INFORME FINAL CORREGIDO

Proyecto FIPA Nº 2017-61

"VALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DIARIO DE JUREL"

Proponente: **Facultad de Recursos Naturales Renovables**
Universidad Arturo Prat
Iquique

Iquique - Diciembre 2019

INSTITUCIONES SUBCONTRATADAS

Instituto de Investigación Pesquera Octava Región

PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

Personal participante Universidad Arturo Prat (Objetivo específico 1)

NOMBRE	Titulo y/o grado	FUNCION
Miguel Araya	Biólogo Pesquero M. Sc. en Pesquerías Dr en Sistemas Marinos Costeros	❖ Jefe de proyecto – coordinación proyecto – Responsable objetivo 1. Análisis integrado de los objetivos-confección informes
Marianela Medina	Bióloga Pesquera	❖ Investigador – preparación muestras de otolitos observación micro-estructura – elaboración informes
Elio Segovia	Ingeniero en Acuicultura Mag. en Acuicultura	❖ Investigador-responsable mantención peces en cautiverio-marcaje
Jessica Peñailillo	Bióloga Pesquera	❖ Investigador – preparación muestras de otolitos observación micro-estructura. Discusión
Milton Avilés	Ingeniero Pesquero	❖ Apoyo mantención peces en cautiverio-marcaje
Karen Guissen	Ingeniera Pesquera	❖ Apoyo captura y mantención peces en cautiverio
Agustín Arcos		❖ Apoyo en la captura y manteción de los ejemplares
Jorge Charlin		❖ Apoyo en la captura y manteción de los ejemplares
Carlos Pacheco	Ingeniero Pesquero	❖ Apoyo captura y mantención peces en cautiverio, digitalización de imágenes

Personal participante Pontificia Universidad Católica De Valparaíso (Objetivo específico 2)

NOMBRE	Titulo y/o grado	FUNCION
Guido Plaza	Biólogo Marino P.h. D Ciencias de la Agricultura	❖ Coordinación y fiscalización de las actividades asociadas al objetivo específico ❖ Corroboración de lecturas y procesos de identificación de micro y macroincrementos. ❖ Desarrollo del componente analítico. ❖ Elaboración de informes técnicos en el marco del sub-contratoasociado al desarrollo del objetivo específico 2.
Ana María Galeano	Ingeniero Pesquero	❖ Proceso digitalización macroscópica de los otolitos *sagittae*.

		❖ Lectura de otolitos de juveniles y adultos.
Jorge Contreras	Biólogo Marino	❖ Proceso de preparación de los otolitos para su análisis micro-estructural (embebido y pulido). ❖ Proceso digitalización y medición de grosores de juveniles y adultos
Camilo Rodríguez	Biólogo Marino	❖ Medición de grosores y radios utilizando análisis de imágenes. ❖ Proceso de montaje. Determinación de edad.

Personal participante Instituto de Investigación Pesquera (Objetivo específico 3)

NOMBRE	Titulo y/o grado	FUNCION
Lilian Cisterna	Biólogo Marino M.Sc. en Pesquerías	❖ Edad y crecimiento de Jurel. Lectura y preparación de muestras para análisis de microincrementos en otolitos. Ajuste de modelos y estimación de parámetros de crecimiento. Elaboración de informes. Responsable objetivos 3
Aquiles Sepúlveda	Biólogo Marino M. Sc. Oceanografía Dr.(C) Pesquerías	❖ Edad y crecimiento jurel. Aspectos de historia de vida temprana de jurel
Marcia Neira	Biólogo Marino	❖ Edad y crecimiento de Jurel. Preparación muestras para lectura de microincrementos diarios. Elaboración de informes
Evelin Sanhueza	Biólogo Marino	❖ Edad y crecimiento de jurel. Lectura de microincrementos en otolitos. Revisión bibliográfica

RESUMEN EJECUTIVO

La estimación de la edad por medio de los microincrementos en larvas y juveniles de peces ha sido utilizada ampliamente en estudios de historia de vida temprana. El supuesto del método es que los microincrementos son formados con una base temporal regular, es decir, diaria. Para corrobar el supuesto, es necesario realizar estudios de validación ya que la microstructura varía entre especies y estadío ontogenético. Se plantea que en el jurel *Trachurus murphyi* los microincrementos presentes en los otolitos de individuos juveniles tienen una periodicidad diaria. En el presente estudio se realizaron dos experimentos, el primero con dos grupos de peces (entre 6,5-11,5 y 17,5-26 cm LH) los cuales se sumergieron en una solución de oxitetraciclina en dos oportunidades. En este experimento no se tuvieron resultados favorables.

En el segundo experimento se realizaron dos marcajes a ejemplares entre 6,5 y 12 cm LH promedio, sumergiéndolos en una solución de alizarina roja al 25 y 50 mg/l, realizando finalmente a los 46 días el segundo marcaje y con sólo 50 mg/l dado los resultados iniciales obtenidos de ejemplares que murieron entre marcas. El conteo se realizó entre las marcas que dejó la alizarina y la manipulación de los ejemplares, siendo las marcas dicernible desde aumento 10X. Los ejemplares analizados formaron microincrementos diarios.

Para el desarrollo del segundo objetivo se efectuó un análisis comparativo entre la macro y microestructura de otolitos *sagittae* de jurel, de entre 13 y 23 cm LH, recolectados en aguas chilenas, durante los años 2008 y 2009, los que fueron complementados con muestras de otolitos recolectados en aguas internacionales en el año 2017. Los otolitos fueron preparados a través de un doble pulido sagital, evitando sobrepulir los bordes, pero asegurando una resolución suficiente en toda la estructura. Las lecturas fueron realizadas en duplicado, utilizando imágenes digitalizadas a través de analizadores de imágenes. La comparación macro y microestructural evidenció los siguientes hallazgos principales (i) presencia de microincrementos diarios depositados de forma continua y secuencial desde el primordio hasta el borde de los otolitos; (ii) relaciones edad vs talla y edad vs radio caudal tipo curvilíneas para el rango de longitud de ejemplares analizados (13-23 cm LH); (iii) existencia de tres zonas microestructurales características; (iv) existencia de centros secundarios de crecimiento (CSC); y (v) gran ocurrencia de discontinuidades de diferentes modalidades.

La microestructura de los otolitos *sagittae* de ejemplares de entre 18 y 23 cm LH, evidenció la presencia de tres zonas microestructurales características, una primera zona que se extendió entre la primera y tercera semana de vida asociada a la etapa larval, donde se observó un incremento gradual del grosor de los microincrementos (8,27±6,87; rango:1-23 μm), una segunda

zona de mayor crecimiento del otolito que se inició con la aparición de centros secundarios de crecimiento y que se extendió hasta aproximadamente el cuarto mes de vida (20,77±7,40; rango: 6-38 µm), y una tercera zona microestructural que se caracterizó por una reducción marcada de las tasas de crecimiento del otolito (4,30±1,84; rango: 2-11 µm).

La relación edad vs LH fue descrita significativamente por el modelo Gompertz, a partir del cual se estimaron longitudes de entre 21,2 a 21,8 cm para el primer año de vida, los que fueron similares a estudios previos para el jurel, usando la misma metodología en aguas chilenas. El modelo de Gompertz ajustado a la relación edad vs LH estimaron tasas de crecimiento absolutas máximas al punto de inflexión de entre 0,46 y 0,48 mm/día, alcanzadas entre los 70 y 78 días de vida para ejemplares entre 13 y 23 cm LH. Similarmente la relación edad vs radio caudal fue explicada significativamente por un modelo curvilíneo de tipo logarítmico y su función inversa se ajustó significativamente a modelos exponenciales, a partir de los cuales se estimaron radios medios al primer año de vida de entre 3 y 3,1 mm. Ambas funciones (edad-talla y edad-radio caudal) demostraron que existió una reducción sustantiva del crecimiento hacia el término del primer año de vida, que fue independiente del año analizado.

La comparación entre la edad edad diaria y la edad anual registrada de forma tradicional, en dos años de estudio (2008 y 2009), y cuando se combinó la información de los tres años analizados, demostró que la primera zona translúcida completó su formación a edades medias de 180 días, muy por debajo de los 365 días requeridos para ser considerada el primer *annulus* en esta especie y por consiguiente se recomienda que sea obviada de los procesos de estimación de edad para propósitos de evaluación del recurso. Por otra parte, la segunda zona translúcida más prominente comenzó a formarse después de un crecimiento opaco menor y se estimó que finalizó su formación en promedio a los 323 días de vida. Contrariamente, se demostró que la tercera banda translúcida terminó de formarse en promedio a los 369 cuando se usó el enfoque de estimación usando la relación edad-radio caudal; y a los 416 días cuando se cruzo la información de lectura tradicional y edad diaria. En consecuencia, los resultados demostraron que la segunda banda culminó su formación muy cerca de finalizar el primer año de vida y la tercera muy lejos de completar un nuevo ciclo anual.

Finalmente, el análisis comparativo entre la macro y la microestructura de los otolitos *sagittae* de esta especie demostró ser una herramienta efectiva para validar el tiempo de formación del primer *annulus* en esta especie. No obstante, la microestructura también evidenció la existencia de perturbaciones, entre las cuales se distinguen los CSC, discontinuidades y cambios de fase entre depósito opaco a translucido que dificultan la adecuada interpretación de un anillo diario, aún si se

han validado los criterios para su identificación en condiciones experimentales. Por consiguiente, se hace imprescindible avanzar hacia la integración de información entre distintos laboratorios para generar protocolos de interpretación e identificación de microincrementos diarios para esta especie, que se traduzcan en catálogos gráficos y colecciones de referencia.

En el tercer objetivo, se obtuvo como resultado la estimación del crecimiento de jurel mediante lectura de paquetes o bandas de crecimiento diario, en 126 otolitos sagittae de individuos juveniles entre 7,1 y 22,5 cm LH, colectados en la zona norte de Chile en el periodo septiembre 2017 a mayo 2018. Además, a partir del grosor de los microincrementos en función del radio del otolito se procedió a determinar la tasa de crecimiento del otolito. El modelo de Deriso ajustado a las observaciones presentó una alta significancia ($p < 2e\text{-}16$) para los tres parámetros estimados, con tasas de crecimiento más altas entre los 500 y 800 μm.

La edad individual (en días), fue ajustada a cuatro modelos de crecimiento, Gompertz, lineal, von Bertalanffy general y von Bertalanffy estacional; siendo el modelo de Gompertz, el mejor que representa el crecimiento de jureles juveniles. A partir de la edad estimada en días también fue posible determinar la fecha de nacimiento de los individuos, restando el número de días de vida a la fecha de captura de cada pez. Los resultados mostraron que los individuos analizados nacieron entre los meses de agosto a enero, lo que sincroniza con el periodo de mayor actividad reproductiva descrita históricamente para esta especie, la que ocurre entre los meses de octubre y diciembre de cada año.

EXECUTIVE SUMMARY

The estimation of age through otolith microstructure analysis has been widely used in studies of early life history in larvae and juveniles of teleost fishes. The assumption of the method is that the microincrements are formed on a regular, i.e., daily basis. To corroborate this assumption, it is necessary to conduct validation studies since the microstructure varies between species and ontogenetic stages. It is stated that in the horse mackerel *Trachurus murphyi* the microincrements present in the otoliths of juvenile individuals have a daily periodicity. In the present study two experiments were carried out, the first with two groups of fish (8 and 22 cm LH average) which were immersed in an oxytetracycline solution twice. In this experiment no favorable results were found.

In the second two marking experiment were conducted in juveniles with mean size of 8 cm LH. At first, juveniles were submerged in solution of 25 and 50 mg/l of alizarin red S (ARS), and after 46 days the second marking procedure was performed with a solution of 50 mg/l ARS, given preliminary results when some specimens died between the experimental marking procedures. The count was made between both ARS marks and the handling of the specimens, with the marks being detectable using a 10X magnification. The results showed analyzed specimens formed daily microincrements.

For the development of the second objective, a comparative analysis was made between the macro and microstructure of sagittal otoliths of jack mackerel, between 13 and 23 cm LH, collected in Chilean waters, during 2008 and 2009, which were supplemented with otolith samples collected in international waters in 2017. The otoliths were prepared through a double sagittal polishing, avoiding over-polishing the edges, but ensuring sufficient resolution throughout the structure. The readings were made in duplicate, using images digitized through image analyzers. The macro and microstructural comparison showed the following main findings (i) presence of daily microincrements deposited continuously and sequentially from the primordium to the edge of the otoliths; (ii) age vs. size and age relationships vs curvilinear flow rate for the range of length of specimens analyzed (13-23 cm LH); (iii) existence of three characteristic microstructural zones; (iv) existence of secondary growth centers (CSC); and (v) great occurrence of discontinuities of different modalities.

The microstructure of the sagittal otoliths of individuals between 18 and 23 cm LH, evidenced the presence of three characteristic microstructural zones, a first zone that extended between the first and third week of life associated with the larval stage, where a gradual increase in increment width was observed (8.27 ± 6.87, range: 1-23 μm). The second zone of faster otolith growth began with the appearance of secondary primordium of growth and that extended until approximately

the fourth month of life (20.77 ± 7.40, range: 6-38 μm), and a third microstructural zone characterized by a marked reduction in otolith growth rates (4.30 ± 1.84, range: 2-11 μm).

The relationship between age and LH was significantly described by a Gompertz model, from which lengths of 21.2 to 21.8 cm were estimated for the first year of life, similar to previous studies for horse mackerel, using the same methodology in Chilean waters. The Gompertz model adjusted to the age vs. LH ratio estimated maximum absolute growth rates, at the inflection point, of 0.46 and 0.48 mm / day, reached at 70 and 78 days of age for individuals between 13 and 23 cm LH for this species. Similarly, the relationship between age vs caudal radio was significantly explained by a logarithmic curvilinear model and its inverse function was significantly adjusted to exponential models, from which average radii were estimated at the first year of life, reaching values between 3 and 3.1 mm. Both functions (age-height & age-caudal radio) showed that there was a substantive reduction of growth towards the end of the first year of life, which occurred irrespective of the year analyzed.

The comparison between the age of daily age and the annual age registered in the traditional way, in two years of study (2008 and 2009), and when the information of the three analyzed years was combined, showed that the first translucent zone completed its formation at mean age of 180 days, well below the 365 days required to be considered the first annulus in this species and therefore it should be removed from the age estimation processes for resource assessment purposes. On the other hand, the second most prominent translucent zone began to form after a minor opaque growth and it was estimated that it finished its formation on average at 323 days of age and 300 days. Contrarily, it was shown that the third translucent band formed on average at 369 and 415 days of life, for both analytical approaches respectively. As a result, the second band completed its formation very close to the end of the first year of life and the third one formed very far from completing a new annual cycle.

Finally, the comparative analysis between the macro and microstructure of the sagittal otoliths of this species proved to be an effective tool to validate the time of formation of the first annulus in this species. However, the microstructure also evidenced the existence of disturbances, e.g., la occurrence of AP, discontinuities, and changes between the opaque and translucent pattern of formation, which add some concern on the adequate interpretation of a daily ring, even if the criteria for their identification have been validated in experimental protocolos. Therefore, it is essential to move towards the integration of information between different laboratories to generate protocols for

the interpretation and identification of daily microincrements for this species, which are translated into graphic catalogs and reference collections.

In the third objective, the estimation of horse mackerel growth was obtained by reading daily growth micro-increments, in 126 *sagittae* otoliths of juvenile individuals between 7.1 and 22.5 cm LH, collected in the northern zone of Chile in the period September 2017 to May 2018. A complementary growth rate was estimated rom the increment width profile, and the microincrements based on the radius of the otolith. The Deriso model fitted to the observations showed high significance ($p < 2e\text{-}16$) for the three estimated parameters (a, b and c), with higher growth rates between 500 and 800 μm.

The individual age (in days) was adjusted to four growth models, Gompertz, linear, von Bertalanffy general and von Bertalanffy seasonal; being the Gompertz model, the best one that represents the growth of juvenile. From the estimated age in days it was also possible to determine the date of birth of the individuals; subtracting the number of days of life to the date of capture of each fish. The results showed that the analyzed individuals were born between the months of August to January, which matched with the period of greatest reproductive activity, historically described for this species, which occurs between the months of October and December of each year.

