macrozona.

La distribuci3n de frecuencia de tallas de la colecci3n de referencia representa la estructura de tallas de la captura de cada macrozona, no encontr3ndose diferencias significativas entre estas, testeado con el test no param3trico Wilcoxon ($p > 0,05$) (**Tabla 5; Figura 15**).



Tabla 5

Resultados del test pareado no param3trico de Wilcoxon comparando la proporci3n de tallas de la colecci3n de referencia y las capturas en las tres macrozonas. AA: Arica-Antofagasta, CC: Caldera-Coquimbo, SG: San Antonio-Guaitecas.

Macrozona	V	p
AA	152,5	0,67
CC	149,0	0,75
SG-07	417,0	0,33
SG-09	569,0	0,96

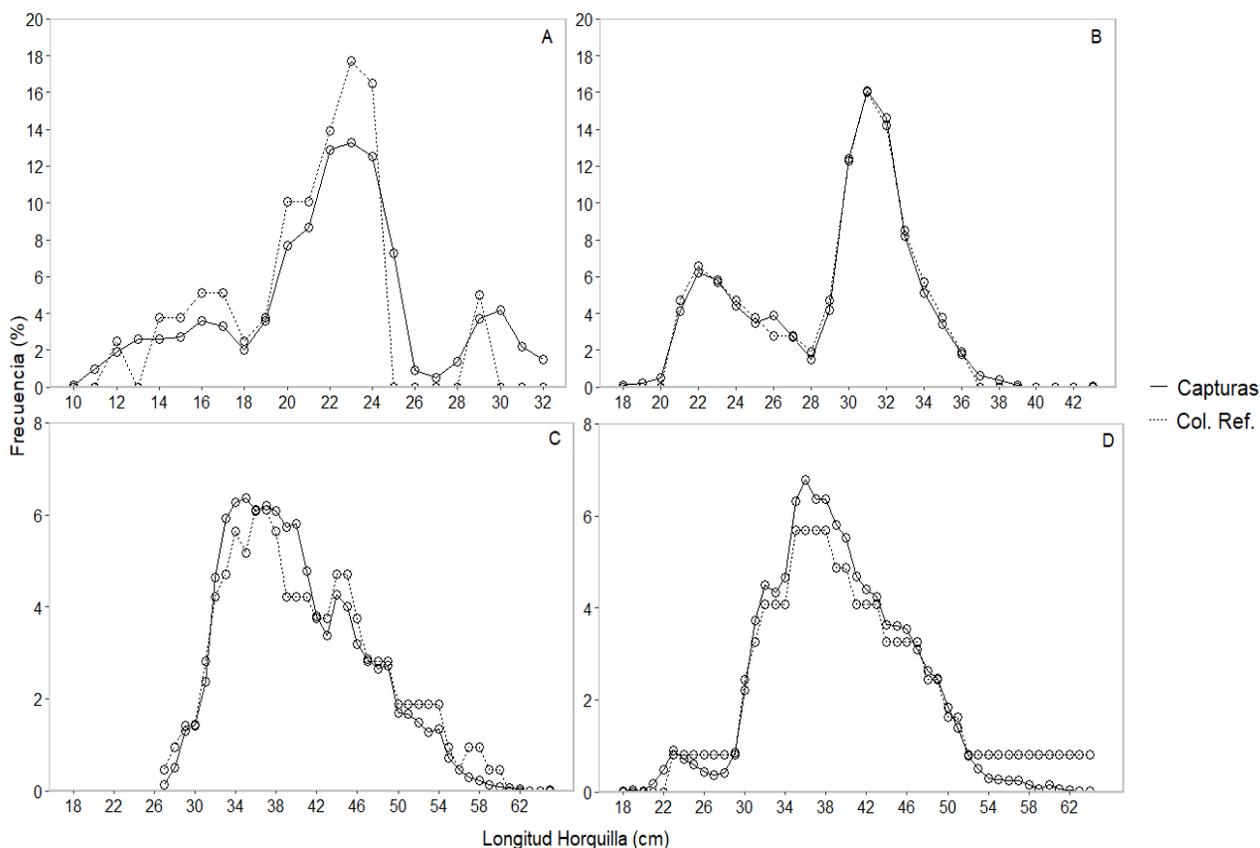


Figura 15. Frecuencia relativa de tallas de las capturas (lnea continua) y la colecci3n de referencia (lnea segmentada) para las macrozonas Arica-Antofagasta (A), Caldera-Coquimbo (B), San Antonio-Guaitecas 2007 (C) y 2009 (D).



9.1.1 Procedimiento de preparación de las secciones transversales.

La colección de referencia fue hecha para lectura de otolitos enteros como secciones transversales, lo cual permite tener alternitas para el análisis de la edad. Las lecturas de secciones de otolitos de jurel fueron sugeridas por la Dra. Beatriz Morales-Nin, que, como parte de una asistencia técnica, indicaba la necesidad de usar secciones tostadas para la lectura de peces de mayor talla, con el propósito de evitar la posible subestimación de la edad (Morales-Nin 1997). A su vez el Dr. Steven Campana, quien como resultado del análisis de validación de la edad usando el método de Bomba de Radiocarbono, estima que la lectura de secciones trasversales es más exacta que la lectura de otolitos enteros (Cerna et al. 2022).

La preparación de secciones transversales de otolitos de jurel fue el resultado de una serie de ensayos, para determinar el grado de tostado y el grosor de la sección. La secuencia final del procedimiento de preparación se detalla a continuación:

Paso 1.

El otolito derecho de cada ejemplar fue marcado en el Core (núcleo) con lápiz grafito, disponiendo para ello el otolito bajo microscopio estereoscópico con luz reflejada. Una vez marcado el otolito es depositado cuidadosamente en pequeños recipientes de papel aluminio con su número de identificación, donde fueron horneados por 10 minutos, con el uso de una estufa de secado Binder ED-115 previamente precalentada a 300°C (**Figura 16**).



Figura 16. Procedimiento de tostado de otolitos de *Trachurus murphyi*. Los otolitos son depositados cuidadosamente en recipientes de aluminio y horneados en una estufa de secado Binder ED-115 durante 10 minutos a 300°C.

Paso 2.

Una vez enfriados los otolitos son montados en boques individuales de resina ep3dica, con el uso de cubetas con 20 espacios para generar bloques de 2x3cm. Estos espacios en la cubeta deben estar previamente con una delgada capa de resina s3lida en el fondo, antes de ubicar el otolito y cubrirlo con la mezcla. Los bloques se dejan secar a temperatura ambiente por 24 horas, para posteriormente marcar con una l3nea transversal el sector, sobre el Core del otolito, donde se realizar3 el corte (**Figura 17**)



Figura 17. Confecci3n de bloques de resina ep3xica con los otolitos tostados de *Trachurus murphyi*. Cada bloque de resina est1 etiquetado con el ID del otolito y una l3nea transversal en el bloque que gu3a la direcci3n y lugar del corte.

Paso 3.

Una vez desprendidos boques de la bandeja pl1stica, se procedi3 a realizar los cortes para obtener secciones transversales utilizando una m1quina de corte de alta velocidad y precisi3n marca Struers, modelo Secotom-50 con velocidad de giro de disco de 2200 rpm y de una velocidad de desplazamiento del bloque de $3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Se obtuvieron secciones de un grosor de $400 \mu\text{m}$, el cual fue adecuado para obtener una buena resoluci3n de los anillos de crecimiento. Para obtener este grosor el disco fue desplazado 0,94 mm para obtener el segundo corte (**Figura 18**).

Paso 4.

Las secciones fueron montadas sobre un portaobjetos y adheridas con Cristalbond, proyectando la zona del rostro hacia arriba. Crystalbond es un pegamento termoplástico, que debe ser calentado junto al portaobjeto, para luego pegar la secci3n al portaobjeto y se deja secar a temperatura ambiente un par de minutos hasta que el Crystalbond se endurezca. (**Figura 19**).



Figura 18. Procedimiento de corte de los bloques de resina ep3xica para obtener la secci3n de otolito.

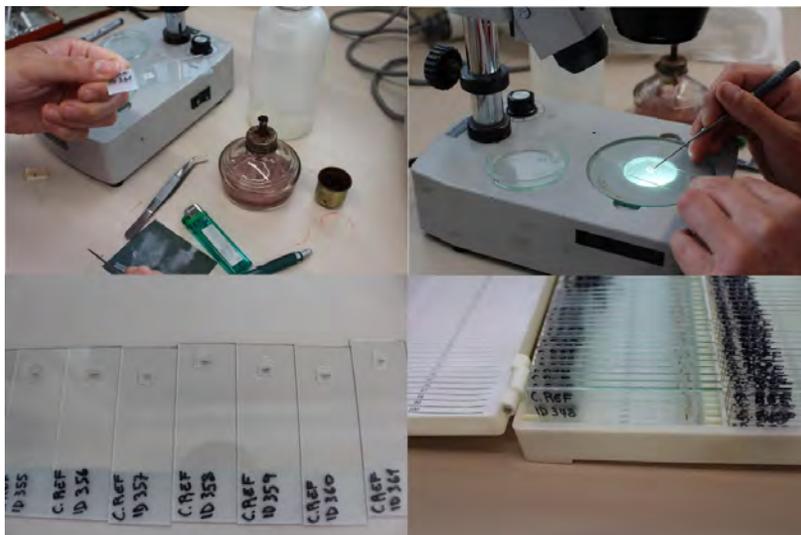


Figura 19. Montaje de la secci3n de otolito en su portaobjeto con el ID del otolito, los que son guardados en cajas pl3sticas.

Procedimiento obtenci3n de im3genes.

Los otolitos de *T. murphyi* fueron fotografiados con una c3mara Olympus Q-Color 3 de 3,2 megapixeles montada sobre una lupa Olympus SZ61, conectada a un computador con el software de procesamiento de im3genes Image Pro Premier.

En el caso de los otolitos izquierdos enteros, fueron fotografiados inmersos en una capsula Petri con vaselina liquida y fondo negro para mejorar la resoluci3n de los anillos. El otolito fue orientado con el rostrum hacia arriba y el margen ventral a la izquierda, siendo fotografiados por su cara externa con luz incidente y aumento de 10x (**Figura 20A**). Las secciones de los otolitos derechos fueron fotografiadas sobre un fondo transparente y luz transmitida con aumento de 20x. Para mejorar la resoluci3n de los anillos, la superficie de la secci3n fue retocada con una fina pel3cula de vaselina liquida. La secci3n fue orientada con el sulcus hacia arriba y el margen ventral hacia la derecha (**Figura 20B**).

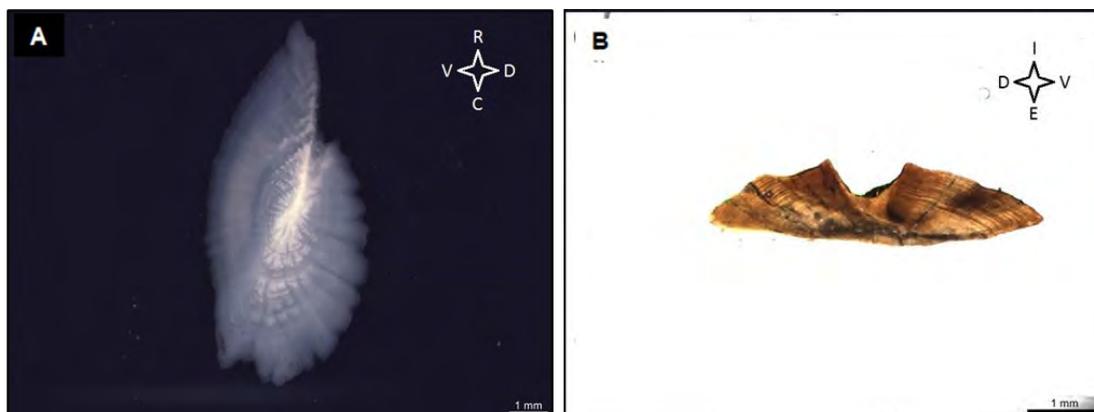


Figura 20. A) Cara externa del otolito izquierdo entero de jurel con aumento de 10x. B) Sección del otolito derecho tostado y fotografiado con aumento de 20x. R: rostrum, C: cauda, V: margen ventral, D: margen dorsal, I: cara interna, E: cara externa.

9.2 Generar los catálogos gráficos a partir de la colección de referencia de otolitos validados por lectores experimentados.

Este objetivo considera la elaboración de un catálogo de lectura de otolitos de jurel como resultado del análisis conjunto de los expertos de IFOP, INPESCA (Instituto de Investigación Pesquera), además de los expertos nacionales: Dr. Miguel Araya C. y el Dr. Guido Plaza P; reunidos en talleres de trabajo, de acuerdo al diagrama de actividades presentado en la **figura 7**. El resultado del trabajo de definición de los criterios de identificación de annuli, que incluyó el desarrollo de ejercicios de reproducibilidad, se muestra en forma extensa en el protocolo de determinación de edad de jurel y el catálogo de interpretación de annuli (**ANEXO I**).

9.2.1 Descripción de los procedimientos de lectura de otolitos

El otolito sagitta de jurel, que es elíptico o lanceolado como en la mayoría del género *Trachurus*. Es una estructura con múltiples anillos de crecimiento concéntricos, que

lo hacen una estructura de difi3il interpretaci3n de las bandas de crecimiento anual (annuli) (**Figura 21**).

El primer hallazgo identificado fue la mayor resoluci3n de las bandas de crecimiento en las secciones transversales de otolitos, principalmente en aquellos peces mayores a 3 a3os. En la identificaci3n de los primeros tres annuli es recomendable apoyarse con la lectura del otolito entero en conjunto con la secci3n transversal.

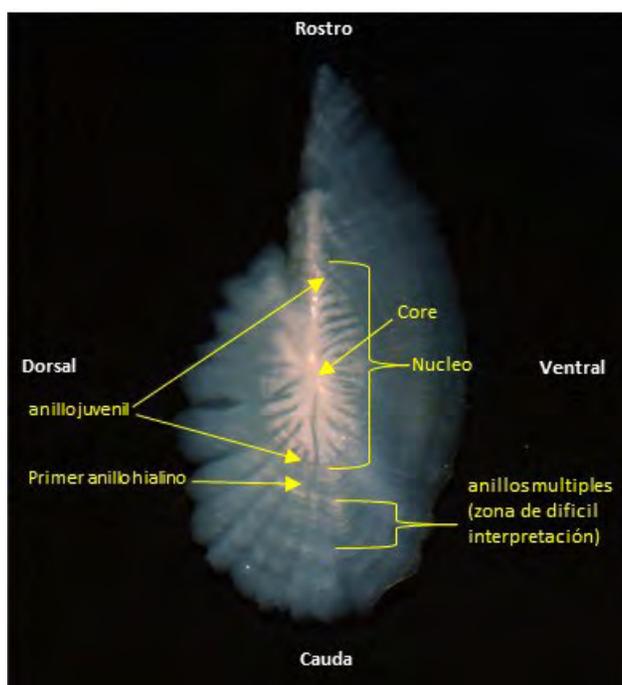


Figura 21. Otolito derecho de jurel en que se muestran los componentes principales de la estructura y una visi3n de los anillos de crecimiento.



Criterios de lectura de otolitos

La definiendo de los nuevos criterios de lecturas, basados en los resultados de validación de la edad encontrados del proyecto FIPA 2014-32, considerará la lectura de secciones transversales del otolito derecho, apoyada en la lectura del otolito izquierdo entero para facilitar la identificación de los primeros anillos, principalmente el anillo juvenil, el anillo hialino de invierno, el primer annulus y probablemente también el segundo. Uno de los procedimientos iniciales fue medir los anillos en la zona caudal y ventral del otolito entero, para de esta forma ubicar estos mismos anillos en la sección transversal y establecer la proporcionalidad de las medidas de los anillos desde el otolito entero a la sección.

El resultado muestra que el anillo hialino de invierno en la zona ventral del otolito entero, se ubica a una razón promedio el 0,49 respecto del radio desde hacia la zona dorsal; y el radio del anillo de invierno en la sección está a una razón de distancia promedio el 0,52 respecto del radio hacia la zona caudal del otolito entero. Por su parte, el radio del primer annulus en la sección con respecto al radio de este hacia la cauda del otolito entero tiene una razón promedio de 0,43. La razón entre los radios ventrales del otolito entero con respecto a los radios ventrales de la sección son cercanos a 1 (**Tabla 6**).

**Tabla 6**

Raz3n entre distinto tipos de medidas de radio total y anillos en el otolito entero y seccionado. RAIV es el radio de anillo de invierno ventral en otolito entero; RAICE es el radio del anillo de invierno hacia el cauda en otolito entero; RAIV es el radio de anillo de invierno ventral en la secci3n otolito; 1AV es el primer annulus hacia la zona ventral el otolito entero; 1AC es el primer annulus hacia la zona caudal otolito entero; 1AVS es el primer annulus en la secci3n; RTV es el radio total ventral en el otolito entero; RTC es el radio total hacia el cauda en el otolito entero y RTVS es el radio total en la secci3n del otolito.

Raz3n entre tipo de radio	M3nimo	M3ximo	Promedio	Desviaci3n est3ndar
RAIV/RAIC	0,37	0,57	0,49	0,04
RAIVS/RAIC	0,40	0,66	0,52	0,07
RAIV/RAIVS	0,73	1,23	0,95	0,14
1AV/1AC	0,40	0,51	0,45	0,03
1AVS/1AC	0,47	0,52	0,48	0,02
1AV/1AVS	0,84	1,08	0,92	0,08
RTV/RTC	0,36	0,52	0,45	0,03
RTVS/RTC	0,40	0,57	0,47	0,04
RTV/RTVS	0,83	1,11	0,97	0,07

Descripci3n de los dos primeros tipos de otolitos de acuerdo con la edad.

El mayor crecimiento del otolito es hacia la zona caudal, donde se aprecia los numerosos anillo de crecimiento finos, que en algunos sectores estn mas proximos y forman paquete de anillos hialinos, lo que constituye bandas de crecimiento hialino o translucido que pueden alternar con zonas de crecimiento opaco, que no son tan discretas como en otras especies, ya que tambi3n en ellas se pueden observar anillos hialinos falsos muy finos, que dificultan la interpretaci3n o lectura (**Figura 22**).

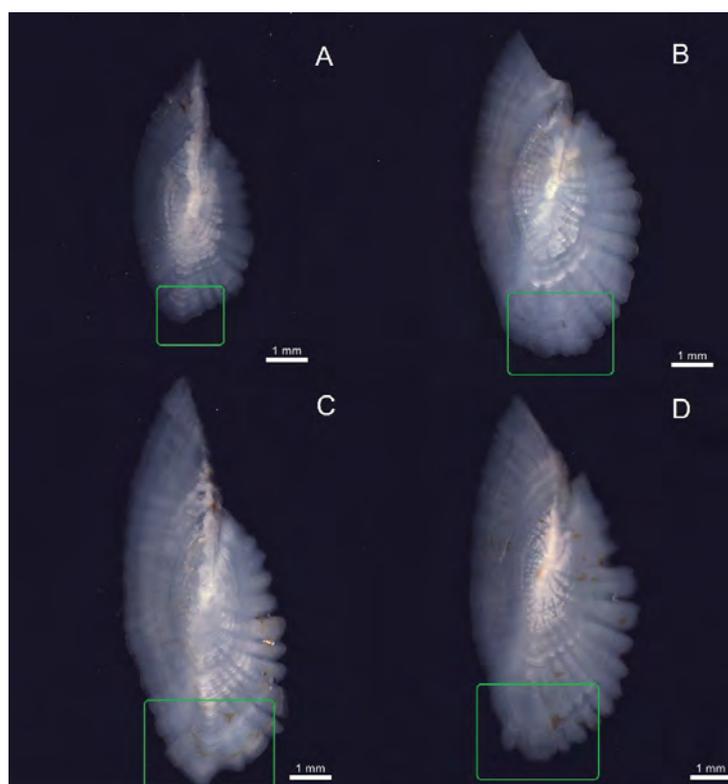


Figura 22. Otolitos con bandas hialinas formadas por anillos finos, de difcil interpretaci3n. El polígono verde muestra la zona de anillos finos mltiples. LH: (A) 21 cm, (B) 38 cm, (C) 36 cm, (D) 42 cm.



De acuerdo con Beatriz Morales-Nin (1997), la formaci3n de estos multi-anillos dificulta la interpretaci3n del anillo marginal, ya que solo se distingue si esta completo en comparaci3n con las zonas anteriores. Esta misma autora se1ala que en el otolito se observa un anillo claro formado con un radio (caudal) de 1,55 mm (D.E.= 0,221) que se denomina juvenil por su similitud con otras especies. Adem1s describe un segundo anillo formado alrededor de un radio de 2,01 mm (D.E.=0,202) que la asigna edad 1, sugiriendo adem1s que los anillos 2 y 3 est1n poco definidos. Esta dificultad en la interpretaci3n de las bandas de crecimiento anual (annuli) ha sido superada con los estudios de validaci3n, que nos permiten probar que el anillo anteriormente asignado con edad 1 tiene una periodicidad menor a la anual, coincidiendo su formaci3n con el primer invierno despu1s de su nacimiento. Basado en estas evidencias podemos describir los siguientes tipos de otolitos:

Otolito Tipo 0

El otolito de edad cero muestra una amplia zona opaca de alto crecimiento alrededor del core o primordio, que aunque presentan leves detenciones del crecimiento (anillos hialinos finos), uno de los anillos m1s grande y pr3ximos al core, corresponde al anillo juvenil. Despu1s aparece la primera banda de crecimiento lento muy marcada, que corresponde al anillo que se forma el primer invierno, cuando el pez aun no cumple el a1o de vida. Despu1s de esta banda marcada se observa una zona con anillos hialinos finos que no presentan la caracteristica de un banda de crecimiento, por lo cual podr1a ser considerada una "zona opaca". En la secci3n transversal en este tipo de otolitos, se aprecia con claridad la zona opaca (oscura) de alto crecimiento, la cual es seguida por una zona ampliamente translucida (hialina) que es interrumpida por una zona opaca intermedia muy fina o con debil intensidad (**Figura 23 y 24**).

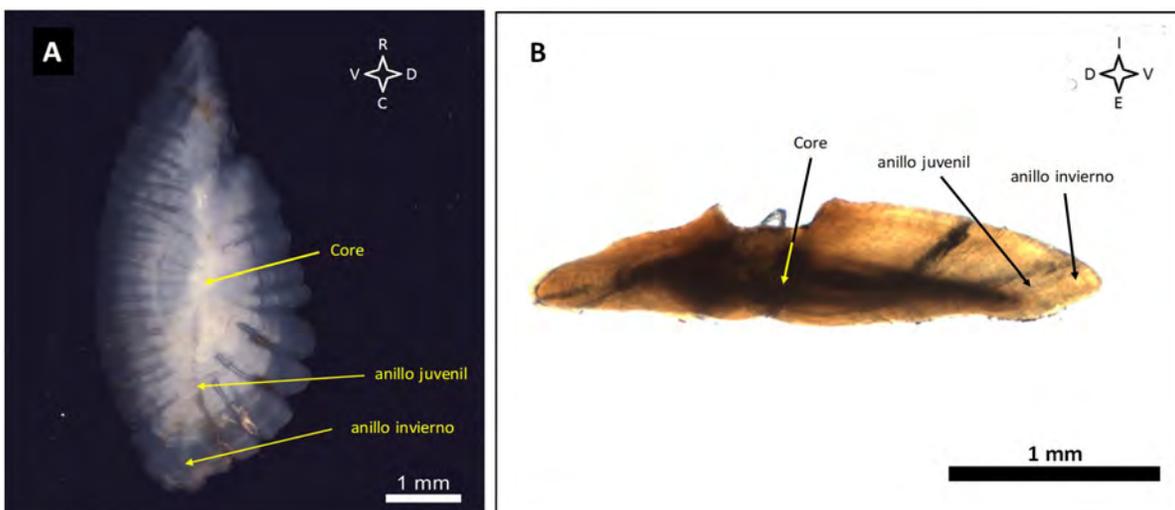


Figura 23. Otolito izquierdo entero (A) y secci3n transversal del otolito derecho (B) de un pez de 18 cm LH y edad cero, capturado en octubre 2009 (ID17). Se observa con claridad una zona opaca amplia, alto crecimiento, la que es seguida por la banda de crecimiento de invierno pr3xima al borde. Esta banda es seguida por una zona con anillos hialinos d3biles. Check en una zona hialina menos marcada que la anterior.

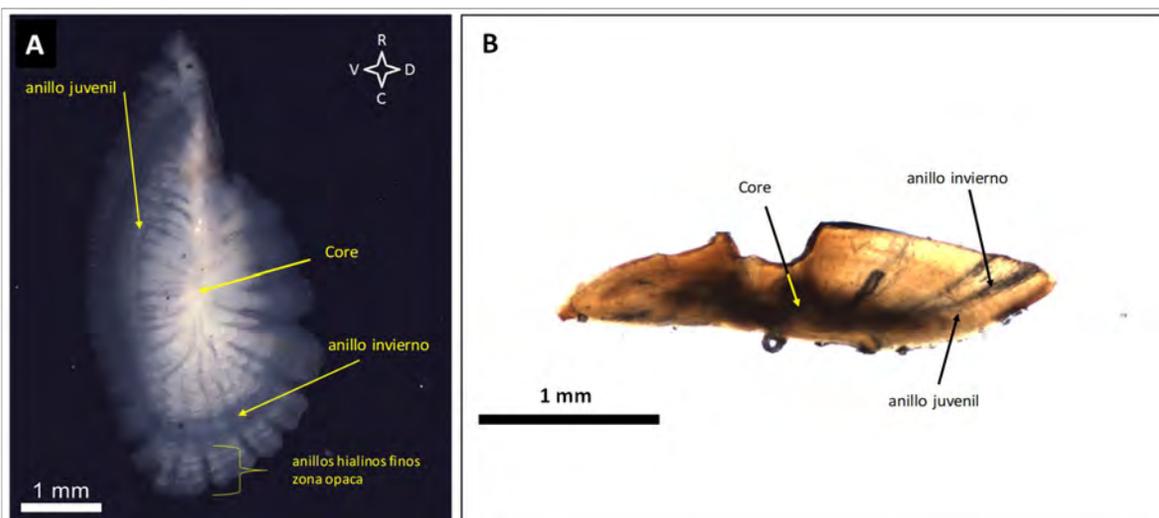


Figura 24. Otolito izquierdo entero (A) y secci3n transversal del otolito derecho (B) de un pez de 21 cm LH y edad cero, capturado en enero 2009 (ID32). Se observa con claridad la banda de crecimiento de invierno, que es seguida por una zona con anillos falsos o checks.

Otolito Tipo I

El otolito de un pez con un a1o de edad, al igual que el otolito Tipo 0, muestra una amplia zona opaca alrededor del core o primordio, de alto crecimiento. En este tipo de otolito hemos observado en algunas estructuras un anillo juvenil m1s marcado. Despu3s aparece la primera zona de crecimiento lento muy marcada, que corresponde al anillo que se forma el primer invierno, el que es seguido de una segundo anillo que corresponde al annulus. En el caso del otolito de un pez capturado en marzo se observa este primer annulus distante del borde, es seguido por un grupo de anillos m1ltiples, que no muestran una caracteristica de banda (**Figura 25**). En el caso de un otolito de un pez capturado en octubre se observa el primer annulus mas cerca del borde, como una sola banda compacta (**Figura 26**).

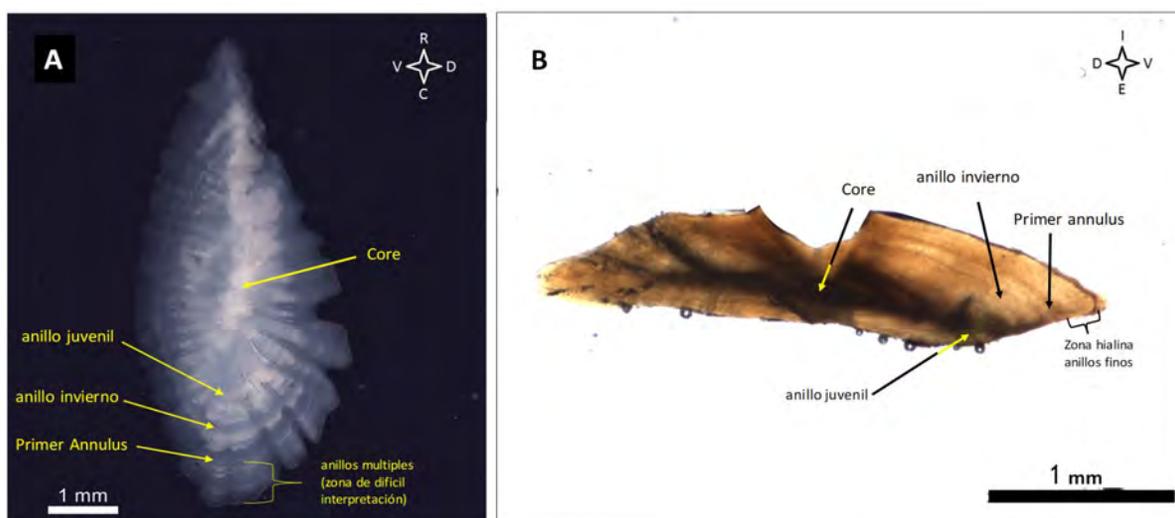


Figura 25. Otolito izquierdo entero (A) y secci3n transversal del otolito derecho (B) de un pez de 23 cm LH y edad uno, capturado en marzo 2009 (ID53). Se observa despu3s de la banda formada en invierno de 2008, el primer annulus seguido de una zona con anillos m1ltiples (Cheks).

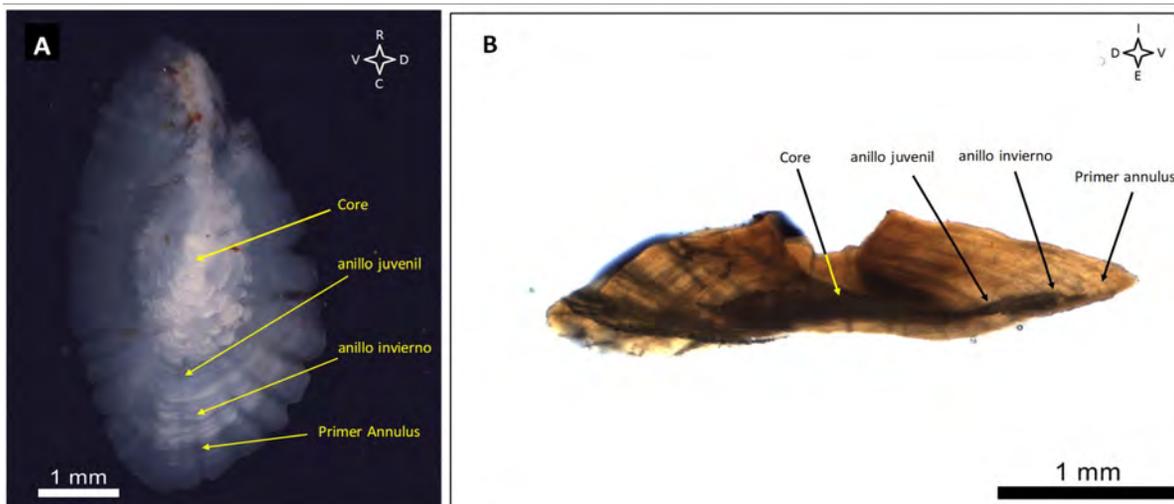


Figura 26. Otolito izquierdo entero (A) y secci3n transversal del otolito derecho (B) de un pez de 24 cm LH y edad uno, capturado en octubre 2009 (ID71). Se observa despu3s de la banda formada en invierno de 2009, el primer annulus seguido de serie de anillos hialinos que parecen ser parte del mismo annulus que se form3.

Otolito Tipo II

El otolito de un pez con dos a3os de edad, muestra una zona opaca de alto crecimiento alrededor del core. En este tipo de otolito, al igual de aquellos de menor edad, se observan dos anillos marcados con una periodicidad menor a un a3o, el primero denominado anillo juvenil y el segundo formado el primer invierno desde su nacimiento. Despu3s del anillo de invierno se observa el primer annulus, al que le sigue un anillo con periodicidad menor a dos a3os, considerad como una marca de segundo invierno, y el segundo annulus. En el caso del otolito de un pez capturado en julio se observan con claridad los dos primeros annulus tanto en el otolito entero como en la secci3n y borde opaco que es m3s fino en la secci3n que en el otolito entero don tiene la apariencia de una banda con anillos m3ltiples (**Figura 27**).

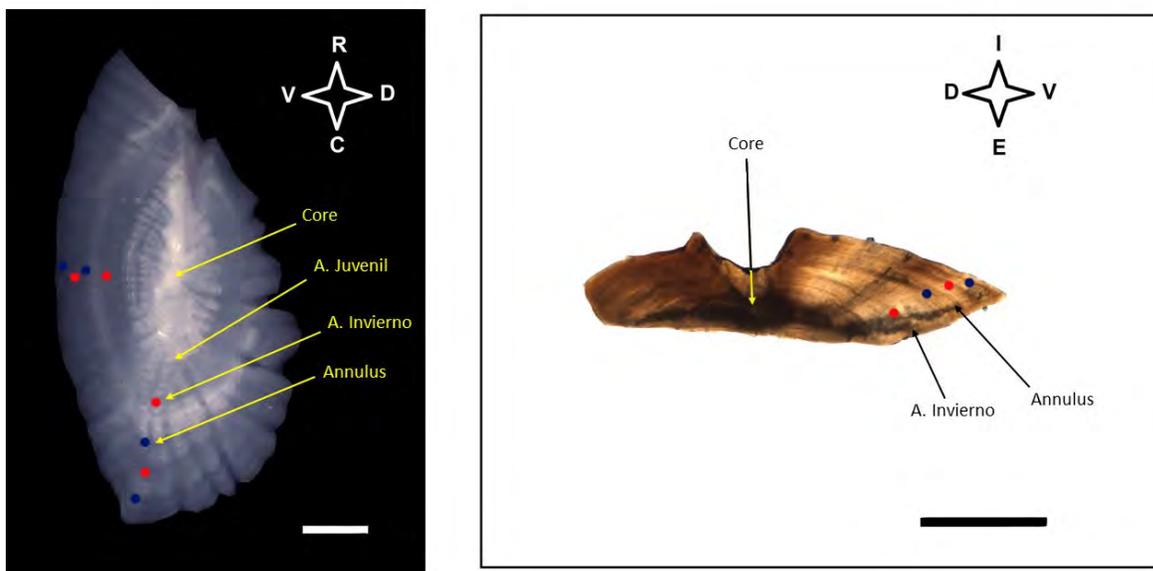


Figura 27. Otolito izquierdo entero (A) y secci3n transversal del otolito derecho (B) de un pez de 28 cm LH y edad dos, capturado en julio 2009 (ID113). Se observa despu3s del anillo formado el invierno de 2009, el segundo annulus cerca del borde. La barra de referencia corresponde a 1 mm.

Otolito Tipo III

El otolito de un pez con tres a1o de edad, muestra la presencia nitida de tres annulus en el otolito entero como tambien en la secci3n transversal, precedido los dos primeros por los anillos formados en el primer y segundo invierno. En otolitos de edad tres tambien se puede observar con claridad el anillo juvenil alrededor del core, al menos en el otolito entero. En el caso del otolito de un pez capturado en septiembre se observa los dos anillos de invierno y los annulus nitidos principalmente en la secci3n transversal, en que destaca el borde opaco despu3s del tercer annulus (**Figura 28**).

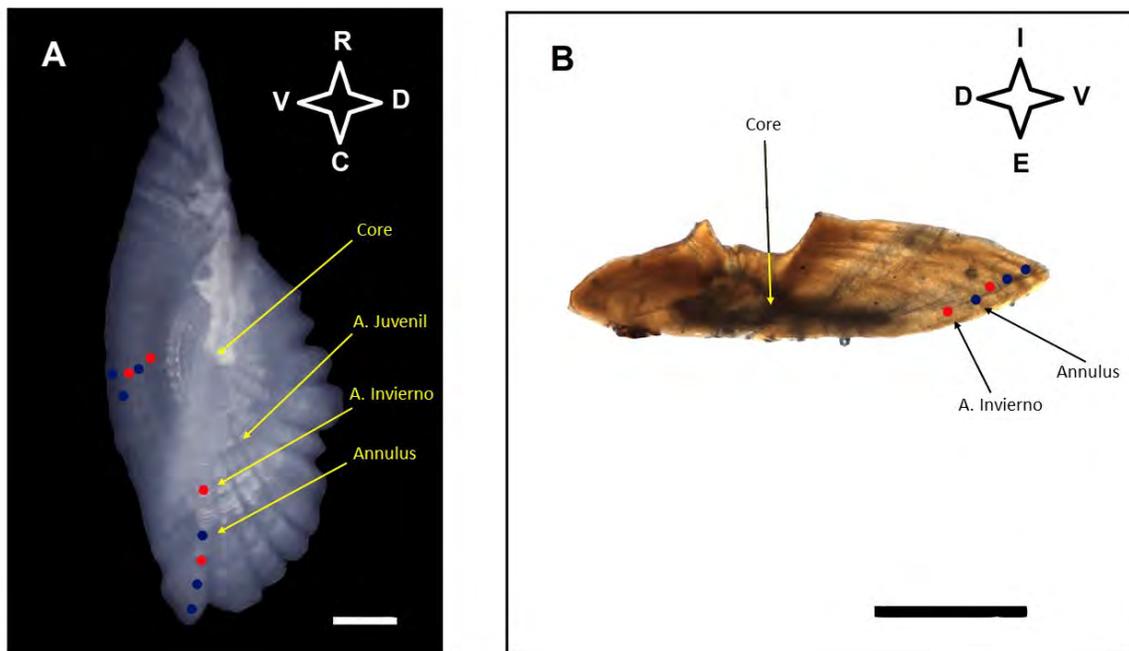


Figura 28. Otolito izquierdo entero (A) y secci3n transversal del otolito derecho (B) de un pez de 32 cm LH y edad tres, capturado en septiembre 2009 (ID161). La barra de referencia corresponde a 1 mm.

Otolito Tipo IV+

El otolito de un pez con cuatro a5os de edad y mas, muestra la presencia nitida de nueve annulus en la secci3n transversal, dentro de los cuales los dos primeros annulus pueden ser identificados en el otolito entero y ser una referencia para la posici3n de los mismos en la secci3n. La secuencia de anillos se observa con mayor claridad en la secci3n transversal que en el otolito entero, ya que en este ultimo, la mayor superficie, permite que resalten anillos multiples que pierden nitidez en la estructura interna del otolito (secci3n transversal). En el caso del otolito de un pez capturado en marzo se confirma lo dicho anteriormente , los annuli en la secci3n transversal pueden ser identificados sin dificultad en la secci3n hacia la cara externa e internas (**Figura 29**).

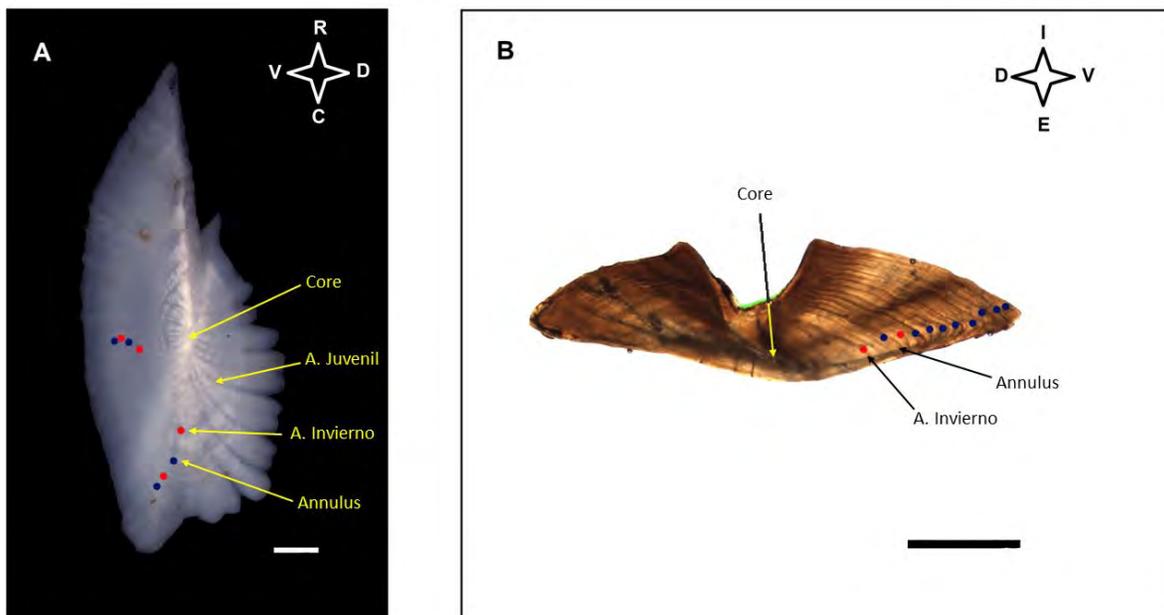


Figura 29. Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 62 cm LH y nueve años, capturado en marzo 2009 (ID306). La barra de referencia corresponde a 1 mm.

9.2.2 Análisis de precisión de la edad

El último taller conjunto entre INPESCA e IFOP mostró significativos avances en la precisión de la lectura de otolitos empleando el nuevo criterio. La identificación del primer y segundo anillo invierno, como el primer y segundo annulus, mostraron una alta coincidencias entre lectores de ambas instituciones (**Figura 30**). Si bien se observa cierta diferencia en la mediana de los lectores en las medidas de algunos anillos, la variación sigue la tendencia de la medida del radio total del otolito de cada lector, la que depende de la ubicación de Core que puede variar entre lectores (**Figura 30A**).

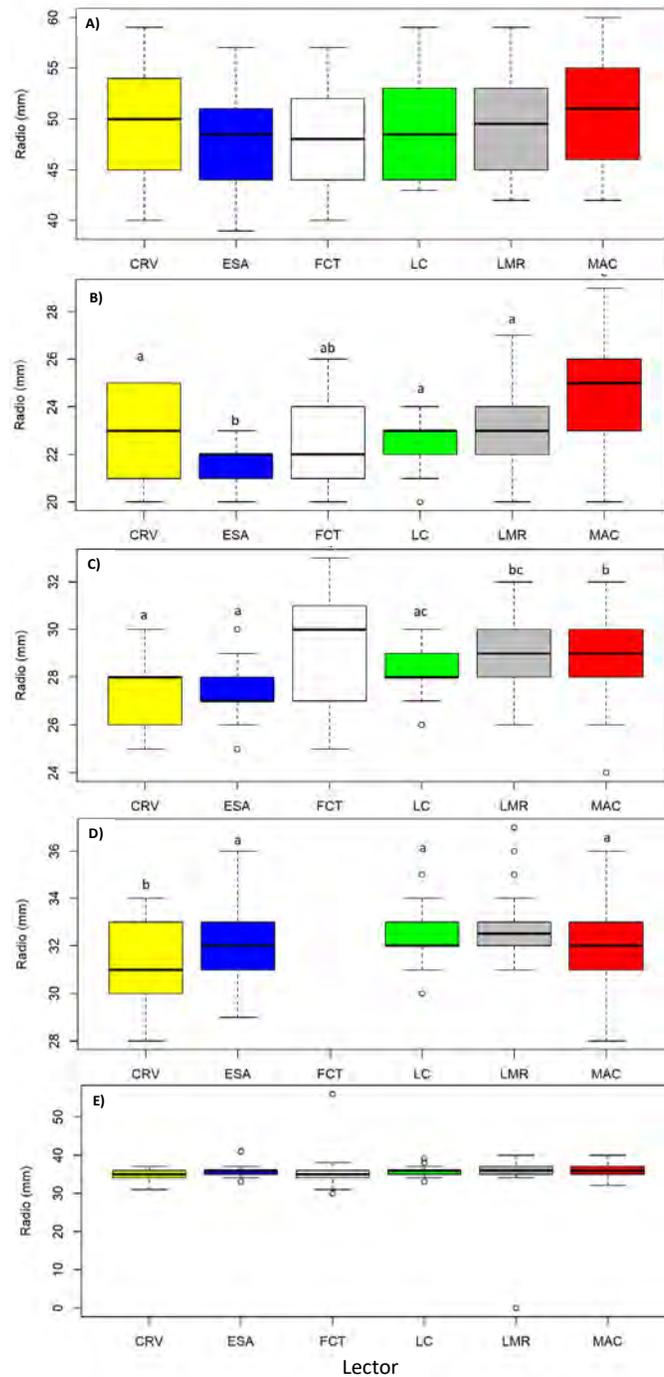


Figura 30. Boxplot con radio medio estimado por cada lector para el radio total caudal del otolito entero (A), primer anillo de invierno (B), primer annulus (C), segundo anillo de invierno (D) y segundo annulus (E).



El resultado de la prueba de reproducibilidad de lecturas de otolitos enteros muestra una concordancia entre el 12 y 38%, CV entre 9,3 y 14,1%, APE entre 6,7 y 9,9%. En el caso de los test de simetría aplicado para evaluar el sesgo, mostr3 sesgo en seis comparaciones entre lectores de un total de 15. El menor sesgo se observ3 al comparar los lectores CRV con LMR (**Tabla 7**). En el caso de las lecturas de secciones transversales del otolito se observan porcentajes de concordancia entre el 18 y 42%, CV entre 8,5 y 23,8%, APE entre 6,0 y 16,9%. En el caso de los test de simetría aplicado para evaluar el sesgo, mostr3 sesgo en cuatro comparaciones entre lectores de un total de 15. El menor sesgo se observ3 al comparar los lectores ESA con LMR (**Tabla 8**).

Tabla 7

Resultados del porcentaje de concordancia, coeficiente de variaci3n y porcentaje de error promedio e índices de sesgo de la comparaci3n de lecturas de edad de otolitos enteros de jurel entre seis lectores.

Lectores	Índices de precisi3n (%)			Índices de sesgo (P valor)		
	Concordancia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-LC	18	13,9	9,82	0,000	0,000	0,004
CRV-ESA	28	12,91	9,13	0,000	0,000	0,004
CRV-FCT	34	11,47	8,11	0,001	0,003	0,229
CRV-LMR	30	9,46	6,69	0,398	0,562	0,710
CRV-MAC	30	11,9	8,41	0,369	0,367	0,200
LC-ESA	42	9,26	6,55	0,853	0,753	0,404
LC-FCT	34	10,83	7,66	0,223	0,367	0,191
LC-LMR	32	12,32	8,71	0,001	0,001	0,098
LC-MAC	18	14,06	9,94	0,003	0,007	0,020
ESA-FCT	36	10,98	7,76	0,157	0,151	0,455
ESA-LMR	38	10,75	7,6	0,000	0,000	0,002
ESA-MAC	30	13,09	9,26	0,000	0,001	0,041
FCT-LMR	24	12,78	9,04	0,009	0,032	0,128
FCT-MAC	27	12,97	9,17	0,077	0,221	0,569
LMR-MAC	34	11,23	7,94	0,353	0,312	0,155

**Tabla 8**

Resultados del porcentaje de concordancia, coeficiente de variaci3n y porcentaje de error promedio e 3ndices de sesgo de la comparaci3n de lecturas de edad de secciones transversales de otolitos de jurel entre seis lectores.

Lectores	3ndices de precisi3n (%)			3ndices de sesgo (P valor)		
	Concordancia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-LC	26	12,1	8,55	0,000	0,000	0,004
CRV-ESA	30	10,31	7,29	0,028	0,133	0,577
CRV-FCT	24	11,18	7,9	0,105	0,361	0,527
CRV-LMR	32	10,41	7,36	0,006	0,014	0,401
CRV-MAC	12	17,69	12,51	0,071	0,275	0,599
LC-ESA	24	10,74	7,6	0,052	0,266	0,537
LC-FCT	14	16,36	11,57	0,000	0,000	0,004
LC-LMR	24	11,43	8,08	0,194	0,536	0,215
LC-MAC	14	23,83	16,85	0,000	0,000	0,002
ESA-FCT	18	13,64	9,65	0,001	0,037	0,239
ESA-LMR	38	8,47	5,99	0,590	0,916	0,788
ESA-MAC	26	14,32	10,13	0,209	0,314	0,305
FCT-LMR	24	12,83	9,07	0,000	0,000	0,008
FCT-MAC	21	17,00	12,02	0,009	0,019	0,171
LMR-MAC	17	16,49	11,66	0,866	0,635	0,098

El an3lisis grafico del sesgo por edad de Bland-Altman de cada lector con el lector de referencia, para las lecturas realizadas en el otolito entero como en secciones transversales se muestra en la **Figura 31**.

La secuencia completa de reuniones y talleres junto con los ejercicios de reproducibilidad realizados se muestran en detalle en el **Anexo II** de este informe.

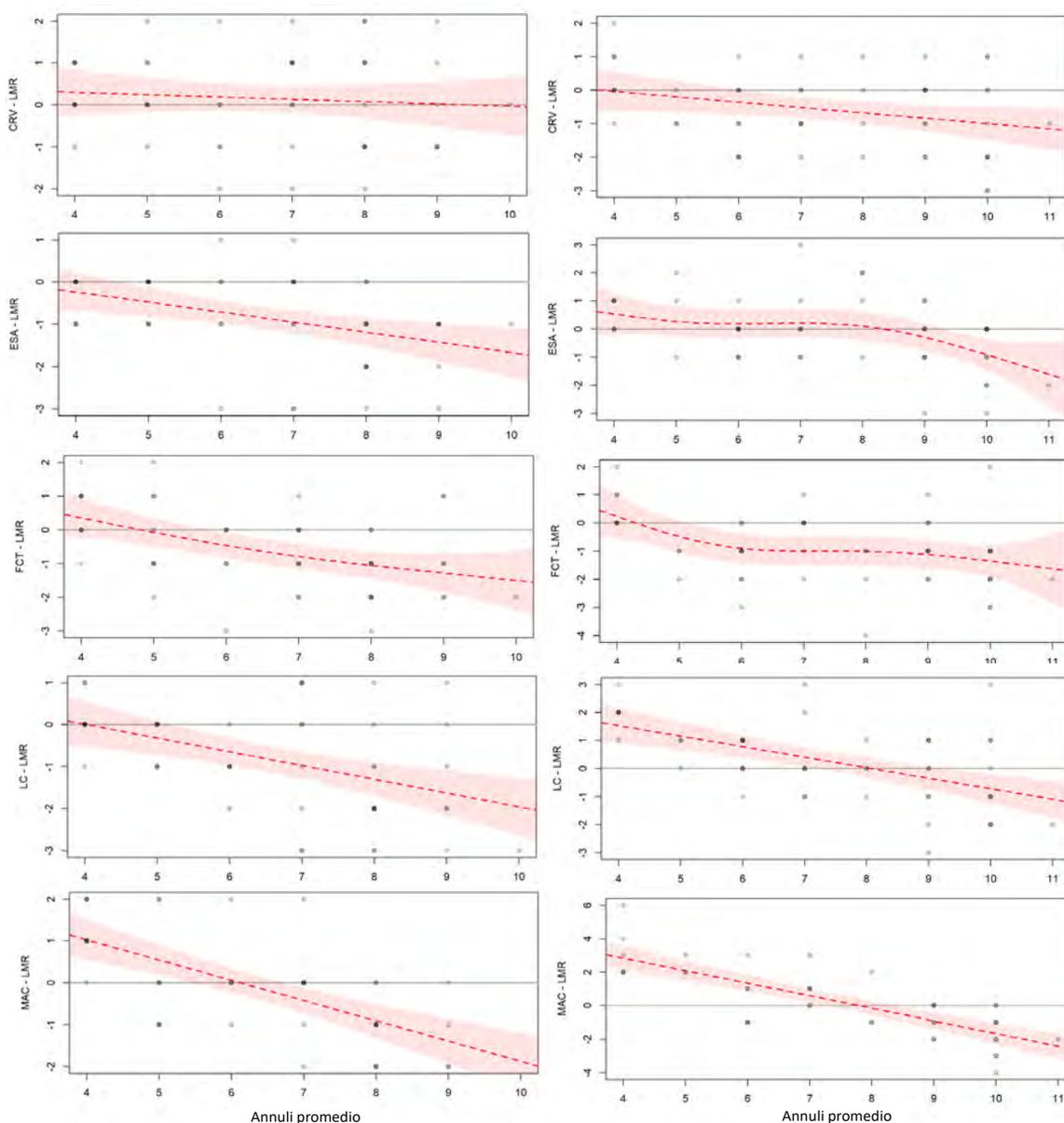


Figura 31. Gráficos de sesgo por edad de Bland-Altman para la comparación de la estimación de la edad entre diferentes lectores. En eje “x” corresponde a la edad promedio entre los lectores que se comparan y el eje “y” a la diferencia de la estimación de la edad de cada lector con el lector de referencia (LMR). La línea punteada corresponde al ajuste GAM con el intervalo de confianza (área en color). Los gráficos de la izquierda corresponden a las lecturas de otolitos enteros y los de la derecha a las secciones transversales.



9.3 Reconstruir las claves talla-edad hist3ricas, matrices de captura, pesos medios y ojiva de madurez a la edad.

9.3.1 Reconstrucci3n de las matrices de captura a la edad hist3ricas.

Los resultados de la estructura de edad de la serie se ilustran con una salida decadal (1980-1989, 1990-1999, 2000-2009, 2010-2019 y 2020) para facilitar su visualizaci3n de los cambios entre la distribuci3n del criterio hist3rico con el nuevo validado. Sin embargo, el total de la estructura de edad anual y sus pesos medios por trimestre se encuentran disponibles en **Anexo III**.

La nueva estructura de edad “corregida” muestra cambios relevantes de la captura por GE en la serie hist3rica del jurel, donde la distribuci3n de la edad se desplaza hacia la izquierda, aumentando la frecuencia en los ejemplares m3s j3venes respecto a la estructura estimada a partir del criterio de lectura hist3rico. Esta nueva estructura de edad permite visualizar la entrada de nuevas clases anuales en la mayor3a de los a3os (GE 0 y I), que no son visibles en la antigua estructura donde la distribuci3n de la edad comienza a partir del GE II en la mayor3a de los a3os (**Figura 32**).

A su vez, la estructura de edad basada en las lecturas corregidas origina estimaciones de pesos medios por grupo de edad m3s altos, que aquellos estimados a partir de la estructura de edad basada en el criterio hist3ricos de lectura (**Figura 33**).

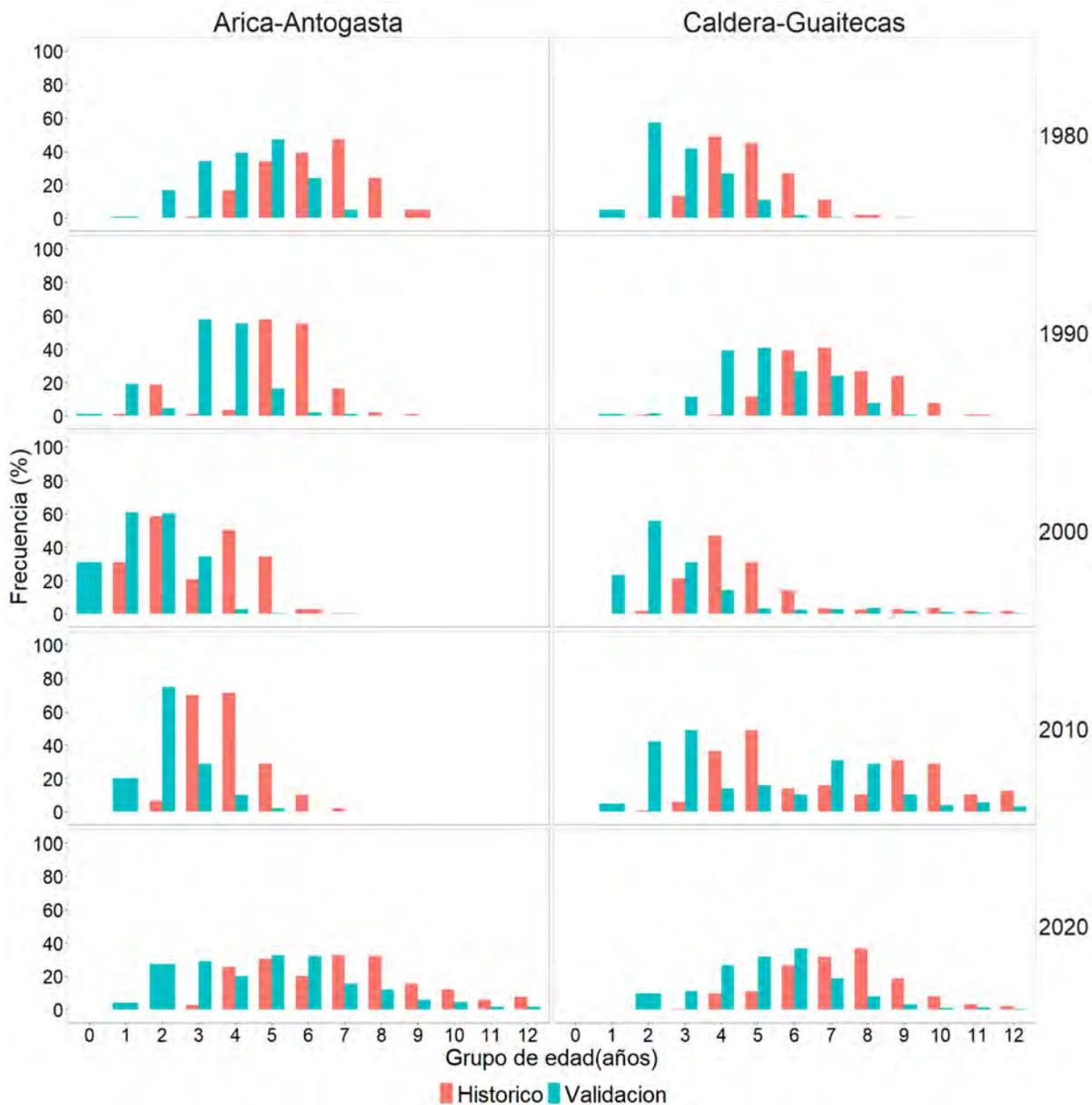


Figura 32. Comparaci3n de frecuencia porcentual de las capturas por grupo de edad basadas en las lecturas hist3ricas y lecturas corregidas (validadas), correspondiente a las d3cadas 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009, 2010-2019 y 2020-2021.

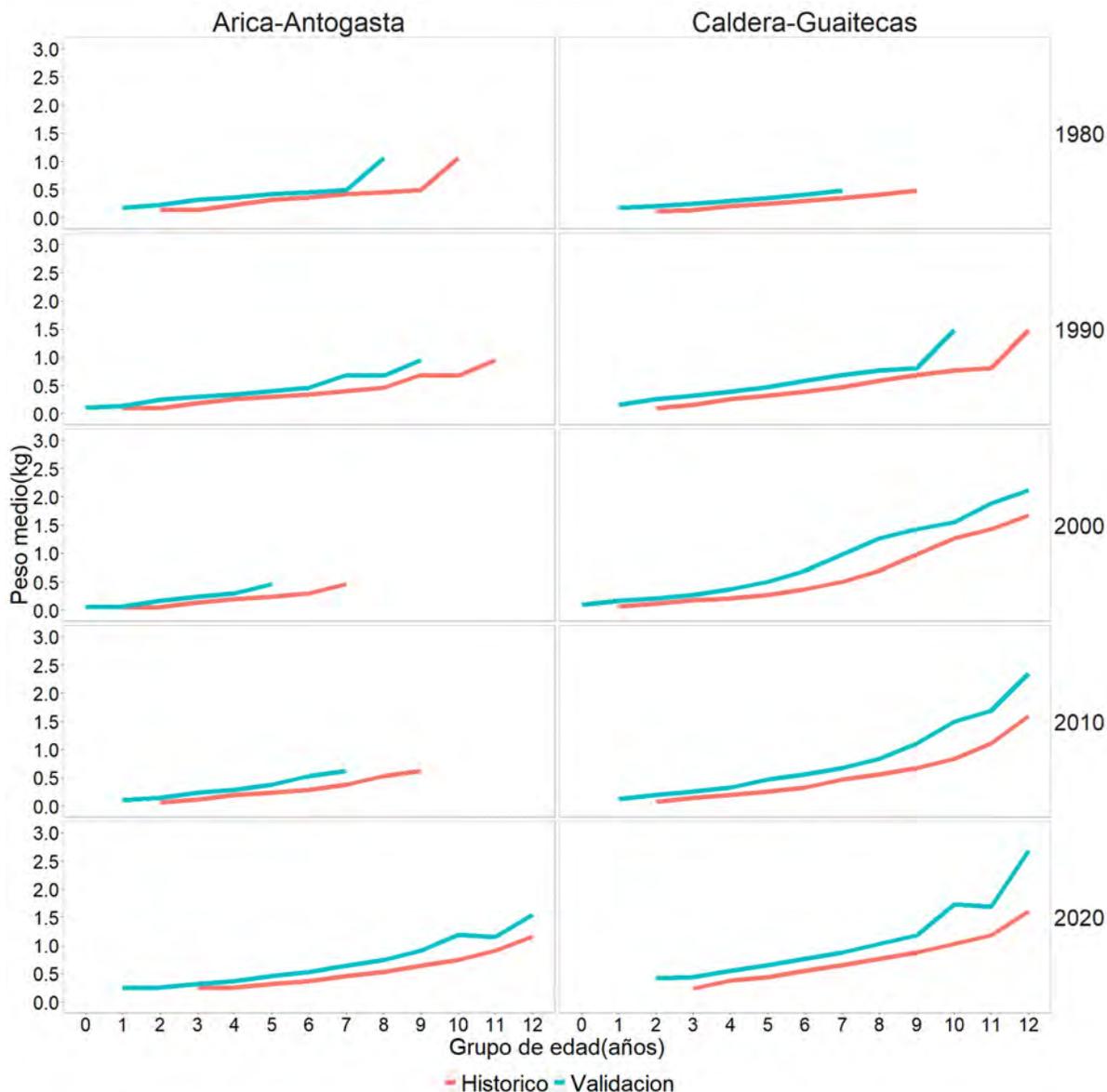


Figura 33. Comparaci3n del peso medio de los peces por grupo de edad basadas en las lecturas hist3ricas y lecturas corregidas (validadas), correspondiente a las d3cadas 1980-1989, 1990-1999,2000-2009,2010-2019 y 2020-2021.



Comparación de las estructuras de edad

El modelo lineal generalizado muestra que el intercepto del nivel “Validado” del factor criterio de lectura es mayor 0,092 unidades que el intercepto del grupo de referencia (criterio de lectura antiguo), sin embargo, no son significativamente distinto. A su vez la pendiente del nivel “validado” del factor criterio de lectura es significativamente distinta de la pendiente del grupo de referencia (criterio antiguo) (**Tabla 9; Figura 34**).

Tabla 9. Resumen de los coeficientes del intercepto y pendientes del modelo lineal generalizado que relaciona la captura con el grupo de edad para el factor fijo criterio de lectura. Se muestra el error estándar (E.E.), el t_{valor} y P_{valor} para cada coeficiente. GE corresponde al grupo de edad y CL Validado al criterio de lectura validado.

	Valor estimado	E.E.	t_{valor}	P_{valor}
Intercepto	8,843	0,184	48,15	$< 2e-16$
GE	-0,104	0,024	-4,34	1,47E-05
CL Validado	0,092	0,222	0,42	0,6769
GE:CL Validado	-0,061	0,031	-1,97	0,0494

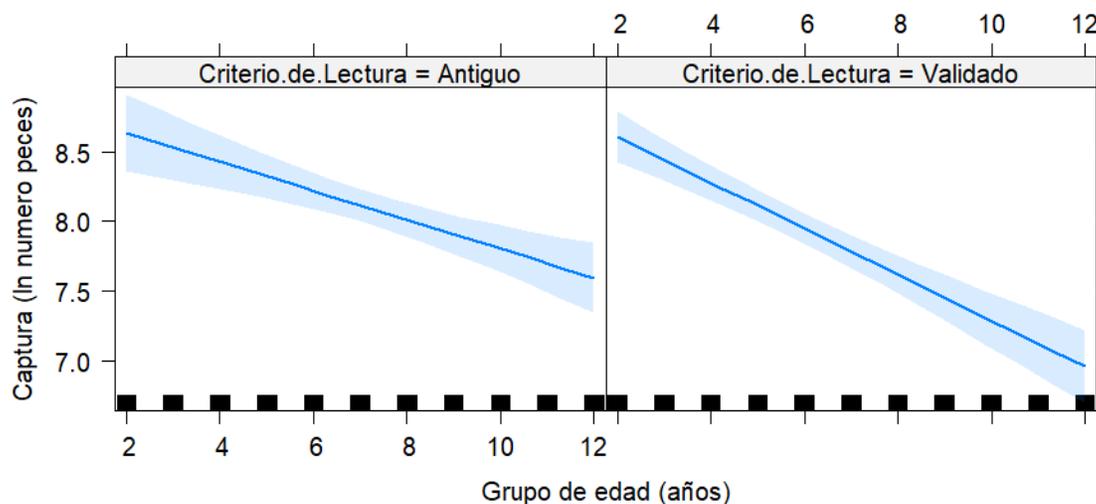


Figura 34. Ploteo del efecto del criterio de lectura por grupo de edad sobre la captura como variable de respuesta.



9.3.2 Reconstruir ojivas de madurez a la edad.

Los individuos de jurel capturados en el 2011 alcanzaron la edad media de madurez ($E_{50\%}$) a los 0,99 a1os de vida (~1), inferior a lo reportado por Leal *et al.*, (2013), los cuales estimaron, con el criterio hist3rico de lectura de edad, 2,5 a1os (**Figura 35**).

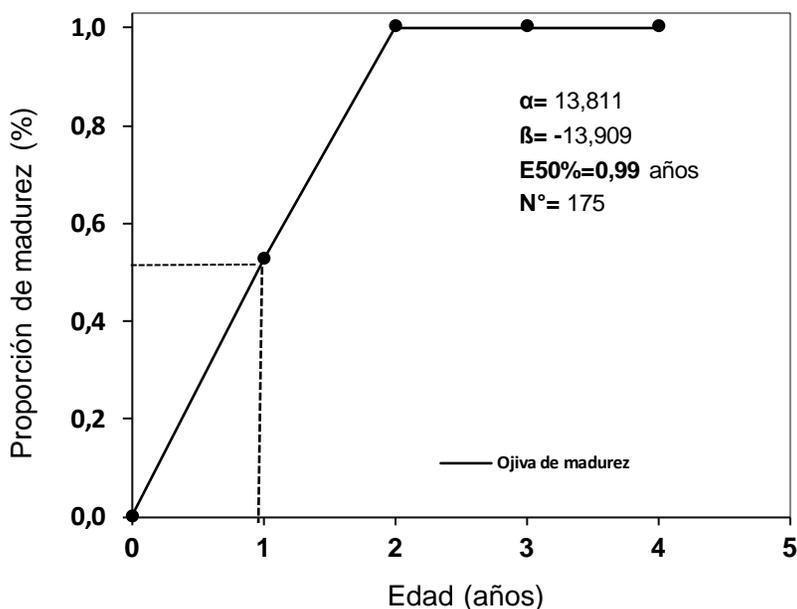


Figura 35. Ojiva de madurez sexual a la edad ($E_{50\%}$) de hembras de jurel, basada en an3lisis histol3gico de muestras colectadas en el periodo reproductivo de 2011 (Leal, et al. 2013).



9.4 Estimar los parámetros de crecimiento y mortalidad natural a partir de las nuevas lecturas.

9.4.1 Estimaci3n de parámetros de crecimiento.

El ajuste de crecimiento realizado con el modelo de von Bertalanffy fue adecuado para la distribuci3n de datos edad-talla de jurel, con bajo error estandar y alta significancia de los tres parámetros del modelo. Sin embargo, se obtuvo una mayor significancia estadística, verosimilitud y coeficiente de determinaci3n, en la estimaci3n realizada a partir de datos edad proveniente de las lecturas de secciones transversales de otolitos (**Tabla 10**). Los datos muestran un importante número de ejemplares de edad cero y una edad máxima de 14 años registrado con la lectura de secciones de otolitos (**Figura 36**). Los histogramas de la distribuci3n del intervalo de confianza de los parámetros se entregan en la **figura 37**.

Tabla 10

Parámetros de crecimiento con su error estandar y significaci3n del modelo de von Bertalanffy, e intervalo confianza 95% estimados por Bootstrap, para los datos edad-talla de jurel de la zona nacional de pesca frente a Chile.

Tipo de lectura	Parámetros	Valor	Error Est.	Intervalo confianza 95%		Significancia estadística			
				Lim. Inf.	Lim. Sup.	t valor	Pvalor	LogVeros	R ²
Otolito entero	L _∞	64,91	5,21	57,34	79,95	12,47	< 2e-16	-1216,5	0,72
	K	0,13	0,02	0,08	0,18	5,28	2,15e-07		
	t ₀	-2,63	0,38	-3,51	-1,98	-6,91	1,99e-11		
	n	391							
Secci3n transversal	L _∞	56,94	2,12	53,36	62,04	26,81	<2e-16	-1048,1	0,78
	K	0,17	0,02	0,14	0,21	8,82	<2e-16		
	t ₀	-2,33	0,25	-2,86	-1,88	-9,28	<2e-16		
	n	352							

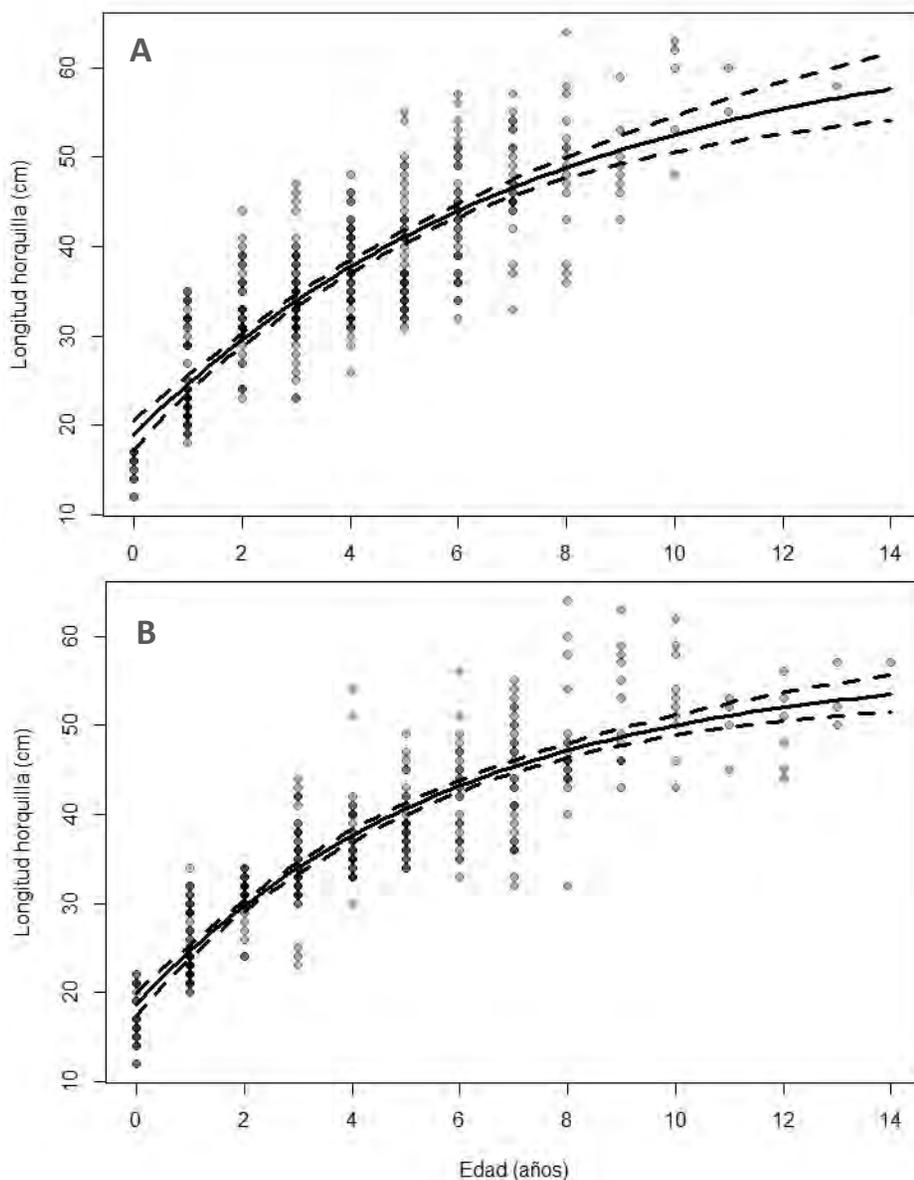


Figura 36. Curva de crecimiento del modelo de von Bertalanffy de jurel para los datos edad-talla de jurel de la zona nacional de pesca frente a Chile. Para datos de edad provenientes de la lectura de otolitos enteros (A) y de secciones transversales (B) de la colecci3n de referencia. La curva muestra con línea discontinua el intervalo al 95% confianza.

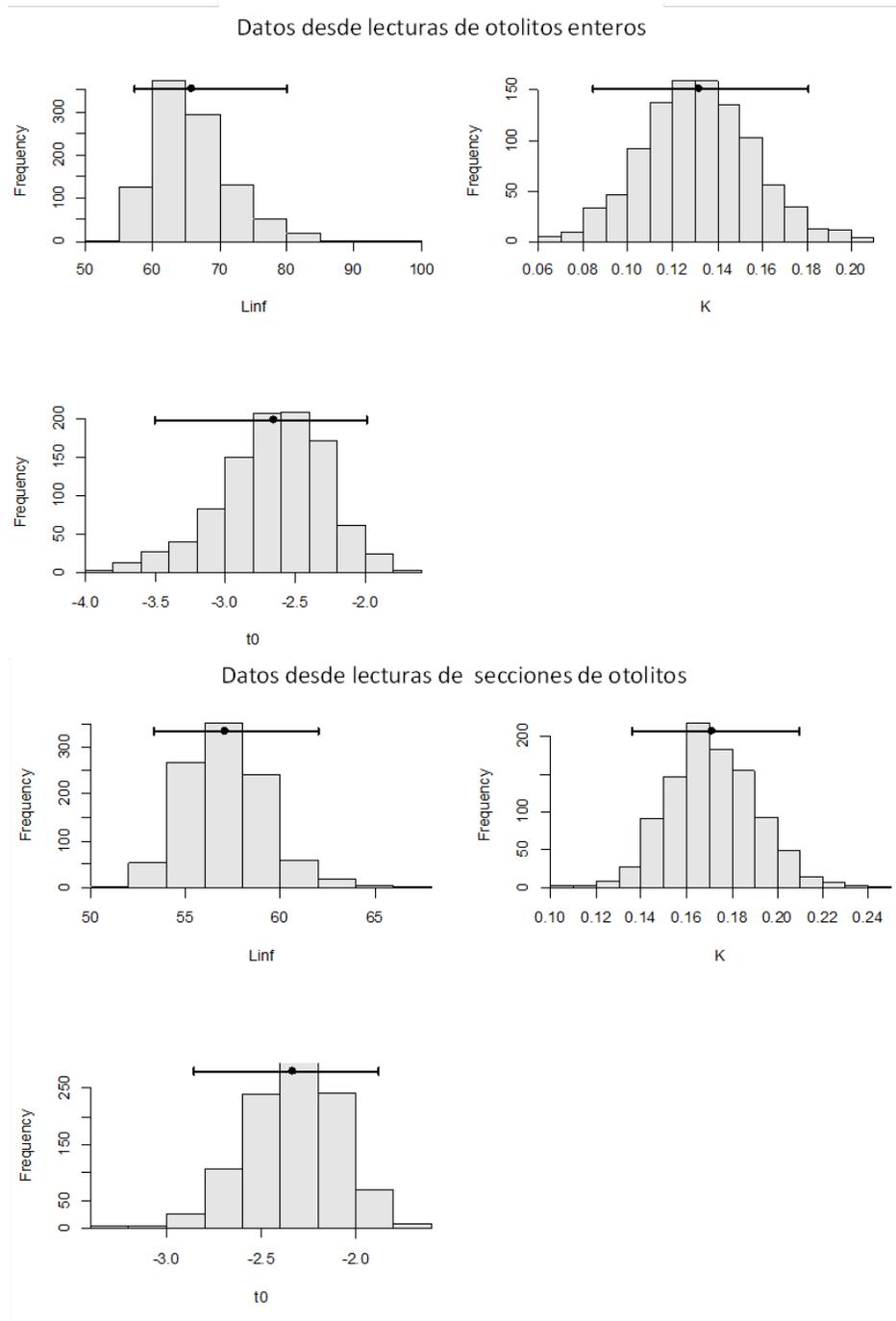


Figura 37. Histograma de los intervalos de confianza de los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy de jurel, estimados por Bootstrap, para datos de edad provenientes de la lectura de otolitos enteros y de secciones transversales.



Análisis de sensibilidad en la estimaci3n de parámetros

El resultado del análisis de sensibilidad mostr3 que los tres parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy son muy similares para tres distintos métodos de simulaci3n, Bootstrap tradicional para el mismo tamaño de muestra por edad y “tipo Bootstrap” con y sin reemplazo para un tamaño fijo de datos por edad (**Tabla 11;** **Figura 38**).

Tabla 11. Resultados de las simulaciones para estimar parámetros de crecimiento empleando una muestra fija por edad.

Método remuestreo	Parámetro	Estadísticos				Intervalo confianza 95%		n
		Media	min	max	d.e	Lim. Inf.	Lim. Sup.	
Boot	K	0.170	0.0985	0.242	0.0201	0.132	0.208	181
CR	K	0.161	0.0974	0.240	0.0196	0.120	0.198	190
SR	K	0.178	0.130	0.240	0.0181	0.142	0.216	206
Boot	L _{inf}	57.3	50.9	69.6	2.31	53.4	62.2	210
CR	L _{inf}	58.6	53.7	67.0	1.83	55.6	62.9	286
SR	L _{inf}	56.5	53.0	61.5	1.31	54.1	59.5	376
Boot	t ₀	-2.35	-3.48	-1.66	0.266	-2.91	-1.89	243
CR	t ₀	-2.48	-4.03	-1.57	0.348	-3.29	-1.93	194
SR	t ₀	-2.27	-3.28	-1.55	0.260	-2.87	-1.81	263

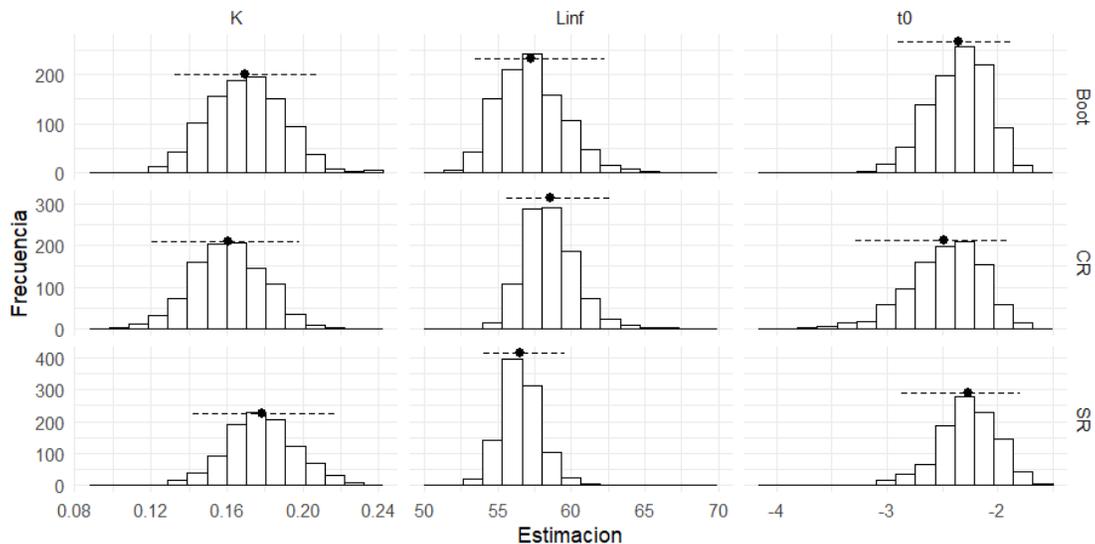


Figura 38. Histograma de los intervalos de confianza de los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy de jurel, estimados por Bootstrap, para tres simulaciones con Bootstrap tradicional, con reemplazo y sin reemplazo.



9.4.2 Estimaci3n de la mortalidad natural (M).

La estimaci3n de la mortalidad natural estimada por tres modelos empíricos mostro importantes diferencias en sus resultados, con valores que oscilan entre 0,25 con el método de Zhang hasta 1,37 con el de Rikhter y Efanov (**Tabla 12**).

Tabla 12

Estimaci3n de mortalidad natural (M) aplicando cuatro modelos empíricos

Método	M
Zhang & Megrey	0,25
Hoening	0,44
Pauly	0,30
Rikhter & Efanov	1,37



9.5 Determinaci3n de edad del Jurel en ejemplares adultos (2+).

9.5.1 Microestructura de otolitos de ejemplares < 25 cm.

La micro-estructura de los otolitos analizados de ejemplares < 25 cm LH mostraron presencia de micro-incrementos resolubles, desde el primordio hasta el borde posterior (cauda), sin evidenciar signos de fusi3n (**Figura 39**). Se distinguieron 3 zonas micro-estructurales (**Figura 39, Tabla 13**), una primera zona (A), formada por micro-incrementos que fluctuaron en 1,3 y 14 μm , depositados de forma secuencial despu3s de la primera marca que rode3 el primordio y que se extendi3 hasta aproximadamente los primeros 30 d3as. En esta etapa se observaron entre 4-8 centros secundarios de crecimiento (CSC) que interrumpieron la proporci3n del grosor de los micro-incrementos en los sectores de su ocurrencia, pero sin alterar la secuencia de los mismos. La segunda zona (B) se present3 micro-incrementos de mucho mayor grosor (5-30 μm), aunque menos resolubles, debido a la mayor presencia de macro-bandas y discontinuidades especialmente hacia la regi3n caudal, cuando se formaron a partir de los CSC y se extendieron hasta aproximadamente los 100 d3as (**Figura 39 & 40**). En la tercera zona (C) se observaron MP resolubles de grosor menor grosor, en general menores a 5 μm , visibles hasta el borde de los otolitos, pero en ocasiones interrumpidos por una gran cantidad de discontinuidades parciales y gruesas que fueron visibles principalmente hacia la zona caudal. Estas discontinuidades s3lo interrumpieron parcialmente la secuencia de micro-incrementos, porque pudieron ser evitadas siguiendo un eje de lectura en zigzagueante. La Zona "C" se extendi3 hasta aproximadamente los 350 d3as y estuvo caracterizada por transiciones mayores, que aparecieron como marcas opacas profundas a nivel micro-estructural, ocurriendo a intervalos variables en d3as, pero que no parecieron interrumpir la secuencia de micro-incrementos (**Figura 39**). En el perfil se pudo distinguir que la "zona C" tambi3n se caracteriz3

por la presencia de ciclos de incremento y disminuci3n en el grosor de los micro-incrementos (**Figura 40**).