ÍNDICE

1 OBJETIVOS 1

1.1 OBJETIVO GENERAL 1

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1

1.2.1 Validar la periodicidad de los microincrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio 1

1.2.2 Validar el primer *annulus* a partir del conteo de microincrementos primarios previamente validados. 1

1.2.3 Caracterizar el crecimiento diario, determinar fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida 1

2 ANTECEDENTES 2

3 METODOLOGÍA DE TRABAJO 6

3.1 Objetivo específico 3.2.1: Validar la periodicidad de los microincrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio 6

3.1.1 Captura y mantención de los ejemplares de jurel 6

a) Experimento 1: Captura, mantención y marcaje 6
b) Experimento 2: Captura, mantención y marcaje 12

3.1.2 Análisis de la microestructura 14

3.2 Objetivo específico 3.2.2: Validar el primer *annulus* a partir del conteo de microincrementos primarios previamente validados. 17

3.2.1 Análisis espacio temporal y tamaño de muestra 17

3.2.2 Aspectos metodológicos asociados a la validación del primer *annulus* 18

a) Macroestructura 18
b) Microestructura 19
c) Procedimiento de lectura de microincrementos 21
d) Medición de grosores 23

3.3 Objetivo específico 3.2.3: Caracterizar el crecimiento diario, determinar fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida. 24

3.3.1 Estimación de tamaño de muestra 24

3.3.2 Recolección de individuos menores a un año 24

3.3.3 Análisis del peso del otolito en función de la longitud de los individuos menores a un año 26

3.3.4 Preparación de las secciones delgadas 27

3.3.5 Lectura de microincrementos **28**

3.3.6 Análisis de la precisión de las lecturas de microincrementos **29**

3.3.7 Asignación de fechas de nacimiento **29**

3.3.8 Estimación de la tasa de crecimiento del otolito **29**

3.3.9 Estimación de las tasas de crecimiento de jureles juveniles **31**

4 RESULTADOS **33**

4.1 Objetivo específico 2.2.1: Validar la periodicidad de los microincrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio **33**

4.2 Objetivo específico 2.2.2: Validar el primer *annulus* a partir del conteo de microincrementos primarios previamente validados. **44**

4.2.1 Análisis de la macro-estructura de los otolitos *sagittae* **44**

4.2.2 Rasgos macro-estructurales **46**

4.2.3 Análisis de la microestructura de los otolitos **50**

4.2.4 Perfiles de grosor de los microincrementos **54**

4.2.5 Validación del primer *annulus* **56**

a) *Estadísticas generales y reproducibilidad* 56
b) *Relación talla-Edad* 56
c) *Relación Edad vs radio* 58
d) *Edad diaria vs Edad anual* 62
e) *Edad de formación de bandas translúcidas* 63

4.3 Objetivo específico 2.2.3: Caracterizar el crecimiento diario, determinar fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida. **65**

4.3.1 Análisis del peso del otolito en función de la longitud de los individuos menores a un año **65**

4.3.2 Preparación de las secciones delgadas **66**

4.3.3 Análisis de la precisión de las lecturas de microincrementos diarios **67**

4.3.4 Asignación de fecha de nacimiento **69**

4.3.5 Estimación de la tasa de crecimiento del otolito **70**

4.3.6 Estimación de las tasas de crecimiento de jureles juveniles **72**

4.3.7 Comparación del crecimiento en longitud para jureles juveniles capturados en la zona norte y centro sur de Chile **74**

4.3.8 Estimación de la edad de reclutamiento **75**

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS **76**

6 CONCLUSIONES 86

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89

8 ANEXOS 96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capturas realizadas de jurel para el primer experimento. Los números con asteriscos son aproximados.___10
Tabla 2. Capturas realizadas de jurel para el segundo experimento. Los números con asteriscos son aproximados. _13
Tabla 3. Síntesis del número de otolitos sagittae de ejemplares de entre 18 y 23 cm LH del jurel, disponibles para análisis micro y macroestructural en el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), el Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA), en los últimos 7 años. N total= 891. Las muestras más recientes provienen de la embarcación pesquera MAGIRIS._____17
Tabla 4 Desembarque oficial de jurel con tallas menores a 23 cm de LH en las XV, I, II, III y IV regiones, para el periodo de muestreo del presente proyecto. Fuente: Boletines Instituto de Fomento Pesquero. _____27
Tabla 5. Longitud horquilla y peso total registrado al final del experimento, y número promedio de microincrementos contabilizados por los dos lectores en otolitos de jurel mantenidos en cautiverio._____43
Tabla 6. Resumen de estadísticas básica de longitud de horquilla de ejemplares del jurel recolectados por el Instituto de Fomento Pesquero, para los años 2008 y 2009, que disponían de otolitos sagittae almacenados, y sobre los cuales se han iniciado el estudio de validación del tiempo de formación del primer annulus. Para el año 2017 los ejemplares provinieron del barco pesquero MAGIRIS, que operó en aguas internacionales. _____44
Tabla 7. Estadísticas generales de radio caudal (mm) a la formación de las zonas opacas y translúcidas de jurel de entre 13 y 23 cm, recolectados en aguas chilenas durante el año 2009._____48
Tabla 8. Estadísticas derivadas del análisis de varianza univariadas, para evaluar los cambios en las dimensiones del grosor promedios de las primeras tres bandas opacas y translúcidas en ejemplares de entre 13 y 22 cm LH de jurel, recolectados a lo largo de la costa chilena durante el año 2009 e ilustrados en la Figura 32 (b-d). Se reportan los resultados para un diseño balanceado con tamaño de muestra idéntico para cada banda (a) y un diseño no balanceado (b). Los mayores valores de "F" para el caso de las bandas opacas es producto de que el primer valor corresponde a las dimensiones del centro opaco que posee un mayor valor que el grosor del resto de las bandas.___49
Tabla 9. Estadísticas derivadas de un modelo lineal general aditivo para evaluar los cambios en las dimensiones del radio y grosor de las primeras dos bandas opacas y translúcidas en ejemplares de entre 13 y 22 cm de jurel, recolectados a lo largo de la costa chilena durante el año 2009 SCE: Suma de cuadrados del error; DF: Grados de libertad; CM: Cuadrados medios; F: F-Fisher; P: Probabilidad de cometer error tipo I. _____50
Tabla 10. Estadísticas generales de longitud y edad de las muestras utilizadas en análisis microestructural del jurel. _____56
Tabla 11. Parámetros estimados a partir del ajuste de modelos Gompertz a la relación edad vs longitud horquilla, para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena. ES: error estándar; LX0: longitud estimada al punto dei inflexión; G: tasa de crecimiento absoluta al punto de inflexión; X_0: edad al punto de inflexión; α: tasa instantánea de crecimiento a X_0; $L\infty$: longitud asintótica. Todos los ajustes fueron significativos ($p<0,001$)._58
Tabla 12. Parámetros estimados e información estadística asociada al ajuste de funciones logarítmicas y exponenciales entre la edad y el tamaño del otolito (a) respectivamente, para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena. ES: 1 error estándar; LI: Límite inferior; LS: límite superior; F: Estadístico F-fisher; GL: Grados de libertad; AIC: criterio de Akaike. _____60
Tabla 13. Parámetros estimados a partir de modelos lineales de la relación entre la edad anual vs la edad diaria, para ejemplares de entre 13 y 23 cm de LH del jurel recolectados en la costa chilena. _____62
Tabla 14. Cálculo del error porcentual promedio (APE) para las lecturas de los microincrementos en otolitos de jurel, lecturas realizadas dos veces y por dos lectores LC y ES. ID=identificación de la muestra, Prom: promedio; DE: desviación estándar; CV: % coeficiente de variación._____68
Tabla 15. Mes y año de nacimiento de los individuos analizados, determinado a partir del análisis microestructural de los otolitos y sus respectivas tallas al momento de la captura. _____69
Tabla 16. Parámetros de la tasa de crecimiento de los otolitos de jurel._____72
Tabla 17. Parámetros de crecimiento individual en jurel de la zona norte, estimados a partir de la lectura de microincrementos diarios. _____73
Tabla 18. Estimación de parámetros de crecimiento del modelo de Gompertz para jureles juveniles de la zona centro sur de Chile._____73
Tabla 19. Análisis de varianza longitud a la edad estimada a partir de los parámetros de crecimiento del modelo de Gompertz entre las zonas norte y sur de Chile. _____74
Tabla 20. Determinaciones de longitud y edades de reclutamiento de T. murphyi por diferentes autores _____75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Embarcaciones utilizadas para las primeras capturas de jurel mediante red de enmalle (30 enero 2018). _ 7

Figura 2. Captura de jureles con línea de mano, se observa la jaula donde iban siendo dejados antes del traslado a los estanques (4 abril 2018).____ 8

Figura 3. Captura de jureles con atarraya. (A) "enguare" o cebo para atraer a los jureles flotando en una bolsa; (B) lanzamiento de atarraya; (C) depósito de los jureles en la jaula de mantenimiento antes de ser trasladado a los estanques (11 de febrero 2018). ____ 9

Figura 4. Sistema de mantención de los jureles en el Campus Huayquique de la Universidad Arturo Prat. ____11

Figura 5. Jureles entre 7 y 10 cm mantenidos en cautiverio. ____12

Figura 6. Mantención de los jureles en jaulas separadas dentro del estanque. ____13

Figura 7. Marcaje de jureles en la solución de alizarina.____14

Figura 8. Otolito de jurel de 10,4 cm LH muerto 8 días después del marcaje (50 mg/l). Se observa en el borde la marca de alizarina. Foto a 20X.____15

Figura 9. Sección delgada transversal de un otolito de Vinciguerria nimbaria. Se aprecian los incrementos primarios compuestos por las zona-L y zona-D. a) Detalle del área del centro del otolito bajo microscopio de luz de transmisión. Escala 10 µm; b) Detalle del área de crecimiento de un adulto bajo microscopio de luz de transmisión. Escala 10 µm c) Detalle del área del centro del otolito bajo SEM. Escala 10 µm. d) Detalle de los incrementos primarios después del grabado en ácido bajo SEM. La zona-L es rica en cristales de aragonita mientras que la zona-D corresponde a surcos profundos. Un incremento primario es igual a una zona-L más una zona-D. La figura muestra una zona-L completa y dos zonas-D completas. Escala 1 µm. Fotografía de Wright et al. (2002c).____16

Figura 10. Fotografía ilustrativa del proceso de registro de las dimensiones del radio y grosor de las bandas opacas y translúcidas, de un otolito sagitta de un ejemplar de 23 cm LH del jurel, 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 annuli (r1, r2 & r3; opacos) y las letras los grosores de las bandas translúcidas (h) y opacas (o). ____19

Figura 11. Microestructura de un otolito sagitta de jurel de 3,6 cm LH y 62 días de vida, preparado en doble pulido e ilustrando la presencia del primordio, los microincrementos primarios y los centros secundarios de crecimiento (reproducido de Cerna et al. 2016). CSC o ZCS=centro o zona de crecimiento secundaria; PS=primordio secundario; p=primordio; ZCP=zona de crecimiento primaria. ____20

Figura 12. Microestructura de un otolito sagitta de jurel de 19 cm LH, preparado en doble pulido e ilustrando la secuencia de microincrementos desde el primordio hasta el borde del otolito, enfatizando los rasgos microestructurales a través de las imágenes expandidas a 40X de los respectivos recuadros en colores. ____21

Figura 13. Microestructura de un otolito sagitta de jurel de 18 cm LH, ilustrando el proceso de recuento de los microincrementos, 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 microincrementos.____22

Figura 14. Ilustración del proceso de medición de microincrementos diarios de ejemplares juveniles, utilizando el análisis de imágenes "Otolith Reading System (RATOC Ltd).____23

Figura 15. Modelo conceptual de la historia de vida de jurel (Modificado por Arcos et al. (2001)). _____ *25*

Figura 16. Histograma de frecuencias que presenta el número de individuos muestreados en la zona norte entre 7 y 22 cm LH. _____ *26*

Figura 17. Otolito de jurel fijado en portaobjeto mediante medio de montaje Crystal Bond. _____ *28*

Figura 18. Pulido sagital de un otolito de jurel con 14 cm LH observada con aumento 5X. _____ *28*

Figura 19. Demostración de medición del grosor de los microincrementos mediante el programa computacional Axio Vision Release 4.6. _____ *30*

Figura 20. Diferentes fotografías de otolitos de jurel tomadas en microscopio de fluorescencia para observar las marcas que habría dejado la OTC, el color que se observa en las estructuras corresponde a autofluorescencia. _____ *35*

Figura 21. Registro de temperatura y pH durante la permanencia por seis horas de los jureles en las concentraciones consideradas de alizarina (26 de febrero 2019). _____ *36*

Figura 22. Fluctuación de la temperatura y oxígeno en el estanque de mantenimiento de los peces. Cuadro indica período en que tuvieron los peces para el experimento, desde que llegaron hasta el sacrificio. _____ *36*

Figura 23. Otolitos de jurel correspondiente al segundo experimento tomado bajo lupa, se muestra con flechas la marca translúcida que dejó los primeros días de llegada al cautiverio. (A) 14,2 cm, (B) 12,9 cm, (C) 12,5 cm LH. Provienen de concentración de 50 mg/l de alizarina. _____ *37*

Figura 24. Otolito de jurel de 12,4 cm LH proveniente de la solución de 50 mg/l de alizarina, se observa con luz transmitida, donde se aprecia la primera marca que deja la alizarina. La zona translúcida que se observa en la Figura 23 en esta foto aparece opaca. _____ *38*

Figura 25. Secuencia fotográfica de un _____ *39*

Figura 26. Secuencia fotográfuca de un otolito de jurel de 12,6 cm LH, donde se aprecia desde el centro al borde los microincrementos con las marcas que dejó la alizarina (40X). _____ *40*

Figura 27. Apariencia de la primera (A) y segunda marca (B) producida con el marcaje de alizarina roja en un otolito de jurel. Fotografías tomadas a 100X. _____ *41*

Figura 28. Ancho de los microincrementos entre marcas con respecto al centro del otolito. La línea roja es un ajuste con el algoritmo LOWESS (Cleveland 1981) para mostrar la tendencia. _____ *42*

Figura 29. Relación talla edad a la fecha de captura para ejemplares de jurel recolectados por el Instituto de Fomento Pesquero, para los años 2008 (a) y 2009 (b), a los cuales se le determinó el número de bandas opacas por lectura superficial directa bajo lupa estereoscópica. _____ *45*

Figura 30. Relación talla edad a la fecha de captura para ejemplares de jurel recolectados en la costa chilena para el año 2009, a los cuales se le determinó el número de bandas opacas por medición de radios al término de cada banda opaca, utilizando un analizador de imágenes, dentro del marco del desarrollo del presente proyecto. _____ *46*

Figura 31. Fotografías ilustrativas del proceso de formación de bandas opacas y translúcidas para cuatro ejemplares de jurel, recolectados en la costa chilena para el año 2009. (a) 14 cm LH; (b) 16 cm LH; (c) 19 cm LH y (d) 23 cm LH. Las estrellas negras indican la ubicación de la banda translúcida fina e inconsistente, mientras que los números indican lo annuli potenciales. _____ *47*

Figura 32. Dimensiones del radio y grosor a la formación de bandas opacas y translúcidas para ejemplares de jurel de entre 13 y 23 cm de LH, recolectados en la costa chilena para el año 2009, a los cuales se le determinó el número de bandas opacas por medición de radios al término de cada banda opaca, utilizando un analizador de imágenes, dentro del marco del desarrollo del presente proyecto. Diferente numeración denota diferencias significativas (p<0,05; Test-Tukey). 48

Figura 33. Fotografías de la comparación entre la macro y microestructura de un ejemplar de jurel, de 18 cm de LH, recolectado en la costa chilena. CSC: Centro secundario de crecimiento; DME: discontinuidad de mayor extensión; DP: discontinuidad parcial de menor extensión. La imagen puede ser incrementada con zoom para visualizar de mejor forma los IP. Las fechas rojas indican la exacta correspondencia entre secciones de distinto aumento. 51

Figura 34. Fotografías ilustrativas de la comparación entre la macro y microestructura de un ejemplar de jurel, de 23 cm de LH, recolectado en la costa chilena para el año 2009. CSC: Centro secundario de crecimiento; DME: discontinuidad de mayor extensión; DP: discontinuidad parcial de menor extensión. La imagen puede ser incrementada con zoom para visualizar de mejor forma los IP. El recuadro azul aumentado evidencia el cambio fase de una fase de crecimiento rápido (opaco) a crecimiento lento (translucido) cerca del borde del otolito. 52

Figura 35. Fotografías ilustrativas de la comparación entre la macro y microestructura de un ejemplar de jurel, de 22 cm de LH, recolectado en la costa chilena durante el año 2008. Las flechas rojas indican discontinuidades de mayor extensión. a) 12,5X; b) 20X; c) 40X. 53

Figura 36. Fotografías ilustrativas de la comparación entre la macro y microestructura de un ejemplar de jurel, 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 y segunda banda translúcida. 54

Figura 37. Fotografías ilustrativas del grosor (a) y radio (b) a cada día de ejemplares de entre 13 y 23 cm de LH, del jurel recolectados en la costa chilena. Las letras mayúsculas indican la correspondencia con las respectivas zonas microestructurales. 55

Figura 38. Perfil de reproducibilidad del proceso de estimación de edad a nivel diario en ejemplares de jurel de entre 18 y 23 cm LH, con muestra muestras de otolitos preparadas en posición sagital de con resolución media (a) y elevada (b). Las líneas rojas segmentadas representan el valor del IAPE. 57

Figura 39. Modelos Gompertz ajustados a la relación edad vs longitud horquilla para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena. Las líneas rojas segmentadas ilustran la longitud media estimada por la función para el primer año de vida, para el año 2008 (a), año 2009 (b) y cuando toda la información fue combinada (c), en función de los coeficientes reportados en la Tabla 11. 59

Figura 40. Relaciones logarítmicas y exponenciales entre la edad y el tamaño del otolito (a) y su función inversa (b), respectivamente, para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena. Las líneas rojas segmentadas ilustran el radio caudal estimado por la función para el primer año de vida, cuando toda la información fue combinada. 61

Figura 41. Relaciones lineales entre la edad anual, obtenidas por lectura tradicional y edad diaria obtenida por análisis de la microestructura de otolitos sagittae de ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel, para cada año y para la información combinada. Los números debajo de los valores observados representan el número de días promedio predicho por el modelo a la formación de cada annulus identificado macroscópicamente. 63

Figura 42. Estimación de la edad de culminación del depósito de la primera (a), segunda (b) y tercera (c) banda translúcida para ejemplares < 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena, durante el año 2009, a partir de un modelo exponencial global radio vs edad. 64

Figura 43. Regresión lineal entre la LH (cm) y peso de su otolito (mg), n=79. 65

Figura 44. *Regresión lineal entre la edad del pez (días) y peso de su otolito (g), n=79.* ____ *66*

Figura 45. Microestructura de un otolito de jurel de 8,6 cm LH, visto bajo microscopio óptico. (A) corresponde a aumento 5X, (B) corresponde a aumento de 20X. ____ *67*

Figura 46. Otolito de jurel de 10,5 cm LH visto bajo microscopio óptico a 100X, se observa el primordio y los primeros microanillos post eclosión. ____ *68*

Figura 47. Distribución de frecuencia de individuos, respecto a su fecha de nacimiento determinada a partir de lectura de microincrementos diarios. Los años de nacimiento corresponden a 2016, 2017 y 2018. ____ *69*

Figura 48. Promedio del IGS determinado para jurel en la zona norte de Chile. Entre los meses de enero y diciembre de 2017. Los mayores valores de IGS se registraron entre los meses de septiembre y diciembre. ____ *70*

Figura 49. Relación entre el grosor promedio del microincremento (um) con la distancia de este al centro del otolito. Las barras corresponden a la desviación estándar. ____ *71*

Figura 50. Ajuste del modelo que explica la tasa de crecimiento del otolito de jurel en función de la distancia del centro del otolito. Línea roja= modelo ajustado, línea negra limites superior e inferior de error. ____ *71*

Figura 51. Relación longitud y edad para jureles juveniles de la zona norte de Chile. Los puntos negros corresponden a las observaciones y las línea roja es el ajuste del modelo de Gompertz (n=126). ____ *72*

Figura 52. Relación longitud (cm) y edad (días) para jureles juveniles de la zona centro-sur de Chile. Los puntos negros corresponden a las observaciones y la línea roja es el ajuste del modelo de Gompertz (n=55). ____ *74*

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Carta enviada al Secretario Ejecutivo del FIPA, señor Luis Carroza *97*
Anexo 2. Acta de Talleres de discusión interna *100*
*Anexo **3** Taller de difusión de resultados. Talcahuano, 23 de septiembre 2019. Programa, listado de asistente, diapositivas y comentarios y respuestas a preguntas realizadas* *106*

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Validar la edad de jurel, a partir de la determinación de la periodicidad de los microincrementos primarios y macro-anillos en otolitos de juveniles, con el propósito de mejorar la exactitud de la estimación de edad anual.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1 Validar la periodicidad de los microincrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio.

1.2.2 Validar el primer *annulus* a partir del conteo de microincrementos primarios previamente validados.

1.2.3 Caracterizar el crecimiento diario, determinar fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida.

2 ANTECEDENTES

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' SE), zona Caldera-Coquimbo (24°00'-32 00'S) y zona centro—sur (32°00' - 43°30' S). En esta última área, pero fuera de la 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 (Serra 1991, Elizarov *et al.* 1993, Taylor 2002, Canales 2013). 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.

La estimación de la edad en especies de importancia comercial es fundamental para la aplicación de modelos donde la estructura del stock se analiza en función de la edad y su evolución en escalas temporales, lo que permite a su vez obtener estimaciones de reclutamiento, mortalidad y otras características de la condición del stock (Summerfelt y Hall 1987, Catalano *et al*. 2010, Francis 2016). La estimación de edad es también útil para determinar longevidad y otros parámetros de historia de vida, los cuales son importantes para el manejo pesquero (Canales y Leal 2009, Kousteni y Megalofonou 2015). Por consiguiente, la estimación de edad debe ser llevada a cabo de la forma más precisa posible para garantizar niveles de confiabilidad en los distintos productos de salida asociados al proceso de evaluación de stock. Un aspecto asociado a los estudios de edad es la validación del primer *annulus*, debido a que se puede arrastrar un error de forma constante en toda la estimación de edad, que puede afectar las estimaciones de biomasas en aquellos casos en que se usan modelos de evaluación de stock basados en edad (Campana 2001, Natanson *et al.* 2002). Aunque el impacto de esta dificultad puede ser menor en peces viejos, su influencia incrementa a medida que ocurre un proceso de juvenilización de la población, debido a que la estructura de edad de las capturas se mueve a grupos de edades menores. Para el caso del jurel, Goicochea *et al*. (2013) en la zona costera del Perú, utilizó el análisis de la microestructura en secciones transversales de los otolitos, donde se reportó que la longitud media media a los 365 días de vida fue 17,7 cm LH y el radio caudal medio

del otolito a la formación de primer *annulus* correspondió 2,49 mm. Adicionalmente, Cerna *et al.* (2016) demostraron que en ejemplares adultos de esta especie es posible observar secuencias de microincrementos a partir del primordio y hacia la periferia del otolito, utilizando microscopía de luz. El número de microincrementos visibles sobrepasó incluso los 365 en una secuencia ininterrumpida particularmente en ejemplares menores a 20 cm LH. En ejemplares de mayor tamaño se observaron zonas difusas donde los microincrementos no pudieron ser distinguibles; no obstante, entre las zonas de transición se observaron microincrementos distintivos. Sin embargo, el número analizado en el estudio fue reducido como para proyectar conclusiones con confiabilidad. Estos autores estiman una longitud media a los 365 días de 22 cm LH, similar a lo registrado por Gretchina *et al.* (2017), quienes estiman una longitud media de 21,4 cm LH para el primer año de vida.

Cerna *et al*. (2016) enfatizaron que el otolito sagital de esta especie presenta una gran cantidad de perturbaciones que dificulta la identificación de *annuli* verdaderos, particularmente en los primeros años de vida. Esta característica ha sido considerada una de las principales fuentes de incertidumbre en la estimación de la edad anual de esta especie, debido al impacto que puede generar en el proceso de evaluación de stock de este recurso (Dioses 2013, Goicochea *et al.* 2013, Díaz 2013, Canales 2013). Sin embargo, a nivel microestructural la gran cantidad de perturbaciones macroscópicas tienden a desaparecer por efecto del pulido, quedando reducidas a discontinuidades que no parecen interrumpir la secuencia de microincrementos. Más aún, las zonas de transición presumiblemente vinculadas a una disminución y/o detención de crecimiento son mucho más distintivas y factibles de cuantificar. Es importante destacar que a nivel microestructural un *annulus* verdadero se caracteriza por una disminución gradual del grosor y/o interrupción de la secuencia de microincrementos que le preceden, seguido de una recuperación de la secuencia de microincrementos de mayor grosor (Victor y Brothers 1982, Wright *et al.* 2002a). Por lo tanto, estas zonas de transición observadas parecieran ser *annuli* verdaderos en esta especie, aunque es altamente recomendable incrementar el tamaño de muestra para fortalecer esta inferencia.

En ciertos casos, lograr niveles de precisión en la estimación de edad es un gran desafío, como es el del género *Trachurus*, debido a que los anillos de crecimiento anual en sus otolitos *sagittae* son difíciles de interpretar, particularmente en los primeros años de vida.

En este contexto recientemente se ha ejecutado el FIPA 2014-32 "Protocolo de lectura de jurel" (Cerna *et al*. 2016) cuyo objetivo fue la elaboración de un protocolo de lectura de la edad como guía para la estimación de edad de jurel de los países miembros de la OROP-PS. Junto con el protocolo de lectura, también se avanzó en la validación de la edad, llegando a establecer lo siguiente: 1) un alto

crecimiento durante el primer año de vida, derivado del análisis de microincrementos primarios, y en los dos años siguientes derivados del seguimiento de clases anuales, 2) una baja tasa de crecimiento en peces adultos (tallas > 40 cm LT), estimada a través del método de bomba de radiocarbono. El alto crecimiento en los primeros años de vida del jurel se contrapone con las estimaciones de edad conocidas hasta hoy en Chile, que sugieren nuevos parámetros de crecimiento y mortalidad natural que probablemente modificarían algunos indicadores de la evaluación de stock y en el estatus de este recurso. Estos nuevos hallazgos debieran ser confirmados, ya que el error en la estimación de la edad en muchos casos ha contribuido a la sobreexplotación de poblaciones de peces comerciales (Campana 2001), impacto no menor en recursos como jurel, cuya pesquería es compartida con otras naciones del Pacífico sureste.

En el marco del grupo científico de la OROP – PS, se ha examinado críticamente los datos utilizada en el modelo de evaluación y una de las piezas de información sobre la que ha surgido discrepancia es en la estimación de la edad de jurel, principalmente entre Chile y Perú. Esta diferencia dio origen a la realización de un taller de inter calibración de la edad desarrollado en Lima el 2011, siendo su principal recomendación el continuar trabajando en la comparación de lecturas e identificación de criterios estándar para la estimación de la edad y elaboración de un protocolo de lectura común para uso de los países participantes en la pesquería. Para el desarrollo del trabajo de calibración de la edad, se debe considerar aspectos de validación de la edad como la identificación del primer anillo anual y la formación de los siguientes anillos anuales.

En el grupo de trabajo de estimación de la edad de jurel en la 4° Reunión del Comité Científico de la OROP - PS 2016, se definió como prioridad continuar los trabajos de investigación en los temas de validación de la edad y el protocolo de lectura, principalmente debido a las dudas surgidas entre los distintos laboratorios que trabajan en estos temas. Esta información es determinante para el proceso de evaluación de stock, toda vez que una buena estimación de la curva de crecimiento de este recurso, proporcionará la base para obtener una evaluación de stock de este recurso con mayor certeza. Por ejemplo, un aspecto que impacta la precisión en la estimación de edad en especies de crecimiento acelerado es la dificultad de identificación del primer *annulus*. Aunque el impacto de esta dificultad puede ser menor en peces viejos, su influencia incrementa a medida que ocurre un proceso de juvenilización de la población, debido a que la estructura de edad de las capturas se mueve a grupos de edades menores. No obstante, estos resultados no han podido ser confirmados debido a la inexistencia de un proceso de validación de la periodicidad de formación de los microincrementos en otolitos de peces juveniles. Es importante destacar, que la periodicidad diaria de formación de los

microincrementos en otolitos *sagittae* ha sido sólo validada en peces adultos, mediante un estudio de marcaje químico, llevado a cabo en adultos (>27 cm LH) mantenidos en condiciones de confinamiento (Araya *et al*. 2003).

Es importante subrayar también que una de las recomendaciones emanadas de los talleres de trabajo del Proyecto FIP 2014-32 “Protocolo de lectura de otolitos de jurel" (Cerna *et al*. 2016) ha sido la necesidad de validar la periodicidad de los microincrementos primarios, como una forma de evaluar a su vez la presumiblemente elevada tasa de crecimiento, estimada para el primer año de vida para esta especie. Para ello es crucial contar con ejemplares juveniles de edad conocida en condiciones de confinamiento que permitan validar los criterios de interpretación de microincrementos diarios, para posteriormente aplicarlos en la estimación de edad de juveniles silvestres para la validación del primer *annulus*.

Una vez validada la periodicidad de formación de los microincrementos y del tiempo de formación del primer *annulus*, se hace necesario también avanzar en la estimación de edad y crecimiento de juveniles silvestres menores de un año, utilizando los criterios de interpretación ya validados, debido a que las diferencias microestructurales de los otolitos y la información de historia de vida temprana que contienen, pueden ser un marcador ecológico muy importante para contribuir a revelar aspectos de la estructura poblacional de esta especie.

3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 Objetivo específico 3.2.1: Validar la periodicidad de los microincrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio.

Para responder el presente objetivo, se realizaron dos experimentos de mantención de jureles en cautiverio, desfasados temporalmente, los que se explican más adelante. Esto se debió a que en el primer experimento no se tuvieron otolitos marcados, ver resultados y **Anexo 1**.

Como se indicó en la propuesta técnica, en el primer objetivo se pidió utilizar ejemplares de edad conocida, específicamente ejemplares vivos a partir de edad cero, entendemos con eso que debieran ser ejemplares nacidos en laboratorio o capturados en estado larval, considerando que ambas opciones son difíciles de cumplir, se realizaron los siguientes experimentos que se detallan a continuación.

3.1.1 Captura y mantención de los ejemplares de jurel

a) Experimento 1: Captura, mantención y marcaje

La captura, según lo indicado en la propuesta técnica, de los ejemplares serían obtenidos de la pesca industrial, lamentablemente la flota se mantuvo detenida desde diciembre del 2017 hasta fines de enero del 2018 al seguir el protocolo interno de buenas prácticas pesqueras por la presencia de anchoveta juvenil en algunas zonas de pesca (Jorge Oliva, com. pers.).

Posteriormente, la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura establece veda biológica para la anchoveta en XV, I y II Región hasta el 28 de febrero 2018 (Decreto Exento N° 54 del 29 de enero 2018) por lo que la flota industrial no realizó actividades de pesca, viéndose afectada la captura de jurel. Debido a esta situación, es que se recurrió a otros métodos de pesca, como red de enmalle, línea de mano y atarraya.

Se recorrió desde Arica hasta Taltal buscando zonas donde hubiera presencia de jurel, lo que significó arrendar embarcaciones en caletas rurales y en las caletas urbanas. En Antofagasta se usó la embarcación Cachepalo ANTO-460 y cercano a Iquique se utilizaron las embarcaciones menores Santa Teresa IQU-281, Doña Oriel IQU-2028 y Antares IQU-890.

Con el uso de la red de enmalle (**Figura 1)** se obtuvieron bajas capturas y todos los ejemplares murieron a los pocos días, esto debido a que la red les causó la salida de escamas y la mucosidad que los protege de infecciones, se suma a esto que fueron manipulados con las manos. Situación parecida ocurrió con el uso de la línea de mano **(Figura 2)** ya que también los ejemplares fueron tomados con las manos y en las primeras salidas de pesca a los anzuelos no se les eliminó la rebarba lo que provocó dificultad para destrabarlo. Con la eliminación de la rebarba los individuos no fueron manipulados con las manos por lo que la sobrevivencia aumentó. Los ejemplares capturados iban siendo depositados en una jaula que se confeccionó para tal propósito y que fue adherida al bote **(Figura 2)**. Posteriormente los ejemplares fueron transportados en un estanque con aireación hasta el centro de cautiverio. El uso de los sistemas de pesca anteriores permitió capturar ejemplares de 22 cm LH promedio.

Figura 1. Embarcaciones utilizadas para las primeras capturas de jurel mediante red de enmalle (30 enero 2018).

En la captura de peces con la atarraya se usó un "enguare" o cebo flotando en una bolsa para atraer a los jureles, permitiendo capturar ejemplares entre de 6,5 y 11,2 cm LH promedio (**Figura 3**). En la **Tabla 1** se muestran las salidas de pesca positivas y la mortalidad que se tuvieron al 9 de abril, no se muestran las salidas realizadas con cero ejemplares capturados. El primer experimento comenzó con dos grupos de peces, el primero alrededor de 138 ejemplares (6,5-11,2 cm LH) y un segundo grupo de 88 individuos aproximadamente (17,5-26 cm LH).

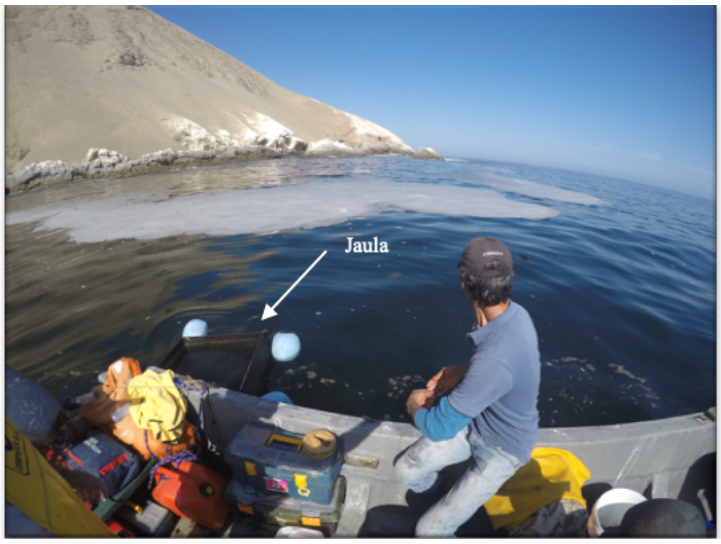


Figura 2. Captura de jureles con línea de mano, se observa la jaula donde iban siendo dejados antes del traslado a los estanques (4 abril 2018).

Antes del marcaje, los peces se mantuvieron en un período de aclimatación, vigilando sistemáticamente el comportamiento y respuesta de estos a los cambios a los que fueron sometidos. Se consideró como período de aclimatación el tiempo que se requiere para lograr la adaptación de los peces a las condiciones de cautiverio, cuya duración del proceso estuvo dada por la estabilización de la sobrevivencia de los individuos, en este caso el período fue de 25 días.

Una vez aclimatados se sumergieron en una solución de oxitetraciclina (OTC)(ZANIL® 80%; Centrovet) a 500 mg/l (Wright *et al*. 2002b) por 6 h. Se optó por sumergirlo en la solución y no inyectarlos, debido al tamaño de los ejemplares, ya que al inyectarle la OTC existía una alta probabilidad de muerte (Wright *et al*. 2002b). Luego de 57 días se volvieron a sumergir en la solución de OTC con la misma dosis para producir una segunda marca. El sacrificio de los ejemplares se realizó a los 50 días posteriores a la segunda inyección.