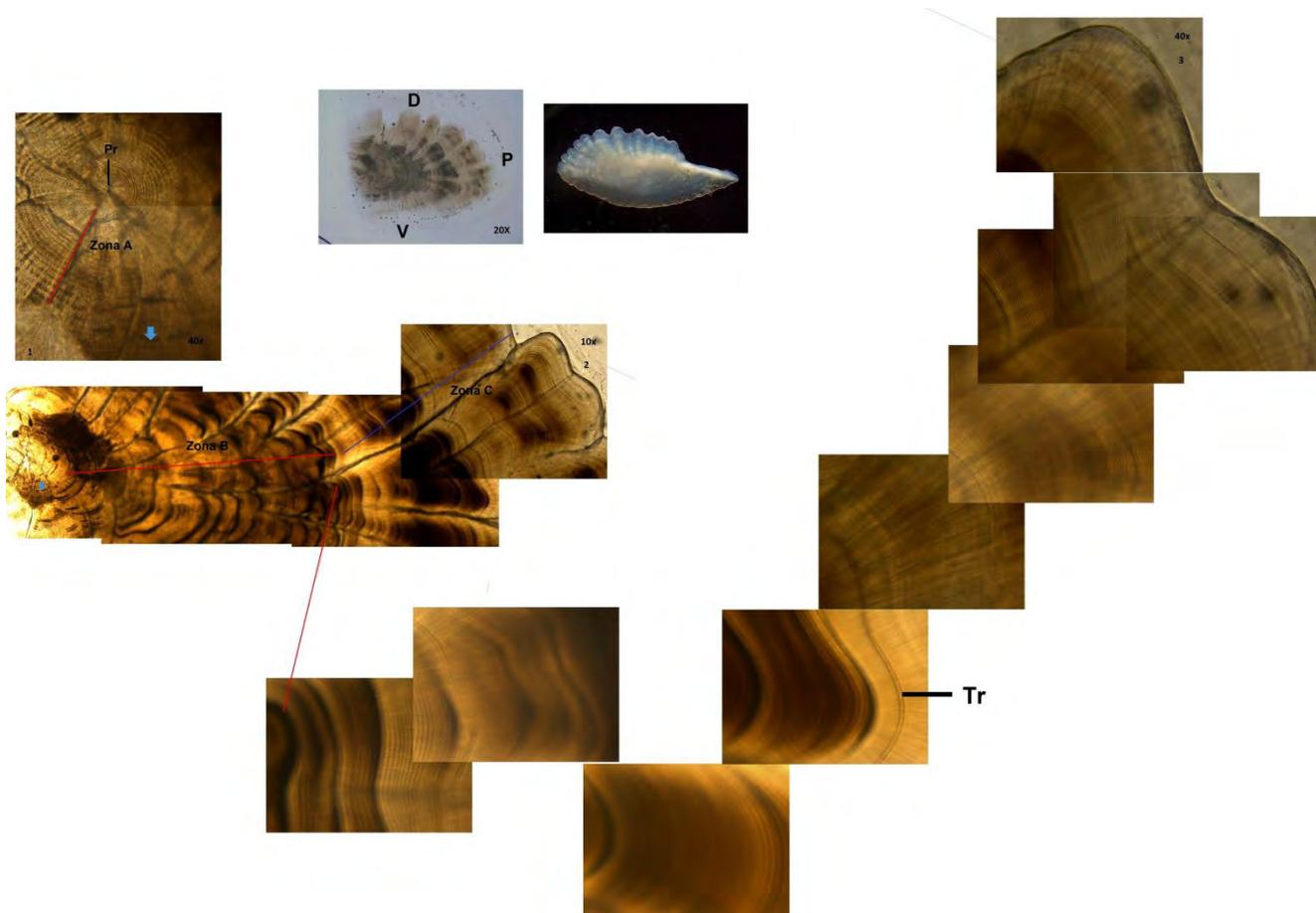


Figura 39. Fotografía con una ficha ilustrativa de las zonas micro-estructurales a diferentes magnificaciones, de un otolito sagital de un ejemplar de 23 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el año 2009 en la zona norte de Chile. La secuencia del panel inferior corresponde a una amplificaci3n de la secuencia de micro-incrementos en la Zona C. Pr: primordio; Tr: Transiciones. La imagen puede ser magnificada para ver los detalles micro-estructurales.



Tabla 13

Estadísticas generales de registro de grosores de micro-incrementos diarios (μm), en funci3n de la extensi3n de las zonas, en dos 2 ejemplares de 31 cm de LH del (*Trachurus murphy*). CV= coeficiente de variaci3n.

Zona	Media	\pm	DE	Min	-	Max	CV	N	Extension
A	4.32	\pm	2.06	1.39	-	14.02	47.68	78	40
B	12.10	\pm	4.93	2.76	-	30.12	40.72	120	100
C	4.31	\pm	1.26	1.59	-	8.52	29.32	500	350
D	2.17	\pm	0.58	0.99	-	4.76	26.91	724	712

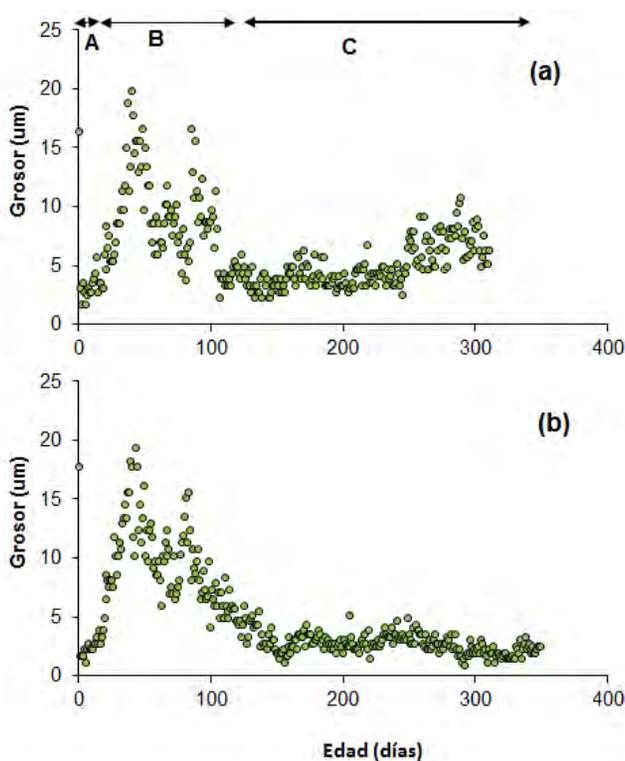


Figure 40. Perfiles de grosores de micro-incrementos registrados en secciones de otolitos sagitales de ejemplares adultos de jurel de 21 cm (a) y 22 (22) cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el a3o 2009 en la zona norte de Chile.



9.5.2 Microestructura de otolitos de ejemplares entre 26 y 32 cm de LH.

En general el análisis de la micro-estructura de los otolitos en ejemplares > 26 cm LH resultó muy compleja en sección sagitales, debido a las dificultades descritas en el apartado metodológico. Sin embargo, en las secciones de mayor resolución se pudo constatar que hasta los 32 cm de LH, la micro-estructura evidenció la presencia de micro-incrementos diarios resolubles desde el primordio hasta del borde posterior de otolitos sagitales (**Figuras. 41, 42 & 43**). En estos otolitos se pudo evidenciar una cuarta zona (D), que estuvo caracterizada por la presencia de micro-incrementos más finos que en la zona “C”, en general menores a 3 μm (**Tabla 13**), pero algo más regulares, aunque también con gran presencia de discontinuidades y transiciones de forma similar a la Zona “C”. Entre ambas zonas se observó un área de transición, evidenciada como un pulso de micro-incrementos de mayores grosores que se extendió por aproximadamente 120-150 días (**Figura 44**).

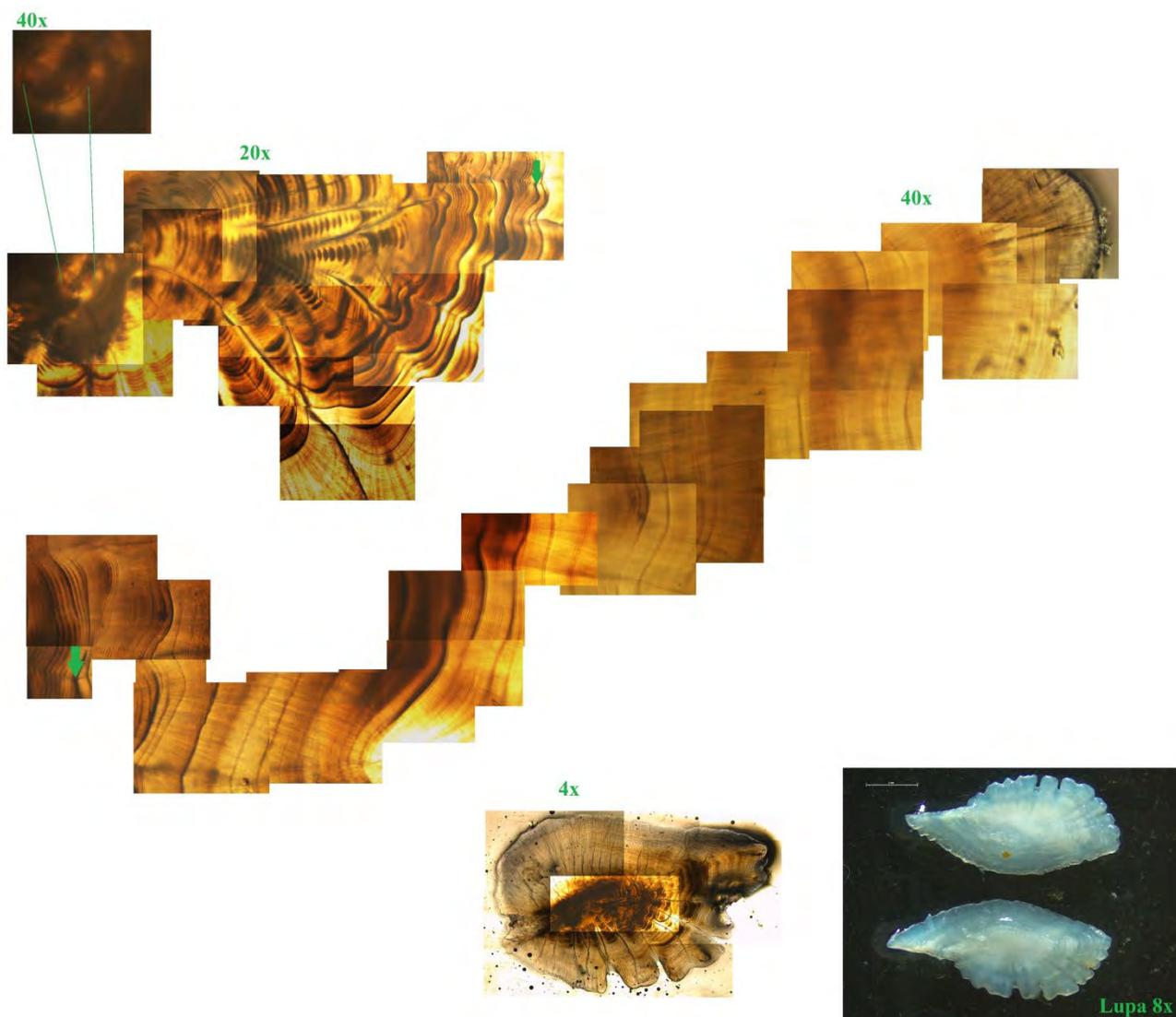


Figura 41. Ficha que ilustra la secuencia de micro-incrementos en una secci3n sagital de un otolito derecho a diferentes magnificaciones, de un ejemplar de 27 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el a1o 2009 en la zona norte de Chile. La imagen puede ser magnificada para ver los detalles micro-estructurales.

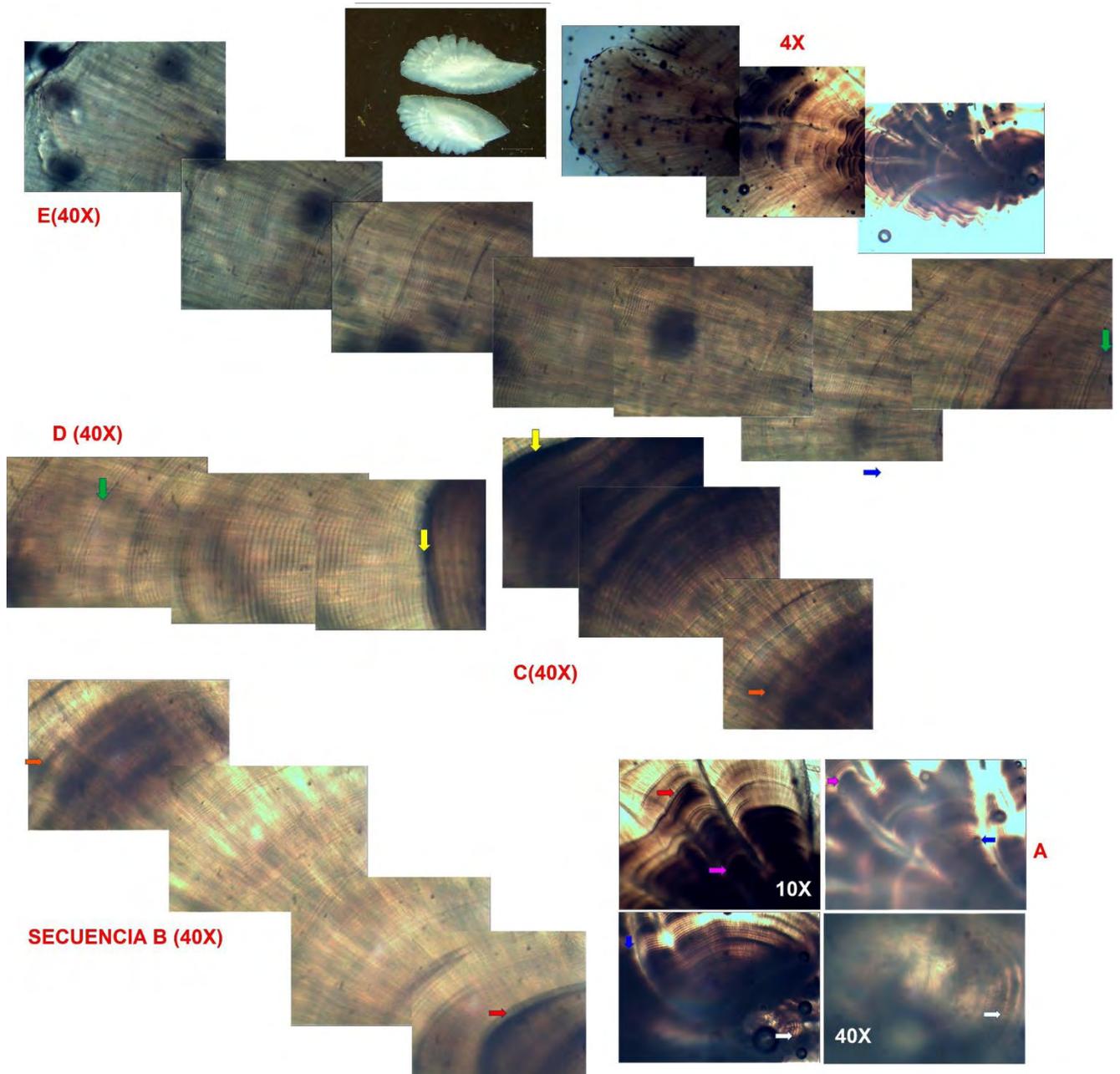


Figura 42. Ficha que ilustra la secuencia de micro-incrementos en una secci3n sagital de un otolito derecho a diferentes magnificaciones, de un ejemplar de 31 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el a1o 2009 en la zona norte de Chile. La imagen puede ser magnificada para ver los detalles micro-estructurales.

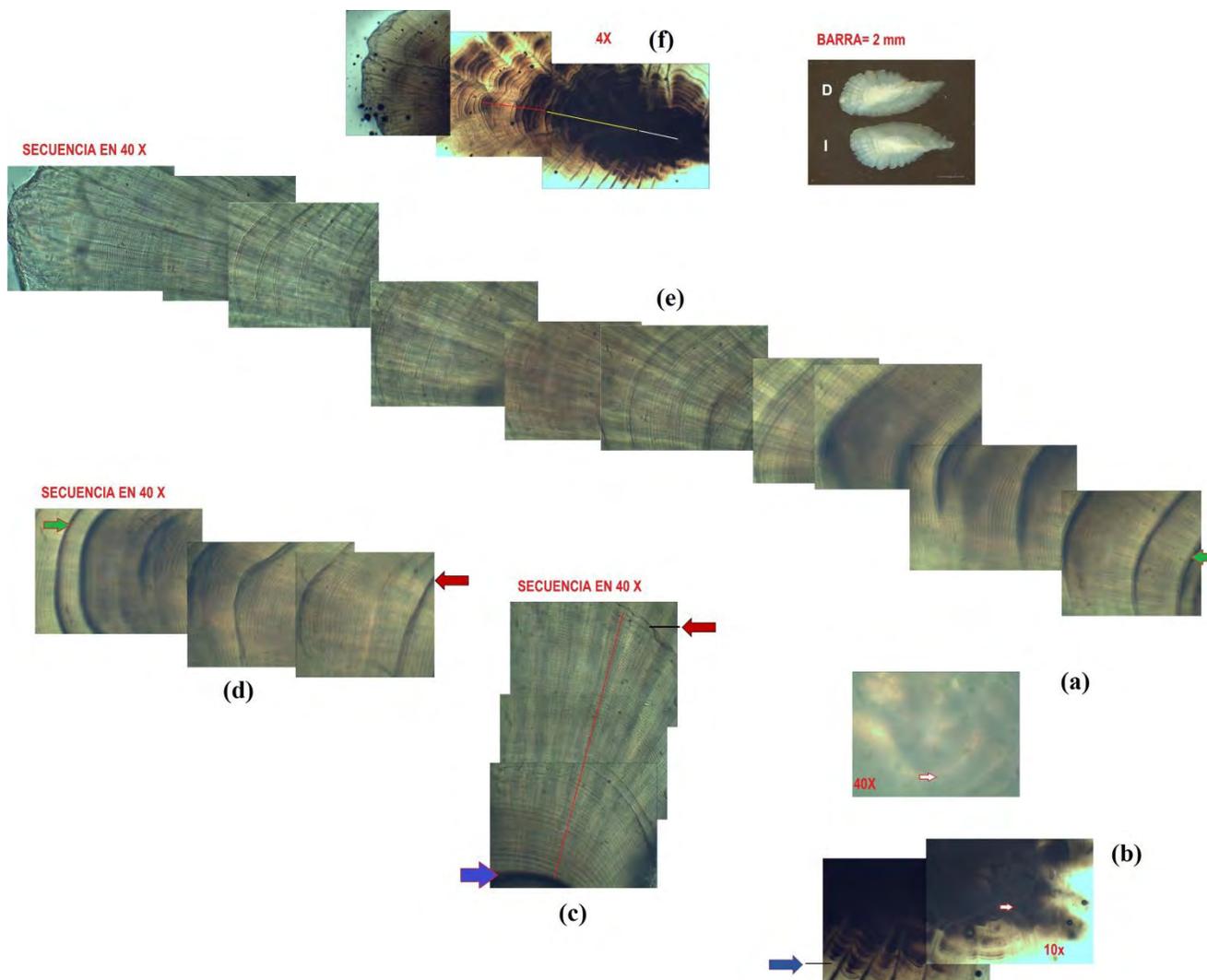


Figura 43. Ficha que ilustra la secuencia de micro-incrementos en una secci3n sagital de un otolito derecho a diferentes magnificaciones, de un ejemplar de 31 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, recolectado el a1o 2009 en la zona Centro-Sur de Chile. La imagen puede ser magnificada para ver los detalles micro-estructurales.

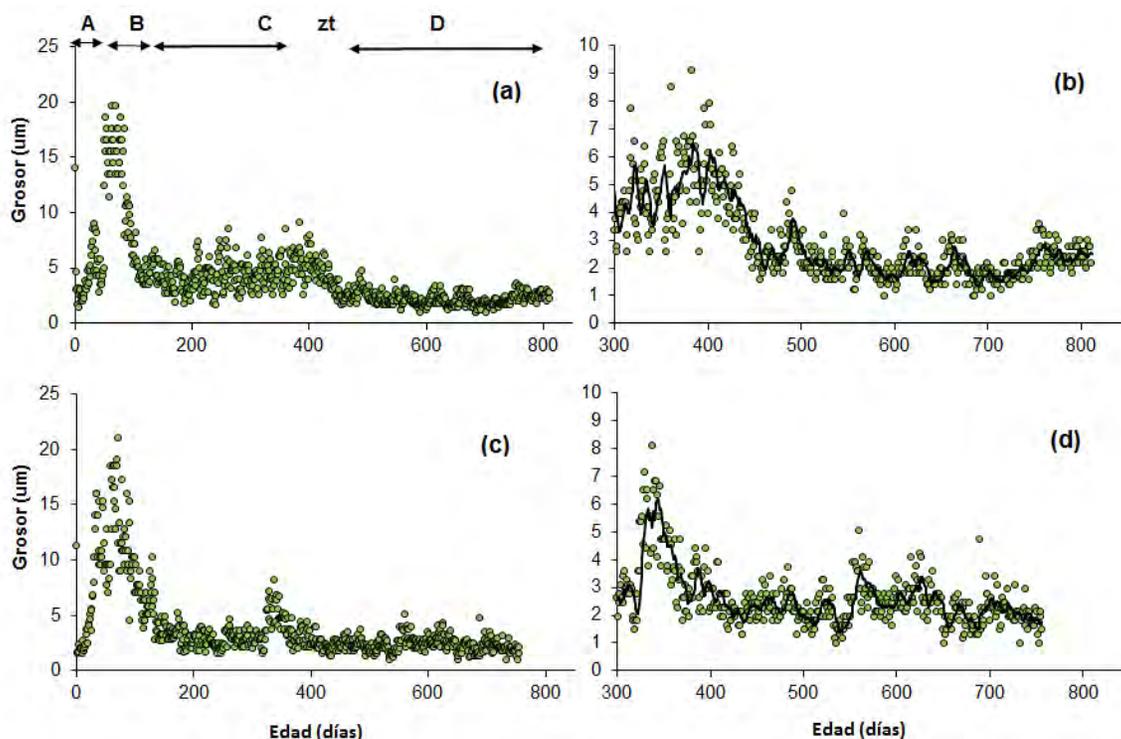


Figura 44. Perfiles de grosores de micro-incrementos registrados en secciones de otolitos sagitales de 2 ejemplares adultos de jurel de 31 cm LH del jurel *Trachurus murphy*, ilustrando la localización de las zonas micro-estructurales. Los paneles de la derecha (b & d) tienen una modificación de escala para ilustrar mejor los cambios después de los primeros 300 días de vida. La línea continua representa un promedio móvil de orden 5. Zt: zona de transición.

9.5.3 Análisis de cambios estructurales en series de perfiles de grosores

El análisis de cambios estructurales se llevó a cabo en 6 muestras, en las que se contó con registros de grosor hacia el eje caudal, que pudieron ser comparables, para ejemplares de aproximadamente 31 cm LH (**Figura 45abc**) y dos años de vida (**Figura 41def**). El análisis evidenció que existieron transiciones significativas en el grosor en todos los ejemplares, predominando una fase juvenil de mayor crecimiento, que se diferenció de los ciclos del primer y segundo año (**Tabla 14, Figura 45**). La

excepci3n fue un ejemplar que evidenci3 una mayor cantidad de quiebres, vinculados a la mayor cantidad de pulsos en el grosor de los micro-incrementos.

Tabla 14

Estadísticas derivadas de un análisis de quiebres estructurales en series de perfiles de grosores, registrados en otolitos sagitales del jurel *Trachurus murphy*. F= Estadístico.
Serie: corresponde a la identificaci3n de los perfiles ilustrados en la Figura 5.

Serie	LT	Edad	F	Quiebre 1	Quiebre 2	Quiebre 3	Quiebre 4	P
(a)	22	377	296,89	57	114			< 2.2e-16
(b)	23	390	201,7	62	123	247	325	< 2.2e-16
(c)	23	395	544,65	111	284			< 2.2e-16
(d)	30	778	980,44	151	439			< 2.2e-16
(e)	31	756	899,84	121	437			< 2.2e-16
(f)	31	811	503,56	133	397			< 2.2e-16

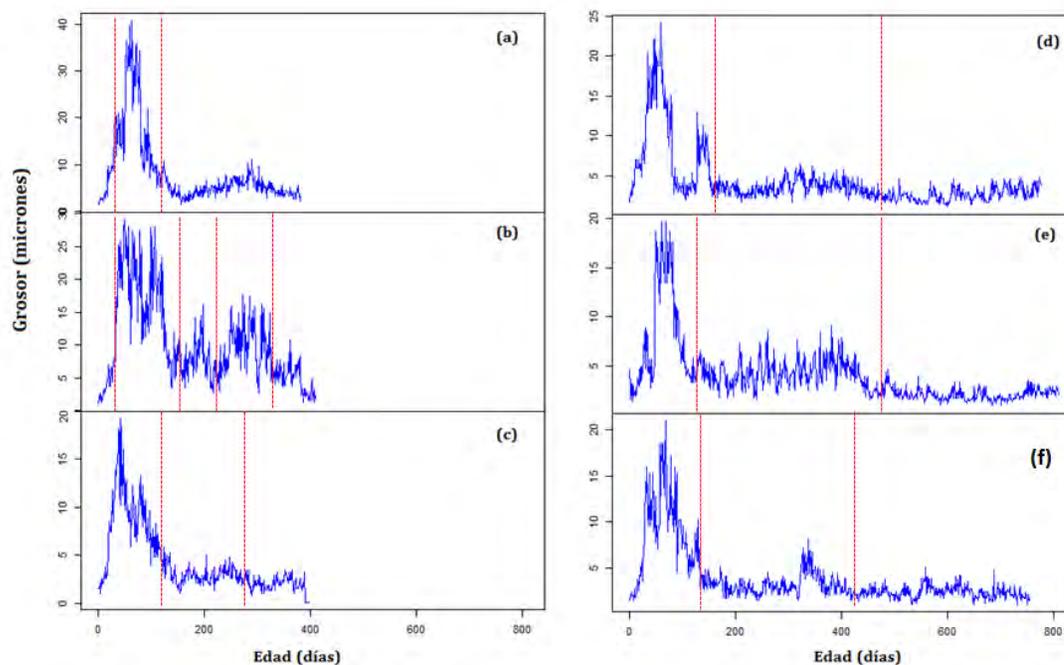


Figura 45. Series de perfiles de grosores de micro-incrementos diarios de otolitos sagitales de *Trachurus murphy*, analizados a trav3s de un m3todo de cambio estructural (Zeileis et al. 2002). Las l3neas rojas segmentadas representan quiebres significativos.

9.5.4 Relaciones Edad vs Longitud.

En un total de 45 ejemplares fue posible obtener secciones que permitieron una secuencia completa de micro-incrementos hasta el borde de los otolitos. El registro evidenci3 rangos de edad de entre 335 y 1003 d3as ($667,89 \pm 173,48$; $CV=26\%$), para ejemplares de entre 21 y 34 cm LH ($27,45 \pm 3,55$; $CV=13\%$). Un ejercicio de reproducibilidad, efectuado por 2 lectores con diferente grado de experticia en 14 secciones, evidenci3 valores de APE entre 0,29 y 30,3% ($IAPE=8,48$) con un coeficiente de variaci3n medio de 12% (**Figura 46a**).

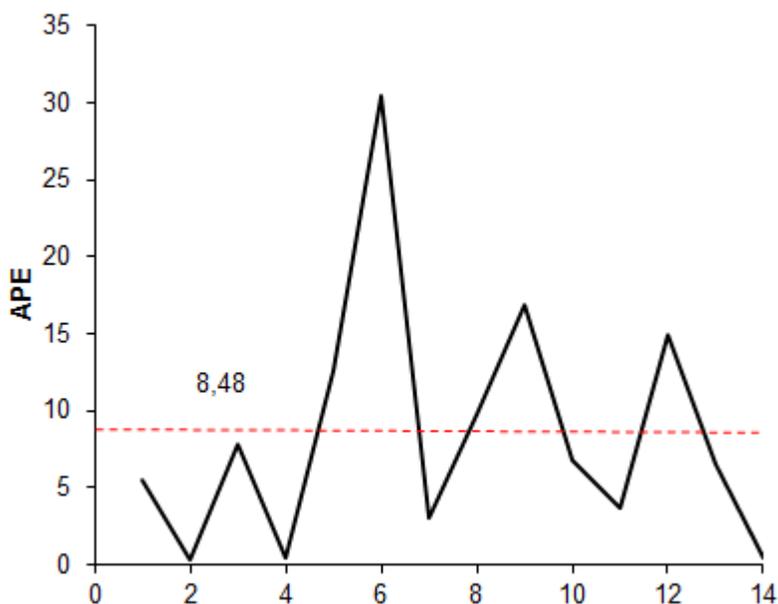


Figura 46. Perfil de reproducibilidad del proceso de determinaci3n de edad a nivel diario en ejemplares de jurel (*Trachurus murphy*) de entre 21 y 31 cm LH, en secciones sagitales con resoluci3n alta. Las l3neas rojas segmentadas, representan el valor del IAPE.

La relaci3n edad vs talla para el rango de edad y longitud de los peces analizados sigui3 una tendencia que fue explicada significativamente por un modelo curvil3neo Laird-Gompertz ($P < 0.001$; **Figura 47a**; **Tabla 15b**) y un modelo lineal ($F_{2,43} = 237,07$; $P < 0.001$; **Figura 47b**; **Tabla 15b**). A partir del ajuste del modelo GP se



obtuvo una tasa de crecimiento diaria absoluta al punto de inflexi3n de $0,16 \text{ cm d}^{-1}$ (i.e. $1,6 \text{ mm d}^{-1}$), que se alcanz3 a los primero 92 d}as de vida. El modelo lineal estim3 una tasa de crecimiento de $0,18 \text{ mm d}^{-1}$, para el rango etario analizado.

Tabla 15

Par3metros estimados a partir del ajuste de modelos Laird-Gompertz a la relaci3n edad vs longitud de horquilla (LH)(a), edad vs LH(b), edad vs radio caudal (RC) y Longitud de horquilla vs RC, para ejemplares de entre 21 y 33 cm LH del jurel (*Trachurus murphy*) recolectados en la costa chilena. ES: 1 error est3ndar α : tasa instant3nea de crecimiento al punto de inflexi3n X_0 ; L_∞ : longitud asint3tica. Todos los ajustes fueron significativos ($p < 0.001$).

Relaci3n	Modelo	Par3metro	Estimado	\pm	ES	Inferior	Superior	r^2
(a) Edad vs LH	GP	L_∞	37,271	\pm	3,538	21,708	25,055	0,95
		α	0,0021	\pm	<0,001	0,005	0,011	
		X_0	91,381	\pm	32,532	46,222	97,722	
(b) Edad vs LH	Lineal	a	15,534	\pm	0,782	13,957	17,111	0,85
		b	0,018	\pm	0,001	0,015	0,020	
(c) Edad vs RC	Lineal	a	2,270	\pm	0,2078	1,850	2,690	0,64
		b	0,003	\pm	0,0003	0,002	0,003	
(d) LH vs RC	Lineal	a	0,880	\pm	0,399	0,076	1,685	0,60
		b	0,113	\pm	0,014	0,084	0,142	

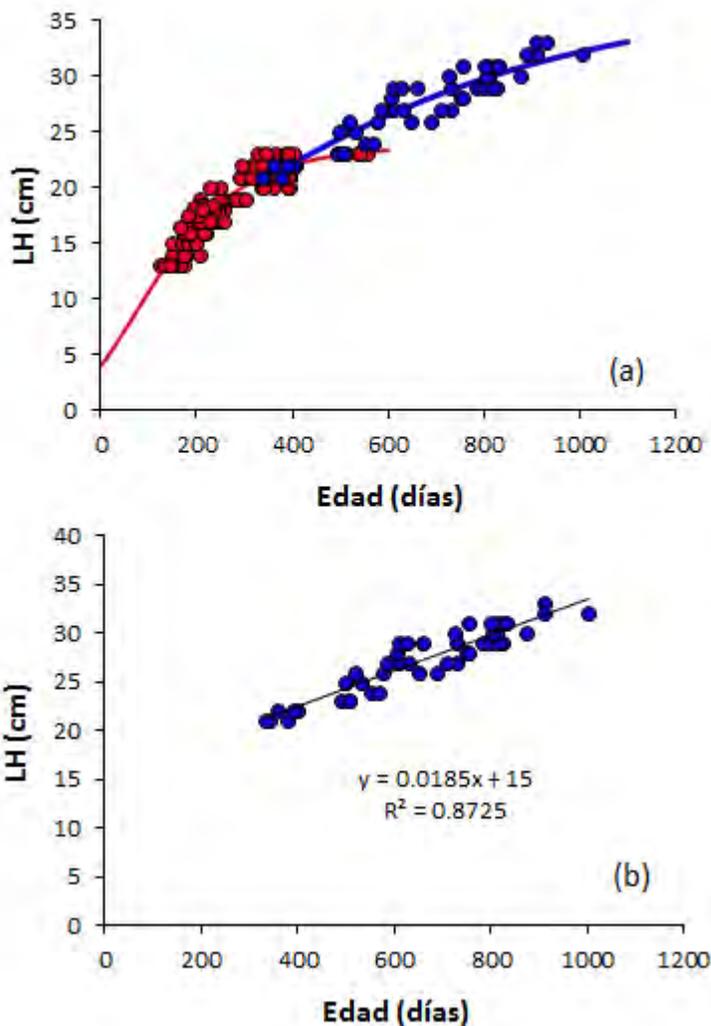


Figura 47. Modelos Laird-Gompertz (a) y lineal (b) ajustados a la relaci3n edad vs longitud de horquilla para ejemplares de entre 21 y 34 cm LH del jurel (*Trachurus murphy*), cuyos par3metros se detallan en la **Tabla 13a**. Los c3rculos rojos y l3nea roja, corresponden a un ajuste de un modelo LG a la relaci3n edad vs talla, proveniente del proyecto FIPA 2017-67.



9.5.5 Edad diaria con microscopía 3ptica vs electr3nica.

Un total de 14 secciones de otolitos fueron analizadas con microscopía electr3nica de barrido (SEM), en la que pudo obtenerse un etching (disoluci3n de la proteína del otolito para reemplazar por metal) adecuado que permiti3 la aplicaci3n (**Tabla 16**). La edad fluctu3 entre 372 y 933 días para ejemplares de entre 21 y 32 cm de LH, evidenciando en general un recuento levemente superior. Los valores medios de los recuentos por microscopía 3ptica y electr3nica siguieron una distribuci3n normal (Test Shapiro-Wilk = $W = 0,968$, $P = 0,874$ vs $W=0,938$, $P = 0.5347$). Un análisis de correlaci3n de rangos de Spearman evidenci3 una correlaci3n significativa entre ambos procedimientos ($\rho=0,987$; $P<0,001$).

Tabla 16

Resumen comparativo de determinaci3n de edad media en otolitos sagitales del jurel, utilizando microscopía 3ptica y electr3nica. LH: longitud de horquilla; DE: desviaci3n estandar.

LH	3ptica				Electr3nica			
	Media	±	DE	N	Media	±	DE	N
21	350,7	±	22,9	3	372	±		1
22	383,3	±	20,8	3	372,4	±	18,5	2
23	501,3	±	8,1	3	498	±		1
24	560,0	±	14,1	2				0
25	514,0	±	22,6	2	525,8	±	35,4	2
26	608,5	±	75,8	4	650,7	±	89,3	1
27	653,2	±	63,9	5	640,3	±	70,2	2
28	703,3	±	85,2	3	715,5	±	98,2	2
29	731,0	±	88,8	8	722,5	±	65,3	1
30	826,0	±	78,4	4				0
31	848,4	±	115,6	5	920,4	±	150,2	2
32	914,7	±	86,1	3	933	±		0
				45				14

9.5.6 Relaciones Edad vs Radio Caudal y Radio Caudal vs Longitud de Horquilla.

La relaci3n Edad vs Radio Caudal fue analizada para ejemplares en el mismo rango de edad y talla, y en ambos casos, los cambios en tama1o de los otolitos sagitales fueron explicada significativamente por modelos lineales (Edad: $F= 69,49$; $P<0.001$; **Figura 48a**; **Tabla 15c**; Longitud: $F= 237,07$; $P<0.001$; Fig. 13b; **Tabla 4d**), para RC fluctuando entre 2,89 y 5,08 mm ($4,01\pm0,53$; $CV= 13\%$).

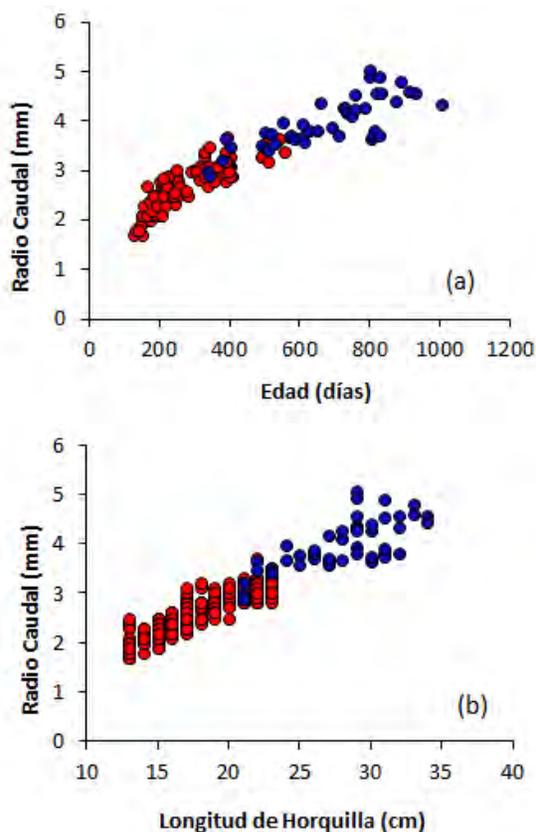


Figura 48. Relaciones edad vs radio caudal (a) y longitud vs radio caudal (b), para ejemplares de entre 21 y 34 cm LH del jurel (*Trachurus murphy*), cuyos parámetros se detallan en la **Tabla 15b**. Los círculos rojos corresponden a las mismas relaciones obtenidas en el proyecto FIPA 2017-67.



10. DISCUSIÓN

Colección de referencia

La colección de referencia inicial construida en este estudio es adecuada en tamaño y composición. Es adecuada en tamaño porque expertos internacionales sugieren que una cantidad mínima para el monitoreo de control de calidad puede ser de 200, siendo preferible un número de 500 pares de otolitos, cuando esto sea posible (Campana 2001). Nosotros hablamos de un número inicial de 521 pares de otolitos, porque una colección de referencia no es un número estático, pudiendo ser enriquecida con nuevas muestras, las que en el caso de IFOP podrían ser de años más recientes o antiguos, ya que se dispone de una colección histórica. Es adecuada en composición porque, refleja la estructura de tamaños de los peces de la población frente a la costa de Chile y contiene otolitos provenientes de las tres macrozonas, Arica-Antofagasta, Caldera-Coquimbo y San Antonio-Guaitecas. Esto queda demostrado al comparar la estructura de longitudes de los peces de la colección con la estructura de longitudes de captura, las que no muestran diferencias significativas, presentando el mismo patrón de distribución.

Es importante la amplitud espacial y temporal de la colección de referencia, para asegurar la inclusión de la variabilidad individual de una población, reflejada en la apariencia de los anillos de crecimiento, que pueden ser sistematizados en patrones de identificación de annuli. Esta caracterización permite una adecuada estimación de la edad, niveles altos de precisión en los controles de calidad y éxito en el proceso de entrenamiento de nuevos analistas.



Procedimiento de lectura de otolitos

El trabajo desarrollado en este proyecto, que considero tres reuniones de trabajos, dos talleres y al menos cinco ejercicios de reproducibilidad ya sea entre lectores de IFOP, lectores de INPESCA e IFOP, adem1s la participaci3n de los expertos en edad Dr. Miguel Araya C. y Guido Plaza P., nos permiti3 chequear el m3todo de preparaci3n del otolito, el procedimiento de observaci3n e interpretaci3n (lectura) de los annuli, como tambi3n avanzar en la homologaci3n de los criterios de lectura del otolito de jurel, que se han definido a partir de la evidencias de validaci3n (exactitud) de la edad disponibles en Chile (Araya et al. 2019; Cerna et al. 2022). Este trabajo tuvo dos principales eventos: 1) En taller nacional, realizado entre el 30 de mayo y el 3 de junio del 2022, que nos permiti3 poner a prueba los niveles de precisi3n entre INPESCA e IFOP, post discusi3n de los nuevos criterios de lectura en reuniones previas, y 2) el taller internacional realizado entre 18 y 21 de octubre del 2022, que tuvo el car1cter nacional, por la ausencia de delegados internacionales de la OROP-PS, que no pudieron asistir. Sin embargo, este segundo taller, sumado al trabajo realizado Inter-talleres, nos permiti3 mejorar significativamente los niveles de precisi3n entre laboratorios nacionales, reforzar los criterios de lectura. Este avance nos permitir1 afrontar de mejor forma el escalamiento de este trabajo, de homologaci3n de la estimaci3n de edad de jurel, a nivel internacional con los pa1ses miembros de la OROP-PS, teniendo como respaldo el protocolo de lectura que se entrega en este Informe (**ANEXO I**) y el buen nivel de concordancia en el analisis de edad alcanzado entre las instituciones nacionales (INPESCA-IFOP), que ser1 mantenido en el tiempo a trav3s de ejercicios de precisi3n anuales.

Este trabajo ha permitido definir con claridad la interpretaci3n de todos los annuli, pero particularmente los dos primeros, que son pr3ximos a dos anillos falsos, uno de estos formado antes del a1o debida, presumiblemente durante el primer invierno



después del desove, y el segundo anillo falso que se marca entre el primer y segundo annulus, considerado como el tercer annulus con el criterio antiguo de estimación de la edad. La identificación adecuada de las dos primeras bandas de crecimiento, anillo de invierno, primer annulus y segundo annulus es crucial para la adecuada identificación del resto de los annuli, donde observamos la necesidad leer utilizando la sección transversal del otolito derecho. Sin embargo, también hemos constatado que el procedimiento de identificación del primer annulus y en algunos casos del segundo, requiere el apoyo de la lectura simultánea del otolito izquierdo entero. En la identificación del mismo anillo en el otolito entero y la sección, es conveniente usar como referencia medidas de distancia desde el core a cada anillo (radios). Para agilizar este proceso se elaboró una tabla de proporcionalidad de las medidas, lo cual puede ayudar a establecer un patrón de ubicación.

Los ejercicios de reproducibilidad realizados en este proyecto nos han permitido incrementar significativamente los niveles de precisión en la estimación de la edad entre lectores de Chile (INPESCA e IFOP). Evidencia ha sido la disminución del error en la lectura, desde CV y APE que superaban en 30% y 20%, respectivamente, a porcentajes menores al 19% y 14%, que en el caso de los lectores más experimentados en que el CV y APE son cercanos al 10 y 8%, respectivamente, registrado en el último taller. Aunque, solo los lectores más experimentados de jurel muestran menor sesgo entre las edades, ponemos énfasis en que siendo este un trabajo que debe continuar en el tiempo, cada vez se va ir aumentando los niveles de precisión y disminución del sesgo (**ANEXO II**).

Es importante tener en consideración que el nivel de concordancia alcanzado entre los laboratorios nacionales de INPESCA e IFOP, es importante si se tiene a la vista que estos resultados son mejores que los obtenidos en otras especies de *Trachurus*, donde es conocida, al igual que en *Trachurus murphyi*, la alta dificultad para



identificar los annuli. Esta situaci3n ha sido descrita recientemente en ICES Workshop WKVALPEL (Bellodi *et al.* 2020), donde los ejercicios de reproducibilidad en jureles (*Trachurus trachurus*), jureles mediterr3neos (*Trachurus mediterraneus*) y jureles (*Trachurus picturatus*) mostraron muy baja precisi3n (CV del 19, 40 y 36%, respectivamente). Estos autores se3alan que las principales dificultades que se observaron fueron la identificaci3n del primer anillo de invierno frente a varios anillos falsos, un anillo de invierno indistinto, un anillo falso (reproductivo) detectado entre el primer y el segundo anillo de invierno, la superposici3n de las zonas translucidas después del tercer anillo de invierno en *Trachurus mediterraneus*, superposici3n de las zonas translucidas después del segundo anillo de invierno en *Trachurus picturatus* y nuevamente entre el 4^o y 5^o anillo de invierno en el jurel (Bellodi *et al.* 2020). Los otolitos de *Trachurus murphyi* del Océano Pacífico sureste presentan las mismas dificultades de interpretaci3n de la edad, sin embargo, estamos avanzando para sobre llevar estas dificultades, validar, caracterizar los annuli y disminuir paulatinamente el error en la interpretaci3n, apoyados en ejercicios de Inter calibraci3n y el protocolo de interpretaci3n de edad de jurel.

Reconstrucci3n de las matrices de captura a la edad hist3ricas

La reconstrucci3n de las estructuras de edad de la captura hist3rica requiri3 modificar las lecturas de edad de jurel de la serie entre 1980 y 2021, para hacer estas estimaciones coherentes con el actual conocimiento de exactitud de la edad, validada por Cerna *et al.* (2022) y Araya *et al.* (2019). La forma m3s directa de abordar esto fue descartar de cada lectura de otolito, el primer y tercer anillo de crecimiento leído, que de acuerdo con la validaci3n tenían una periodicidad menor a uno y dos a3os de edad, respectivamente. Esta transformaci3n nos entrega como resultado estructuras de edad de la serie que se caracterizan por una disminuci3n de los grupos de edad, moviéndose la distribuci3n de la abundancia hacia la izquierda, es decir hace los grupos de menor edad. Esta nueva serie de captura por



grupo de edad permite registra con mayor claridad el ingreso de las nuevas clases anuales, lo cual podr3a facilitar el seguimiento de estas en el tiempo. El segundo aspecto relevante de esta transformaci3n es el aumento del peso medio de cada grupo de edad, en comparaci3n con la serie hist3rica (antigua), cuyos valores son m3s distantes, entre una y otra serie, para los grupos de edad mayores a 6 a3os en la mayor3a de los casos. La nueva estructura de edad es caracter3stica de un recurso que crece muy r3pido los primeros dos a3os de vida, pero aun as3 puede alcanzar 16 o 17 a3os de vida. La serie ha sido reconstruida por trimestre lo cual ha permitido disponer de un adecuada estructura espacial y temporal que ya ha sido probada en las evaluaciones de stock realizadas por la OROP-PS el presente a3o, cuya informaci3n est3 disponible en **ANEXO III**.

El modelo lineal generalizado entre el logaritmo natural de la captura y los grupos de edad descendentes de las estructuras de edad antigua y nueva, mostr3 diferencias entre las pendientes que fueron estad3sticamente significativas ($p=0,049$). La pendiente de la captura fue mayor con la nueva estructura de edad validada, lo cual implicar3a que con esta estructura existe una mayor mortalidad total y por tanto mortalidad natural. Este resultado es coherente con las estimaciones de mortalidad natural, basadas en m3todos emp3ricos reportadas en el presente estudio, que registran valores mas altos que aquellos estimados a partir de los par3metros de crecimiento y otros indicadores que provienen de la estructura talla-edad antiguos.

Reconstrucci3n de la ojiva de madurez

En la actualizaci3n de la estimaci3n de la edad media de madurez ($E_{50\%}$), a partir de la lectura de edad de otolitos con el nuevo criterio, la nueva edad media de madurez es 1,5 a3os menor que la estimada por Leal et al. (2013), para la misma



muestra colectada el 2011. Es decir, de acuerdo con la actual lectura de edad, el 50% de la población de jurel comienza a desovar cuando cumple un año de vida. Aunque, existen especies del género *Trachurus* con una edad media de madurez entre 2 y 4 años como *Trachurus picturatus* (García et al. 2015), *Trachurus pinturitas* (Abaunza et al. 2003) en *Trachurus mediterraneus* se ha estimado entre 1 y 2 años (Catalin et al. 2019) y en *Trachurus japonicus* 1 año (Yoda et al. 2014). Aunque los datos de madurez de Leal et al. (2011) corresponden a análisis histológicos, lo que asegura su precisión, estimaciones de la talla y edad media de madurez deberían ser actualizada cada cierto tiempo, más aún si esta última estimación fue hecha hace 10 años.

Estimación de parámetros de crecimiento.

La distribución de datos de edad-talla de jurel del área nacional (Arica a Guaitecas) correspondió a la colección de referencia de los otolitos. Se estimaron parámetros de crecimiento para datos de lectura del otolito entero y secciones transversales. La estimación basada en lectura de secciones trasversales de otolitos mostro una mejor verosimilitud y coeficiente de determinación, por lo cual sus parámetros pueden ser considerado como más adecuados para representar el crecimiento de jurel.

Los nuevos parámetros muestran importantes diferencias con aquellas estimaciones realizadas anteriormente por Gili et al. (1996), con datos de longitud a la edad retro calculados de la zona centro-sur de Chile, que estimaron un L_{∞} de 70,80 cm LH y un K ($0,094 \text{ año}^{-1}$) y Castillo y Arrizaga (1987) que estimaron un L asintótico de 75 cm y K de 0,07. Por el contrario, el resultado del presente estudio es más similar con aquellos reportados por Alegría et al. (1995) ($L=53.5$; $K=0,11 \text{ año}^{-1}$); Aguayo et al. (1981) ($L=46 \text{ cm}$; $K=0,17 \text{ año}^{-1}$), además de los trabajos de Kochkin (1994); Dioses (2013) en lo que respecta al coeficiente de crecimiento K .



El ejercicio de sensibilizaci3n en la estimaci3n de los par3metros de crecimiento a partir del an3lisis de remuestreo considerando un n3mero de muestra fijo por edad, mostr3 par3metros de crecimiento muy similares a los estimados por el modelo de sin balancear la muestra entre edades. Este resultado sugiere que, si bien existe una baja cantidad de datos de edad 1 y mayores a 7 a3os, esto no afecta el desempe3o del modelo y los par3metros se pueden considerar suficientes para modelar el crecimiento de jurel.

Es evidente que los nuevos par3metros reflejan una mayor tasa de crecimiento y una menor longitud asint3tica que la reportadas en estudios anteriores, lo que sumado a la menor talla media de madurez, estimada por Leal et al. (2013), podr3 registrar valores de invariante de Jansen (L_m/L_∞) alejados de las estimaciones reportadas para la familia Carangidae por Araya y Pepe-Victoriano (2010). Sin embargo, el valor de esta invariante estimado con los nuevos par3metros fue de 0,40, valor que, aunque se aleja de la media (0,46) est3 dentro del intervalo de confianza estimado por los autores (0,39-0,52). Hay que tener en cuenta que las estimaciones de invariante dependen de la exactitud de los par3metros, que en muchos casos no derivan de una adecuada validaci3n de la edad, como tambi3n pasan por alto los posibles cambios fenot3picos que pueden experimentar las especies debido a la explotaci3n pesquera (Araya y Pepe-Victoriano, 2010).

Estimaci3n de morbilidad natural.

Estimaciones de mortalidad natural, estimadas por m3todos emp3ricos que utilizan los par3metros de crecimiento, han sido reportadas por Arcos et al. (1995) cuyas estimaciones var3an entre 0,10 hasta 0,33 a3os⁻¹. En el modelo de evaluaci3n de stock de jurel de Chile se ha usado un valor de 0,23 a3os⁻¹ (Canales and Serra, 2008 informe no publicado). En el presente estudio utilizamos los m3todos emp3ricos de Hoening_nls y Pauly_nls-T adecuados por Then et al. (2015), Rikhter



y Efanov (1976), Zhang y Megrey (2006) con valores que oscilaron entre 0,25 hasta 1,37 años⁻¹. El valor m1s alto correspondi3 al m3todo de Rikhter y Efanov que utiliza en su estimaci3n la edad media de madurez, y el m1s bajo el m3todo de Zhang y Megrey que utiliza los par1metros de crecimiento (L_{∞} y K) adem1s de la edad m1xima. Esta 3ltima estimaci3n es cercana al valor actualmente usado en el modelo de evaluaci3n de stock, la que consideramos m1s apropiada debido a que la ecuaci3n combina, los par1metros de crecimiento, que reflejan una mayor velocidad de crecimiento, con la edad m1xima que describe a esta especie con una longevidad media. Una estimaci3n de M utilizando esta combinaci3n de par1metros caracterizan de mejor forma la historia de vida de este recurso. El utilizar solo los par1metros de crecimientos o edad media de madurez, sit3an a esta especie como una de vida corta, con una mortalidad natural que podr3a estar sobre estimada. De acuerdo con Ragonese & Bianchini (2014) la estimaci3n de Rikhter & Efanov no debiera ser utilizada por sobreestimar M , al no considerar en su c1lculo la edad de “madurez masiva” propuesta originalmente, sino que la edad media al 50%. La utilizaci3n de la talla media de madurez, en esta ecuaci3n, suele ser un error al no estar adecuadamente definido que se debe considerar como “madurez masiva”. Adem1s, las constantes o coeficientes usados en la ecuaci3n provienen de regresiones entre valores de edad de madurez y de M considerados exactos, en que han utilizado edades medias de madurez m1s bajas que las correspondientes edades de madurez masiva, lo cual aumenta la incertidumbre del valor de M que podr3a llegar a estimar la ecuaci3n de Rikhter & Efanov.

Determinaci3n de edad del Jurel en ejemplares adultos (2+).

Los resultados obtenidos derivados del an1lisis del micro-estructura de otolitos confirman los hallazgos previos reportados para esta especie en la zona norte de



Chile, donde fue posible validar que ejemplares de alrededor de 22 cm de LH tienen edades de alrededor de 1 a1o de vida (e.g., Cerna et al., 2016; Cerna et al. 2017; Araya et al 2020). En estos estudios se demostr3 que al final del primer a1o el crecimiento a nivel poblacional se hizo asint3tico, presumiblemente vinculado a una ca3da en el crecimiento, debido a la sincron3a con la ojiva de madurez para esta especie (Leal et al. 2013). En el presente estudio, los resultados confirman que la especie mantiene un crecimiento sustantivo hacia el segundo y tercer a1o de vida, debido a que ejemplares menores a 33 cm LH pudieron ser datados con confiabilidad, a trav3s del recuento de sus micro-incrementos. Es importante destacar que la simple secuencialidad en el registro es una evidencia de crecimiento r3pido, debido a que en especies de crecimiento lento, la micro-estructura solo permite una dataci3n a nivel diario para los primeros 6 meses de vida (Campana 1992; Campana 2001, Panfili et al. 2002) lo que contrasta con los aproximadamente 1000 registros que fueron obtenidos en el presente estudio para el jurel.

La capacidad de registro micro-estructural en peces adultos ha sido reportada en pocas especies y particularmente orientada a la validaci3n del primer anulo, debido a la dificultad que implica la obtenci3n de secciones con un registro completo del primordio al borde (Wright et al., 2002; La Mesa, 2007; H3ussy et al 2010), aunque tambi3n se ha reportado su uso en especies de edades mayores a un a1o (Waldron & Kerstan, 2001; Cerme1o et al., 2003; Paul & Horn, 2009). En este contexto los resultados del presente estudio se alinean bien con los resultados reportados por Waldron and Kerstan (2001), quienes reportaron un registro de hasta 1500 micro-incrementos diarios, correspondiendo aproximadamente a 4,3 a1os, para el jurel (*Trachurus trachurus*). En dicho estudio se utiliz3 microscop3a 3ptica para ejemplares menores a 15 cm y microscop3a electr3nica para ejemplares de hasta 38 cm de LT. En el presente estudio la microscop3a electr3nica confirm3 los hallazgos obtenidos por microscop3a 3ptica, e independiente del m3todo los micro-incrementos hacia el



borde sólo fueron resolubles en ejemplares de hasta 32 cm. En ejemplares más grandes se evidenció una fusión de micro-incrementos en secciones sagitales, que presentan una forma de cúmulos, que interrumpieron la secuencia de los micro-incrementos, tornando la lectura a nivel diario irresoluble.

El registro de edad diaria permitió ajustar modelos talla-edad, donde el modelo lineal evidenció que esta especie puede lograr incrementos de hasta 6 cm por año durante el rango de edad estudiado. Es importante destacar que la pendiente derivada de modelos lineales es un parámetro no sesgado para rangos de longitud cortos, aunque el intercepto no tenga una validez biológica (Campana & Jones 1992; Panfili et al. 2002). Estos incrementos se aproximan a un tercio del tamaño que esta especie alcanza en el primer año, alineándose de mejor forma a un crecimiento curvilíneo, de decaimiento gradual cuando se integra toda la historia de vida, que es lo esperable en un modelo de crecimiento indeterminado en peces. La buena sincronía en las relaciones edad-talla y edad radio entre los resultados del presente estudio y aquellos reportado por Araya et al (2020) parecieran validar esta inferencia. Sin embargo, estas tasas de crecimiento no deben ser asumidas como representativas del crecimiento nivel poblacional, debido a que una gran cantidad de secciones son descartadas por presentar una resolución baja de la micro-estructura para este tramo etario, condición que podría estar seleccionado sólo a los ejemplares de crecimiento rápido.

Es importante destacar que la micro-estructura tuvo también la capacidad de registrar la ocurrencia de los anillos falsos, que aparecieron como discontinuidades muy finas, que no parecieron interrumpir la secuencia de los micro-incrementos. La ocurrencia de estas estructuras es algo controversial, porque han sido reportadas en una gran cantidad de especies, pero aún se desconoce las causas que las producen y su periodicidad de formación (Campana, 2001; Panfili et al 2002). Por



una parte, se ha inferido que están vinculadas a una detención parcial del crecimiento, aunque se ha reportado para los primeros años de vida, donde el crecimiento es más rápido (Albert et al. 2009), donde podrían estar vinculadas a potenciales forzantes ambientales y/o a forzantes fisiológicos de los individuos. Por ello, es recomendable desarrollar una investigación en el futuro para comparar la macro-estructura entre otolitos sagitales y los otros pares de menor tamaño (i.e., lapillus y asteriscus), para descartar que estas estructuras sean meramente el producto de un mecanismo estructural, que se producen debido al cambio obligado y gradual que sufre el otolito en el eje de crecimiento en otolitos excesivamente cóncavos. Esta comparación podría contribuir también a mejorar la reproducibilidad de las lecturas anuales, debido a que es razonable inferir que en los otolitos de menor tamaño no cóncavos, los cambios de fases de bandas hialinas y opacas sean menos interrumpidas por este tipo de estructuras.

El registro de micro-incrementos con microscopía electrónica confirmó los hallazgos obtenidos en microscopía óptica, con valores marginalmente superiores. Los resultados de análisis comparativo del recuento de micro-incrementos entre SEM y microscopía óptica han evidenciado resultados variados, siendo en algunos casos inferiores y otros marginalmente superiores. Sin embargo, el patrón es que existe una adecuada correspondencia entre las técnicas cuando el grosor de los micro-incrementos (Campana 1992), se encuentra sobre el límite resolutorio de $0,2 \mu\text{m}$ de la microscopía óptica, que fue precisamente el caso del presente estudio. La dificultad de usar SEM en el presente estudio, redundó en que sólo unas pocas secciones tuvieron la calidad suficiente para este método. El aumento de la concavidad del otolito sagital con la edad del otolito, impide un pulido en el plano medio que garantice una secuencia completa y sin perturbaciones que garantice un grabado (etching) eficiente. Por otra parte, las secciones longitudinales (frontales) son afectadas por la presencia de un sulcus profundo, que hacen muy difícil obtener



una secuencia de unos 80 μm de grosor, sin que la secci3n se fracture en el proceso y/o que se generen secciones con zonas difusas sin micro-incrementos. En estos casos se requiere un proceso de interpolaci3n para el recuento de micro-incrementos, tal como ha sido reportado en estudios previos en esta especie y en especies emparentadas (e.g., Paul & Horn, 2009; Waldron & Kerstan, 2001; Cisterna & Arancibia 2017; Hussy et al 2010). Esta dificultad se torna a3n m3s compleja en ejemplares > 32 cm, aunque en estos ejemplares la disminuci3n de anillos falsos y la ca3da gradual del crecimiento podr3an aumentar sustantivamente los niveles de reproducibilidad de las lecturas de 3nulos a nivel macrosc3pico.



11. CONCLUSIONES

1. Se elaboró una colección de referencia de otolitos de jurel, con un número inicial de 521 pares, en que el otolito izquierdo se conserva entero y el derecho seccionado transversalmente. La muestra abarca el área de distribución de la pesca frente a Chile, desde Arica a Guaitecas y corresponde al 2007 y 2009. La estructura de tallas de la colección de referencia y de las capturas no muestran diferencias significativas.
2. Se elaboró un nuevo procedimiento de lectura de otolitos de jurel que considera las últimas evidencias de validación como también los resultados del objetivo 5 del presente estudio. Este procedimiento está presentado en el protocolo de lectura de edad de jurel y el catálogo de otolitos para la interpretación de anuli de jurel.
3. Los ejercicios de reproducibilidad de la edad de jurel realizado por lectores nacionales de IFOP e INPESCA, analizando secciones transversales del otolito derecho apoyado con la lectura del otolito izquierdo entero, mostró bajos porcentajes de error promedio y bajo sesgo para el caso de los lectores con más experiencia en lectura de otolitos de jurel. Existiendo un avance significativo en el trabajo de homologación de los criterios de lectura de edad de jurel.
4. Se reconstruyó la serie de estructura de edad de la captura por trimestre y zona para el periodo comprendido entre 1980 y 2021. La estructura de edad de la captura histórica, basada en los nuevos criterios de edad validados, se caracteriza por una disminución de los grupos de edad, moviéndose la distribución de la abundancia hacia la izquierda, es decir hace los grupos de



menor edad. Esta nueva serie de captura por grupo de edad permite registrar con mayor claridad el ingreso de las nuevas clases anuales.

5. La nueva edad media es 1,5 años menor que la estimada por Leal et al. (2013), para la misma muestra colectada el 2011. De acuerdo con la actual lectura de edad, el 50% de la población de jurel comienza a desovar cuando cumple un año de vida.
6. Se estimaron los parámetros de crecimiento a partir de la lectura de edad empleando los nuevos criterios en secciones transversales de otolitos ($L_{\infty} = 56,94$ cm LH, $K = 0,17 \text{ año}^{-1}$ y $t_0 = -2,33$ año). Estos parámetros estiman tallas medias a la edad más altas que las descritas en trabajos anteriores.
7. Estimaciones de mortalidad natural con modelos empíricos que usan los parámetros de crecimiento y edad máxima, oscilaron entre 0,25 y 1,37 años⁻¹.
8. Las características micro-estructurales de otolitos sagitales en ejemplares menores a 1 año de vida fueron similares a las reportadas previamente para esta especie en aguas chilenas, donde se distinguieron 3 zonas distintivas, con gran presencia de discontinuidades y líneas de transición en las zonas más exteriores de menor crecimiento del otolito.
9. Los resultados evidenciaron que las secciones micro-estructurales de otolitos del jurel preparadas en plano sagital, permitieron determinar edad a nivel diario para ejemplares menores a 33 cm de LH en esta especie, con edades mayoritariamente inferiores a 1000 días.
10. Para ejemplares mayores 33 cm de longitud de horquilla la micro-estructura, tanto a nivel óptico como electrónico, no fueron resolubles para determinación de edad a nivel diario para esta especie.



11. Los perfiles de grosores en ejemplares de mayor talla y con edades cercanas a los 800 d3as, evidenciaron s3lo 2 ciclos de mayor crecimiento del otolito, uno en la fase juvenil inicial y otro al finalizar el primer a3o, separados por periodos de disminuci3n de crecimiento, con pulsos de variabilidad secuencial.
12. El modelo talla-edad para el rango entre 21 y 32 cm LH evidenci3 un crecimiento significativo de aproximadamente, con tasas de $0,18 \text{ mmd3a}^{-1}$, y $1,6 \text{ mmd3a}^{-1}$, mediante el ajuste de un modelo lineal y Laird-Gompertz, respectivamente



12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abaunza P., Gordo L., Karlou-Riga C., Murta A., Eltink A., Garcia M., Zimmermann C. 2003. Growth and reproduction of horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Carangidae). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 13(1):27-61.
- Albert OT, Kvalsund M, Vollen T, Salberg AB (2009) Towards accurate age determination of Greenland Halibut. *J Northwest Atlantic Fish Sci* 40: 81–95.
- Alegría, V. et al. 1995. Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona norte (Regiones I y II). FIP. IFOP. Informe Final. 221 p. + Figs. y Tablas.
- Arancibia H, Cubillos L (1993) Análisis de la pesquería industrial de cerco, dinámica poblacional y situación del recurso jurel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Documento Técnico 2: 1-23, Instituto Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano.
- Aranis A., L. Caballero, A. Gómez, MJ Zúñiga. Muñoz, L. Ossa M, F. Cerna, V. Bocic, A. López, C. Machuca, Vera, M. Ramírez, G. Eisele. 2014. Convenio “Asesoría Integral para la Toma de Información en Pesca y Acuicultura, 2013, Actividad 1: Seguimiento General de Pesquerías de Peces y Crustáceos: Pesquería Pelágica Zona Centro sur, 2013”. Informe Final Convenio Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. Inst. Fom. Pesq., Valparaíso, Chile.
- Araya M., M. Medina & H. Arancibia. 2003. Preliminary results of the empirical validation of daily increments in otoliths of jack mackerel *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) marked with oxytetracycline. *Scientia Marina*, 67(4): 471-475.



- Araya M., M. Medina, E. Segovia, J. Peñailillo, M. Avilés, K. Chisen, A. Arcos, J. Charlin, C. Pacheco, G. Plaza, C. Rodríguez-Valentino, A.M. Galeano. 2019. Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel .Proyecto FIPA N° 2017-61. Informe Pre-final. 172 p.
- Araya M., Pepe-Victoriano R. 2010. La constancia de la razón entre la longitud de madurez y la longitud asintótica en peces de la costa de Chile: Un meta-análisis. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 45(3): 371-377.
- Arcos, D., Cubillos L., Sepúlveda A., Grechina A., Peña H., Alarcón R., Hernández A., Miranda L., Vilugron L. 1995. Evaluación del jurel a nivel Subregional. Informe Final FIP 95-09, 219 p.
- Baty, F., Ritz, C., Charles, S., Brutsche, M., Flandrois, J.-P., and Delignette-Muller, M.-L. (2015). A toolbox for nonlinear regression in R: The packagenlstools. *Journal of Statistical Software*, 66(5):1-21.
- Beamish R. J. & E. Fournier.1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 982-983.
- Beamish R. J. & G. McFarlane. 1995. A discussion of the importance of aging errors, and an application to walleye pollock: the world's largest fishery. In *Recent Developments in Fish Otolith Research* (Secor, D. H., Dean, J. M. & Campana, S. E., eds), pp. 545–565. Columbia: University of South Carolina Press.
- Bellodi A., G.B. Defruit, P. Carbonara, L. Cox, C. Chantre, J. Davies, A. Gaamour, C.G. Piñeiro, P. Goncalves, J. Gutkowska, A. Hilvarsson, A. Massaro, K. Ofridopoulou, V. Papantoniou, A. Silva, B. Villamor. 2020. ICES Workshop on age validation studies of small pelagic species (WKVALPEL). *ICES Scientific Reports*. 2:15. 76 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5966>



- Bowker A.H. 1948. A test for symmetry in contingency tables. *Journal of the American Statistical Association*, 43:572-574.
- Campana S. 1995. Expert age determination of 4VW and 4X haddock otoliths by national and international laboratories. Department of Fisheries and Oceans Atlantic Fisheries Research Document 95/120.
- Campana S. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59, 197-242.
- Campana S. E., M.C. Annand, J.I. McMillan. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 124:131-138.
- Campana SE, Jones C. 1991. Analisis of otolith microstructure data. p. 73-100. In D.K. Stevenson and S.E. Campana [ed.] *Otolith microstructure examination and analysis*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 117.
- Campana SE. 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
- Campana, S.E. 1992. Measurement and interpretation of the microstructure of fish otoliths, p. 59-71. In D.K. Stevenson and S.E. Campana [ed.] *Otolith microstructure examination and analysis*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 117.
- Canales C. 2013. Impact of using different weight-at-age by fleet in the Jack mackerel stock assessment. SPRFMO 1st Meeting of the Scientific Committee, La Jolla, California, 21---27 October 2013. Doc. SPRFMO SC-01-



06: 12

Canales C., R. Serra, J.C. Saavedra, L. Caballero. 2013. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 71p + anexos.

Castillo G., A. Arrizaga. 1987. Edad y crecimiento del jurel *Trachurus Symmetricus murphyi* (Nichols, 1920) en aguas de Chile Central. Biol. Pesq. 16: 19-33.

Catalano M.J., Allen M.S. 2010. A size- and age-structured model to estimate fish recruitment, growth, mortality, and gear selectivity. Fisheries Research 105(1) 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2010.03.002>.

Cermeno P, Uriarte A, De Murguía AM, Morales-Nin B. 2003. Validation of daily increment formation in otoliths of juvenile and adult European anchovy. Journal of Fish Biology 62, 679–691.

Cerna F., G. Moyano, C. Valero, L. Muñoz, G. Plaza, S.E. Campana. 2022. Bomb Radiocarbon, Otolith Daily Increments and Length Modes Validate Age Interpretations of Chilean Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*). Front. Mar. Sci. 9:906583. doi: 10.3389/fmars.2022.90658.

Cerna J F, Moyano G, Valero C, Muñoz L. 2017. Age validation and growth function of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. South Pacific Regional Fisheries Management Organisation, Scientific Committee Meeting, Shanghai, China, 23–28 September 2017. Document SC5-JM02. 25 p.

Cerna J.F., Valero C., Moyano G., Muñoz, L. 2016. Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. Informe Final, FIPA No. 2014-32.



363 p.

Cerna JF, Valero C, Moyano G, Muñoz L. 2016. Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Instituto de Fomento Pesquero, Chile. Informe Final, FIPA No. 2014-32.

363 p.

Cerna, J. F., Moyano, G., Valero, C., & Muñoz, L. 2017. Age validation and growth function of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. South Pacific Regional Fisheries Management Organisation, Scientific Committee Meeting, Shanghai, China, 23–28 September 2017. Document SC5-JM02. 25 p.

Cisterna L, Arancibia H. 2017. Edad de jurel *Trachurus murphyi* (Carangidae) usando incrementos diarios en otolitos sagittae. *Gayana* 81:8-31

Díaz E (2013). Estimación del crecimiento del jurel (*Trachurus murphyi*) capturado en el Perú a partir del análisis de las frecuencias por tallas. En: Csirke J, Guevara-Carrasco R, Espino M (Eds.). *Ecología, pesquería y conservación del jurel (Trachurus murphyi) en el Perú*. *Rev Peru Biol* 20(1): 061 – 066.

Dioses T. 2013. Edad y crecimiento del jurel *Trachurus murphyi*, (Nichols 1920) en el Perú. En: Csirke J., R. Guevara-Carrasco, M. Espino (Eds.). *Ecología, pesquería y conservación del jurel (Trachurus murphyi) en el Perú*. *Rev. Peru. Biol. Número especial* 20(1): 045- 052.

Eklund J., Parmanne R., Aneer, G. 2000. Between-reader variation in herring otolith ages and effects on estimated population parameters. *Fisheries Research*, 46(1-3), 147-154.

Evans G.T., J.M. Hoenig. 1998. Testing and viewing symmetry in contingency tables, with application to readers of fish ages. *Biometrics*, 54:620-629.



- Francis R.C. 2016. Growth in age-structured stock assessment models. *Fisheries Research*, 180, 77-86.
- Garcia A., Pereira J., Canha A., Reis D., Diogo H. 2015. Life history parameters of blue jack mackerel *Trachurus picturatus* (Teleostei: Carangidae) from north-east Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 95(2): 401 – 410.
- Gili, R., V. Alegría, V. Bocic, L. Cid, H. Miranda. 1996. Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona centro-sur, V a IX regiones. Sección Determinación de la estructura de edad del recurso jurel. Informe Final Proyecto FIP 018-93.
- Goicochea C., Mostacero J., Moquillaza P., Dioses T., Topiño Y., Guevara-Carrasco R. 2013. Validación del ritmo de formación de los anillos de crecimiento en otolitos del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Rev. Peru. Biol. Número especial 20(1): 053- 060.*
- Grechina A, Núñez S, Arcos D (1998) Biología reproductiva del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el Pacífico sur. En: Arcos D (ed). *Biología y ecología del jurel en aguas chilenas 77-79.*
- Hoening J.M., M.J. Morgan., C.A. Brown. 1995. Analysing differences between two age determination methods by tests of symmetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52:364-368.
- Horn PL, Maolagáin CO (2021). The growth and age structure of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) following its influx to New Zealand waters. *J Fish Biol* 98:1144–1154.



- Hüssy K, Hinrichsen HH, Fey DP, Walther Y, Velasco A (2010). The use of otolith microstructure to estimate age in adult Atlantic cod *Gadus morhua*. J. Fish. Biol. 76: 1640-1654
- Kochkin, P. 1994 Age determination and estimate growth rate for the peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. J. Ichthyol.,34: 39-50.
- 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 Biology 30, 1219–1226
- Leal E., E. Díaz, J.C. Saavedra-Nievas, G. Claramunt. 2013. Ciclo reproductivo, longitud y edad de madurez de jurel *Trachurus murphyi*, en la costa de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía Vol. 48, No3: 601-611.
- McNemar Q. 1947. Note on the sampling error of the deference between correlated proportions or percentages. Psychometrika, 12:153-157.
- Morales-Nin B. 1997. Asistencia técnica para la revisión de lectura de otolitos de jurel (*Trachurus S. murphyi*) IFOP 18p. Más tablas y figuras.
- Morison A.K., P.C. Coutin, S.G.Robertson. 1998. Age determination of black bream, *Acanthopagrus butcheri* (Sparidae), from the Gippsland Lakes of south-eastern Australia indicates slow growth and episodic recruitment. Marine and Freshwater Research, 49(6), 491-498.
- Natanson LJ, Mello JJ, Campana SE (2001) Validated age and growth of the porbeagle shark, *Lamna nasus*, in the western North Atlantic Ocean Fish Bull, U.S 54:1261-1279.



- Ogle D.H. 2016. Introductory Fisheries Analyses with R. Chapman & Hall/CRC The R Series. 304 p.
- Ojeda, V., O. Guzmán, V. Bocic, L. Muñoz, J. Olivares y F. Cerna. 2008. Actualización y Perfeccionamiento de las Metodología científicas de determinación de edad en peces para la sustentabilidad de los recursos pesqueros nacionales. 05CN11IPT-16. Informe Final INNOVA - CHILE - IFOP. <http://www.ifop.cl/eyc/index.html>
- Panfili J, Pontual H, Troadec H, Wright PJ (Eds.). 2002. Manual of fish schlerochronology. Ifremer-IRD, Brest.
- Paul LJ, Horn PL. (2009). Age and growth of sea perch (*Helicolenus percoides*) from two adjacent areas off the east coast of South Island, New Zealand. Fisheries Research 95, 169–180. doi: 10.1016/j.fishres.2008.08.011
- Păun C., Galațchi M, Popescu A, Vidu L., Pogurschi E., Nicolae C.G. 2019. Age at first sexual maturity of *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) from romanian black sea waters, indicator of good status of the population. Series D. Animal Science. 62(2), 371-376.
- Piennar L. y Ricker W. 1968. Estimating mean weight from length statistic. J. Fish. Res. Board of Can. 25: 2743 - 2747.
- Piner K.R., S.G. Wischniowski. 2004. Pacific halibut chronology of bomb radiocarbon in otoliths from 1944 to 1981 and a validation of ageing methods. Journal of Fish Biology, 64(4), 1060-1071.
- Plaza G, H. Honda, H. Sakaji, K. Nashida. 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.



- Ragonese, S., Bianchini, M. 2014. Is it time to discard the Rikhter & Efanov's natural mortality–age at maturity estimator from the stock assessment scientist's toolbox?. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 9(1):58-65.
- Ricker W. 1958. Handbook of computations for biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, N° 119.
- Rikhter VA, Efanov VN. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. *ICNAF Res. Doc. 76/VI/ 8*, 12 pp.
- Serra R., R. Gili. 1995. Identificación de anillos anuales en otolitos de Chilean jack mackerel. Informe de Taller, IFOP. Junio, 1995.
- Summerfelt R.C., G.E. Hall. 1987. Age and growth of fish. In *International Symposium on Age and Growth of Fish 1985*. Des Moines, Iowa (No. 597.031 I5).
- Then, A. Y., Hoenig, J. M., Hall, N. G., and Hewitt, D. A. 2015. Evaluating the predictive performance of empirical estimators of natural mortality rate using information on over 200 fish species. *ICES Journal of Marine Science*, 72: 82–92.
- Waldron M, Kerstan M (2001). Age validation in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) otoliths. *ICES J. Mar. Sci.* 58: 806-813.
- Wright P J, Woodroffe D, Gibb A, Gordon JDM. (2002). Verification of first annulus formation in the illicia and otoliths of white anglerfish, *Lophius piscatorius* using otolith microstructure. *ICES Journal of Marine Science* 59, 587–593. doi: 10.1006/jmsc.2002.1179.



- Yoda M., Shiraishi T., Yukami R., Ohshimo S. 2014. Age and maturation of jack mackerel *Trachurus japonicus* in the East China Sea. *Fish Sci* (2014) 80:61–68. DOI 10.1007/s12562-013-0687-5
- Zeileis A, Leisch F, Hornik K, Kleiber C (2002). *Strucchange: An R Package for Testing for Structural Change in Linear Regression Models*. *Journal of Statistical Software* 7:1-38.
- Zhang, C.I., and Megrey, B. A. 2006. A revised Alverson and Carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality. *Transactions of the American Fisheries Society*, 135: 620–633.



ANEXOS



ANEXO I

Chilean Jack Mackerel Age Reading Protocol. Cat3logo de otolitos para interpretaci3n de annuli de jurel (*Trachurus murphyi*)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N INVESTIGACI3N PESQUERA

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



Chilean Jack Mackerel Age Reading Protocol

Proyecto FIPA 2021-21

Camilo Rodr3guez V.

Lizandro Mu3oz R.

Francisco Cerna T.



INDEX

5.4.1.1 Introduction	2
5.4.1.2-Otolith storage	3
5.4.1.3-Otolith preparation	4
<i>Whole Otoliths</i>	4
<i>Otolith transversal slices</i>	4
5.4.1.4-Otolith interpretation	6
<i>Whole otoliths</i>	6
<i>Transversal slices of otoliths</i>	7
<i>Age assignation</i>	8
<i>Annuli definition criteria</i>	10
<i>Whole otoliths</i>	10
<i>Transversal sections</i>	11
5.4.1.5- Age group and assignation to age class	11
5.4.1.6-Quality control	12
<i>Precision</i>	12
<i>Bias</i>	13
<i>QC steps that should be considered:</i>	14
5.4.1.7 Reccomendations	15
Glossary	16
References	17



Introduction

Chilean Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*, Nichols 1920) is a carangid fish widely distributed in the East-Southern Pacific Ocean, from the Galapagos Islands and southern Ecuador to south-central Chile. Its distribution also extends from Chile across the Pacific Ocean to New Zealand and Tasmania (Evseenko, 1987; Serra, 1991; Elizarov et al., 1993; Taylor, 2002). CJM population spawns between 7°S and 40°S to 90°W (Evseenko, 1987; Serra, 1991), juveniles are mostly present in northern Chile's coastal waters (20°S to 30°S) and has a coastal adult feeding zone between 33°S and 40°S, where juveniles recruit (Arcos et al., 2001).

Aguayo et al. (1981) identified an annual periodicity formation of hyaline band of growth for the Chilean Jack mackerel (CJM, *Trachuru murphyi*). This is consistent with estimates of the genus *Trachurus*. However, ageing in *Trachurus* species has proven troublesome because of three main difficulties: identification of the first annulus, presence of false rings (mostly in the first and second annuli) and interpretation of the margin characteristics (ICES 2018), and CJM is no exception. Goicochea et al. (2013) and later Cerna et al. (2022) validated CJM's first annulus through microstructure analysis of sagittae otolith, based on daily microincrements counts, which daily periodicity was validated in adult fishes by Araya et al. (2003). Goicochea et al. (2013)'s results indicated that average CJM fork length at 365 days of age is 17.7 cm, with an otolith caudal radius of 2.49 mm. Projects FIPA 2014-32 y FIPA 2017-61 estimated fast growth the first 2 years of life, with an average fork length between 21 and 22 cm at the end of the first year of life (Cerna et al. 2016; Araya et al. 2017; Cerna et al. 2022). These results compelled to adjust the CJM reading criteria, because poor precision and accuracy in age estimation can carry big problems in population dynamics studies, and, in occasions, can lead to stock overexploitation (Campana, 2001).



Albeit a common procedure must be sought to eliminate methodological differences between Institutions and readers, the wide distribution of the species, the possible complex stock structure and the migratory behavior of the species, may introduce significant differences between fish individuals. Moreover, different fleets exploit different geographical areas, resulting in a different vision of the species growth.

Interregional and inter annual differences in growth and otoliths pattern formation could be expected due to climatological as well as oceanographic variability.

Therefore, in each laboratory the characteristics of their target population must be determined.

The objective of this age reading protocol is to help to train new CJM readers and to move forward to the homologation of ageing criteria for ageing laboratories in order that the SPRMFO which read CJM otoliths countries will provide the correct input's data to stock assessment.

Otolith storage

Sagittal otoliths are cleaned with a gentle brush and distilled water, let to dry and stored dry with the due references to the biological information. The otoliths can be cleaned also in alcohol to eliminate organic tissues. As the otolith rostrum is very fragile precautions are needed to prevent breakage. A useful method to maximize protection and reducing storage space is the use of cardboard slides with holes to place the otoliths, as applied in IFOP. Paper envelopes and vials are also widely used.



Otolith preparation

Whole Otoliths

Whole otoliths are used for edge analysis and to measure radii of the first two annuli. The left otolith is read without preparation. The otoliths are immersed in liquid glycerin or in another clarifying medium such as alcohol, on a Petri capsule with black background and are observed with a stereoscopic microscope with 10X magnification, under incident light (although a greater increase for the observation of details and identification of the type of edge is used). The use of black containers (like tops of tubes) diminishes the light diffraction. To clean the otolith in alcohol after reading may prevent deterioration during further storage.

Generally, an image analysis system is employed coupled to the microscope and camera. Once the images are calibrated, the distances from the focus to the maximum radius of each hyaline increment are measured. The caudal otolith zone (**Fig. 2**) should be used for the measurements. Care has to be taken to draw the radius perpendicular to the growth increments.

The nature of the marginal increment should be annotated (translucent/opaque). Additionally, the degree of completion of the marginal increment could be annotated comparing with the width of the previous increment. The description could be qualitative (starting, medium, almost complete) or numerical measuring the total otolith caudal radius.

Otolith transversal slices

Right otoliths are marked on the focus, placed in individual aluminium containers and toasted on a convection oven pre-heated to 300°C for approximately 10 minutes, although the exposure time to heat may vary depending on otolith size, as smaller otoliths need less exposure time. The toasted otolith is then embedded in epoxy resin blocks and sliced into thin (400 µm app.) transversal sections with a precision saw and mounted on glass slides, before viewing under a low power stereomicroscope. Is important to keep track of otoliths



and not mix them to avoid traceability problems. Otolith sections are recoated with immersion oil or glicerine to enhance the series of alternating light and dark zones discernible in the burnt section. Initial viewing may be undertaken at low to medium magnifications (20x objectives) with illumination from a transmitted cold light source to determine which of the preferred sites on the sectioned surface are the clearest for reading and to identify any visible ambiguities or secondary growth zones such as false checks.