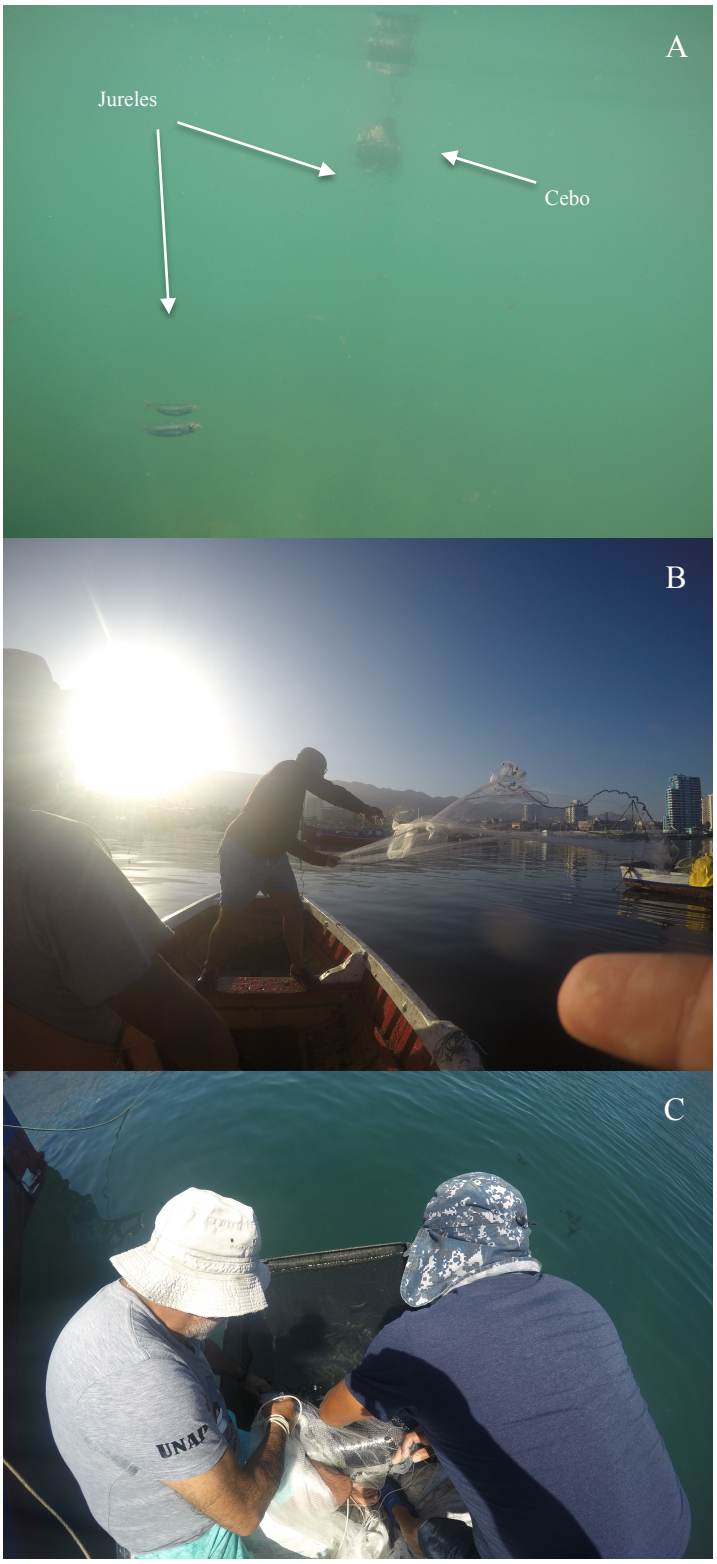


Figura 3. Captura de jureles con atarraya. (A) "enguare" o cebo para atraer a los jureles flotando en una bolsa; (B) lanzamiento de atarraya; (C) depósito de los jureles en la jaula de mantenimiento antes de ser trasladado a los estanques (11 de febrero 2018).

Tabla 1. Capturas realizadas de jurel para el primer experimento. Los números con asteriscos son aproximados.

FECHA	LUGAR	DISTANCIA DE LA COSTA (mn)	SISTEMA DE PESCA	CAPTURA	MORTALIDAD AL 9 MARZO (%)
25-01-18	Punta Quiebra	1	Red enmalle	5	100
31-01-18	Punta Quiebra	1	Red enmalle	24	100
06-02-18	Chanavayita	2,5	Línea mano	120*	91
07-02-18	Chanavayita	2,5	Línea mano	42*	62
11-02-18	Antofagasta	0,5	Atarraya	100*	72
13-02-18	Antofagasta	0,5	Atarraya	80*	72
27-02-18	Antofagasta	0,5	Atarraya	60*	63
26-03-18	Antofagasta	0,5	Atarraya	80*	
05-04-18	Punta Negra	1	Línea mano	62*	

La etapa de mantención de peces para fines experimentales se llevó a cabo en las instalaciones de Acuicultura de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Arturo Prat en Iquique (20°16'14" S; 70°07'52" W).

En este centro de investigación existen las instalaciones necesarias para el montaje del sistema de abastecimiento de agua de mar, es decir pozo de succión, dotación de energía eléctrica y demás facilidades operacionales para el emplazamiento de estanques y sistema de conducción, tratamiento y distribución de agua.

Se acondicionó un estanque del tipo australiano, que es latón galvanizado corrugado revestido interiormente por liner, el cual es de geometría circular con una altura útil de columna de agua de 1,5 m y un diámetro de 5 m (**Figura 4**). El estanque estuvo dotado de un dispositivo de drenaje y control de nivel y los efluentes se canalizarán hacia una cámara desde la cual el agua residual se evacuó hacia la planta de post-tratamiento por medio de canales de cemento y tubería PE de 250 mm. El estanque estuvo protegido de la luz solar directa por medio de la instalación de sombreaderos individuales y además por un techo de la instalación.

El abastecimiento de agua se realizó desde un pozo de succión existente mediante el uso de bombas Ebara de 7,5 Hp de potencia cada una o similares a ésta. El manejo de los niveles de oxígeno se efectuó utilizando un sistema de aireación que comprende sopladores Sweetwater S-63, sistema de distribución con tubería de PVC y sistema de difusión e inyección cerámico microporo.

Adicionalmente se contempló el uso de la red de inyección de oxigenación puro como sistema de respaldo.

La tasa de recambio de agua fue de un 100% de renovación por cada hora. Los peces fueron recepcionados en las instalaciones de acuicultura (**Figura 5**) y se aplicó un protocolo de acondicionamiento gradual que minimizó los efectos estresantes derivados del transporte.

Los peces se condujeron a una condición de habituación al alimento artificial usando pelletizado seco o alternativamente alimento fresco combinado con peletizado molido el cual se entregó a saciedad.

Simultáneamente durante la mantención se registraron parámetros de calidad del agua tales como temperatura y niveles de oxígeno.

Por otra parte, se monitorearon permanentemente los aspectos conductuales y sanitarios con el objeto de prevenir o reducir eventos de mortalidad originados por enfermedades, mala calidad del agua u otros.

Figura 4. Sistema de mantención de los jureles en el Campus Huayquique de la Universidad Arturo Prat.

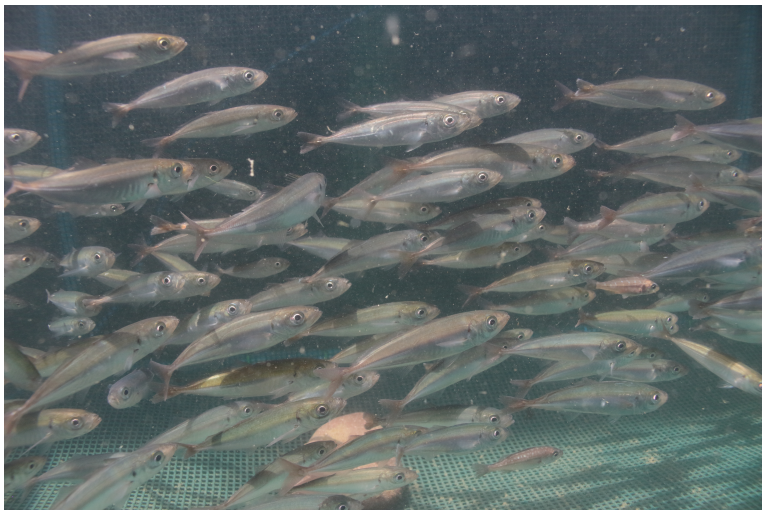


Figura 5. Jureles entre 6,5 y 11 cm LH mantenidos en cautiverio.

b) Experimento 2: Captura, mantención y marcaje

Debido a los resultados del primer experimento, explicado en resultados y en **Anexo 1,** se volvieron a capturar ejemplares de jurel en las zonas que se indican en la **Tabla 2**. La mantención en cautiverio se realizó en el mismo estanque y en las mismas condiciones explicado más arriba.

Los ejemplares pequeños se separaron en dos grupos (**Figura 6**), uno estuvo en una solución de alizarina roja S sal monosódica (Merk) a 25 mg/l (solución A) y el segundo grupo a 50 mg/l (solución B), ambos grupos por 6 horas (**Figura 7**)(Wright *et al.* 2002b). Se controló el pH, cuando superaba los 8,5 se agregó ácido hidroclorhídrico al 10%. El primer marcaje se realizó el 26 de febrero 2019 con un total de 63 ejemplares en la solución A y 70 en la solución B. El segundo marcaje se realizó el 12 abril 2019, se mantuvieron los dos grupos separados, pero esta vez ambos grupos se sumergieron en solución de alizarina al 50 mg/l. Este último cambio se realizó, ya que se revisaron otolitos de individuos de la solución A que murieron entre marcaje y no se observó la marca dejada por la alizarina, lo contrario a los ejemplares que estuvieron en la solución B donde se apreció la marca dejada por la alizarina (**Figura 8**). Se marcaron 44 y 39 ejemplares de la solución A y B respectivamente. Posteriormente se anestesiaron y se sacrificaron el 22 de abril 2019.

Tabla 2. Capturas realizadas de jurel para el segundo experimento. Los números con asteriscos son aproximados.

FECHA	LUGAR	DISTANCIA DE LA COSTA (mn)	SISTEMA DE PESCA	CAPTURA	Rango tamaño (cm LH)
02-02-19	Cavancha	0,5	Línea mano	40	17-24
05-02-19	Playa Blanca	1	Línea mano	36	18-23,5
06-02-19	Playa Blanca	1	Línea mano	12	17,5
07-02-19	Bajo Molle	1	Línea mano	15	24
12-02-19	Antofagasta	0,5	Atarraya	80*	6,5-10
20-02-19	Antofagasta	0,5	Atarraya	110*	6,5-10

Figura 6. Mantención de los jureles en jaulas separadas dentro del estanque.

Figura 7. Marcaje de jureles en la solución de alizarina.

3.1.2 Análisis de la microestructura

La metodología para observar las marcas consistió en obtener una vista sagital, aplicando el procedimiento que se explica en los puntos 3.2.2.b) y 3.3.5., en este caso particular se utilizó como medio de montaje Crystalbond™ 509 (McCurdy *et al.* 2002, von Hippel *et al.* 2013).

Para ubicar la marca fluorescente, supuestamente dejada por la OTC, en los otolitos del primer experimento, éstos se observaron en los microscopios de fluorescencia de la Universidad de Antofagasta, Universidad de Playa Ancha y Universidad de Concepción. Dichos microscopios, cubrieron una amplia gama de filtros y que específicamente para la OTC corresponde a 390 y 560 nm promedios, longitud de onda de excitación y de fluorescencia respectivamente (Wright *et al*. 2002b, Araya *et al*. 2003).

Los otolitos obtenidos del segundo experimento no fue necesario observarlos en un microscopio de fluorescencia ya que las marcas de color fucsia fue posible observarlas en microscopio de campo claro (Liu *et al.* 2009).

El conteo y medición de los microincrementos, entre marcas, se realizó directamente desde un microscopio de campo claro Zeiss Axio Scope.A1 a un aumento de 40X. Los microincrementos fueron contados dos veces por dos personas (J.P y M.A.) y se utilizó el promedio para efectos de cálculos.

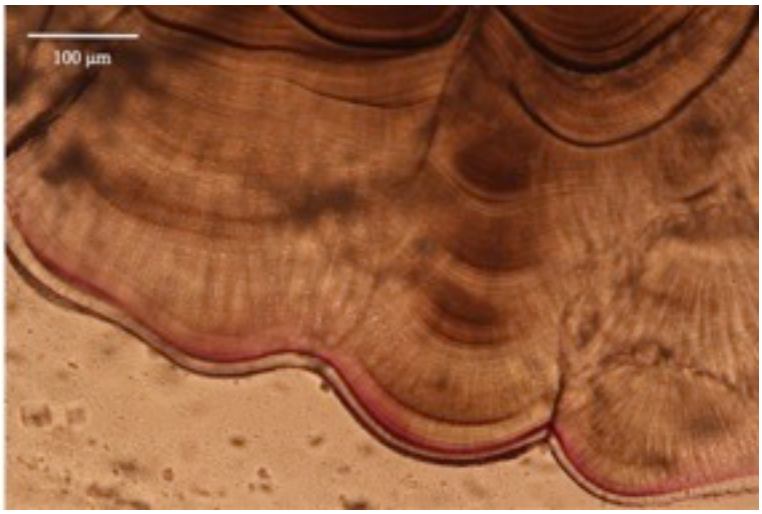


Figura 8. Otolito de jurel de 10,4 cm LH muerto 8 días después del marcaje (50 mg/l). Se observa en el borde la marca de alizarina. Foto a 20X.

Los otolitos están compuestos de $CaCO_3$ inmersos en una matriz orgánica (Degens *et al.* 1969) y estos crecen diariamente por acreción formando una estructura bipartita, la cual puede ser sub-diaria, una zona ópticamente densa alta en material orgánico (zona-D) y otra zona rica en minerales apareciendo translúcida al microscopio de luz (zona-L) (**Figura 9**)(Pannella 1971, Wright *et al*. 2002c).

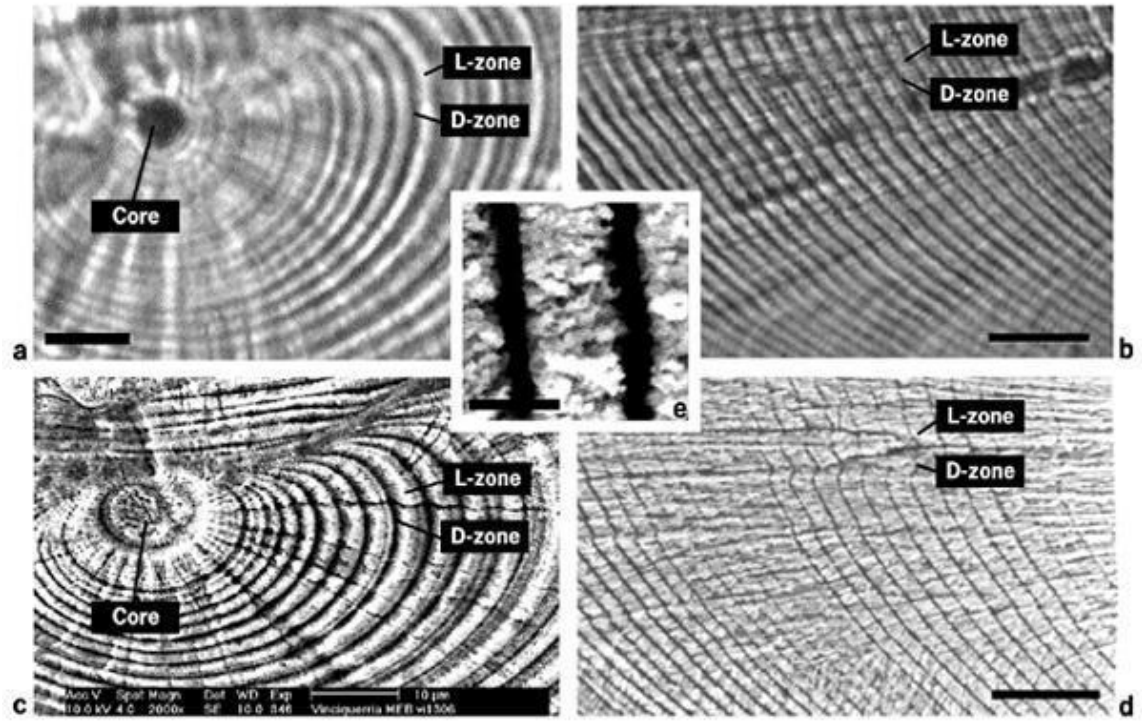


Figura 9. Sección delgada transversal de un otolito de *Vinciguerria nimbaria*. Se aprecian los incrementos primarios compuestos por las zona-L y zona-D. a) Detalle del área del centro del otolito bajo microscopio de luz de transmisión. Escala 10 µm; b) Detalle del área de crecimiento de un adulto bajo microscopio de luz de transmisión. Escala 10 µm c) Detalle del área del centro del otolito bajo SEM. Escala 10 µm. d) Detalle de los incrementos primarios después del grabado en ácido bajo SEM. La zona-L es rica en cristales de aragonita mientras que la zona-D corresponde a surcos profundos. Un incremento primario es igual a una zona-L más una zona-D. La figura muestra una zona-L completa y dos zonas-D completas. Escala 1 µm. Fotografía de Wright *et al*. (2002c).

3.2 Objetivo específico 3.2.2: Validar el primer *annulus* a partir del conteo de microincrementos primarios previamente validados.

3.2.1 Análisis espacio temporal y tamaño de muestra

Es bien conocido que la estructura de talla de jurel en la costa de Chile se caracteriza por presentar dos rasgos característicos: un predominio de ejemplares principalmente < 25 cm en la zona norte y ejemplares > 25 cm talla, a medida que progresa su distribución hacia el sur de Chile y hacia aguas oceánicas, en el llamado cinturón del jurel (Arancibia y Cubillos 1993, Arcos *et al*. 2001, Gerlotto *et al*. 2012). No obstante, en años recientes se ha reportado una disminución en la talla media de los ejemplares en la zona norte de Chile. Por consiguiente, para el cumplimiento del presente objetivo, más que iniciar un nuevo proceso de recolección se utilizaron otolitos *sagittae* almacenados en procesos de recolección históricos, llevados a cabo por el Instituto de Investigación Pesquera y el Instituto de Fomento Pesquero **(Tabla 3)**.