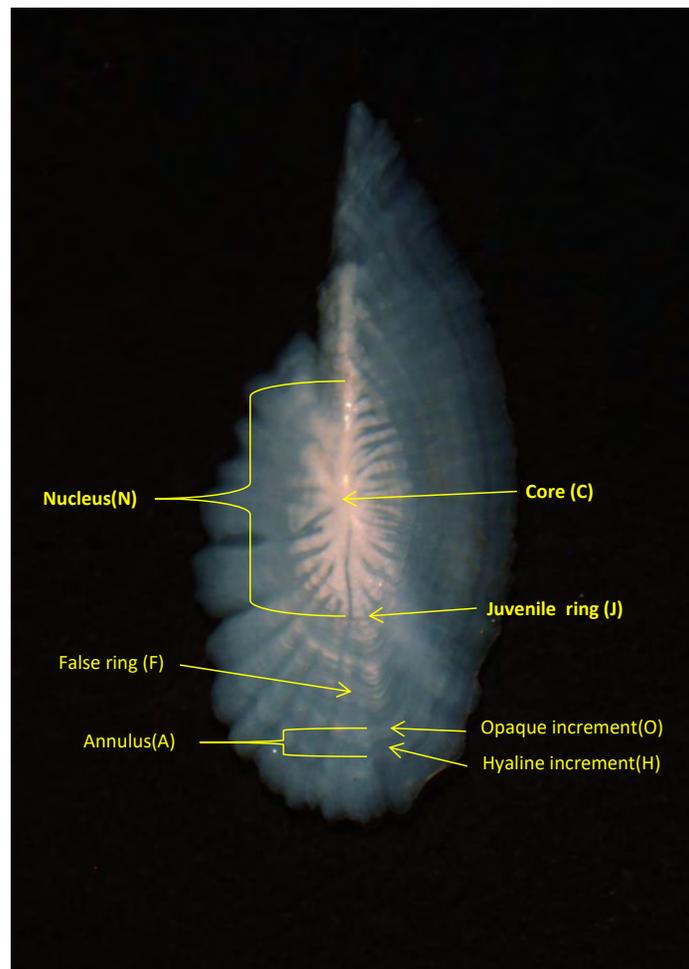


Figure 2. Sagittal otolith terminology (from IFOP).



Otolith interpretation

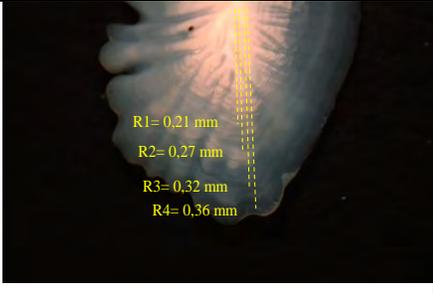
Whole otoliths

The right otolith external side is used for the interpretation. The first step is to identify the annual growth increments in the caudal area of the otolith. The continuity of the increment is followed on the ventral side of the otolith, where the nature of the marginal increment appears more clearly. The true annual increments are clearly distinct in the rostral area (Table 1). Therefore the main interpretation criteria are: clarity and continuity of the increment along the caudal to rostral area. The increment measurements might allow to check the position of the increment and compare results between readings.

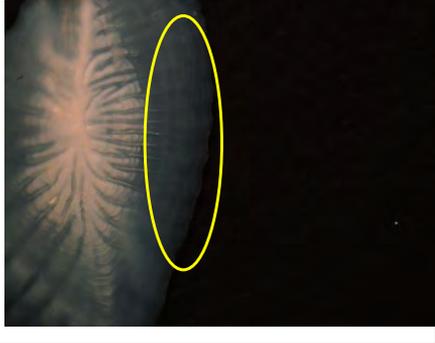
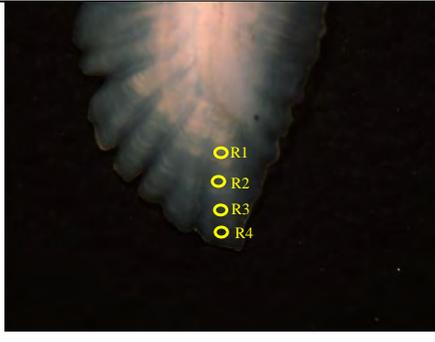
Sagitta whole otoliths show a series of false rings in the central area, which in the most transparent otoliths are numerous and seem to correspond to phenomena of short periodicity, probably related to environmental pulses as the tides.

The otoliths of horse mackerel are characterized by the presence of numerous growth rings, which are zones of rapid and slow growth that correspond to the opaque and hyaline rings of other species. A zone is often limited by an opaque ring a little thicker and a hyaline ring thin and crisp. The formation of these zones makes difficult the interpretation of the edge ring that only stands if it is complete in comparison with the previous areas.

Table 1. Steps in the whole otolith reading as applied in IFOP. R1 and R3 are false or “winter” rings. R2 and R4 correspond to true annuli (Cerna *et al.*, 2022)

Otolith zone	Example
1-Observe Cauda and measure increments	



2-Check increment continuity in the ventral side	
3-Check the continuity of the increments in the rostrum	
4-Check the increments in the inner side of the otolith	

Transversal slices of otoliths

The translucent zones of the otoliths appear brownish after burning. The whole left otolith is read in comparison with the sectioned right otolith. The glass slide with the cut surface of the otolith is covered with oil or glycerin. The translucent increments are enumerated close to the external side or near the sulcus acusticus area (**Fig. 3**). Close examination of the sulcus edge might help identifying the increments by variations on the edge surface.



Figure 3. Transversal section of a toasted and sliced otolith showing the “winter” rings (Red dots) and annual increments (Green dots). Ventral side to the left (IFOP).

In sections the nucleus appears very opaque and its rather difficult to distinguish false rings from annuli, however the location of the first annual increment requires to consider its distance from the focus, using as reference half the caudal radius of the same ring. The following rings are rather fuzzy but distinguishable. Usually from the 2nd ring onwards these are regularly spaced.

Age assignation

In large otoliths the growth zones may be confusing as pointed out by Dioses et al (2013) which showed discrepancies in increment identification and position of the increment (**Fig. 4**). This is due to the difficulty in identifying the correct increment in the growth zone. Therefore it is recommended to use transversal sections to avoid these difficulties.

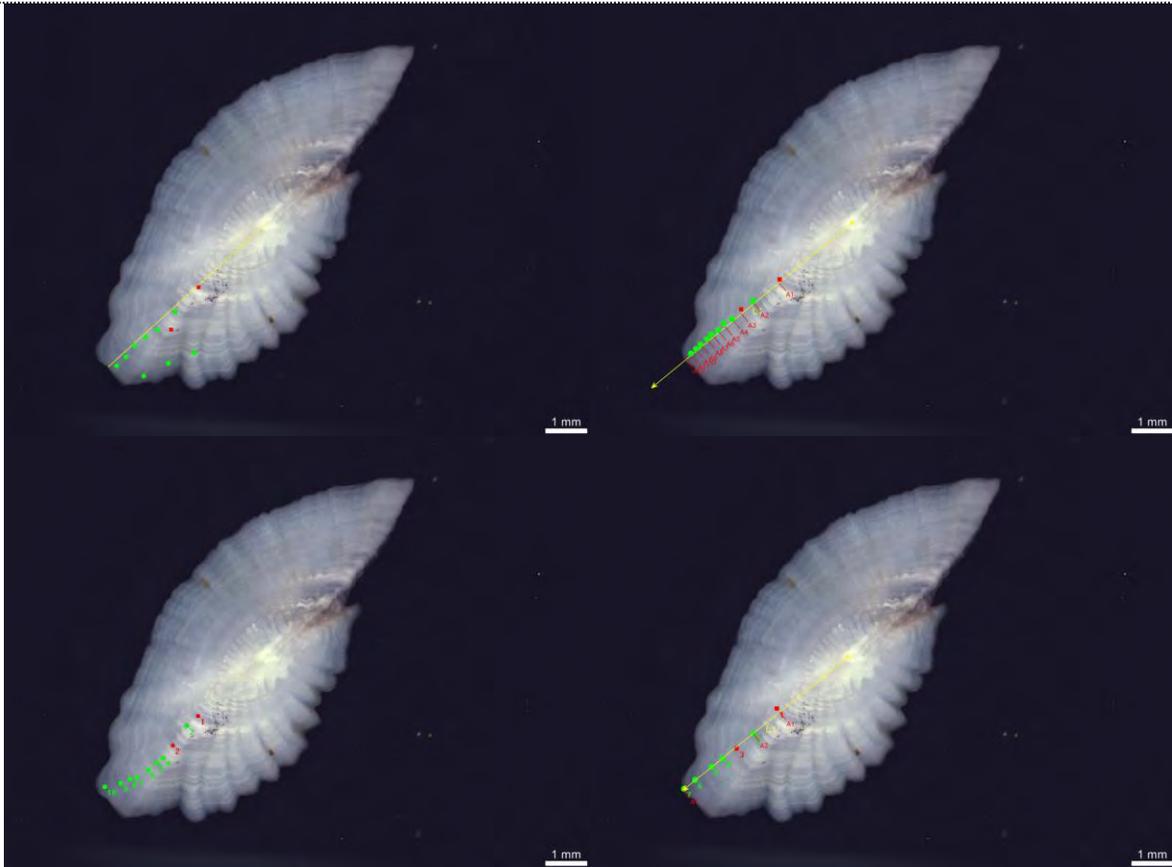


Figure 4. Otolith of a Jack mackerel *T. murphyi* of 58 cm (fork length) with alternative age readings (5 to 9 years) by different readers. Reader 1 (upper left) identifies 9 rings, reader 2 (upper right) identifies 9 rings, reader 3 (down left) identifies 8 rings and reader 4 (down right) identifies 5 rings. Red dots indicate “winter” rings. Green dots indicate annuli.



Annuli definition criteria

Whole otoliths

- An annulus is a bipartite structure composed by an opaque and a translucent zones, which ideally should not have interruptions around all the contour of the otolith.
- The opaque zone is composed of several thin opaque-translucent increments, whilst the translucent zone usually is completed by a clear translucent ring followed by a refringent opaque increment start of the next opaque zone.
- The first annulus is considered as the limit of the first annual ring on the hyaline zone located at the radius between 2.8 mm and 3.3 mm for Chilean CJM (Cerna et al. 2022)
- After the first annual ring, the most important criterion to identify the following areas of growth is the consistency in the distance of separation between each hyaline zone.
- The relative width of each area of otolith growth becomes progressively smaller in parallel to the decrease of fish growth, although conditions affecting the life history can alter the growth rates.
- There is a tendency to find false rings after the 1st to the 2nd annual zones, in an area that lies between 2.8 to 3.6 mm from the core to the caudal edge of the otolith.
- To define the nature of the increment in the otolith edge it is necessary to consider its width in relation to the previous increment.

False rings

In the majority of the otoliths a clear ring is formed within a radio close to 1.5 mm. It is considered as a juvenile ring by similarity with other species. Cerna *et al.* 2022 estimated that the following macro-ring with a radius between 1.8 and 2.3 mm would have less than year periodicity (approximately 6 months). In the same study the first ring (annulus) would be located between 2.8 to 3.3 mm distance from the focus. These distances should be confirmed in each study area.

There is a tendency to find false marks between the 1st and 2nd annual marks, in the image of the figure these are located generally between 2.1 and 3.4 mm from the focus or core towards the caudal edge of the otolith.



Transversal sections

- In transversal sections, annuli are more defined as they are more compressed.
- An annulus is formed by an opaque zona, seen light brown under transmitted light, followed by a hyaline ring, which look dark brown thanks to the toasting process.
- Annuli have a consistent pattern that gets thinner with age.
- Section radii are approximately half the length of the caudal radii from the whole otolith. Therefore, it is recommended to check radii from the whole otolith when the section resolution is poor.

False rings

There are fewer false rings in otolith transversal sections because otolith growth is slower on the ventral margin and annuli are more compressed. Nonetheless, juvenile rings in some cases can confuse readers. The consistency of the rings throughout the section is also a criterion to distinguish false rings, which are inconsistent and often fainter than annuli.

Age group and assignment to age class

The individual age group and age class are used in population and life dynamics as in both of which a single age in years is required. Once all the increments on an otolith have been identified, a reader can establish the age of the fish by simply counting the number of seasonal increments on an annual basis. However, to determine the age class (or year of birthdate) it is necessary to take into account:

- Date of capture
- The peak spawning period for a given population (precise or average standard population date of birth)
- Main periods of seasonal increment formation



- Nature of the otolith edge (opaque/translucent)

In the case of CJM due to its complex stock structure and extended reproduction period that may be from October to December, and in some cases from July to March, a standard population date of birth was accorded for 1st January regardless of hatch date (Villamor *et al.*, 2004).

Chilean jack mackerel spawn in spring and summer (Arancibia *et al.*, 1995), and the spawning peak appear to occur in November (Núñez *et al.*, 2008).

The formation of the opaque increments for Chilean waters is from December to June.

Using this information and based on Panfili and Morales-Nin (2002), the working group summarized the procedure for Chilean CJM and proposed a visual example. This example considers the relative measure of the radius for age class attribution on age 0 and of the marginal increment development for older fish.

Quality control

Precision

Precision is defined as the reproducibility of repeated measurements of a given structure, where these measures (readings of age) may or may not be exact (Campana 2001). The test's in the estimation of the age most commonly used are: the percentage of average error (APE) and the coefficient of variation (CV) (Beamish and Fournier 1981).

Percentage of average error (APE)

$$APE = \frac{100}{n} \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|x_{ij} - x_j|}{x_j} \right]$$

where,



- n : number of aged fish;
 R : number of times the otolith was read;
 x_{ij} : i-age estimated for j-fish;
 x_j : mean age determined for j-fish

The coefficient of variation and precision index (D) incorporates the standard deviation resulting in a more robust index (Chang 1982):

$$CV_j = 100\% * \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R (x_{ij} - x_j)^2 / (R - 1)}}{x_j}$$

where the symbols have the same meaning as the formula earlier.

There is no CV threshold value for accepting or rejecting a reading because it depends on the species and the age range. Laine et al (1991) suggested a maximum CV value of 5% as the limit for acceptance. Similarly, Campana (2001) indicates that from informal discussions among some laboratories, it has been suggested that a 5% CV would serve as reference for fish of moderate longevity and complex reading, IFOP employs a value of the APE of 10% as maximum permissible error.

Bias

Different age readers can easily interpret a given otolith in different ways. If the difference is consistent - that is, one reader is higher or lower than the other for one or more age groups, at least on average - there is a bias. These bias between readers have been detected on the CJM in the previous Ageing Workshops.

A bias may also occur within a reader over a period of time, such that a given age reader interprets an otolith differently now than was the case a few years ago. Standard measures



of precision such as CV, APE and percent agreement do not detect such a bias, particularly if it occurs only in old fish. Nor can replicate readings of a sample taken from the current year detect long-term drift. However, an age bias plot, as the linear relationship of reading between two readers which should be similar to the bisector (slope equal to 1) are very helpful. To evaluate bias, McBride *et al.* 2015 suggests the Evans & Hoening symmetry test that performs very well overall, avoiding type I and II error, regardless of precision. The usage of Bland-Altman plots with a general additive model describing the relationship between the differences and mean readings between readers is useful to detect bias in particular ages (Ogle 2015).

QC steps that should be considered:

- Elaborate detailed protocols for each step of the ageing process.
- Determine precision and accuracy of the ages regularly.
- Determine training programs both for the new readers and for the experienced ones, to ensure that they maintain the same ageing criterium along time.
- Build up and use reference collections, both of otoliths and their images. Ideally these collections must be of known age fish. In absence of them, otoliths with high repeatability and with ages validated could be used.
- Maintain regular workshops, to ensure that the age readers from different institutions and assessing the same resource, have homogeneous criteria.
- Perform exercises to support the age estimates such as:
 - Compare the obtained growth curves and growth parameters.
 - Inspect scatter plots of age versus otolith weight or fish length.

It has to be considered that ageing is a skill and thus, it can be learned, The elements of the process can be taught, learned, and practiced. The level of skill increases with practice and experience, and will decline with time without practice. Some practitioners are naturally far more skilled than others. All practitioners vary in the skill they display at different times (Morrison et al 2005).



5.4.1.7 Recommendations

- ✓ The divergence in CJM otolith interpretation is clear. To reduce bias due to methodological aspects, we recommend that the draft protocol is widely distributed and that each Institution develops further the age protocol for CJM.
- ✓ Precision and accuracy must be increased. Thus, a joint exercise to determine differences in otolith's growth patterns between areas is required. Validation exercises must be hold using as many methodologies as possible.
- ✓ To increase the training of the otoliths readers is a priority and efforts must be made to organize periodic workshops.
- ✓ We recommend to held a workshop on age determination organized by the scientific committee of SPRFMO.
- ✓ Collaboration with other international commissions like ICES, is recommended to improve the methodology used in age working groups.

ACKNOWLEDGEMENTS

This is a result from Proyecto FIPA 2021-21 Instituto de Fomento Pesquero Valparaiso, Chile. Francisco Cerna (IFOP) is thanked for organizing the process, for his continuous support and for facilitating the work. The participants are also thanked for their contribution.



Glossary.

Name	Symbol	Sinonim	Definition
Focus	F	Primordium Core	The otolith center, laid down during the first life phases. Sometimes not visible due to thickening of the otolith with growth.
Nucleus	N		Central portion of the otolith generally more refringent than the rest, surrounded by the first translucent zone. It may contain several translucent increments caused by life history transitions.
Translucent increment	H	Hialine Increment/ring	Translucent growth increment, frequently composed by a zone of thin alternate O/H rings, laid down during fast growth periods.
Opaque increment	O	Opaque ring	Opaque growth increment, frequently composed by a zone of O/H thin rings, laid down during slow growth periods.
Annual growth zone	Arabic numbers	Annual ring Annulus	An opaque area adjacent to a hyaline area, interpreted as a band of annual growth. In the zone most distal (flow) of otolith these zones are close and with higher resolution (is identified as a single ring more easily)
False ring	F	Check	Growth increment that can not be identified as an annual growth zone. These are not visible in all of the otolith, are thinner and had lower resolution.
Age class	Roman numbers		Age determined from the otolith interpretation, date of capture, birth date and time of anual increment formation. Corresponds to the year of birth.



References

- Aguayo M., A. Estay, V. Ojeda, 1981. Determinación de edad y crecimiento del jurel (*Trachurus murphyi*) en las zonas de Arica-Coquimbo y Talcahuano. Inst. Fom. Pesq. (Chile). 88 p.
- Araya M., M. Medina, H. Arancibia. 2003. Preliminary result of empirical validation of daily increments in otoliths of jack mackerel *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) marked with oxytetracycline. *Scientia Marina*, 67(4):471-475.
- Araya M., M. Medina, E. Segovia, J. Peñailillo, M. Avilés, K. Guissen, A. Arcos, J. Charlin, C. Pacheco, G. Plaza, A. M. Galeano, J. Contreras, C. Rodríguez-Valentino, L. Cisterna, A. Sepúlveda, M. Neira, E. Sanhueza. 2019. Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel. Informe final FIPA 2017-61. 150 pp.
- Arcos D.F, L. Cubillos, S. Núñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*. Volume 49, Issues 1–4, 2001, Pages 597–617.
- Campana S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59, 197-242.
- Cerna F., C. Valero, G. Moyano, L. Muñoz. 2016. Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Informe Final FIP N° 2014-32. 147 p + anexos.
- Cerna F., G. Moyano, C. Valero, L. Muñoz, G. Plaza, S.E. Campana. 2022. Bomb Radiocarbon, Otolith Daily Increments and Length Modes Validate Age Interpretations of Chilean Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*). *Front. Mar. Sci.* 9:906583. doi: 10.3389/fmars.2022.90658
- Dioses T. 2013. Edad y crecimiento del jurel *Trachurus murphyi*, (Nichols 1920) en el Perú. En: Csirke J., R. Guevara-Carrasco, M. Espino (Eds.). *Ecología, pesquería y conservación del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Perú*. Rev. peru. biol. número especial 20(1): 045- 052
- Elizarov A.A., A.S. Grechina, B.N. Kotenev y A.N. Kuzetsov. 1993 Peruvian Jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the Southern Pacific. *Journal of Ichthyology*, 33(3): 86-104.
- Evseenko S. A. 1987. Reproducción de jurel del Perú *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en el Pacífico Sur. *Voprosy Ichthyologii*, 27(2):264-273.
- Goicochea C. J. Mostacero, P. Moquillaza, T. Dioses, Y. Topiño, R. Guevara-Carrasco. 2013. Validación del ritmo de formación de los anillos de crecimiento en otolitos del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Rev. peru. biol. número especial 20(1): 053- 060*.



ICES. 2018. Workshop on Age reading of Horse Mackerel, Mediterranean Horse Mackerel and Blue Jack Mackerel (*Trachurus trachurus*, *T. mediterraneus* and *T. picturatus*) (WKARHOM3), 5–9 November 2018. Livorno, Italy. ICES CM 2018/EOSG:28. 186pp

McBride R. S. Diagnosis of paired age agreement: a simulation of accuracy and precision effects. *ICES Journal of Marine Science*, 72: 2149–2167.

Ogle D. 2015. Introductory Fisheries Analyses with R. doi:10.1201/9781315371986.

Serra R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Investigaciones Pesqueras Chile*, 36: 67-83.

Taylor P.R. 2002. Stock structure and population biology of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. New Zealand Fisheries Assessment Report 2002/21. Ministry of Fisheries, Wellington, New Zealand.



Cat3logo de otolitos para interpretaci3n de annuli de jurel (*Trachurus murphyi*)

Camilo Rodr3guez Valentino

Instituto de Fomento Pesquero

2022

FIPA 2021-21



Índice

TIPO 0	21
ENTERO	21
SECCIÓN	22
TIPO I	23
ENTERO	23
SECCIÓN	24
TIPO II	25
ENTERO	25
TIPO III	27
ENTERO	27
SECCIÓN	28
TIPO IV	29
ENTERO	29
SECCIÓN	30
TIPO V+	31
ENTERO	31
SECCIÓN	32



TIPO 0

ENTERO

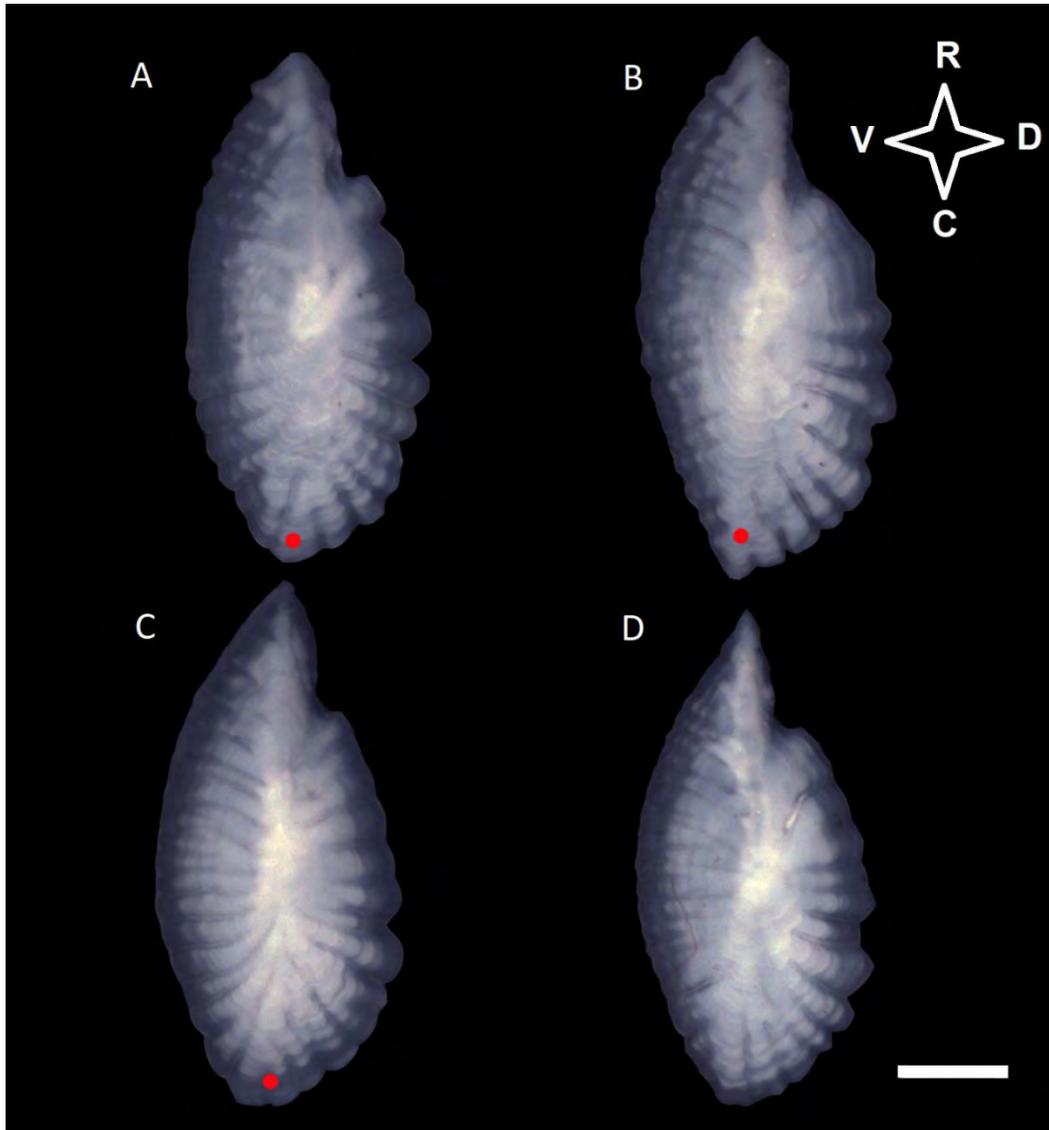


Figura 1. Vista sagital otolitos enteros tipo 0. A: LH 14 cm, B: LH 14 cm, C: LH 14 cm, D: LH 12 cm. En A y B se observa un anillo de invierno tenue. En algunos casos, la zona hialina es interrumpida por una pequeña banda opaca. En C el se observa un anillo de invierno bien marcado, sin bandas opacas que lo dividan. En D se observa el borde hialino, sin anillo de invierno marcado aún, el que pareciera estar formándose. Línea de cota: 1mm. R: Rostrum, D: Dorso, V: Vientre, C: Cauda. Punto rojo indica el anillo de invierno.



SECCI3N



Figura 2. Secciones de otolitos tipo 0. A: LH 12 cm, B: LH 12 cm, C: LH 14 cm, D: LH 14 cm. Secciones de otolitos peque1os tienden a verse muy opacas haciendo dif3cil la interpretaci3n de anillos. En A se pueden ver algunos anillos falsos en la zona m1s transparente que pudiesen confundirse con anillos, en estos casos se recomienda contrastar con el otolito entero (Fig. 1 D). B es una secci3n muy opaca que no sirve para interpretar anillos. En C y D la interpretaci3n de anillos es dif3cil debido a la opacidad en C y la presencia de anillos falsos en D, sin embargo, es posible detectar el anillo de invierno al contrastar con el otolito entero (Fig. 1 C y A, respectivamente). L3nea de cota: 1mm. I: Cara interna, D: Dorso, V: Vientre, E: Cara externa. Punto rojo indica el anillo de invierno.



TIPO I

ENTERO

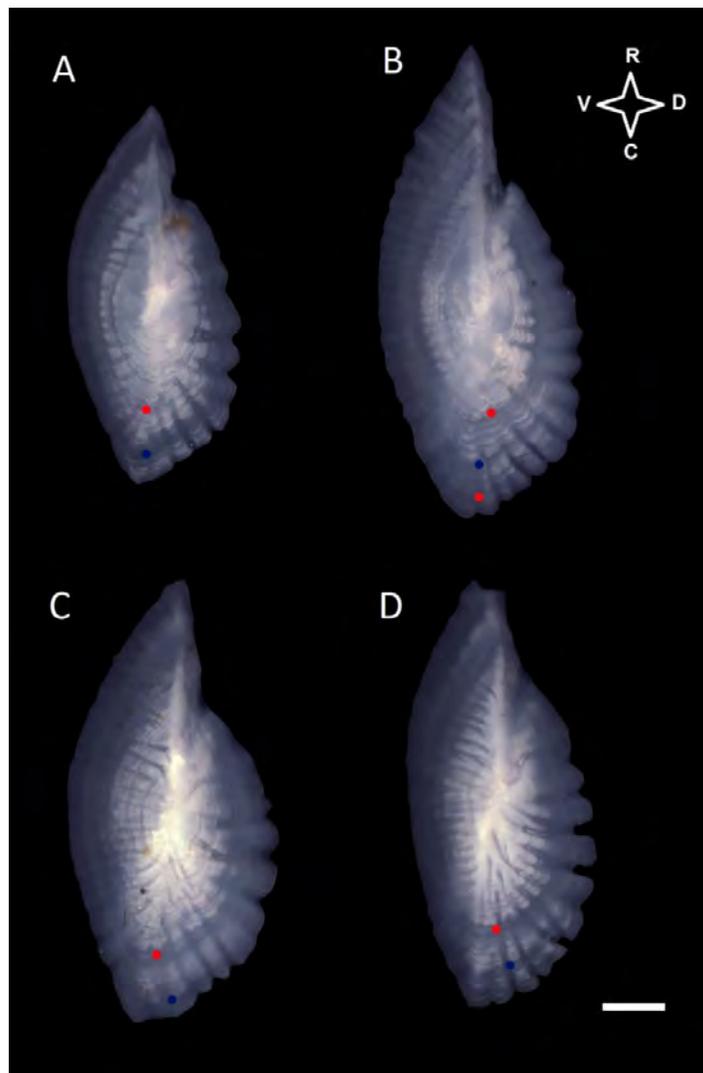


Figura 3. Vista sagital otolitos enteros tipo I. A: LH 20 cm, B: LH 24 cm, C: LH 21 cm, D: LH 22 cm. Otolitos con el primer anillo de invierno bien marcado circundando todo el otolito. También es posible apreciar anillos juveniles. Línea de cota: 1mm. R: Rostrum, D: Dorso, V: Vientre, C: Cauda. Punto rojo indica el anillo de invierno. Punto azul indica el annulus.



SECCIÓN

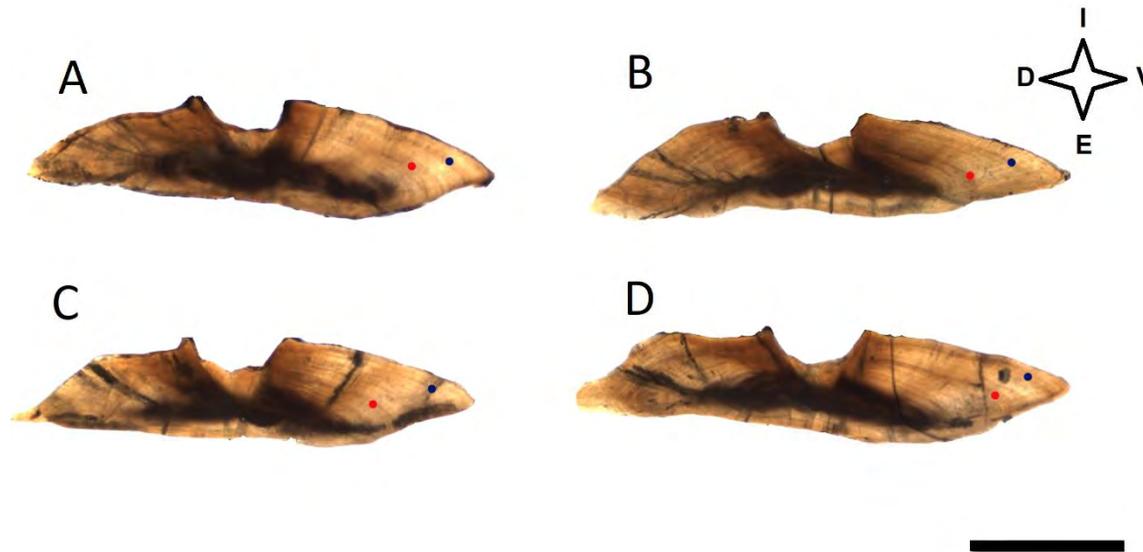


Figura 4. Secciones de otolitos tipo I. A: LH 22 cm, B: LH 22 cm, C: LH 22 cm, D: LH 22 cm. En todos los otolitos se aprecian 2 marcas opacas identificables como el anillo de invierno y anulo respectivamente. Es necesario contrasta con el radio ventral medido en el otolito entero. Línea de cota: 1mm. I: Cara interna, D: Dorso, V: Vientre, E: Cara externa. Punto rojo indica el anillo de invierno. Punto azul indica el annulus.

TIPO II

ENTERO

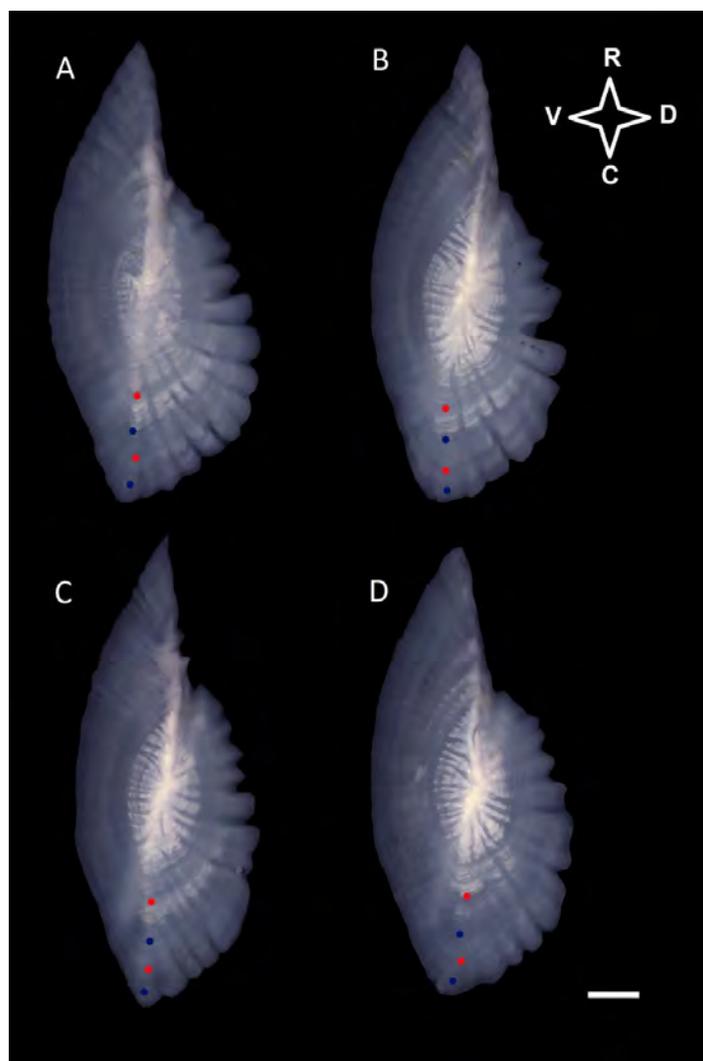


Figura 5. Vista sagital otolitos enteros tipo II. A: LH 33 cm, B: LH 33 cm, C: LH 32 cm, D: LH 32 cm. Otolitos con el primer anillo de invierno bien marcado circundando todo el otolito. Tambi3n es posible apreciar anillos juveniles. L3nea de cota: 1mm. R: Rostrum, D: Dorso, V: Vientre, C: Cauda. Puntos rojos indican los anillos de invierno. Puntos azules indican los annuli.



SECCI3N

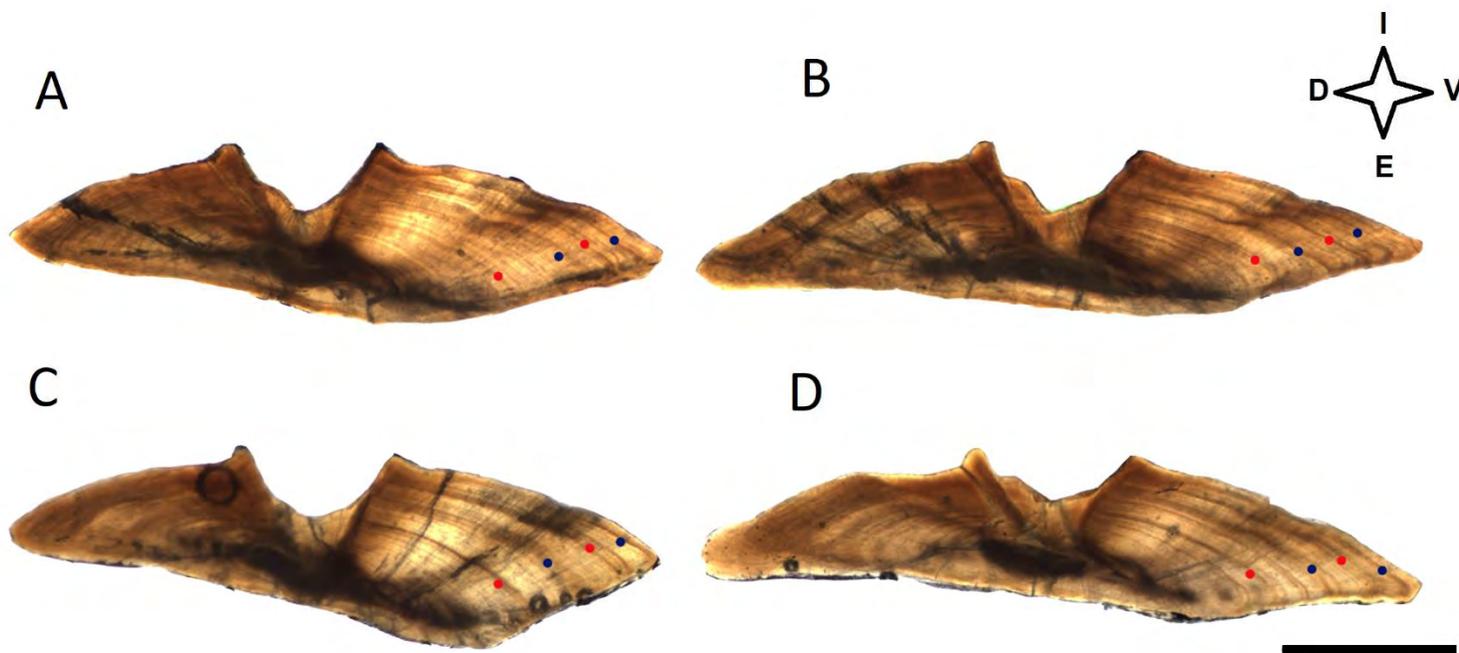


Figura 6. Secciones de otolitos tipo II. A: LH 34 cm, B: LH 33 cm, C: LH 33 cm, D: LH 32 cm. En todos los otolitos se aprecian 2 marcas opacas identificables como el anillo de invierno y annulus respectivamente. Es necesario contrasta con el radio ventral medido en el otolito entero. Lnea de cota: 1mm. I: Cara interna, D: Dorso, V: Vientre, E: Cara externa. Puntos rojos indican los anillos de invierno. Puntos azules indican los annuli.



TIPO III

ENTERO

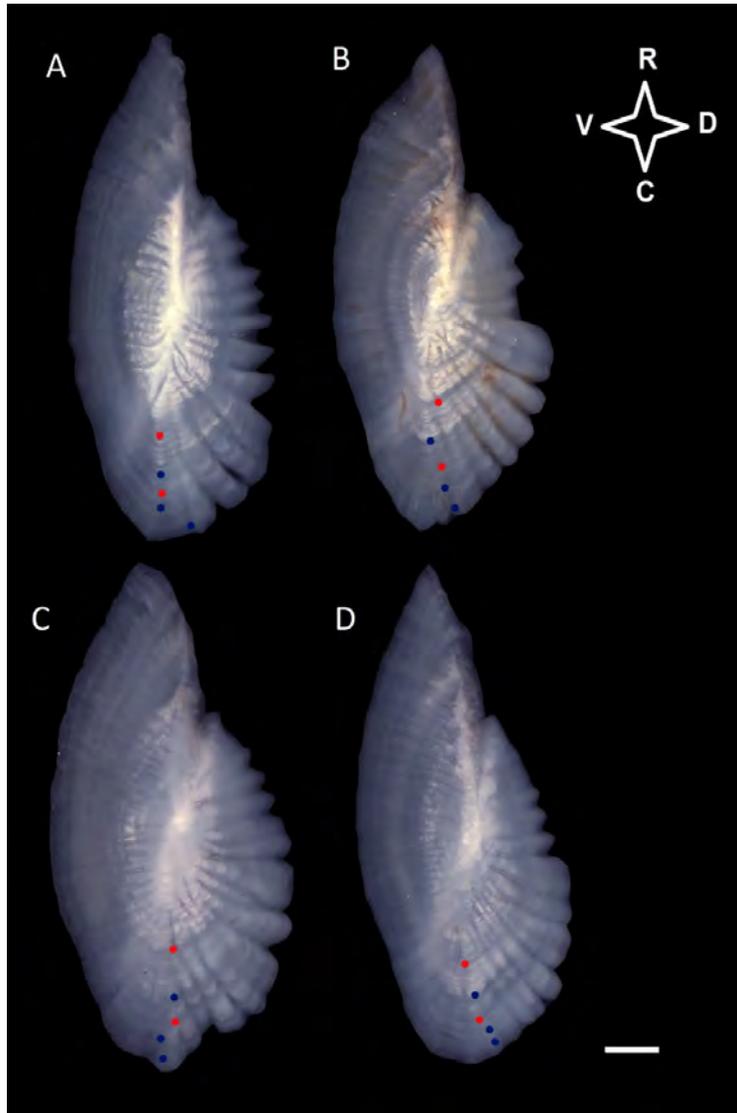


Figura 7. Vista sagital otolitos enteros tipo III. A: LH 34 cm, B: LH 32 cm, C: LH 43 cm, D: LH 34 cm. Otolitos con el primer anillo de invierno bien marcado circundando todo el otolito. En B es posible apreciar el anillo juvenil bien marcado. Los annuli se pueden identificar en la zona dorsal-posterior. Lnea de cota: 1mm. R: Rostrum, D: Dorso, V: Ventre, C: Cauda. Puntos rojos indican los anillos de invierno. Puntos azules indican los annuli.

SECCIÓN

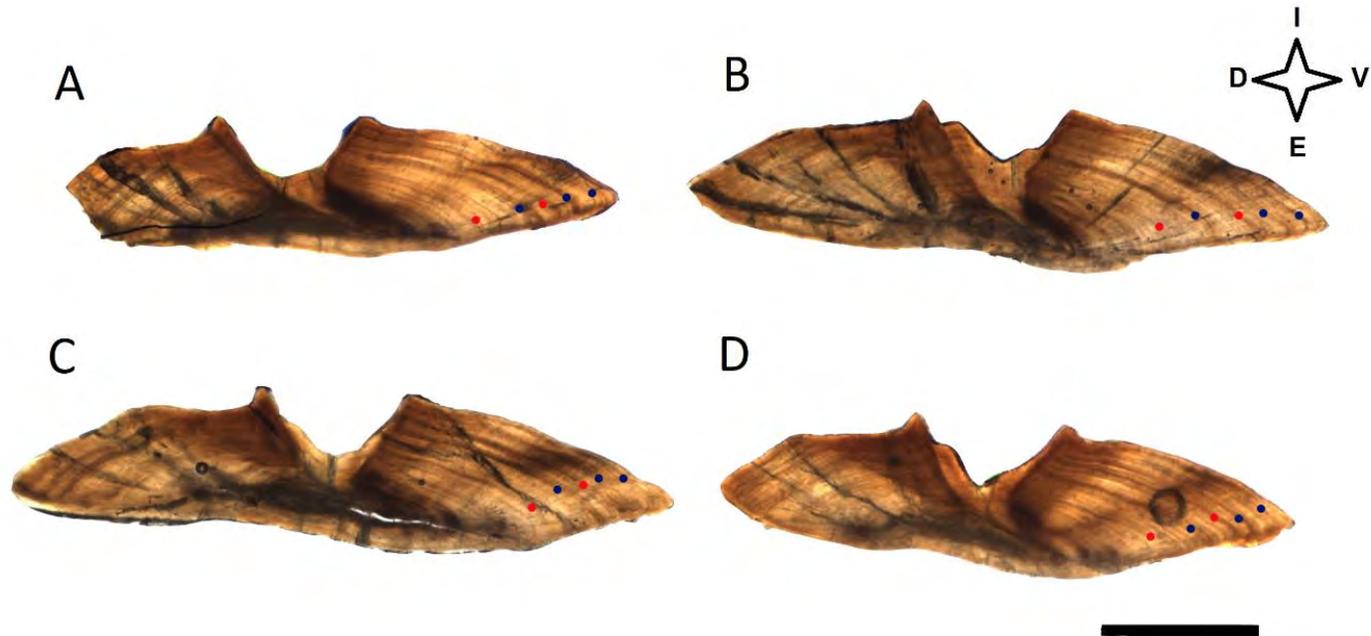


Figura 8. Secciones de otolitos tipo III. A: LH 34 cm, B: LH 37 cm, C: LH 42 cm, D: LH 32 cm. Otolitos con buena resolución y de fácil identificación de los annuli con posterioridad al 2 anillo de invierno. Línea de cota: 1mm. I: Cara interna, D: Dorso, V: Vientre, E: Cara externa. Puntos rojos indican los anillos de invierno. Puntos azules indican los annuli.



TIPO IV

ENTERO

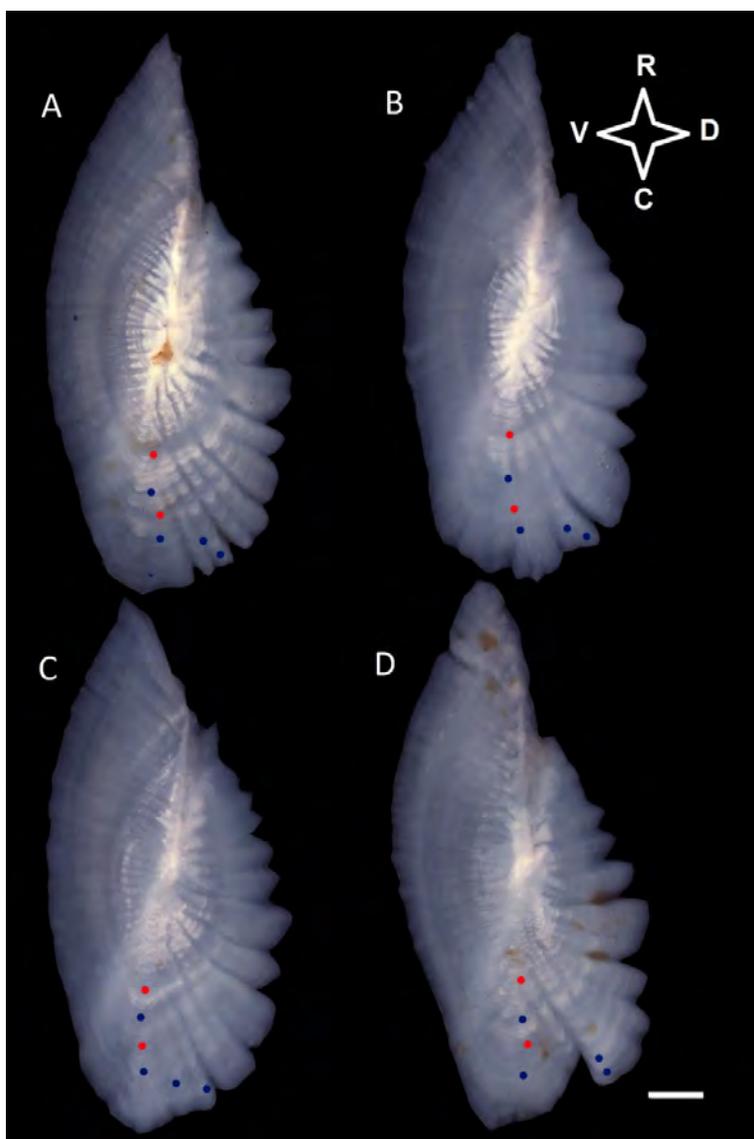


Figura 9. Vista sagital otolitos enteros tipo IV. A: LH 42 cm, B: LH 49 cm, C: LH 51 cm, D: LH 43 cm. En A el patr3n de anillos se ve claro hacia el rostrum. En B, C y D el patr3n de anillos es identificable hacia la zona dorsal-posterior.. L3nea de cota: 1mm. R: Rostrum, D: Dorso, V: Ventre, C: Cauda. Puntos rojos indican los anillos de invierno. Puntos azules indican los annuli.



SECCIÓN

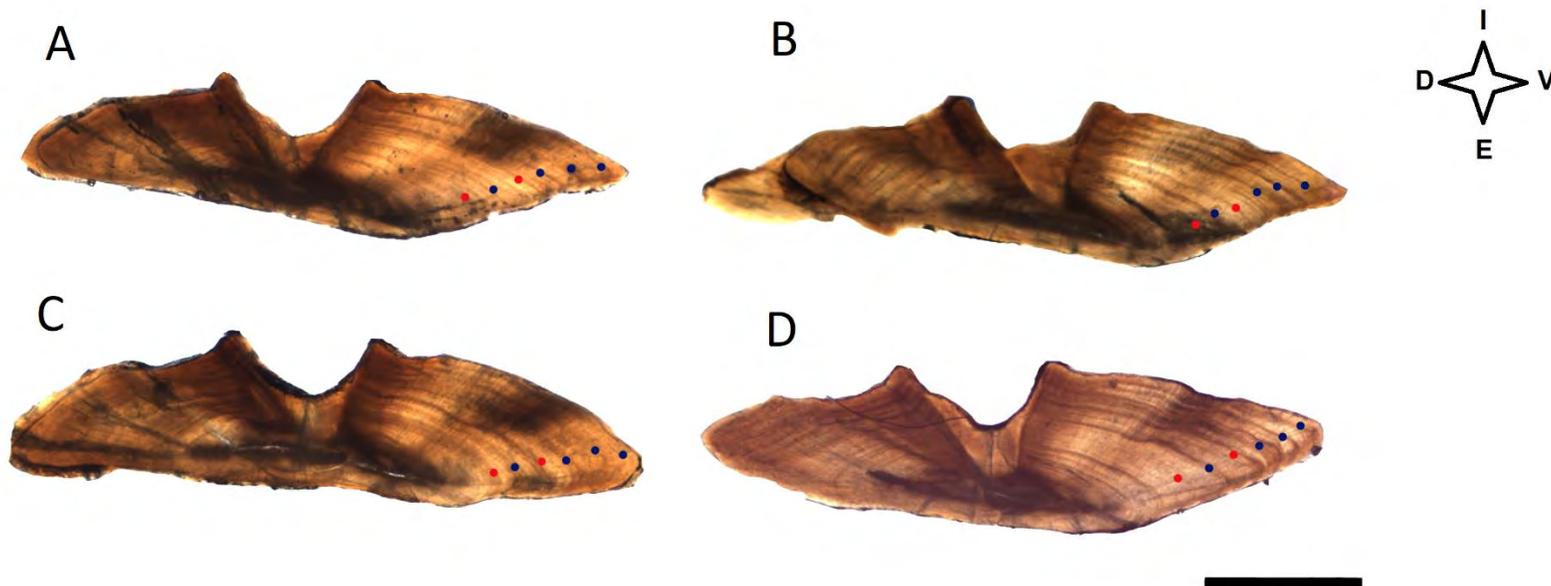


Figura 10. Secciones de otolitos tipo IV. A: LH 33 cm, B: LH 36 cm, C: LH 39 cm, D: LH 39 cm. Otolitos con buena resolución y de fácil identificación de los anillos con posterioridad al 2 anillo de invierno. Línea de cota: 1mm. I: Cara interna, D: Dorso, V: Vientre, E: Cara externa. Puntos rojos indican los anillos de invierno. Puntos azules indican los anuli.



TIPO V+

ENTERO

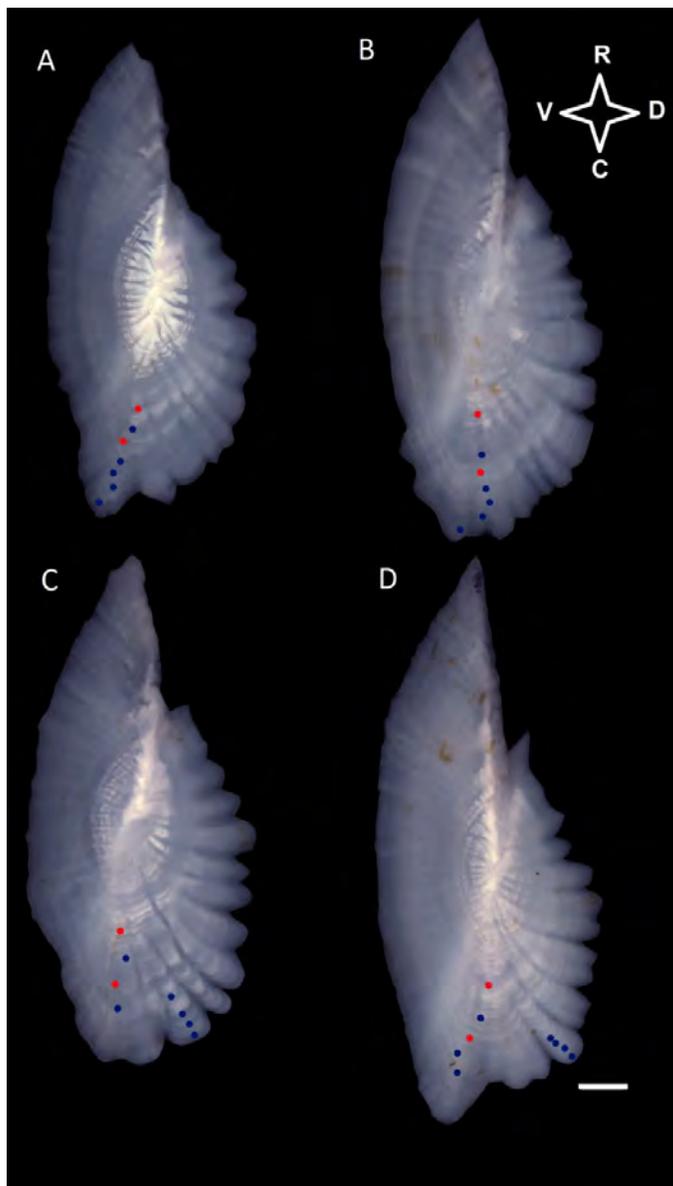


Figura 11. Vista sagital otolitos enteros tipo V+. A: LH 44 cm, B: LH 43 cm, C: LH 51 cm, D: LH 62 cm.. L3nea de cota: 1mm. R: Rostrum, D: Dorso, V: Ventre, C: Cauda. Puntos rojos indican los anillos de invierno. Puntos azules indican los annuli.



SECCIÓN

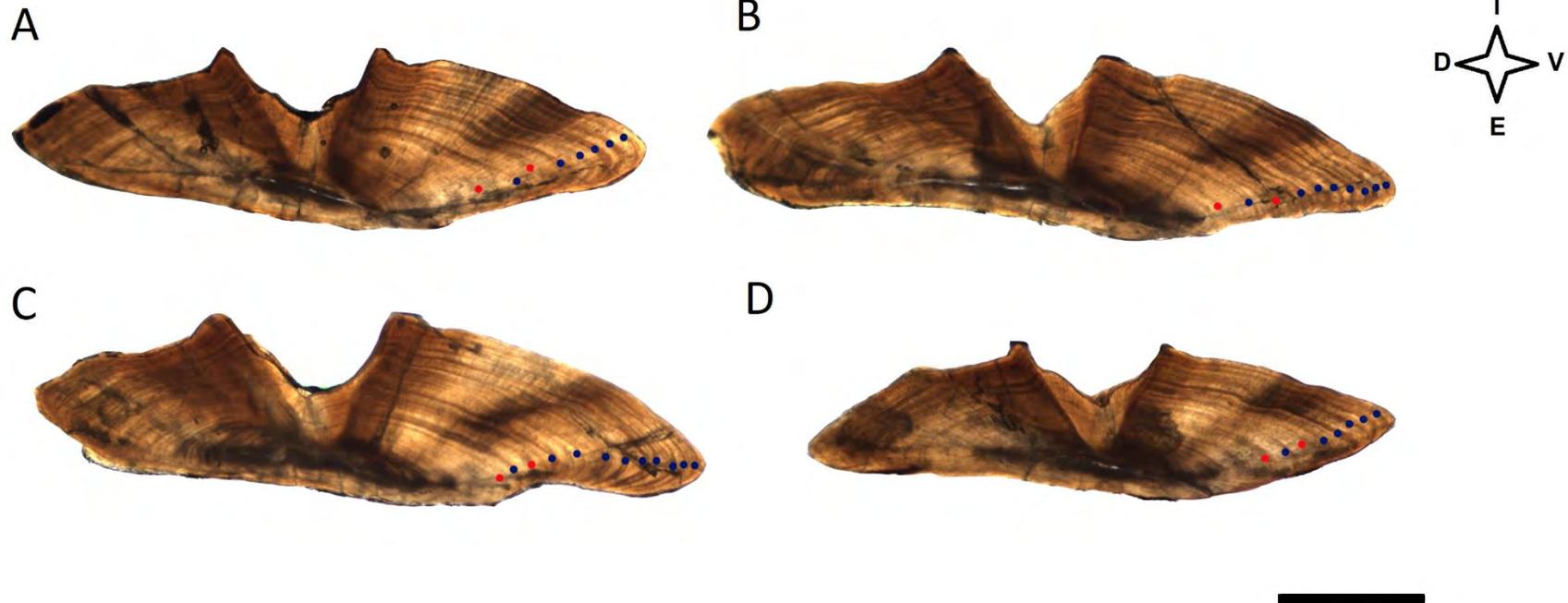


Figura 12. Secciones de otolitos tipo V+. A: LH 41 cm, B: LH 46 cm, C: LH 59 cm, D: LH 38 cm. Otolitos con buena resolución y de fácil identificación de los anillos con posterioridad al 2 anillo de invierno. Línea de cota: 1mm. I: Cara interna, D: Dorso, V: Vientre, E: Cara externa. Puntos rojos indican los anillos de invierno. Puntos azules indican los annul



ANEXO II

Reuniones y talleres de trabajo

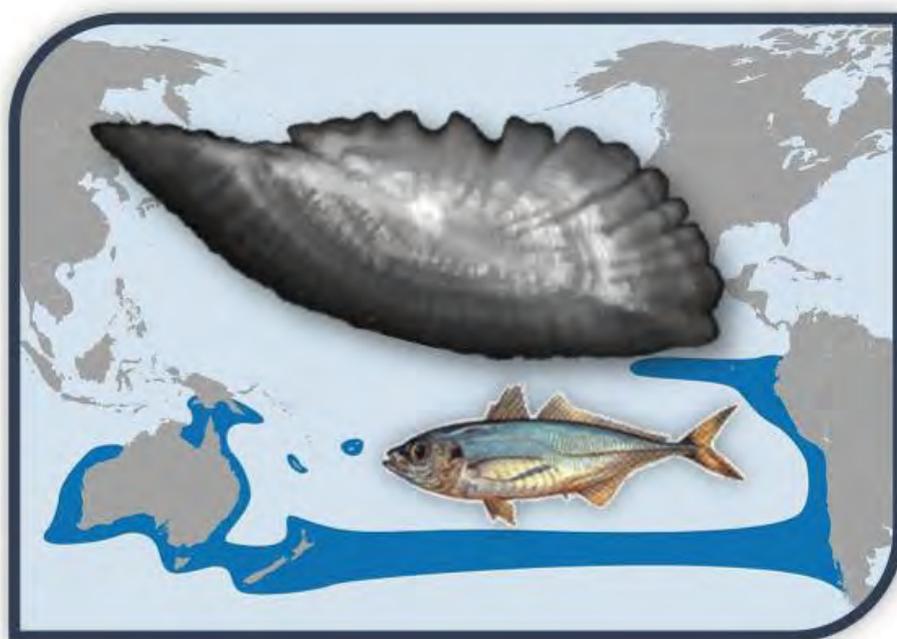


Taller Nacional

“Calibración de lectura de *annuli* en otolitos *sagittae* del jurel (*Trachurus murphyi*)”

ASOCIADO AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

“FIPA 2021-21: Actualización de información asociada a edad y crecimiento de jurel, en el contexto de la OROP_PS”



30 de mayo – 3 de junio 2022, Valparaíso, Chile

Organizador

Instituto de Fomento Pesquero
Valparaíso, Chile



A. INTRODUCCIÓN

El jurel (*Trachurus murphyi*, Nichols 1920) es un carangido ampliamente distribuido en el Pacífico suroriental, abarcando desde las Islas Galapagos y el sur de Ecuador hasta la zona centro-sur de Chile. Su distribución actual también se extiende desde Chile a través del Pacífico hasta Nueva Zelanda y Tasmania (Evseenko, 1987; Serra, 1991; Elizarov et al., 1993; Taylor, 2002).

La población de jurel se caracteriza por desovar entre los 35° y 40°S has 90°W, una zona de alimentación de adultos costera (33°- 40°S), donde los juveniles reclutan, y la existencia de una zona de criadero al norte de los 30°S en aguas tibias oceánicas y costeras (Arcos et al., 2001).

La composición de edades de captura del jurel ha sido un elemento particularmente relevante para entender los cambios en el stock. El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) ha realizado estudios de edad y crecimiento desde finales de los 70s, los que se han utilizado para desarrollar claves talla-edad y matrices de captura-a-la-edad trimestrales por zona, las que son utilizadas en la evaluación del stock.

Goicochea et al. (2013) validó el primer anillo anual a través del análisis de la microestructura de secciones transversales del otolito *sagittae*, basado en el conteo de microincrementos diarios, cuya periodicidad diaria fue validada en peces adultos por Araya et al. (2003). Estos resultados indicaron que el tamaño promedio de longitud de horquilla a los 365 días es 17,7 cm, con un radio promedio del otolito de 2,49 mm. Otros estudios, como el Proyectos FIPA 2014-32 y FIPA 2017-61 que determinaron un crecimiento rápido los primeros dos años de vida, donde se determinó que el tamaño promedio del jurel en el primer año de vida oscilo entre 21 y 22 cm longitud de horquilla (Cerna et al. 2006; Araya et al. 2017). Estos resultados conllevan a la necesidad imperativa de ajustar en los criterios de lectura de jurel, ya que la imprecisión en la determinación de edad puede acarrear grandes problemas en los estudios de dinámicas poblacionales, en ocasiones provocando la sobrexplotación de una población (Campana, 2001).



B. OBJETIVO

Analizar y discutir los criterios de lectura de los *annuli* en individuos juveniles y adultos de jurel (*Trachurus murphyi*).

C. PARTICIPANTES

Profesional	Categoría	Afiliaci3n
José Francisco Cerna T.	Jefe de Proyecto/Lector	Instituto de Fomento Pesquero
Guido Plaza P.	Investigador/Lector	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Miguel Araya C.	Investigador/Lector	Universidad Arturo Prat
Marcia Neira S.	Investigadora/Lectora	Instituto de Investigación Pesquera
Evelin Sanhueza A.	Investigadora/Lectora	
Lizandro Muñoz R.	Investigador/Lector	Instituto de Fomento Pesquero
Guillermo Moyano A.	Investigador/Lector	
Camilo Rodríguez V.	Investigador/Lector	

D. FECHAS Y SEDE

El taller se llevará a cabo entre el 30 de mayo y el 3 de junio del 2022, en las dependencias del Instituto de Fomento Pesquero ubicado en calle Almte. Manuel Blanco Encalada N° 839, Valparaíso, Chile.

E. FORMATO DEL TALLER

El trabajo del taller consistirá en lecturas de 50 secciones de otolitos de la colección de referencia confeccionada en el marco del proyecto FIPA 2021-21, utilizando el otolito entero como apoyo para identificar los primeros anillos dentro de la sección. Posteriormente se realizará el análisis de precisión y simetría entre los lectores provenientes de distintos laboratorios y niveles de expertiz, de forma de calibrar la lectura entre los distintos laboratorios en base al nuevo criterio validado en el proyecto FIPA 2017-61. La discusión se centrará en la interpretación de los *annuli* y el tipo de borde del otolito.



F. PROGRAMA

El programa tentativo del taller podría ser modificado dependiendo del avance del trabajo de laboratorio o por sugerencias de los participantes y el líder de investigación.

Lunes, 30 de mayo	
9:30-10:30	Introducción al taller José Francisco Cerna Troncoso Programa del taller “Estado avance en determinación de edad de jurel”
10:30-11:30	Procedimientos de lectura durante el taller Camilo Rodríguez Valentino Preguntas y discusión sobre procedimientos y modalidad del taller
11.30-11.00	Pausa para café
11.30: 12:30	Clasificación de lectores de acuerdo a la expertiz en lectura de jurel División de los grupos de trabajo
13.00-14.30	Almuerzo libre
14.30-17:30	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad, leyendo otolitos seleccionados de la colección de referencia.
Martes, 31 de mayo	
9.30-11:00	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colección de referencia.
11.00-11.20	Pausa para café
11.20-13.00	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colección de referencia.
13.00-14.30	Almuerzo libre
14:30-16:15	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colección de referencia.
16.15-16.35	Pausa para café
16.35-17.30	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colección de referencia.
Miercoles, 1 de junio	



9.30-11:00	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colecci3n de referencia.
11.00-11.20	Pausa para caf3
11.20-13.00	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colecci3n de referencia.
13.00-14.30	Almuerzo libre
14:30-16:15	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colecci3n de referencia.
16.15-16.35	Pausa para caf3
16.35-17.30	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colecci3n de referencia.
Jueves, 2 de junio	
9.30-11:00	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colecci3n de referencia.
11.00-11.20	Pausa para caf3
11.20-13.00	Trabajo de laboratorio: Ejercicios de reproducibilidad. Lectura de otolitos de la colecci3n de referencia.
13.00-14.30	Almuerzo libre
14:30-16:15	An3lisis de la reproducibilidad de lecturas Discusi3n sobre resultados del ejercicio e interpretaci3n de annuli y tipo de borde.
16.15-16.35	Pausa para caf3
16.35-17.30	Resultados preliminares de precisi3n y simetría de lecturas. Continuaci3n de la discusi3n sobre interpretaci3n de annuli y tipo de borde.
Viernes, 3 de junio	
9:30-11:00	Presentaci3n de los resultados de precisi3n y simetría de lecturas Discusi3n final Elaboraci3n de reporte escrito
11:40-12:00	Pausa para caf3
12:00-12:40	Palabras de cierre Lectura del reporte escrito Conclusiones finales y agradecimientos a los organizadores
12:40	Fin del taller
13.00-14.30	Almuerzo libre

H. REFERENCES



- Araya, M., M. Medina, H. Arancibia. 2003. Preliminary result of empirical validation of daily increments in otoliths of jack mackerel *Trachurus symmetricus* (Ayes, 1855) marked with oxytetracycline. *Scientia Marina*, 67(4):471-475.
- Araya M., M. Medina, E. Segovia, J. Peñailillo, M. Avilés, K. Guissen, A. Arcos, J. Charlin, C. Pacheco, G. Plaza, A. M. Galeano, J. Contreras, C. Rodríguez-Valentino, L. Cisterna, A. Sepulveda, M. Neira, E. Sanhueza. 2019. Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel. Informe final FIPA 2017-61.150 pp.
- Arcos D.F, L.Cubillos, S. Nuñez, 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*. Volume 49, Issues 1–4, 2001, Pages 597–617.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59, 197-242.
- Cerna F., C. Valero, G. Moyano, Muñoz, L. (2016). Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Informe Final FIP N° 2014-32. 147 p + anexos.
- Elizarov, A.A., A.S. Grechina, B.N. Kotenev y A.N. Kuzetsov. 1993 Peruvian Jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the Southern Pacific. *Journal of Ichthyology*, 33(3): 86-104.
- Evseenko, S. A. 1987. Reproducción de jurel del Perú *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en el Pacífico Sur. *Voprosy Ichthyologii*, 27(2):264-273.
- Goicochea C, J. Mostacero, P. Moquillaza, T. Dioses, Y. Topiño y R. Guevara-Carrasco. 2013. Validación del ritmo de formación de los anillos de crecimiento en otolitos del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Rev. peru. biol.* número especial 20(1): 053- 060.
- Serra, R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Investigaciones Pesqueras Chile*, 36: 67-83.
- Taylor, P.R., 2002. Stock structure and population biology of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. New Zealand Fisheries Assessment Report 2002/21. Ministry of Fisheries, Wellington, New Zealand.

Presentación I:



“Actualizaci3n de informaci3n asociada a edad y crecimiento de jurel, en el contexto de la OROP-PS”

Presentador: Jos3 Francisco Cerna Troncoso



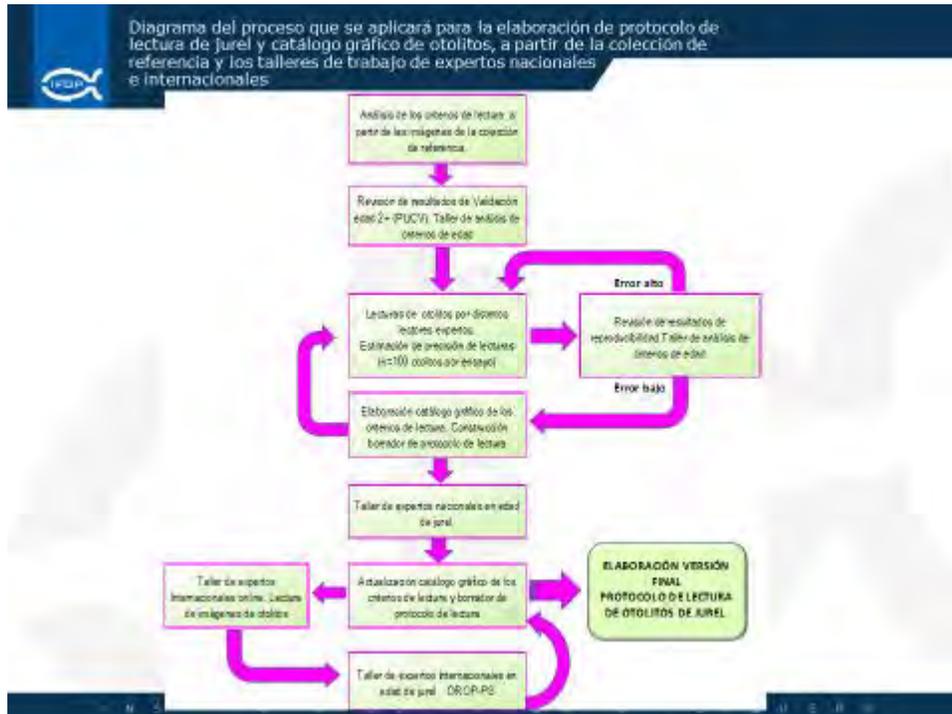
Objetivos

objetivo espec3fico 1:

“Generar una colecci3n de referencia de otolitos basados en porcentajes de reproducibilidad entre lectores experimentados de los pa3ses de la OROP-PS.”

objetivo espec3fico 2:

*“Generar los **cat3logos gr3ficos** a partir de la colecci3n de referencia de otolitos validados por lectores experimentados y elaborar un **manual que contenga los criterios y protocolos de lectura definitivos**”*



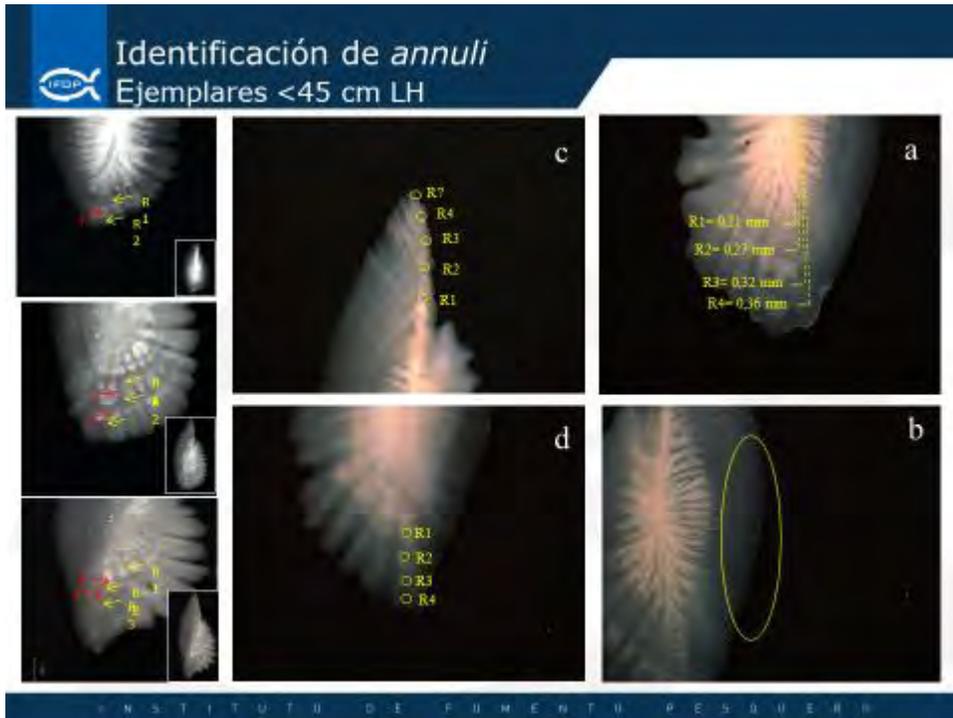
Lecturas de otolitos *sagittae*

En OTOLITOS <45 cm LH (a) (10x)
Observaci3n directa bajo lupa estereosc3pica

- Se deposita el otolito en una placa Petri con aceite y fondo negro
- Se registra el radio desde el n3cleo hasta la zona caudal

En OTOLITOS >45 cm LH(b)
Corte, pulido tostado

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



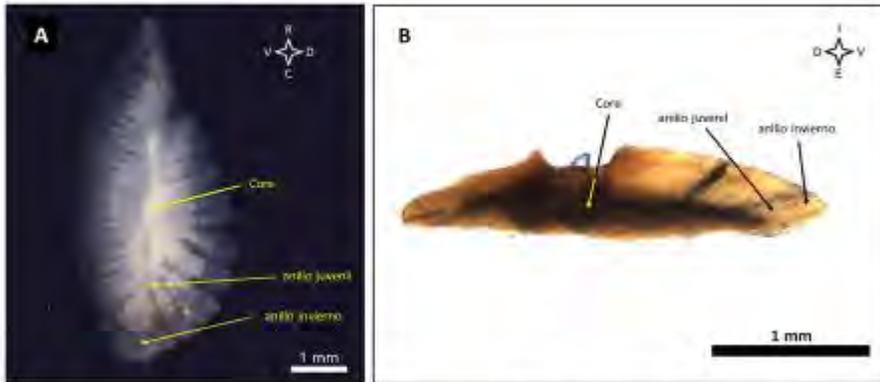
Descripci3n de los procedimientos de lectura de otolitos

Raz3n entre distinto tipo de medidas de radio total y anillos en el otolito entero y seccionado. **RAIV** es el radio de anillo de invierno ventral en otolito entero. **RAICE** es el radio del anillo de invierno hacia el cauda en otolito entero. **RAIV** es el radio de anillo de invierno ventral en la secci3n otolito. **1AV** es el primer annulus hacia la zona ventral el otolito entero. **1AC** es el primer annulus hacia la zona caudal otolito entero. **1AVS** es el primer annulus en la secci3n. **RTV** es el radio total ventral en el otolito entero. **RTC** es el radio total hacia el cauda en el otolito entero y **RTVS** es el radio total en la secci3n del otolito.

Raz3n entre tipo de radio	M3nimo	M3ximo	Promedio	Desviaci3n est3ndar
RAIV/RAIC	0,37	0,57	0,45	0,04
RAIVS/RAIC	0,40	0,66	0,52	0,07
RAIV/RAIVS	0,73	1,23	0,95	0,14
1AV/1AC	0,40	0,51	0,45	0,03
1AVS/1AC	0,47	0,52	0,48	0,02
1AV/1AVS	0,84	1,08	0,92	0,06
RTV/RTC	0,36	0,52	0,43	0,03
RTVS/RTV	0,40	0,57	0,47	0,04
RTV/RTVS	0,63	1,11	0,97	0,07

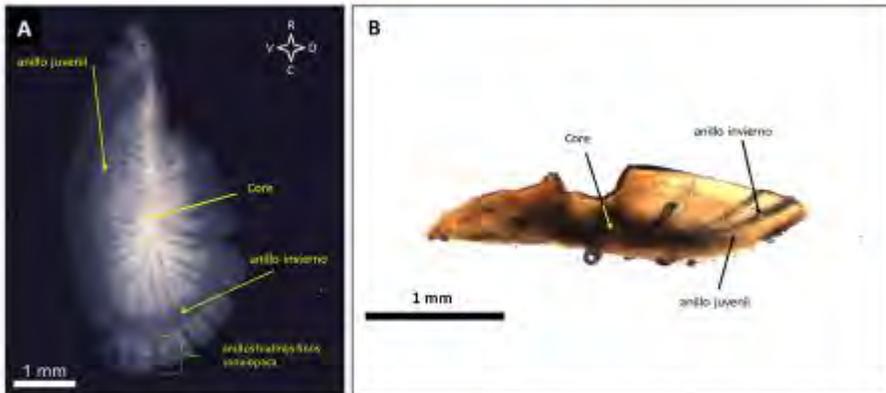
Descripción de los dos primeros tipos de otolitos de acuerdo con la edad.

Otolito Tipo 0



Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 18 cm LH y edad cero, capturado en octubre 2009 (ID17). Se observa con claridad una zona opaca amplia, alto crecimiento, la que es seguida por la banda de crecimiento de invierno próxima al borde. Esta banda es seguida por una zona con anillos hialinos débiles Check en una zona hialina menos marcada que la anterior.

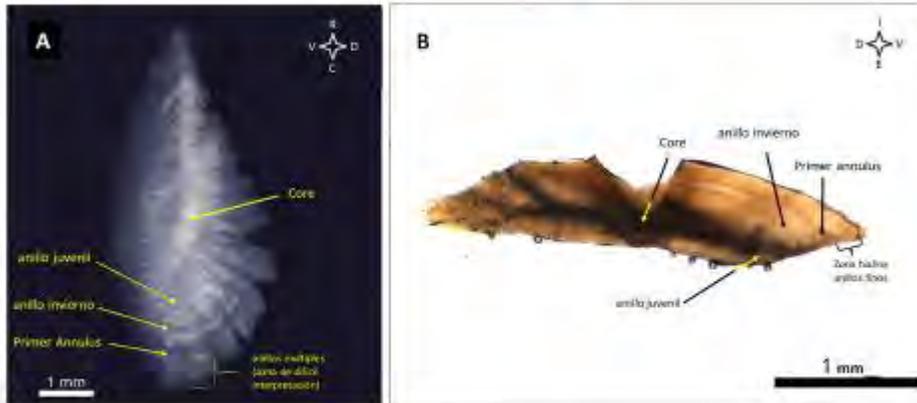
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 21 cm LH y edad cero, capturado en enero 2009 (ID32). Se observa con claridad la banda de crecimiento de invierno, que es seguida por una zona con anillos falsos o checks.

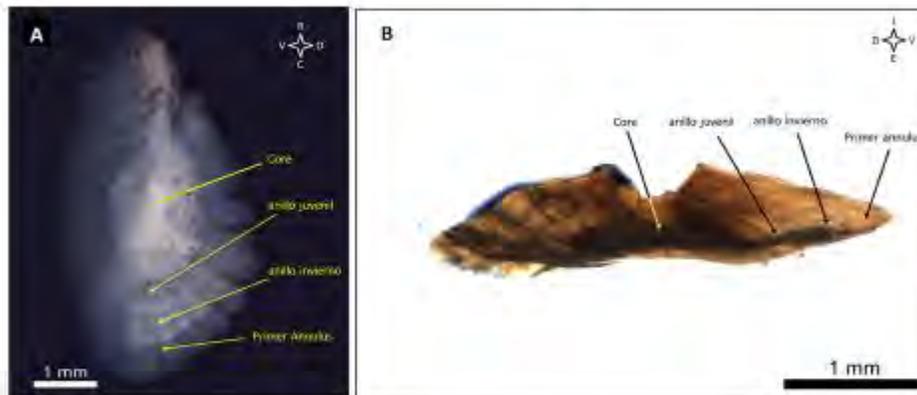
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Otolito Tipo I

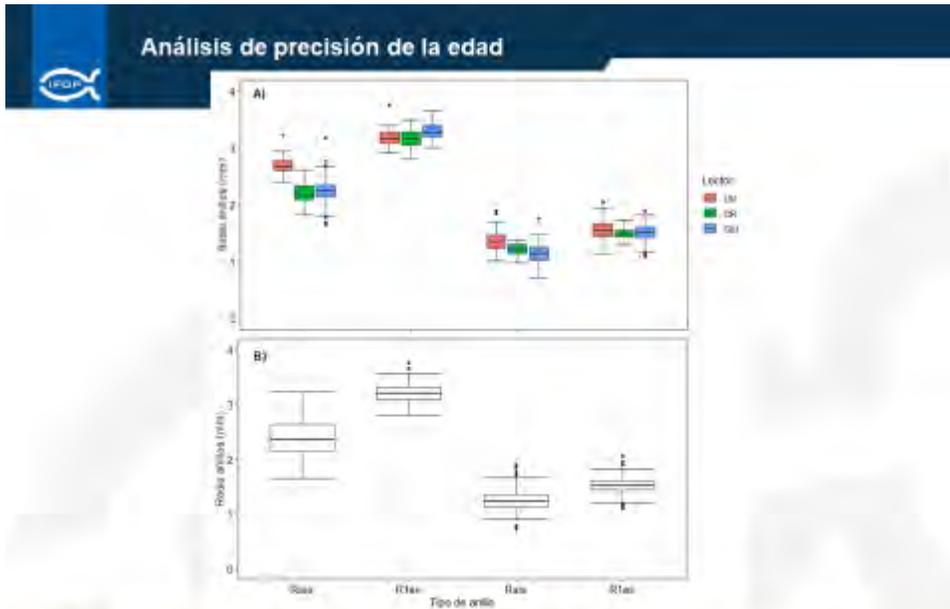


Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 23 cm LH y edad uno, capturado en marzo 2009 (ID53). Se observa después de la banda formada en invierno de 2008, el primer annulus seguido de una zona con anillos múltiples (Cheks).

Otolito Tipo II



Otolito izquierdo entero (A) y sección transversal del otolito derecho (B) de un pez de 24 cm LH y edad uno, capturado en octubre 2009 (ID71). Se observa después de la banda formada en invierno de 2009, el primer annulus seguido de serie de anillos hialinos que parecen ser parte del mismo annulus que se formó.



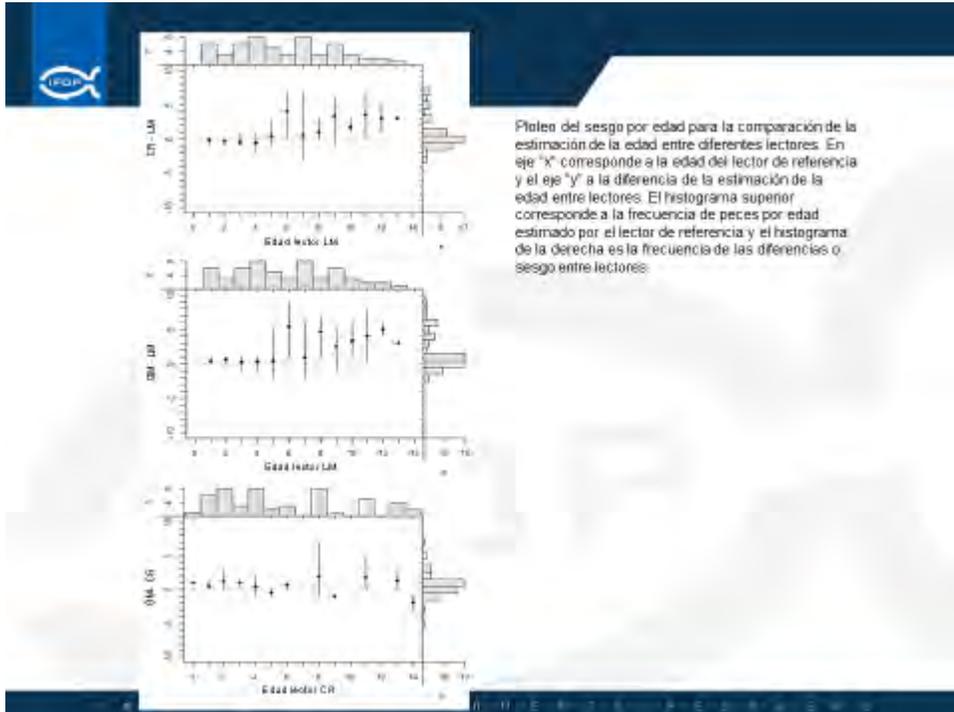
Radio medio de los anillos de crecimiento de otolitos de jurel, correspondientes al anillo de invierno y el primer anulus en el otolito entero (R1ae y R1as), y el anillo de invierno y el primer anulus en la sección transversal (R1as y R1as). (A) para tres diferentes lectores y B) para lecturas combinadas.

Resultados del porcentaje de concordancia, coeficiente de variación y porcentaje de error promedio de la comparación de lecturas de edad de secciones transversales de otolitos de jurel entre tres lectores.

Lectores	n	% Concordancia	CV	Err
LM-CR	56	30,4	19,4	13,7
LM-GM	56	26,8	16,7	13,3
CR-GM	56	28,0	17,5	12,4

Resultados de tres test de simetría entre lectores para las lecturas de edad de secciones transversales de otolitos de jurel. g son los grados de libertad, χ^2 es chi-cuadrado y p es el valor de probabilidad de significancia.

Lectores	Test	g	χ^2	p
LM - CR	McNemar	1	1,26	0,262
	EvansHoerni	7	11,85	0,106
	ϕ			
LM - GM	Bowker	2	35,67	0,115
	McNemar	1	12,90	0,000
	EvansHoerni	9	19,34	0,023
CR - GM	Bowker	2	25,20	0,293
	McNemar	1	10,00	0,002
	EvansHoerni	5	11,61	0,040
	Bowker	2	30,33	0,212
		5		



Grupo de edad: Caso Base

Ext: Colección referencia IFOP

$$IM = \frac{R_{ref} - R(t)}{R(t) - R(t-1)}$$

Ext: Suyama et al 2009

$IM = \frac{40 - 37}{36 - 36}$ $IM = \frac{40 - 36}{37 - 36}$

Ext: $Y_{max}(Ca^{40}) = 5100 \text{ (dMol/L)}$

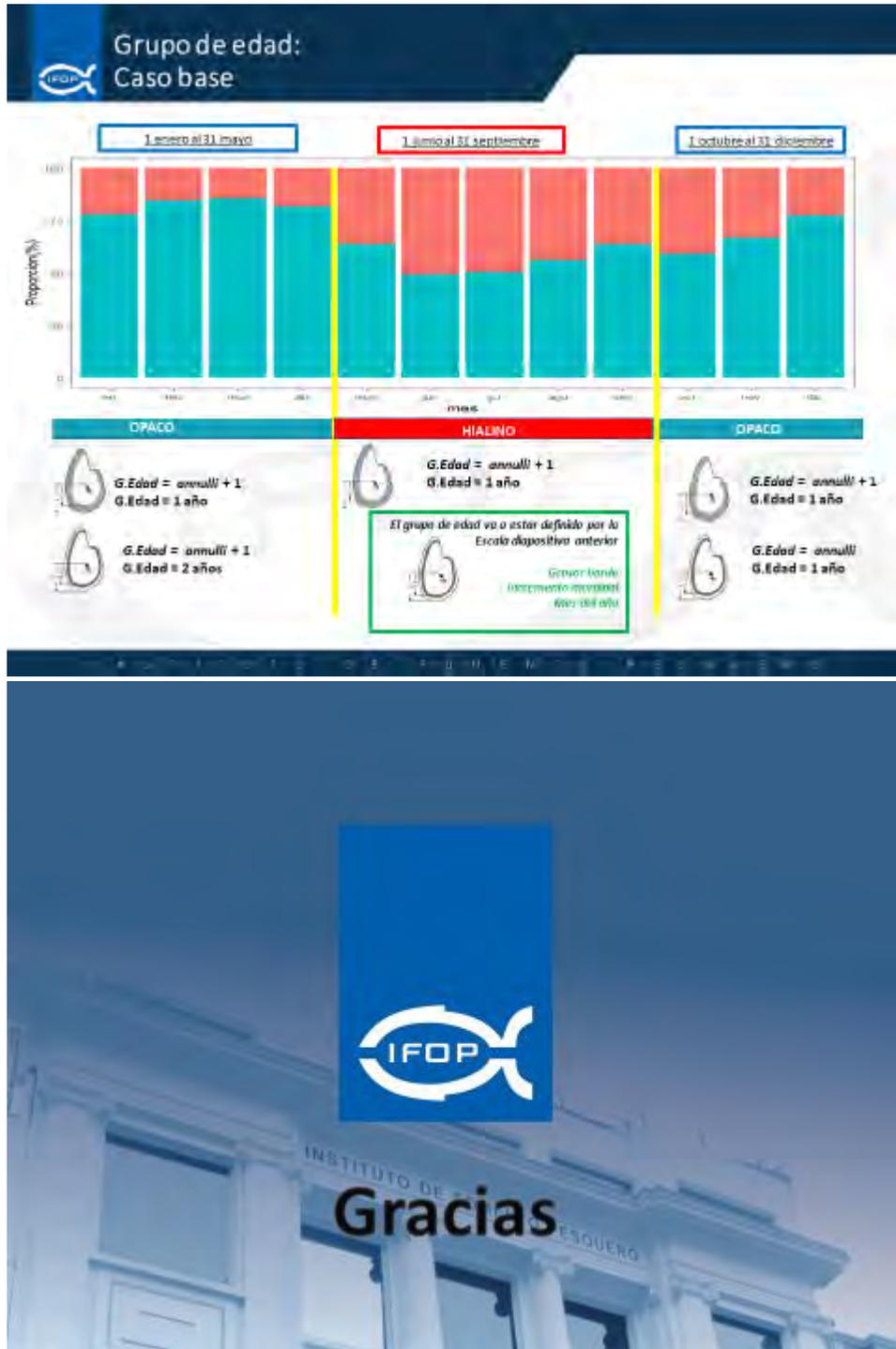
Criterio Histórico

- N° anillos = 4
- IM = 1
- Edad biol = 4
- Grupo de edad = 5

Criterio Validación

- N° anillos = 2
- IM = 0.3
- Edad S = 2
- Grupo de edad = 2

Mes de captura	Sexo	IM	grupo de edad
ENERO A MARZO	sexo chico sexo grande indefinido		edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1
ABRIL	sexo chico sexo chico sexo grande indefinido	<0.349 >0.35	edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1
MAYO	sexo chico sexo chico sexo grande indefinido	<0.349 >0.35	edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1
JUNIO A AGOSTO	sexo chico sexo grande indefinido	>0.499 =0.5	edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1
SEPTIEMBRE	indefinido sexo grande sexo grande indefinido	<0.349 >0.35	edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1
OCTUBRE	sexo chico sexo grande indefinido		edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1
NOVIEMBRE	sexo chico sexo grande indefinido		edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1
DICIEMBRE	sexo chico sexo grande indefinido		edad biológica = 1 edad biológica = 1 edad biológica = 1





Presentaci3n II:

“Calibraci3n de lectura de *annuli* en otolitos *sagittae* del jurel (*Trachurus murphyi*)”

Presentador: Camilo Rodr3guez Valentino



Taller Nacional “Calibraci3n de lectura de *annuli* en otolitos *sagittae* del jurel (*Trachurus murphyi*)”



Camilo Rodr3guez Valentino
30-05-2022

Lectura de otolitos de *Trachurus murphyi*

- Lectura de otolitos enteros en espec3menes < 46 cm longitud de horquilla (LH):
 - El otolito es sumergido en liquido aclarante (vaselina liquida) y la lectura se realiza bajo lupa estereosc3pica con 10x de aumento y luz reflejada con fondo negro con la cara distal hacia arriba.
 - Los *annuli* se cuentan hacia la zona posterior del otolito (cauda), pero se chequea su continuidad alrededor de todo el otolito (zona del rostro, dorsal y ventral).
- Tostado y quebrado en espec3menes \geq 46 cm LH:
 - El otolito se quiebra a la altura del n3cleo, se pule con lija al agua de 2500 y se tuesta hasta alcanzar un color caf3 oscuro. Posteriormente se monta sobre un bloque de plastilina, se le agrega una fina capa de liquido aclarante y se procede a contar los anillos bajo una lupa estereosc3pica con 20x de aumento y luz reflejada.
- Secciones en espec3menes \geq 46 cm LH:
 - El otolito es tostado en un horno a 300°C por 10 minutos. Posteriormente se obtienen secciones de app 400 μ m, las cuales se montan sobre un portaobjetos. A las secciones se les aplica una fina capa de liquido aclarante y se observan bajo lupa estereosc3pica a 20x y luz transmitida.
 - Los anillos se cuentan hacia la zona ventral de la secci3n.





- Estimaci3n de edad en car3ngidos es compleja.

- Principales problemas:

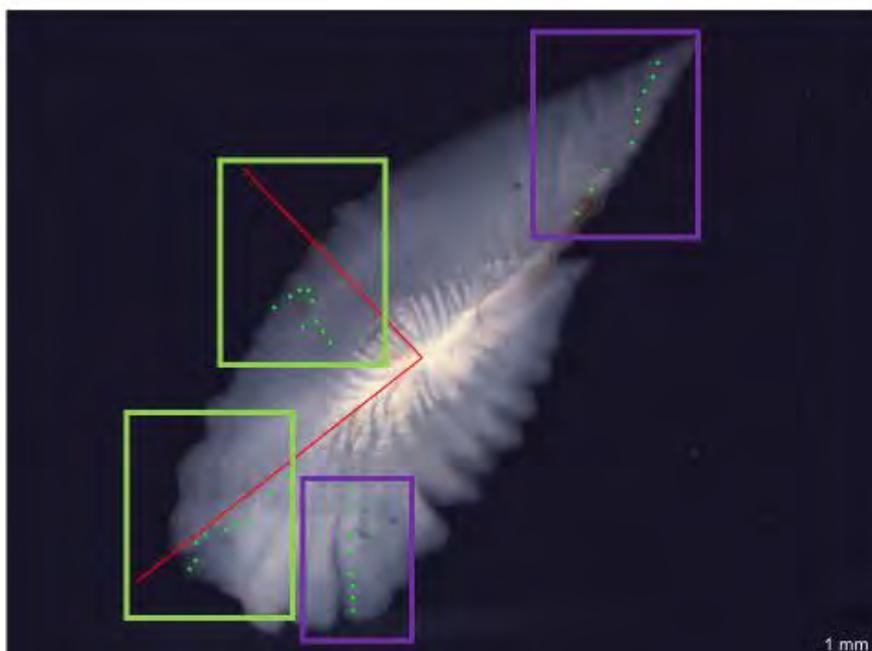
➤ Formaci3n de anillos falsos

➤ Anillos dobles

➤ Interpretaci3n del borde



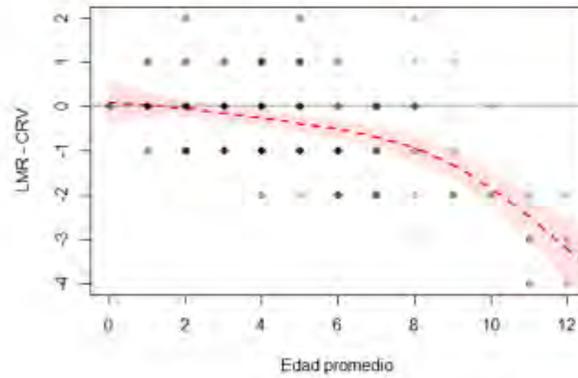
Vitale et al. 2019



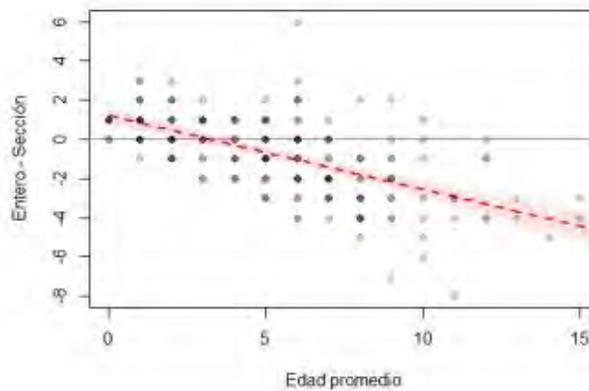


Ejercicio precisi3n y sesgo CRV y LMR

n	PA	CV	APE
196	40,82	14,48	10,24



Entero vs Secci3n





Precisi3n en *Trachurus trachurus*

ICES Area	No. of otoliths	Percentage agreement	Coefficient of variation	Relative bias
IV	50 (47)	60.8 (58.7)	38.2 (35.9)	-0.00 (-0.01)
VI	30 (29)	73.8 (73.1)	30.2 (27.9)	0.02 (0.02)
VII	20	65.9	12.4	-0.17
VIII	65	71.1	16.5	0.02
IX	30	66.7	17.1	-0.01

TABLE 4.1.4.8: Performance by ICES area in terms of Percentage Agreement, Coefficient of Variation and Relative Bias (figures in brackets are after the exclusion of otoliths with exceptionally high coefficient of variation). Only Expert Readers included.

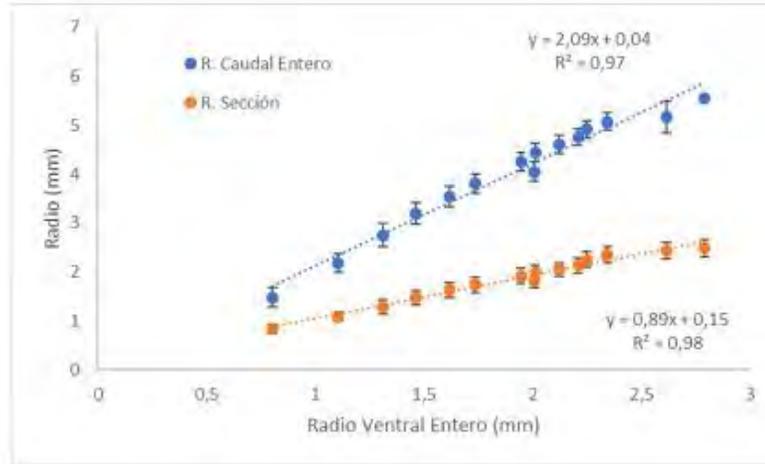
ICES WKARMAC REPORT 2010

Table 6. Results of *T. trachurus* exchange in 2018 for all readers according to the species, the otolith preparation and semester.

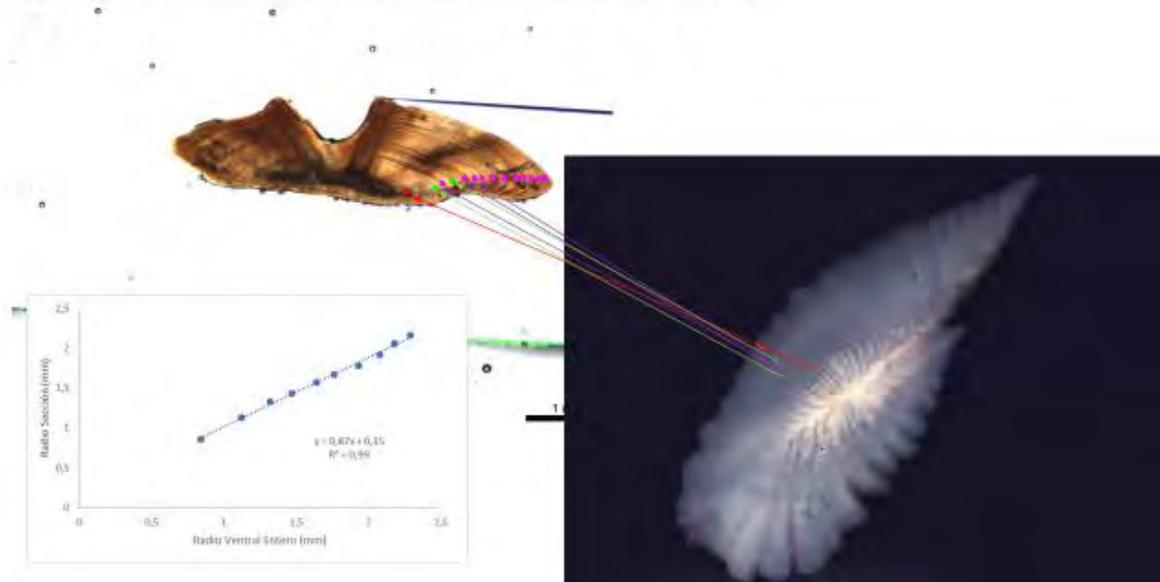
Species	Latin name	Otolith preparation	Sampling semester	Sampling number	Range of age	Readers number	Percentage of agreement	Coefficient of variation
Horse mackerel	<i>Trachurus trachurus</i>	slide	1	35	3-21	14	48.4	18.7
			2	25	1-13	14	58.8	20.6
Horse mackerel	<i>Trachurus trachurus</i>	whole otolith	1	64	0-0	14	62.4	25.6
			2	34	0-12	14	52	26.7

ICES WKARHOM3 Report 2018

	Caudal	Ventral	Secci3n	V/C	S/C	S/V
RJ	1,48	0,80	0,83	0,54	0,56	1,04
RI	2,17	1,11	1,08	0,51	0,50	0,97
RA1	2,76	1,31	1,28	0,48	0,47	0,98
RI2	3,19	1,46	1,47	0,46	0,46	1,01
RA2	3,54	1,62	1,63	0,46	0,46	1,01
RA3	3,80	1,74	1,73	0,46	0,46	1,00
RA4	4,05	2,01	1,84	0,50	0,45	0,91
RA5	4,25	1,95	1,91	0,46	0,45	0,98
RA6	4,44	2,01	1,98	0,45	0,45	0,99
RA7	4,61	2,12	2,05	0,46	0,45	0,97
RA8	4,75	2,21	2,14	0,46	0,45	0,97
RA9	4,92	2,25	2,25	0,46	0,46	1,00
RA10	5,07	2,34	2,34	0,46	0,46	1,00
RA11	5,17	2,62	2,44	0,51	0,47	0,93
RA12	5,56	2,79	2,49	0,50	0,45	0,89



RT	RI	RII	RA1	RA2	RA3	RA4	RA5	RA6	RA7
2,45	0,84	1,12	1,32	1,47	1,64	1,76	1,93	2,10	2,29
2,58	0,86	1,13	1,33	1,43	1,57	1,67	1,78	1,92	2,16





Metodolog3a taller

- Se leer3n 50 secciones de otolitos, contabiliz3ndose la cantidad de anillos, identificando el tipo de borde y la calidad de la secci3n.
- Las secciones se leer3n con luz transmitida, cubiertas de una fina pel3cula de aceite aclarante para mejorar la resoluci3n de los anillos, desde el n3cleo hacia el borde ventral.
- Se utilizar3 el otolito entero para identificar el anillo juvenil, anillo primer invierno, primer anulo y segundo anillo de invierno en la secci3n. De no haber claridad con anillos subsiguientes, tambi3n se podr3 utilizar el otolito entero como referencia.

Medici3n de radios de secci3n





Planilla de trabajo

Análisis de precisión y sesgo

• Precisi3n:

➤ Porcentaje de Acuerdo (PA): Porcentaje de otolitos en que coincide la estimaci3n de edad entre los lectores.

➤ Coeficiente de Variaci3n (CV): $CV_j = 100\% = \frac{\sqrt{\frac{R}{R-1} \sum_{i=1}^R (X_i - X_j)^2}}{X_j}$

➤ Porcentaje de Error Promedio (APE): $APE_j = 100\% = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_i - X_j|}{X_j}$

• Sesgo:

➤ Test de Evans-Hoening, McNemar y Bowker

➤ Gráfico de Bland-Altman con GAM

Campaña 2001, McBride 2015



Referencias

- Araya M., M. Medina, E. Segovia, J. Peñailillo, M. Avilés, K. Guissen, A. Arcos, J. Charlin, C. Pacheco, G. Plaza, A. M. Galeano, J. Contreras, C. Rodríguez-Valentino, L. Cisterna, A. Sepulveda, M. Neira, E. Sanhueza. 2019. Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel. Informe final FIPA 2017-61.150 pp.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59, 197-242.
- Cerna F., C. Valero, G. Moyano, L. Muñoz. 2016. Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Informe Final FIP N° 2014-32. 147 p + anexos.
- ICES. 2010. Report of the Workshop on Age Reading of Mackerel, 1-4 November 2010, Lowestoft, UK. ICES CM 2010/ACOM: 46. 66 pp
- ICES. 2018. Workshop on Age reading of Horse Mackerel, Mediterranean Horse Mackerel and Blue Jack Mackerel (*Trachurus trachurus*, *T. mediterraneus* and *T. picturatus*) (WKARHOM3), 5-9 November 2018. Livorno, Italy. ICES CM 2018/EOSG:28. 186pp.
- McBride R.S. 2015. Diagnosis of paired age agreement simulation of accuracy and precision effects. *ICES Journal of Marine Science* 72(7), 2149-2167. doi:10.1093/icesjms/fsv047.
- Vitale F., L. Worsøe Clausen, G. Ní Chonchúir. 2019. Handbook of fish age estimation protocols and validation methods. ICES Cooperative Research Report N° 346. 180 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5221>



Taller Nacional “Calibración de lectura de *annuli* en otolitos *sagittae* del jurel (*Trachurus murphyi*)”



Camilo Rodríguez Valentino
30-05-2022

Presentación III:



“Resultados preliminares Taller Nacional Jurel FIPA 2021-21”

Presentador: Camilo Rodríguez Valentino



Resultados preliminares
Taller Nacional Jurel
FIPA 2021-21





Calidad de las muestras

- La calidad de las muestras fue asignada por los lectores durante los ejercicios de reproducibilidad. La calidad asignada finalmente fue la moda de las calidades asignadas por los lectores.
- En caso de no haber moda se opt3 por la calidad m3s baja asignada a esa muestra.
- M: mala calidad
- R: calidad regular
- B: buena calidad
- MB: muy buena calidad

ID taller	Calidad Entero	Calidad Sesion	ID taller	Calidad Entero	Calidad Sesion
1	B	B	26	R	B
2	R	R	27	R	B
3	M	R	28	R	B
4	R	R	29	R	R
5	R	R	30	R	R
6	R	B	31	R	B
7	R	B	32	M	R
8	M	B	33	R	R
9	M	B	34	R	R
10	R	B	35	R	R
11	B	M	36	M	R
12	M	B	37	B	R
13	R	B	38	R	R
14	R	B	39	R	B
15	R	R	40	M	R
16	B	B	41	R	R
17	M	B	42	R	B
18	R	E	43	R	B
19	R	M	44	R	R
20	R	B	45	R	B
21	B	R	46	MB	MB
22	R	R	47	R	B
23	B	B	48	R	B
24	R	MB	49	M	R
25	M	R	50	R	B

Precisi3n y Sesgo lecturas en otolitos ENTEROS

	%Coincidenci3	CV	APE	BOWKER	EVANS-HOENING	MCNEMAR	
• Valores en negrita muestran sesgo.	CRV-MNS	10	73,32	51,85	0,000	0,000	0,000
	CRV-ESA	30	30,64	21,67	0,000	0,000	0,000
	CRV-FCT	38	16,28	11,51	0,354	0,540	0,590
	CRV-GPP	48	13,53	9,57	0,571	0,232	0,117
• Debido a los niveles de precisi3n entre lectores, el test de sesgo m3s apropiado corresponde a Evans-Hoening (McBride 2015)	CRV-MAC	31,82	28,56	20,19	0,362	0,019	0,028
	MNS-ESA	24	48,93	34,6	0,000	0,000	0,000
	MNS-FCT	12	71,52	50,57	0,000	0,000	0,000
	MNS-GPP	12	68,66	48,55	0,000	0,000	0,000
	MNS-MAC	15,91	69,38	49,06	0,004	0,000	0,000
	ESA-FCT	26	28,73	20,32	0,002	0,000	0,000
	ESA-GPP	34	26,16	18,5	0,010	0,000	0,000
	ESA-MAC	18,18	41,86	29,6	0,004	0,000	0,000
	FCT-GPP	36	19,68	13,91	0,211	0,665	0,157
	FCT-MAC	27,27	24,29	17,18	0,074	0,118	0,157
	GPP-MAC	34,09	34,06	24,08	0,172	0,022	0,005
	TODOS	11,36	46,47	34,96			



Precisi3n y Sesgo lecturas en otolitos SECCIONES

- Valores en negrita muestran sesgo.
- Debido a los niveles de precisi3n entre lectores, el test de sesgo m1s apropiado corresponde a Evans-Hoening (McBride 2015)

	%Coincidencia	CV	APE	BOWKER	EVANS-HOENING	MCNEMAR
CRV-MNS	8	42,49	30,05	0,029	0,265	1,000
CRV-ESA	30	29,6	20,93	0,319	0,014	0,000
CRV-FCT	36	21,38	15,12	0,427	0,612	0,724
CRV-GPP	32	22,05	15,59	0,612	0,677	1,000
CRV-MAC	14,81	32,05	22,66	0,029	0,001	0,000
CRV-GMA	28	34,11	24,12	0,451	0,285	0,505
MNS-ESA	28	38,93	27,53	0,024	0,002	0,007
MNS-FCT	20	37,59	26,58	0,077	0,510	1,000
MNS-GPP	22	39,58	27,99	0,060	0,041	0,631
MNS-MAC	7,41	53,26	37,66	0,160	0,008	0,001
MNS-GMA	12	38,76	27,41	0,018	0,025	0,763
ESA-FCT	26	25,99	18,38	0,000	0,000	0,008
ESA-GPP	32	28,2	19,94	0,150	0,031	0,002
ESA-MAC	14,81	43,45	30,73	0,019	0,000	0,000
ESA-GMA	22	35,64	25,2	0,010	0,000	0,000
FCT-GPP	40	19,64	13,98	0,273	0,176	0,465
FCT-MAC	18,52	28,13	19,89	0,040	0,000	0,000
FCT-GMA	32	25,63	18,12	0,642	0,153	0,086
GPP-MAC	14,81	33,15	23,44	0,344	0,034	0,002
GPP-GMA	32	27,78	19,64	0,747	0,288	0,086
GMA-MAC	18,52	35,42	25,04	0,400	0,100	0,003
TODOS	0	59,84	44,68			

Tipo de borde

- 0: Borde opaco
- 1: Borde hialino
- Porcentaje cercano a 100, la mayor1a de los lectores interpret3 un borde hialino.
- Porcentaje cercano a 0, la mayor1a de los lectores interpret3 borde opaco.
- Porcentaje en 50 quiere decir que no hubo consenso entre lectores respecto del borde

ID taller	CRV	MNS	ESA	FCT	MAC	GMA	%
1	0	1	1	0	1	0	33,33
2	1	1	1	1	1	1	100,00
3	0	1	1	1	1	1	83,33
4	0	0	0	0	1	1	33,33
5	1	1	1	1	1	1	83,33
6	0	0	1	1	1	1	66,67
7	1	1	0	1	1	1	66,67
8	0	0	1	1	1	1	50,00
9	0	1	1	1	1	1	83,33
10	1	1	1	1	1	1	83,33
11	0	1	0	1	0	0	33,33
12	0	1	0	1	1	1	66,67
13	0	0	0	0	0	1	16,67
14	1	1	0	1	1	1	66,67
15	1	0	1	1	1	1	83,33
16	0	0	1	1	1	1	50,00
17	1	1	1	1	1	1	83,33
18	1	1	0	1	1	1	66,67
19	1	1	0	1	1	1	83,33
20	0	1	1	1	1	1	83,33
21	1	1	0	1	1	1	66,67
22	0	1	0	1	1	1	66,67
23	0	1	1	1	1	1	66,67
24	1	0	0	1	1	1	66,67
25	1	0	0	1	0	0	33,33



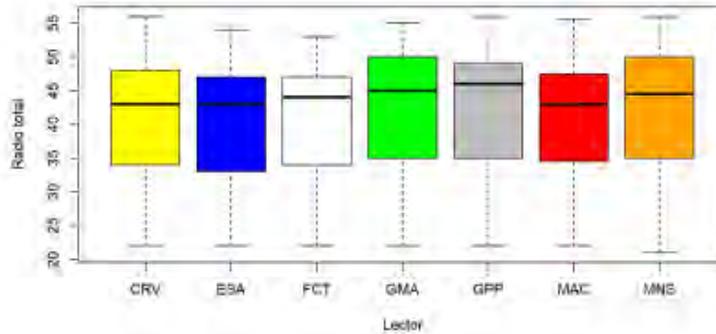
Tipo de borde

- 0: Borde opaco
- 1: Borde hialino
- Porcentaje cercano a 100, la mayorfa de los lectores interpret3 un borde hialino.
- Porcentaje cercano a 0, la mayorfa de los lectores interpret3 borde opaco.
- Porcentaje en 50 quiere decir que no hubo consenso entre lectores respecto del borde

ID taller	CRV	MNS	ESA	FCT	MAC	GMA	%
1	0	1	0	1	0	0	33,33
2	1	1	1	1	1	1	100,00
3	0	1	1	1	1	1	83,33
4	0	0	0	0	1	1	33,33
5	1	1	1	1	1	1	83,33
6	0	0	1	1	1	1	66,67
7	1	1	0	1	1	1	66,67
8	0	0	1	1	1	0	50,00
9	0	1	1	1	1	1	83,33
10	1	1	1	1	1	1	83,33
11	0	1	0	1	0	0	33,33
12	0	1	0	0	1	1	66,67
13	0	0	0	0	0	1	16,67
14	1	1	0	1	1	0	66,67
15	1	0	1	1	1	1	83,33
16	0	0	1	1	1	0	50,00
17	1	1	1	1	1	1	83,33
18	1	1	0	1	1	1	66,67
19	1	1	0	1	1	1	83,33
20	0	1	1	1	1	1	83,33
21	1	1	0	1	1	1	66,67
22	0	1	0	1	1	1	66,67
23	0	1	1	1	1	1	66,67
24	1	0	0	1	1	1	66,67
25	1	0	0	1	0	0	33,33

Radio total

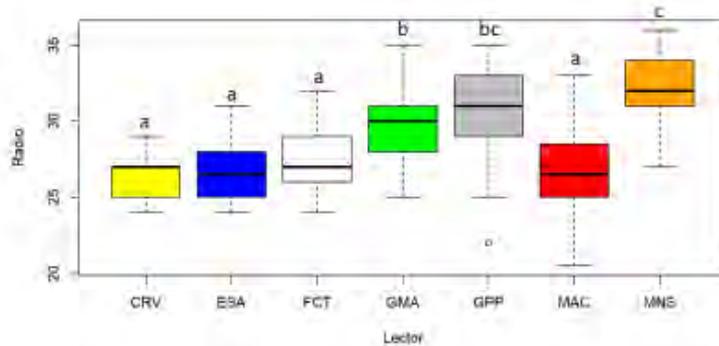
- No existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: df: 6; F: 0,339; p: 0,916)
- A pesar de esto, GMA, GPP y MNS miden radios ligeramente m3s grandes.



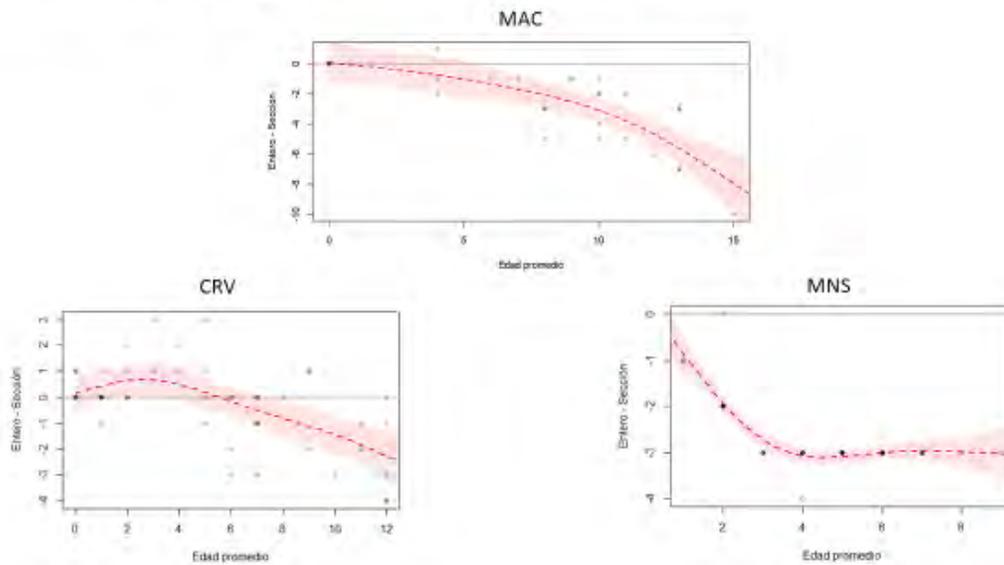


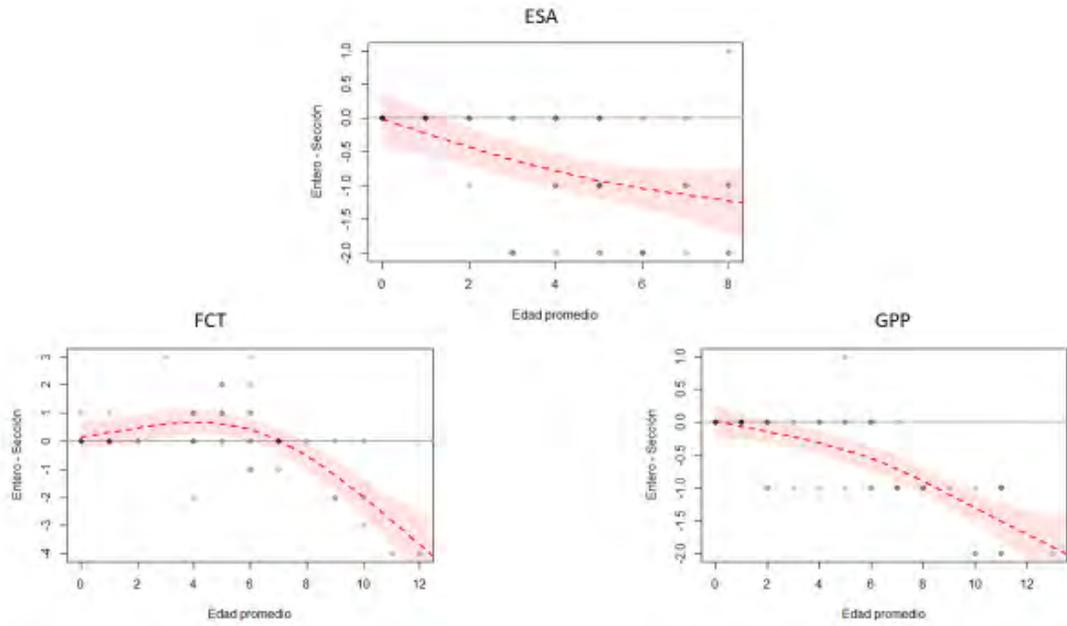
Radio primer *annulus*

- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: df: 6; F: 42,2; p: 0,000)
- Las diferencias significativas se producen en los lectores GMA, GPP y MNS. Letras muestran diferencias significativas entre lectores.

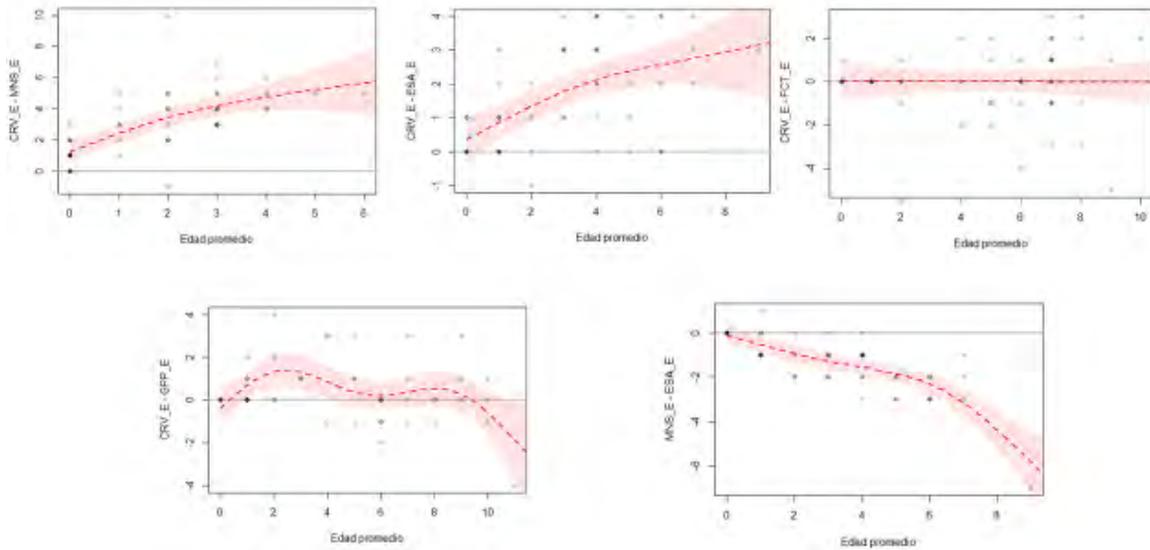


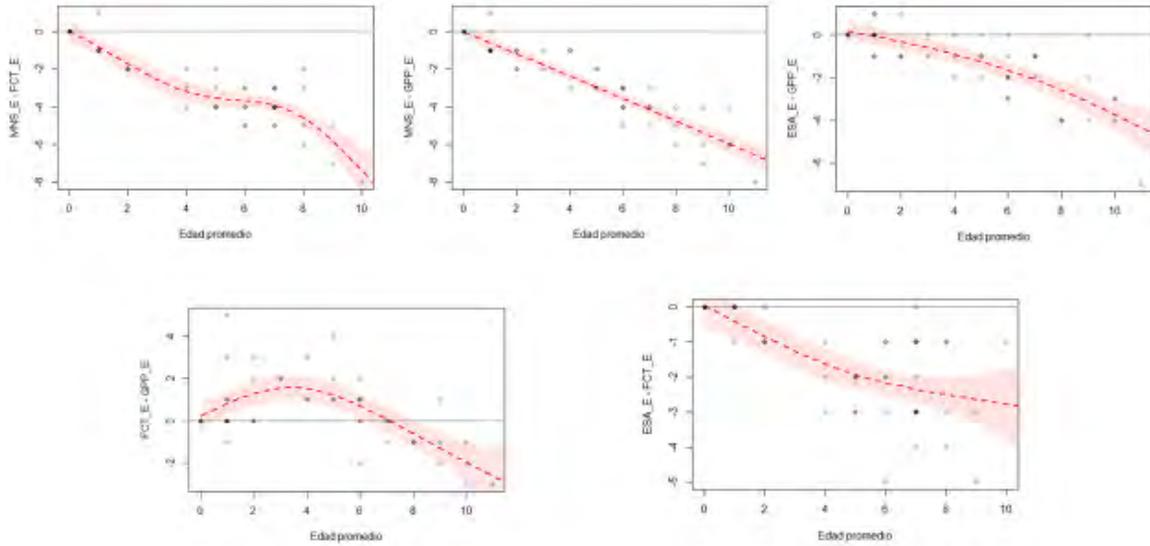
Gráficos de Sesgo Entero v Secci3n



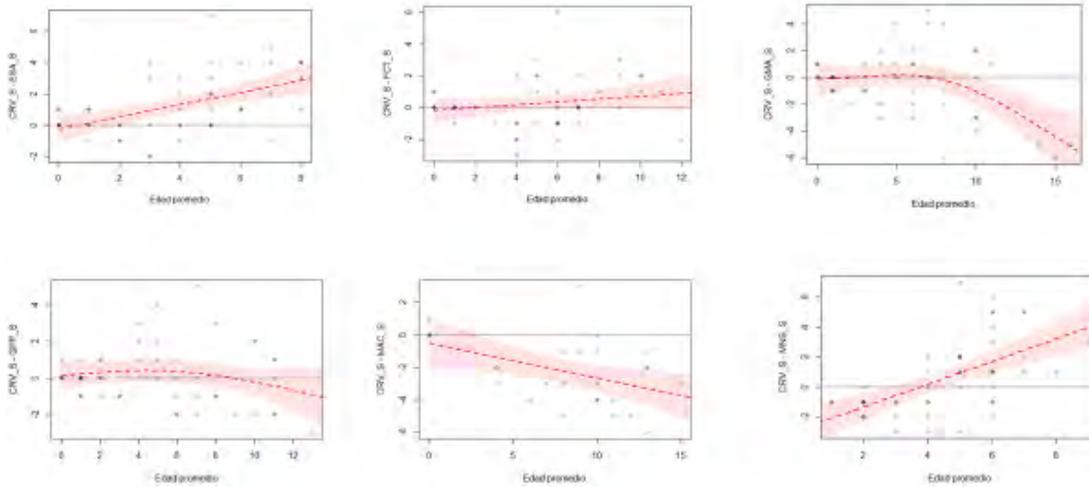


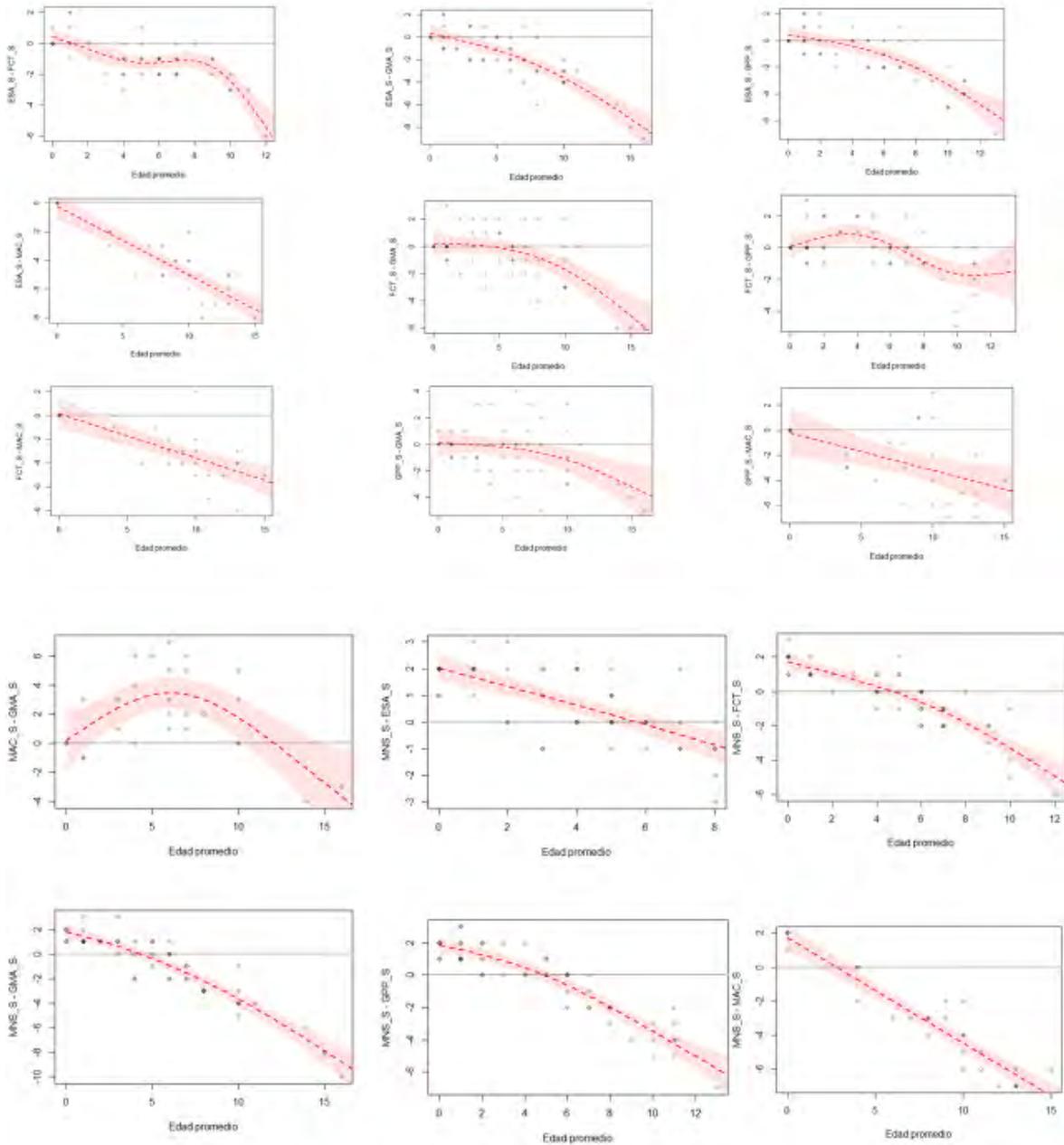
Gr3ficos de sesgo entre lectores otolito ENTERO





Gr3ficos de sesgo entre lectores otolito SECCI3N







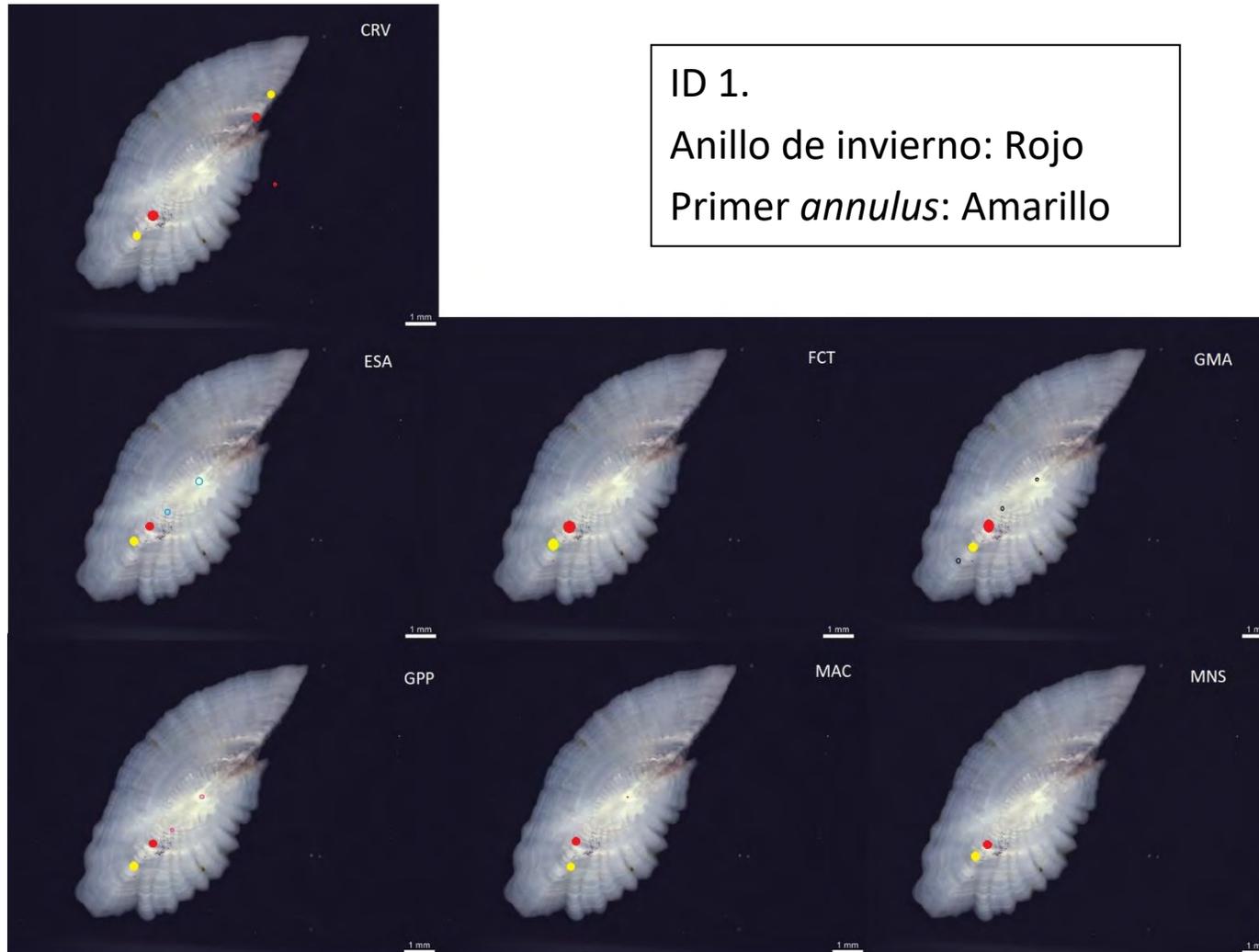
Resultados preliminares Taller Nacional Jurel FIPA 2021-21

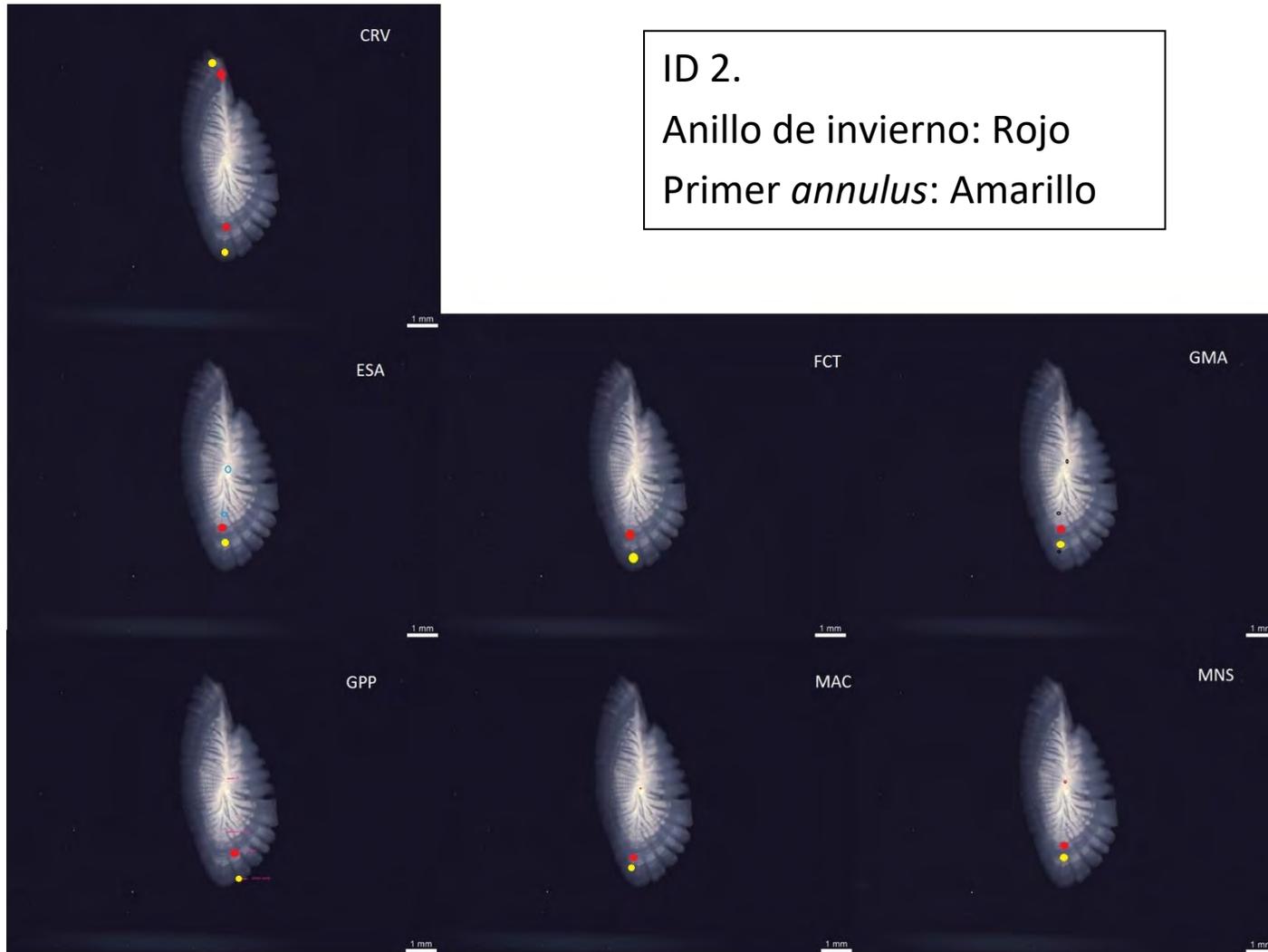


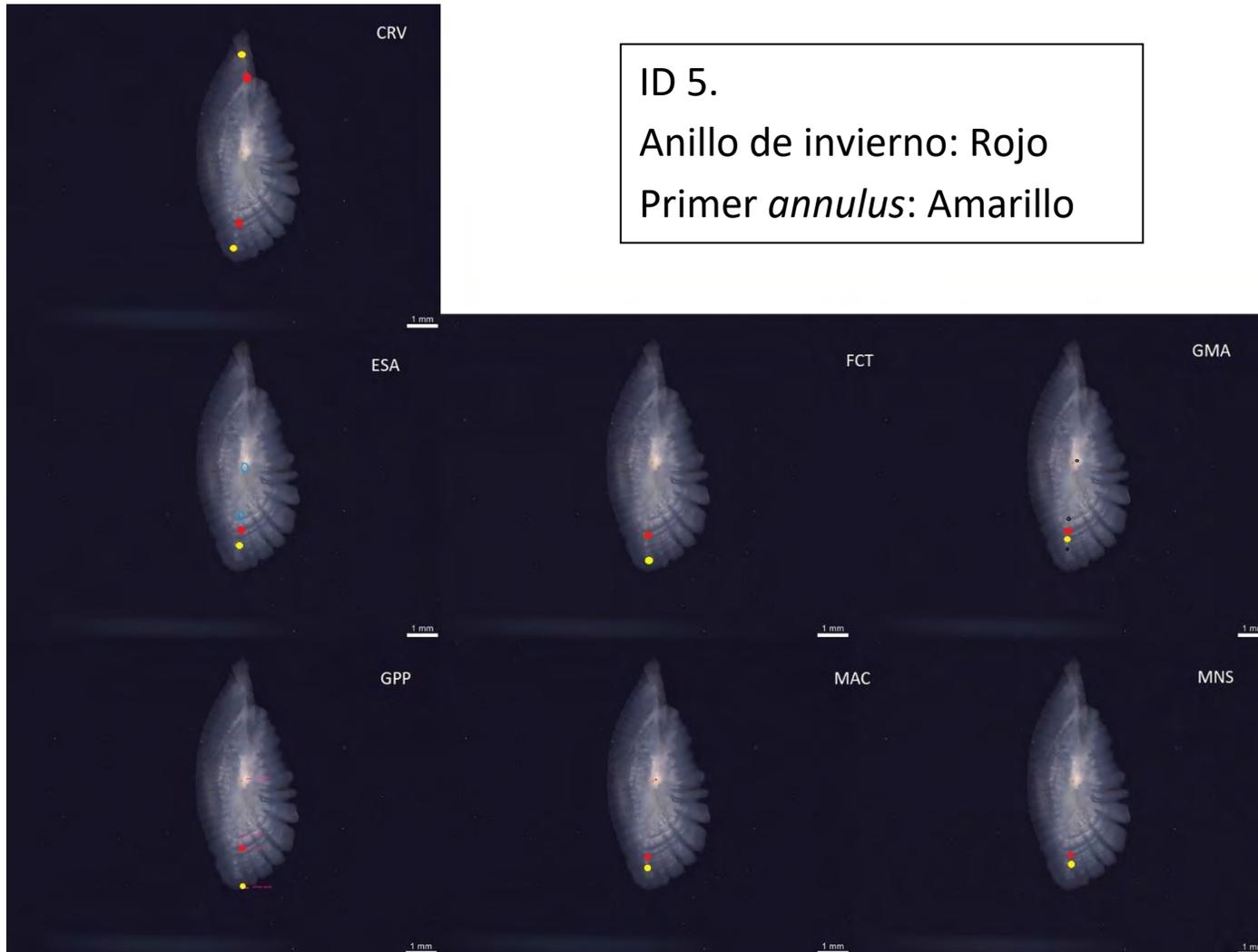


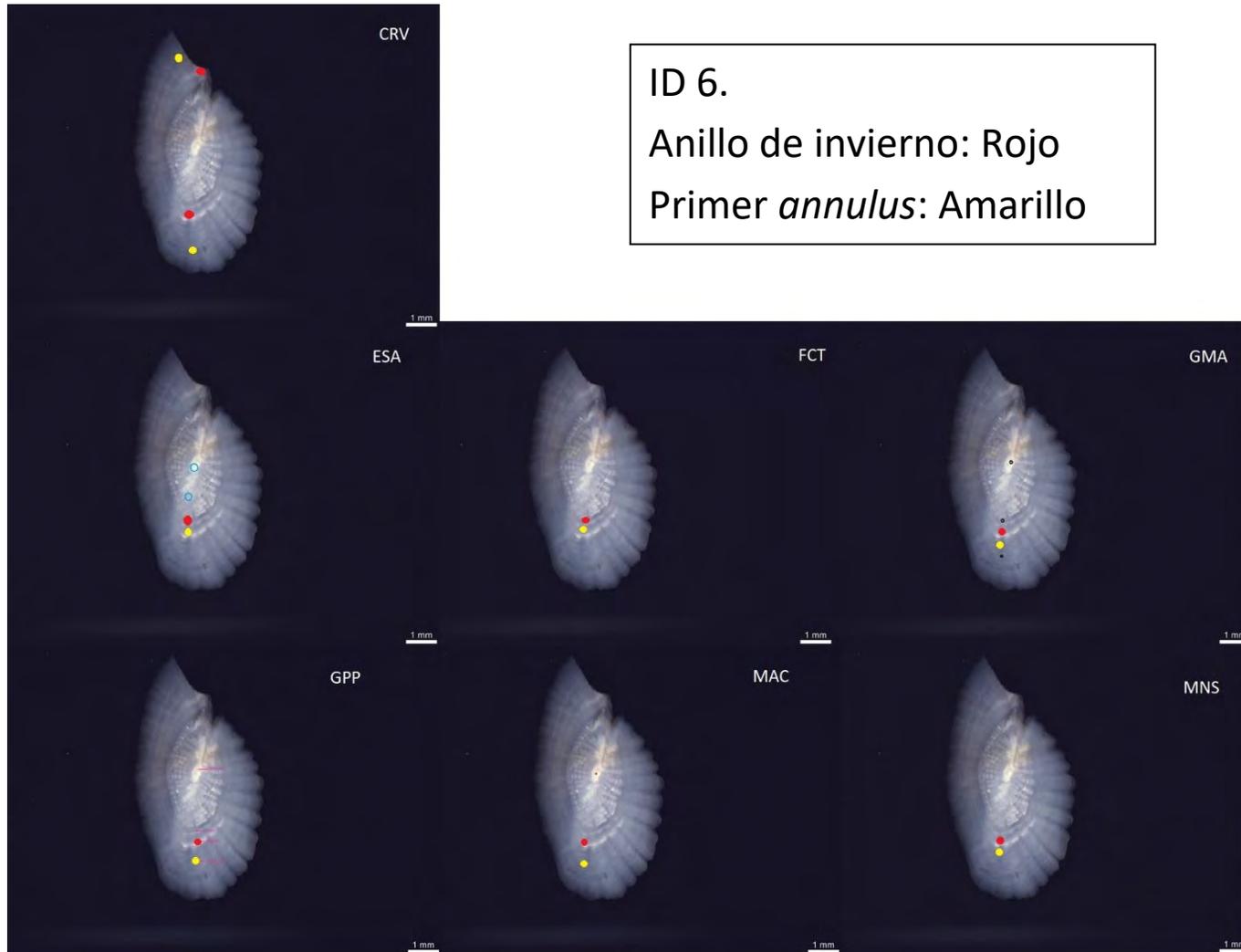
Fichas de otolitos de jurel

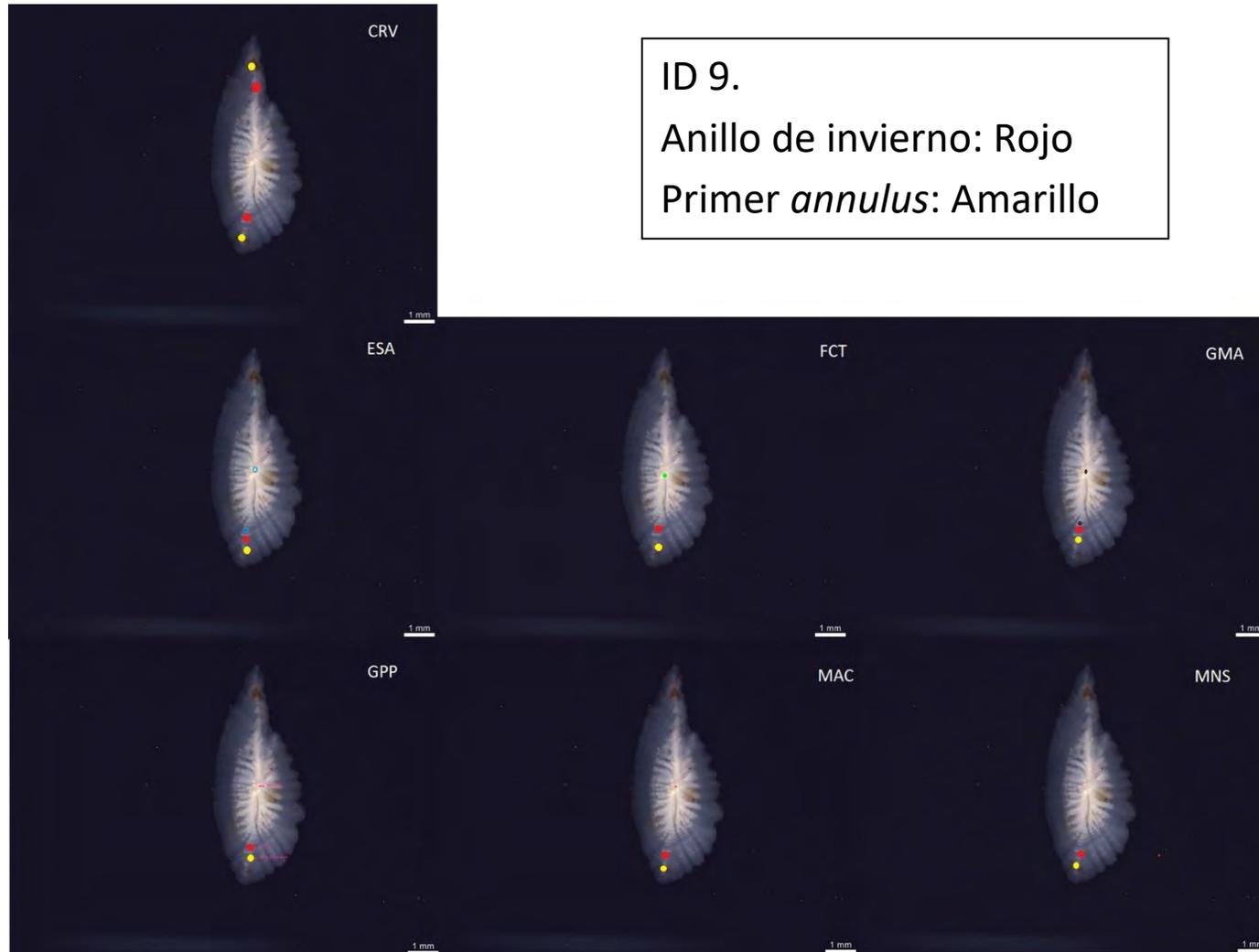
Utilizadas para lectura conjunta e interpretaci3n del anillo de primer invierno y del primer *annulus*. En marco del taller “Calibraci3n de lectura de *annuli* en otolitos *sagittae* del jurel (*Trachurus murphyi*)”

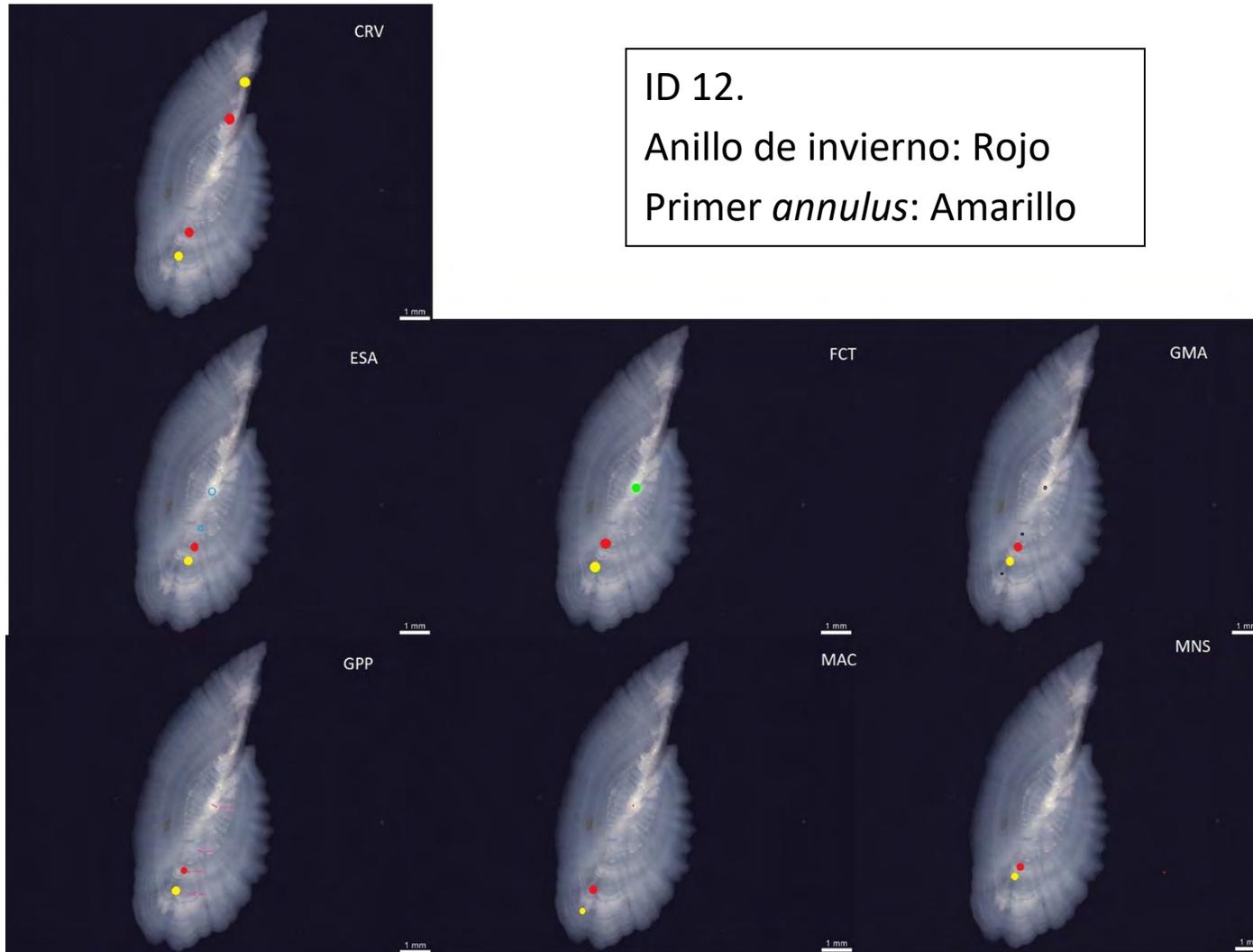






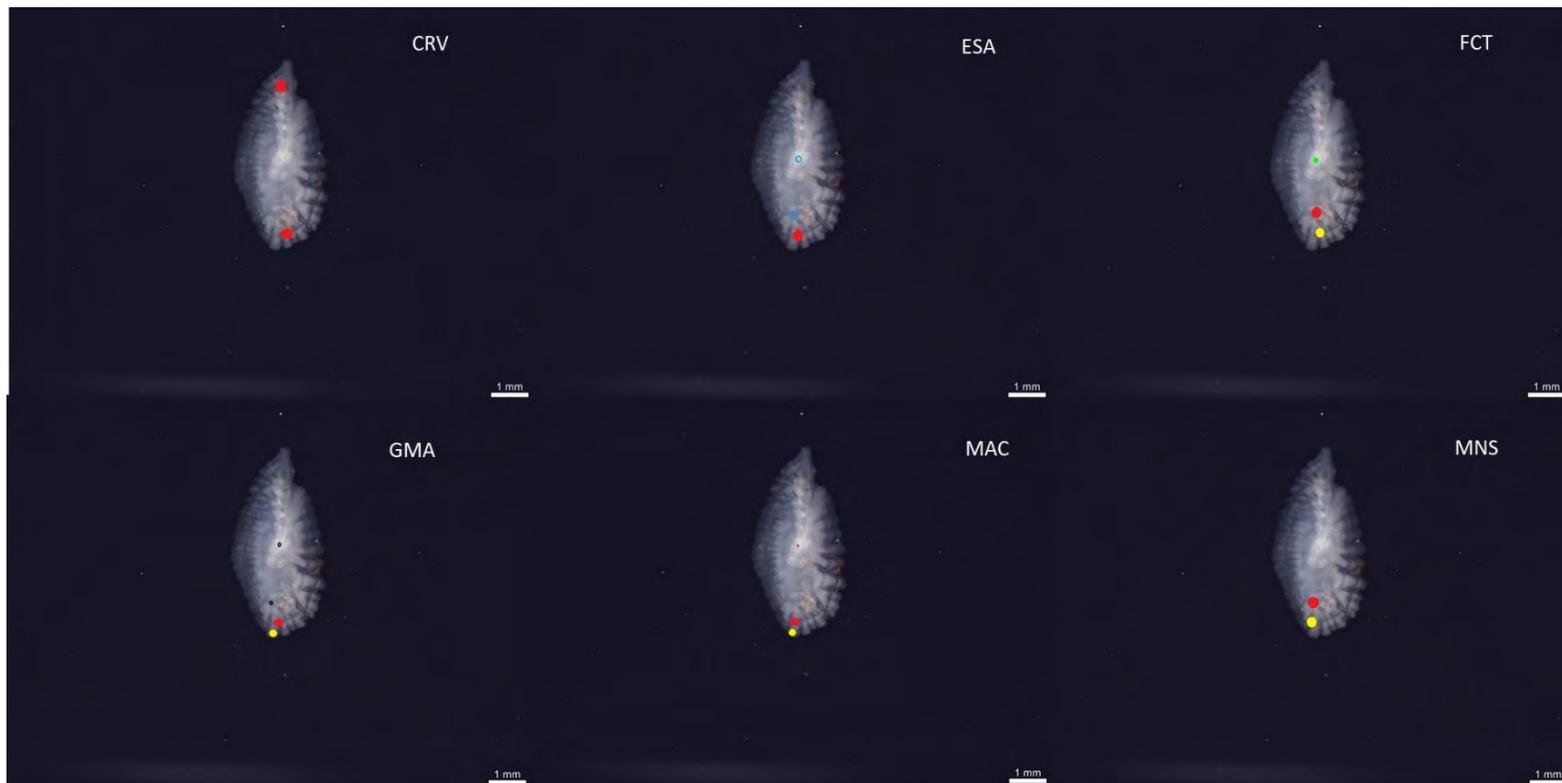


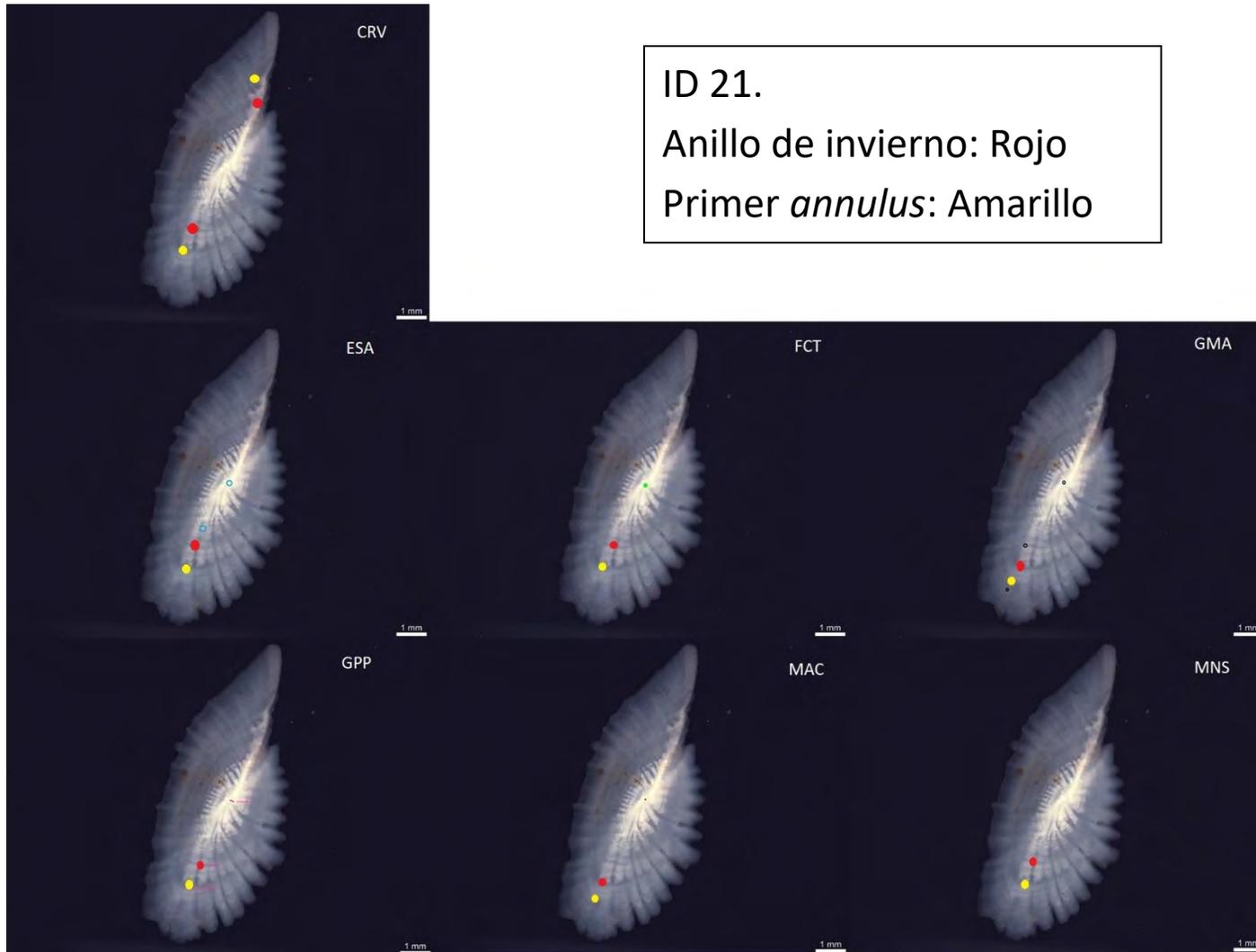


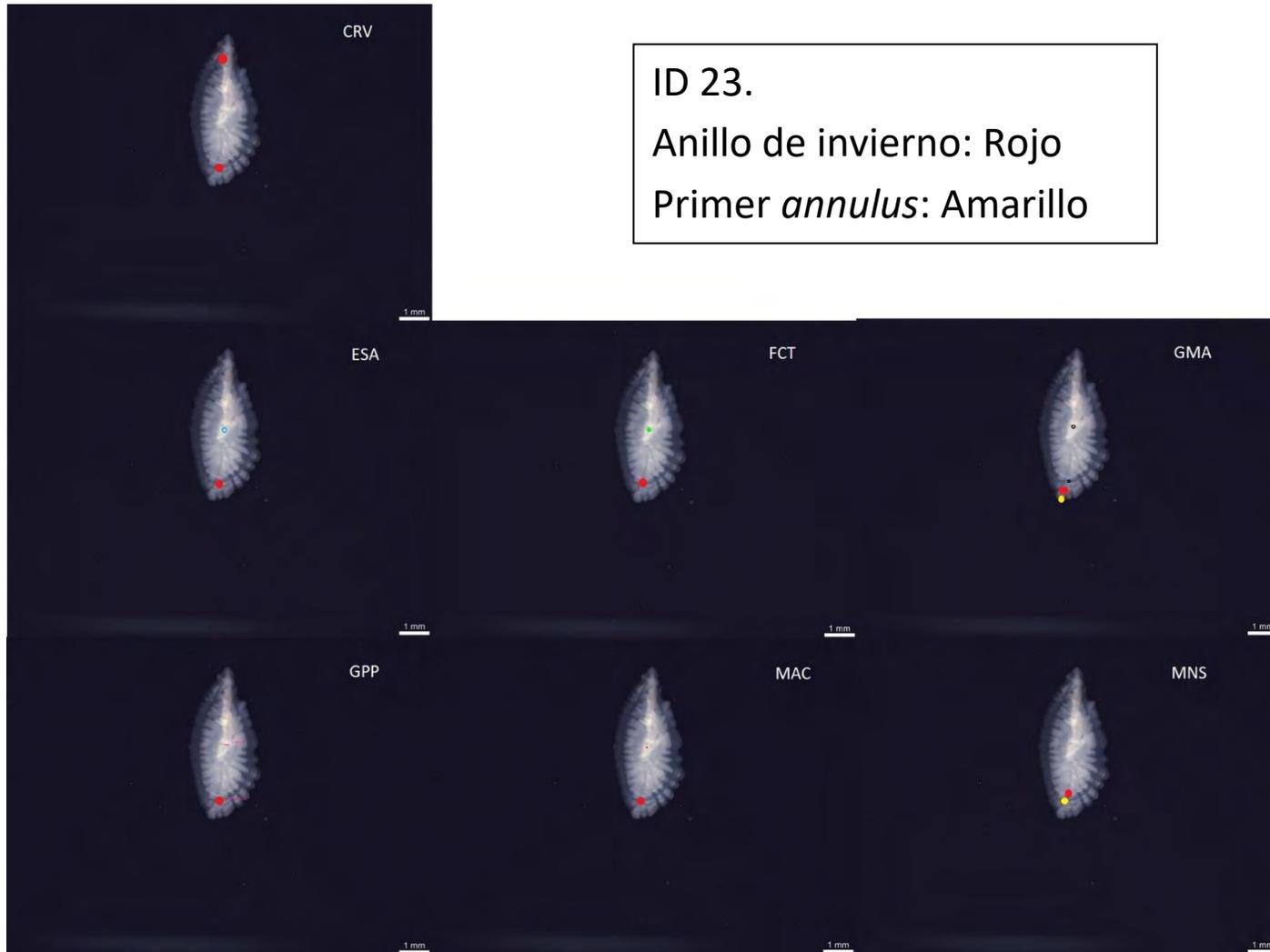




ID 13.
Anillo de invierno: Rojo
Primer *annulus*: Amarillo









Reporte T3cnico Taller

M.Sc. Camilo Rodr3guez Valentino
Instituto de fomento pesquero



REPORTE T3CNICO TALLER

Calibraci3n de lectura de *annuli* en otolitos *sagittae* del jurel (*Trachurus murphyi*)

Valpara3so

30 de mayo - 3 de junio de 2022

Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)

Valpara3so, Chile

Reporte preparado por:

M.Sc. Camilo Rodr3guez Valentino

Instituto de Fomento Pesquero

Taller organizado por Francisco Cerna como parte del proyecto FIPA 2021-21 "Actualizaci3n de informaci3n asociada a edad y crecimiento de jurel, en el contexto de la OROP-PS" (Anexo)



1. INTRODUCCIÓN

El jurel (*Trachurus murphyi*, Nichols 1920) es un carangido ampliamente distribuido en el Pacífico suroriental, abarcando desde las Islas Galapagos y el sur de Ecuador hasta la zona centro-sur de Chile. Su distribución actual también se extiende desde Chile a través del Pacífico hasta Nueva Zelanda y Tasmania (Evseenko, 1987; Serra, 1991; Elizarov et al., 1993; Taylor, 2002). La población de jurel se caracteriza por desovar entre los 35° y 40°S has 90°W, una zona de alimentación de adultos costera (33°- 40°S), donde los juveniles reclutan, y la existencia de una zona de criadero al norte de los 30°S en aguas tibias oceánicas y costeras (Arcos et al., 2001).

La composición de edades de captura del jurel ha sido un elemento particularmente relevante para entender los cambios en el stock. El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) ha realizado estudios de edad y crecimiento desde finales de los 70s, los que se han utilizado para desarrollar claves talla-edad y matrices de captura-a-la-edad trimestrales por zona, las que son utilizadas en la evaluación del stock. La estimación de la edad en esta especie se realiza mediante lectura de la cara distal de otolitos *sagittae* sumergidos en liquido aclarante sobre un fondo negro, con luz incidente y aumento de 10x bajo lupa estereoscópica cuando los especímenes miden ≤ 45 cm longitud de horquilla y mediante la técnica de “tostados y quebrado” en especímenes de >45 cm.

La interpretación de los macroanillos en otolitos de especímenes de la familia carangidae es compleja, debido a que presentan gran cantidad de anillos falsos y dobles que pueden ser confundidos con *annuli* verdaderos, llevando a una sobrestimación de la edad. También es compleja la identificación del tipo de borde y del primer anillo anual, debido a la presencia de anillos juveniles que se forman antes del año de edad (Vitale *et al.* 2019). En jurel, Goicochea et al. (2013) validó el primer anillo anual a través del análisis de la microestructura de secciones transversales del otolito *sagittae*, basado en el conteo de microincrementos diarios, cuya periodicidad diaria fue validada en peces adultos por Araya et al. (2003). Estos resultados indicaron que el tamaño promedio de longitud de horquilla a los 365 días es 17,7 cm, con un radio promedio del otolito de 2,49 mm. Otros estudios, como el Proyectos FIPA 2014-32 y FIPA 2017-61 que determinaron un crecimiento rápido los primeros dos años de vida, donde se determinó que el tamaño promedio del jurel en el



primer año de vida oscilo entre 21 y 22 cm longitud de horquilla (Cerna et al. 2006; Araya et al. 2017).

También es compleja la estimación de edad en individuos longevos debido a la compresión de los anillos, siendo cada vez más difíciles de identificar (Horn & Maolagáin 2015, Vitale *et al.* 2019). Para solucionar este problema, se emplea en individuos de >45 cm de longitud de horquilla la técnica de “tostado y quebrado”, la que está siendo reemplazada por la confección de secciones transversales del otolito *sagittae* previamente tostado y revisados en lupa estereoscópica en 20x con luz transmitida, mejorando la resolución de los macroanillos más lejanos al núcleo.

Estos problemas en la interpretación y técnicas de preparación de otolitos conllevan la necesidad imperativa de calibrar los criterios de lectura de jurel entre los distintos laboratorios de estimación de edad, ya que la imprecisión en la determinación de edad puede acarrear grandes problemas en los estudios de dinámicas poblacionales, en ocasiones provocando la sobreexplotación de una población (Campana, 2001).

2. OBJETIVO DEL TALLER

Analizar y discutir los criterios de lectura de los *annuli* en individuos juveniles y adultos de jurel (*Trachurus murphyi*).

3. METODOLOGÍA

Se trabajó una submuestra de 50 otolitos y sus respectivas secciones de la colección de referencia, a los cuales se les asignó un nuevo número de identificación (ID) para evitar el reconocimiento de estas (Campana 2001). Se crearon 10 grupos de tamaño, de 12 a 60 cm longitud de horquilla (LH), seleccionándose de forma aleatoria 5 otolitos por grupo (Tabla 1).

Los otolitos fueron leídos por todos los participantes del taller (Tabla 2), tanto el otolito entero como la sección. Se midieron los radios del anillo juvenil, anillo de invierno, primer *annulus* y Radio Total (Caudal) del otolito y se compararon mediante ANOVA de una vía (*p*



< 0,05) y un test de Tukey post-hoc ($p < 0,05$) para detectar diferencias significativas entre los lectores. Adem1s, se determin3 el tipo de borde (hialino u opaco). Debido a los cambios de criterios, no se asign3 nivel de experiencia entre los lectores.

Tabla 1. N1mero de otolitos por rango de tallas analizadas durante el taller.