Tabla 3. Síntesis del número de otolitos *sagittae* de ejemplares de entre 18 y 23 cm LH del jurel, disponibles para análisis micro y macroestructural en el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), el Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA), en los últimos 7 años. N total= 891. Las muestras más recientes provienen de la embarcación pesquera MAGIRIS.

Fuente de Otolitos		Meses											
Año	Institución	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2008	IFOP												
	INPESCA			18	368				1				
2009	IFOP												
	INPESCA			153									
2010	IFOP												
	INPESCA												
2011	IFOP												
	INPESCA												
2012	IFOP												
	INPESCA												
2013	IFOP												
	INPESCA												
2014	IFOP												25
	INPESCA								79				
2015	IFOP				19	3							93
	INPESCA												
2016	IFOP												24
	INPESCA						1						
2017	IFOP												
	INPESCA			5	54								
	MAGIRIS										38		

3.2.2 Aspectos metodológicos asociados a la validación del primer *annulus*

Para la correcta validación del tiempo de formación del primer macroanillo se efectuó un exhaustivo análisis comparativo entre la microestructura y macro-estructura, siguiendo los procedimientos que se resumen a continuación:

a) Macroestructura

Los otolitos *sagittae* izquierdo y derecho fueron analizados macroscópicamente antes de ser pulidos, con el fin de contar con una base de datos de características macroscópicas que puedan ser comparadas con su microestructura en análisis posteriores. Es importante destacar que el proceso de preparación microestructural es muy complejo y en muchas ocasiones varias muestras son destruidas durante el proceso de pulido. De esta forma, cualquier sección microestructural de alta resolución que resulte, siempre tendrá su contraparte macroscópica, con la cual puede ser contrastada.

- El otolito fue digitalizado utilizando un analizador de imágenes, compuesto de una lupa digital Leica EZ4 y un software de captura LAS 3.2. Los otolitos fueron fotografiados con luz inducida sobre un fondo oscuro, en una cápsula Petri conteniendo agua como liquido aclarador. Las condiciones de luz, cantidad de agua, tipo de recipiente fueron mantenidas sin alteración, para garantizar la consistencia de los registros posteriores.
- Las imágenes fueron posteriormente analizadas, mediante el módulo "Caliper" del programa Image-Pro Plus, para la medición de los radios y grosores macroscópicos.
- Se registró el radio a la formación de cada *annulus* potencial siguiendo un eje en línea recta desde un punto central hasta el borde caudal del otolito. Se debe destacar que en otolitos enteros fue posible visualizar el primordio, por lo que no es factible posicionar de forma consistente el inicio de la formación. No obstante, fue posible observar una región nuclear macro-estructural central, a partir de la cual se inició el registro de radios (**Figura 10**).
- Para evaluar si los radios a la formación de las primeras bandas, que fue donde se observaron los cambios mayores, estuvieron influenciados por la zona y mes de captura se aplicó un modelo lineal general aditivo, de la forma "$Yi= a+b1*Zona+ b2* Mes+ LH+e1$", y donde LH correspondió a la longitud de horquilla actuando como un covariado continuo. Sólo se analizaron los radios del centro opaco y radio a la primera zona translúcida, así como también

el grosor de la primera banda opaca y el grosor de la primera banda translúcida, para evitar reducir demasiado el tamaño de muestra

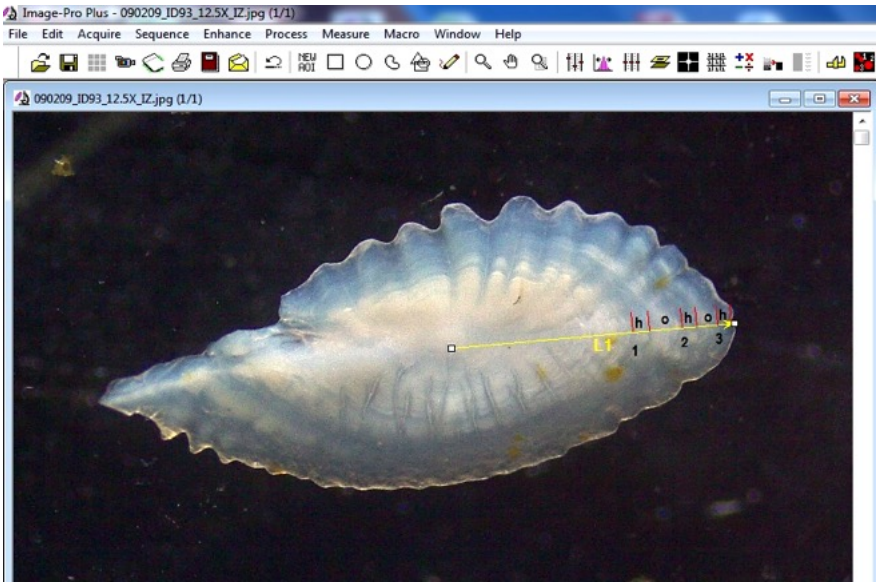


Figura 10. Fotografía ilustrativa del proceso de registro de las dimensiones del radio y grosor de las bandas opacas y translúcidas, de un otolito *sagitta* de un ejemplar de 23 cm LH del jurel, durante el desarrollo del presente proyecto. Las mediciones fueron llevadas con el módulo "Caliper" del analizador de imágenes Image Pro-Plus. Los números representan el número de potenciales *annuli* (r1, r2 & r3; opacos) y las letras los grosores de las bandas translúcidas (h) y opacas (o).

b) Microestructura

Una vez culminado el proceso de análisis macro-estructural el otolito izquierdo fue procesado siguiendo el método SGEM (Plaza *et al*. 2005), para lo cual el otolito fue embebido en resina epóxica y posteriormente pulido en posición sagital utilizando lijas de diferentes niveles de graduación de entre 800 a 2500 de tamaño de grano. La preparación de los otolitos de peces juveniles de hasta 15 cm LH, siguió los mismos procedimientos de montaje y pulido descritos para juveniles de jurel, donde un doble pulido en posición sagital es suficiente para revelar los microincrementos diarios con confiabilidad en esta especie y revelar con nitidez el primordio (**Figura 11**).

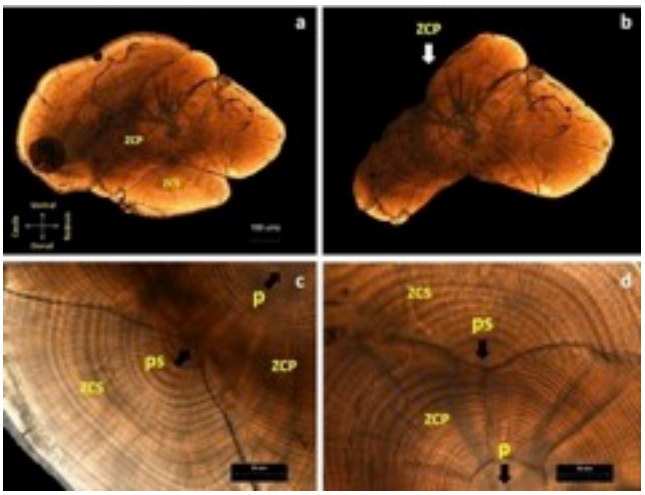


Figura 11. Microestructura de un otolito *sagitta* de jurel de 3,6 cm LH y 62 días de vida, preparado en doble pulido e ilustrando la presencia del primordio, los microincrementos primarios y los centros secundarios de crecimiento (reproducido de Cerna *et al.* 2016). CSC o ZCS=centro o zona de crecimiento secundaria; PS=primordio secundario; p=primordio; ZCP=zona de crecimiento primaria.

En el caso de los peces de entre 15 y 23 cm de LH se escaló de forma eficiente la metodología descrita en Cerna *et al.* (2016), a través del cual fue posible obtener secciones con una secuencia continua de microincrementos desde el primordio hasta el borde de los otolitos, incluso en aquellas áreas que macro-estructuralmente aparecen como bandas translúcidas irregulares y que microscópicamente aparecen como zonas con una reducción del grosor de los microincrementos, pero sin evidencias aparentes de fusión de ellos **(Figura 12)**.

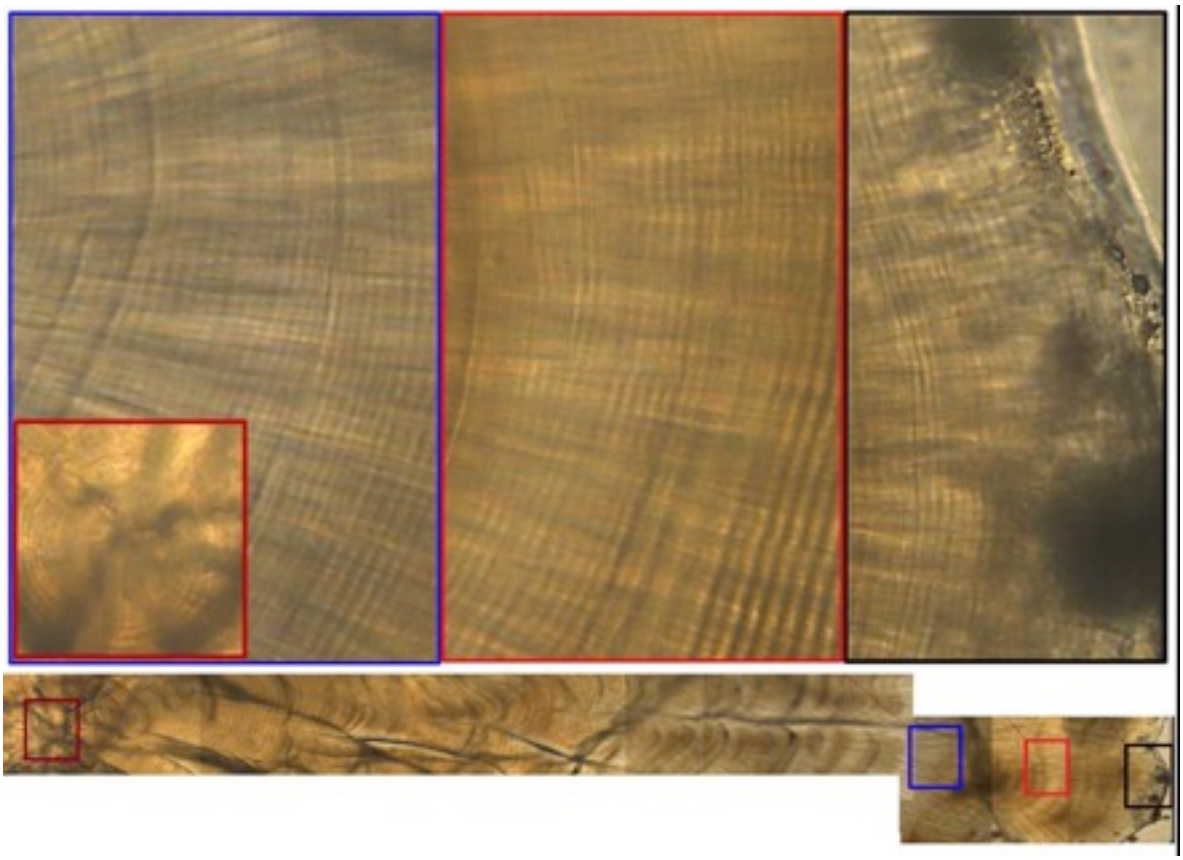


Figura 12. Microestructura de un otolito *sagitta* de jurel de 19 cm LH, preparado en doble pulido e ilustrando la secuencia de microincrementos desde el primordio hasta el borde del otolito, enfatizando los rasgos microestructurales a través de las imágenes expandidas a 40X de los respectivos recuadros en colores.

c) Procedimiento de lectura de microincrementos

Después de la obtención de una sección fina en posición sagital y de elevada resolución, los microincrementos se contaron y midieron desde el centro hacia la periferia del otolito, utilizando imágenes de las secciones que fueron digitalizadas mediante analizadores de imágenes compuestos 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) en el Laboratorio de Esclero-cronología de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. La lectura de imágenes digitalizadas fue preferida a la lectura tradicional a ojo desnudo bajo microscopio, debido a la gran cantidad de microincrementos presentes en las secciones. En todos los casos varias imágenes fueron necesarias para lograr una secuencia completa de microincrementos desde el primordio hasta el borde del otolito, por lo que previo a la lectura las

imágenes de las distintas áreas del otolito, obtenidas magnificaciones similares, fueron debidamente ensambladas. Cuando no fue posible combinarlas y/o cuando se requirió amplificar la zona se incorporaron marcadores que permitieron seguir la secuencia de microincrementos **(Figura 13)**. Para asegurar una correcta identificación de los microincrementos alrededor del primordio y hacia el borde de los otolitos se utilizaron imágenes digitalizadas a 40X de magnificación. Las lecturas se realizaron en duplicado en cada estructura analizada utilizando la herramienta "Manual Tag" disponible en el analizador de imágenes IMAGE-pro-plus, que además permitió expandir (zoom) la imagen para el recuento de microincrementos de menor grosor **(Figura 13)**. Se contempló además una tercera lectura en aquellos casos en que existió una alta diferencia entre la primera y segunda lectura, si la tercera lectura no fue coincidente con alguna de las anteriores se procedió a descartar el otolito. Para la lectura de los microincrementos se siguieron los criterios validados desarrollados durante los procedimientos de marcaje de juveniles, detallados en la sección del primer objetivo específico de este estudio.

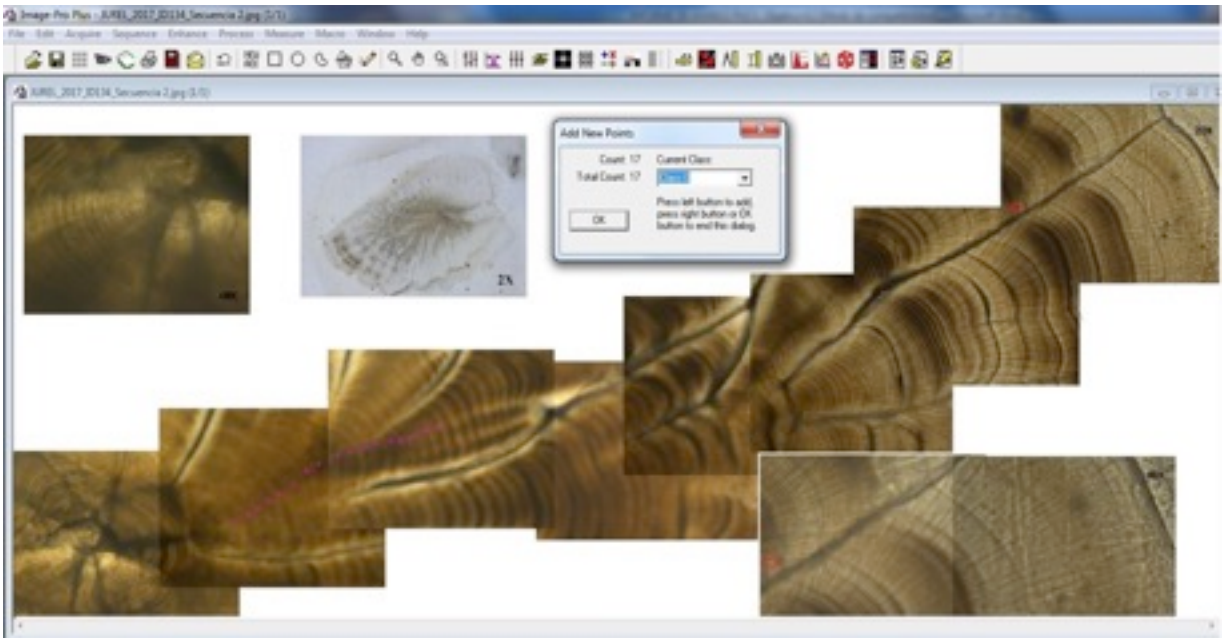


Figura 13. Microestructura de un otolito *sagitta* de jurel de 18 cm LH, ilustrando el proceso de recuento de los microincrementos, mediante la herramienta "Manual Tag" del Software Image Pro-plus. Las cruces y las fechas rojas denotan un ejemplo del recuento y el uso de un marcador para efectuar un cambio de aumento para obtener mayor visibilidad del microincrementos.

d) Medición de grosores

La medición de grosores de los microincrementos se realizó utilizando el Análisis de Imágenes "Otolith Reading System (RATOC Ltd. JP), que permite medirlos en al momento de observarlos. Para ello se trazó una transecta desde el primordio hasta el borde caudal utilizando el objetivo de menor magnificación (4X), a través de la cual se midieron los microincrementos. La medición de los microincrementos se realizó siguiendo los criterios de interpretación validados en el desarrollo del primer objetivo. Las mediciones se realizaron a aumentos de entre 40X a 100X, registrándose la mayor cantidad posible de anillos visibles. Cuando los microincrementos fueron difíciles de identificar en la transecta principal, se generaron sub-transectas, donde los registros de microincrementos fueron traspasados automáticamente a la transecta principal **(Figura 14)**.