Rango de tallas(cm)	n
12-15	4
16-20	6
21-25	5
26-30	5
31-35	5
36-40	5
41-45	5
46-50	5
51-55	5
56-60	5

Tabla 2. Lista de participantes del taller

Profesional	Abreviaci3n	Categor1a	Afiliaci3n
Jos3 Francisco Cerna T.	FCT	Jefe de Proyecto/Lector	Instituto de Fomento Pesquero
Guido Plaza P.	GPP	Investigador/Lector	P. Universidad Cat3lica de Valpara1so
Miguel Araya C.	MAC	Investigador/Lector	Universidad Arturo Prat
Marcia Neira S.	MNS	Investigadora/Lectora	Instituto de Investigaci3n Pesquera
Evelin Sanhueza A.	ESA	Investigadora/Lectora	
Guillermo Moyano A.	GMA	Investigador/Lector	Instituto de Fomento Pesquero
Camilo Rodr1guez V.	CRV	Investigador/Lector	

Posteriormente se realizaron los an1lisis de precisi3n y sesgo entre t3cnicas, lectura otolito entero vs secci3n, y entre lectores. La precisi3n se midi3 con el porcentaje de concordancia que corresponde al porcentaje de muestras donde los lectores coinciden en la asignaci3n de edad, con el coeficiente de variaci3n (CV) y el porcentaje de error promedio (APE por sus siglas en ingl3s) (Campana 2001).



$$CV_j = 100\% \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j}$$

$$APE_j = 100\% \times \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|x_{ij} - x_j|}{X_j}$$

Para los an3lisis de sesgo se efectuaron los siguientes test:

$$\text{McNemar (1947): } \chi^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m (n_{ij} - n_{ji}) \right)^2}{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m (n_{ij} + n_{ji})}$$

Donde m es la edad m3xima estimada, n_{ij} es la frecuencia observada en i ma fila y la j ma columna, y n_{ji} es la frecuencia observada en la j ma fila y la i ma columna.

$$\text{Evans-Hoening (1998): } \chi^2 = \sum_{p=1}^{m-1} \frac{\left(\sum_{j=1}^{m-p} (n_{p+j,j} - n_{j,p+j}) \right)^2}{\sum_{j=1}^{m-p} (n_{p+j,j} + n_{j,p+j})}$$

Donde $p = j - i$

$$\text{Bowker (1948): } \chi^2 = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \frac{(n_{ij} - n_{ji})^2}{n_{ij} + n_{ji}}$$

Y se seleccion3 el m3s apropiado dependiendo del nivel de precisi3n entre lectores (McBride 2015). Adem3s, para hacer un an3lisis gr3fico del sesgo se trabaj3 con el gr3fico de Bland-Altman con un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) de modo de detectar en que edades se producen los sesgos, utilizando el paquete FSA de R (Campana 2001, Ogle 2015).



Finalmente se revisaron 10 muestras seleccionadas aleatoriamente, en las que las y los lectores marcaron los anillos de invierno y primer *annulus* para luego analizar de forma conjunta la interpretación.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de precisión y sesgo de lecturas

Las lecturas entre las distintas técnicas realizadas por el mismo lector, tuvieron bajos niveles de precisión y una tendencia a leer más anillos en las secciones por parte de todos los lectores (Tabla 3, Figura 1). Esto era de esperarse debido a que los *annuli* son cada vez más difíciles de identificar en los otolitos enteros de individuos longevos.

Tabla 3. Precisión y sesgo entre técnicas por lector. Valores en **negrita** corresponden a sesgo entre técnicas.

	%Coincidencia	CV	APE	BOWKER	EVANS-HOENING	MCNEMAR
CRV	42,00	20,55	14,53	0,437	0,538	0,577
MNS	2,00	81,96	57,96	0,000	0,000	0,000
ESA	52,00	13,56	9,59	0,002	0,000	0,000
FCT	54,00	12,59	8,91	0,360	0,314	0,532
GPP	52,00	7,31	5,17	0,007	0,000	0,000
MAC	14,81	25,52	18,05	0,019	0,001	0,000

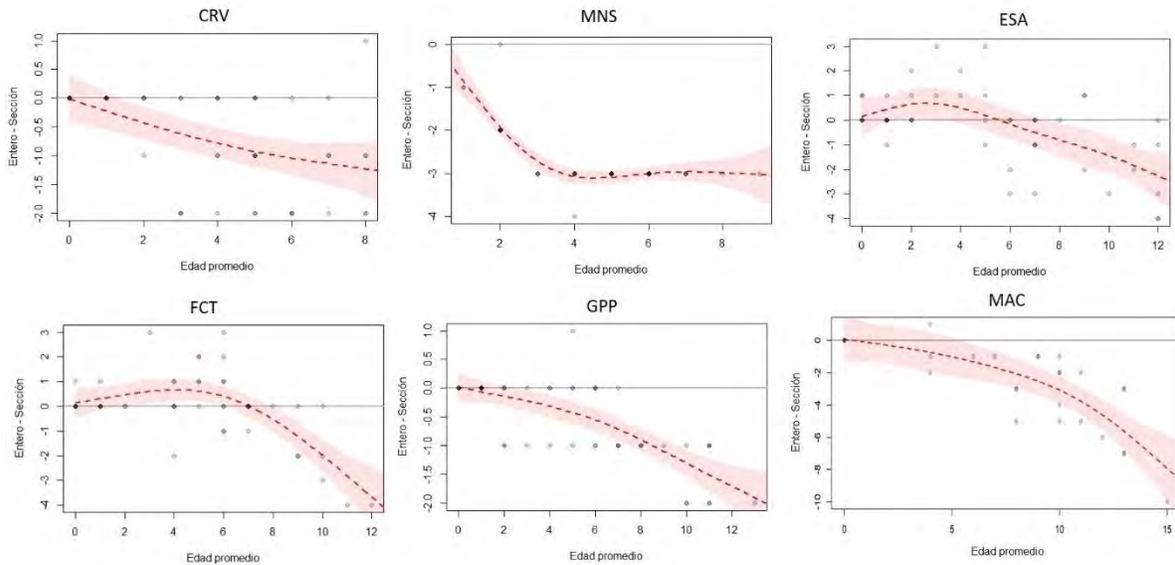


Figura 1. Gráficos de Bland-Altman con GAM para detectar sesgo entre las t3cnicas de lectura. El eje X corresponde al promedio entre la lectura del otolito entero con la secci3n para un mismo individuo. El eje Y corresponde a la diferencia de la lectura del otolito entero con la lectura de la secci3n.

La precisi3n de las lecturas entre lectores fue bastante baja con ambos m3todos (Tabla 4 y 5). Debido a la baja precisi3n de las lecturas entre lectores, se utiliz3 el test de Evans-Hoening ya que es el m3s efectivo para detectar sesgo bajo estas condiciones (McBride 2015), detect3ndose sesgo entre los lectores principalmente debido a diferencias en la asignaci3n de edad de los individuos m3s longevos. En el caso de los lectores entre los que los test no detectaron sesgos, fue posible detectar ciertos niveles de sesgo principalmente en los individuos m3s longevos gracias a los gr3ficos de Bland-Altman (Figuras 2, 3a y 3b).



Tabla 4. Precisión y sesgo en la lectura de otolitos enteros entre lectores. Valores en **negrita** corresponden a sesgo entre los lectores.

	%Coincidencia	CV	APE	BOWKER	EVANS-HOENING	MCNEMAR
CRV-MNS	10	73,32	51,85	0,000	0,000	0,000
CRV-ESA	30	30,64	21,67	0,000	0,000	0,000
CRV-FCT	38	16,28	11,51	0,354	0,540	0,590
CRV-GPP	48	13,53	9,57	0,571	0,232	0,117
CRV-MAC	31,82	28,56	20,19	0,362	0,019	0,028
MNS-ESA	24	48,93	34,6	0,000	0,000	0,000
MNS-FCT	12	71,52	50,57	0,000	0,000	0,000
MNS-GPP	12	68,66	48,55	0,000	0,000	0,000
MNS-MAC	15,91	69,38	49,06	0,004	0,000	0,000
ESA-FCT	26	28,73	20,32	0,002	0,000	0,000
ESA-GPP	34	26,16	18,5	0,010	0,000	0,000
ESA-MAC	18,18	41,86	29,6	0,004	0,000	0,000
FCT-GPP	36	19,68	13,91	0,211	0,665	0,157
FCT-MAC	27,27	24,29	17,18	0,074	0,118	0,157
GPP-MAC	34,09	34,06	24,08	0,172	0,022	0,005
TODOS	11,36	46,47	34,96			

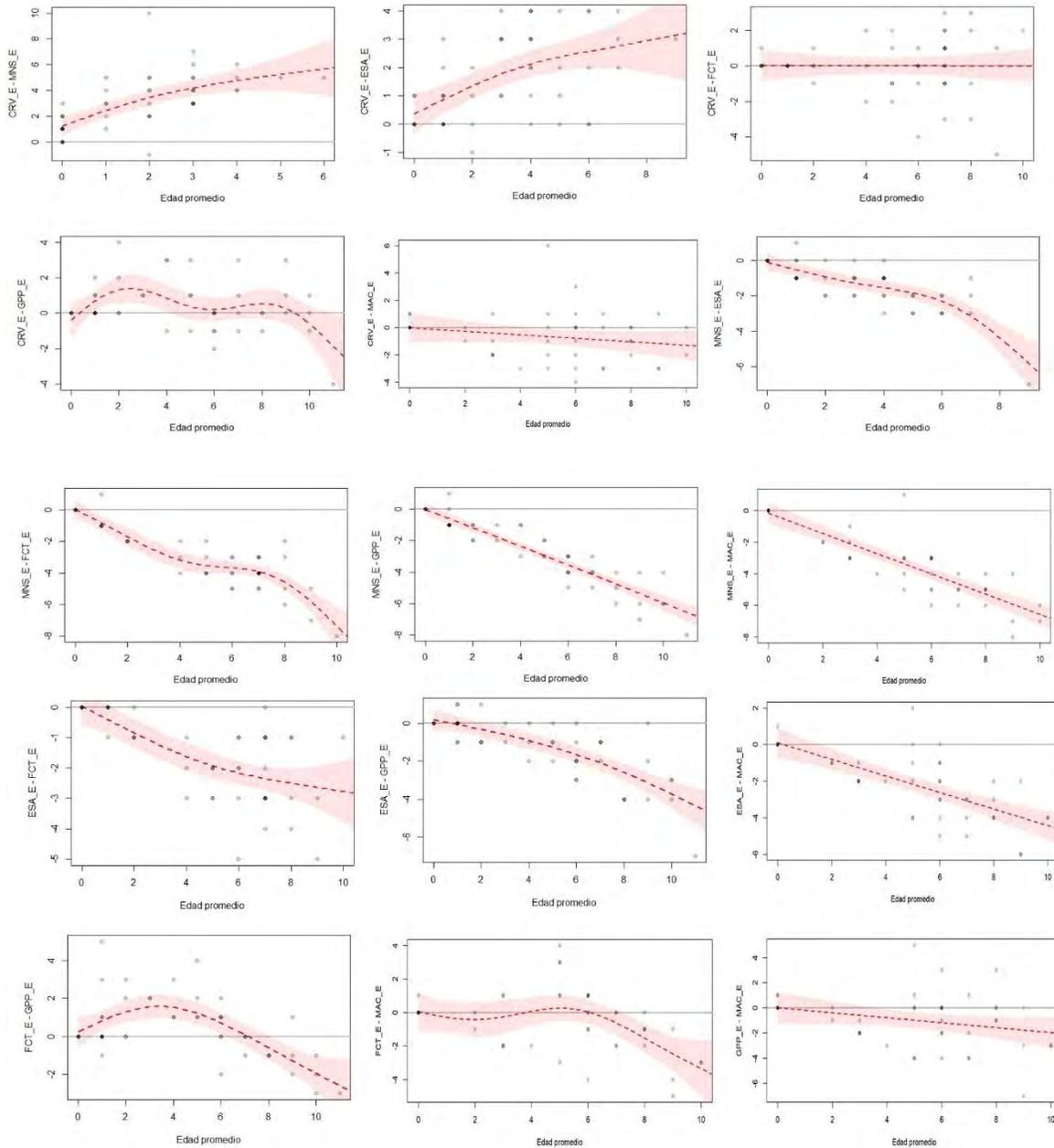


Figura 2. Gráficos de Bland-Altman con GAM para detectar sesgo entre lectores de los otolitos enteros. El eje X corresponde al promedio entre las lecturas del otolito entero de un mismo individuo. El eje Y corresponde a la diferencia de las lecturas entre lectores.



Tabla 5. Precisi3n y sesgo en la lectura de secciones transversales de otolitos entre lectores. Valores en **negrita** corresponden a sesgo entre los lectores.

	%Coincidencia	CV	APE	BOWKER	EVANS-HOENING	MCNEMAR
CRV-MNS	8	42,49	30,05	0,029	0,265	1,000
CRV-ESA	30	29,6	20,93	0,319	0,014	0,000
CRV-FCT	36	21,38	15,12	0,427	0,612	0,724
CRV-GPP	32	22,05	15,59	0,612	0,677	1,000
CRV-MAC	14,81	32,05	22,66	0,029	0,001	0,000
CRV-GMA	28	34,11	24,12	0,451	0,285	0,505
MNS-ESA	28	38,93	27,53	0,024	0,002	0,007
MNS-FCT	20	37,59	26,58	0,077	0,510	1,000
MNS-GPP	22	39,58	27,99	0,060	0,041	0,631
MNS-MAC	7,41	53,26	37,66	0,160	0,008	0,001
MNS-GMA	12	38,76	27,41	0,018	0,025	0,763
ESA-FCT	26	25,99	18,38	0,000	0,000	0,008
ESA-GPP	32	28,2	19,94	0,150	0,031	0,002
ESA-MAC	14,81	43,45	30,73	0,019	0,000	0,000
ESA-GMA	22	35,64	25,2	0,010	0,000	0,000
FCT-GPP	40	19,64	13,98	0,273	0,176	0,465
FCT-MAC	18,52	28,13	19,89	0,040	0,000	0,000
FCT-GMA	32	25,63	18,12	0,642	0,153	0,086
GPP-MAC	14,81	33,15	23,44	0,344	0,034	0,002
GPP-GMA	32	27,78	19,64	0,747	0,288	0,086
GMA-MAC	18,52	35,42	25,04	0,400	0,100	0,003
TODOS	0	59,84	44,68			

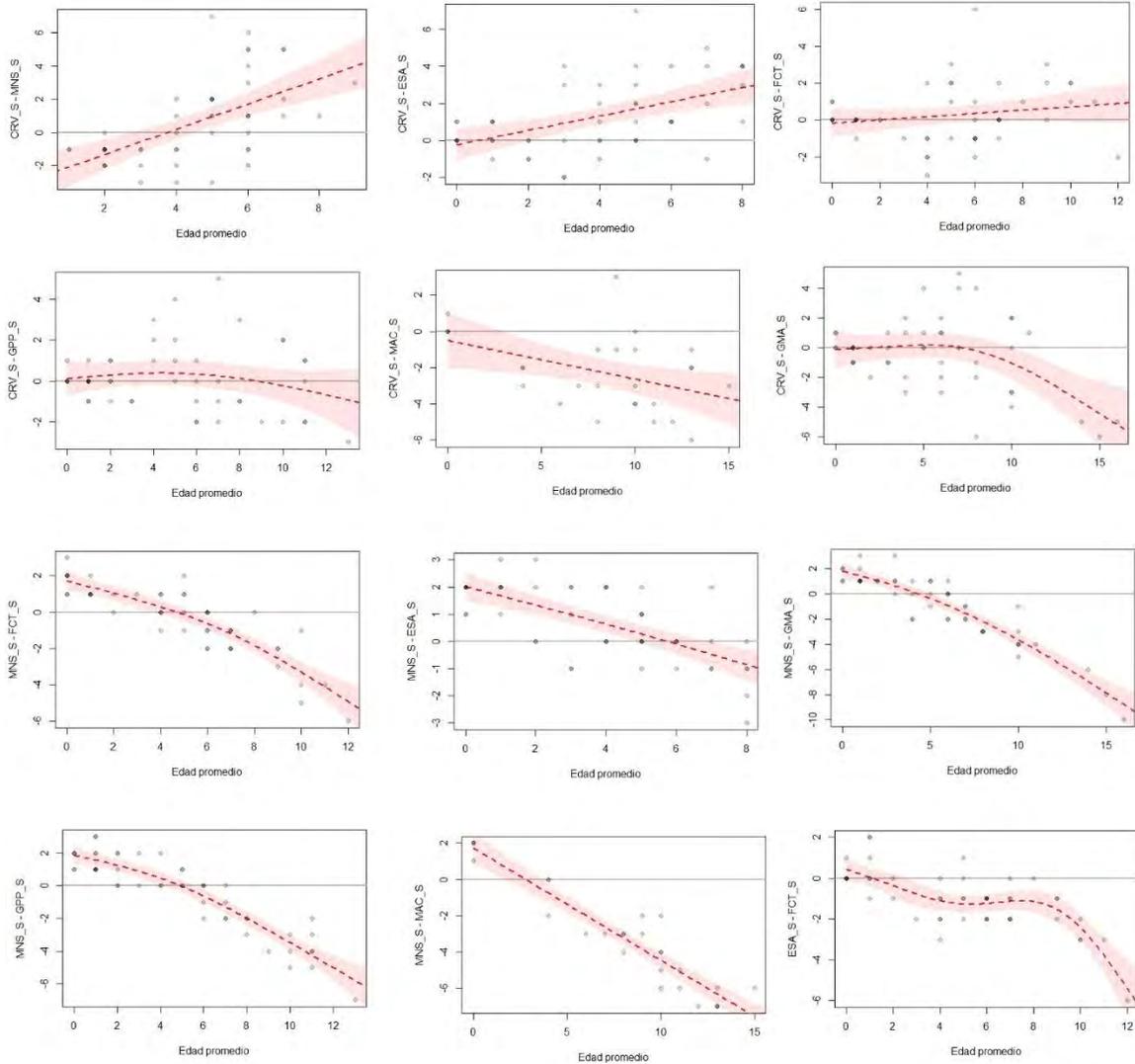


Figura 3a. Gráficos de Bland-Altman con GAM para detectar sesgo entre lectores de las secciones transversales de otolitos. El eje X corresponde al promedio entre las lecturas de la secci3n para un mismo individuo. El eje Y corresponde a la diferencia de las lecturas entre lectores. Continua en figura 3b.

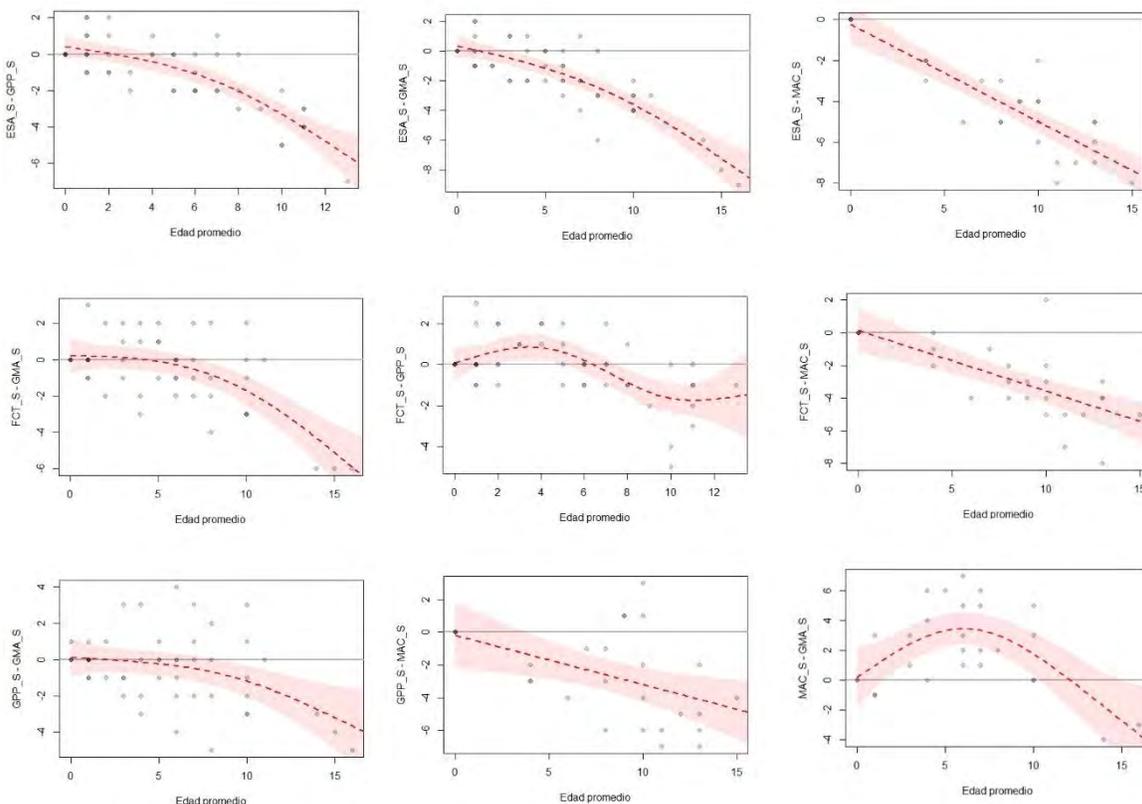


Figura 3b. Gráficos de Bland-Altman con GAM para detectar sesgo entre lectores de las secciones transversales de otolitos. El eje X corresponde al promedio entre las lecturas de la secci3n para un mismo individuo. El eje Y corresponde a la diferencia de las lecturas entre lectores. Continuaci3n de figura 3a.

4.2. Medici3n de radios

4.2.1. Radio total

Las mediciones de radio total no mostraron diferencias significativas entre los lectores (ANOVA, $F:0,33$; $p: 0,92$). Sin embargo, los lectores GMA, GPP y MNS midieron radios m1s grandes, lo que indica una diferencia en el criterio de identificaci3n del n1cleo (Figura 4).

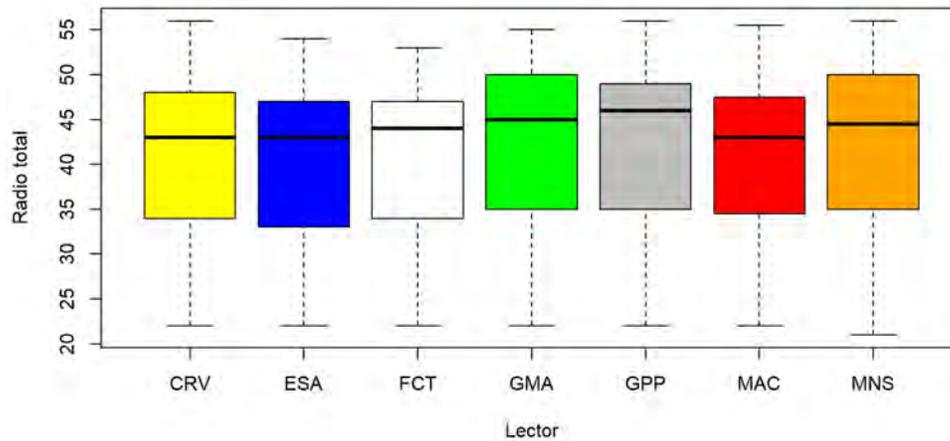


Figura 4. Boxplot de los radios totales (DMO) de los otolitos medidos por cada lector.

4.2.2. Radio Anillo de Invierno

Se encontraron diferencias significativas en la identificaci3n del anillo de invierno (ANOVA, $F: 61,39; p: 0,00$), las cuales corresponden a los lectores GMA, MAC y MNS quienes tendieron a medir radios m1s grandes que el resto de los lectores (Figura 5).

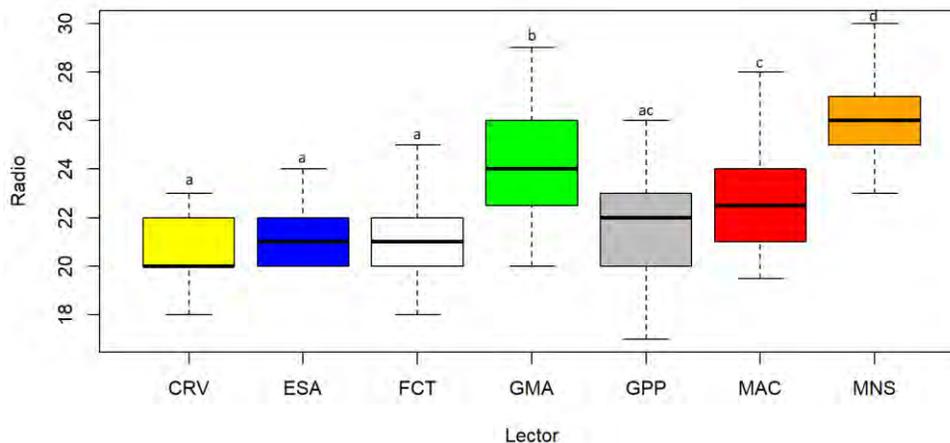


Figura 5. Boxplot de los radios del primer *annulus* (DMO) de los otolitos medidos por cada lector. Letras identifican diferencias significativas.



4.2.3. Radio Primer *Annulus*

Se encontraron diferencias significativas en la identificaci3n del primer *annulus* (ANOVA, F: 42,20; p : 0,00), las cuales corresponden a los lectores GMA, GPP y MNS quienes tendieron a medir radios m1s grandes que el resto de los lectores (Figura 6).

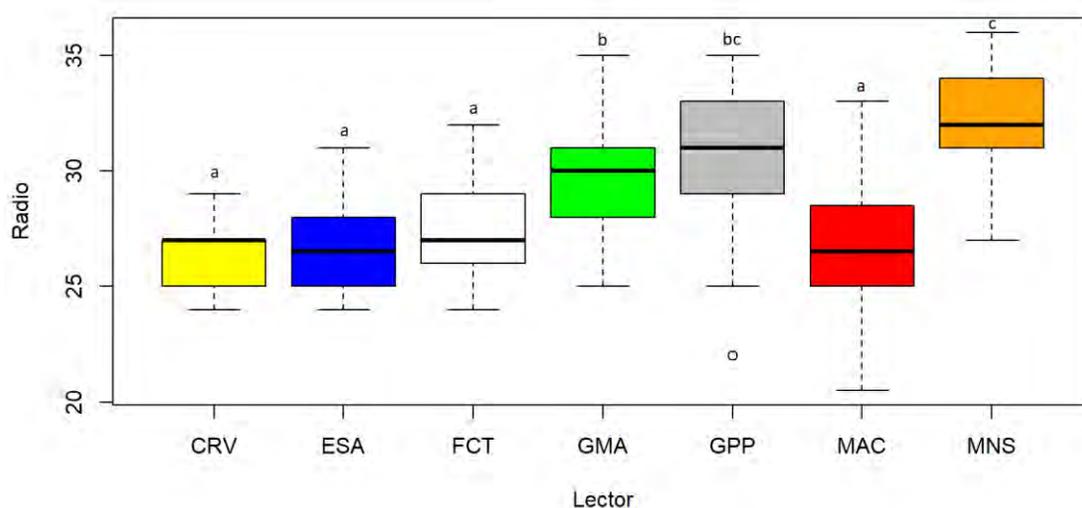


Figura 6. Boxplot de los radios del anillo de invierno (DMO) de los otolitos medidos por cada lector. Letras identifican diferencias significativas.

4.3. Tipo de Borde

La identificaci3n del tipo de borde fue particularmente compleja, encontr1ndose diferencias de criterio grandes entre los lectores y donde predomin3 la asignaci3n de borde hialino independiente del mes (Tabla 6, Figura 7).



Tabla 6. Asignaci3n del tipo de borde por mes.

	n	CRV		MNS		ESA		FCT		GMA		MODA	
		O	H	O	H	O	H	O	H	O	H	O	H
Febrero	5	3	2	1	4	1	4	0	5	3	2	1	4
Marzo	3	1	2	1	2	1	2	0	3	0	3	1	2
Abril	2	2	0	0	2	1	1	0	2	0	2	0	2
Mayo	10	7	3	5	5	5	5	1	9	8	2	5	5
Junio	5	2	3	3	2	3	2	0	5	3	2	1	4
Julio	2	0	2	0	2	1	1	1	1	1	1	0	2
Agosto	7	2	5	0	7	6	1	0	7	3	4	1	6
Septiembre	2	1	1	1	1	1	1	0	2	0	2	0	2
Octubre	9	5	4	0	9	5	4	0	9	5	4	2	7
Noviembre	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Diciembre	3	1	2	1	2	1	2	0	3	2	1	1	2

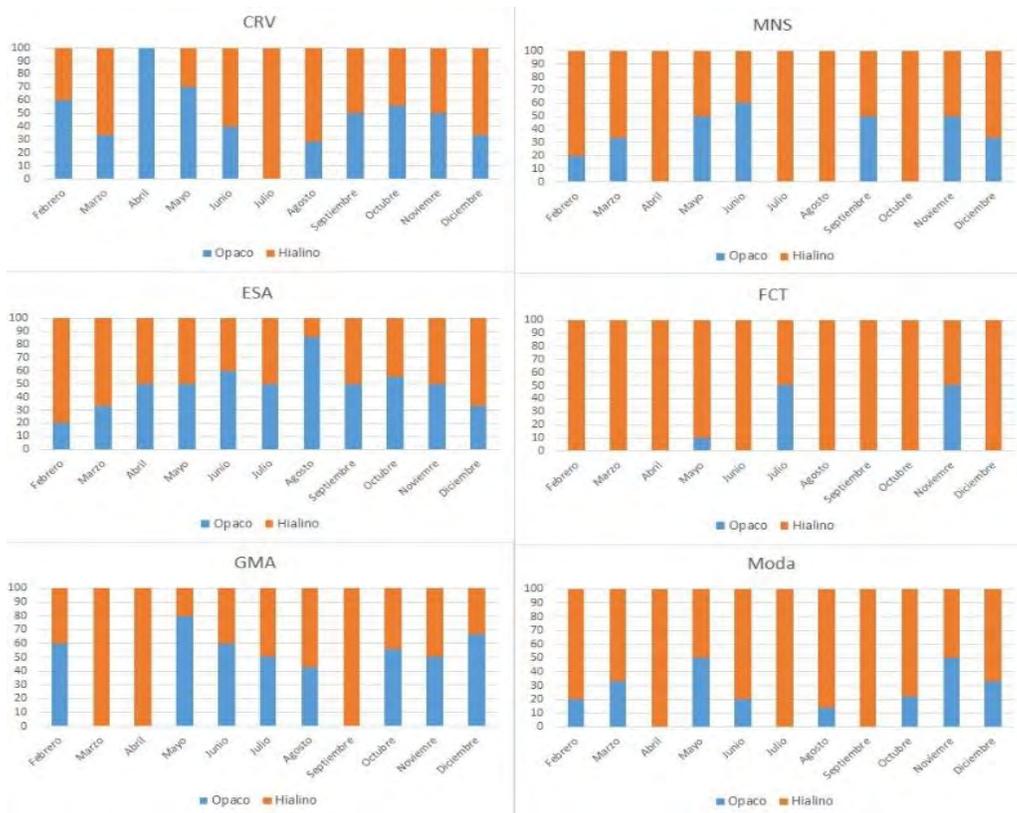


Figura 7. Distribuci3n en porcentaje del tipo de otolito asignado por mes por cada lector. Se incluye la distribuci3n seg3n la moda de tipo de borde asignada a cada otolito. Naranja: Hialino. Celeste: Opaco.

4.4. Interpretaci3n anillo de invierno y primer *annulus*

Luego de que cada lector/a hizo su interpretaci3n, se discutieron los criterios en conjunto llegando a la conclusi3n de que el primer anillo marcado conc3ntrico cercano al n3cleo corresponde al anillo de invierno, y el segundo anillo marcado corresponde al primer *annulus*. Adem3s, se identificaron los principales problemas de identificaci3n de estos anillos. La principal dificultad de interpretaci3n se da en otolitos que tienen anillos dobles, los que consisten en bandas hialinas separadas por una fina banda opaca (Figura 8).

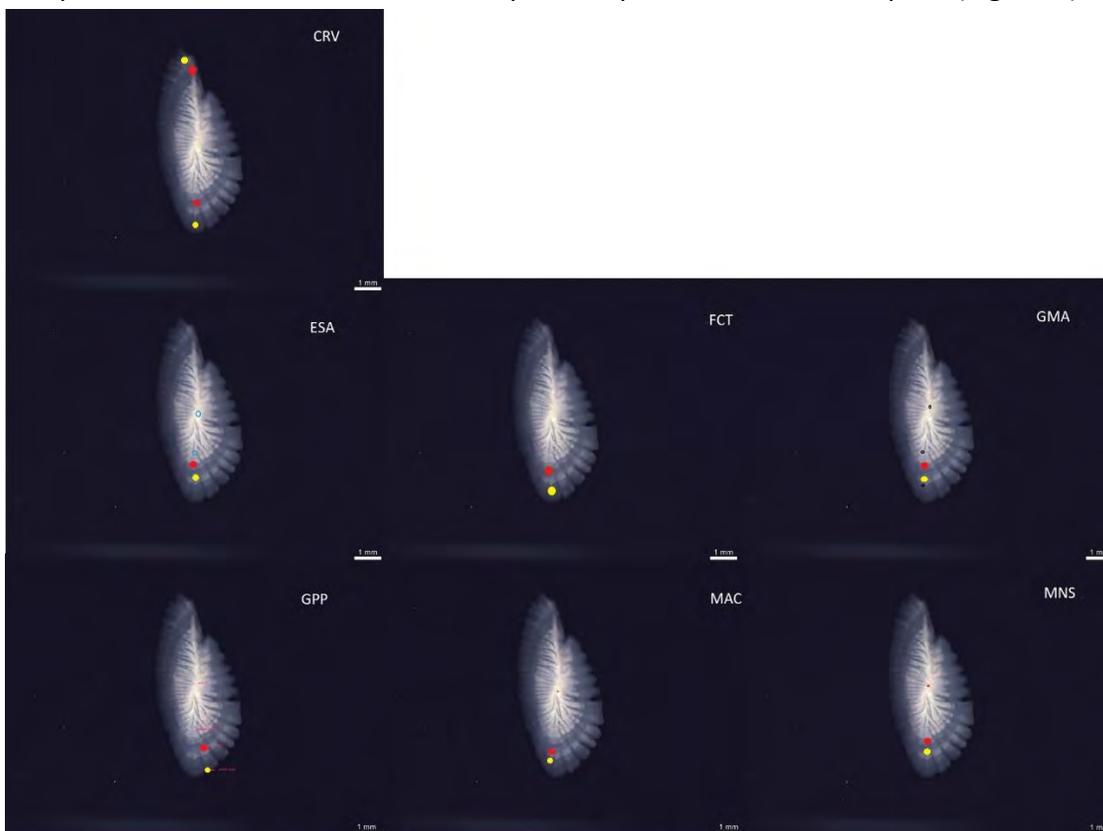


Figura 8. Interpretaci3n de las y los lectores de los anillos del otolito ID 2. En rojo se marca el anillo de invierno y en amarillo el primer *annulus*. El anillo doble de invierno llev3 a una interpretaci3n errada a ESA, GMA, MAC y MNS. Se lleg3 a la conclusi3n que la interpretaci3n de FCT, GPP y CRV es la correcta.

Tambi3n la presencia de anillos falsos y de anillos juveniles bien marcados llevaron a interpretaciones erradas. En el ejemplo de la Figura 9 se puede ver como todos los lectores

tuvieron problemas marcando el anillo de invierno y el primer *annulus* debido a la gran cantidad de anillos falsos en el otolito.

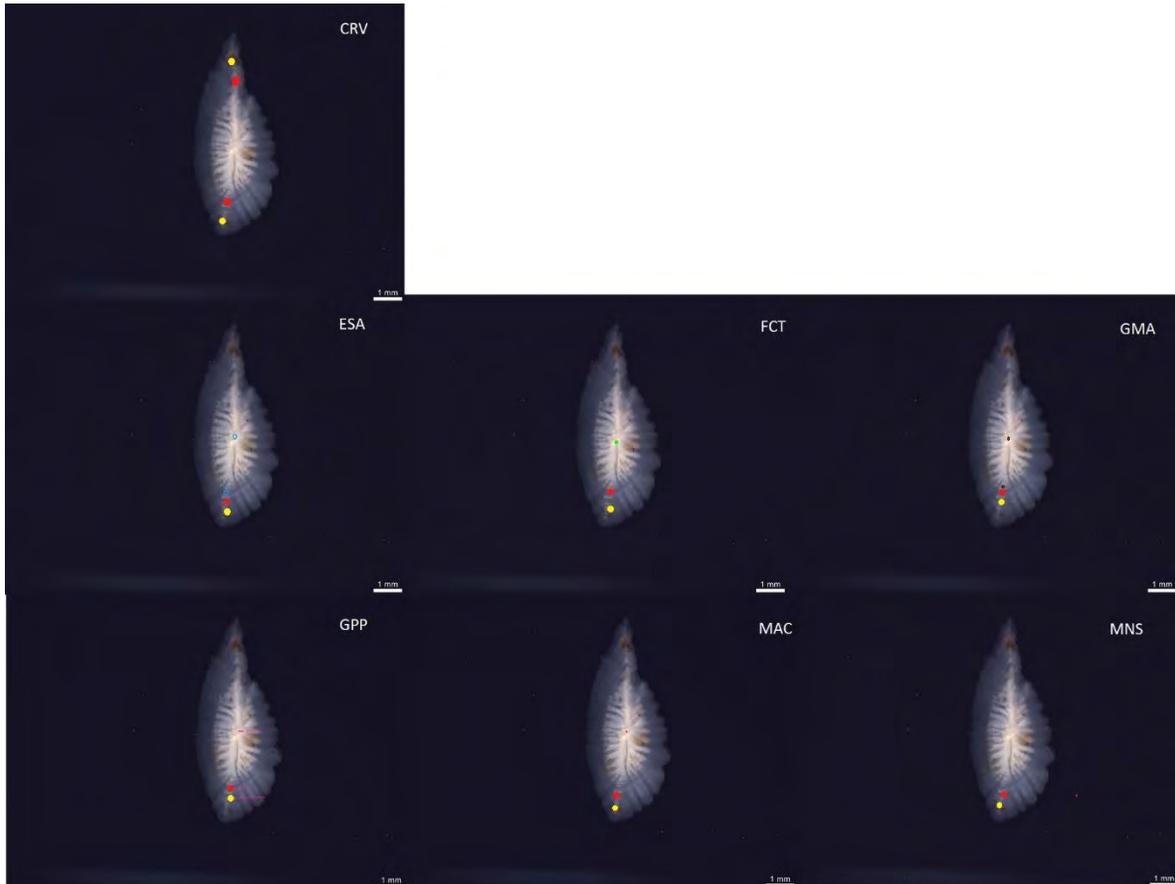


Figura 9. Interpretaci3n de las y los lectores de los anillos del otolito ID 9. En rojo se marca el anillo de invierno y en amarillo el primer *annulus*. La presencia de mltiples anillos falsos llev3 a distintas interpretaciones por parte de los lectores.

Otro factor que contribuy3 a errores en la interpretaci3n, por lo menos al analizar im3genes de los otolitos, fue el aumento o zoom de la imagen. En el ejemplo presentado en la Figura 10, los lectores GMA y MAC interpretaron el primer *annulus* como anillo de invierno, interpretando radios m3s grandes. Esto se debi3 a que las im3genes no les permitieron apreciar el tama1o del otolito, confundiendo el anillo de invierno con un anillo juvenil. El resto de las y los lectores coincidieron en su interpretaci3n y se acept3 como la correcta.

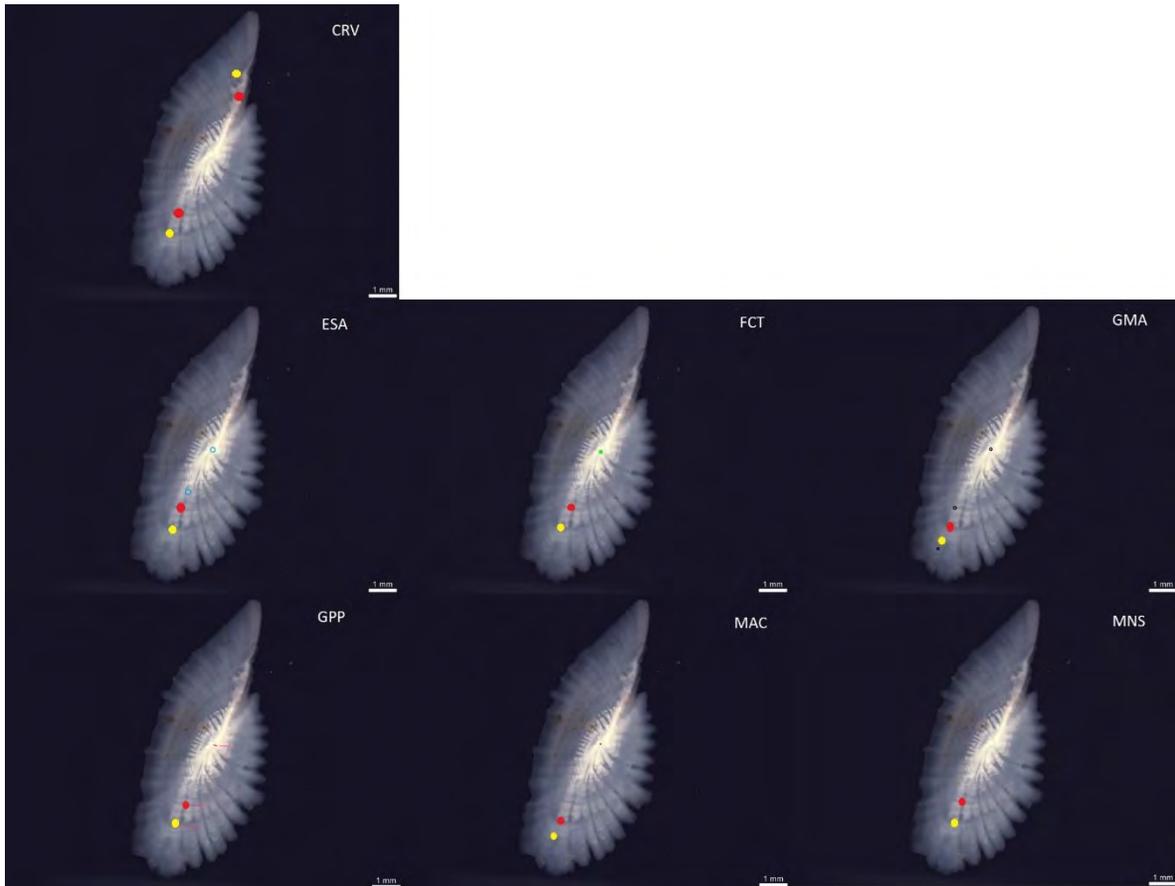


Figura 10. Interpretaci3n de las y los lectores de los anillos del otolito ID 21. En rojo se marca el anillo de invierno y en amarillo el primer *annulus*. Los lectores MAC y GMA perdieron la noci3n del tama1o del otolito debido a la magnificaci3n, lo que los llev3 a marcar anillos m1s lejanos del n1cleo que el resto de los lectores, que tienen un criterio similar y que se concluy3 ser1a el m1s correcto.

5. PRINCIPALES HALLAZGOS

Se constat3 que la precisi3n es m1s alta y el sesgo m1s bajo entre lectores de un mismo laboratorio, sin embargo, estos siguen siendo muy bajos para est1ndares de otras pesquer1as (%Coincidencia > 95%, CV < 5%, APE < 10). Los gr1ficos de Bland-Altman permitieron evidenciar que el sesgo es m1s alto en individuos m1s longevos, esto se debe a que los criterios para identificar los primeros anillos fueron discutidos previamente en un taller realizado el 27 y 28 de enero 2022.



La primera banda marcada concéntrica corresponde al anillo formado en invierno con una periodicidad menor al año. En algunos casos puede estar acompañado de otro anillo muy próximo (doble) separados por una fina banda opaca. Este anillo doble puede llevar a errores en la interpretación del primer *annulus*, con la subsecuente sobreestimación de la edad y diferencia en la medición de los radios.

El segundo anillo marcado corresponde al primer *annulus*. La identificación de este anillo puede verse complicada debido a la gran cantidad de anillos falsos que presentan los otolitos de jurel. La identificación de anillos verdaderos puede apoyarse con el seguimiento del anillo alrededor de todo el otolito, sobretodo en la zona dorsal y del *rostrum*.

La mayoría de las secciones permitieron observar con claridad los *annuli* de peces de mayor edad. Las secciones ayudan a encontrar los anillos que se pierden en la lectura distal del otolito entero, sin embargo, la identificación del anillo de invierno y el primer *annulus* es más complicada.

La prevalencia de anillos falsos hace que la identificación del tipo de borde sea compleja, habiendo poca coincidencia entre lectores incluso después de discutir los criterios de asignación. La mayoría de las veces el borde se identifica como hialino.

Es necesario realizar más ejercicios de reproducibilidad y repetibilidad con criterios consensuados de imágenes entre lectores para mejorar los niveles de precisión y sesgo que existen en la actualidad, los cuales están lejos de los estándares para otras especies.

6. RECOMENDACIONES

- Para identificar el anillo de invierno y primer *annulus* en la sección se recomienda apoyarse con el otolito entero, midiendo el radio de estos en el eje ventral y proyectarlos a la sección. Esta técnica ayuda a ubicar más fácilmente los anillos que no siempre se ven con claridad cercanos al núcleo.
- En secciones de ejemplares longevos se recomienda leer en sector cercano a *sulcus acusticus*, cuando la resolución lo permita. Generalmente esto es posible después del cuarto o quinto anillo, cuando la distancia entre ellos es más regular.
- Realizar un taller online para hacer lectura conjunta de los cincuenta otolitos del ejercicio. Para de seguir afinando los criterios de lectura.



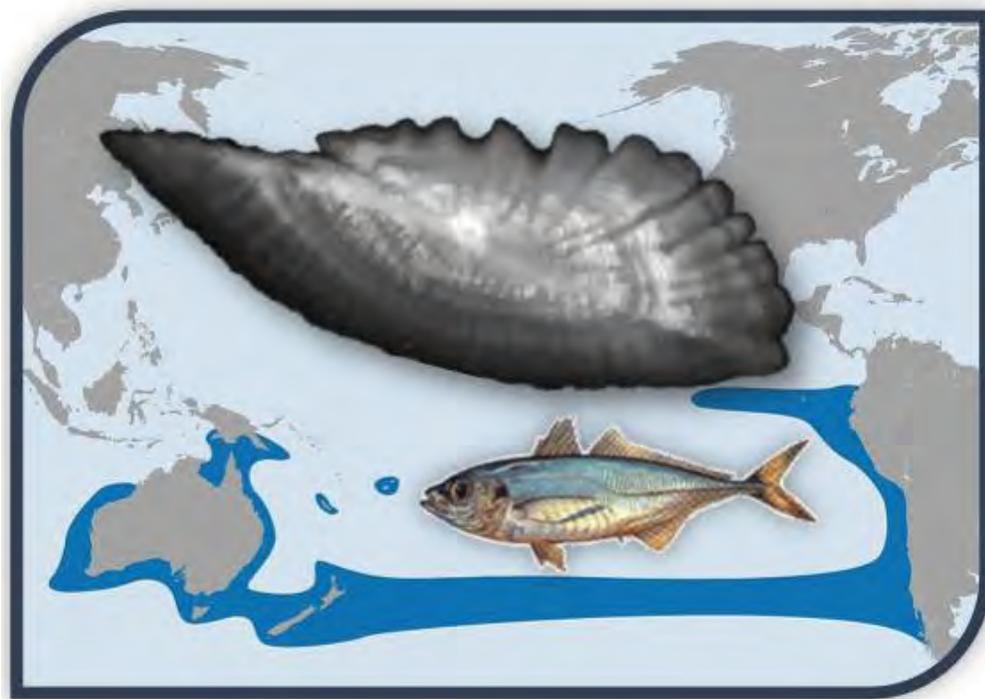
- Realizar un ejercicio de lectura comparativa de otolitos *sagittae* (sección y entero) con otolito *lapillus* en peces longevos.

7. REFERENCIAS

- Araya, M., M. Medina, H. Arancibia. 2003. Preliminary result of empirical validation of daily increments in otoliths of jack mackerel *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) marked with oxytetracycline. *Scientia Marina*, 67(4):471-475.
- Araya M., M. Medina, E. Segovia, J. Peñailillo, M. Avilés, K. Guissen, A. Arcos, J. Charlin, C. Pacheco, G. Plaza, A. M. Galeano, J. Contreras, C. Rodríguez-Valentino, L. Cisterna, A. Sepulveda, M. Neira, E. Sanhueza. 2019. Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel. Informe final FIPA 2017-61.150 pp.
- Arcos D.F, L.Cubillos, S. Nuñez, 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*. Volume 49, Issues 1–4, 2001, Pages 597–617.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59, 197-242.
- Cerna F., C. Valero, G. Moyano, Muñoz, L. (2016). Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Informe Final FIP N° 2014-32. 147 p + anexos.
- Elizarov, A.A., A.S. Grechina, B.N. Kotenev y A.N. Kuzetsov. 1993 Peruvian Jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the Southern Pacific. *Journal of Ichthyology*, 33(3): 86-104.
- Evseenko, S. A. 1987. Reproducción de jurel del Perú *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en el Pacífico Sur. *Voprosy Ichthyologii*, 27(2):264-273.
- Goicochea C, J. Mostacero, P. Moquillaza, T. Dioses, Y. Topiño y R. Guevara-Carrasco. 2013. Validación del ritmo de formación de los anillos de crecimiento en otolitos del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Rev. peru. biol. número especial* 20(1): 053- 060.
- Ogle, D. 2015. *Introductory Fisheries Analyses with R*. doi:10.1201/9781315371986.
- Serra, R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Investigaciones Pesqueras Chile*, 36: 67-83.
- Taylor, P.R., 2002. Stock structure and population biology of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *New Zealand Fisheries Assessment Report 2002/21*. Ministry of Fisheries, Wellington, New Zealand.



Ejercicio Post-Taller Nacional



Junio-Julio 2022



ACTIVIDAD POST-TALLER NACIONAL JUREL FIPA2021-21

Introducci3n

Durante la realizaci3n del taller nacional “Calibraci3n de lectura de *annuli* en otolitos *sagittae* del jurel (*Trachurus murphyi*)” qued3 en evidencia la dificultad de estimar edad esta especie, expresado en los bajos 3ndices de precisi3n y elevado sesgo entre las y los participantes. Debido a esto, es necesario llevar a cabo m3s ejercicios de lectura y reproducibilidad, a modo de perfeccionar lo m3s posible los criterios y reducir al m3ximo la incertidumbre y el sesgo de las lecturas. En consecuencia, como qued3 establecido al cierre del taller nacional, se realizar3 una actividad post-Taller con este fin.

Actividades

En la presente actividad, se volver3n a leer los 50 otolitos trabajados durante el taller nacional, esta vez de forma digital. Se compartir3 la carpeta “Ejercicio post-Taller Nacional” que contiene la carpeta “Im3genes otolitos Taller Nacional” la cual cuenta con 100 im3genes, 50 correspondientes a los otolitos enteros y 50 de las respectivas secciones. Las y los participantes deber3n medir los radios de los principales anillos en el otolito entero con el programa “Image-pro plus” en el eje caudal del otolito, desde el n3cleo al borde m3s distante. Los anillos a medir ser3n el anillo de invierno y primer *annulus* adem3s del radio total del otolito, con la herramienta “Caliper”. La interpretaci3n de estos anillos debe realizarse en base a los criterios acordados durante el taller nacional, los cuales son:

Anillo de invierno: Primer anillo marcado cerca del n3cleo. En algunos casos puede estar acompa3ado de otro anillo muy pr3ximo (doble) separados por una fina banda opaca.

Primer *annulus*: Segundo anillo marcado. La identificaci3n de este anillo puede verse complicada debido a la gran cantidad de anillos falsos. La identificaci3n de anillos verdaderos puede apoyarse con el seguimiento del anillo alrededor de todo el otolito, sobretodo en la zona dorsal y del *rostrum*.

Los anillos deber3n ser marcados utilizando la herramienta “Manual Tag” con el cuadrado relleno (fl.sq.) color **ROJO** para el anillo de invierno, y el punto (dot) color **VERDE** para los *annuli*. Las y los participantes deber3n guardar una imagen con su interpretaci3n de los anillos en las carpetas con sus iniciales contenidas en la carpeta “Ejercicio post-Taller Nacional”. Las im3genes tanto de otolitos enteros como secciones deber3n leerse con zoom de m3nimo 50% a m3ximo 100% para evitar problemas en la identificaci3n de anillos.

Adem3s, las y los participantes deber3n interpretar el tipo de borde, marcando en la planilla de trabajo (Fig. 1) con “H” en caso de borde hialino y “O” en caso de borde opaco. Se sugiere que, en caso de peces j3venes (< 5 anillos), interpretar respecto de la distancia con el 3ltimo



annulus identificado. Por ejemplo, si el borde es hialino, pero está muy próximo al *annulus*, es probable que se trate de un anillo falso. En peces longevos (> 5 anillos), la aparición de anillos falsos es menos frecuente, por lo que se interpretará el borde como se ve. También puede contrastarse el otolito entero junto con la sección para tener mayor claridad al respecto.

Las y los participantes deberán calificar la calidad de la imagen (M: mala calidad, R: calidad regular, B: Buena calidad, MB: Muy buena calidad), y si lo desean podrán agregar comentarios respecto de la muestra considerando: la dificultad de lectura, resolución de anillos, presencia de anillos falsos o dobles, etc.

En el caso de las secciones, las y los participantes deberán marcar los anillos con la herramienta “Manual Tag” y guardar una imagen con su interpretación. Pueden apoyarse en el otolito entero para identificar los primeros anillos en la sección. En secciones de ejemplares longevos se recomienda leer en sector cercano al *sulcus acusticus*, cuando la resolución lo permita. Generalmente esto es posible después del cuarto o quinto anillo, cuando la distancia entre ellos es más regular.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	RT	RI	RA1	ANNULI ENTERO	Tipo Borde	Calidad ENTERO	Comentarios ENTERO	ANNULI SECCIÓN	Calidad SECCIÓN	Comentarios SECCIÓN
2	1										
3	2										
4	3										
5	4										
6	5										
7	6										
8	7										
9	8										
10	9										
11	10										

Figura 1. Planilla de trabajo post-Taller Nacional. Cada lector/a deberá ingresar las mediciones de los radios, número de *annuli*, tipo de borde, calidad de imagen y comentarios para otolitos **ENTEROS**. Para las **SECCIONES** solo se ingresará número de *annuli*, calidad de imagen y comentarios.

Una vez que las y los participantes hayan terminado sus lecturas, se realizará una reunión virtual para analizar los resultados y discutir los criterios de lectura e interpretación de borde.



Se adjunta el “MANUAL Image-Pro Plus EJERCICIO POS-TALLER NACIONAL” para utilizar las herramientas indicadas en la metodología de modo que puedan realizar las actividades descritas sin problemas.

PARTICIPANTES

Profesional	Cargo	Afiliación
Guillermo Moyano A.	Investigador/Lector	Instituto de Fomento Pesquero
Miguel Araya C.	Investigador/Lector	Universidad Arturo Prat
Evelin Sanhueza A.	Investigador/Lector	Instituto de Investigación Pesquera
Marcia Neira S.	Investigador/Lector	
Lizandro Muñoz R.	Lector experimentado	Instituto de Fomento Pesquero
Camilo Rodríguez V.	Investigador/Lector	

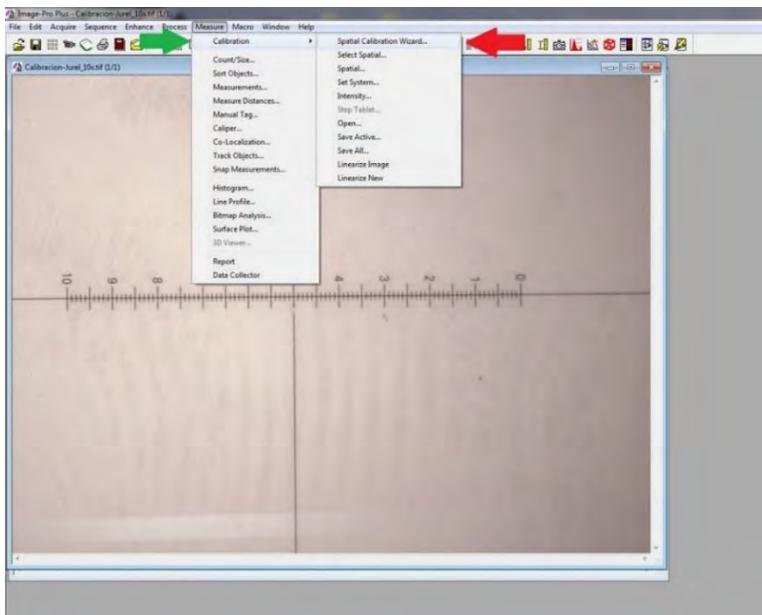
Manual Image-Pro

MANUAL Image-Pro Plus EJERCICIO POS-TALLER NACIONAL

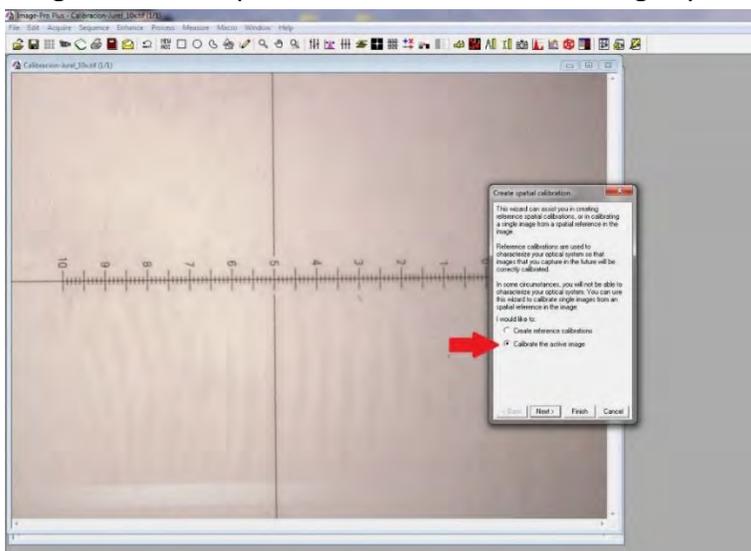
Camilo Rodríguez Valentino

TUTORIAL DE CALIBRACIÓN

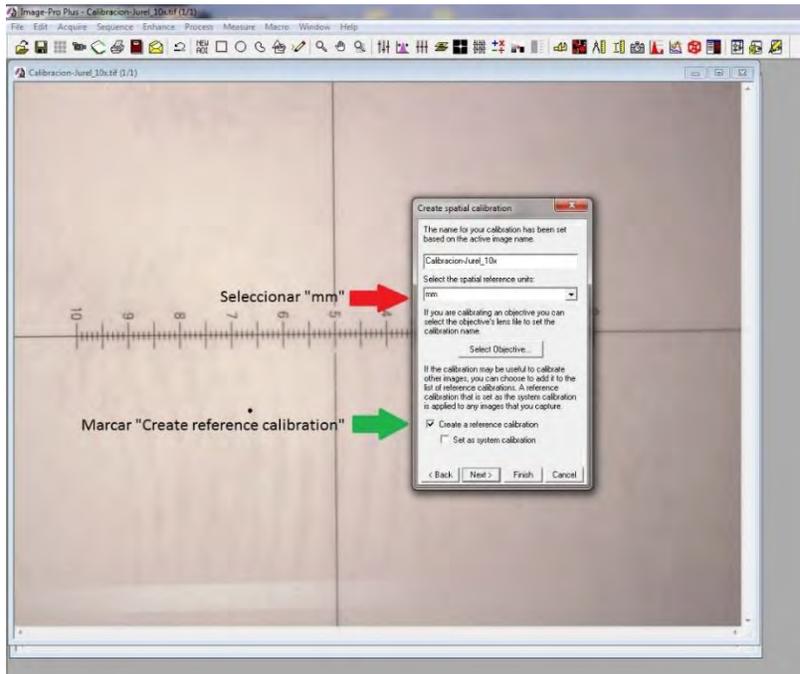
Una vez abierto el programa, se debe abrir la imagen “Calibración-Jurel_10x” de la carpeta “Ejercicio post-Taller nacional”. Ya abierta la imagen, deben hacer click en la pestaña “Measure” -> “Calibration” -> “Spatial Calibration Wizard” .



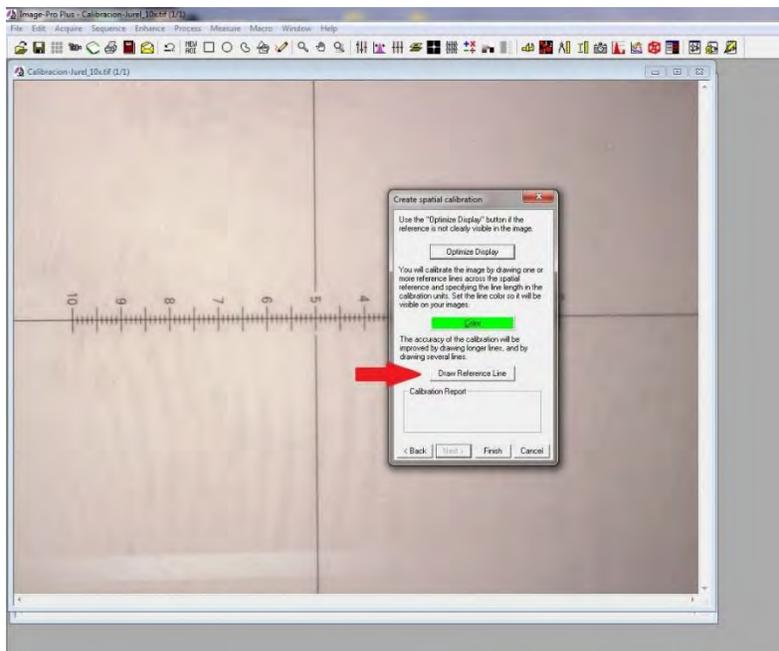
Luego marcar la opci3n "Calibrate the active image" y hacer click en next.



En la siguiente vista se puede cambiar el nombre de la calibraci3n (si no se cambia, la calibraci3n quedar3 con el nombre de la imagen activa por defecto), se selecciona el tipo de unidades (mm en nuestro caso) y se debe marcar "Create a reference calibration" para que image pro plus guarde la calibraci3n, de lo contrario, 3sta no se guardar3. Hacemos click en next.



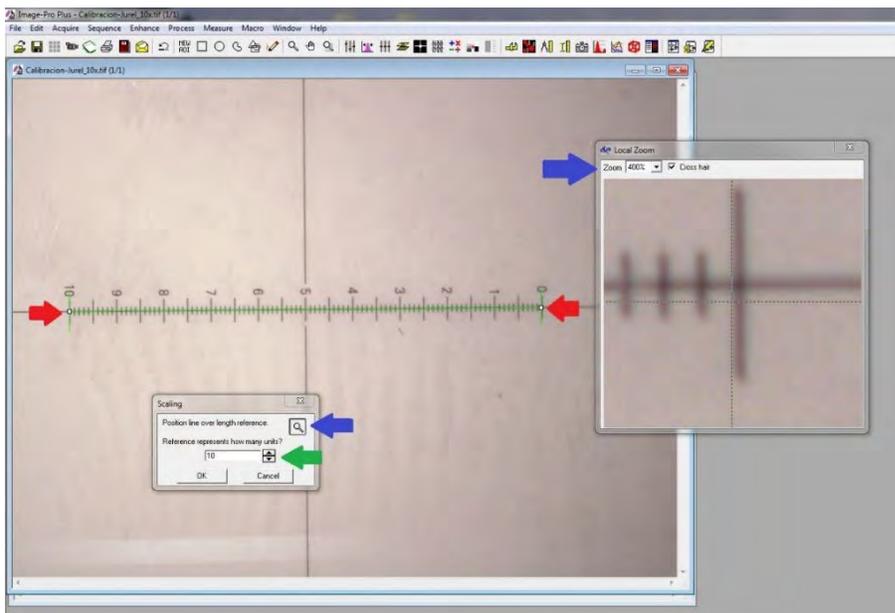
Ahora debemos seleccionar “Draw Reference Line”.



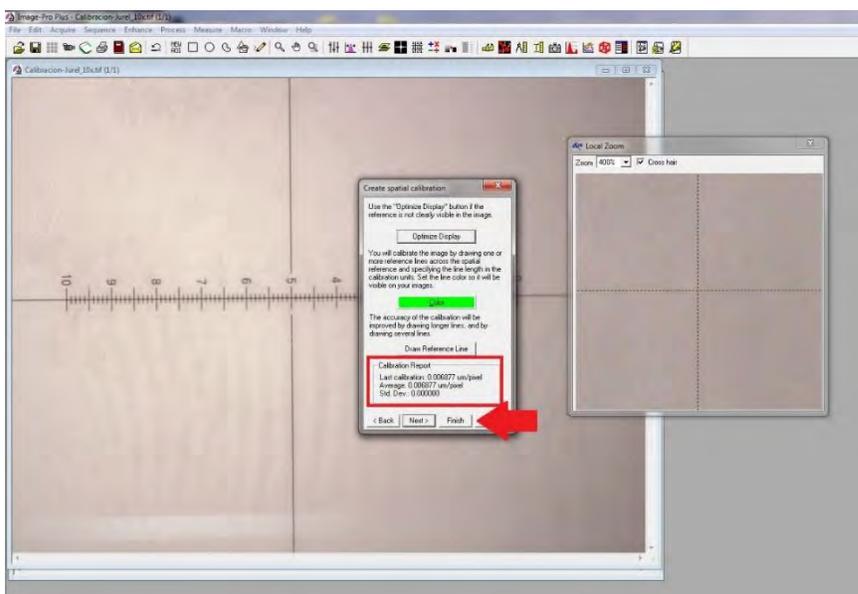
Se debe ajustar la lnea de referencia a la reglilla de la imagen activa. La reglilla mide 10 mm por lo que si abarcamos la reglilla completa debemos seleccionar 10 unidades. En caso de calibrar la imagen de 20x la reglilla no entrara completa, por lo que debern ajustar este



número dependiendo de la cantidad de unidades que abarque la línea de referencia. Para hacer un ajuste más preciso, se pueden ayudar presionando el icono de lupa, lo que abrirá un zoom en vivo. Una vez dibujada la línea de referencia, hacemos click en “ok”.

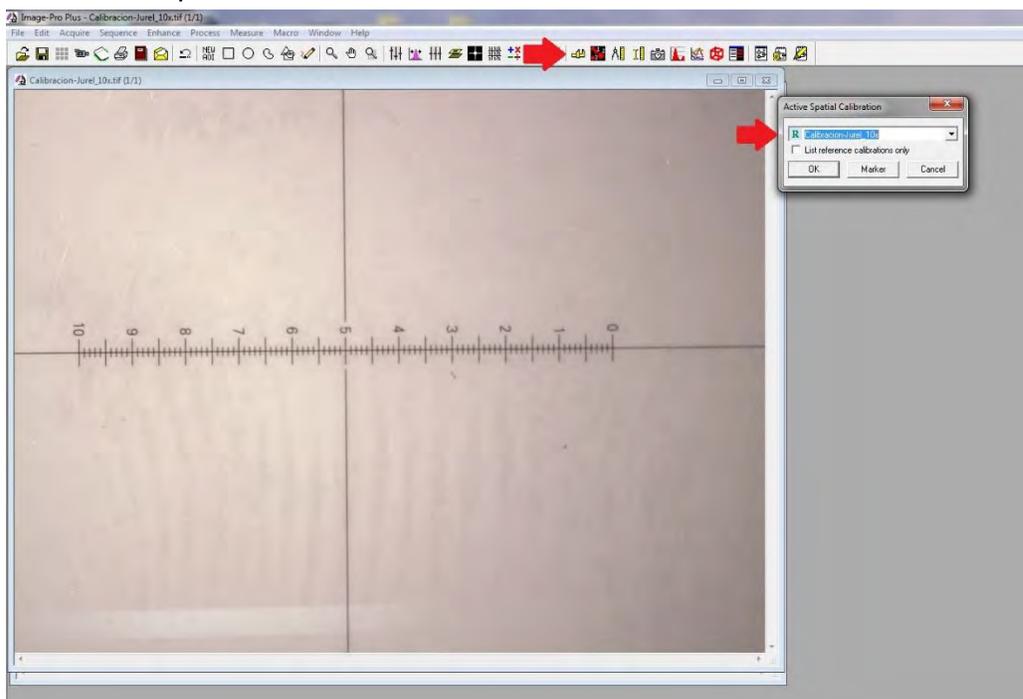


Ahora la ventana nos mostrará los detalles de nuestra calibración, que debería ser de aproximadamente 0,0068 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ para 10x y 0,0035 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ para 20x. Damos click en “Finish”.





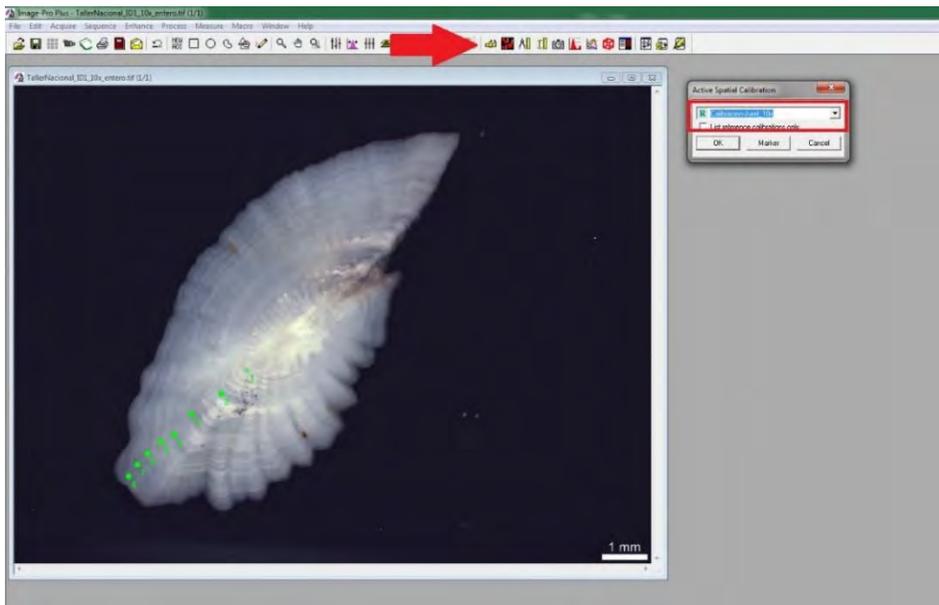
Ahora podemos seleccionar nuestra calibraci3n haciendo click en el icono de “pie de metro” amarillo. Image-pro plus ya guard3 la calibraci3n y estar3 a disposici3n cuando la necesitemos para medir los radios de los otolitos.



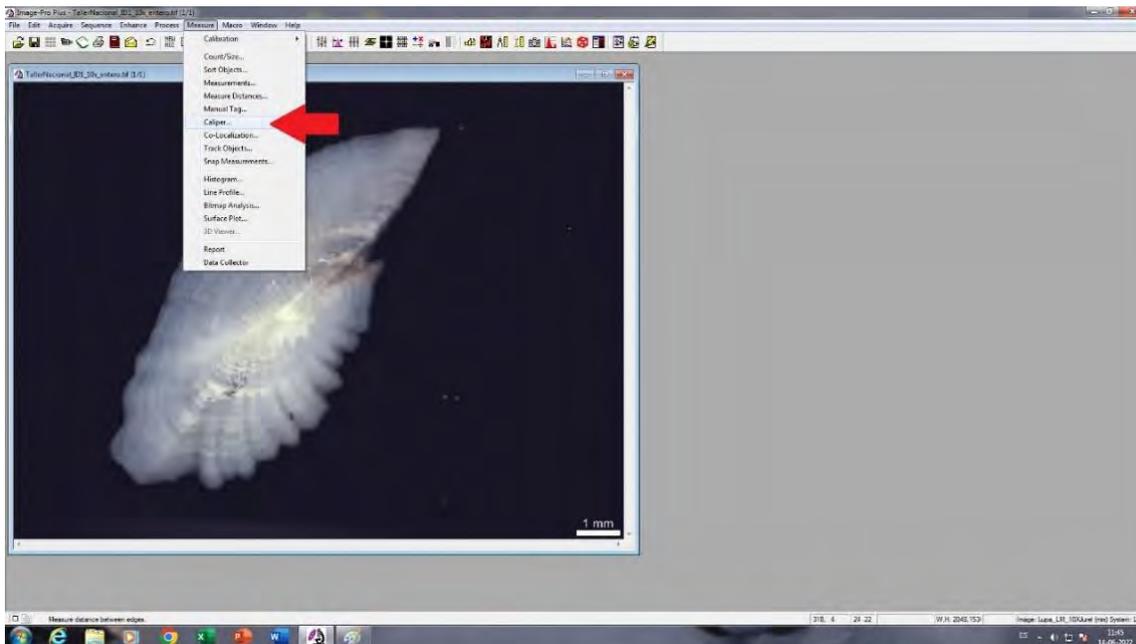


TUTORIAL HERRAMIENTA “CALIPER”

Primero debemos abrir la imagen del otolito a medir, y luego seleccionar la calibraci3n correspondiente al aumento de la imagen.

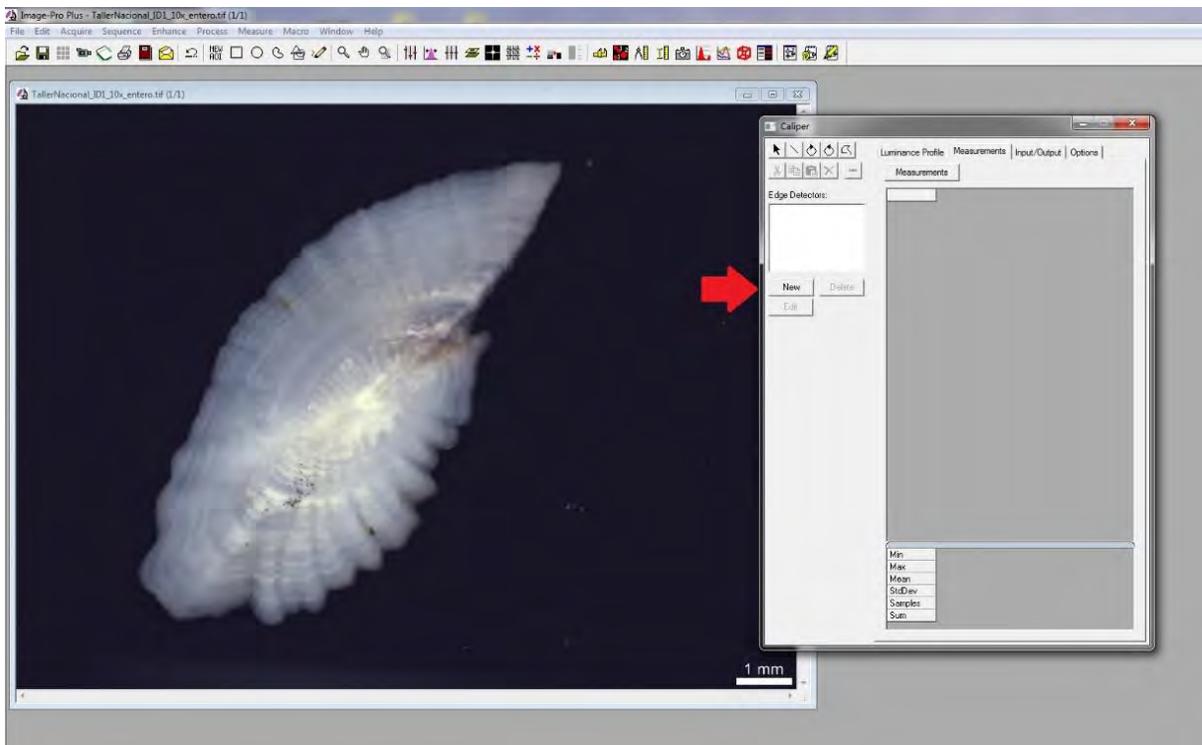


Para la medici3n de los radios usaremos la herramienta “Caliper”, la que se encuentra en la pestaña “Measure”.

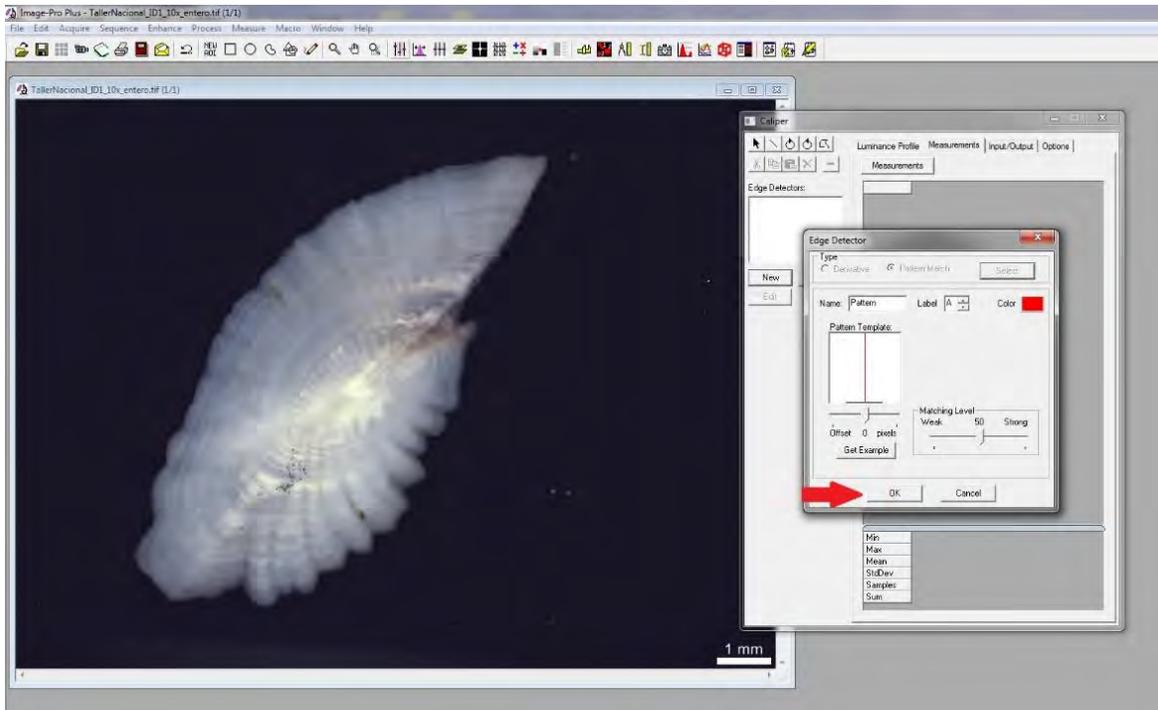
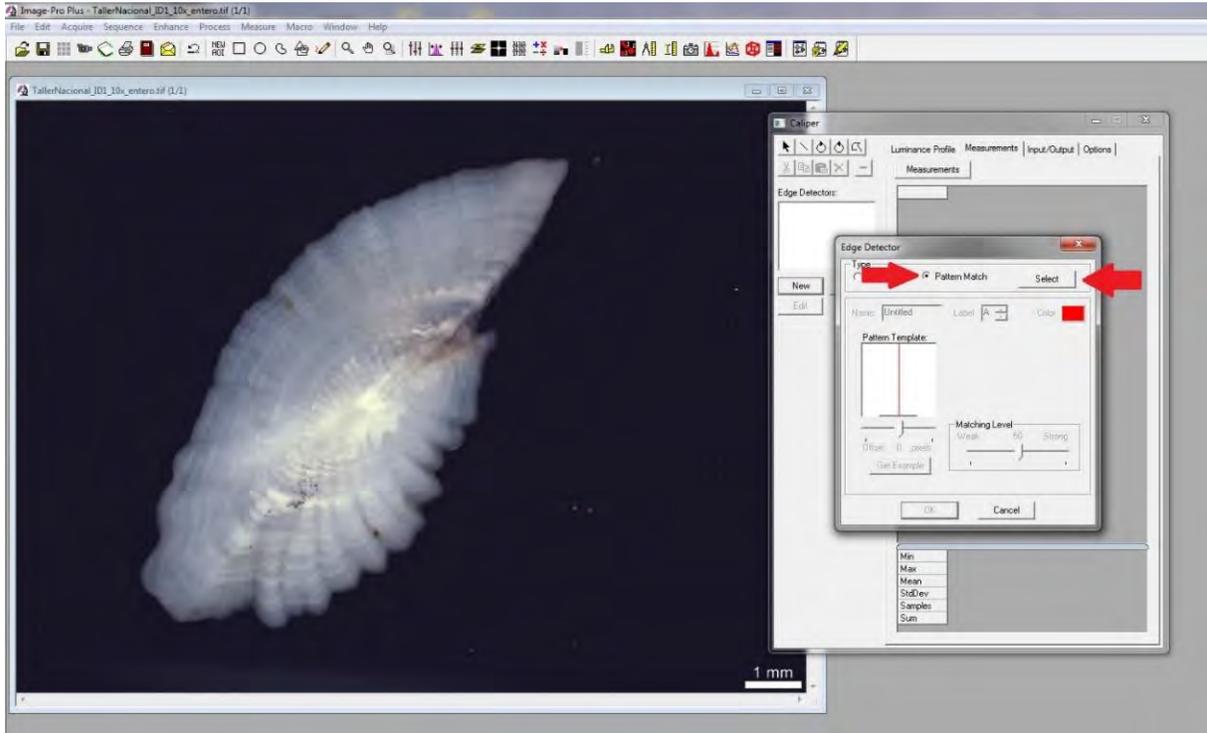




Se abrir3 una ventana donde debemos dar click en "New".

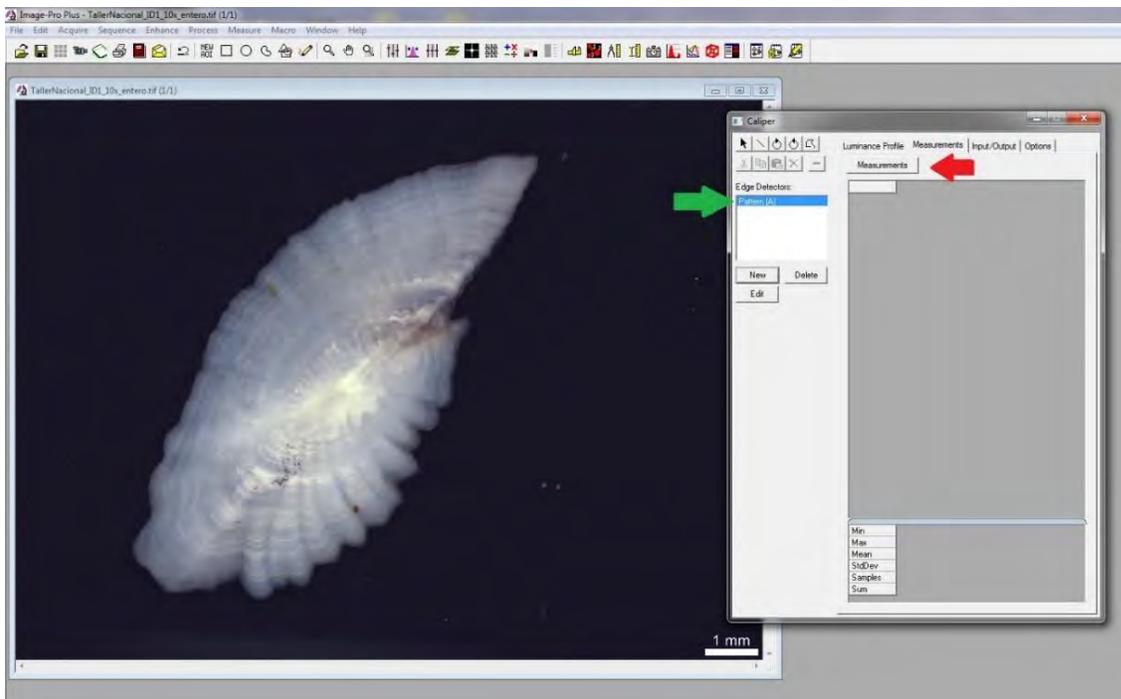


En la nueva ventana seleccionamos "Pattern match" y damos click en "Select" y luego en "ok"

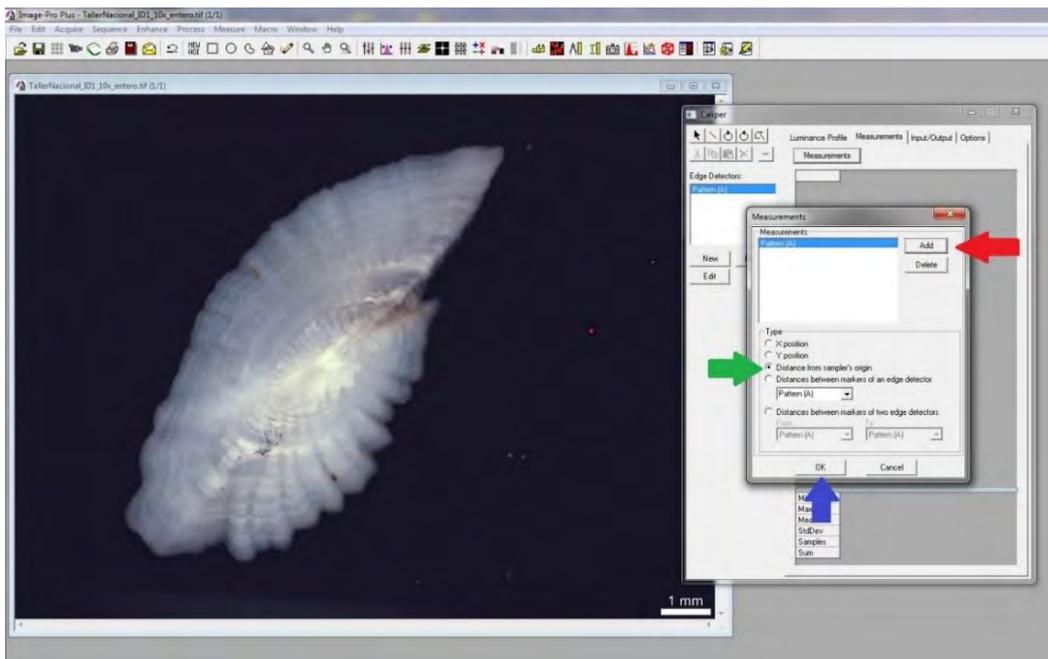




Ahora seleccionamos “Measurements”

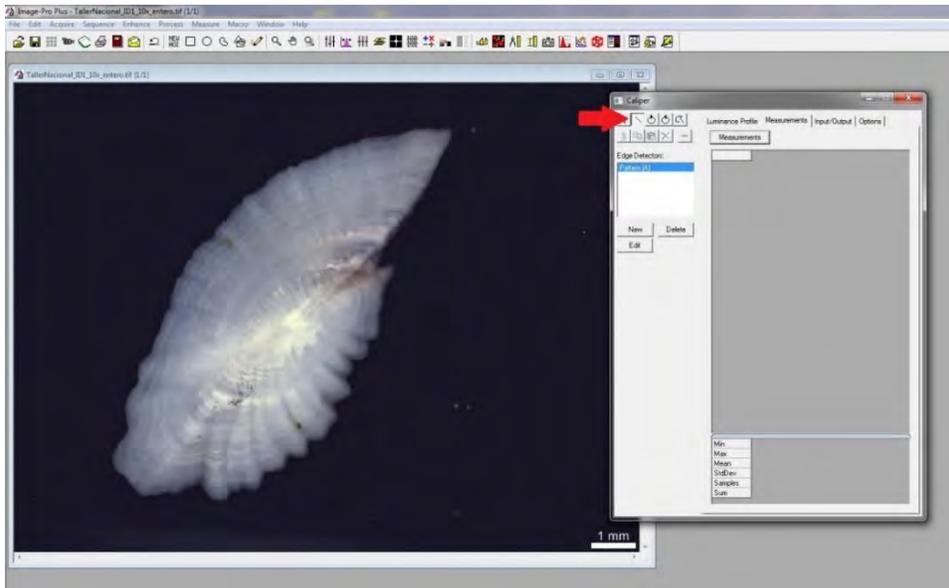


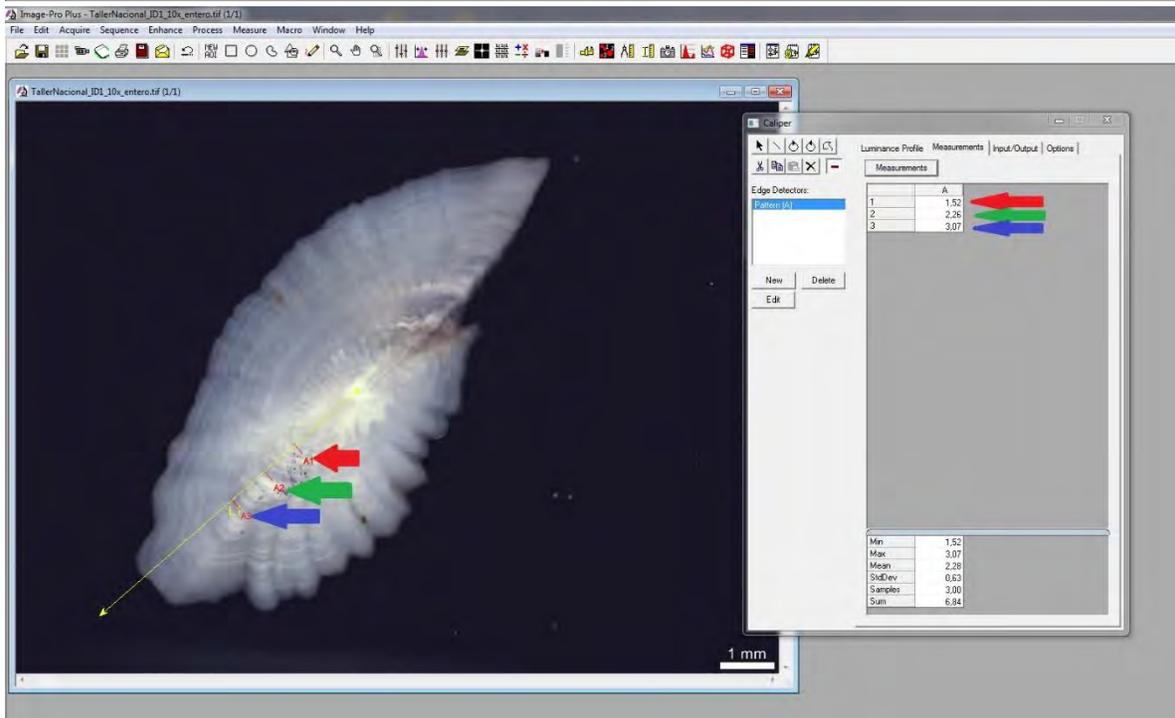
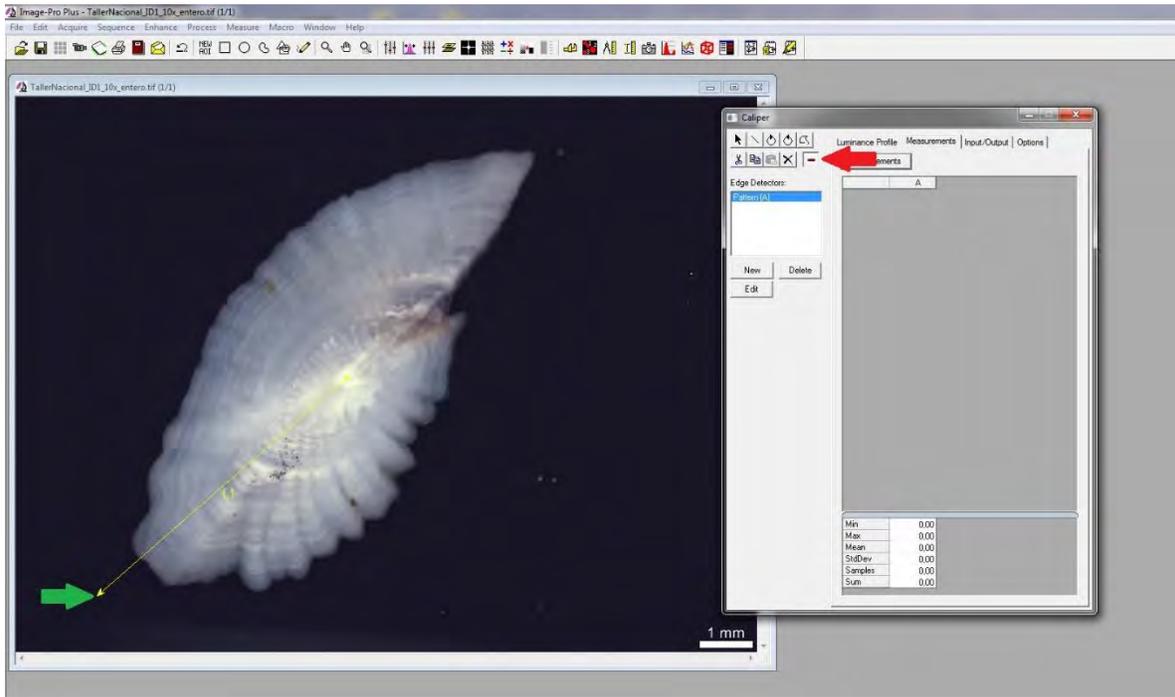
Damos click en “Add”, seleccionamos la opci3n “Distance from sampler’s origin” y damos click en “ok”. Este proceso debe repetirse cada vez que se cierre el programa.





Ahora debemos trazar el transecto donde realizaremos las mediciones. Para eso seleccionamos el 3cono con una raya oblicua. Hacemos click en el n3cleo del otolito y trazamos la l3nea hasta pasado el borde de la cauda. Una vez trazada la l3nea podremos seleccionar el 3cono de la raya horizontal roja para marcar los radios. En caso de querer borrar una marca, basta con volver a hacer click sobre la marca que se desea borrar. **No olvidar marcar el radio total del otolito.**



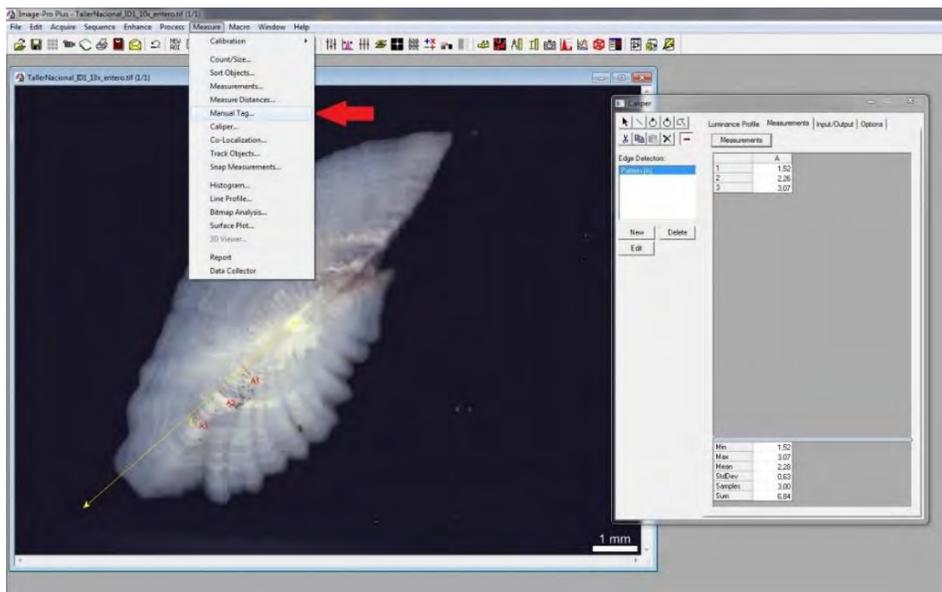


En caso de que hayan olvidado seleccionar la calibraci3n al principio, image-pro plus entregará la medici3n en píxeles.

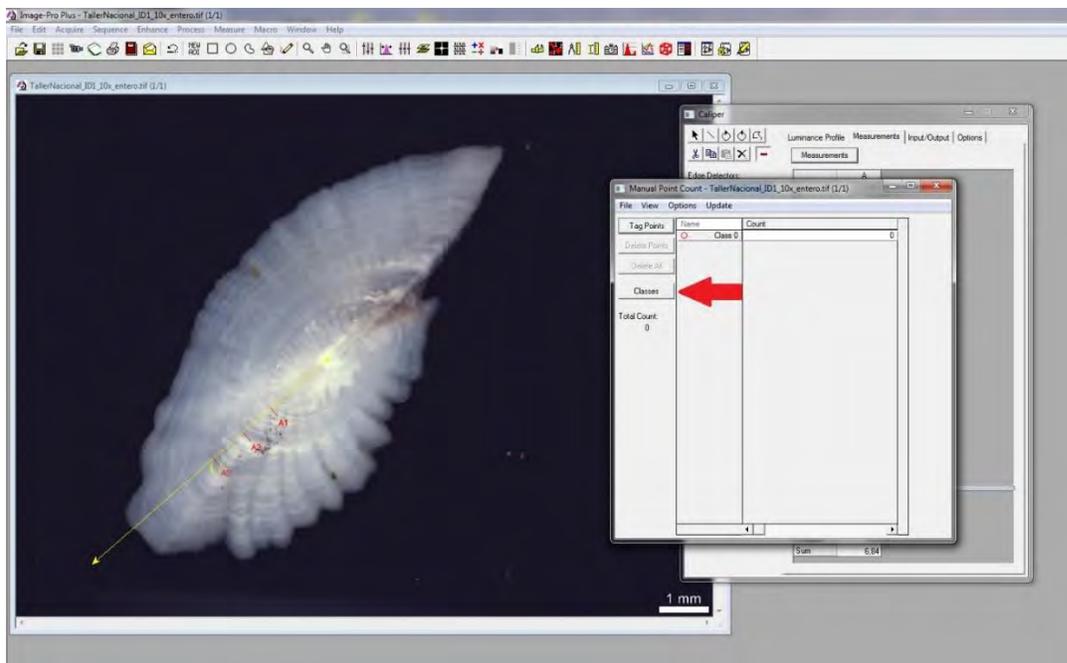


TUTORIAL HERRAMIENTA “MANUAL TAG”

La herramienta “Manual Tag” también se encuentra dentro de la pestaña “Measure”

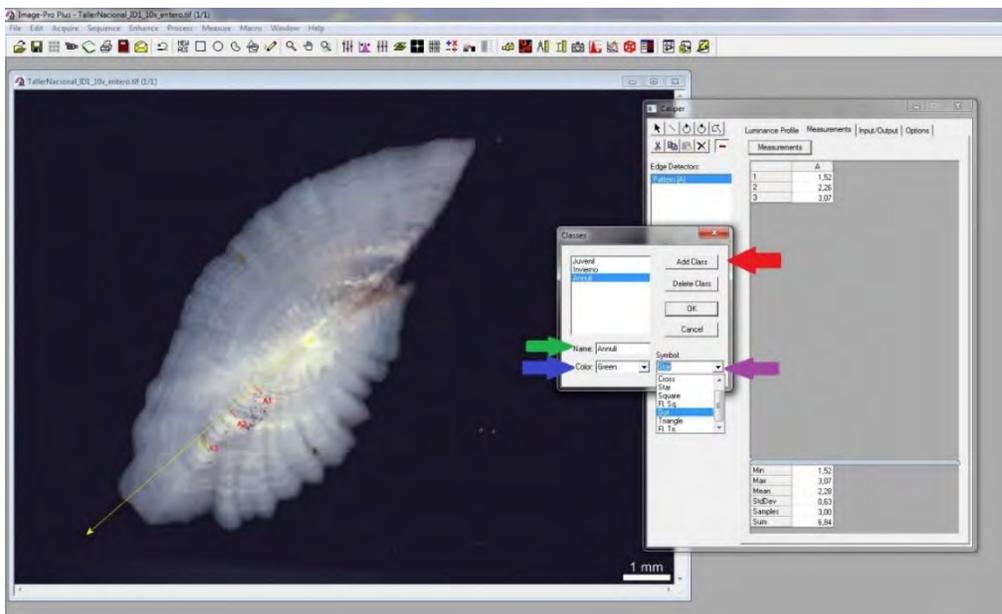


Al seleccionarla se abrirá una pequeña ventana. Hacer click en “Classes”.

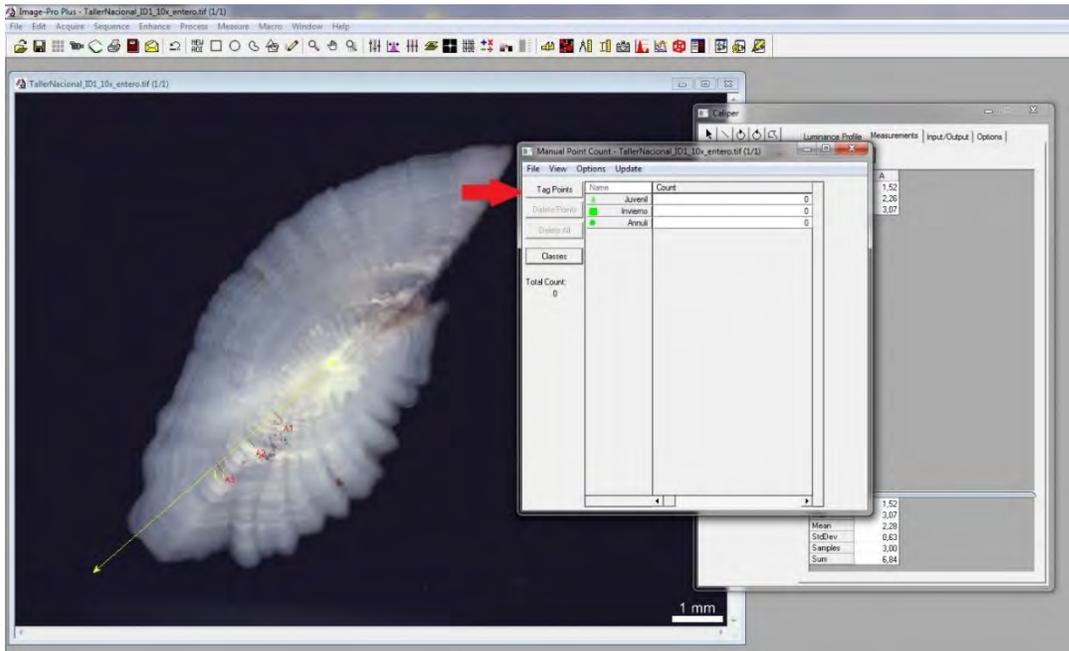




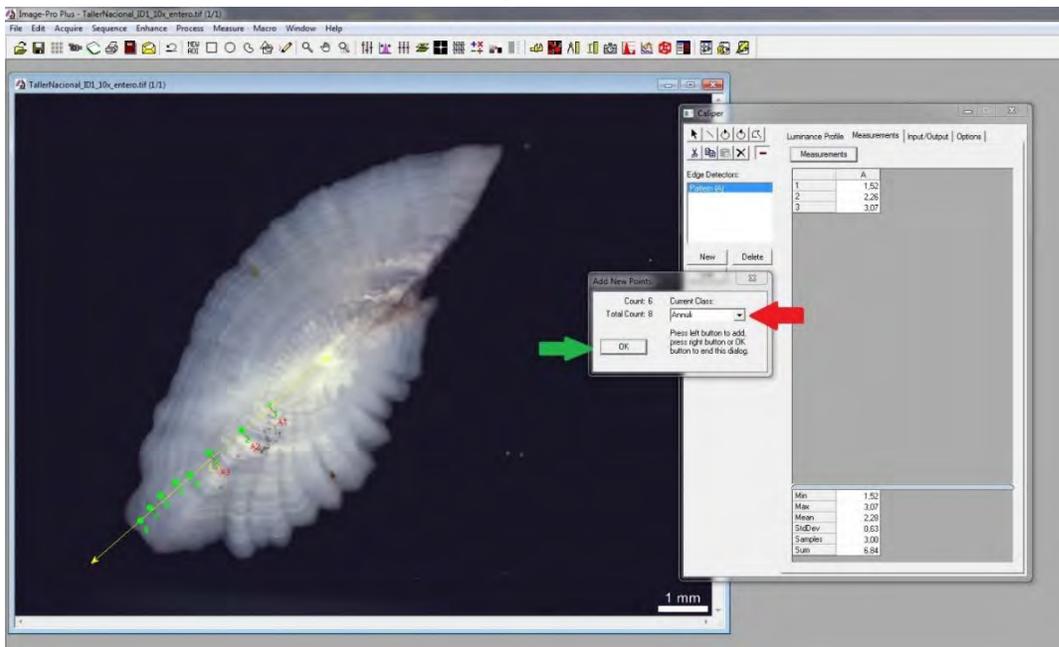
En “Classes”, debemos crear una clase m1s con el bot3n “Add Class” (ignorar la clase “Juvenil”, ya que no se incluir1 en este ejercicio). En “Name” le cambiamos el nombre a la clase, en “Color” seleccionamos el color de la marca, y en “Symbol” seleccionamos la forma de la marca. Seleccionar las formas indicadas en la metodolog1a. De preferir otras marcas, por favor especificar. Dar click en “ok”. Este procedimiento debe hacerse cada vez que se cierre el programa.



Una vez creadas las clases, ya podemos comenzar a marcar. Para eso dar click en “Tag Points”

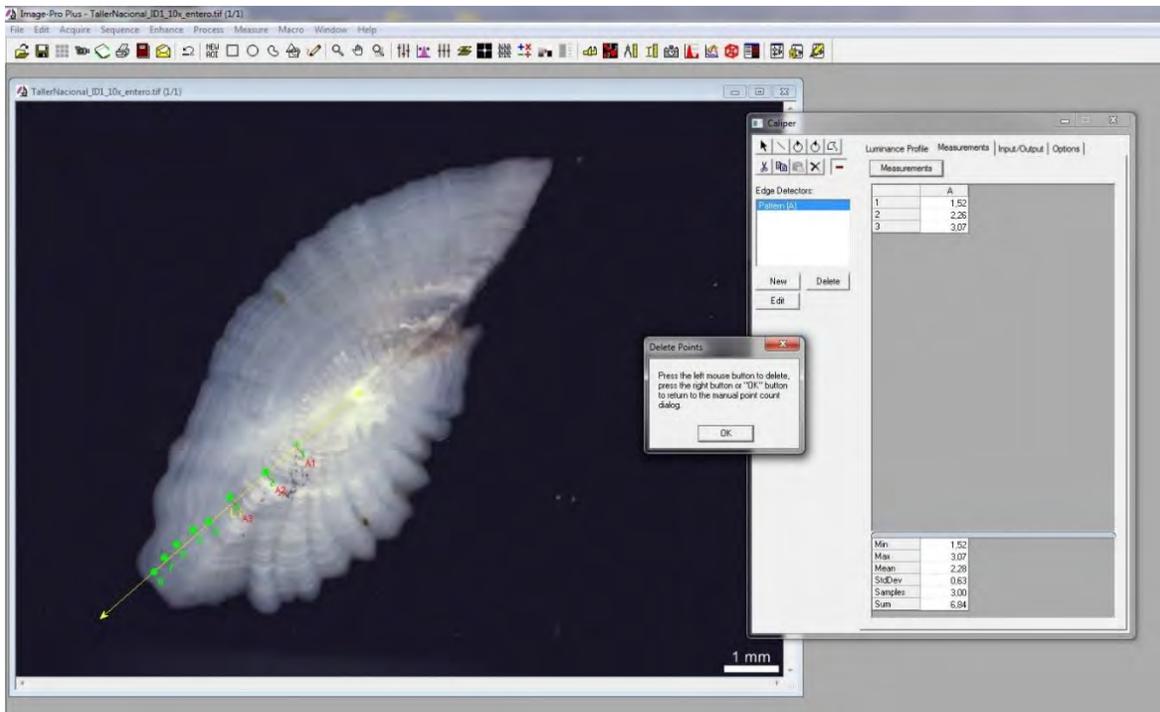
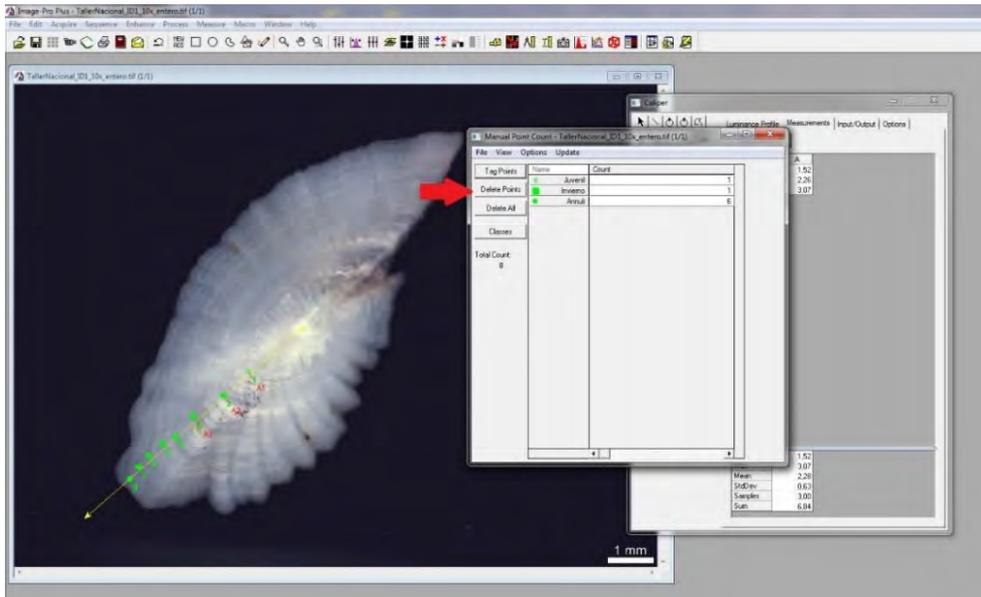


Para marcar basta con hacer click sobre el lugar donde se quiere dejar la marca. Para cambiar la clase, hacer click en “Current Class” y seleccionar la clase que se desea. Una vez finalizado, dar click en “ok” para no seguir marcando.



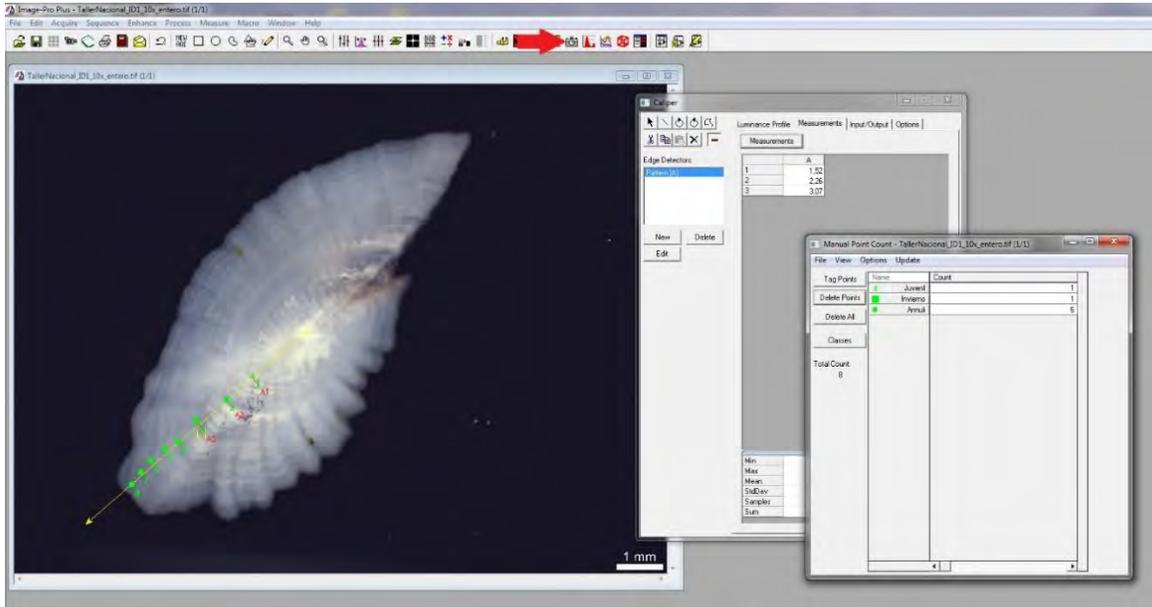


En caso de hacer una marca por error, esta se puede borrar con la opci3n "Delete Points" y haciendo click sobre la marca que se desea borrar. Una vez borrada hacer click en "ok" para salir del modo de borrado. La opci3n "Delete All" borrar3 todas las marcas, por lo que hay que tener cuidado al momento de seleccionarla.

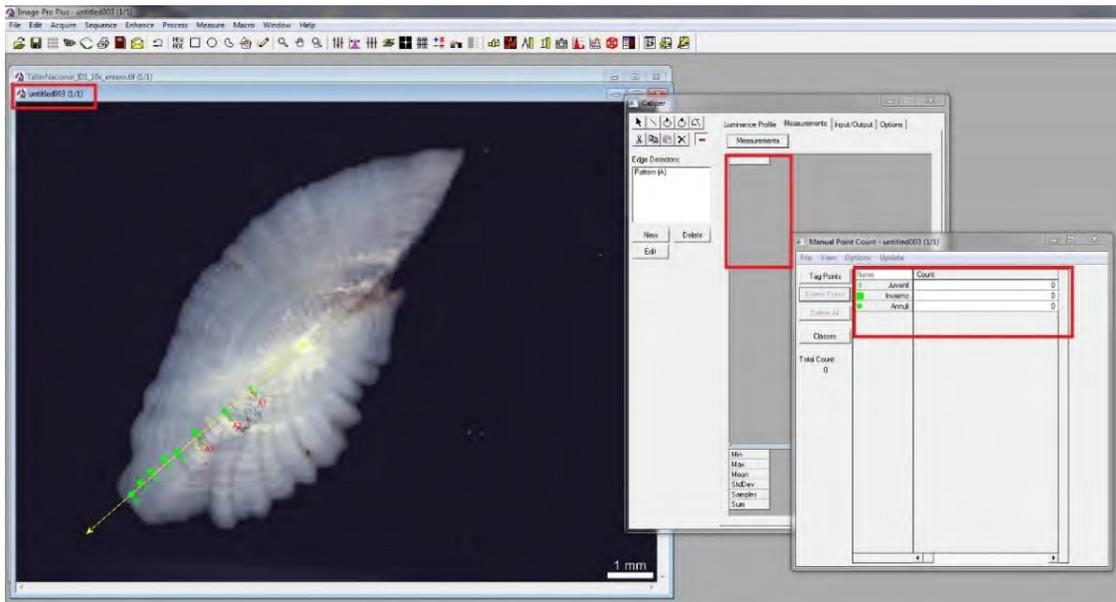




Una vez marcado y medido el otolito, solo falta guardar la imagen con la interpretaci3n del lector. Para esto, hacemos click en el icono de la c3mara.

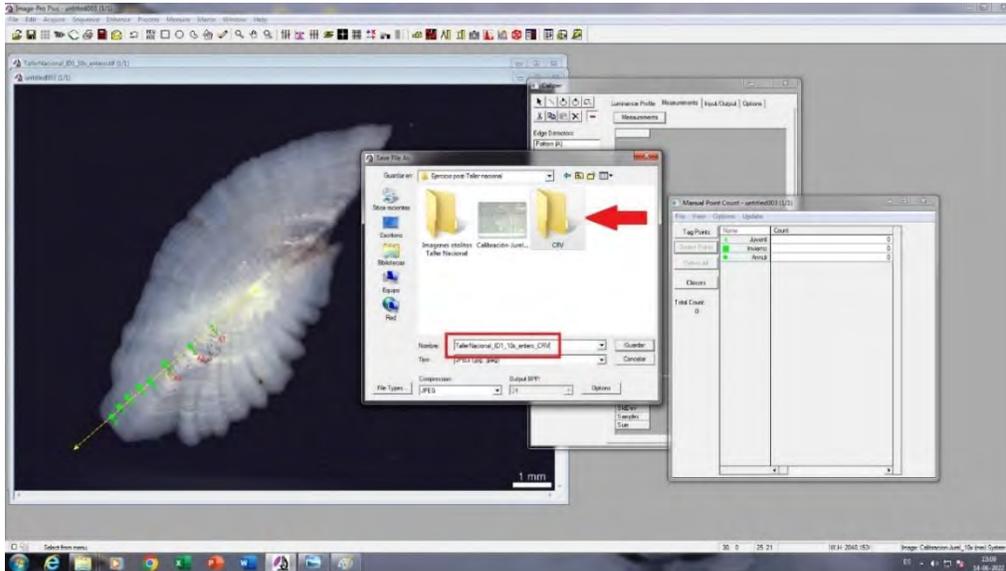


Esto crear3 una nueva imagen, sin t3tulo, que tendr3 todas las marcas y el transecto con las mediciones (sin los valores de las mediciones, por lo que es importante que **antes de cerrar la imagen original traspasar la informaci3n a la planilla de trabajo adjunta**).





Guardar la imagen en formato JPG en la carpeta con sus iniciales. De t3tulo pongan el nombre de la imagen original con sus iniciales al final.



En las im3genes de las Secciones solo es necesario marcar la interpretaci3n de los anillos con la herramienta "Manual Tag", pero pueden crear una calibraci3n para 20x y medir el radio de los anillos con los que tengan dudas para contrastar con el otolito entero, sin embargo, estas mediciones no se incluir3n en los an3lisis subsiguientes.



CRITERIO DE LECTURA JUREL

El jurel, *Trachurus murphyi* (Nichols 1920), es un pez pelágico perteneciente a la familia de los carángidos, altamente migratorio y con una distribución amplia que abarca gran parte del Pacífico sur, desde el Perú a la zona centro-sur de Chile latitudinalmente, llegando a Nueva Zelanda longitudinalmente. Debido a la importancia económica de este recurso, es de mayor relevancia tener buenos datos de estimación de edad. Como otros representantes del género *Trachurus*, los otolitos son de difícil lectura debido a la multiplicidad de anillos falsos y dobles, además de una difícil identificación del tipo de borde. Por estos motivos, los protocolos de lectura e interpretación de anillos es un proceso de constante perfeccionamiento.

En la actualidad, se han validado de forma directa la periodicidad del primer anillo anual o *annulus*, el cual difiere del asignado históricamente como tal. Debido a esto, se han realizado una serie de reuniones entre el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y el Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA) en el marco del proyecto FIPA 2021-21 para unificar los criterios de lectura y desarrollar un protocolo de lectura único.

El siguiente protocolo se ha desarrollado en base a los resultados de los métodos de validación directa y las discusiones entre las y los investigadores de IFOP e INPESCA.

Glosario:

Núcleo o Primordio: Corresponde al punto central desde el cual se forman los anillos del otolito, los cuales se van depositando de forma concéntrica alrededor de este. Es el punto de partida para la medición de radios.

Borde anterior o rostral: borde del otolito donde se encuentra el *rostrum*.

Borde ventral: Borde del otolito más liso que va desde la cauda al *rostrum*.

Borde dorsal: Borde del otolito más irregular que va desde la cauda al anti-*rostrum*.

Borde posterior o caudal: Borde del otolito opuesto al *rostrum*.

Banda opaca: Zona del anillo de crecimiento donde hay mayor deposición de carbonato de calcio, lo que dificulta el paso de la luz, y de ahí su nombre. Se forma en periodos de crecimiento rápido, asociado a los meses de primavera-verano.

Banda hialina: Zona del anillo de crecimiento formada principalmente por proteínas, con un bajo contenido de carbonato de calcio. Se forma en periodos de crecimiento lento, asociado a los meses de otoño-invierno.

Anillo juvenil: Anillos concéntricos y bien definidos cercanos al núcleo de periodicidad desconocida, producidos por procesos físico-biológicos desconocidos.



Anillo de invierno: Anillo concéntrico claro que es posible de identificar alrededor de todo el otolito, que no posee periodicidad anual. Puede presentar como un anillo doble, donde la banda hialina se ve dividida por una fina banda opaca. Este anillo se forma durante el primer invierno de vida del jurel, el cual ocurre cuando éste tiene aproximadamente 180 días de vida.

Annulus: Anillo conformado por una banda opaca y una hialina identificable alrededor de todo el otolito y de periodicidad anual. El chequeo de esto anillos se realiza en la zona dorsal y el *rostrum*.

Anillo falso: Anillos irregulares, que no se pueden seguir alrededor del otolito completo, con periodicidad desconocida y producidos por procesos físico-biológicos desconocidos, mayormente en periodos de crecimiento rápido.

Tipo de borde: Corresponde a si en el borde del otolito se está formando una banda opaca o hialina.

Protocolo lectura otolito entero:

Los otolitos son embebidos en una solución aclarante (vaselina líquida o aceite para bebé) no hidratante (ya que la hidratación de los otolitos aumenta la resolución de anillos falsos) sobre un fondo negro, con la cara distal hacia arriba, iluminados con luz incidente. La lectura se realiza desde el núcleo hacia el borde caudal. Los radios de los anillos y del otolito también se leen en este eje. Los otolitos son leídos y medidos bajo lupa estereoscópica, con aumento de 10x (Fig. 1).



Figura 1. Interpretaci3n de anillos en el jurel segun el criterio validado. En rojo se marca el anillo juvenil, en verde los anillos de invierno y en morado los *annuli*.

El anillo que hist3ricamente se aginaba como el primer *annulus* corresponde a un anillo de invierno que se forma a los 180 d3as de vida aproximadamente. El siguiente anillo corresponde al primer *annulus*, el cual es seguido por otro anillo de invierno. Posteriormente todos los anillos hialinos corresponden a *annuli*.

Las principales dificultades que presenta este tipo de lectura son la gran cantidad de anillos falsos con buena resoluci3n que poseen los otolitos de jurel. La 3nica forma de reducir al m3ximo la subjetividad de la interpretaci3n es a trav3s de ejercicios de lectura regulares y discusi3n de los criterios de interpretaci3n entre lectores. Otro tema delicado es la interpretaci3n del tipo de borde, ya que, debido a la alta formaci3n de anillos falsos, el borde parece ser siempre hialino. Por eso, se sugiere que en el caso de peces j3venes (< 5 anillos), interpretar respecto de la distancia con el 3ltimo *annulus* identificado. Por ejemplo,

si el borde es hialino, pero est1 muy pr3ximo al *annulus*, es probable que se trate de un anillo falso y por lo tanto en realidad corresponde a un borde opaco. En peces longevos (> 5 anillos), la aparici3n de anillos falsos es menos frecuente, por lo que se interpreta el borde como se ve.

Protocolo de lectura en secciones:

Las secciones corresponden al segmento transversal del otolito, pasando por el n1cleo, de aproximadamente 400 μm de grosor. Los otolitos son previamente tostados a 300°C durante 10 minutos, embebidos en resina ep3xica para generar bloques y costados con una sierra de precisi3n. Estas secciones transversales presentan bandas caf3s marcadas que corresponden a la matriz de prote3nas quemadas de las bandas hialinas, permitiendo identificar con menos subjetividad los *annuli*.

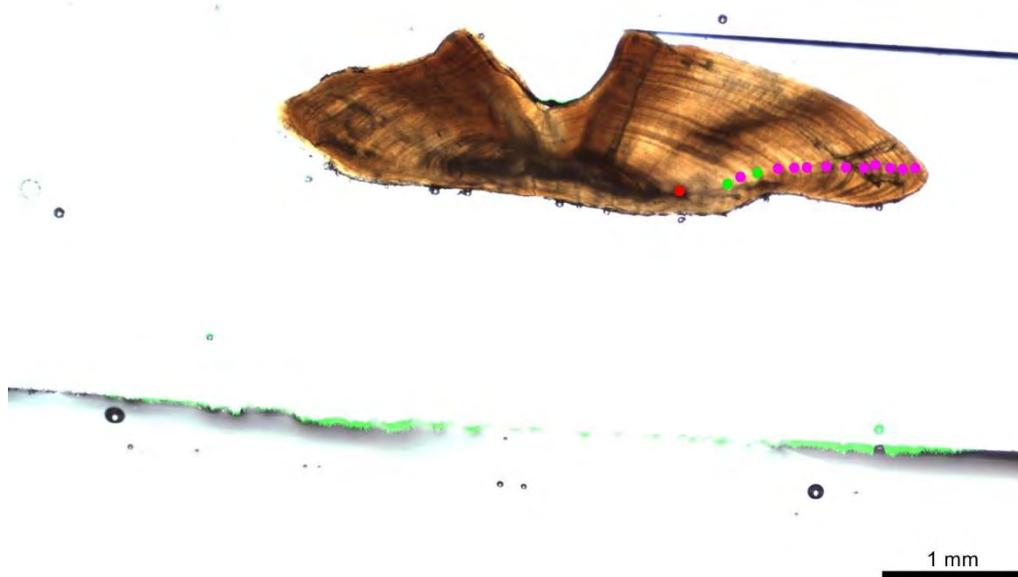


Figura 2. Imagen de secci3n transversal de un otolito *sagittae*. En rojo se marca el anillo juvenil, en verde los anillos de invierno y en morado los *annuli*.

Las secciones son motadas en un portaobjetos con pegamento termopl1stico Crystalbond. Posteriormente son le3das bajo una lupa estereosc3pica con luz transmitida, se les pone una fina pel3cula de liquido aclarante y se leen con magnificaci3n de 20x.

La principal dificultad de las lecturas de secciones est1 en la identificaci3n de los anillos de invierno. La secci3n se lee en el eje ventral, por lo que los anillos est1n m1s comprimidos y su radio corresponde a aproximadamente el 50% del radio caudal del anillo. Por esto, se



recomienda medir e identificar los anillos de invierno y el primer *annulus* en el otolito entero y posteriormente ubicarlos en la secci3n utilizando los radios como referencia. La ventaja de esta t3cnica es que reduce la subjetividad de la interpretaci3n de anillos y permite ver anillos que no son visibles con el m3todo de lectura con el otolito entero, sobretodo en individuos de tallas grandes, reduciendo el peligro de subestimaci3n de la edad.



Resultados Ejercicio Post-Taller Nacional Jurel

Camilo Rodr3guez Valentino



Introducci3n

- Durante la realizaci3n del taller nacional “Calibraci3n de lectura de *annuli* en otolitos *sagittae* del jurel (*Trachurus murphyi*)” qued3 en evidencia la dificultad de estimar edad esta especie, expresado en los bajos 3ndices de precisi3n y elevado sesgo entre las y los participantes. Debido a esto, es necesario llevar a cabo m3s ejercicios de lectura y reproducibilidad, a modo de perfeccionar lo m3s posible los criterios y reducir al m3ximo la incertidumbre y el sesgo de las lecturas. En consecuencia, como qued3 establecido al cierre del taller nacional, se realizar3 una actividad post-Taller con este fin.



Actividades

- Se reanalizaron las 50 muestras trabajadas durante el Taller Nacional de jurel, tanto el otolito entero como la sección, esta vez de forma digital.
- Se midió el radio total del otolito, radio de anillo de primer invierno y radio del primer *annulus* en el otolito entero:
 - **Anillo de invierno:** Primer anillo marcado cerca del núcleo. En algunos casos puede estar acompañado de otro anillo muy próximo (doble) separados por una fina banda opaca.
 - **Primer *annulus*:** Segundo anillo marcado. La identificación de este anillo puede verse complicada debido a la gran cantidad de anillos falsos. La identificación de anillos verdaderos puede apoyarse con el seguimiento del anillo alrededor de todo el otolito, sobretodo en la zona dorsal y del *rostrum*.
- Se guardaron las imágenes con las interpretaciones de cada participante.

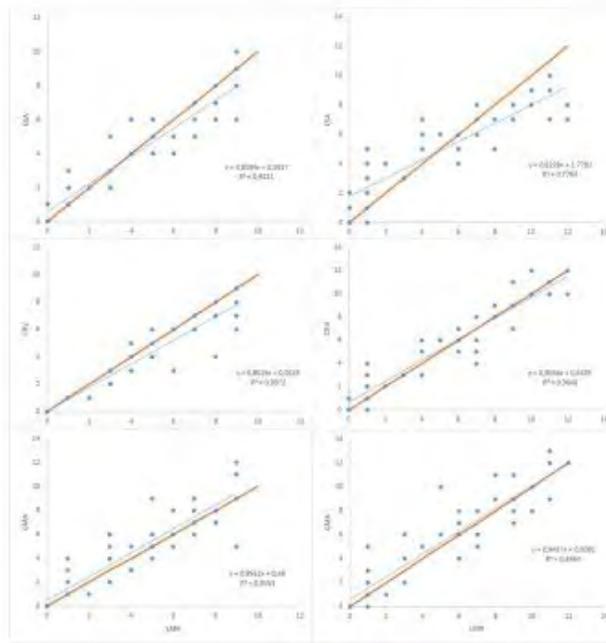
Precisión y sesgo

Enteros

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	44	20,05	14,18	0,023	0,051	0,137
CRV-GMA	46	18,73	13,25	0,000	0,024	0,359
CRV-LMR	56	9,284	6,565	0,000	0,005	0,099
ESA-GMA	28	24,81	17,54	0,096	0,197	0,209
ESA-LMR	40	19,58	13,84	0,465	0,693	0,084
GMA-LMR	44	15,25	10,78	0,131	0,021	0,599
TODOS	20	27,2	20,46			

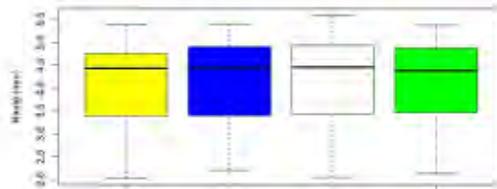
Secciones

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	30	31,54	22,31	0,398	0,296	0,448
CRV-GMA	31	22,79	16,11	0,862	0,214	0,542
CRV-LMR	46	18,74	13,25	0,117	0,578	0,41
ESA-GMA	23	28,72	20,31	0,869	0,159	0,539
ESA-LMR	26	31,27	22,11	0,622	0,875	0,323
GMA-LMR	35	18,89	13,36	0,209	0,319	0,562
TODOS	6	39,2	29,43			

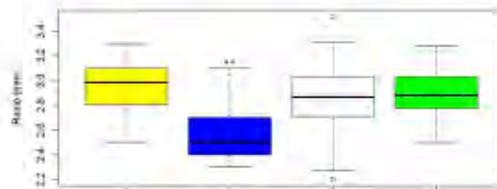


Radios

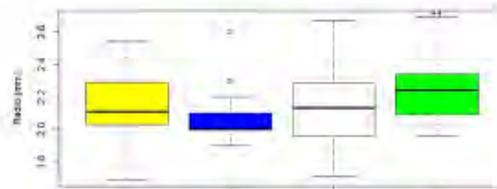
Radio Total

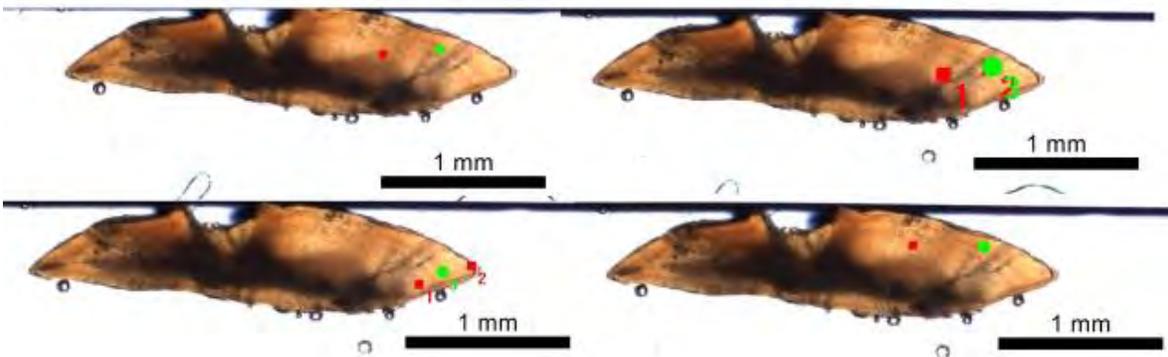
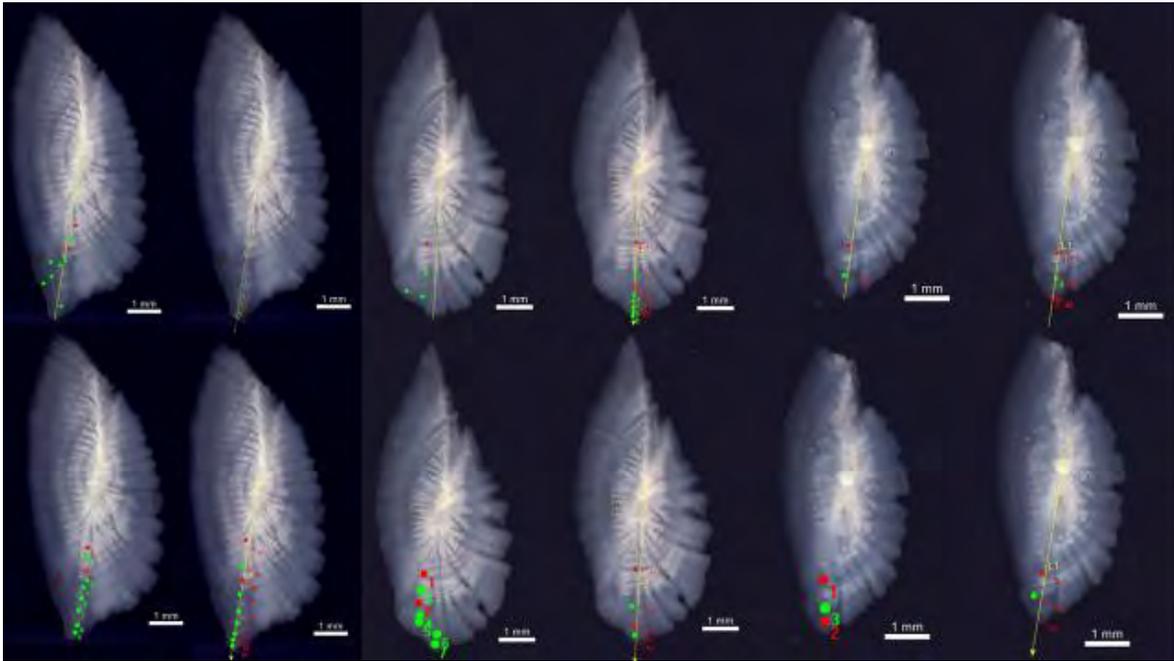


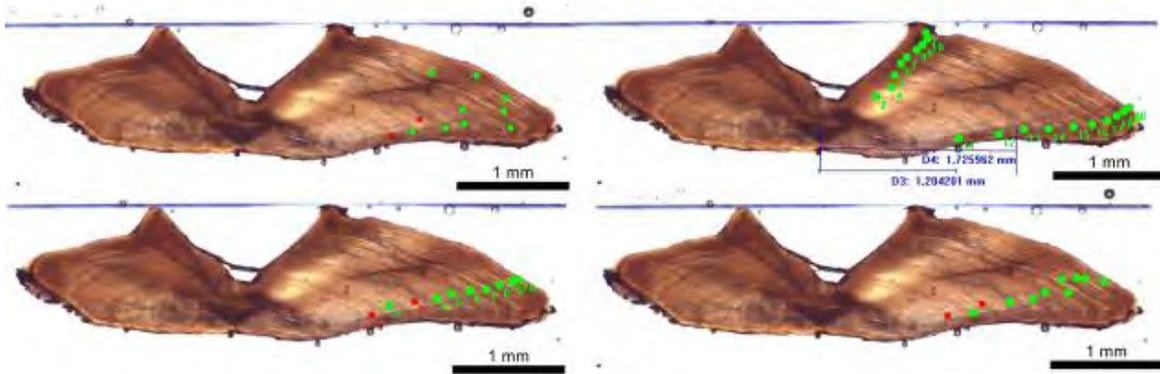
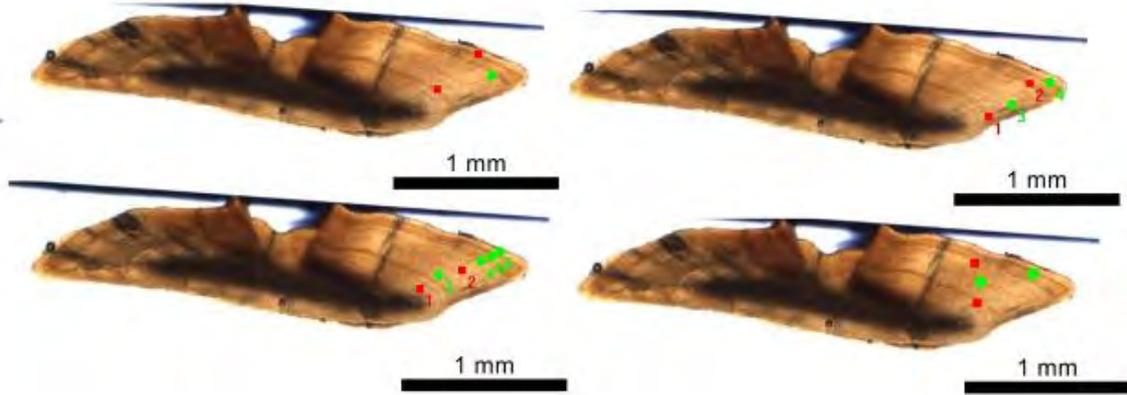
Radio 1er Annulus



Radio Anillo de Invierno



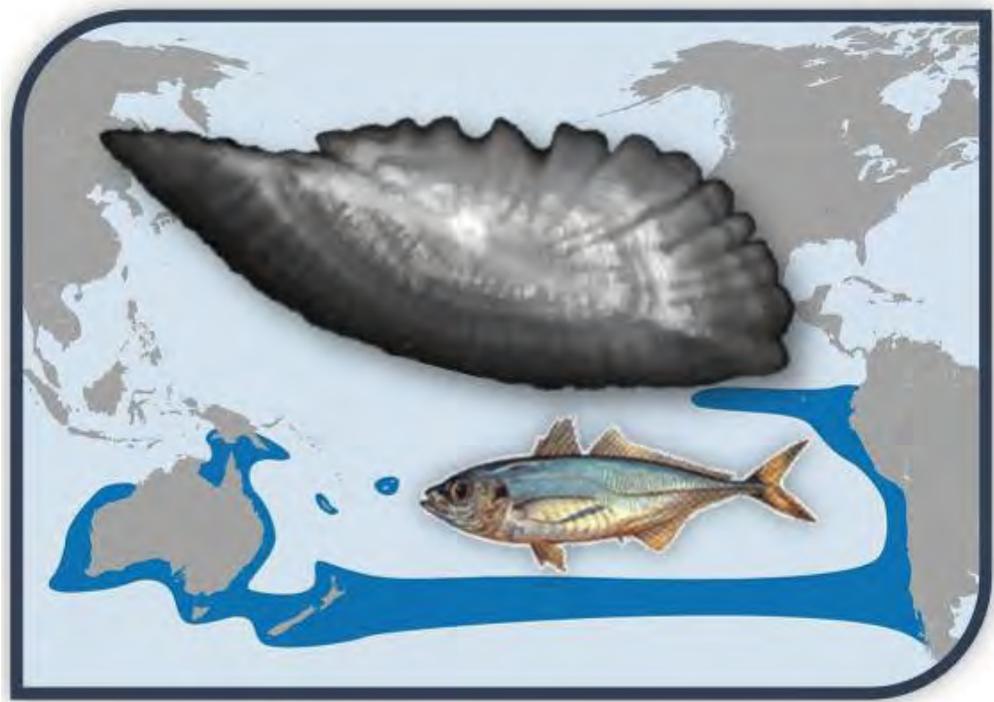






INTERNATIONAL WORKSHOP

“Chilean jack mackerel ageing protocol,
homologation of the new ageing criteria”



October 18-21, 2022, Valparaíso, Chile

Organizers



Workshop Jurel

“Chilean jack mackerel ageing protocol, homologation of the new ageing criteria)” FIP 2021-21

Valparaíso, 18 de octubre del 2022

LISTADO DE ASISTENTES

	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	FIRMA
1	Miguel Arcega	UNAP	
2	FRANCISCO CERNA	IFOP	
3	Lolita CORDERA	INPESCA	
4	EVELIN SANHUELA A	INPESCA	
5	Lizandro Muñoz R.	IFOP	
6	CAMILA RODRÍGUEZ V.	IFOP	
7			

Valparaíso, 19 de octubre del 2022

LISTADO DE ASISTENTES

	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	FIRMA
1	Miguel Arcega	UNAP	
2	FRANCISCO CERNA	IFOP	
3	Lolita CORDERA	INPESCA	
4	EVELIN SANHUELA A.	INPESCA	
5	Lizandro Muñoz R.	IFOP	
6	CAMILA RODRÍGUEZ V.	IFOP	
7			



Workshop Jurel

“Chilean jack mackerel ageing protocol, homologation of the new ageing criteria” FIP 2021-21

Valparaíso, 20 de octubre del 2022

LISTADO DE ASISTENTES

	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	FIRMA
1	Ricardo Araya	UMAP	
2	Francisco Cerda	IFOP	
3	Lolán Cisterna	INPESCA	
4	Evelin Sanhueza A	INPESCA	
5	Lizandro Muñoz R	IFOP	
6	Camilo Rodríguez V	IFOP	
7			

Valparaíso, 21 de octubre del 2022

LISTADO DE ASISTENTES

	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	FIRMA
1	Ricardo Araya	UMAP	
2	Francisco Cerda	IFOP	
3	Lolán Cisterna	INPESCA	
4	Evelin Sanhueza A	INPESCA	
5	Lizandro Muñoz R	IFOP	
6	Camilo Rodríguez V	IFOP	
7			



Proyecto FIPA 2021-21

Instituto de Fomento Pesquero

Valparaíso, Chile

A. *INTRODUCTION*

Chilean Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*, Nichols 1920) is a carangid fish widely distributed in the East-Southern Pacific Ocean, from the Galapagos Islands and southern Ecuador to south-central Chile. Its distribution also extends from Chile across the Pacific Ocean to New Zealand and Tasmania (Evseenko, 1987; Serra, 1991; Elizarov et al., 1993; Taylor, 2002). CJM population spawns between 7°S and 40°S to 90°W (Evseenko, 1987; Serra, 1991), juveniles are mostly present in northern Chile's coastal waters (20°S to 30°S) and has a coastal adult feeding zone between 33°S and 40°S, where juveniles recruit (Arcos et al., 2001).

Catch's age composition has been a particularly relevant element to understanding changes in CJM stock. The Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) has carried out growth and age studies since the 70s, which are used to develop age-length keys and catch-at-age matrices for quarters and macrozones that are used for stock evaluation purposes.

Ageing in *Trachurus* species has proven troublesome because of three main difficulties: identification of the first annulus, presence of false rings (mostly in the first and second annuli) and interpretation of the margin characteristics (ICES 2018) and CJM is no exception. Goicochea et al. (2013) validated CJM's first annulus through microstructure analysis of sagittae otolith transversal sections, based on daily microincrements counts, which daily periodicity was validated in adult fishes by Araya et al. (2003). Results indicated that average CJM fork length at 365 days of age is 17.7 cm, with an otolith caudal radius of 2.49 mm. Projects FIPA 2014-32 y FIPA 2017-61 estimated fast growth the first 2 years of life, with an average fork length between 21 and 22 cm at the end of the first year of life (Cerna et al. 2016; Araya et al. 2017; Cerna et al. 2022). These results compelled to adjust the CJM reading criteria, because poor precision and accuracy in age estimation can carry big problems in population dynamics studies, and, in occasions, can lead to stock overexploitation (Campana, 2001).



In this sense, the SPRFMO has required to Scientific Committee move forward to the homologation of ageing criteria for all laboratories in order that the countries will provide the correct input's data to stock assessment.

B. OBJECTIVE

Analyze and discuss the otolith's annuli and margin interpretation criteria in order to improve precision and repeatability among the member countries of South Pacific Regional Fisheries Management Organization (SPRFMO) based on the new **reading protocol** for annual age determination of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*).

C. PARTICIPANTS

Each member country of SPRFMO should had confirm their participation. As to October 3rd none of the member countries have confirmed assistance to the workshop. In consequence, the workshop will be attended just by Chilean readers and researchers from IFOP, INPESCA and Universidad Arturo Prat.

Professional	Category	Affiliation
José Francisco Cerna T.	Chair	Instituto de Fomento Pesquero
Miguel Araya C.	Researcher/Reader	Universidad Arturo Prat
Evelin Sanhueza	Researcher/Reader	Instituto de Investigación Pesquera
Lilian Cisternas	Researcher/Reader	
Lizandro Muñoz R.	Reader	Instituto de Fomento Pesquero
Camilo Rodríguez V.	Researcher/Reader	



D. DATES AND VENUE

The workshop will be held between 18-21 October 2022, in the Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), located at Blanco # 839, Valparaíso, Chile.

E. WORKSHOP FORMAT

The workshop will be coordinated by **Francisco Cerna** in order to develop the comparison of otolith's reading, analysis and discussion. The discussion will focus on annuli interpretation criteria based on validation studies to improve the otolith reading protocol for jack mackerel.

The workshop will include: Otolith readings exercises and image discussions, elaboration of results and redaction of a protocol. It will include a post-workshop

Before the comparison analysis the readers will be categorized according their expertise level in order to standardize the results according criteria of reading experience.

F. PROGRAM

The workshop program proposed is indicative, because some modifications could happen depending on progressing of tasks and/or suggested specific tasks required by the workshop chairman. The first day will be dedicated discuss the results of previous reading exercises, the second and third days to reading the jack mackerel otoliths and discuss interpretation and the fourth day to elaborate an agreed protocol.

Tuesday, October 18	
9:30-9:40	Welcome by Francisco Cerna
9:40-10:00	Presentation Results and proposed ageing protocol from previous national workshop (Camilo Rodríguez) Workshop program, modality and others (Camilo Rodríguez)
10:00-10:30	Time to discuss the process
10:30-11:00	Previous reading exercise (Part 1) Participants will read 5 otolith images marking their interpretation of the annuli.
11:00-11:20	Coffee break



11:20-11.50	Previous reading exercise (Part 2) Comparison and discussion about readers interpretation of otolith annuli.
12:00: 12:20	Presentation Age group assignation criteria (Francisco Cerna).
12:20: 13:00	Age group assignation criteria discussion.
13.00-14.30	Lunch
14:30-16:00	Margin interpretation exercise Participants will interpret the margin of 10 otoliths and discuss interpretation criteria.
16:00-16:15	Coffee break
16.15-17:30	Otolith readings (Part 1) Participants will read a set of CJM otoliths (whole and sections) randomly selected from the reference collection, applying the criteria discussed in the previous session.
Wednesday, October 19	
9:30-11:00	Otolith readings (Part 2) Continuation of the reading exercise
11:00-11:20	Coffee break
11:20-13:00	Otolith readings (Part 3) Continuation of the reading exercise
13:00-14:30	Lunch
14:30-16:15	Otolith readings (Part 4) Continuation of the reading exercise
16:15-16:35	Coffee break
16.35-17.35	Otolith readings (Part 5) Continuation of the reading exercise
Thursday, October 20	
9:30-11:00	Otolith readings (Part 6) Continuation of the reading exercise
11:00-11:20	Coffee break



11:20-13:00	Otolith readings (Part 7) Continuation of the reading exercise
13:00-14:30	Lunch
14:30-16:15	Preliminary results Reproducibility and bias analysis Discussion about annuli and margin interpretation
16:15-16:35	Coffee break
16:35-17:30	Summary of work Results discussion and writing a report with the main results and CJM Otoliths reading protocol.
Friday, October 21	
9:30-11:00	Closure session Final discussion and review of the workshop report.

H. Post-Workshop reading exercise

The month after the workshop, participants will read a subset of 50 randomly selected otolith images from the reference collection (whole and section) saving an image with their annuli interpretation. The objective of this exercise is to check for differences in interpretation between readers after the protocol discussion and assess difficulties in ring interpretation, in order to improve the reading protocol. Results will be presented and discussed telematically on a date to be convey by the participants.

I. REFERENCES

- Araya M., M. Medina, H. Arancibia. 2003. Preliminary result of empirical validation of daily increments in otoliths of jack mackerel *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) marked with oxytetracycline. *Scientia Marina*, 67(4):471-475.
- Araya M., M. Medina, E. Segovia, J. Peñailillo, M. Avilés, K. Guissen, A. Arcos, J. Charlin, C. Pacheco, G. Plaza, A. M. Galeano, J. Contreras, C. Rodríguez-Valentino, L. Cisterna, A. Sepúlveda, M. Neira, E. Sanhueza. 2019. Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel. Informe final FIPA



2017-61.150 pp.

- Arcos D.F, L. Cubillos, S. Núñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*. Volume 49, Issues 1–4, 2001, Pages 597–617.
- Campana S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59, 197-242.
- Cerna F., C. Valero, G. Moyano, L. Muñoz. 2016. Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Informe Final FIP N° 2014-32. 147 p + anexos.
- Cerna F., G. Moyano, C. Valero, L. Muñoz, G. Plaza, S.E. Campana. 2022. Bomb Radiocarbon, Otolith Daily Increments and Length Modes Validate Age Interpretations of Chilean Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*). *Front. Mar. Sci.* 9:906583. doi: 10.3389/fmars.2022.90658
- Elizarov A.A., A.S. Grechina, B.N. Kotenev y A.N. Kuzetsov. 1993 Peruvian Jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the Southern Pacific. *Journal of Ichthyology*, 33(3): 86-104.
- Evseenko S. A. 1987. Reproducción de jurel del Perú *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en el Pacífico Sur. *Voprosy Ichthyologii*, 27(2):264-273.
- Goicochea C., J. Mostacero, P. Moquillaza, T. Dioses, Y. Topiño, R. Guevara-Carrasco. 2013. Validación del ritmo de formación de los anillos de crecimiento en otolitos del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Rev. peru. biol. número especial* 20(1): 053- 060.
- ICES. 2018. Workshop on Age reading of Horse Mackerel, Mediterranean Horse Mackerel and Blue Jack Mackerel (*Trachurus trachurus*, *T. mediterraneus* and *T. picturatus*) (WKARHOM3), 5–9 November 2018. Livorno, Italy. ICES CM 2018/EOSG:28. 186pp
- Serra R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Investigaciones Pesqueras Chile*, 36: 67-83.
- Taylor P.R. 2002. Stock structure and population biology of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *New Zealand Fisheries Assessment Report* 2002/21. Ministry of Fisheries, Wellington, New Zealand.



Presentaci3n I:

“Taller de lectura de otolitos de Jurel *Trachurus murphyi*”

Presentador: Camilo Rodr3guez Valentino



Taller de lectura de otolitos de Jurel *Trachurus murphyi*



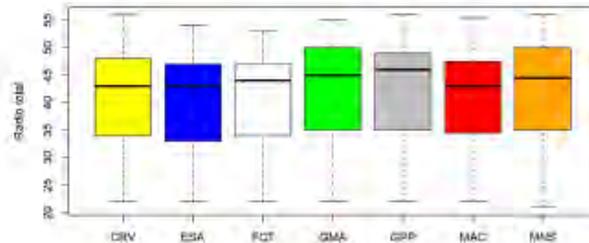
Camilo Rodr3guez V.

18-10-2022

Radio total

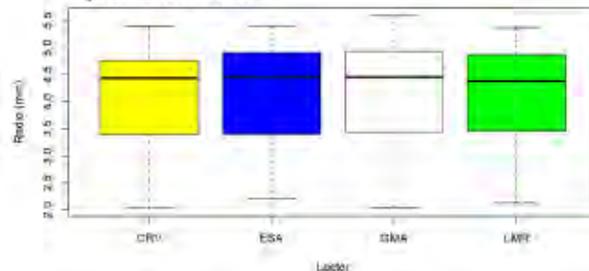
- No existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: df: 6; F: 0,339; p: 0,916)
- A pesar de esto, GMA, GPP y MNS miden radios ligeramente m1s grandes

Taller Nacional



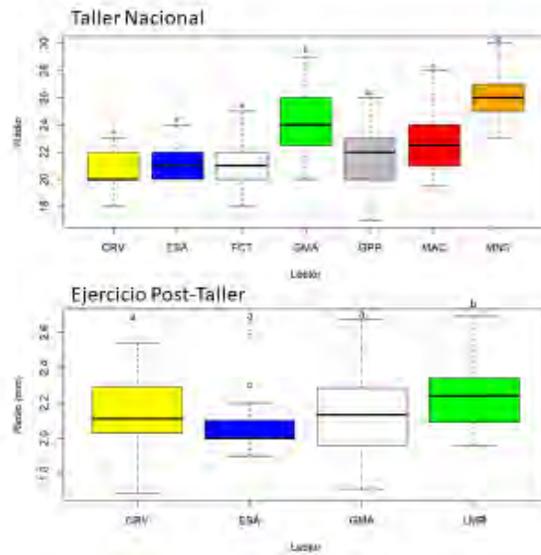
- No existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: df: 3; F: 0,138; p: 0,938)

Ejercicio Post-Taller



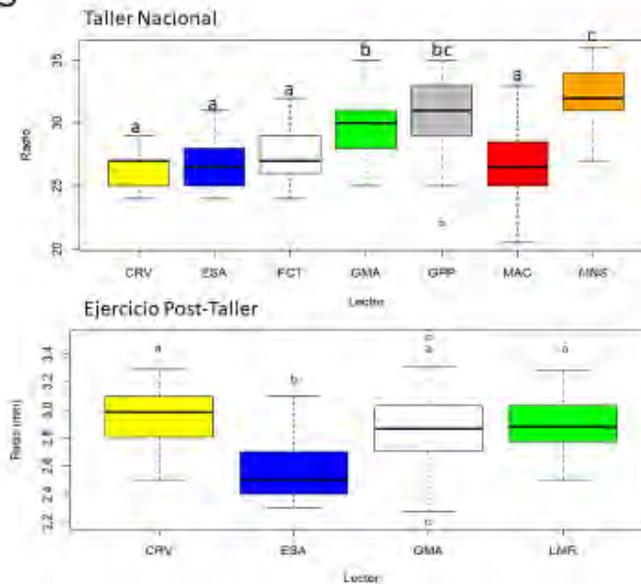
Radio anillo de invierno

- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: $df: 6; F: 62,11; p: 0,000$)
- Las diferencias significativas se producen en los lectores GMA, MAC y MNS. Letras muestran diferencias significativas entre lectores.
- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: $df: 3; F: 7,998; p: 0,000$)



Radio primer *annulus*

- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: $df: 6; F: 42,2; p: 0,000$)
- Las diferencias significativas se producen en los lectores GMA, GPP y MNS. Letras muestran diferencias significativas entre lectores.
- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: $df: 3; F: 31,84; p: 0,000$)





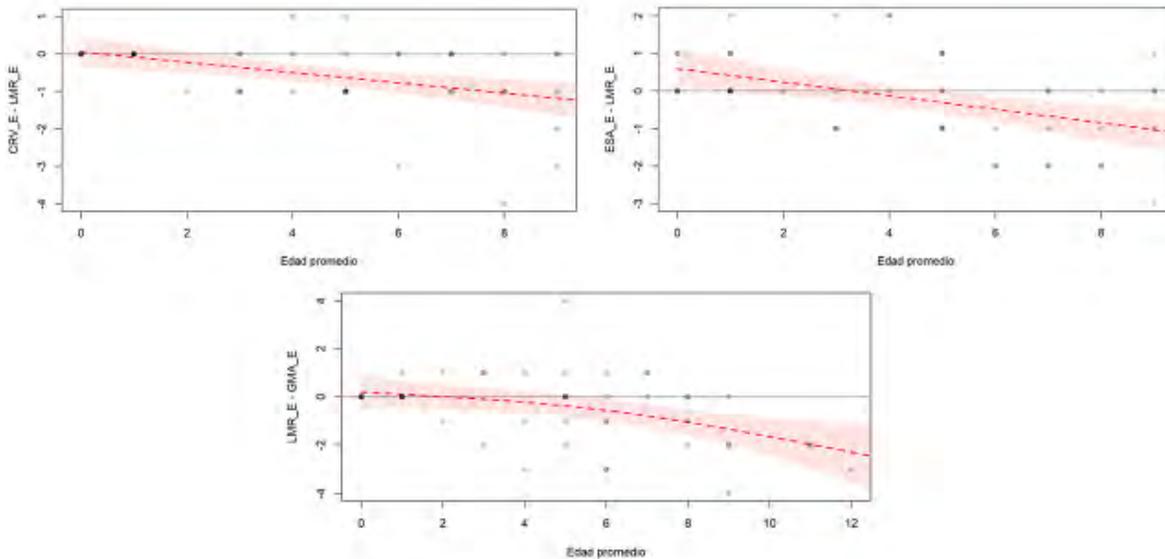
Precisi3n y sesgo otolitos enteros

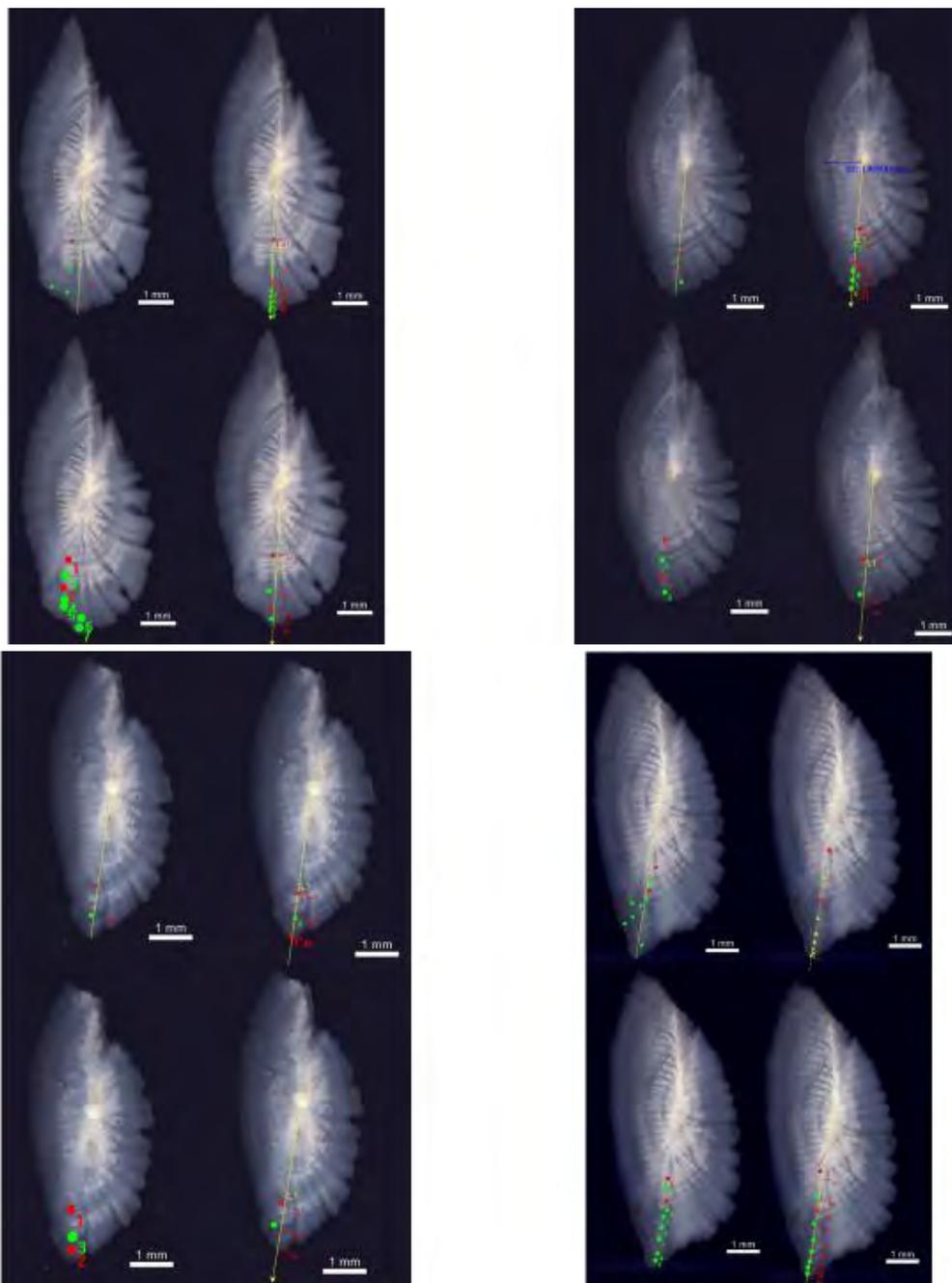
Taller Nacional

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	30	30,64	21,67	0,000	0,000	0,000

Ejercicio Post-Taller

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	44	20,05	14,18	0,023	0,051	0,137
CRV-GMA	46	18,73	13,25	0,000	0,024	0,359
CRV-LMR	56	9,284	6,565	0,000	0,005	0,099
ESA-GMA	28	24,81	17,54	0,096	0,197	0,209
ESA-LMR	40	19,58	13,84	0,465	0,693	0,084
GMA-LMR	44	15,25	10,78	0,131	0,021	0,599
TODOS	20	27,2	20,46			







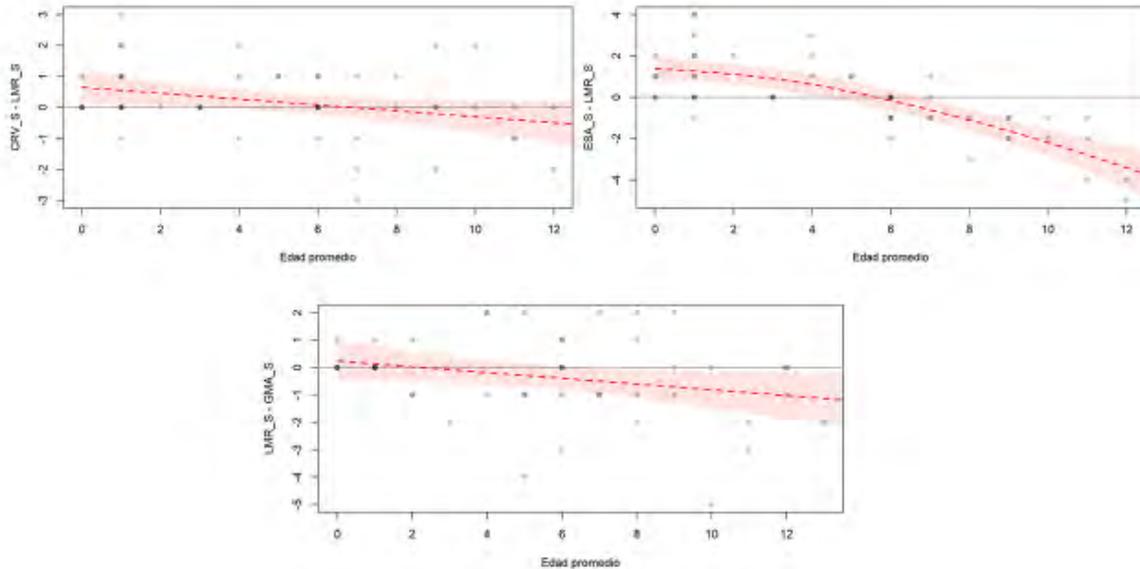
Precisi3n y sesgo secciones

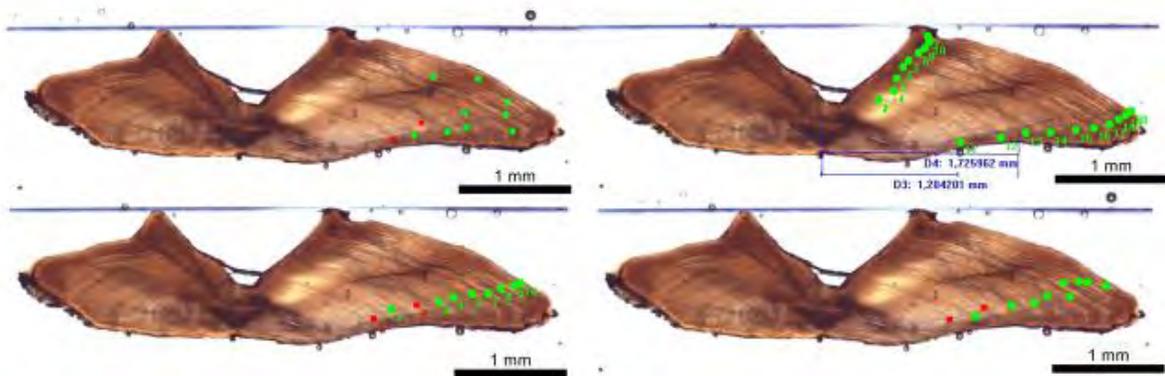
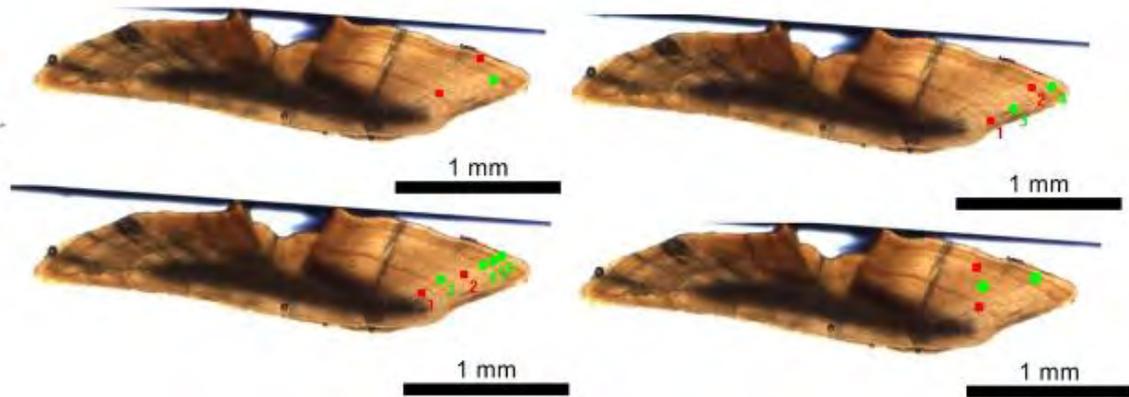
Taller Nacional

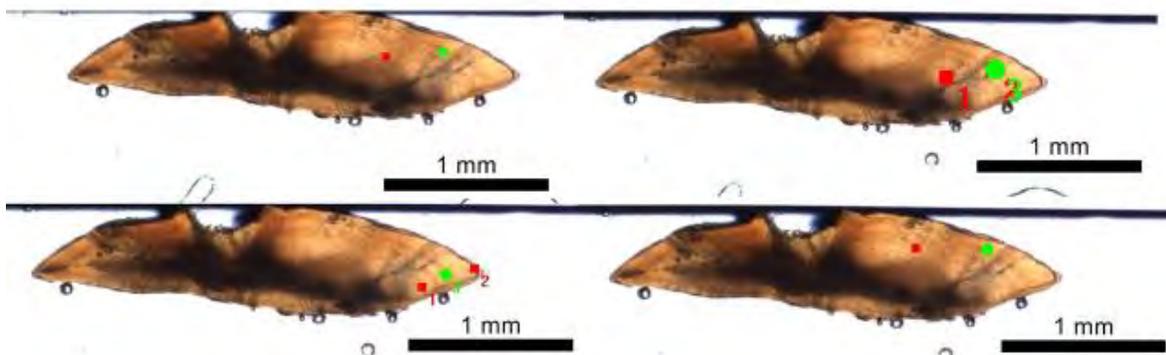
	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	30	29,6	20,93	0,000	0,014	0,319
CRV-GMA	28	34,11	24,12	0,451	0,285	0,505
ESA-GMA	22	35,64	25,2	0,000	0,000	0,010

Ejercicio Post-Taller

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	30	31,54	22,31	0,398	0,296	0,448
CRV-GMA	31,25	22,79	16,11	0,862	0,214	0,542
CRV-LMR	46	18,74	13,25	0,117	0,578	0,41
ESA-GMA	22,92	28,72	20,31	0,869	0,159	0,539
ESA-LMR	26	31,27	22,11	0,622	0,875	0,323
GMA-LMR	35,42	18,89	13,36	0,209	0,319	0,562
TODOS	6,25	39,2	29,43			







Tipo de borde

- 0: Borde opaco
- 1: Borde hiálineo
- Porcentaje cercano a 100, la mayoría de los lectores interpretó un borde hiálineo.
- Porcentaje cercano a 0, la mayoría de los lectores interpretó borde opaco.
- Porcentaje en 50 quiere decir que no hubo consenso entre lectores respecto del borde

ID taller	CRV	MNS	ESA	FCT	MAC	GMA	%
1	0	1	0	1	0	0	33,33
2	1	1	1	1	1	1	100,00
3	0	1	1	1	1	1	83,33
4	0	0	0	0	1	1	33,33
5	1	1	1	1	1	1	83,33
6	0	0	1	1	1	1	66,67
7	1	1	0	1	1	1	66,67
8	0	0	1	1	1	0	50,00
9	0	1	1	1	1	1	83,33
10	1	1	1	1	1	1	83,33
11	0	1	0	1	0	0	33,33
12	0	1	0	0	1	1	66,67
13	0	0	0	0	0	1	16,67
14	1	1	0	1	1	1	66,67
15	1	0	1	1	1	1	83,33
16	0	0	1	1	1	1	50,00
17	1	1	1	1	1	1	83,33
18	1	1	0	1	1	1	66,67
19	1	1	0	1	1	1	83,33
20	0	1	1	1	1	1	83,33
21	1	1	0	1	1	1	66,67
22	0	1	0	1	1	1	66,67
23	0	1	1	1	1	1	66,67
24	1	0	0	1	1	1	66,67
25	1	0	0	1	0	0	33,33



	ID taller	CRV	MNS	ESA	FCT	MAC	GMA	N ₁	N ₂
	26	0	1	0	1	1	1	1	66,67
• 0: Borde opaco	27	0	1	0	1	1	1	0	50,00
	28	1	0	1	1	1	1	0	66,67
	29	0	0	0	1	0	0	0	16,67
• 1: Borde hialino	30	1	1	0	1	1	1	0	66,67
	31	0	1	1	1	1	1	0	66,67
• Porcentaje cercano a 100, la mayoría de los lectores interpretó un borde hialino.	32	0	1	1	1	1	1	1	80,00
	33	1	0	1	1	1	1	1	83,33
	34	0	1	0	0	0	0	0	20,00
	35	0	1	0	0	1	0	0	40,00
	36	1	1	0	1	1	0	0	60,00
	37	0	0	0	0	1	0	0	20,00
• Porcentaje cercano a 0, la mayoría de los lectores interpretó borde opaco.	38	0	1	1	1	1	1	1	80,00
	39	0	0	0	0	1	0	1	40,00
	40	1	1	1	0	0	0	1	80,00
	41	1	1	0	1	1	1	1	83,33
	42	1	1	1	1	1	1	1	100,00
• Porcentaje en 50 quiere decir que no hubo consenso entre lectores respecto del borde	43	1	1	1	1	1	1	1	100,00
	44	1	1	1	1	1	1	0	83,33
	45	1	1	0	1	0	0	1	66,67
	46	0	1	1	1	1	0	0	60,00
	47	0	1	0	1	1	1	1	66,67
	48	1	1	0	1	1	1	1	83,33
	49	1	1	1	1	1	1	1	100,00
	50	1	1	1	1	1	1	1	100,00

Actividades del presente taller

- Ejercicio de lectura conjunta de 5 otolitos (Entero y Sección)
- Ejercicio de interpretaci3n del tipo de borde en 10 otolitos en vivo.
- Lectura de submuestra de 50 otolitos.
- Discusi3n sobre criterios de lectura e interpretaci3n del tipo de borde.