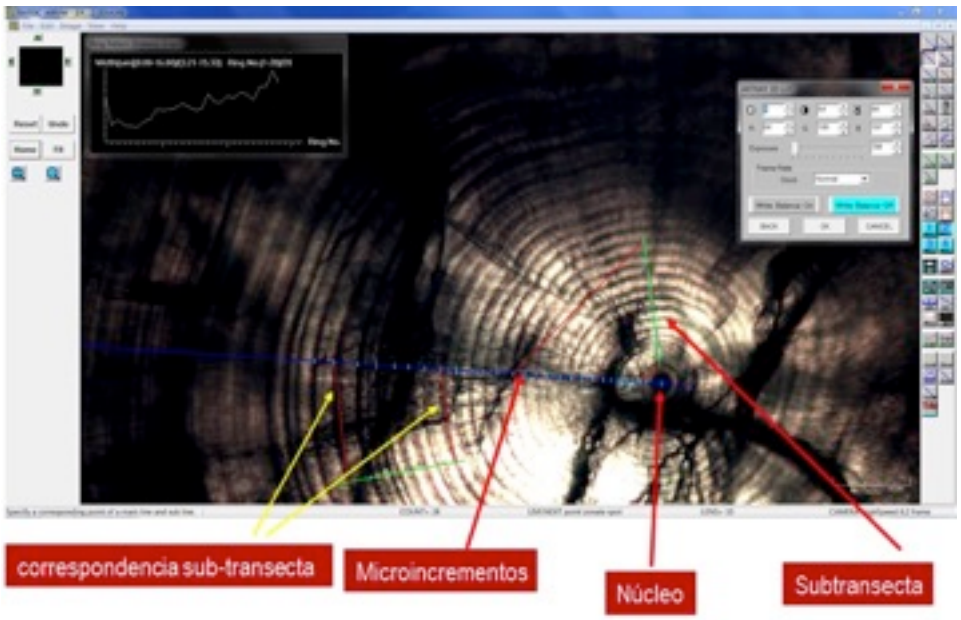


Figura 14. Ilustración del proceso de medición de microincrementos diarios de ejemplares juveniles, utilizando el análisis de imágenes "Otolith Reading System (RATOC Ltd).

3.3 Objetivo específico 3.2.3: Caracterizar el crecimiento diario, determinar fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida.

3.3.1 Estimación de tamaño de muestra

De acuerdo con la experiencia de este grupo de trabajo en estudios de edad y crecimiento en diferentes especies de peces, y considerando los costos de analizar las muestras, para la estimación de los parámetros de crecimiento se analizó un total de 126 ejemplares del rango de tallas desde los 5 a 22 cm LH. Este valor fue calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{n \geq \frac{1{,}96}{\left(\frac{d}{CV}\right)^2}} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde: 1,96 corresponde al valor t de Student para un alfa =0,05; *d* es el error muestral (fijado en 5%); CV es el coeficiente de variación estimado (0,395).

Según esta ecuación el tamaño de muestra mínimo debe ser igual o mayor a 123 individuos totales y distribuidos en 18 marcas de clase cada 1 cm, ya que cada pez es considerado una unidad discreta, por lo tanto, se redondeó y analizó 126 individuos totales.

3.3.2 Recolección de individuos menores a un año

Para el cumplimiento del presente objetivo, entre los meses de septiembre 2017 y mayo de 2018, se muestreó un total de 153 especímenes de jurel cuyas tallas variaron entre 7,1 y 23 cm de LH. El muestreo se realizó principalmente en la zona de Iquique y Antofagasta, La Zona Caldera-Coquimbo presentó un escaso desembarque durante todo el periodo de muestreo

Las dos localidades propuestas en la oferta técnica, concuerdan con lo publicado por por Arcos *et al.* (2001), quienes describen una gran zona de crianza de jurel (< 25cm) entre el sur del Perú y la zona centro norte de Chile (**Figura 15**); sin embargo no fue posible obtener individuos de tallas inferiores a los 22 cm LH en las III y IV regiones.

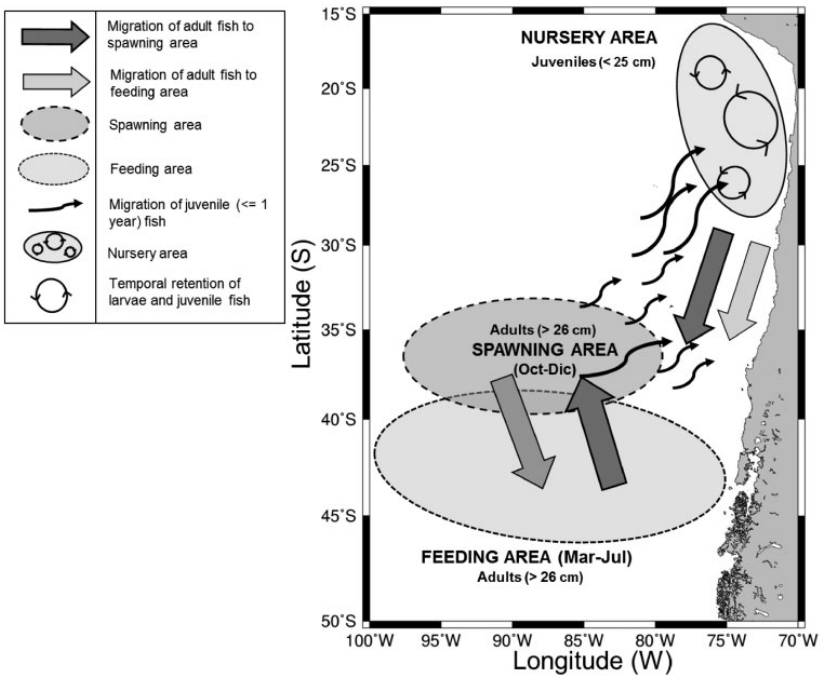


Figura 15. Modelo conceptual de la historia de vida de jurel (Modificado por Arcos *et al*. (2001)).

Para efectos del análisis fueron analizados 126 ejemplares, que correspondieron a las preparaciones de mejor calidad para la observación de la microestructura; el rango de tallas fue igualmente de 7,1 a 22,5 cm LH (**Figura 16**). Tales individuos correspondieron a muestreos realizados entre los meses de septiembre 2017 y mayo de 2018, en la zona norte de Chile. También se analizaron muestras que correspondían a la zona centro sur de Chile, individuos entre 8,5 y 19 cm, a fin de realizar comparaciones entre las tasas de crecimiento. Dichas muestras se encontraban disponibles en la colección de otolitos del laboratorio de edad y crecimiento del Instituto de Investigación Pesquera capturados el año 2008, 2009 y 2014 (n=55). Esto último para cumplir con lo solicitado en los Términos de Referencia, donde se solicitó "analizar la microestructura de otolitos de peces juveniles silvestres menores a un año recolectados al menos en dos zonas de crianza diferentes". Si bien en la oferta técnica se describió como zonas de crianza 1) Arica-Iquique y 2) Caldera-Coquimbo; no fue posible muestrear individuos de tallas inferiores a los 23 cm LH en la segunda zona mencionada, es más se debió incluir individuos de la zona de Antofagasta para poder completar el n comprometido en este proyecto. En la **Tabla 4** se presenta un resumen mensual y por región del desembarque de jurel cuya talla fue menor a 23 cm LH entre la XV y IV regiones en el periodo septiembre 2017 a diciembre 2018.

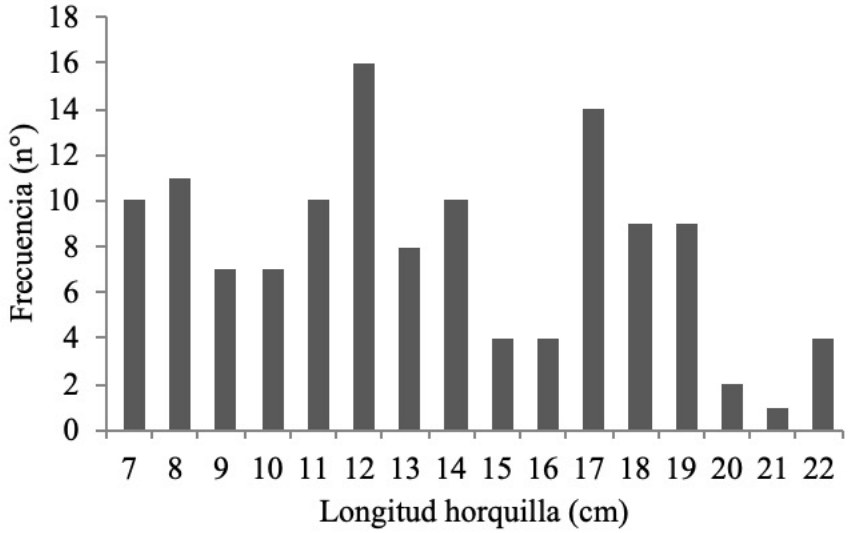


Figura 16. Histograma de frecuencias que presenta el número de individuos muestreados en la zona norte entre 7 y 22 cm LH.

3.3.3 Análisis del peso del otolito en función de la longitud de los individuos menores a un año

Para análisis del peso de los otolitos de individuos juveniles en función de la longitud del pez, se seleccionó aquellos otolitos que se encontraban íntegros; esto debido a que durante la extracción de los otolitos es común que estos puedan perder parte del rostrum. El peso fue medido con balanza analítica de 0,0001 g de precisión. La relación entre la longitud del pez (cm) y el peso del otolito (mg) fue ajustado a través de una regresión lineal.

Tabla 4 Desembarque oficial de jurel con tallas menores a 23 cm de LH en las XV, I, II, III y IV regiones, para el periodo de muestreo del presente proyecto. Fuente: Boletines Instituto de Fomento Pesquero.

		REGIÓN					
AÑO	MES	XV	I	II	III	IV	Total
	Septiembre	-	-	6	529	567	1102
2017	Octubre	54	1	7	23	68	153
	Noviembre	51	35	36	3	203	328
	Diciembre	-	-	18	-	88	106
	Enero	-	66	-	-	1,18	1246
	Febrero	-	-	-	-	-	0
	Marzo	-	1009	696	-	-	1705
	Abril	-	879	1255	-	-	2135
2018	Mayo	-	570	4999	-	-	5569
	Junio	-	2369	72	-	-	2441
	Julio	-	-	-	-	-	0
	Agosto	-	-	-	-	-	0
	Septiembre	-	-	-	-	-	0
	Octubre	-	-	-	-	-	0
	Noviembre	-	-	-	-	-	0
	Diciembre	-	26	-	-	-	26

3.3.4 Preparación de las secciones delgadas

Para la preparación de otolitos con el propósito de observar los microincrementos, estos fueron adheridos directamente al portaobjeto mediante medio de montaje completamente transparente (Crystalbond™ 509) (**Figura 17**). Para gastar el otolito se utilizó varios tipos de abrasivos comerciales de diferente grano (1500, 2000 y 2500). El abrasivo más grueso (1500) se utilizó en primer lugar, y luego los otros en secuencia, llegando a una lámina de 0,3 mm de espesor. Posteriormente se aplicó una pasta de pulir gamma alúmina de 0,05µm de espesor para eliminar las marcas dejadas por las lijas siendo finalmente la muestra limpiada con paños de papel libres de pelusa, quedando así en condiciones de ser observada al microscopio (**Figura 18**).

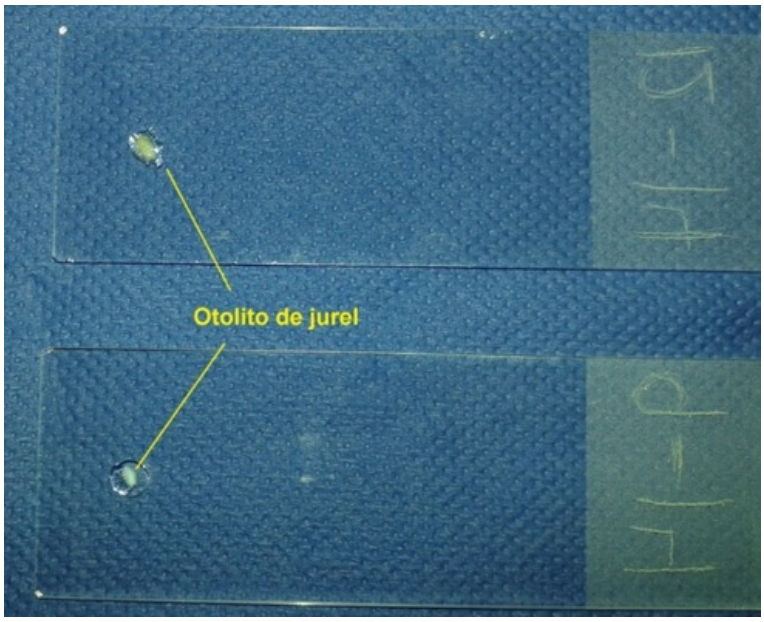


Figura 17. Otolito de jurel fijado en portaobjeto mediante medio de montaje Crystal Bond.

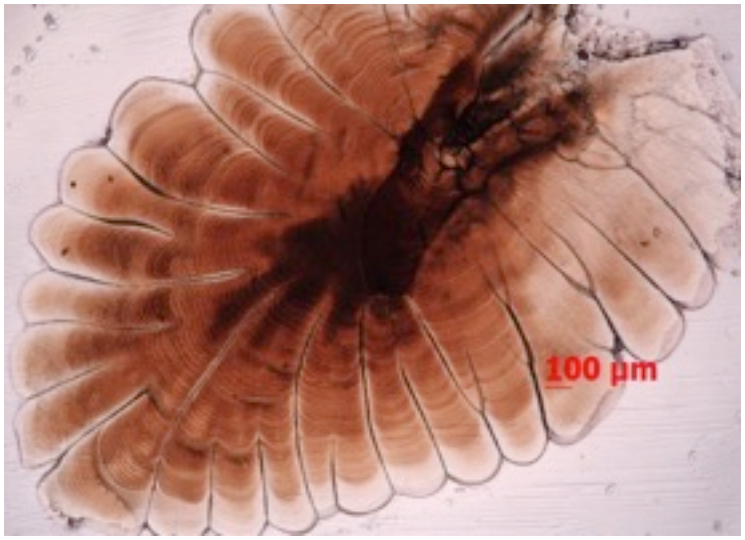


Figura 18. Pulido sagital de un otolito de jurel con 14 cm LH observada con aumento 5X.

3.3.5 Lectura de microincrementos

De acuerdo a los resultados obtenidos en el primer objetivo específico del presente proyecto, se procedió a utilizar el criterio de grupos de bandas (GBR) para realizar la lectura de los

microincrementos; estas bandas aparecieron bajo el microscopio óptico como anillos formados por paquetes de microanillos subdiarios alternadamente claros y oscuros, lo que en su conjunto formaban un microincremento (Cermeño *et al*. 2008, Cerna *et al*. 2016). Para la observación de los microincrementos de crecimiento se utilizó microscopio Zeiss Axio Lab.1. Las observaciones fueron realizadas a aumento de 20X a 40X. El recuento de microincrementos se realizó de manera directa al microscopio, contando desde el radio previamente establecido y a lo largo de todo el eje de crecimiento del otolito con ayuda de un retículo o reglilla ocular de 100 divisiones. Las características estructurales del otolito (discontinuidades e microincrementos más anchos) fueron usadas como marcadores, facilitando localizar hasta donde se realizó el recuento.

3.3.6 Análisis de la precisión de las lecturas de microincrementos

Previo a este ejercicio se realizó un taller interno entre las integrantes del laboratorio de edad y crecimiento del Instituto de Investigación Pesquera, en dicho taller se acordó la metodología de lectura de los microincrementos a partir del criterio GBR. La precisión de las lecturas se calculó mediante una modificación al índice de error promedio (APE) para estimaciones repetidas, propuesto por Beamish y Fournier (1981); entendiéndose como precisión en las lecturas la repetibilidad de una medida individual (Campana y Jones 1992). El índice se define por:

$$APE = 100\frac{1}{R}\sum_{i=1}^{R}\frac{|X_{ij}-X_j|}{X_j} \qquad \text{Ecuación 2}$$

donde Xij es la i-ésima lectura del j-ésimopez; Xj es el promedio del j-ésimo pez y R es el número de lecturas.

3.3.7 Asignación de fechas de nacimiento

Las fechas de nacimiento fueron determinadas restando el número de microincrementos totales identificados en el otolito a la fecha de captura del pez para todos aquellos ejemplares menores a la talla de primera madurez.

3.3.8 Estimación de la tasa de crecimiento del otolito

Para la estimación de la tasa de crecimiento del otolito, se utilizaron 113 muestras de las ya analizadas para la estimación de la edad. En este análisis se eligieron otolitos de individuos de distintas tallas, cubriendo todo el rango muestreado, además se estableció que en cada muestra fuera posible la

observación de todos los microincrementos, desde el centro hasta el postrostrum (Araya *et al*. 2001). En este análisis no fueron consideradas 13 muestras, ya que en ellas no fue posible realizar las mediciones desde el centro del otolito hasta postrostro. Las secciones delgadas fueron fotografiadas mediante una cámara Canon modelo EOS Revel T6, adaptada a un microscopio óptico marca Zeiss modelo Axio Lab.A1.

Las imágenes fueron analizadas con la ayuda del programa AxioVision Rel. 4.6. (**Figura 19**) Para determinar la tasa de crecimiento del otolito se midió el grosor de cada microincremento (μm) desde el centro hasta el borde postrostral del otolito.