Presentación II:
“Criterios de Asignación de Grupos de Edad de jurel”
Presentador: José Francisco Cerna Troncoso



Criterios de Asignaci3n de Grupos de Edad de jurel



La **edad** de un pez es el tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta un momento determinado.

Grupo de edad es un n3mero integral de a3os, seg3n una convenci3n basada en una fecha de nacimiento adoptada arbitrariamente.

La gran ventaja de este m3todo es que permite establecer inmediatamente la **clase anual** de un pescado **restando el grupo de edad del a3o de captura** (en el ejemplo anterior $1971 - 4 = 1967$).



• **Información considerada para la asignación de grupo de edad**

- 1) Fecha de captura
 - 2) Fecha de nacimiento individual o promedio poblacional
- La fecha de nacimiento poblacional de jurel ocurre en noviembre-diciembre de cada año de acuerdo con el ciclo reproductivo de jurel, en que la hembras presentan actividad entre septiembre y enero presentando un periodo de reposo entre febrero y julio. El IGS muestra actividad entre septiembre y diciembre con pico máximo en noviembre y diciembre (Leal *et al.* 2013).

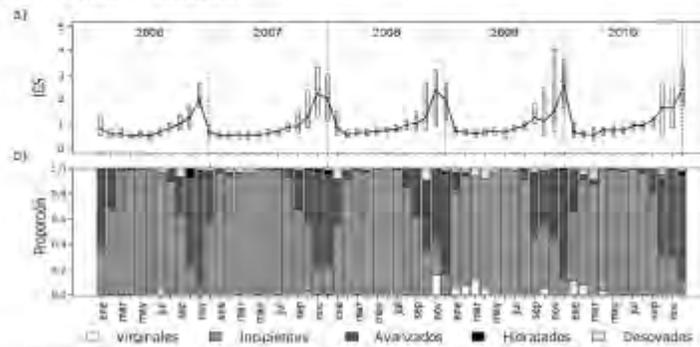


Figura 2. Variación mensual del IGS (a) y de la proporción de los estados de madurez macroscópicas (b) de las hembras de *T. murphyi* en la costa de Chile, entre el 2006 y 2010 / Monthly variation of the GSI (a) and of proportion of macroscopic maturity stages (b) of female of *T. murphyi* in the Chilean coast between 2006 and 2010

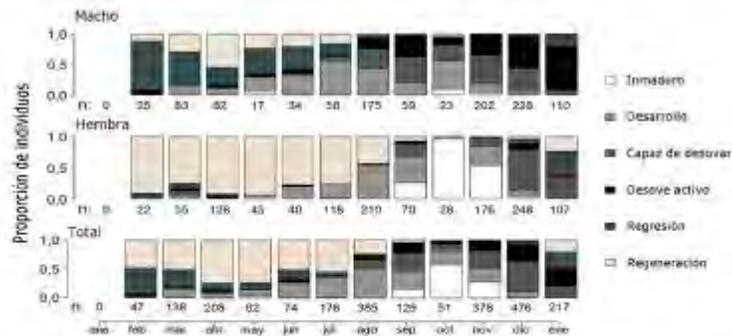


Figura 4. Proporción mensual de los estados de madurez (EM) microscópicas de machos, hembras y para el total de las muestras de *T. murphyi* en la costa de Chile entre febrero 2011 y enero 2012. Valor bajo los barras corresponde al número de muestras / Monthly proportion of microscopic maturity stages (EM) of males, females and for the overall samples of *T. murphyi* in the Chilean coast from February 2011 to January 2012. Value under bar denote sample number

3) Período de formación del anillo hialino o translúcido (cierre del año de vida)

- El período de formación del anillo hialino anual ocurre en primavera entre septiembre y noviembre para el análisis combinado de los años 2007, 2008, 2010 y 2014 (FIPA 2014-32).

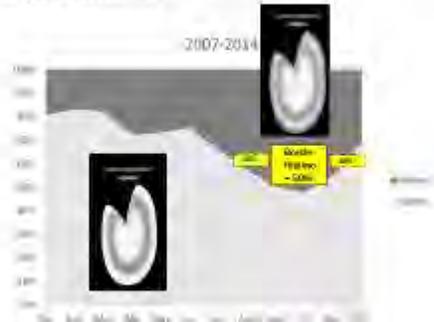
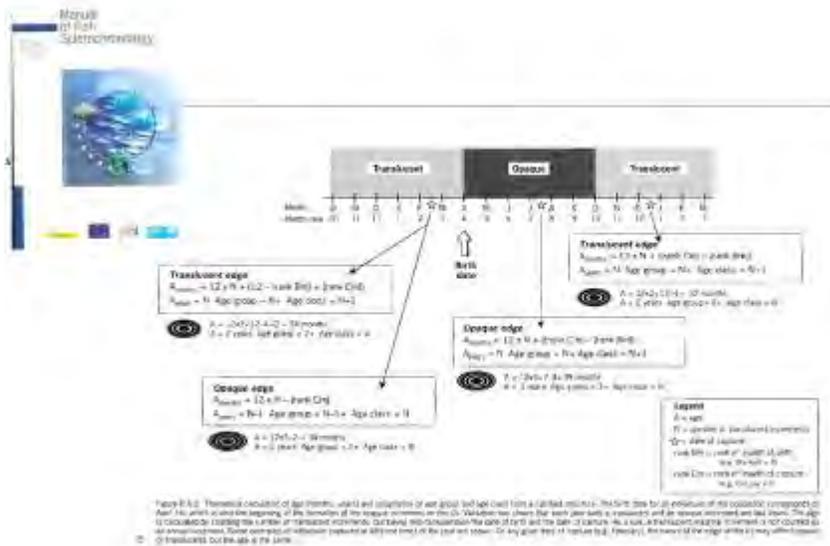
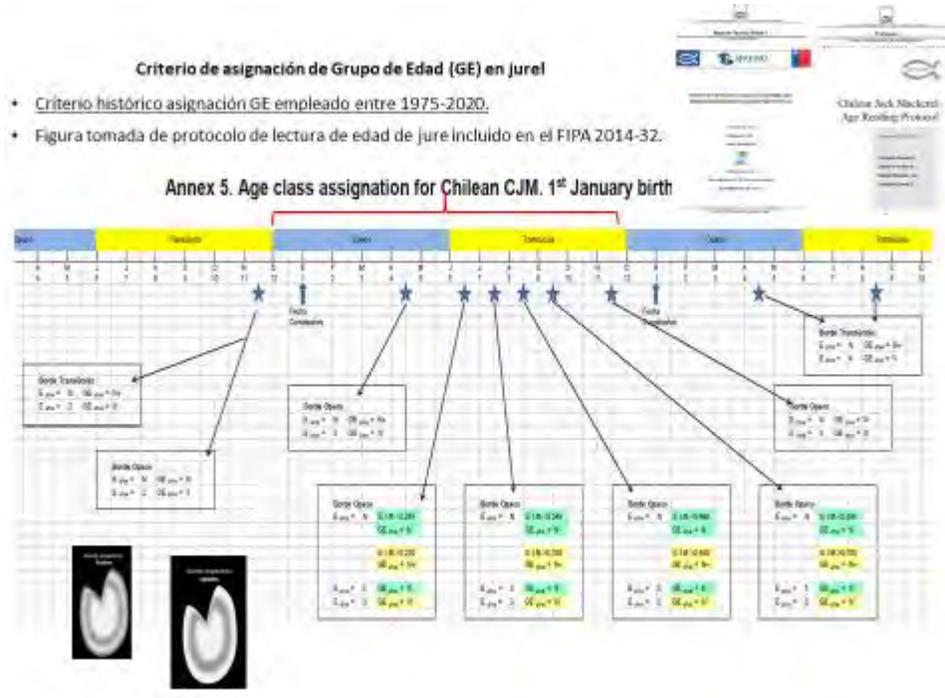


Figura 12. Distribución mensual del porcentaje del tipo de borde de otolitos de jurel para los valores agrupados de los años 2007, 2008, 2010 y 2014

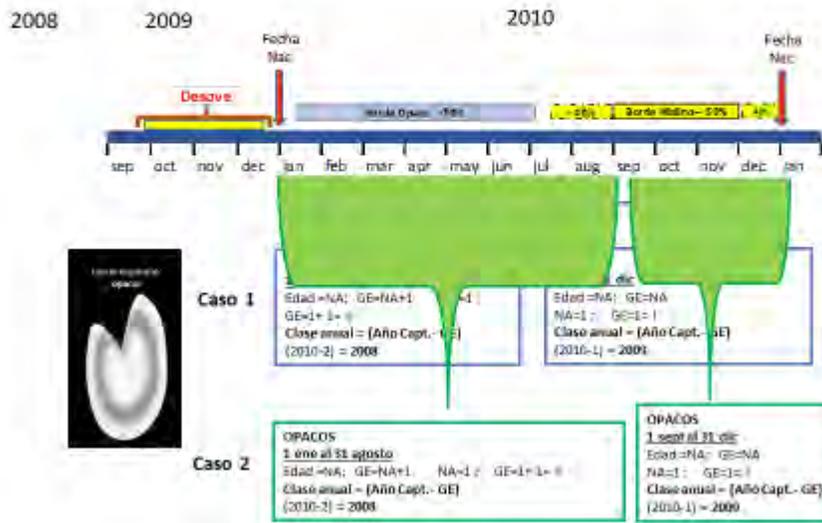
4) Tipo de anillo en el borde del otolito





Posibles variaciones en asignaci3n GE en jurel.

- Este criterio considera junto con los antecedentes de la poblaci3n, fecha poblacional de nacimiento (Leal et al. 2013), periodo de formaci3n del anillo hialino los antecedentes de validaci3n de la edad reportado en el FIPA 2014-32 y 2017-61 (Cerna et al. 2016 y Araya et al. 2019).





A modo de síntesis.

- El criterio de asignación de GE en uso considera todos los aspectos de la historia de vida del jurel: periodo de desove, periodo de formación de annulus. Por lo cual es adecuado para presentar las clases anuales.
- Proceso de sensibilización de los criterios podrían ser considerados en el futuro, los que requerirán la participación del comité científico de la OROP-PS.



Presentaci3n III:

“Resultados preliminares Taller de lectura de otolitos”

Presentador: Camilo Rodr3guez Valentino



Taller de lectura de otolitos de Jurel *Trachurus murphyi*



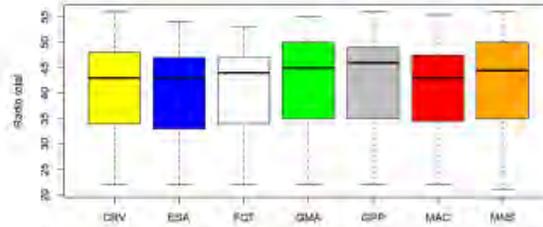
Camilo Rodr3guez V.
20-10-2022



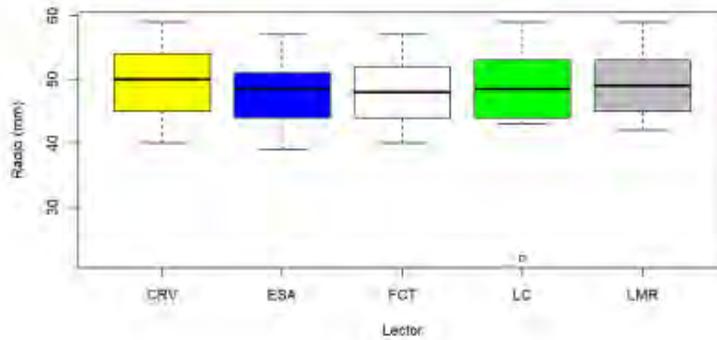
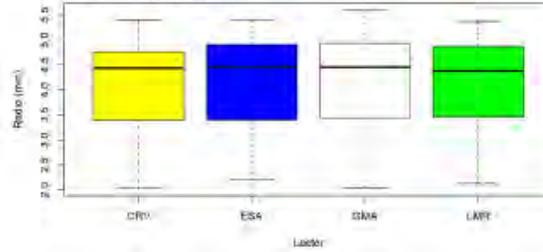
Radio total

- No existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA; df: 6; F: 0,339; p: 0,916)
 - A pesar de esto, GMA, GPP y MNS miden radios ligeramente m1s grandes
-
- No existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA; df: 3; F: 0,138; p: 0,938)

T1ller Nacional



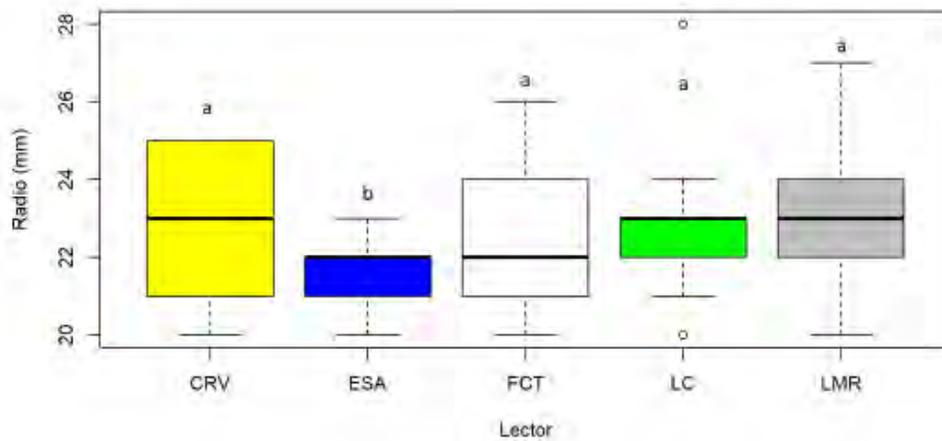
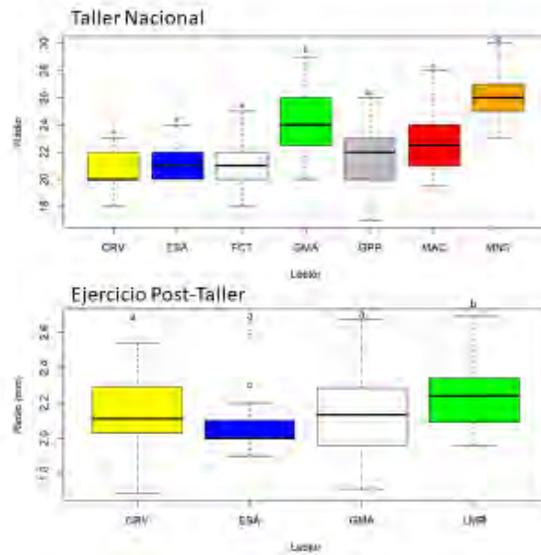
Ejercicio Post-T1ller





Radio anillo de invierno

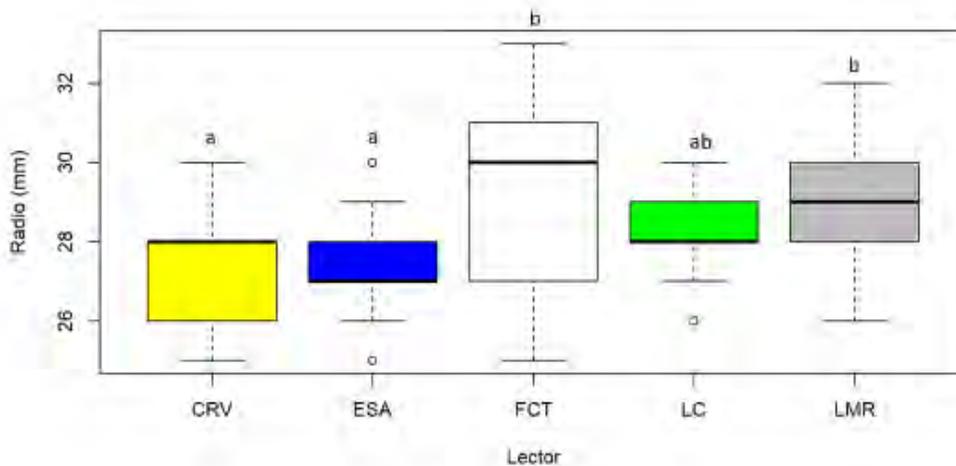
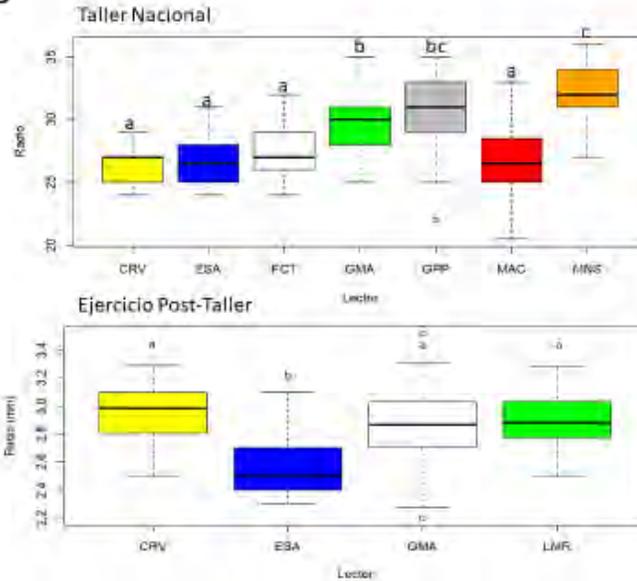
- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: df: 6; F: 62,11; p: 0,000)
- Las diferencias significativas se producen en los lectores GMA, MAC y MNS. Letras muestran diferencias significativas entre lectores.
- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: df: 3; F: 7,998; p: 0,000)





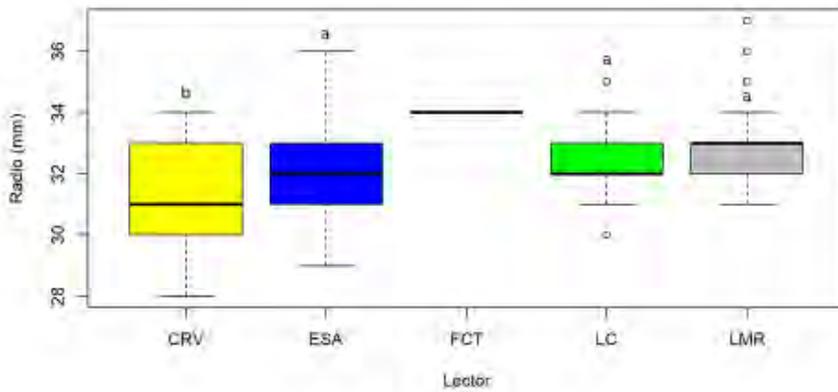
Radio primer *annulus*

- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: $df: 6; F: 42,2; p: 0,000$)
- Las diferencias significativas se producen en los lectores GMA, GPP y MNS. Letras muestran diferencias significativas entre lectores.
- Existen diferencias significativas entre lectores (ANOVA: $df: 3; F: 31,84; p: 0,000$)



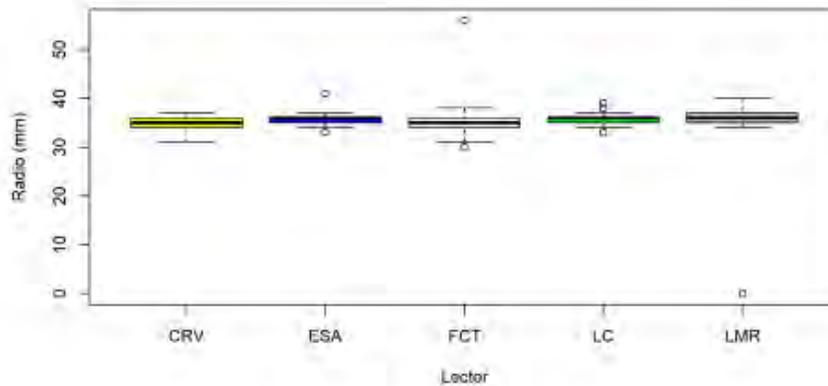


Segundo Anillo de Invierno





Segundo annulus



Promedio radio por lector

Etiquetas de fila	Promedio de RI	Promedio de RA1	Promedio de RI2	Promedio de RA2	Promedio de RT
CRV	22,4	27,8	31,6	35,0	49,5
ESA	21,6	27,4	32,0	35,8	47,8
FCT	22,5	29,4	34,0	35,0	47,9
LC	22,7	28,2	32,2	35,7	48,3
LMR	23,4	29,0	32,8	33,9	49,1
MAC					



Precisi3n y sesgo otolitos enteros

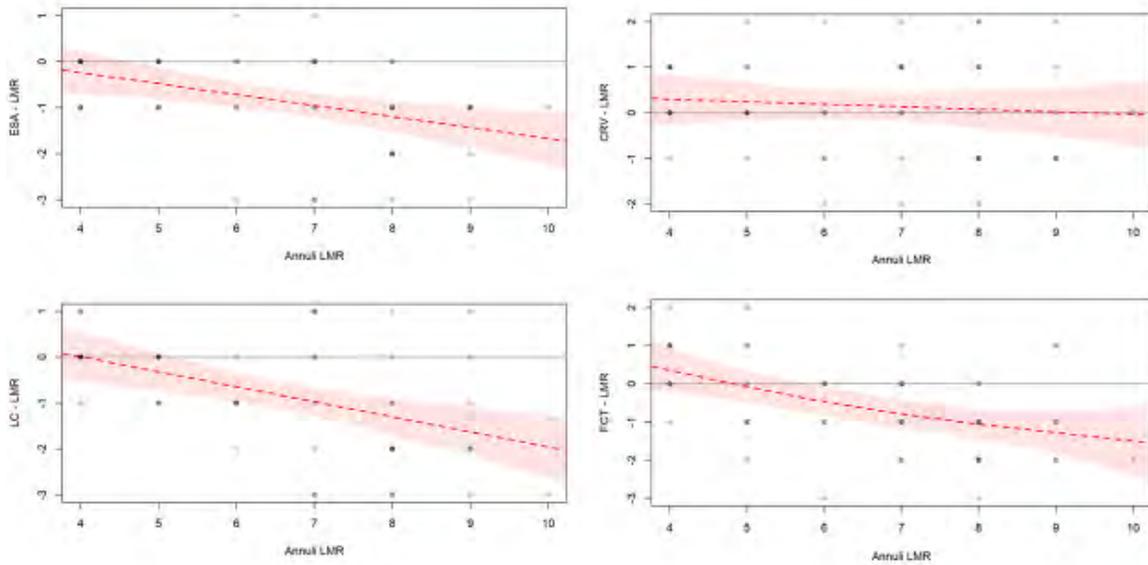
Taller Nacional

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	30	30,64	21,67	0,000	0,000	0,000

Ejercicio Post-Taller

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	44	20,05	14,18	0,023	0,051	0,137
CRV-GMA	46	18,73	13,25	0,000	0,024	0,359
CRV-LMR	56	9,284	6,565	0,000	0,005	0,099
ESA-GMA	28	24,81	17,54	0,096	0,197	0,209
ESA-LMR	40	19,58	13,84	0,465	0,693	0,084
GMA-LMR	44	15,25	10,78	0,131	0,021	0,599
TODOS	20	27,2	20,46			

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-LC	18	13,9	9,82	0,000	0,000	0,004
CRV-ESA	28	12,91	9,13	0,000	0,000	0,004
CRV-FCT	34	11,47	8,11	0,001	0,003	0,229
CRV-LMR	30	9,46	6,69	0,398	0,562	0,710
CRV-MAC						
LC-ESA	42	9,26	6,55	0,853	0,753	0,404
LC-FCT	34	10,83	7,66	0,223	0,367	0,191
LC-LMR	32	12,32	8,71	0,001	0,001	0,098
LC-MAC						
ESA-FCT	36	10,98	7,76	0,157	0,151	0,455
ESA-LMR	38	10,75	7,6	0,000	0,000	0,002
ESA-MAC						
FCT-LMR	24	12,78	9,04	0,009	0,032	0,128
FCT-MAC						
LMR-MAC						
TODOS	2	14,25	11,01			



Precisi3n y sesgo secciones

Taller Nacional

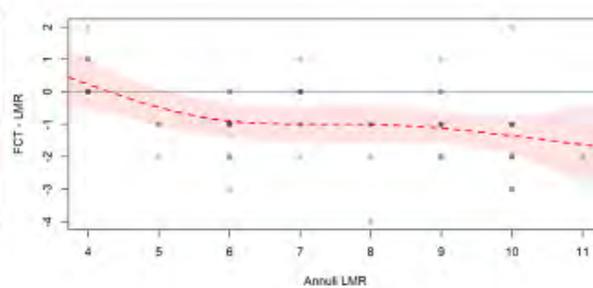
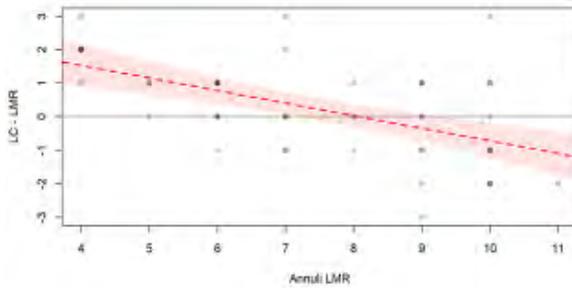
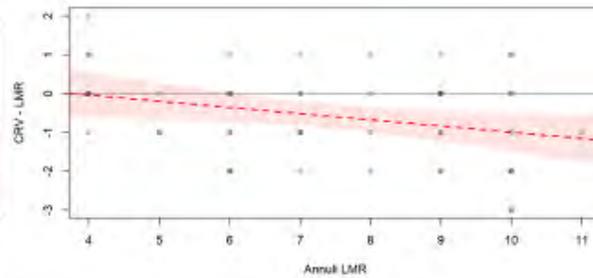
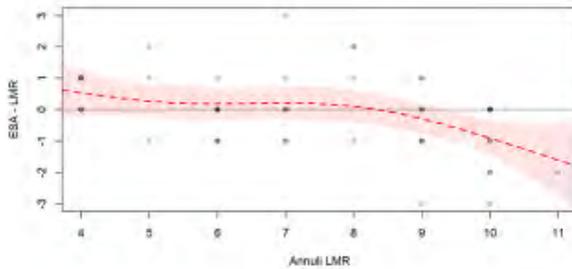
	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	30	29,6	20,93	0,000	0,014	0,319
CRV-GMA	28	34,11	24,12	0,451	0,285	0,505
ESA-GMA	22	35,64	25,2	0,000	0,000	0,010

Ejercicio Post-Taller

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-ESA	30	31,54	22,31	0,398	0,296	0,448
CRV-GMA	31,25	22,79	16,11	0,862	0,214	0,542
CRV-LMR	46	18,74	13,25	0,117	0,578	0,41
ESA-GMA	22,92	28,72	20,31	0,869	0,159	0,539
ESA-LMR	26	31,27	22,11	0,622	0,875	0,323
GMA-LMR	35,42	18,89	13,36	0,209	0,319	0,562
TODOS	6,25	39,2	29,43			



	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	/ANS-HOENIG	BOWKER
CRV-LC	26	12,1	8,55	0,000	0,000	0,004
CRV-ESA	30	10,31	7,29	0,028	0,133	0,577
CRV-FCT	24	11,18	7,9	0,105	0,361	0,527
CRV-LMR	32	10,41	7,36	0,006	0,014	0,401
CRV-MAC						
LC-ESA	24	10,74	7,6	0,052	0,266	0,537
LC-FCT	14	16,36	11,57	0,000	0,000	0,004
LC-LMR	24	11,43	8,08	0,194	0,536	0,215
LC-MAC						
ESA-FCT	18	13,64	9,65	0,001	0,037	0,239
ESA-LMR	38	8,47	5,99	0,590	0,916	0,788
ESA-MAC						
FCT-LMR	24	12,83	9,07	0,000	0,000	0,008
FCT-MAC						
LMR-MAC						
TODOS	0	14,33	11,06			





Tipo de borde

- 0: Borde opaco
- 1: Borde hialino
- Porcentaje cercano a 100, la mayorfa de los lectores interpret3 un borde hialino.
- Porcentaje cercano a 0, la mayorfa de los lectores interpret3 borde opaco.
- Porcentaje en 50 quiere decir que no hubo consenso entre lectores respecto del borde

ID taller	CRV	MNS	ESA	FCT	MAC	GMA	%
1	0	1	0	1	0	0	33,33
2	1	1	1	1	1	1	100,00
3	0	1	1	1	1	1	83,33
4	0	0	0	0	1	1	33,33
5	1	1	1	1	1	1	83,33
6	0	0	1	1	1	1	66,67
7	1	1	0	1	1	1	66,67
8	0	0	1	1	1	1	50,00
9	0	1	1	1	1	1	83,33
10	1	1	1	1	1	1	83,33
11	0	1	0	1	0	0	33,33
12	0	1	0	1	1	1	66,67
13	0	0	0	0	0	1	16,67
14	1	1	0	1	1	1	66,67
15	1	0	1	1	1	1	83,33
16	0	0	1	1	1	1	50,00
17	1	1	1	1	1	1	83,33
18	1	1	0	1	1	1	66,67
19	1	1	0	1	1	1	83,33
20	0	1	1	1	1	1	83,33
21	1	1	0	1	1	1	66,67
22	0	1	0	1	1	1	66,67
23	0	1	1	1	1	1	66,67
24	1	0	0	1	1	1	66,67
25	1	0	0	1	0	0	33,33

- 0: Borde opaco
- 1: Borde hialino
- Porcentaje cercano a 100, la mayorfa de los lectores interpret3 un borde hialino.
- Porcentaje cercano a 0, la mayorfa de los lectores interpret3 borde opaco.
- Porcentaje en 50 quiere decir que no hubo consenso entre lectores respecto del borde

ID taller	CRV	MNS	ESA	FCT	MAC	GMA	%
26	0	1	0	1	1	1	66,67
27	0	1	0	1	1	1	50,00
28	1	0	1	1	1	1	66,67
29	0	0	0	1	0	0	16,67
30	1	1	0	1	1	1	66,67
31	0	1	1	1	1	1	66,67
32	0	1	1	1	1	1	80,00
33	1	0	1	1	1	1	83,33
34	0	1	0	0	0	0	20,00
35	0	1	0	0	1	0	40,00
36	1	1	0	1	1	0	60,00
37	0	0	0	0	1	0	20,00
38	0	1	1	1	1	1	80,00
39	0	0	0	0	1	1	40,00
40	1	1	1	0	0	1	80,00
41	1	1	0	1	1	1	83,33
42	1	1	1	1	1	1	100,00
43	1	1	1	1	1	1	100,00
44	1	1	1	1	1	0	83,33
45	1	1	0	1	0	1	66,67
46	0	1	1	1	1	0	60,00
47	0	1	0	1	1	1	66,67
48	1	1	0	1	1	1	83,33
49	1	1	1	1	1	1	100,00
50	1	1	1	1	1	1	100,00



ID taller	CRV	LC	ESA	FCT	LMR	MAC	POR%	MDDA
1	1	1	0		1	1	0,8	1
2	0	1	1		0	1	0,6	1
3	1	1	0		1	1	0,8	1
4	1	1	1		1	0	0,8	1
5	1	1	1		0	1	0,8	1
6	0	1	1		0	1	0,6	1
7	0	1	1		1	0	0,6	1
8	1	0	0		1	0	0,4	0
9	0	0	1		1	0	0,4	0
10	0	1	0		1	1	0,6	1
11	1	0	0		1	1	0,6	1
12	1	1	1		1	0	0,8	1
13	0	0	1		1	1	0,6	1
14	0	1	0		1	1	0,6	1
15	1	1	0		1	1	0,8	1
16	0	1	0		1	0	0,4	0
17	0	1	0		1	1	0,6	1
18	1	1	1		0	0	0,6	1
19	0	1	0		1	1	0,6	1
20	1	1	1		1	1	1	1
21	1	0	1		1	0	0,6	1
22	0	1	1		1	0	0,6	1
23	0	0	1		1	1	0,6	1
24	1	1	0		1	1	0,8	1
25	1	1	1		1	0	0,8	1
26	1	0	0		1	0	0,4	0

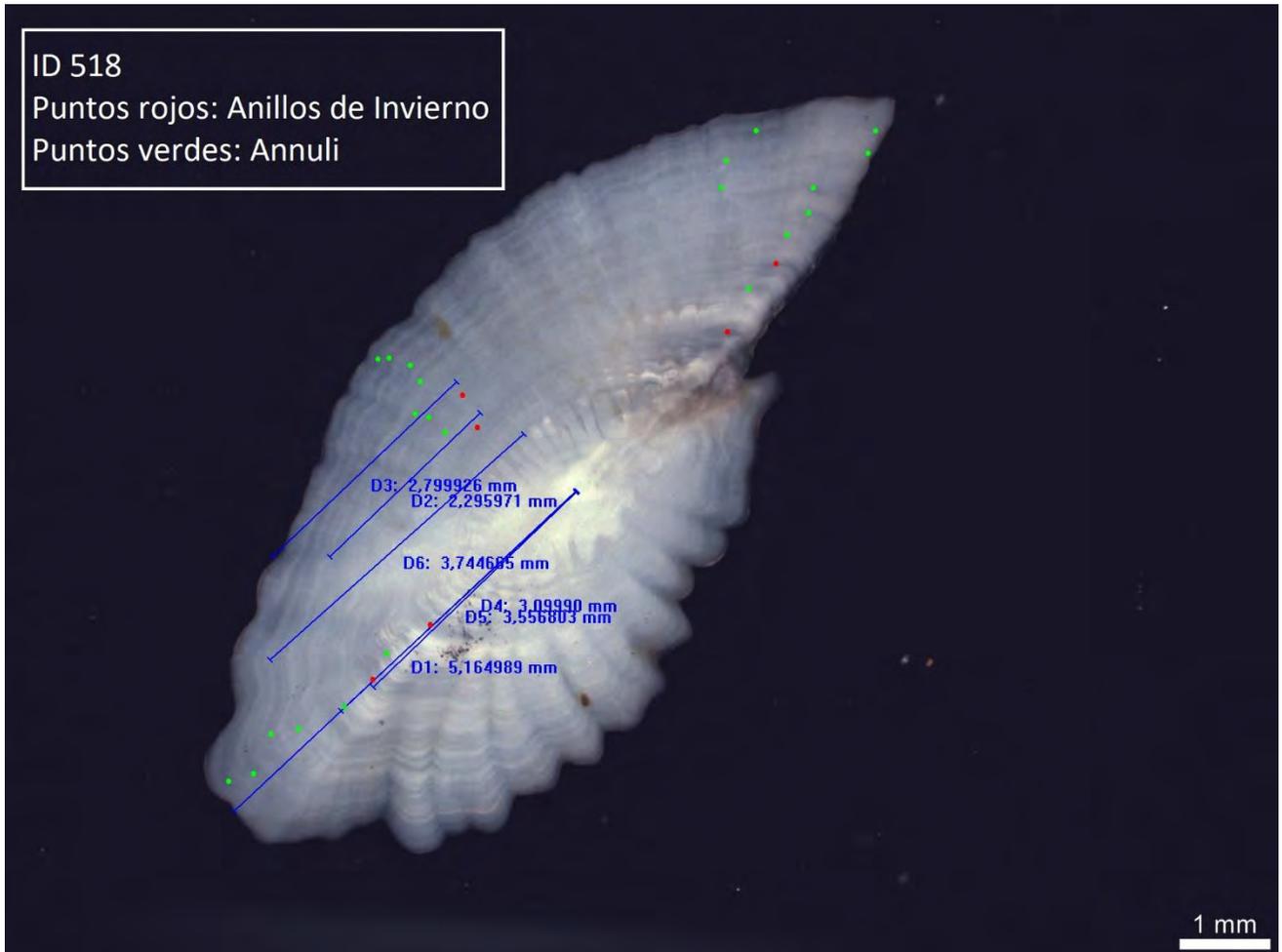
ID taller	CRV	LC	ESA	FCT	LMR	MAC	POR%	MDDA
26	1	0	0		1	0	0,4	0
27	0	0	0		1	0	0,2	0
28	0	1	0		1	1	0,6	1
29	1	1	1		0	0	0,6	1
30	0	1	1		0	0	0,4	0
31	0	1	0		1	1	0,6	1
32	1	1	0		1	0	0,6	1
33	1	1	1		1	1	1	1
34	1	1	0		1	1	0,8	1
35	0	0	0		1	0	0,2	0
36	0	1	1		1	1	0,8	1
37	0	1	1		1	1	0,8	1
38	1	1	1		1	0	0,8	1
39	0	0	0		1	1	0,4	0
40	0	0	0		0	0	0	0
41	0	1	1		1	1	0,8	1
42	1	1	0		1	1	0,8	1
43	0	1	0		0	1	0,4	0
44	0	1	1		1	1	0,8	1
45	0	1	1		1	1	0,8	1
46	1	1	1		0	0	0,6	1
47	1	1	0		0	1	0,6	1
48	1	1	0		0	1	0,6	1
49	1	1	1		1	1	1	1
50	0	0	1		0	0	0,2	0



Fichas de otolitos de jurel

Utilizadas para ejercicio de lectura conjunta e interpretaci3n anillos en otolitos enteros y secciones.



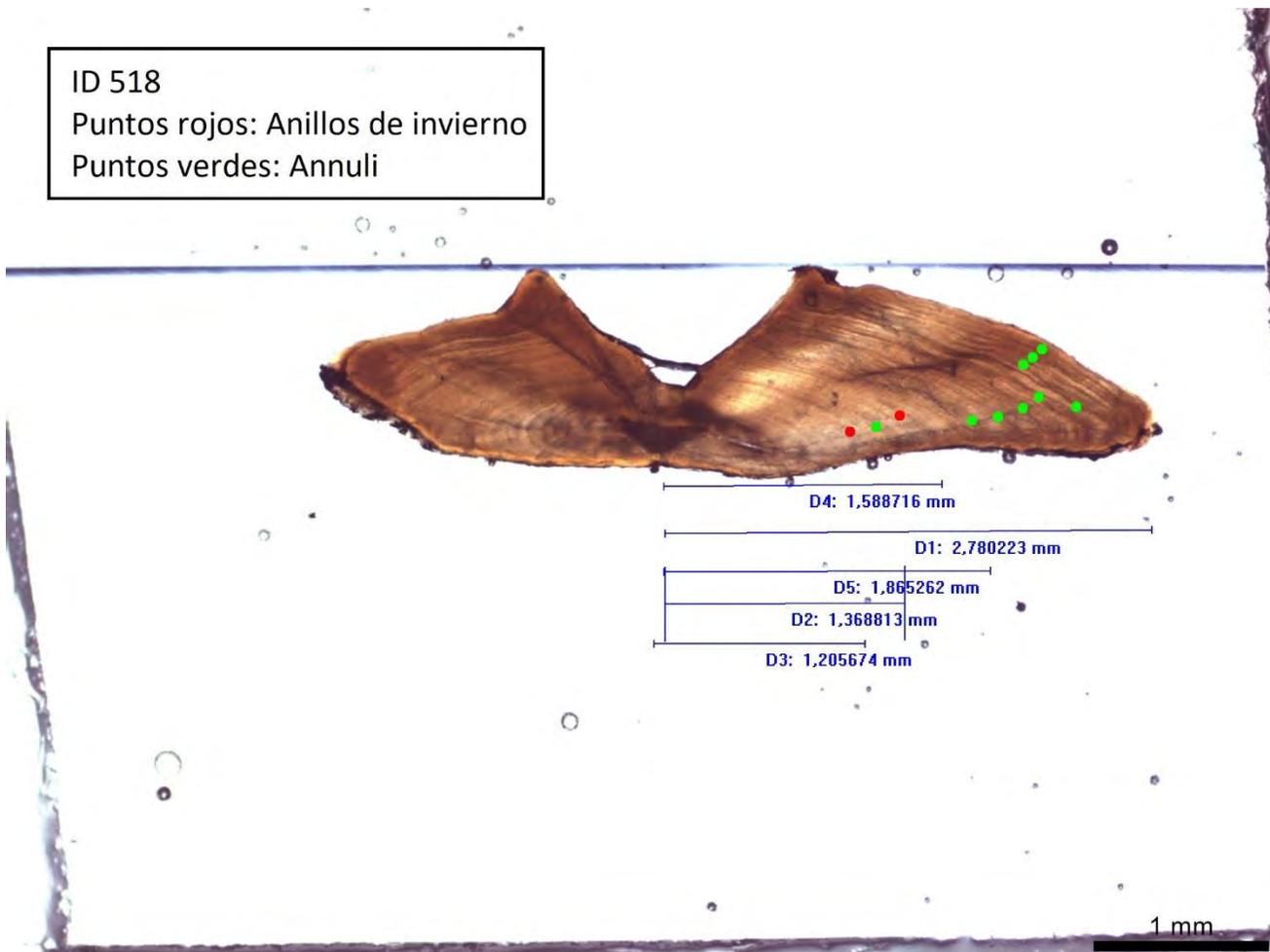




ID 518

Puntos rojos: Anillos de invierno

Puntos verdes: Annuli





Reporte Técnico Taller

M.Sc. Camilo Rodríguez Valentino
Instituto de fomento pesquero



REPORTE TÉCNICO

TALLER

Chilean jack mackerel ageing protocol, homologation of the new ageing
criteria

Valparaíso

18 de octubre - 21 de octubre de 2022

Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)

Valparaíso, Chile

Reporte preparado por:

M.Sc. Camilo Rodríguez Valentino

Instituto de Fomento Pesquero

Taller organizado por Francisco Cerna como parte del proyecto FIPA 2021-21 "Actualización de información asociada a edad y crecimiento de jurel, en el contexto de la OROP-PS" (Anexo)



8. INTRODUCCIÓN

El jurel (*Trachurus murphyi*, Nichols 1920) es un carangido ampliamente distribuido en el Pacífico suroriental, abarcando desde las Islas Galapagos y el sur de Ecuador hasta la zona centro-sur de Chile. Su distribución actual también se extiende desde Chile a través del Pacífico hasta Nueva Zelanda y Tasmania (Evseenko, 1987; Serra, 1991; Elizarov et al., 1993; Taylor, 2002). La población de jurel se caracteriza por desovar entre los 35° y 40°S has 90°W, una zona de alimentación de adultos costera (33°- 40°S), donde los juveniles reclutan, y la existencia de una zona de criadero al norte de los 30°S en aguas tibias oceánicas y costeras (Arcos et al., 2001).

La composición de edades de captura del jurel ha sido un elemento particularmente relevante para entender los cambios en el stock. El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) ha realizado estudios de edad y crecimiento desde finales de los 70s, los que se han utilizado para desarrollar claves talla-edad y matrices de captura-a-la-edad trimestrales por zona, las que son utilizadas en la evaluación del stock. La estimación de la edad en esta especie se realiza mediante lectura de la cara distal de otolitos *sagittae* sumergidos en liquido aclarante sobre un fondo negro, con luz incidente y aumento de 10x bajo lupa estereoscópica cuando los especímenes miden ≤ 45 cm longitud de horquilla y mediante la técnica de “tostados y quebrado” en especímenes de >45 cm.

La interpretación de los macroanillos en otolitos de especímenes de la familia carangidae es compleja, debido a que presentan gran cantidad de anillos falsos y dobles que pueden ser confundidos con *annuli* verdaderos, llevando a una sobrestimación de la edad. También es compleja la identificación del tipo de borde y del primer anillo anual, debido a la presencia de anillos juveniles que se forman antes del año de edad (Vitale *et al.* 2019). En jurel, Goicochea et al. (2013) validó el primer anillo anual a través del análisis de la microestructura de secciones transversales del otolito *sagittae*, basado en el conteo de microincrementos diarios, cuya periodicidad diaria fue validada en peces adultos por Araya et al. (2003). Estos resultados indicaron que el tamaño promedio de longitud de horquilla a los 365 días es 17,7 cm, con un radio promedio del otolito de 2,49 mm. Otros estudios, como el Proyectos FIPA 2014-32 y FIPA 2017-61 que determinaron un crecimiento rápido los primeros dos años de vida, donde se determinó que el tamaño promedio del jurel en el



primer a1o de vida oscilo entre 21 y 22 cm longitud de horquilla (Cerna et al. 2006; Araya et al. 2017).

Tambi3n es compleja la estimaci3n de edad en individuos longevos debido a la compresi3n de los anillos, siendo cada vez m3s difciles de identificar (Horn & Maolag3in 2015, Vitale *et al.* 2019). Para solucionar este problema, se emplea en individuos de >45 cm de longitud de horquilla la t3cnica de “tostado y quebrado”, la que est3 siendo reemplazada por la confecci3n de secciones transversales del otolito *sagittae* previamente tostado y revisados en lupa estereosc3pica en 20x con luz transmitida, mejorando la resoluci3n de los macroanillos m3s lejanos al n3cleo.

Estos problemas en la interpretaci3n y t3cnicas de preparaci3n de otolitos conllevan la necesidad imperativa de calibrar los criterios de lectura de jurel entre los distintos laboratorios de estimaci3n de edad de los pa3ses miembros de OROP-PS, ya que la imprecisi3n en la determinaci3n de edad puede acarrear grandes problemas en los estudios de din3micas poblacionales, en ocasiones provocando la sobreexplotaci3n de una poblaci3n (Campana, 2001).

El objetivo de este taller era discutir y homologar los criterios de lectura del jurel con investigadores expertos en estimaci3n de edad que estuvieran interesados en realizar lecturas de jurel, pero lamentablemente ning3n pa3s miembro pudo enviar representantes. Por este motivo, este taller sirvi3o como una oportunidad de seguir calibrando los criterios de lectura con INPESCA.

9. OBJETIVO DEL TALLER

Analizar y discutir los criterios de lectura de los *annuli* en individuos juveniles y adultos de jurel (*Trachurus murphyi*) y mejorar los niveles de precisi3n respecto del taller anterior.

10. METODOLOGÍA

Se realiz3o un ejercicio de lectura conjunta en 2 otolitos enteros y 1 secci3n seleccionados de la colecci3n de referencia para discutir los criterios de interpretaci3n de annuli de forma



previa a la lectura de otolitos individual, de forma de tener una interpretación consensuada previamente y disminuir al máximo la subjetividad en la interpretación. A continuación, se realizó un ejercicio de interpretación del tipo de borde, en el cual los y las lectoras interpretaron el tipo de borde de 2 otolitos a la vez, de un total de 10, y discutieron los criterios de asignación del tipo de borde.

Finalmente, se trabajó una submuestra de 50 otolitos y sus respectivas secciones de la colección de referencia, a los cuales se les asignó un nuevo número de identificación (ID) para evitar el reconocimiento de estas (Campana 2001). Se crearon 6 estratos de tamaño, de 35 a 64 cm longitud de horquilla (LH), seleccionándose de forma aleatoria entre 2 y 12 otolitos por estrato, de acuerdo a disponibilidad (Tabla 1).

Los otolitos fueron leídos por todos los participantes del taller (Tabla 2), tanto el otolito entero como la sección. Se midieron los radios del 1er y 2do anillo de invierno, 1er y 2do *annulus* y el radio total (Caudal) del otolito y se compararon mediante ANOVA de una vía ($p < 0,05$) y un test de Tukey post-hoc ($p < 0,05$) para detectar diferencias significativas entre los lectores. Además, se determinó el tipo de borde (hialino u opaco). Se definió a Lizandro Muñoz como el lector de referencia debido a su amplia experiencia cómo lector de otolitos de jurel.

Tabla 1. Número de otolitos por rango de tallas analizadas durante el taller.

Rango de tallas(cm)	n
35-39	11
40-44	9
45-49	12
50-54	12
55-59	2
60-64	4

Tabla 2. Lista de participantes del taller

Profesional	Abreviación	Categoría	Afiliación
José Francisco Cerna T.	FCT	Jefe de Proyecto/Lector	Instituto de Fomento Pesquero
Miguel Araya C.	MAC	Investigador/Lector	Universidad Arturo Prat



Lilian Cisterna.	LC	Investigadora/Lectora	Instituto de Investigación Pesquera
Evelin Sanhueza A.	ESA	Investigadora/Lectora	
Lizandro Muñoz R.	LMR	Investigador/Lector	Instituto de Fomento Pesquero
Camilo Rodríguez V.	CRV	Investigador/Lector	

Posteriormente se realizaron los análisis de precisión y sesgo entre lectores. La precisión se midió con el porcentaje de concordancia que corresponde al porcentaje de muestras donde los lectores coinciden en la asignación de edad, con el coeficiente de variación (CV) y el porcentaje de error promedio (APE por sus siglas en inglés) (Campana 2001).

$$CV_j = 100\% \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j}$$

$$APE_j = 100\% \times \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|x_{ij} - x_j|}{X_j}$$

Para los análisis de sesgo se efectuaron los siguientes test de simetría:

$$\text{McNemar (1947): } \chi^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m (n_{ij} - n_{ji}) \right)^2}{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m (n_{ij} + n_{ji})}$$

Donde m es la edad máxima estimada, n_{ij} es la frecuencia observada en i ma fila y la j ma columna, y n_{ji} es la frecuencia observada en la j ma fila y la i ma columna.

$$\text{Evans-Hoening (1998): } \chi^2 = \sum_{p=1}^{m-1} \frac{\left(\sum_{j=1}^{m-p} (n_{p+j,j} - n_{j,p+j}) \right)^2}{\sum_{j=1}^{m-p} (n_{p+j,j} + n_{j,p+j})}$$



Donde $p = j - i$

$$\text{Bowker (1948): } \chi^2 = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \frac{(n_{ij} - n_{ji})^2}{n_{ij} + n_{ji}}$$

Y se seleccion3 el m3s apropiado dependiendo del nivel de precisi3n entre lectores (McBride 2015). Adem3s, para hacer un an3lisis gr3fico del sesgo se trabaj3 con el gr3fico de Bland-Altman con un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) de modo de detectar en que edades se producen los sesgos, utilizando el paquete FSA de R (Campana 2001, Ogle 2022).

11. RESULTADOS

11.1. Ejercicio de lectura conjunta

Se leyeron de forma conjunta el otolito 479 y 518 de la colecci3n de referencia, este 3ltimo entero y seccionado. Esto permiti3 disminuir la subjetividad en la interpretaci3n de los anillos y unificar los criterios de los y las lectoras.



Figura 1. Otolito de jurel de 47 cm longitud de horquilla, leido de forma conjunta. Se asignaron 7 aros.

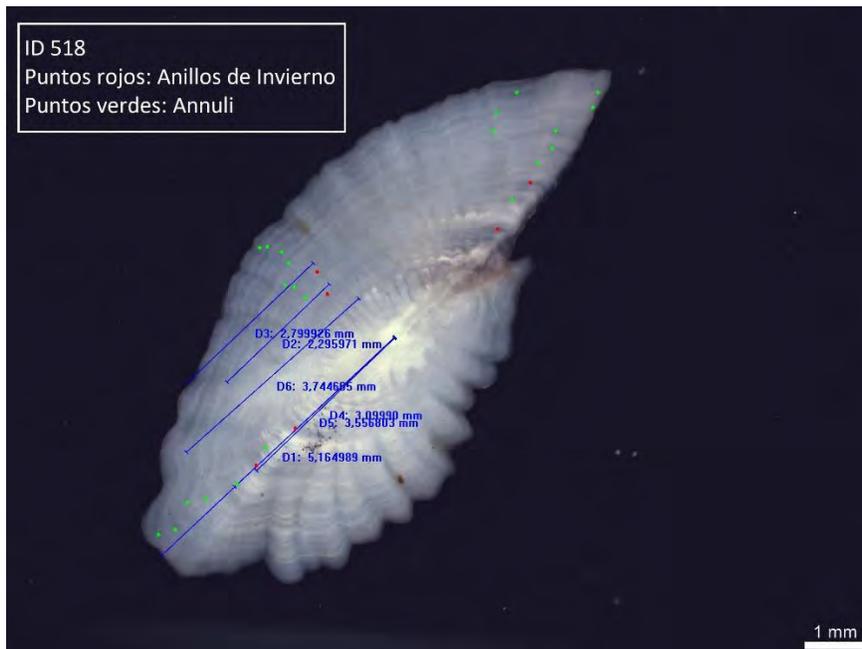


Figura 2. Otolito de jurel de 58 cm longitud de horquilla, leído de forma conjunta. Se asignaron 9 años.

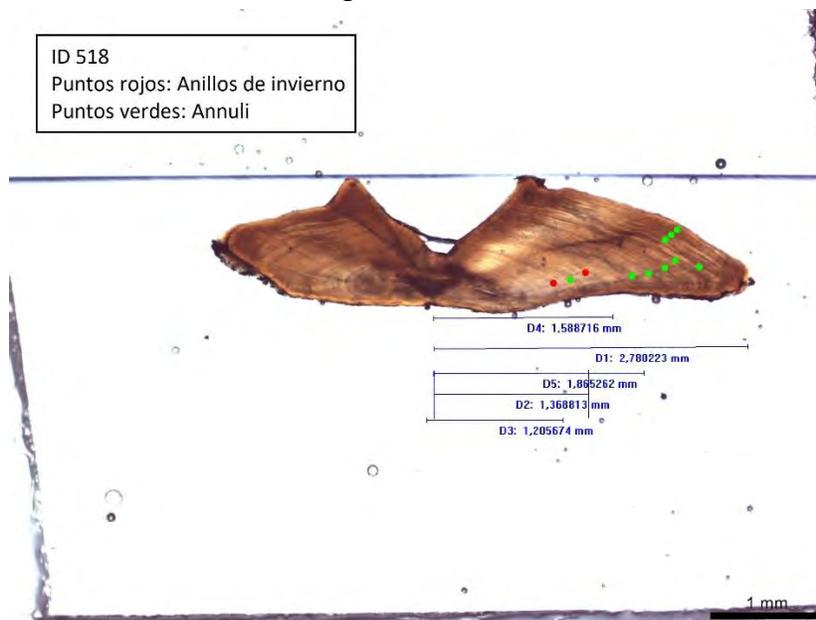


Figura 3. Otolito seccionado transversalmente de jurel de 58 cm longitud de horquilla, leído de forma conjunta. Se asignaron 9 años.



11.2. Ejercicio de interpretaci3n de tipo de borde

El ejercicio de interpretaci3n del tipo de borde dio como resultado una alta variabilidad en la interpretaci3n de los y las lectoras (Tabla 3). Como consecuencia, se determin3 que la mejor forma de interpretar el borde es comparando el grosor de la banda opaca en formaci3n con respecto al patr3n de bandas anterior.

Tabla 3. Tabla de interpretaci3n del tipo de borde por lector y el borde consenso. 1 corresponde a borde hialino y 0 a borde opaco.

ID	LMR	CRV	FCT	ESA	LC	MAC	Consenso
17	0	0	0	1	1	1	0
31	0	0	1	0	0	0	0
36	0	1	0	1	1	1	1
42	0	0	0	1	1	0	0
3	1	0	0	0	0	1	0
11	0	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	0	1	1	1
25		1	1	1	1	0	1
7	0	1	1	1	1	1	1
24	0	0	1	0	1	0	0

11.3. An3lisis de precisi3n y sesgo de lecturas

La precisi3n de las lecturas entre lectores mejor3 considerablemente respecto del taller anterior, llegando a APEs de menos de 10 con ambos m3todos (Tablas 4 y 5). Debido a la precisi3n de las lecturas entre lectores, se utiliz3 el test de Evans-Hoening ya que es el m3s efectivo para detectar sesgo bajo estas condiciones (McBride 2015), detect3ndose sesgo entre los lectores con respecto al lector de referencia (LMR) en el caso de los otolitos enteros (con excepci3n de CRV) principalmente debido a diferencias en la asignaci3n de edad de los individuos m3s longevos. En el caso de las secciones, solo CRV y FCT se les detect3 sesgo con el test de simetr3a de Evans-Hoening, sin embargo, fue posible detectar niveles de sesgo principalmente en los individuos m3s longevos gracias a los gr3ficos de Bland-Altman (Figuras 4 y 5).



Tabla 4. Precisión y sesgo en la lectura de otolitos enteros entre lectores. Valores en **negrita** corresponden a sesgo entre los lectores.

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS- HOENING	BOWKER
CRV-LC	18	13,9	9,82	0,000	0,000	0,004
CRV-ESA	28	12,91	9,13	0,000	0,000	0,004
CRV-FCT	34	11,47	8,11	0,001	0,003	0,229
CRV-LMR	30	9,46	6,69	0,398	0,562	0,710
CRV-MAC	30	11,9	8,41	0,369	0,367	0,200
LC-ESA	42	9,26	6,55	0,853	0,753	0,404
LC-FCT	34	10,83	7,66	0,223	0,367	0,191
LC-LMR	32	12,32	8,71	0,001	0,001	0,098
LC-MAC	18	14,06	9,94	0,003	0,007	0,020
ESA-FCT	36	10,98	7,76	0,157	0,151	0,455
ESA-LMR	38	10,75	7,6	0,000	0,000	0,002
ESA-MAC	30	13,09	9,26	0,000	0,001	0,041
FCT-LMR	24	12,78	9,04	0,009	0,032	0,128
FCT-MAC	27	12,97	9,17	0,077	0,221	0,569
LMR-MAC	34	11,23	7,94	0,353	0,312	0,155

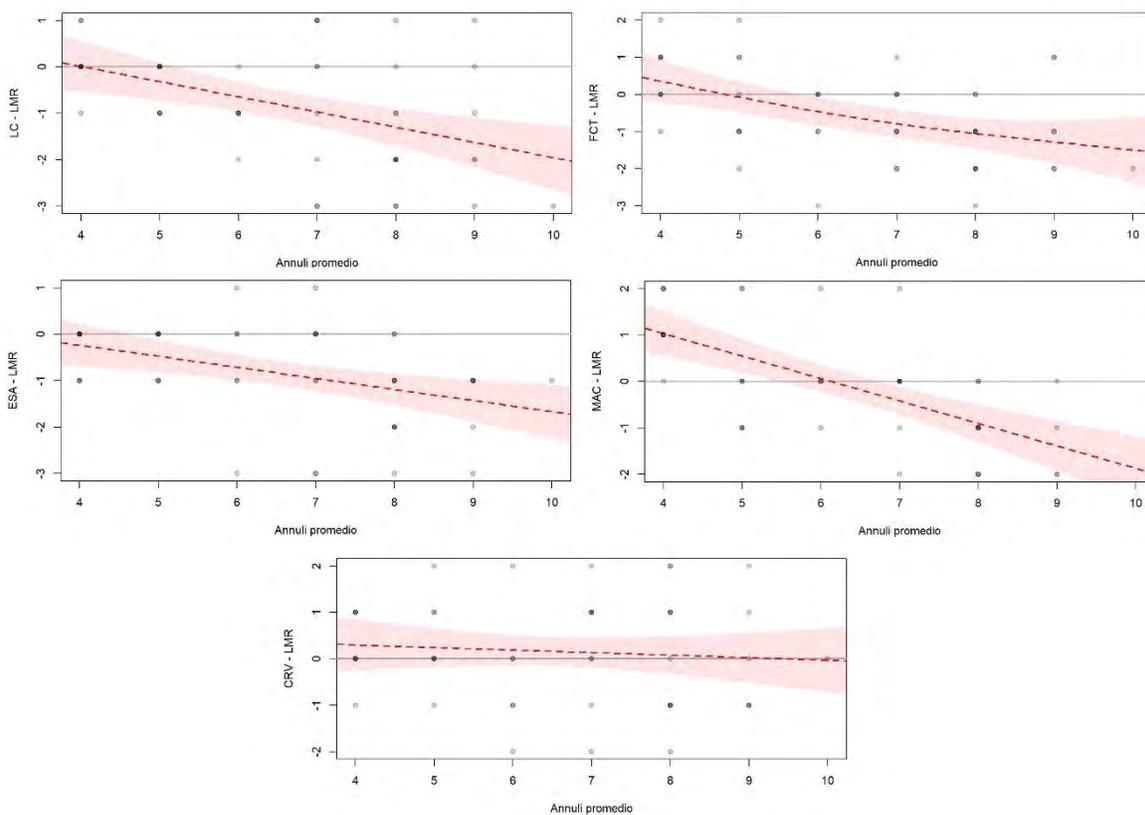


Figura 4. Gráficos de Bland-Altman con GAM para detectar sesgo entre lectores de los otolitos enteros con LMR como lector de referencia. El eje X corresponde al promedio entre las lecturas del otolito entero de un mismo individuo. El eje Y corresponde a la diferencia de las lecturas entre lectores.



Tabla 5. Precisión y sesgo en la lectura de secciones transversales de otolitos entre lectores. Valores en **negrita** corresponden a sesgo entre los lectores.

	%Coincidencia	CV	APE	MCNEMAR	EVANS-HOENING	BOWKER
CRV-LC	26	12,1	8,55	0,000	0,000	0,004
CRV-ESA	30	10,31	7,29	0,028	0,133	0,577
CRV-FCT	24	11,18	7,9	0,105	0,361	0,527
CRV-LMR	32	10,41	7,36	0,006	0,014	0,401
CRV-MAC	12	17,69	12,51	0,071	0,275	0,599
LC-ESA	24	10,74	7,6	0,052	0,266	0,537
LC-FCT	14	16,36	11,57	0,000	0,000	0,004
LC-LMR	24	11,43	8,08	0,194	0,536	0,215
LC-MAC	14	23,83	16,85	0,000	0,000	0,002
ESA-FCT	18	13,64	9,65	0,001	0,037	0,239
ESA-LMR	38	8,47	5,99	0,590	0,916	0,788
ESA-MAC	26	14,32	10,13	0,209	0,314	0,305
FCT-LMR	24	12,83	9,07	0,000	0,000	0,008
FCT-MAC	21	17,00	12,02	0,009	0,019	0,171
LMR-MAC	17	16,49	11,66	0,866	0,635	0,098

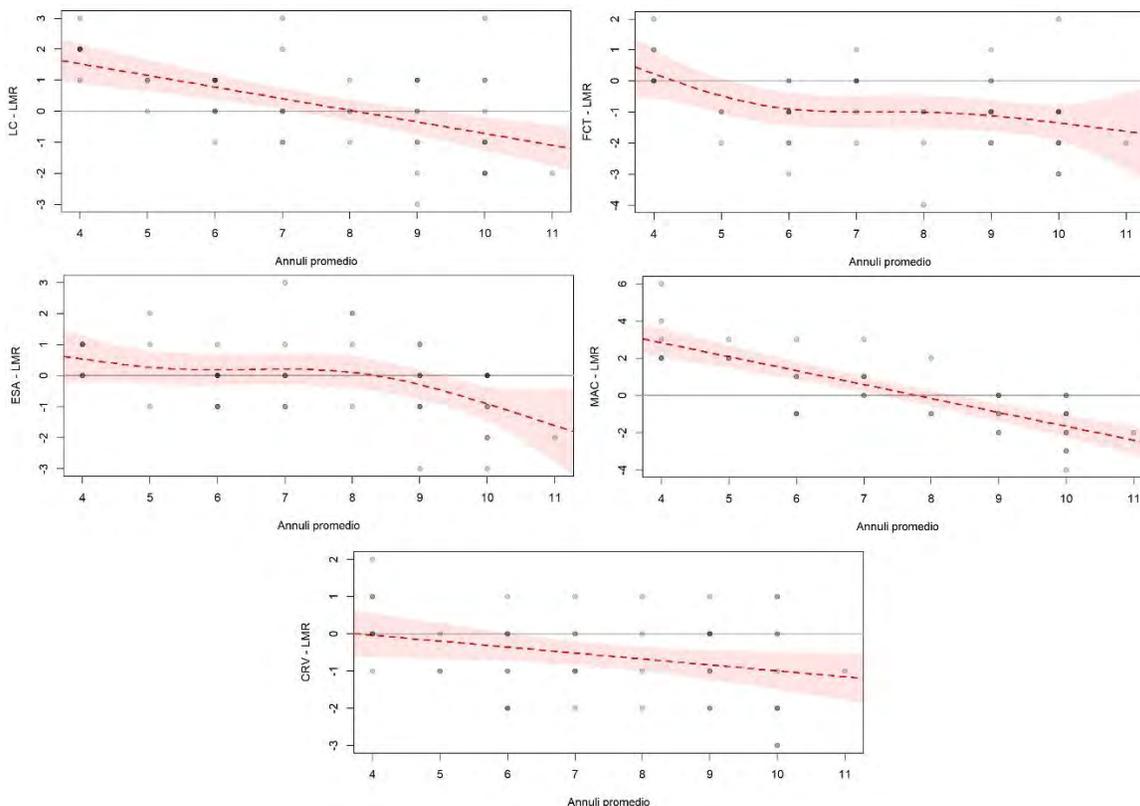


Figura 5. Gráficos de Bland-Altman con GAM para detectar sesgo entre lectores de las secciones transversales de otolitos. El eje X corresponde al promedio entre las lecturas de la secci3n para un mismo individuo. El eje Y corresponde a la diferencia de las lecturas entre lectores.

11.4. Medici3n de radios

11.4.1. Radio total

Las mediciones de radio total no mostraron diferencias significativas entre los lectores (ANOVA, $F:2,09$; $p: 0,06$). Sin embargo, los lectores CRV y MAC midieron radios m1s grandes, lo que puede indicar una diferencia en el criterio de identificaci3n del n1cleo (Figura 6).

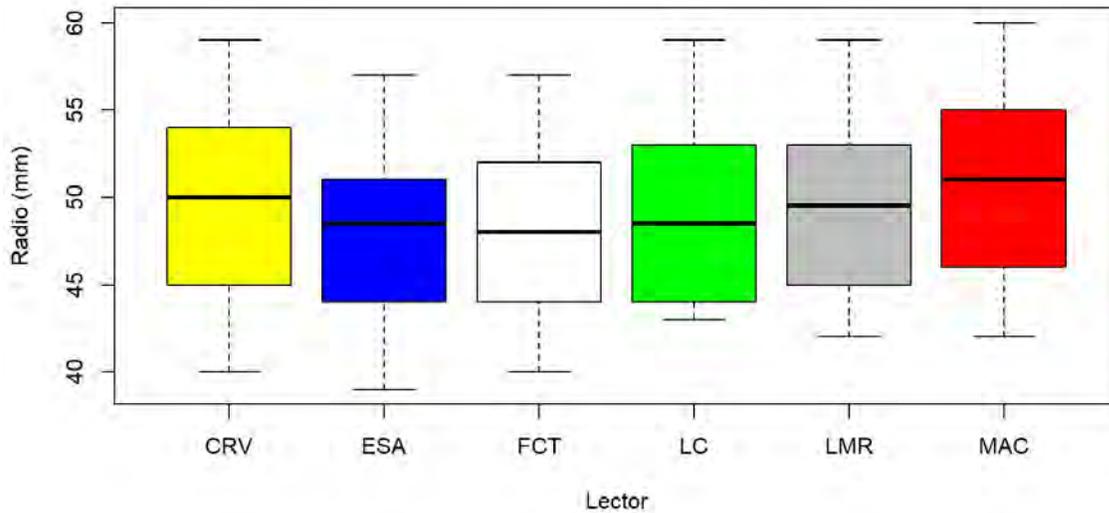


Figura 6. Boxplot de los radios totales (DMO) de los otolitos medidos por cada lector.

11.4.2. Radio Anillo de Invierno

Se encontraron diferencias significativas en la identificaci3n del anillo de invierno (ANOVA, $F: 17,74; p: 0,00$), las cuales corresponden a los lectores ESA y MAC quienes tendieron a medir radios m1s peque1os y m1s grandes que el resto de los lectores, respectivamente (Figura 7).

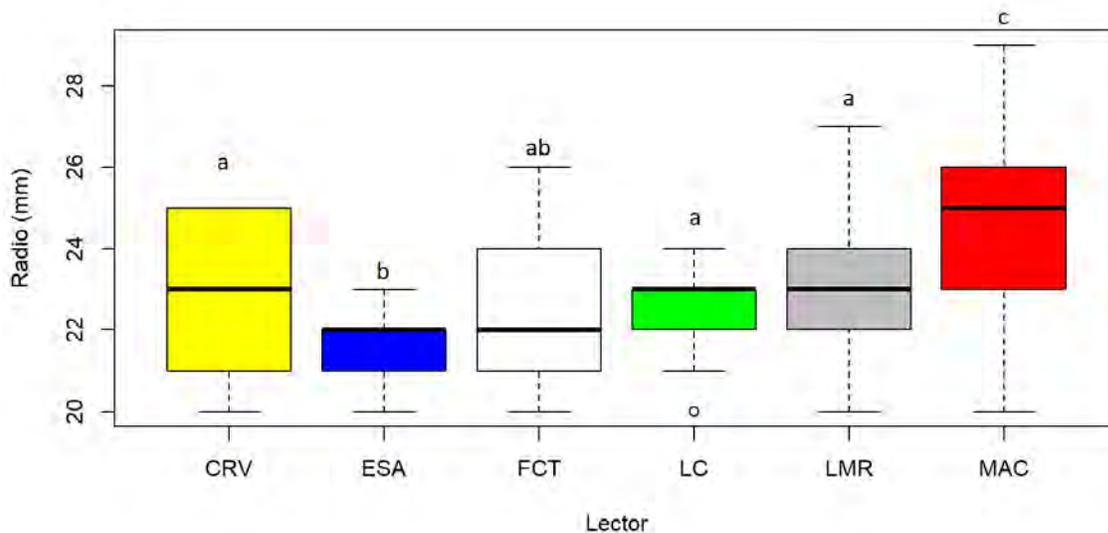


Figura 7. Boxplot de los radios del primer *annulus* (DMO) de los otolitos medidos por cada lector. Letras identifican diferencias significativas.

11.4.3. Radio Primer *Annulus*

Se encontraron diferencias significativas en la identificaci3n del primer *annulus* (ANOVA, F: 13,54; p : 0,00), las cuales corresponden a los lectores CRV, ESA y LC quienes tendieron a medir radios m1s peque1os que el resto de los lectores (Figura 8).

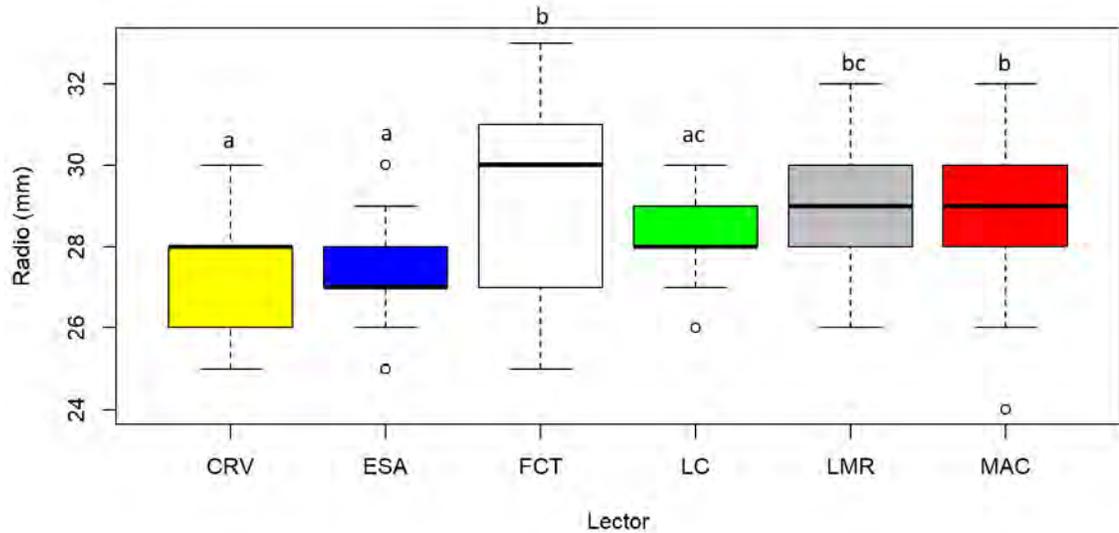


Figura 8. Boxplot de los radios del anillo de invierno (DMO) de los otolitos medidos por cada lector. Letras identifican diferencias significativas.

11.4.4. Radio segundo anillo de invierno

Se encontraron diferencias significativas en la identificaci3n del primer *annulus* (ANOVA, F: 6,8; p : 0,00), la cual corresponde al lector CRV quien tendi3 a medir radios m1s peque1os que el resto de los lectores (Figura 9).

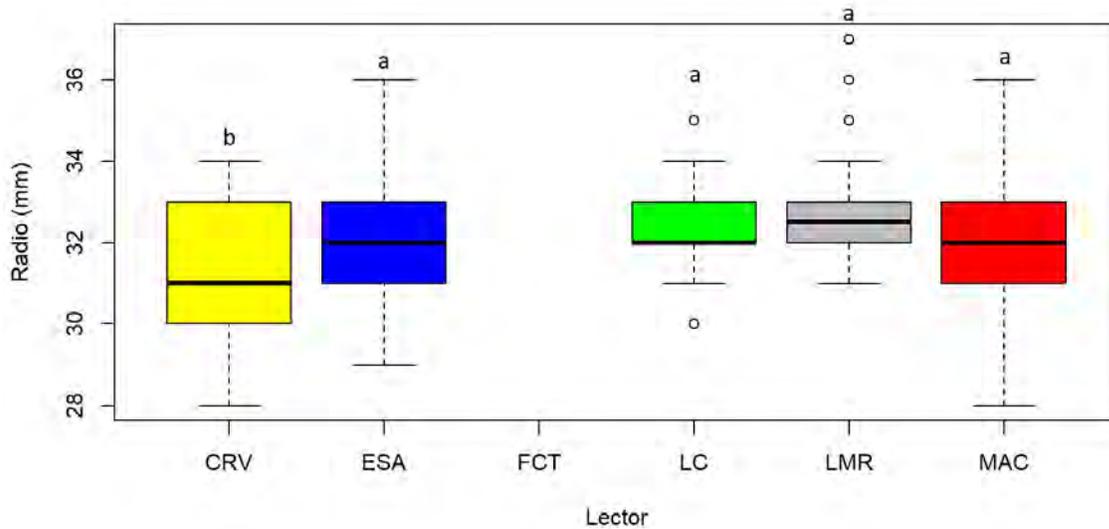


Figura 9. Boxplot de los radios del anillo de invierno (DMO) de los otolitos medidos por cada lector. Letras identifican diferencias significativas

11.4.5. Radio segundo annulus

No se detectaron diferencias significativas entre los lectores (ANOVA, $F: 1,484$; $p: 0,19$). La interpretaci3n de los lectores mostr3 poca variabilidad (Figura 10).

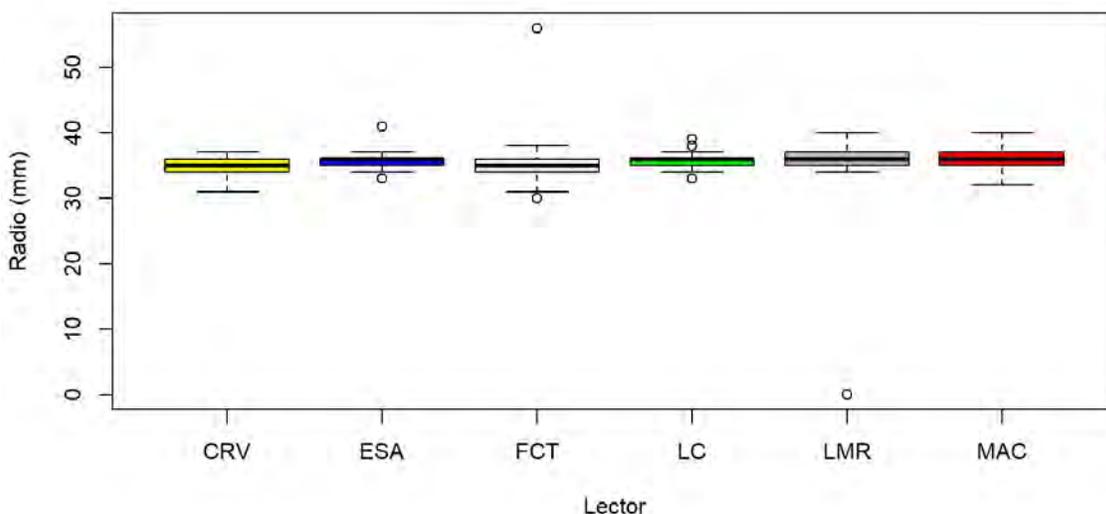


Figura 10. Boxplot de los radios del anillo de invierno (DMO) de los otolitos medidos por cada lector. Letras identifican diferencias significativas

12. PRINCIPALES HALLAZGOS

La precisi3n mejor3 considerablemente con respecto al taller anterior, alcanz3ndose niveles aceptables para est3ndares de otras pesquer3as (%Coincidencia > 95%, CV < 5%, APE < 10). Sin embargo, los gr3ficos de Bland-Altman permitieron evidenciar que el sesgo contin3a siendo m3s alto en individuos longevos, por lo que la interpretaci3n de los anillos posteriores al segundo annulus debe seguir discuti3ndose de forma de reducir la subjetividad en la interpretaci3n de estos. El ejercicio de lectura conjunta previo al comienzo de las lecturas individuales permiti3 mejorar la interpretaci3n de los e internalizar el nuevo criterio de lectura.

Si bien a3n existen diferencias significativas entre algunos lectores, la interpretaci3n de los anillos de invierno y del primer annulus mejoraron con respecto al taller anterior. Los lectores que tuvieron diferencias significativas se deben principalmente a dos motivos: selecci3n del primordio y marca del anillo hialino. Sin embargo, todos los lectores parecen estar interpretando los anillos de la misma forma.



La mayoría de las secciones permitieron observar con claridad los *annuli* de peces de mayor edad. Las secciones ayudan a encontrar los anillos difíciles de observar en la lectura del otolito entero, sin embargo, la identificación del anillo de invierno y el primer *annulus* es más complicada y debe realizarse usando de referencia los radios medidos en el otolito entero. La interpretación de los *annuli* desde el 2do *annulus* en adelante es bastante clara en la mayoría de los casos, aunque la presencia de anillos falsos puede complicar la interpretación en algunas muestras.

La prevalencia de anillos falsos hace que la identificación del tipo de borde sea compleja, habiendo poca coincidencia entre lectores incluso después de discutir los criterios de asignación. La mayoría de las veces el borde se identifica como hialino. La mejor forma de interpretar el borde es comparando con el grosor del anillo anterior e interpretar si corresponde la formación de un anillo hialino o no, sin embargo, este criterio continúa siendo subjetivo por lo que se necesita más trabajo respecto este tema.

Es necesario realizar más ejercicios de reproducibilidad y repetibilidad de forma periódica entre los lectores de los distintos laboratorios para disminuir el sesgo en los individuos más longevos y mantener los niveles de precisión del presente taller.

13. RECOMENDACIONES

- La identificación del anillo de invierno y primer *annulus* en la sección apoyada con el otolito entero es efectiva y se recomienda continuar con su uso. Esta técnica ayuda a ubicar más fácilmente los anillos que no siempre se ven con claridad cercanos al núcleo.
- En secciones de ejemplares longevos se recomienda leer en sector cercano a *sulcus acusticus*, cuando la resolución lo permita. Generalmente esto es posible después del cuarto o quinto anillo, cuando la distancia entre ellos es más regular.
- Realizar un taller online para hacer lectura conjunta de los cincuenta otolitos del ejercicio. Para de seguir afinando los criterios de lectura.
- Realizar ejercicios de lectura periódica entre laboratorios. Online y presenciales.
- El análisis del tipo de borde necesita que un experto del área de la física haga un estudio de las mejores condiciones de iluminación para detectar el tipo de borde de la forma más objetiva posible.



14. REFERENCIAS

- Araya, M., M. Medina, H. Arancibia. 2003. Preliminary result of empirical validation of daily increments in otoliths of jack mackerel *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) marked with oxytetracycline. *Scientia Marina*, 67(4):471-475.
- Araya M., M. Medina, E. Segovia, J. Peñailillo, M. Avilés, K. Guissen, A. Arcos, J. Charlin, C. Pacheco, G. Plaza, A. M. Galeano, J. Contreras, C. Rodríguez-Valentino, L. Cisterna, A. Sepulveda, M. Neira, E. Sanhueza. 2019. Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel. Informe final FIPA 2017-61.150 pp.
- Arcos D.F, L.Cubillos, S. Nuñez, 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*. Volume 49, Issues 1–4, 2001, Pages 597–617.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59, 197-242.
- Cerna F., C. Valero, G. Moyano, Muñoz, L. (2016). Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Informe Final FIP N° 2014-32. 147 p + anexos.
- Elizarov, A.A., A.S. Grechina, B.N. Kotenev y A.N. Kuzetsov. 1993 Peruvian Jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the Southern Pacific. *Journal of Ichthyology*, 33(3): 86-104.
- Evseenko, S. A. 1987. Reproducción de jurel del Perú *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en el Pacífico Sur. *Voprosy Ichthyologii*, 27(2):264-273.
- Goicochea C, J. Mostacero, P. Moquillaza, T. Dioses, Y. Topiño y R. Guevara-Carrasco. 2013. Validación del ritmo de formación de los anillos de crecimiento en otolitos del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Rev. peru. biol. número especial* 20(1): 053- 060.
- Ogle, D. 2015. *Introductory Fisheries Analyses with R*. doi:10.1201/9781315371986.
- Serra, R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Investigaciones Pesqueras Chile*, 36: 67-83.
- Taylor, P.R., 2002. Stock structure and population biology of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *New Zealand Fisheries Assessment Report* 2002/21. Ministry of Fisheries, Wellington, New Zealand.