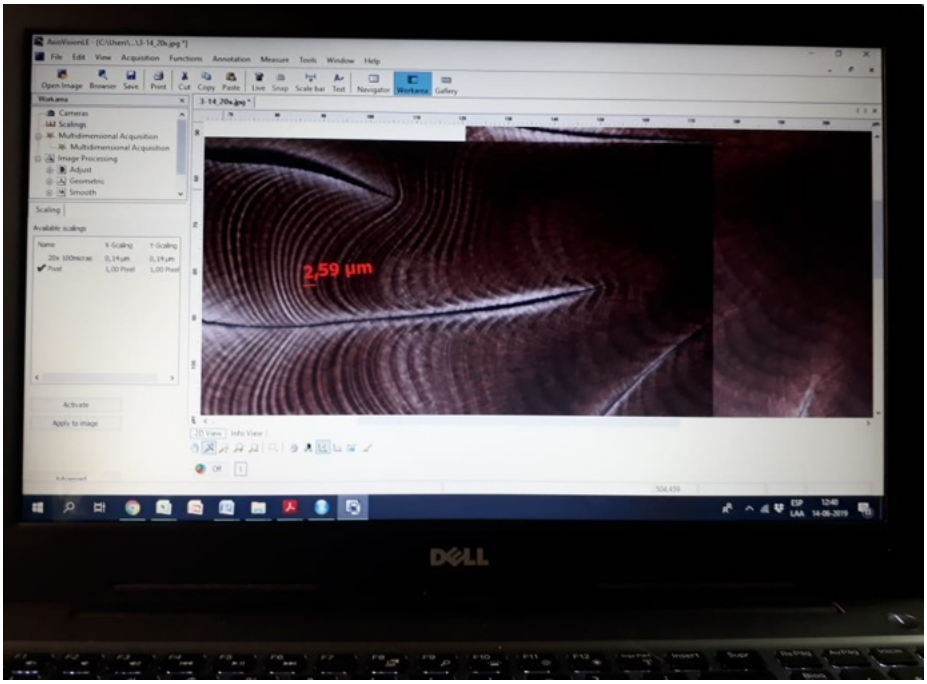


Figura 19. Demostración de medición del grosor de los microincrementos mediante el programa computacional Axio Vision Release 4.6.

A partir de los grosores medidos y la distancia de estos al centro del otolito, fue posible obtener el perfil de grosor de los microincrementos a través del radio medido desde el centro hasta el borde postrostral del otolito. De esta manera, fue posible ajustar un modelo matemático que describiera la tasa de crecimiento instantáneo de los otolitos ($\Delta x / \Delta t$) en función del eje de crecimiento (x), es decir, la distancia desde el centro. Se ajustó el siguiente modelo a los datos de ancho de los microincrementos vs distancia al centro mediante regresión no lineal:

$$\frac{dx}{dt} = f(x) = ax(1 - bcx)^{1/c}$$ (Ecuación 3)

donde a, b, y c son constantes a estimar. Este modelo fue descrito por Deriso (1980) para el análisis de la relación stock-recluta en la dinámica de una población de peces y ya ha sido aplicado para determinar la tasa de crecimiento de jurel por Araya *et al.* (2001) y Cisterna y Arancibia (2017).

3.3.9 Estimación de las tasas de crecimiento de jureles juveniles

Una vez terminadas las lecturas de microincrementos en los otolitos de los individuos muestreados, se procedió a estimar la edad de los individuos en días y ajustar un modelo que describió mejor el crecimiento individual de esta especie. Sólo para los modelos de von Bertalanffy general y estacional el número de días identificados en los otolitos fueron transformados a años dividiendo el número de microincrementos en 365. Los modelos descritos a continuación fueron los probados, ya que son los más utilizados para describir el crecimiento de esta especie en sus diferentes estados de desarrollo (Ricker 1979, Somers 1988):

Lineal $$Y = a + bX$$ (Ecuación 4)

von Bertalanffy longitud $$Y = Y_{\infty}\left(1 - e^{-K(x-t_0)}\right)$$ (Ecuación 5)

von Bertalanffy estacional

$$Y = Y_{\infty}\left(1 - e^{-K(x-t_0)} - \left(\frac{CK}{2*\pi}\right) * \left(sen\left(2\pi(x - t_s)\right) - sen(2\pi(x_0 - t_s))\right)\right)$$ (Ecuación 6)

Gompertz $$Y = Y_{\infty}e^{-e^{-G(x-t_p)}}$$ (Ecuación 7)

donde: Y: Longitud; x: número de microincrementos; a y b parámetros a estimar; Y_{∞}: longitud asintótica; G: tasa instantánea de crecimiento cuando $t=t_p$; t_p : edad (en días) en el punto de inflexión de la curva; K: coeficiente de crecimiento (año^{-1}); t_0:edad teórica cuando la longitud es cero; C corresponde a una constante sin dimensiones que expresa la amplitud de la oscilación del crecimiento y t_s es un parámetro que da cuenta de la fase del crecimiento estacional, para el modelo de von Bertalanffy la edad en días se dividió por 365 para ser expresada en años.

Los modelos fueron ajustados mediante el método de ajuste no lineal, excepto el modelo lineal. El ajuste consistió en minimizar la suma de cuadrado del error, según:

$$SCE = \sum(y - \hat{y})^2 \qquad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde *y* es el valor observado de la variable dependiente, y el estimador de $\hat{y}$es el valor estimado. El método no lineal de mínimos cuadrados tiene los siguientes supuestos: especificación correcta del modelo, independencia de las observaciones, homocedasticidad, errores distribuidos normalmente con media cero y conocimiento de la variable independiente sin error.

Para seleccionar el modelo que mejor describió el crecimiento de jurel juvenil se utilizó el método basado en verosimilitud (Buckland *et al.* 1997, Burnham y Anderson 2002). El propósito del método es evaluar la fuerza relativa de las evidencias que soportan un determinado tipo de modelo. Este soporte relativo de los modelos puede ser evaluado usando la teoría de la verosimilitud combinada con el criterio de información de Akaike (AIC) (Akaike 1974). Un solo valor del AIC permitió evaluar el soporte relativo de los datos para los cuatro modelos. AIC penaliza la complejidad del modelo, dado por el número de parámetros, para alcanzar un óptimo entre exactitud y parsimonia del modelo, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$AIC = n\ ln(\hat{\sigma}^2) + 2p \qquad \text{(Ecuación 9)}$$

donde *p*: es el número de parámetros a estimar; *n*: tamaño de muestra; y

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum \hat{\varepsilon}_i^2}{n} \qquad \text{(Ecuación 10)}$$

$\hat{\varepsilon}_i^2$ son residuos estimados para un modelo particular. El modelo con el menor valor de AIC es el modelo más probablemente correcto.

4 RESULTADOS

Los resultados del presente proyecto se presentaron en un Taller de difusión de resultados el día 23 de septiembre 2019 en la ciudad de Talcahuano, en **Anexo 2** se entrega programa de presentaciones, listado de asistentes, diapositivas presentadas y comentarios y respuestas a preguntas realizadas.

4.1 Objetivo específico 2.2.1: Validar la periodicidad de los microincrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio.

Experimento 1

Al final del experimento se obtuvieron 119 ejemplares de jurel, los otolitos de estos ejemplares, sumergidos en OTC, no mostraron marcas en los microscopios de fluorescencia. Sólo se observó autofluorescencia de las estructuras (**Figura 20**).

Experimento 2

En la **Figura 21** se observa la fluctuación de la temperatura y el pH de los dos estanques donde se mantuvieron por 6 horas a los jureles para el marcaje con alizarina. La temperatura estuvo entre los 18,2 ºC y 19,2 ºC y el pH entre 8,2 y 8,5. Posteriormente durante el período que permanecieron en cautiverio, la temperatura fluctuó entre 15,8 y 19,8 ºC y el nivel de oxígeno entre 4 y 8,9 ml/l (**Figura 22**).

Preparación y observación

Los otolitos del segundo experimento, al observarlos enteros bajo lupa con luz reflejada (**Figura 23**), formaron una zona translúcida, cuando fueron manipulados para el marcaje, como se puede confirmar al observarla en microscopio de campo claro con luz transmitida **(Figura 24)**. Esta zona translúcida presentó una distancia promedio, desde el núcleo del otolito al borde inicial de esta zona, de 101,7 µm (n=44; d.e.=72,5 µm), al mismo tiempo la distancia desde borde distal de la zona translucida al borde del otolito fue en promedio 650,1 µm (n=44; d.e.=112,4 µm). La primera marca de alizarina aparece de color fucsia en las muestras analizadas, tanto a nivel macro como microestructural **(Figura 24, Figura 25, Figura 26)** y la segunda marca aparece como una fina línea

de apariencia diferente del resto de los microincrementos subyacentes y que sigue una trayectoria en gran parte de otolito. Ambas marcas y apariencia de éstas aparecen en todos los otolitos de los ejemplares marcados (**Figura 27**) como una discontinuidad en el patrón de formación del otolito lo cual se caracteriza por una zona-D mucho más ancha.

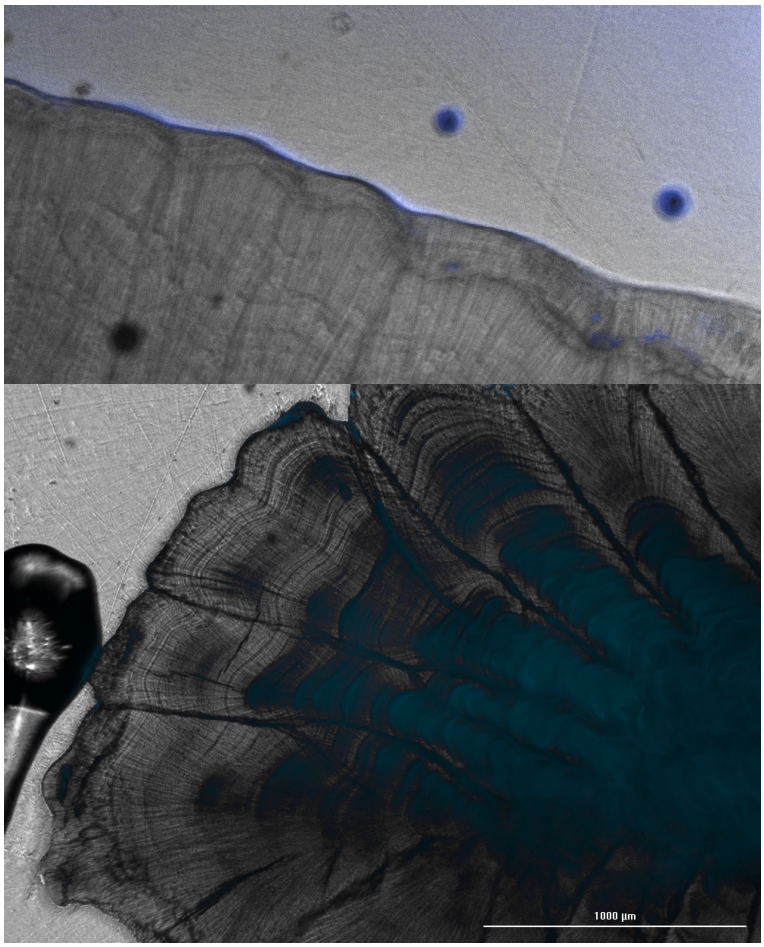


Figura 20. Diferentes fotografías de otolitos de jurel tomadas en microscopio de fluorescencia para observar las marcas que habría dejado la OTC, el color que se observa en las estructuras corresponde a autofluorescencia.

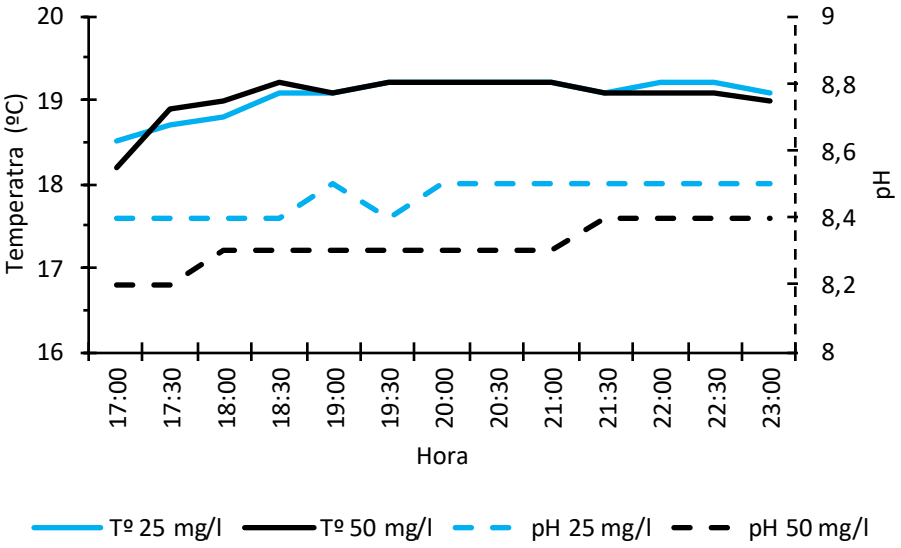


Figura 21. Registro de temperatura y pH durante la permanencia por seis horas de los jureles en las concentraciones consideradas de alizarina (26 de febrero 2019).

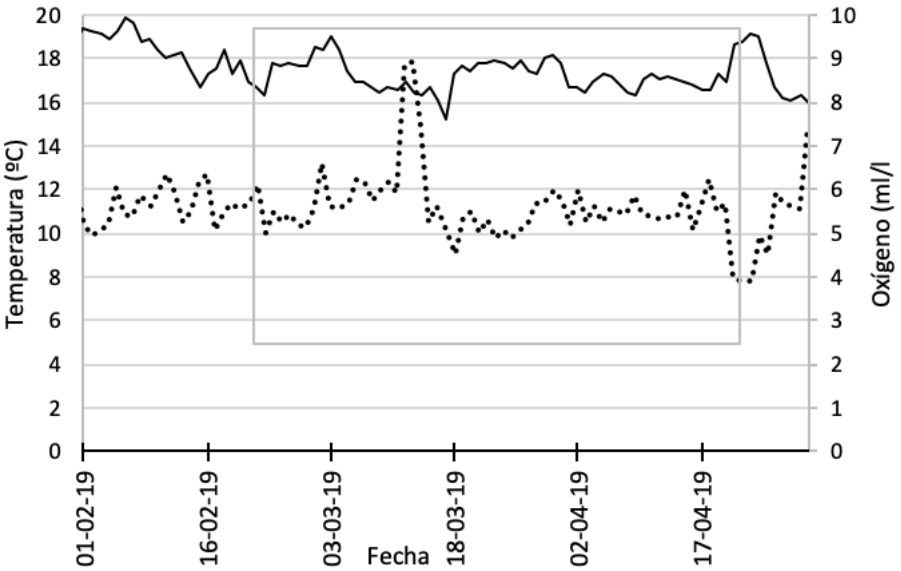


Figura 22. Fluctuación de la temperatura y oxígeno en el estanque de mantenimiento de los peces. Cuadro indica período en que tuvieron los peces para el experimento, desde que llegaron hasta el sacrificio.

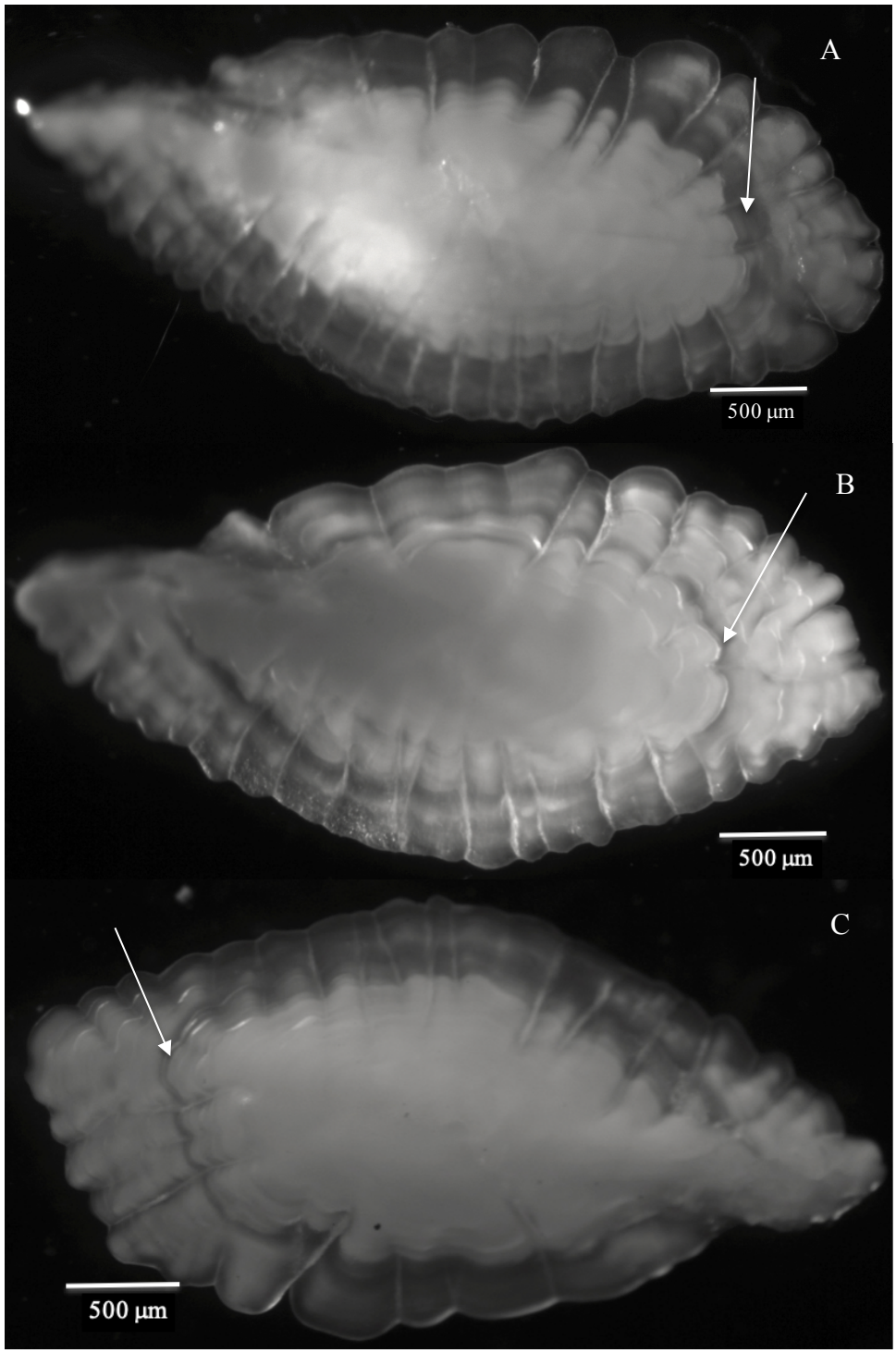


Figura 23. Otolitos de jurel correspondiente al segundo experimento tomado bajo lupa, se muestra con flechas la marca translúcida que dejó los primeros días de llegada al cautiverio. (A) 14,2 cm, (B) 12,9 cm, (C) 12,5 cm LH. Provienen de concentración de 50 mg/l de alizarina.