ANEXO III

Tablas con los parámetros peso longitud empleados y matrices históricas de la captura y pesos medios a la edad recalculados para las zonas de Arica – Antofagasta y Caldera – Guaitecas.

**Tabla 1.** Coeficientes de la relaci3n longitud-peso de jurel en la Zona Arica-Antofagasta entre los a1os 1980 al 2021.

A1o	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	pendiente	intercepto	pendiente	intercepto	pendiente	intercepto	pendiente	intercepto
1980	3,2	0,005	3,1	0,006	2,7	0,027	2,1	0,287
1981	3,3	0,004	3,1	0,008	3,3	0,004	3,6	0,002
1982	3,0	0,010	3,0	0,009	2,9	0,013		
1983	2,9	0,012	2,9	0,015	3,2	0,005	3,8	0,001
1984	3,1	0,008	3,1	0,009	3,2	0,006	3,1	0,008
1985	2,8	0,020	3,1	0,007	2,7	0,030	2,0	0,339
1986	2,8	0,020	2,6	0,042	2,5	0,061	2,7	0,027
1987	3,0	0,012	2,9	0,016	2,9	0,016	3,0	0,012
1988	2,8	0,023	2,9	0,013	3,0	0,011	2,7	0,034
1989	2,7	0,028	2,7	0,032	3,0	0,010	2,4	0,090
1990	2,5	0,054	2,6	0,043	2,7	0,031	2,3	0,132
1991	3,0	0,013	3,0	0,011	3,1	0,009	2,9	0,014
1992	3,0	0,011	3,0	0,009	3,1	0,008	2,8	0,023
1993	3,0	0,013	3,3	0,004	3,0	0,009	2,9	0,018
1994	3,1	0,009	3,1	0,008	3,1	0,008	2,6	0,037
1995	2,9	0,016	2,9	0,014	3,0	0,010	3,0	0,012
1996	3,0	0,012	2,8	0,018	3,2	0,006	3,1	0,009
1997	3,2	0,006	2,7	0,029	3,2	0,006	2,9	0,016
1998	3,4	0,003	3,2	0,005	3,0	0,009	3,0	0,010
1999	3,0	0,012	3,4	0,003	3,2	0,006	3,1	0,008
2000	3,0	0,012	2,8	0,017	2,9	0,012	2,9	0,017
2001	2,7	0,028	3,1	0,008	3,0	0,009	3,0	0,012
2002	3,3	0,004	3,0	0,013	2,9	0,016	2,9	0,014
2003	3,0	0,012	3,1	0,008	3,0	0,010	3,1	0,008
2004	2,5	0,058	2,9	0,014	2,9	0,014	2,9	0,018
2005	3,0	0,010	2,9	0,016	3,1	0,008	3,1	0,009
2006	3,0	0,012	2,9	0,015	3,1	0,008	3,1	0,008
2007	3,0	0,011	3,0	0,011	3,0	0,012	2,9	0,014
2008	3,1	0,009	3,1	0,009	3,1	0,008	3,0	0,013
2009	3,0	0,012	2,9	0,015	3,1	0,008	3,0	0,012
2010	2,9	0,015	3,0	0,009	3,0	0,012	2,9	0,017
2011	3,0	0,012	3,0	0,012	2,8	0,020	3,1	0,010
2012	3,3	0,005	2,9	0,015	3,2	0,007	2,9	0,015
2013	3,0	0,010	3,0	0,010	3,0	0,010	3,0	0,010
2014	2,9	0,018	2,9	0,016	2,9	0,013		
2015	3,0	0,012	3,0	0,012			3,0	0,012
2016			3,2	0,006	3,2	0,006	2,7	0,030
2017	2,7	0,029	3,1	0,008			3,1	0,009
2018	2,8	0,019	3,0	0,010			3,4	0,004
2019	3,0	0,013	2,8	0,021			2,7	0,033
2020	2,8	0,025	3,0	0,010	3,5	0,002	2,7	0,034
2021	2,8	0,021	3,0	0,010	3,0	0,010	3,2	0,006

**Tabla 2.** Coeficientes de la relaci3n longitud-peso de jurel en la Zona Caldera-Guaitecas entre los a1os 1980 al 2021.

A1o	1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
	pendiente	intercepto	pendiente	intercepto	pendiente	intercepto	pendiente	intercepto
1980	2,7	0,029	2,8	0,021	3,0	0,011	2,7	0,027
1981	2,9	0,015	2,8	0,019	2,7	0,025	2,8	0,024
1982	2,8	0,023	2,5	0,060	2,7	0,029	2,9	0,016
1983	3,0	0,009	3,0	0,009	2,9	0,013	2,9	0,013
1984	2,9	0,017	3,0	0,010	3,0	0,011	2,7	0,031
1985	2,8	0,019	2,8	0,018	2,9	0,015	2,8	0,023
1986	2,6	0,040	2,9	0,013	2,9	0,012	3,0	0,010
1987	3,0	0,012	2,9	0,012	2,9	0,012	2,9	0,017
1988	2,8	0,018	2,8	0,020	2,8	0,017	2,8	0,020
1989	2,8	0,019	2,9	0,017	2,9	0,017	2,7	0,033
1990	2,7	0,028	2,8	0,021	2,8	0,021	2,9	0,013
1991	3,0	0,010	3,0	0,011	2,6	0,041	2,7	0,033
1992	3,0	0,011	3,0	0,010	3,0	0,010	2,8	0,018
1993	3,1	0,009	3,1	0,008	2,9	0,013	2,9	0,014
1994	3,0	0,012	3,0	0,012	2,9	0,015	3,0	0,012
1995	3,1	0,009	2,9	0,014	2,8	0,019	3,1	0,007
1996	3,0	0,010	3,1	0,009	3,0	0,009	3,2	0,007
1997	3,1	0,008	3,1	0,007	3,1	0,007	3,1	0,009
1998	3,0	0,010	3,1	0,008	3,1	0,009	3,0	0,011
1999	3,2	0,007	3,1	0,007	3,1	0,007	3,0	0,010
2000	3,2	0,006	3,2	0,005	3,2	0,006	3,0	0,010
2001	3,1	0,007	3,2	0,006	3,2	0,006	3,0	0,010
2002	3,1	0,007	3,1	0,007	3,1	0,008	3,0	0,013
2003	3,1	0,009	3,1	0,007	3,1	0,008	3,0	0,010
2004	3,1	0,008	3,1	0,007	3,0	0,010	3,2	0,007
2005	3,2	0,006	3,1	0,008	3,0	0,010	2,9	0,014
2006	3,1	0,009	3,0	0,010	3,3	0,004	3,0	0,010
2007	3,1	0,008	3,1	0,007	3,0	0,009	3,1	0,009
2008	3,1	0,008	3,1	0,009	3,1	0,007	3,1	0,008
2009	3,3	0,004	3,1	0,007	3,0	0,012	3,1	0,008
2010	3,0	0,010	3,2	0,006	3,1	0,007	3,3	0,005
2011	3,2	0,007	3,0	0,013	3,0	0,010	3,2	0,007
2012	3,1	0,009	3,0	0,010	3,1	0,007	3,4	0,003
2013	2,9	0,018	3,1	0,009	2,9	0,015	3,1	0,009
2014	3,1	0,009	3,1	0,008	3,3	0,004	3,2	0,007
2015	3,3	0,005	3,0	0,010	3,1	0,009	3,0	0,011
2016	3,0	0,010	3,1	0,008	3,0	0,011	3,1	0,008
2017	3,1	0,008	3,2	0,006	3,2	0,005	3,1	0,009
2018	3,1	0,009	3,2	0,006	3,3	0,004	3,0	0,011
2019	3,1	0,007	3,1	0,007	3,3	0,004	3,1	0,007
2020	3,2	0,006	3,2	0,005	3,2	0,007	2,9	0,016
2021	3,2	0,005	3,1	0,008	3,1	0,009	3,1	0,010



Tabla 3. Captura a la edad de la zona Arica-Antofagasta estimada considerando los resultados de la validación, entre los años 1980 al 1995.

Año/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1980	0	2538	28655	83311	149638	188439	136286	23012	12	0	0	0	0
1	0	0	510	22674	61080	96043	55293	12303	12	0	0	0	0
2	0	2538	27066	57236	72540	75436	77234	10708	0	0	0	0	0
3	0	0	1078	2202	2421	613	135	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1198	13598	16346	3625	0	0	0	0	0	0
1981	0	5381	72557	137186	217546	338598	195497	46491	10228	0	0	0	0
1	0	0	3135	15404	34699	51952	54392	10290	4081	0	0	0	0
2	0	1985	50566	87988	149490	273788	131660	28953	2724	0	0	0	0
3	0	3396	11623	5760	5111	7499	8839	6973	3423	0	0	0	0
4	0	0	7233	28034	28245	5359	606	276	0	0	0	0	0
1982	39	9500	340941	344322	503784	611526	368233	139096	27461	339	0	0	0
1	0	287	12687	20251	73062	166118	146282	44206	6295	178	0	0	0
2	39	8602	316698	286329	380493	390958	203833	89943	20439	162	0	0	0
3	0	611	11556	37742	50229	54450	18117	4947	728	0	0	0	0
1983	0	7963	66001	129196	210347	213378	118347	24294	1342	35	0	0	0
1	0	0	0	251	1911	3206	4066	984	200	35	0	0	0
2	0	57	5029	22822	62442	64957	37460	7115	573	0	0	0	0
3	0	7345	50866	73362	89995	106146	62254	12583	569	0	0	0	0
4	0	562	10107	32762	56001	39069	14567	3612	0	0	0	0	0
1984	0	46612	730735	265246	306245	390578	339981	95047	4072	0	0	0	0
1	0	81	74431	53386	81100	108077	89426	30339	1669	0	0	0	0
2	0	20772	504665	131839	139569	183009	163815	41351	969	0	0	0	0
3	0	25657	149351	73035	81868	99139	86643	23356	1434	0	0	0	0
4	0	102	2288	6987	3707	354	97	0	0	0	0	0	0
1985	0	18125	269117	374164	430472	268939	77696	15048	1610	0	0	0	0
1	0	115304	141692	246332	181149	54751	181149	54751	11255	1610	0	0	0
2	0	18011	152087	227867	177440	86212	22818	3793	0	0	0	0	0
3	0	114	1726	4606	6700	1578	126	0	0	0	0	0	0
1986	848	7602	10812	8736	18238	31590	17619	4498	206	0	0	0	0
1	0	6316	10082	7915	16123	28109	13823	4015	206	0	0	0	0
2	0	257	757	1867	2777	986	104	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	64	222	704	2809	380	0	0	0	0	0
4	848	1286	472	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	2066	224070	1049118	174612	41441	28034	13179	1440	734	0	0	0	0
1	0	22670	308363	7601	6308	8136	3185	227	96	0	0	0	0
2	0	16269	337846	6189	13829	17778	9058	1213	639	0	0	0	0
3	45	10182	22162	7748	4613	1443	917	0	0	0	0	0	0
4	2021	174949	380747	153075	16691	676	20	0	0	0	0	0	0
1988	0	2370	43394	143478	70090	4704	591	30	0	0	0	0	0
1	0	869	3524	4253	2541	781	353	30	0	0	0	0	0
2	0	1501	39871	139225	67549	3923	238	0	0	0	0	0	0
1989	0	3226	74105	354908	324635	64249	11437	3180	924	140	0	0	0
1	0	0	24465	212024	202372	48386	7225	1823	257	140	0	0	0
2	0	737	25487	85344	55267	9189	3587	1357	667	0	0	0	0
3	0	2489	16293	22976	25675	845	44	0	0	0	0	0	0
4	0	7860	34565	41320	5829	5829	582	0	0	0	0	0	0
1990	3195	75703	30914	236154	414905	88658	7735	271	386	4	0	0	0
1	0	6029	82524	50125	3530	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	11663	16541	81544	195899	46112	2380	0	0	0	0	0	0
3	0	96	1145	6264	13468	4195	129	230	0	4	0	0	0
4	3195	63944	7200	65822	155413	34821	5226	41	386	0	0	0	0
1991	0	113859	325576	78617	175835	235182	58704	9317	2923	617	0	0	0
1	0	854	86915	3175	33050	66628	15064	2601	1777	0	0	0	0
2	0	34453	86165	1929	6084	26191	4397	165	0	0	0	0	0
3	0	76013	89158	16768	84976	101631	29667	5852	1032	617	0	0	0
4	0	2539	63339	56745	51726	40733	9577	699	114	0	0	0	0
1992	2106	129643	355348	245364	243489	145009	53881	8552	1019	0	0	0	0
1	0	0	3790	2334	5289	30914	16227	2704	778	0	0	0	0
2	0	13284	224866	100732	100823	67428	22731	2361	0	0	0	0	0
3	0	94738	100923	82509	110739	42210	14231	3486	242	0	0	0	0
4	2106	21621	25769	59790	26637	4457	692	0	0	0	0	0	0
1993	4789	349180	1618926	173385	81645	27633	7892	2289	482	118	78	1	0
1	0	7409	291419	38480	25749	7345	1506	723	0	0	0	0	0
2	0	110735	905822	3822	781	307	28	0	0	0	0	0	0
3	132	89906	98260	4734	4279	4588	3254	709	259	30	0	1	0
4	4657	141129	323426	126348	50836	15393	3105	856	223	88	78	0	0
1994	700	262177	314305	250850	130679	22116	5236	2242	268	0	0	0	0
1	0	11834	77861	94641	31903	7471	1521	71	0	0	0	0	0
2	700	87576	139758	31995	7756	2282	1454	608	0	0	0	0	0
3	0	10375	9640	8862	7828	3357	2261	1563	268	0	0	0	0
4	0	152392	87046	115352	83193	9005	0	0	0	0	0	0	0
1995	1436	211286	554718	145106	93673	37002	1901	159	0	0	0	0	0
1	0	25469	99487	15307	14260	6339	426	66	0	0	0	0	0
2	973	65921	168748	17584	6807	4476	0	0	0	0	0	0	0
3	463	15434	42411	7088	3328	2596	713	0	0	0	0	0	0
4	0	104461	244072	105128	69277	23592	762	93	0	0	0	0	0



Tabla 4. Captura a la edad de la zona Arica-Antofagasta estimada considerando los resultados de la validación, entre los años 1996 al 2010.

Año/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1996	146304	437800	861323	162996	46907	6840	168	71	0	0	0	0	0
1	0	1470	189697	39902	16614	1925	0	0	0	0	0	0	0
2	3433	90853	407960	63371	15443	3017	0	0	0	0	0	0	0
3	13495	108642	175396	34879	9595	682	26	0	0	0	0	0	0
4	129376	236835	88270	24845	5254	1216	141	71	0	0	0	0	0
1997	0	197057	330885	18912	1396	34	0	0	0	0	0	0	0
1	0	11066	107083	6079	410	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	12534	89119	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	8713	10405	2661	569	34	0	0	0	0	0	0	0
4	0	164744	124278	10036	417	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	60	13498	142583	19130	4883	445	6	0	0	0	0	0	0
1	0	840	32326	1246	4	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2358	84912	4761	762	15	0	0	0	0	0	0	0
3	60	4987	12581	6255	2726	292	6	0	0	0	0	0	0
4	0	5313	12764	6869	1391	138	0	0	0	0	0	0	0
1999	295	37017	339365	21191	7326	752	33	0	0	0	0	0	0
1	0	184	12997	12007	5688	398	0	0	0	0	0	0	0
2	0	21145	293344	374	105	0	0	0	0	0	0	0	0
3	295	3744	8488	262	283	75	33	0	0	0	0	0	0
4	0	11944	24536	8547	1250	279	0	0	0	0	0	0	0
2000	22312	271501	347563	116464	10212	107	0	0	0	0	0	0	0
1	0	7537	179127	101639	7908	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1444	206220	151501	10291	1909	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15244	29960	4050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	5624	27784	12885	4535	395	107	0	0	0	0	0	0	0
2001	5000	1047357	1005002	18475	1311	88	0	0	0	0	0	0	0
1	0	2337	98724	2332	427	37	0	0	0	0	0	0	0
2	0	60913	423718	10359	378	9	0	0	0	0	0	0	0
3	4704	717033	413102	2621	229	0	0	0	0	0	0	0	0
4	296	267075	69459	3163	278	42	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	146061	406111	115941	24472	4610	299	0	0	0	0	0	0
1	0	24180	259464	88937	14590	1158	262	0	0	0	0	0	0
2	0	33526	74671	9530	1946	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	42143	44261	3837	457	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	46212	27715	13637	7479	3453	37	0	0	0	0	0	0
2003	581	227091	786361	49017	21174	8811	1928	109	0	0	0	0	0
1	0	37920	249688	28402	17586	8460	1911	109	0	0	0	0	0
2	0	43998	293450	7673	1721	234	0	0	0	0	0	0	0
3	581	124045	236984	10817	1298	26	0	0	0	0	0	0	0
4	0	21129	6240	2125	569	91	17	0	0	0	0	0	0
2004	3647	125590	508154	155263	17473	709	0	0	0	0	0	0	0
1	0	46049	355881	88506	5440	50	0	0	0	0	0	0	0
2	2971	29320	66044	30271	2868	0	0	0	0	0	0	0	0
3	135	1019	2917	2259	412	27	0	0	0	0	0	0	0
4	540	49202	83312	34226	8753	633	0	0	0	0	0	0	0
2005	3293	505271	549327	137312	49622	6643	120	0	0	0	0	0	0
1	0	75561	102949	76942	20324	4130	0	0	0	0	0	0	0
2	0	133103	319677	52438	24918	2462	0	0	0	0	0	0	0
3	2031	77419	84528	7093	4376	0	5	0	0	0	0	0	0
4	1262	219188	42173	839	4	51	115	0	0	0	0	0	0
2006	1476	86948	944065	72671	25557	8549	1213	50	0	0	0	0	0
1	0	35803	593924	18926	2661	40	0	0	0	0	0	0	0
2	0	19908	307693	31691	457	0	0	0	0	0	0	0	0
3	383	1999	4227	1010	11	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1093	29240	38220	21044	22428	8509	1213	50	0	0	0	0	0
2007	3907	131588	741671	137495	36712	18140	4425	889	0	0	0	0	0
1	0	5943	213093	42336	15265	13351	2400	170	0	0	0	0	0
2	0	13714	385551	64661	5886	49	0	0	0	0	0	0	0
3	2288	44695	70501	12316	2963	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1620	67235	72526	18183	12598	4740	2024	719	0	0	0	0	0
2008	106022	828412	434211	129479	106187	13018	760	190	41	0	0	0	0
1	0	46126	84060	61807	38832	6606	481	190	41	0	0	0	0
2	4397	124248	65992	62783	57349	6031	279	0	0	0	0	0	0
3	80150	381449	159912	2765	10007	381	0	0	0	0	0	0	0
4	21475	276589	124248	2124	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	5076	242159	537561	38358	54476	5942	87	0	0	0	0	0	0
1	0	86743	238480	26020	33185	3457	63	0	0	0	0	0	0
2	4415	115358	262418	11032	20982	2485	24	0	0	0	0	0	0
3	32	210	182	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	629	39847	36482	1305	306	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	104557	840090	141185	40721	9092	302	485	0	0	0	0	0
1	0	1683	268133	81864	8028	1630	0	0	0	0	0	0	0
2	0	97733	545783	48767	29884	7041	287	470	0	0	0	0	0
3	0	599	15119	4106	2278	421	15	15	0	0	0	0	0
4	0	4542	11055	6449	530	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	104461	244072	105128	69277	23592	762	93	0	0	0	0	0



Tabla 5. Captura a la edad de la zona Arica-Antofagasta estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 2011 al 2021.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	18072	210019	124456	4879	3513	0	344	0	0	0	0	0	0
1	0	69691	5215	1176	1172	0	0	0	0	0	0	0	0
2	16831	107535	64814	3464	2341	0	344	0	0	0	0	0	0
3	909	16380	23166	239	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	332	16412	31262	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	2564	27653	39671	7438	481	99	0	0	0	0	0	0	0
1	0	7613	20404	4495	290	6	0	0	0	0	0	0	0
2	522	8170	16993	2848	191	93	0	0	0	0	0	0	0
3	14	431	678	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2028	11439	1597	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	22819	103462	65729	1357	3124	1489	304	103	0	0	0	0	0
1	0	481	282	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	17727	69840	41881	1207	2679	891	62	42	0	0	0	0	0
3	5092	33140	23554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	12	148	445	598	242	61	0	0	0	0	0
2014	9008	129341	82456	3430	966	74	0	0	0	0	0	0	0
1	0	59854	7951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	8918	69026	73911	3150	891	74	0	0	0	0	0	0	0
3	89	461	594	280	75	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1186	38935	81897	24583	15160	5420	1471	902	83	0	0	0	0
1	0	28214	73485	20498	14186	5131	1194	704	0	0	0	0	0
2	1186	10718	8412	4085	974	289	278	198	83	0	0	0	0
4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	2769	13885	10650	8934	6484	3553	2596	1322	416	37	22	13
2	0	11	350	610	875	625	639	586	219	26	13	0	0
3	0	2719	13357	9706	6927	4471	1587	424	255	10	0	0	0
4	0	39	178	333	1132	1388	1327	1585	847	380	24	22	13
2017	178	94962	110597	12825	2835	692	223	69	35	0	0	0	0
1	0	85993	72585	4009	432	0	0	0	0	0	0	0	0
2	162	8665	37242	8697	2375	692	223	69	35	0	0	0	0
4	15	304	770	119	28	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	9830	127655	13247	108	47	13	0	0	0	0	0	0	0
1	0	61714	2662	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	9829	65884	10487	85	46	13	0	0	0	0	0	0	0
4	2	57	98	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	705	6997	4356	3008	4663	4132	2549	1641	1352	699	406	236	370
1	0	453	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	705	6437	3753	1728	812	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	108	602	1280	3851	4132	2549	1641	1352	699	406	236	370
2020	0	3145	33577	30041	24203	19291	9185	2223	788	279	129	58	57
1	0	505	3156	3061	4246	4661	3240	1078	143	93	0	0	0
2	0	2616	30268	26531	19407	14023	5308	637	259	0	0	0	0
3	0	0	1	5	31	57	52	21	7	1	1	0	0
4	0	24	152	443	519	550	586	487	380	185	128	58	57
2021	1352	17217	2442	3531	13346	21148	17490	11890	7252	2988	820	597	9
1	0	6669	698	1503	4649	8777	8924	7957	6336	2693	625	597	9
2	1352	10528	1516	1226	6655	9681	6498	2781	508	182	174	0	0
3	0	1	5	35	102	94	26	3	1	0	0	0	0
4	0	19	224	766	1941	2596	2043	1148	406	113	22	0	0



Tabla 6. Captura a la edad de la zona Caldera-Guaitecas estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 1980 al 1995.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1980	0	2177	21615	37705	24621	7888	1176	166	0	0	0	0	0
1	0	18	3905	7693	4623	2003	312	44	0	0	0	0	0
2	0	843	12055	25162	16222	5238	756	120	0	0	0	0	0
3	0	474	4066	3978	3233	574	107	0	0	0	0	0	0
4	0	842	1589	872	543	72	1	2	0	0	0	0	0
1981	20	3373	27500	44237	43653	16744	3764	395	20	0	0	0	0
1	0	131	3838	3074	2178	805	341	43	1	0	0	0	0
2	0	1669	15880	30029	31448	11750	2395	144	0	0	0	0	0
3	0	542	4913	6404	5249	1961	175	19	19	0	0	0	0
4	20	1031	2869	4730	4778	2228	853	189	0	0	0	0	0
1982	72	3193	56146	76601	51396	15670	2852	404	20	0	0	0	0
1	0	5	3563	5458	4922	2598	785	177	7	0	0	0	0
2	0	560	30634	45666	22786	7479	1034	119	11	0	0	0	0
3	0	1590	19030	21583	22243	5307	1010	108	3	0	0	0	0
4	72	1038	2919	3895	1446	285	23	1	0	0	0	0	0
1983	102	19336	34427	29444	25047	13452	2746	539	56	0	0	0	0
1	0	403	1227	779	1343	1316	486	163	25	0	0	0	0
2	0	4342	13410	8200	6589	5186	1073	213	20	0	0	0	0
3	70	9465	10494	7280	7848	3216	337	48	0	0	0	0	0
4	32	5125	9296	13185	9268	3734	850	115	11	0	0	0	0
1984	23	16772	112885	19170	31549	27091	13990	4032	225	0	0	0	0
1	0	117	7328	5326	6927	6732	4032	1201	120	0	0	0	0
2	0	12762	97567	10460	20079	15416	7221	2196	53	0	0	0	0
3	23	863	3992	1724	3410	3978	2251	544	42	0	0	0	0
4	0	3029	3998	1660	1133	964	486	90	9	0	0	0	0
1985	0	5873	57920	55753	43486	37118	14224	3452	108	3	0	0	0
1	0	17	6364	5224	2709	4817	3484	807	68	3	0	0	0
2	0	3648	41181	42107	33084	24362	7046	1205	40	0	0	0	0
3	0	1383	8709	7925	6681	6735	3304	1386	0	0	0	0	0
4	0	824	1665	496	1012	1204	390	54	0	0	0	0	0
1986	883	5811	16310	36557	41854	32735	18366	2434	96	2	0	0	0
1	0	11	500	1848	3786	8274	7259	1432	67	2	0	0	0
2	0	503	5513	19197	24174	13572	6459	781	25	0	0	0	0
3	13	2681	7673	13102	12400	9189	3951	164	1	0	0	0	0
4	870	2616	2625	2411	1494	1700	696	57	4	0	0	0	0
1987	46	15969	88195	12862	19382	33643	19590	3355	295	2	0	0	0
1	0	2429	8783	1523	3121	5796	3041	386	28	0	0	0	0
2	0	7580	74892	9732	11772	15217	5465	569	71	1	0	0	0
3	0	639	702	487	2682	9631	9493	2138	171	0	0	0	0
4	46	5321	3818	1120	1807	2999	1590	262	25	0	0	0	0
1988	1	8820	28072	20847	4749	5502	4140	814	56	13	0	0	0
1	0	0	353	297	76	528	669	203	42	11	0	0	0
2	0	13	283	384	289	857	517	135	5	2	0	0	0
3	0	7385	23464	18261	3232	2944	2477	432	9	0	0	0	0
4	0	1421	3971	1905	1152	1173	478	44	0	0	0	0	0
1989	0	5324	87732	312305	222390	63370	35135	15025	2280	46	0	0	0
1	0	20	6381	23382	21573	15086	8816	2380	520	13	0	0	0
2	0	3153	43076	201733	136956	30170	16376	7993	763	11	0	0	0
3	0	1840	35688	78872	55849	9580	7190	4287	985	21	0	0	0
4	0	311	2588	8317	8011	8534	2754	365	12	0	0	0	0
1990	0	4762	47851	481698	2024570	2552867	1422723	917818	245331	19469	0	0	0
1	0	0	4684	76313	202043	419737	451083	402928	126085	9379	0	0	0
2	0	62	10897	131048	838647	1379694	575147	350283	72705	4186	0	0	0
3	0	470	30809	223696	809712	639599	334282	132879	41225	5856	0	0	0
4	0	4230	1460	50641	174168	113838	62211	31729	5315	48	0	0	0
1991	0	58650	252711	22801	491389	2069434	2260834	1409667	811029	292532	85466	7354	1604
1	0	0	39107	1989	48164	375318	386561	463732	230244	36699	0	0	0
2	0	6924	164692	12591	107320	842066	987172	481721	293491	82984	23286	0	0
3	0	51374	48387	7344	331109	842650	879707	460289	285722	172646	62129	7354	1604
4	0	351	525	877	4795	9400	7394	3926	1572	203	51	0	0
1992	0	85455	502285	480850	423719	566772	1590077	1641601	1209429	690732	273955	11839	0
1	0	0	17431	26537	23639	69952	357054	390701	339236	198881	76202	4202	0
2	0	26246	234968	296200	222279	251093	586636	523546	343258	248972	116132	3579	0
3	0	57220	239759	146749	167951	208159	601791	688794	508028	234437	80640	4058	0
4	0	1889	10127	11364	9851	37568	44596	38559	18908	8442	981	0	0
1993	0	79547	1052760	1149957	922631	781106	663824	904625	805638	281009	44758	1730	0
1	0	7024	227300	426050	418334	302665	215137	284915	302403	107520	12696	1188	0
2	0	18999	678345	595147	360475	35496	321780	511236	446003	163448	30028	541	0
3	0	32263	101780	85929	104756	95869	100035	83054	49109	10039	2034	0	0
4	0	21261	45334	42832	39066	27076	26872	25420	8123	1	0	0	0
1994	0	3515	425678	1184392	1248725	921451	801964	1164970	892511	293612	43008	913	0
1	0	0	159660	183018	271984	155385	141776	257953	144280	63768	2735	167	0
2	0	1400	219502	900056	814875	556497	398106	605513	553361	168996	21882	0	0
3	0	1401	45542	98088	153346	191902	241566	285213	192688	60246	18391	746	0
4	0	714	974	3229	8520	17667	20517	16291	2202	612	0	0	0
1995	2978	279562	3263097	2746034	3850761	3105154	1411407	1074037	602664	322387	127540	30471	716
1	0	21845	865279	1041427	1034119	535393	146042	130967	110112	42278	16253	1945	0
2	2978	197897	2033446	1310578	2198232	1650439	643462	342752	241649	111475	30448	1509	186
3	0	26494	154960	152935	415012	768520	557379	569376	232596	163389	80735	27016	0
4	0	33326	209412	241095	203398	150802	64524	30942	18307	5245	104	0	530



Tabla 7. Captura a la edad de la zona Caldera-Guaitecas estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 1996 al 2010.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1996	2425	460963	2319051	2052827	1858485	1627331	1109296	661635	339094	149510	38888	7246	0
1	0	18113	925225	985155	685489	496599	238715	143989	92408	41683	9738	5399	0
2	0	72789	1048869	828154	912971	763208	598243	335167	140277	80546	20684	1146	0
3	317	84925	207220	163866	219368	329492	254045	174270	100678	25966	7766	0	0
4	2108	285137	137373	75652	40657	38032	18293	8209	5731	1315	701	701	0
1997	2312	928048	5091448	2511563	1254639	730631	616333	551196	293967	164898	65853	17946	4670
1	0	40741	1763022	707402	280790	142230	80996	46932	26771	12408	6334	2966	160
2	677	91968	2022572	1090461	523443	226326	172113	207761	103711	54965	26872	3926	357
3	1062	474859	1020100	547547	316030	274530	288901	255902	148530	85397	28943	9548	3784
4	573	320480	285753	166152	134376	87545	74322	40602	14956	12128	3703	1507	201
1998	6828	952944	6065156	1447161	672670	296999	339234	386606	196674	84020	23366	6214	261
1	0	44600	2679942	827219	376076	131205	76991	53980	29733	15143	5264	447	12
2	0	75403	2125740	323898	117107	63826	134264	167822	70488	30018	6288	1175	42
3	2731	546023	1047339	223725	146795	77911	92940	154762	91871	37580	10794	4155	208
4	4097	286918	212135	72320	32692	24058	35039	10042	4583	1279	1021	436	0
1999	9413	1819192	4825546	1426630	596887	164879	75889	120483	99473	46103	28673	11618	4553
1	0	6126	1622759	331771	177551	56487	26353	31529	20400	8455	7520	3745	357
2	0	35366	565191	153984	61620	15187	10420	37926	40695	19182	13266	3893	2300
3	7515	796566	1405389	342449	212066	70423	35089	49933	37777	18240	7801	3923	1896
4	1898	981134	1232206	598426	145650	22781	4027	1094	602	225	85	57	0
2000	125	763842	3758240	1835940	749873	200797	82594	75038	85049	45324	24110	14151	7591
1	0	1108	1514805	909285	423688	94336	7945	2127	1374	1881	955	902	657
2	0	16748	676020	356666	94779	32016	12356	5939	5725	5784	4272	2046	1436
3	0	528510	1058351	294030	103566	42409	54828	65275	76907	37416	18696	11201	5498
4	125	217476	509065	275959	127840	32036	7465	1696	1043	244	187	2	0
2001	0	442017	2994908	2086685	866561	286439	156336	140393	122713	104292	64175	45616	16150
1	0	5978	1200164	588297	206007	52859	33396	21507	13931	14593	4819	3829	3134
2	0	17555	769735	471021	156429	51988	28583	33147	26970	36331	31384	11295	11295
3	0	267209	620493	477634	207011	69710	49068	70815	77041	52551	21884	10191	1516
4	0	151275	404517	549734	297113	111882	45289	14924	4771	817	655	211	205
2002	3529	424302	2120590	1434416	987511	390111	230906	188040	153780	113002	107662	47787	26703
1	0	212	496047	354317	185482	66202	32280	26930	31902	31196	32308	14138	4731
2	0	14604	763748	443481	278836	140859	80908	69218	61539	49990	60264	30250	20372
3	0	52915	243182	152989	266173	107105	85088	72356	49751	25648	12415	3400	1607
4	3529	356571	617612	483429	257020	75946	32630	19536	10589	6168	2075	0	0
2003	523	151859	1130361	1032700	749876	288275	99478	70982	57930	34728	24300	10681	3027
1	0	2170	267178	149744	88078	22833	8370	9273	17570	14521	10404	5395	1904
2	0	3080	501422	517924	314885	115181	39096	26690	21525	11789	7992	4071	1027
3	523	108523	279279	243856	274500	131093	46523	33342	17643	7606	5833	870	91
4	0	38086	82481	121175	72413	19169	5489	1676	1193	811	71	346	4
2004	145	75853	722782	909981	783935	352802	166675	98830	56664	25044	12071	9680	8131
1	0	18767	270242	370936	280345	92593	23940	9626	4676	2774	917	963	400
2	145	13601	252624	318949	281042	125682	59871	21307	16865	11164	7967	7047	7123
3	0	39699	169179	144903	146454	97454	70933	58661	31532	10260	2545	1245	550
4	0	3786	30736	75192	76093	37073	11931	9236	3591	845	642	425	58
2005	0	41203	211949	534309	893649	525226	229913	138011	61910	27316	14383	8734	7513
1	0	4946	76669	249389	330641	125513	42379	24788	6179	2252	962	301	175
2	0	29165	87844	207984	385230	233286	94827	45121	18016	9155	7018	4648	6632
3	0	6004	45527	70897	160140	141261	69845	49837	27669	12256	4421	2169	152
4	0	1088	1909	6039	17637	25166	22862	18265	10046	3653	1982	1616	555
2006	170	26436	113735	172646	378423	474664	268202	199794	125239	61541	33964	12947	13486
1	0	349	32932	28951	94559	126994	54887	39804	23178	13096	9329	4408	7430
2	0	1420	10911	46388	131945	209551	131633	89952	47641	24778	12495	5052	2760
3	0	10826	23035	36693	112196	124051	79387	69062	53791	23187	11872	3214	2623
4	170	13841	46856	60613	39723	14069	2295	976	630	479	268	273	673
2007	0	1048	258187	328213	213879	297868	291707	246338	172456	88241	40960	24365	14823
1	0	10	246638	297743	112566	46013	27253	27998	18173	18826	9074	8245	4164
2	0	556	9969	21921	60311	147402	157347	109953	69170	31250	14656	5056	3004
3	0	56	672	7293	40172	103788	106167	107532	84480	36945	15708	9637	6778
4	0	425	908	1256	830	665	939	855	632	1220	1522	1427	876
2008	1284	30022	8642	73016	244326	230874	178698	121965	101529	58128	37849	21388	22589
1	0	0	4824	44843	152934	95049	26476	7609	2771	1272	953	468	558
2	0	27132	561	1001	17460	80095	105793	86213	73482	33901	21248	7236	5560
3	1284	328	253	1154	8419	37746	46260	28129	25271	22955	15648	13684	16471
4	0	2742	3004	26017	65514	17984	168	14	5	0	0	0	0
2009	1954	36750	165685	57846	232550	244602	178828	104190	66307	36065	15641	10533	8937
1	0	7228	78029	32575	158041	133778	58174	20273	6822	1914	206	345	384
2	1954	12598	46847	9297	41901	58398	45229	25555	22547	11872	5533	2797	3905
3	0	2	39	833	10327	29116	68121	55806	36092	22072	9340	7029	4248
4	0	16922	40771	15140	22280	23310	7304	2557	846	207	562	362	400
2010	0	3287	198838	124113	62281	66534	39255	58243	39590	12656	4170	3920	1463
1	0	0	129659	66652	42584	48888	11507	5134	1668	539	712	264	28
2	0	2211	65541	52890	18247	16425	22599	38224	23986	6877	1687	1153	27
3	0	663	1555	471	440	598	5020	14850	13928	5240	1770	2503	1409
4	0	413	2082	4101	1010	623	130	35	9	0	1	0	0



Tabla 8. Captura a la edad de la zona Caldera-Guaitecas estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 2011 al 2021.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	0	6420	42411	57836	103943	52596	30844	28268	12172	6188	1398	627	488
1	0	1320	19142	36471	78257	27046	9936	6165	1122	72	36	0	0
2	0	1147	8010	9027	9557	15809	15471	17013	9027	4115	833	202	383
3	0	3079	11243	7131	12422	7339	4434	4728	2023	2000	529	425	105
4	0	873	4016	5207	3708	2403	1003	363	0	0	0	0	0
2012	0	5250	63345	124585	159826	86546	58228	23561	6840	682	319	88	139
1	0	4475	50298	100106	124498	61612	42603	18041	4761	311	155	14	29
2	0	637	12675	22884	31702	20191	13501	4935	1836	303	118	0	0
3	0	37	132	110	118	58	64	13	30	46	46	73	111
4	0	101	241	1485	3509	4685	2060	571	213	22	0	0	0
2013	16	11425	103694	169719	192324	97680	17986	3453	697	226	162	82	140
1	0	2291	63604	100579	121856	60139	8912	1774	356	63	0	73	120
2	16	7981	38252	65973	65032	32588	6331	1003	210	143	155	0	15
3	0	1107	1708	606	146	4	0	0	0	0	0	0	0
4	0	46	129	2561	5289	4950	2744	676	131	20	6	9	6
2014	8	4164	48343	74395	100259	101791	72324	32429	10386	4256	1257	822	157
1	0	1479	42366	62775	62763	41964	16293	3519	241	300	19	0	74
2	0	358	1874	6972	26077	46615	46957	24330	8756	3307	1122	678	8
3	0	680	1386	1139	3864	6451	4604	2389	916	465	57	64	10
4	8	1647	2717	3510	7555	6760	4470	2192	473	184	60	79	65
2015	750	59446	293401	121677	73814	71873	52379	24052	11590	3721	2109	579	1018
1	0	4245	42710	16539	18420	16980	7259	3264	500	73	7	8	7
2	423	26596	208668	86657	39218	35847	28878	11374	6075	2287	1528	349	867
3	327	27923	39461	14893	12332	16851	14793	8710	4714	1261	530	201	143
4	0	681	2562	3588	3844	2195	1449	705	301	100	44	21	0
2016	3	6051	138173	159983	153454	101806	54493	27784	12628	4736	1910	1853	702
1	0	2778	80680	86706	66978	20683	11918	6753	1728	723	70	4	85
2	3	2153	52098	61638	63279	52421	24805	14356	7861	2862	1255	1432	433
3	0	464	2368	5140	11699	11886	5254	1901	783	302	138	181	88
4	0	655	3027	6500	11498	16817	12515	4774	2257	850	448	236	96
2017	191	22717	125015	106867	117626	103512	76299	38343	26988	16081	6766	2945	5272
1	0	1408	21839	17134	16978	11801	8519	8042	6643	5177	2813	784	760
2	191	12643	67480	61883	65931	60397	48967	21318	14492	8368	3050	1176	3470
3	0	7403	31736	20869	28270	27332	15163	8130	5469	2299	877	972	1006
4	0	1262	3959	6981	6447	3981	3650	853	384	236	26	12	36
2018	489	17760	152592	198001	185435	149326	84022	45084	25786	11035	7256	3803	4139
1	0	3025	64769	104758	74673	57997	23283	13625	3986	221	935	558	230
2	489	12348	77726	76951	87069	65837	39715	19455	11419	4615	1826	272	1433
3	0	224	275	499	2273	4221	8100	8246	7685	5466	3980	2941	2470
4	0	2164	9822	15792	21420	21271	12925	3758	2696	733	514	32	6
2019	0	3990	82146	164369	204128	230273	133568	74840	32623	7516	4612	717	286
1	0	3568	76273	133692	125085	92062	41194	18098	6545	1826	2660	441	235
2	0	422	5209	26676	67873	113001	66271	40430	17679	2542	1066	0	0
3	0	300	2639	7173	17013	17285	11875	6252	2336	696	177	6	6
4	0	0	364	1362	3998	8197	8818	4436	2146	813	190	99	44
2020	0	3389	59250	61408	89113	129392	129584	82195	50102	24322	3373	4811	828
1	0	1956	40236	42697	61747	82227	80172	47253	28267	16164	934	2809	561
2	0	1434	18962	17697	23536	39162	39191	28226	18125	6765	2113	1828	123
3	0	0	29	406	1552	4198	7055	4384	2330	912	246	111	91
4	0	0	23	607	2278	3805	3166	2331	1379	481	80	64	53
2021	0	1217	29086	116438	137109	181334	139350	86682	48713	18739	5390	2387	1318
1	0	1216	27045	100283	102710	108567	71424	42206	18851	5928	317	134	0
2	0	985	8426	20905	50029	47163	29930	19635	7995	2802	1468	716	716
3	0	0	94	569	2867	6317	8131	6461	4984	2942	1467	664	456
4	0	0	962	7161	10626	16420	12632	8085	5243	1874	805	121	146



Tabla 9. Peso medio de la zona Arica-Antofagasta estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 1980 al 1995.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1980		0.18	0.23	0.32	0.36	0.42	0.45	0.50	1.06				
1			0.23	0.29	0.35	0.45	0.49	0.52	1.06				
2		0.18	0.21	0.25	0.30	0.40	0.44	0.47					
3			0.25	0.27	0.29	0.33	0.33						
4				0.46	0.50	0.51	0.53						
1981		0.21	0.25	0.30	0.36	0.46	0.56	0.66	0.75				
1			0.22	0.29	0.39	0.49	0.55	0.65	0.70				
2		0.22	0.23	0.26	0.34	0.41	0.47	0.55	0.67				
3		0.20	0.24	0.27	0.31	0.54	0.65	0.71	0.88				
4			0.30	0.36	0.40	0.39	0.58	0.72					
1982	0.06	0.16	0.19	0.26	0.31	0.35	0.41	0.45	0.51	0.74			
1		0.12	0.18	0.29	0.36	0.41	0.46	0.51	0.57	0.78			
2	0.06	0.16	0.19	0.23	0.29	0.34	0.40	0.44	0.47	0.70			
3		0.18	0.20	0.24	0.28	0.31	0.37	0.42	0.49				
1983		0.14	0.20	0.25	0.31	0.38	0.45	0.49	0.49	0.53			
1			0.24	0.30	0.35	0.43	0.46	0.50	0.53				
2		0.14	0.20	0.22	0.27	0.33	0.38	0.42	0.44				
3		0.12	0.18	0.23	0.29	0.36	0.43	0.50	0.52				
4		0.15	0.23	0.29	0.39	0.49	0.56	0.59					
1984		0.15	0.18	0.26	0.33	0.40	0.45	0.51	0.56				
1		0.12	0.17	0.24	0.33	0.42	0.49	0.56	0.61				
2		0.16	0.17	0.24	0.32	0.39	0.44	0.50	0.60				
3		0.15	0.17	0.24	0.32	0.36	0.40	0.47	0.47				
4		0.17	0.22	0.32	0.34	0.46	0.48						
1985		0.23	0.23	0.29	0.35	0.41	0.47	0.56	0.59				
1			0.20	0.29	0.35	0.40	0.47	0.55	0.59				
2		0.21	0.21	0.26	0.34	0.41	0.51	0.57					
3		0.26	0.27	0.31	0.37	0.42	0.43						
1986	0.09	0.09	0.16	0.31	0.40	0.43	0.51	0.57	0.72				
1		0.08	0.17	0.28	0.36	0.44	0.52	0.55	0.72				
2			0.21	0.27	0.33	0.38	0.43	0.49					
3				0.38	0.49	0.49	0.59	0.65					
4	0.09	0.11	0.11		0.44								
1987	0.09	0.13	0.16	0.23	0.34	0.43	0.50	0.57	0.58				
1		0.09	0.13	0.25	0.38	0.47	0.54	0.60	0.63				
2		0.11	0.13	0.22	0.34	0.42	0.48	0.53	0.53				
3	0.10	0.14	0.16	0.21	0.30	0.39	0.44						
4	0.08	0.17	0.21	0.24	0.32	0.45	0.56						
1988		0.17	0.21	0.25	0.31	0.42	0.58	0.69					
1		0.17	0.21	0.25	0.33	0.48	0.60	0.69					
2		0.17	0.22	0.25	0.29	0.36	0.55						
1989		0.16	0.21	0.26	0.31	0.39	0.54	0.57	0.57	0.70			
1		0.20	0.25	0.29	0.35	0.48	0.61	0.62	0.70				
2		0.21	0.18	0.24	0.29	0.37	0.52	0.52					
3		0.11	0.18	0.23	0.30	0.45	0.59						
4			0.27	0.31	0.35	0.37	0.56						
1990	0.10	0.14	0.25	0.30	0.34	0.40	0.47	0.73	0.68	0.95			
1		0.07	0.21	0.26	0.33	0.40							
2		0.07	0.21	0.26	0.30	0.35	0.42						
3		0.22	0.26	0.32	0.36	0.41	0.46	0.66		0.95			
4	0.10	0.12	0.31	0.35	0.39	0.44	0.52	0.80	0.68				
1991		0.14	0.17	0.27	0.35	0.39	0.45	0.70	0.81	0.78			
1		0.09	0.12	0.30	0.36	0.41	0.48	0.77	0.76				
2		0.12	0.13	0.21	0.34	0.38	0.46	0.62					
3		0.15	0.18	0.31	0.34	0.37	0.41	0.73	1.06	0.78			
4		0.21	0.25	0.28	0.34	0.39	0.48	0.69	0.62				
1992	0.08	0.11	0.19	0.26	0.30	0.35	0.41	0.47	0.60				
1			0.14	0.26	0.30	0.35	0.42	0.58	0.74				
2		0.11	0.12	0.22	0.27	0.33	0.38	0.39					
3		0.12	0.21	0.27	0.29	0.34	0.39	0.43	0.47				
4	0.08	0.10	0.26	0.31	0.33	0.38	0.46						
1993	0.04	0.11	0.14	0.27	0.34	0.40	0.47	0.52	0.64	0.75	1.02	0.96	
1		0.07	0.12	0.28	0.33	0.37	0.46	0.45					
2		0.09	0.11	0.23	0.35	0.43	0.55						
3	0.06	0.11	0.12	0.30	0.36	0.41	0.43	0.49	0.52	0.62	1.10	0.96	
4	0.01	0.18	0.20	0.25	0.33	0.37	0.43	0.61	0.76	0.88	0.93		
1994	0.04	0.07	0.14	0.27	0.33	0.39	0.43	0.51	0.58				
1		0.04	0.13	0.25	0.28	0.35	0.40	0.54					
2	0.04	0.05	0.09	0.25	0.33	0.41	0.45	0.48					
3		0.06	0.14	0.27	0.36	0.41	0.45	0.52	0.58				
4		0.14	0.20	0.32	0.33	0.38							
1995	0.10	0.13	0.15	0.24	0.32	0.36	0.41	0.60					
1		0.13	0.15	0.25	0.34	0.37	0.39	0.44					
2	0.14	0.15	0.15	0.22	0.31	0.37							
3	0.06	0.11	0.15	0.22	0.33	0.37	0.40						
4		0.12	0.16	0.26	0.30	0.33	0.44	0.76					



Tabla 10. Peso medio de la zona Arica-Antofagasta estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 1996 al 2010.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1996	0,08	0,12	0,16	0,21	0,24	0,31	0,46	1,32					
1		0,11	0,15	0,21	0,21	0,29							
2	0,13	0,12	0,14	0,17	0,21	0,22							
3	0,05	0,13	0,16	0,20	0,24	0,33	0,58						
4	0,07	0,11	0,20	0,28	0,31	0,41	0,34	1,32					
1997		0,12	0,16	0,22	0,29	0,45							
1		0,06	0,13	0,26	0,32								
2		0,07	0,12	0,19									
3		0,17	0,20	0,25	0,29	0,45							
4		0,17	0,18	0,20	0,27								
1998	0,06	0,14	0,17	0,23	0,28	0,34	0,41						
1		0,06	0,11	0,18	0,27								
2		0,06	0,09	0,21	0,23	0,36							
3	0,06	0,21	0,23	0,25	0,29	0,34	0,41						
4		0,23	0,26	0,27	0,31	0,32							
1999	0,07	0,11	0,14	0,30	0,33	0,41	0,61						
1		0,08	0,16	0,29	0,31	0,34							
2		0,07	0,08	0,30	0,33								
3	0,07	0,10	0,10	0,37	0,40	0,51	0,61						
4		0,19	0,21	0,23	0,29	0,37							
2000	0,05	0,06	0,16	0,23	0,29	0,46							
1		0,03	0,20	0,23	0,25								
2	0,04	0,06	0,14	0,19	0,28								
3	0,05	0,06	0,09										
4	0,07	0,10	0,23	0,28	0,33	0,46							
2001	0,07	0,10	0,13	0,22	0,31	0,41							
1		0,07	0,13	0,23	0,27	0,38							
2		0,09	0,11	0,19	0,29	0,38							
3	0,07	0,11	0,12	0,22	0,32	0,46							
4	0,07	0,13	0,15	0,24	0,36	0,46							
2002		0,09	0,15	0,24	0,30	0,38	0,53						
1		0,03	0,13	0,24	0,30	0,36	0,42						
2		0,07	0,13	0,22	0,26								
3		0,12	0,14	0,21	0,24								
4		0,13	0,20	0,29	0,38	0,41	0,63						
2003	0,08	0,09	0,13	0,24	0,31	0,41	0,50	0,51					
1		0,05	0,11	0,24	0,32	0,42	0,48	0,51					
2		0,06	0,10	0,22	0,26	0,31							
3	0,08	0,11	0,12	0,21	0,27	0,41							
4		0,14	0,19	0,29	0,40	0,48	0,53						
2004	0,06	0,14	0,19	0,22	0,24	0,28							
1		0,16	0,17	0,19	0,21	0,32							
2	0,05	0,10	0,18	0,21	0,23								
3	0,05	0,13	0,18	0,22	0,24	0,23							
4	0,08	0,17	0,21	0,25	0,26	0,28							
2005	0,07	0,07	0,13	0,22	0,29	0,40	0,65						
1		0,04	0,18	0,22	0,27	0,30							
2		0,07	0,13	0,22	0,27	0,28							
3	0,05	0,08	0,11	0,23	0,25		0,59						
4	0,08	0,11	0,11	0,22	0,37	0,63	0,70						
2006	0,06	0,08	0,14	0,19	0,28	0,43	0,53	0,63					
1		0,03	0,12	0,14	0,33	0,39							
2		0,10	0,14	0,16	0,20								
3	0,05	0,07	0,13	0,15	0,21								
4	0,07	0,12	0,16	0,33	0,40	0,46	0,53	0,63					
2007	0,07	0,10	0,14	0,23	0,29	0,42	0,56	0,56					
1		0,05	0,14	0,21	0,30	0,38	0,45	0,50					
2		0,10	0,14	0,21	0,25	0,39							
3	0,06	0,11	0,13	0,22	0,25								
4	0,08	0,13	0,16	0,27	0,35	0,50	0,68	0,62					
2008	0,03	0,05	0,11	0,23	0,29	0,38	0,58	0,63	0,76				
1		0,05	0,20	0,26	0,31	0,42	0,64	0,63	0,76				
2	0,03	0,04	0,12	0,24	0,28	0,35	0,52						
3	0,04	0,04	0,05	0,21	0,27	0,36							
4	0,03	0,08	0,08	0,20									
2009	0,07	0,09	0,12	0,22	0,22	0,32	0,53						
1		0,09	0,13	0,25	0,29	0,32	0,54						
2	0,05	0,10	0,13	0,23	0,28	0,31	0,51						
3	0,05	0,07	0,08		0,10								
4	0,10	0,12	0,13	0,20	0,20								
2010		0,10	0,15	0,24	0,28	0,38	0,53	0,62					
1		0,04	0,16	0,22	0,28	0,38							
2		0,05	0,07	0,23	0,29	0,41	0,61	0,71					
3		0,09	0,09	0,22	0,25	0,36	0,46	0,54					
4		0,23	0,26	0,28	0,31								
4		0,12	0,16	0,26	0,30	0,33	0,44	0,76					



Tabla 11. Peso medio de la zona Arica-Antofagasta estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 2011 al 2021.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	0,08	0,08	0,09	0,22	0,28		0,38						
1		0,03	0,05	0,27	0,26								
2	0,06	0,06	0,09	0,27	0,30		0,38						
3	0,09	0,09	0,10	0,13									
4	0,10	0,13	0,13										
2012	0,08	0,08	0,13	0,22	0,25	0,30							
1		0,06	0,21	0,24	0,27	0,36							
2	0,09	0,11	0,15	0,23	0,22	0,25							
3	0,10	0,09	0,10										
4	0,05	0,04	0,08	0,20									
2013	0,06	0,06	0,16	0,27	0,39	0,44	0,53	0,54					
1		0,06	0,10	0,13									
2	0,05	0,06	0,07	0,28	0,36	0,42	0,58	0,56					
3	0,07	0,07	0,08										
4		0,40	0,40	0,41	0,45	0,48	0,51						
2014	0,04	0,06	0,12	0,22	0,26	0,35							
1		0,04	0,05										
2	0,06	0,07	0,11	0,23	0,25	0,35							
3	0,01	0,07	0,19	0,22	0,26								
2015	0,04	0,08	0,15	0,25	0,35	0,45	0,50	0,66	0,46				
1		0,12	0,19	0,26	0,35	0,43	0,40	0,60					
2	0,04	0,06	0,21	0,24	0,34	0,48	0,60	0,72	0,46				
4	0,05	0,05	0,05										
2016		0,17	0,19	0,31	0,36	0,44	0,58	0,73	0,82	0,88	0,77	0,86	1,09
2		0,21	0,26	0,30	0,36	0,46	0,64	0,74	0,81	0,77	0,77		
3		0,19	0,18	0,25	0,31	0,38	0,50	0,73	0,92	1,03			
4		0,11	0,14	0,37	0,40	0,48	0,59	0,70	0,74	0,84	0,76	0,86	1,09
2017	0,07	0,12	0,15	0,19	0,28	0,36	0,50	0,60	0,53				
1		0,08	0,15	0,17	0,36								
2	0,06	0,14	0,17	0,19	0,27	0,36	0,50	0,60	0,53				
4	0,08	0,13	0,14	0,20	0,20								
2018	0,07	0,06	0,08	0,21	0,26	0,28							
1		0,03	0,05	0,15									
2	0,04	0,03	0,05	0,25	0,28	0,28							
4	0,10	0,12	0,15	0,22	0,24								
2019	0,02	0,04	0,22	0,30	0,35	0,49	0,61	0,79	0,97	1,20	1,16	1,69	1,87
1		0,01											
2		0,05	0,18	0,21	0,24								
4	0,02	0,07	0,25	0,39	0,46	0,49	0,61	0,79	0,97	1,20	1,16	1,69	1,87
2020		0,25	0,29	0,33	0,38	0,47	0,55	0,64	0,83	0,98	0,97	1,18	1,52
1		0,22	0,26	0,31	0,41	0,48	0,56	0,65	0,81	0,85			
2		0,19	0,21	0,23	0,29	0,37	0,40	0,43	0,71				
3			0,42	0,44	0,44	0,50	0,57	0,65	0,76	1,02	0,80		
4		0,35	0,28	0,33	0,39	0,53	0,67	0,82	1,06	1,06	1,13	1,18	1,52
2021	0,04	0,21	0,28	0,45	0,47	0,53	0,61	0,68	0,83	1,00	1,10	1,19	1,80
1		0,04	0,07	0,44	0,47	0,55	0,71	0,77	0,93	1,00	1,11	1,19	1,80
2	0,04	0,04	0,13	0,44	0,40	0,50	0,58	0,67	0,84	0,97	1,05		
3		0,37	0,37	0,38	0,39	0,41	0,48	0,51	0,58				
4		0,40	0,54	0,53	0,60	0,65	0,67	0,78	0,96	1,03	1,15		



Tabla 12. Peso medio de la zona Caldera-Guaitecas estimada considerando los resultados de la validación, entre los años 1980 al 1995.

Año/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1980		0,17	0,21	0,25	0,30	0,35	0,41	0,48					
1		0,12	0,20	0,24	0,29	0,35	0,40	0,39					
2		0,20	0,20	0,23	0,27	0,32	0,35	0,54					
3		0,20	0,21	0,24	0,28	0,35	0,45						
4		0,17	0,23	0,29	0,35	0,38	0,44	0,51					
1981	0,10	0,15	0,20	0,25	0,28	0,33	0,37	0,44	0,67				
1		0,10	0,15	0,22	0,27	0,33	0,36	0,40	0,53				
2		0,17	0,17	0,23	0,26	0,29	0,34	0,48					
3		0,20	0,24	0,27	0,28	0,30	0,33	0,42	0,81				
4	0,10	0,15	0,23	0,28	0,32	0,39	0,45	0,47					
1982	0,07	0,17	0,20	0,24	0,27	0,31	0,37	0,43	0,44				
1		0,13	0,19	0,24	0,28	0,32	0,38	0,44	0,50				
2		0,21	0,20	0,22	0,26	0,29	0,34	0,39	0,43				
3		0,19	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,40				
4	0,07	0,16	0,23	0,27	0,30	0,35	0,45	0,52					
1983	0,07	0,11	0,16	0,25	0,28	0,33	0,42	0,49	0,59				
1		0,08	0,11	0,26	0,30	0,35	0,44	0,52	0,61				
2		0,11	0,13	0,22	0,26	0,31	0,40	0,48	0,64				
3	0,07	0,12	0,18	0,23	0,25	0,28	0,39	0,42					
4	0,07	0,14	0,22	0,28	0,33	0,39	0,44	0,53	0,53				
1984	0,11	0,14	0,17	0,25	0,31	0,36	0,43	0,50	0,54				
1		0,10	0,17	0,25	0,32	0,38	0,46	0,51	0,59				
2		0,14	0,14	0,24	0,27	0,32	0,41	0,50	0,57				
3	0,11	0,14	0,15	0,24	0,28	0,32	0,38	0,46	0,54				
4		0,19	0,20	0,27	0,37	0,42	0,48	0,52	0,45				
1985		0,17	0,20	0,25	0,32	0,39	0,48	0,54	0,62	0,70			
1		0,12	0,19	0,23	0,31	0,38	0,45	0,53	0,65	0,70			
2		0,19	0,21	0,23	0,30	0,36	0,42	0,47	0,59				
3		0,19	0,21	0,25	0,29	0,36	0,53	0,59					
4		0,19	0,22	0,29	0,38	0,47	0,50	0,58					
1986	0,08	0,14	0,22	0,28	0,34	0,43	0,49	0,59	0,73	1,00			
1		0,11	0,23	0,29	0,35	0,43	0,49	0,56	0,70	1,00			
2		0,20	0,21	0,27	0,31	0,39	0,46	0,52	0,65				
3	0,09	0,14	0,20	0,27	0,31	0,39	0,45	0,56	0,81				
4	0,07	0,12	0,25	0,30	0,40	0,51	0,56	0,70	0,77				
1987	0,09	0,12	0,16	0,25	0,36	0,42	0,47	0,52	0,57	0,94			
1		0,09	0,13	0,24	0,35	0,44	0,50	0,57	0,64				
2		0,12	0,14	0,20	0,31	0,38	0,42	0,47	0,49	0,78			
3	0,07	0,14	0,18	0,28	0,38	0,42	0,45	0,47	0,58				
4	0,11	0,14	0,18	0,27	0,40	0,45	0,50	0,58	1,09				
1988	0,11	0,18	0,20	0,23	0,36	0,46	0,50	0,59	0,72	0,95			
1		0,18	0,22	0,37	0,48	0,56	0,64	0,76	1,14				
2		0,18	0,20	0,23	0,35	0,44	0,48	0,51	0,72	0,95			
3	0,11	0,18	0,19	0,22	0,32	0,43	0,47	0,50	0,67	0,77			
4	0,11	0,18	0,22	0,25	0,39	0,47	0,50	0,70					
1989		0,20	0,23	0,27	0,33	0,45	0,55	0,60	0,65	0,89			
1		0,13	0,19	0,24	0,30	0,45	0,54	0,61	0,59	0,76			
2		0,21	0,19	0,25	0,30	0,41	0,53	0,56	0,62	0,71			
3		0,22	0,26	0,28	0,32	0,43	0,52	0,58	0,64	1,19			
4		0,26	0,28	0,33	0,40	0,52	0,59	0,65	0,74				
1990		0,16	0,26	0,32	0,39	0,47	0,58	0,68	0,76	0,97			
1		0,23	0,30	0,38	0,47	0,62	0,70	0,76	0,81				
2		0,17	0,25	0,28	0,37	0,45	0,55	0,65	0,76	0,91			
3		0,20	0,28	0,34	0,38	0,45	0,53	0,65	0,71	0,69			
4		0,10	0,27	0,35	0,42	0,51	0,63	0,74	0,82	1,48			
1991	0,15	0,17	0,31	0,41	0,48	0,55	0,65	0,74	0,83	0,91	0,97	1,21	
1		0,12	0,29	0,40	0,48	0,59	0,75	0,85	0,85				
2		0,13	0,12	0,27	0,35	0,46	0,55	0,65	0,77	0,96	1,16		
3		0,18	0,19	0,34	0,44	0,47	0,51	0,57	0,68	0,76	0,83	0,97	1,21
4		0,15	0,25	0,34	0,44	0,50	0,55	0,62	0,66	0,74	0,74		
1992		0,16	0,19	0,25	0,32	0,48	0,55	0,63	0,75	0,87	0,93	1,33	
1		0,16	0,24	0,31	0,46	0,55	0,61	0,74	0,86	0,98	1,53		
2		0,15	0,18	0,22	0,27	0,47	0,55	0,62	0,71	0,84	0,97	1,24	
3		0,15	0,19	0,23	0,32	0,46	0,53	0,58	0,69	0,83	0,96	1,21	
4		0,18	0,25	0,32	0,39	0,53	0,58	0,69	0,86	0,96	0,80		
1993	0,15	0,19	0,26	0,33	0,41	0,55	0,68	0,80	1,03	1,16	1,72		
1		0,09	0,18	0,26	0,32	0,38	0,54	0,71	0,84	1,00	1,39	2,00	
2		0,17	0,17	0,24	0,32	0,39	0,53	0,68	0,82	0,88	1,00	1,45	
3		0,16	0,20	0,25	0,31	0,39	0,50	0,63	0,73	0,81	1,09		
4		0,18	0,22	0,28	0,36	0,48	0,64	0,72	0,80	1,44			
1994		0,19	0,24	0,31	0,38	0,49	0,65	0,79	0,88	0,96	1,28	1,60	
1		0,21	0,28	0,33	0,41	0,60	0,78	0,89	1,05	1,59	1,63		
2		0,19	0,24	0,29	0,34	0,45	0,59	0,79	0,90	1,03	1,32		
3		0,22	0,26	0,32	0,39	0,49	0,65	0,77	0,84	0,93	0,94	1,57	
4		0,15	0,26	0,37	0,48	0,63	0,77	0,82	0,88	0,84			
1995	0,07	0,19	0,21	0,28	0,36	0,45	0,59	0,80	0,98	1,10	1,37	1,30	1,63
1		0,17	0,19	0,28	0,35	0,44	0,64	0,87	1,09	1,21	1,38	1,21	
2	0,07	0,19	0,20	0,26	0,33	0,41	0,52	0,82	0,98	1,14	1,34	1,45	1,81
3		0,22	0,24	0,32	0,40	0,48	0,60	0,74	0,84	0,98	1,02	1,24	
4		0,20	0,23	0,27	0,35	0,47	0,58	0,78	1,02	1,08	1,74		1,45



Tabla 13. Peso medio de la zona Caldera-Guaitecas estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 1996 al 2010.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1996	0,09	0,16	0,22	0,32	0,43	0,57	0,76	1,00	1,24	1,44	1,57	2,06	
1		0,10	0,19	0,27	0,33	0,47	0,66	0,96	1,18	1,33	1,55	2,00	
2		0,17	0,18	0,27	0,35	0,50	0,67	0,90	1,17	1,32	1,41	1,83	
3	0,12	0,18	0,23	0,34	0,48	0,58	0,80	1,04	1,19	1,49	1,34		
4	0,06	0,20	0,28	0,42	0,56	0,74	0,89	1,09	1,42	1,63	1,99	2,36	
1997	0,08	0,15	0,21	0,28	0,38	0,52	0,70	0,90	1,10	1,32	1,51	1,74	1,92
1		0,08	0,19	0,27	0,36	0,46	0,62	0,86	1,09	1,39	1,49	1,80	2,19
2	0,08	0,15	0,19	0,25	0,33	0,46	0,62	0,85	1,06	1,18	1,52	1,86	1,88
3	0,08	0,18	0,21	0,27	0,38	0,57	0,74	0,90	1,09	1,33	1,55	1,80	1,74
4	0,09	0,18	0,26	0,33	0,45	0,58	0,80	0,99	1,16	1,36	1,49	1,49	1,86
1998	0,09	0,13	0,18	0,27	0,36	0,58	0,81	1,07	1,22	1,38	1,60	2,01	2,46
1		0,08	0,16	0,25	0,33	0,47	0,68	1,11	1,27	1,31	1,44	2,15	2,38
2		0,13	0,16	0,24	0,32	0,54	0,78	0,99	1,21	1,38	1,58	2,07	2,46
3	0,08	0,15	0,17	0,26	0,37	0,59	0,85	1,02	1,20	1,46	1,63	1,87	2,54
4	0,09	0,18	0,23	0,32	0,43	0,70	0,93	1,15	1,20	1,37	1,73	1,96	
1999	0,09	0,13	0,17	0,25	0,33	0,49	0,74	1,05	1,28	1,51	1,64	1,98	2,11
1		0,06	0,15	0,24	0,34	0,47	0,74	1,02	1,42	1,68	1,74	1,84	2,55
2		0,15	0,16	0,24	0,30	0,49	0,76	1,10	1,25	1,40	1,65	2,09	2,09
3	0,08	0,15	0,16	0,26	0,33	0,52	0,85	1,00	1,11	1,25	1,57	1,59	1,67
4	0,10	0,17	0,20	0,27	0,36	0,47	0,63	1,06	1,34	1,70	1,61	2,39	
2000	0,10	0,17	0,21	0,27	0,37	0,50	0,70	0,98	1,27	1,42	1,54	1,88	2,12
1		0,11	0,19	0,25	0,34	0,43	0,59	0,93	1,38	1,65	1,71	1,98	2,11
2		0,16	0,19	0,24	0,33	0,44	0,61	0,90	1,15	1,41	1,66	1,79	2,24
3		0,18	0,19	0,25	0,37	0,60	0,89	1,08	1,15	1,28	1,40	1,61	2,00
4	0,10	0,21	0,26	0,33	0,42	0,55	0,71	1,02	1,38	1,35	1,41	2,14	
2001		0,16	0,21	0,26	0,33	0,46	0,62	0,84	1,08	1,39	1,54	1,68	1,89
1		0,10	0,19	0,26	0,33	0,48	0,62	0,88	1,24	1,55	1,65	1,82	1,93
2		0,18	0,20	0,25	0,33	0,46	0,63	0,93	1,14	1,45	1,59	1,78	1,91
3		0,18	0,20	0,24	0,32	0,45	0,65	0,87	1,11	1,31	1,51	1,91	2,19
4		0,19	0,24	0,30	0,36	0,44	0,56	0,69	0,83	1,24	1,39	1,20	1,53
2002	0,06	0,15	0,20	0,26	0,33	0,45	0,65	0,87	1,12	1,36	1,53	1,70	2,08
1		0,07	0,19	0,25	0,31	0,42	0,62	0,80	1,13	1,35	1,45	1,55	1,83
2		0,18	0,19	0,25	0,32	0,42	0,57	0,82	1,06	1,25	1,51	1,70	2,12
3		0,17	0,20	0,27	0,34	0,46	0,66	0,89	1,08	1,34	1,56	1,83	2,30
4	0,06	0,19	0,23	0,29	0,34	0,50	0,75	0,97	1,22	1,48	1,62		
2003	0,07	0,15	0,20	0,26	0,31	0,42	0,62	0,85	1,02	1,23	1,55	1,70	2,11
1		0,08	0,18	0,25	0,32	0,44	0,68	0,96	1,23	1,41	1,58	1,70	1,84
2		0,15	0,19	0,24	0,30	0,40	0,56	0,79	1,00	1,24	1,62	1,71	1,86
3	0,07	0,18	0,20	0,25	0,29	0,39	0,59	0,73	0,86	1,01	1,31	1,65	2,33
4		0,18	0,23	0,28	0,34	0,46	0,64	0,94	0,99	1,26	1,68	1,74	2,40
2004	0,09	0,21	0,22	0,27	0,32	0,40	0,54	0,75	0,99	1,20	1,44	1,55	1,77
1		0,23	0,22	0,26	0,31	0,38	0,51	0,74	1,03	1,14	1,46	1,62	1,80
2	0,09	0,19	0,18	0,25	0,31	0,38	0,48	0,64	0,90	1,18	1,41	1,51	1,76
3		0,19	0,22	0,26	0,31	0,41	0,52	0,65	0,79	0,96	1,17	1,32	1,31
4		0,25	0,27	0,30	0,36	0,45	0,64	0,96	1,23	1,53	1,71	1,73	2,22
2005	0,12	0,25	0,30	0,33	0,42	0,53	0,67	0,80	0,98	1,20	1,32	1,72	1,75
1		0,04	0,24	0,29	0,32	0,42	0,56	0,70	0,90	1,07	1,25	1,41	1,86
2		0,06	0,23	0,27	0,32	0,39	0,49	0,62	0,74	0,95	1,21	1,37	1,58
3		0,19	0,22	0,26	0,29	0,36	0,46	0,59	0,68	0,82	1,02	1,04	1,79
4		0,19	0,30	0,36	0,40	0,50	0,62	0,75	0,89	1,09	1,33	1,46	1,75
2006	0,10	0,08	0,19	0,29	0,34	0,41	0,52	0,65	0,79	0,97	1,10	1,36	1,74
1		0,04	0,17	0,32	0,37	0,43	0,52	0,67	0,82	1,02	1,19	1,49	1,75
2		0,05	0,23	0,31	0,35	0,41	0,50	0,61	0,74	0,91	0,96	1,20	1,48
3		0,07	0,13	0,28	0,33	0,39	0,51	0,59	0,75	0,94	1,02	1,27	2,02
4	0,10	0,15	0,21	0,25	0,32	0,40	0,55	0,72	0,84	1,01	1,24	1,50	1,69
2007	0,11	0,20	0,28	0,35	0,44	0,55	0,67	0,84	0,95	1,10	1,28	1,56	
1		0,04	0,19	0,23	0,30	0,39	0,52	0,66	0,80	0,92	1,09	1,30	1,48
2		0,10	0,17	0,24	0,37	0,44	0,51	0,62	0,75	0,89	1,04	1,25	1,41
3		0,15	0,24	0,36	0,37	0,43	0,51	0,62	0,79	0,91	1,04	1,13	1,61
4		0,16	0,22	0,28	0,37	0,50	0,64	0,76	1,01	1,07	1,23	1,43	1,76
2008	0,03	0,06	0,21	0,27	0,36	0,41	0,51	0,66	0,77	0,95	1,11	1,29	1,51
1			0,22	0,28	0,33	0,40	0,54	0,70	0,91	1,11	1,32	1,54	1,60
2		0,03	0,16	0,24	0,39	0,45	0,52	0,61	0,72	0,91	1,06	1,24	1,43
3	0,03	0,05	0,25	0,28	0,39	0,43	0,51	0,62	0,71	0,82	0,95	1,10	1,49
4		0,09	0,22	0,31	0,33	0,36	0,47	0,71	0,73				
2009	0,05	0,13	0,17	0,34	0,41	0,46	0,55	0,68	0,84	1,02	1,20	1,28	1,52
1		0,10	0,13	0,32	0,36	0,42	0,52	0,66	0,78	1,02	1,35	1,35	1,48
2	0,05	0,11	0,13	0,33	0,37	0,44	0,55	0,67	0,79	0,94	1,10	1,23	1,46
3		0,15	0,22	0,44	0,53	0,55	0,59	0,67	0,75	0,87	0,99	1,09	1,28
4		0,17	0,19	0,27	0,37	0,43	0,52	0,70	1,04	1,26	1,36	1,44	1,85
2010	0,14	0,20	0,25	0,33	0,47	0,56	0,68	0,84	1,12	1,51	1,66	2,30	
1			0,18	0,23	0,33	0,40	0,51	0,65	0,84	1,23	1,70	2,03	2,40
2		0,06	0,18	0,24	0,31	0,43	0,55	0,64	0,78	1,05	1,29	1,45	2,76
3		0,15	0,17	0,25	0,30	0,50	0,56	0,67	0,81	1,09	1,38	1,49	1,75
4		0,19	0,25	0,29	0,39	0,53	0,63	0,74	0,92		1,66		



Tabla 14. Peso medio de la zona Caldera-Guaitecas estimada considerando los resultados de la validaci3n, entre los a1os 2011 al 2021.

A1o/Trimestre	Grupo edad												
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011		0,20	0,23	0,30	0,38	0,52	0,64	0,74	0,93	1,18	1,68	1,56	1,70
1		0,24	0,22	0,30	0,36	0,45	0,60	0,74	0,92	1,43	2,00		
2		0,16	0,21	0,29	0,37	0,60	0,74	0,80	0,92	0,98	1,26	1,19	1,53
3		0,19	0,22	0,29	0,38	0,53	0,66	0,81	0,95	1,12	1,36	1,92	1,87
4		0,20	0,25	0,31	0,40	0,49	0,55	0,62		1,19	2,12		
2012		0,20	0,25	0,32	0,39	0,47	0,57	0,81	1,05	1,28	1,45	1,95	2,07
1		0,24	0,26	0,32	0,37	0,49	0,57	0,69	0,72	1,19	1,27	1,73	1,84
2		0,20	0,23	0,29	0,37	0,49	0,60	0,75	0,93	0,90	1,25		
3		0,18	0,20	0,27	0,37	0,43	0,54	1,16	1,77	1,85	1,85	2,18	2,31
4		0,20	0,30	0,40	0,44	0,49	0,56	0,66	0,77	1,16			
2013	0,05	0,22	0,25	0,33	0,38	0,44	0,55	0,66	0,84	1,05	1,83	2,40	2,40
1		0,21	0,23	0,30	0,36	0,43	0,52	0,66	0,63	1,00		1,98	2,32
2	0,05	0,23	0,26	0,32	0,39	0,44	0,56	0,71	1,08	1,17	1,34		1,75
3		0,19	0,20	0,20	0,21	0,32							
4		0,27	0,33	0,51	0,54	0,56	0,58	0,63	0,80	0,99	2,31	2,82	3,14
2014	0,10	0,20	0,27	0,44	0,53	0,59	0,66	0,76	0,83	1,22	1,51	1,98	2,05
1		0,20	0,24	0,38	0,46	0,51	0,58	0,68	0,71	1,15	1,55	2,54	1,48
2		0,23	0,32	0,54	0,60	0,65	0,74	0,83	0,90	1,07	1,22	1,47	2,20
3		0,20	0,21	0,39	0,55	0,60	0,66	0,79	0,89	1,07	0,93	1,32	1,63
4	0,10	0,17	0,31	0,44	0,53	0,60	0,66	0,73	0,81	1,60	2,35	2,59	2,90
2015	0,07	0,22	0,24	0,30	0,42	0,56	0,69	0,80	0,91	1,08	1,17	1,41	1,42
1		0,16	0,18	0,32	0,45	0,55	0,63	0,68	0,79	1,20	1,33	1,67	1,45
2	0,08	0,21	0,21	0,24	0,46	0,60	0,74	0,85	0,95	1,07	1,20	1,02	1,29
3	0,07	0,21	0,23	0,26	0,38	0,56	0,71	0,81	0,91	1,09	1,18	1,31	1,51
4		0,29	0,32	0,35	0,40	0,52	0,68	0,85	0,98	0,96	0,98	1,64	1,64
2016	0,07	0,23	0,28	0,34	0,39	0,47	0,57	0,77	0,89	1,15	1,35	1,64	2,00
1		0,23	0,26	0,31	0,33	0,43	0,60	0,82	0,90	1,10	1,72	2,23	1,58
2	0,07	0,22	0,24	0,30	0,39	0,48	0,58	0,79	0,89	1,12	1,25	1,47	2,11
3		0,25	0,28	0,33	0,37	0,42	0,48	0,65	0,81	1,12	1,05	1,11	1,77
4		0,22	0,35	0,42	0,48	0,54	0,62	0,81	0,96	1,27	1,40	1,77	2,54
2017	0,05	0,20	0,24	0,30	0,37	0,47	0,60	0,79	1,01	1,28	1,40	1,77	1,94
1		0,18	0,22	0,30	0,38	0,51	0,66	0,94	1,18	1,28	1,50	1,79	2,12
2	0,05	0,18	0,22	0,29	0,38	0,44	0,55	0,66	0,83	1,02	1,29	1,57	1,46
3		0,20	0,22	0,27	0,34	0,44	0,58	0,80	1,07	1,50	1,64	1,65	2,45
4		0,26	0,31	0,33	0,39	0,50	0,63	0,78	0,97	1,34	1,20	2,07	1,74
2018	0,02	0,18	0,25	0,33	0,41	0,52	0,66	0,82	0,97	1,30	1,42	1,58	2,02
1		0,22	0,24	0,31	0,36	0,45	0,56	0,77	0,95	1,58	1,41	1,47	2,02
2	0,02	0,11	0,22	0,28	0,36	0,46	0,57	0,68	0,84	1,09	1,27	1,51	1,50
3		0,14	0,21	0,37	0,48	0,62	0,85	1,13	1,24	1,49	1,74	1,91	2,26
4		0,26	0,33	0,38	0,45	0,57	0,64	0,73	0,85	1,04	1,26	1,42	2,29
2019		0,24	0,28	0,35	0,42	0,50	0,61	0,74	0,83	0,97	1,12	1,42	2,52
1		0,20	0,27	0,30	0,36	0,45	0,59	0,78	0,88	1,15	1,20	1,37	2,90
2		0,29	0,29	0,35	0,43	0,49	0,58	0,66	0,71	0,80	0,89		
3			0,34	0,37	0,44	0,53	0,62	0,74	0,87	0,95	1,06	1,40	2,96
4			0,22	0,39	0,47	0,55	0,77	0,85	0,98	1,32	1,50	1,71	
2020		0,23	0,42	0,44	0,54	0,63	0,73	0,85	0,98	1,11	1,26	1,42	2,24
1		0,23	0,23	0,30	0,40	0,52	0,64	0,78	0,96	1,23	1,40	1,60	2,34
2		0,24	0,22	0,27	0,40	0,58	0,75	0,84	1,04	1,01	1,18	1,44	3,06
3			0,54	0,58	0,70	0,71	0,77	0,89	0,97	1,07	1,15	1,39	1,90
4			0,67	0,60	0,66	0,69	0,77	0,88	0,95	1,12	1,31	1,24	1,65
2021		0,22	0,37	0,45	0,55	0,67	0,75	0,86	0,98	1,12	1,37	1,73	1,63
1		0,23	0,26	0,29	0,34	0,44	0,60	0,71	0,80	1,01	1,50	2,38	
2		0,20	0,32	0,47	0,58	0,72	0,78	0,88	1,04	1,14	1,46	1,38	1,72
3		0,23	0,47	0,57	0,66	0,76	0,81	0,92	1,12	1,24	1,39	1,54	1,70
4			0,43	0,46	0,61	0,74	0,81	0,92	0,97	1,09	1,14	1,61	1,48



ANEXO IV

Horas ejecutadas por el equipo de trabajo



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN PESQUERA

Institución	Personal	Actividad	MESES												Total	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)	José Fco. Cema T.	Análisis de los criterios de lectura a partir de imágenes de CRO				40	8	8								56
		Ejercicios de reproducibilidad							8							8
		Elaboración de catálogo gráfico									8					8
		Elaboración protocolo de lectura										20				20
		Estimación de parámetros de crecimiento y mortalidad natural												16		16
		Talleres											19	40		59
		Informes							8						32	6
	Todas las actividades				40	16	8	8	28	19	40	48	6		213	
	Jan Carlos Quiroz	Definición de metodología de transformación de las claves edad-talla												11		11
		Estimación de mortalidad natural												16		16
		Todas las actividades												27		27
	Christian Valero	Ejercicios de reproducibilidad										24				24
		Elaboración protocolo de lectura											20			20
		Definición de metodología de transformación de las claves edad-talla												44		44
		Todas las actividades										24	20	44		88
	Guillermo Moyano	Elaboración de catálogo gráfico										44				44
		Talleres											44			44
		Todas las actividades										44	44			88
	Lizandro Muñoz	Análisis de los criterios de lectura a partir de imágenes de CRO								10	10					20
		Ejercicios de reproducibilidad									10	10	10			30
Elaboración de catálogo gráfico										10	10	8			28	
Elaboración protocolo de lectura										10	20	20			50	
Talleres											40	40			80	
Todas las actividades									10	40	80	78		208		
NN Investigador	Selección otolitos para colección de referencia	161													161	
	Preparación de otolitos y toma de imágenes de Colección de referencia (CRO)		161	81	80										322	
	Análisis de los criterios de lectura a partir de imágenes de CRO							40							40	
	Ejercicios de reproducibilidad							57	40	40	40	40			217	
	Elaboración de catálogo gráfico			80	81	40	32	32	32	33				40	370	
	Elaboración protocolo de lectura					40	32	32	45	44				40	233	
	Definición de metodología de transformación de las claves edad-talla												24		24	
	Estimación de parámetros de crecimiento y mortalidad natural											77	56		133	
	Talleres								57	44	44	44			189	
	Informes						81							81	81	243
Todas las actividades	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	1932		
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)	Guido Plaza	Análisis e interpretación de resultados derivados de la MO		16	16	16									48	
		Análisis e interpretación de resultados derivados de SEM					20	20	22						62	
	Talleres					5					5		5	15		
	Informes					20					20		5	45		
	Todas las actividades	0	16	16	16	45	20	22			25		10	170		
Camilo Rodríguez	Digitalización y registro para determinación de edad usando MO	100	100	100	100									400		
	Informes					15					15			30		
	Todas las actividades	100	100	100	100	15					15			430		
Técnico NN	Preparación de secciones de otolitos para SEM		100	100	100	100								400		
	Todas las actividades		100	100	100	100								400		
Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA)	Aguiles Sepulveda	Coordinación y participación en talleres							22	12	22	22			78	
		Todas las actividades								22	12	22	22		78	
	Marcia Neira	Participación en talleres								22	12	22	22		78	
		Todas las actividades								22	12	22	22		78	
	Evelin Sanhueza	Participación en talleres								22	12	22	22		78	
		Todas las actividades								22	12	22	22		78	
Lilian Sanhueza	Participación en talleres								22	12	22	22		78		
	Todas las actividades								22	12	22	22		78		
Consultor Independiente	Miguel Araya	Participación en talleres							24	24	44	44			136	
		Todas las actividades								24	24	44	44		136	



ANEXO V

Bese de datos