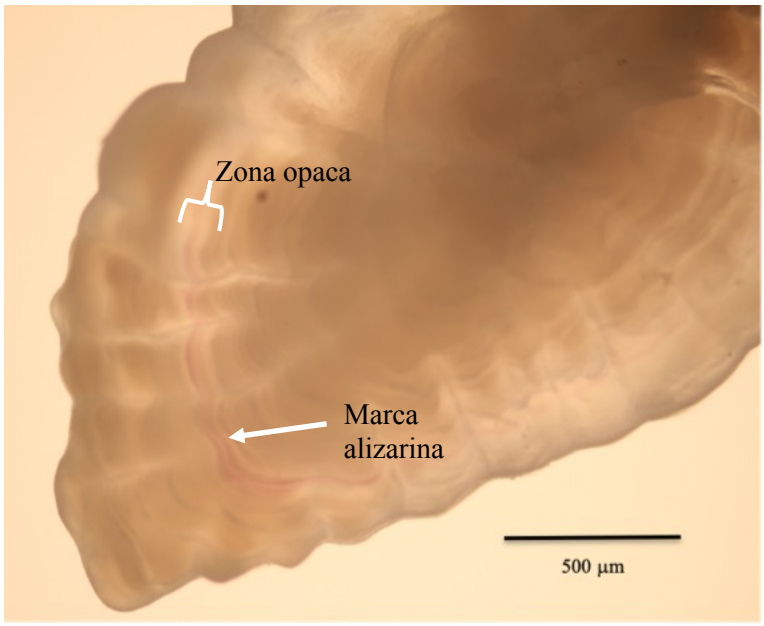


Figura 24. Otolito de jurel de 12,4 cm LH proveniente de la solución de 50 mg/l de alizarina, se observa con luz transmitida, donde se aprecia la primera marca que deja la alizarina. La zona translúcida que se observa en la **Figura 23** en esta foto aparece opaca.

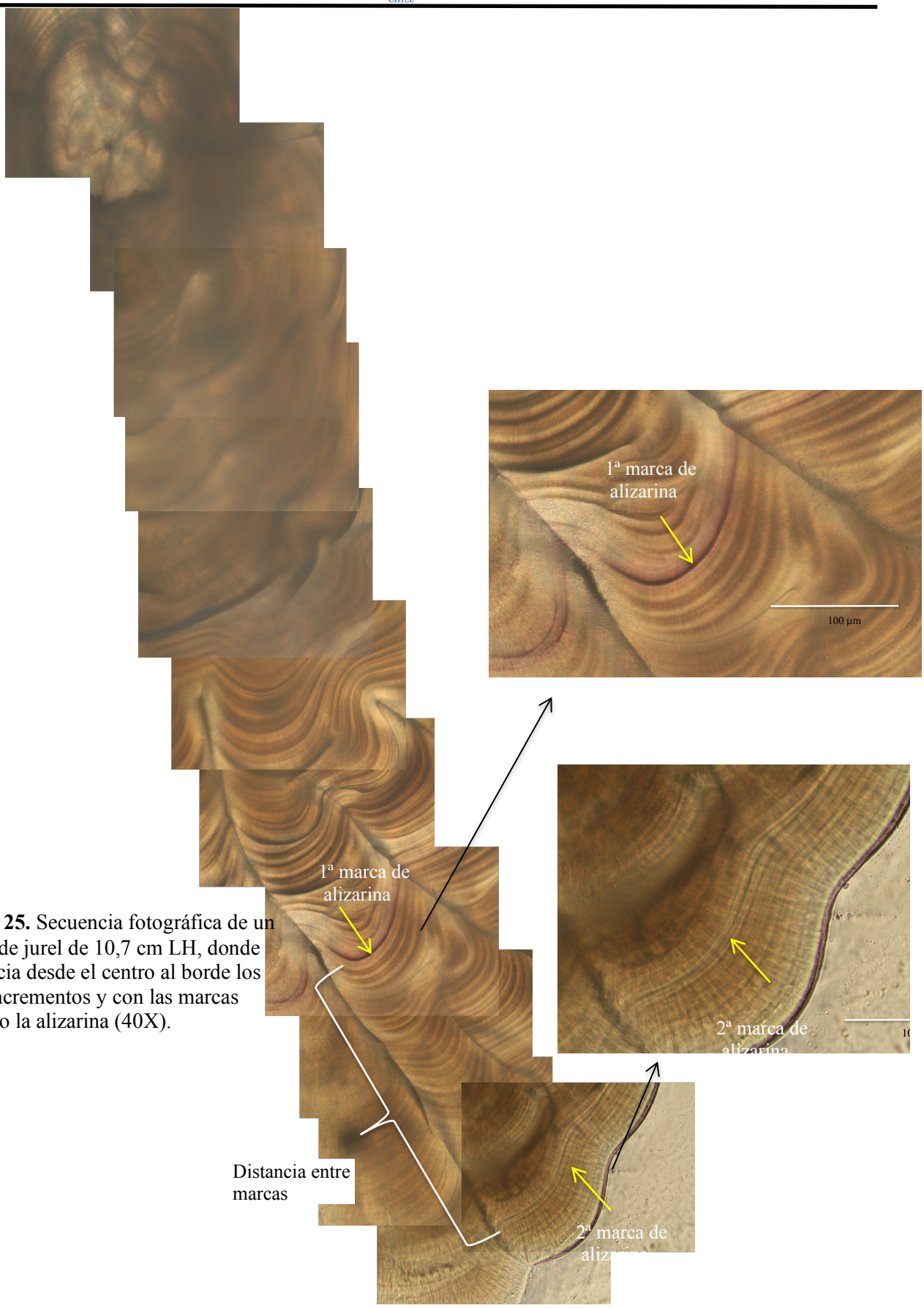


Figura 25. Secuencia fotográfica de un otolito de jurel de 10,7 cm LH, donde se aprecia desde el centro al borde los microincrementos y con las marcas que dejo la alizarina (40X).

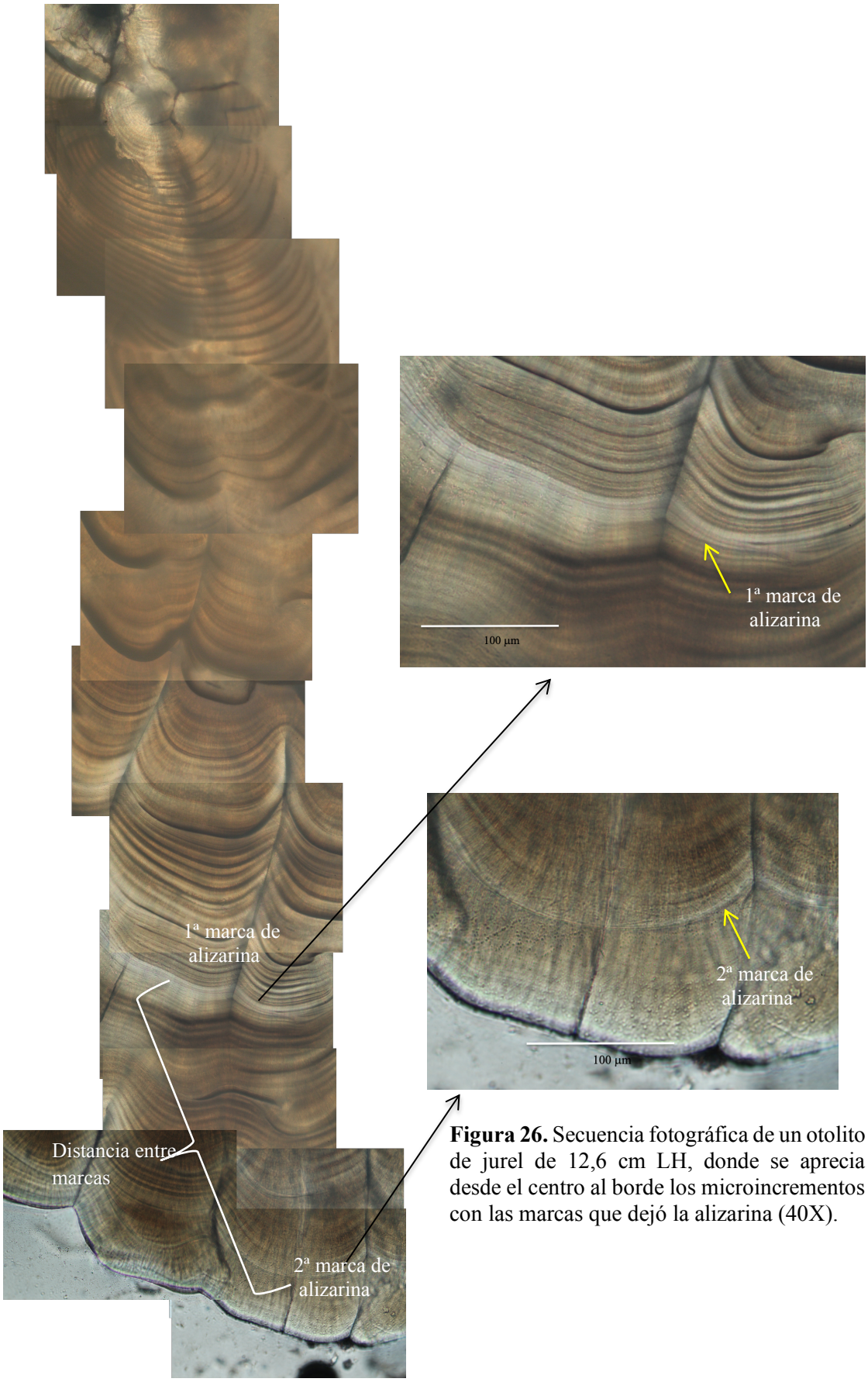
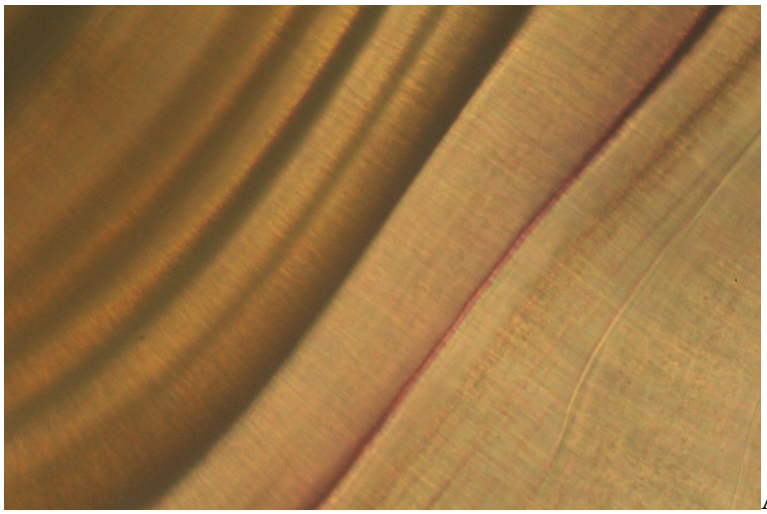


Figura 26. Secuencia fotográfica de un otolito de jurel de 12,6 cm LH, donde se aprecia desde el centro al borde los microincrementos con las marcas que dejó la alizarina (40X).


A

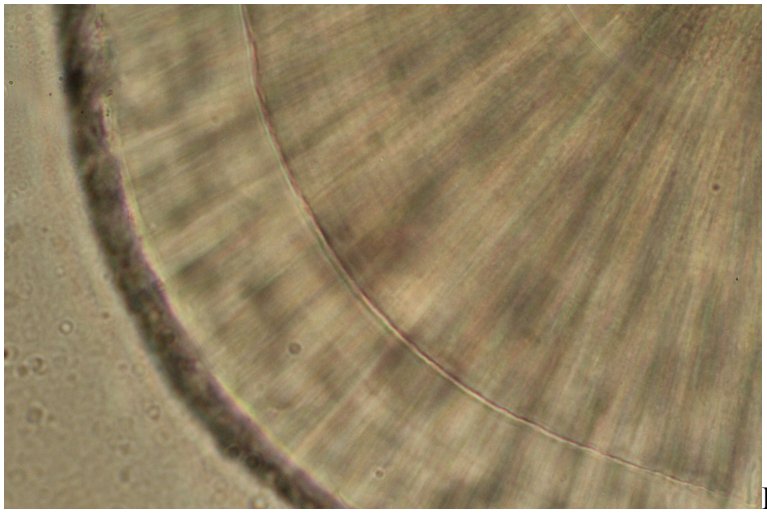

B

Figura 27. Apariencia de la primera (A) y segunda marca (B) producida con el marcaje de alizarina roja en un otolito de jurel. Fotografías tomadas a 100X.

El ancho de los microincrementos entre las dos marcas fluctuó entre los 5 y 15 µm (**Figura 28**), cuando aparece la marca los microincrementos son delgados y posteriormente se van haciendo más ancho tomando el aspecto del grupo de bandas (GBR) para posteriormente comenzar a disminuir al acercarse a la segunda marca formada.

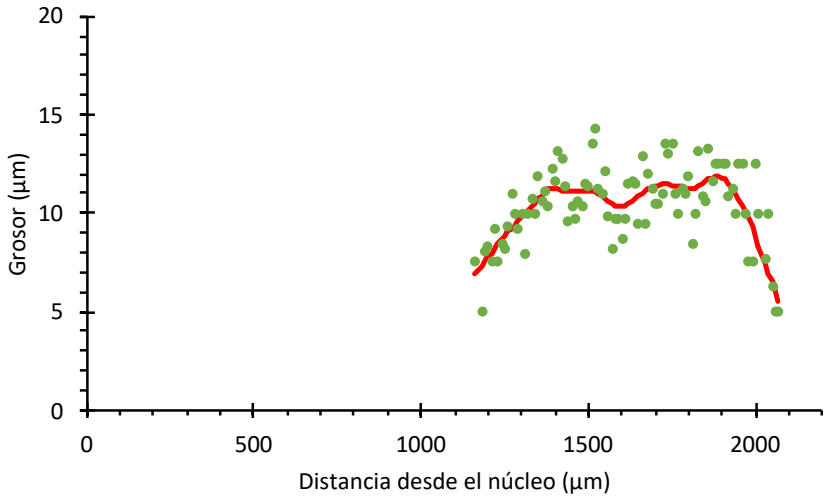


Figura 28. Ancho de los microincrementos entre marcas con respecto al centro del otolito. La línea roja es un ajuste con el algoritmo LOWESS (Cleveland 1981) para mostrar la tendencia.

Se obtuvieron 44 preparaciones que permitieron contabilizar los microincrementos entre marcas, el lector J.P. pudo observar en 43 y el número promedio fue de 45,8 (d.e.=0,83) y el lector M.A. en 40 preparaciones con un promedio de 45,7 (d.e.=1,1). Ambas medias no son significativamente diferentes de 46 (test-t; p=0,1075 y p=0,114, respectivamente) que son los días que permanecieron los ejemplares de jureles en cautiverio entre marcas. En la **Tabla 5** se entregan las longitudes horquillas y peso total de los ejemplares a los que se le contabilizaron los microincrementos en los otolitos.

		Número promedio microincrementos	
Longitud Horquilla (cm)	Peso Total (g)	Lector J.P.	Lector M.A.
14,4	29,5	45	45,5
15,8	35,9	46,5	45
15,3	49,1	46,5	
12,3	30	47,5	43,5
14,2	31	45	43
15,6	34,9	46,5	45,5
13,7	35	45,5	47,5
14,5	30,5	45,5	46,5
15	36,3	46	46
15	41,5	44,5	45,5
14,5	38,4	46	47
15	43,4	45,5	46
13,3	26	44,5	45,5
14,6	38,8	47	46
12,8	25,5	45	45,5
12,7	25,1	45	44,5
15,5	42,3	45,5	45
14,3	32,2	45	43,5
11,4	15,5	46	46
13,4	29,7	45,5	46,5
12,6	21,3	46	45,5
14,5	36,7	45,5	46
15,4	42,7	47,5	44
15,7	45,2	45	45,5
13,9	31,5	47	47
13,6	30,4	46,5	46
14,1	31,9	46	46
13,4	30,5	45,5	46
14,9	39,3	45,5	
12,9	26,7		46,5
14,9	39,2	45,5	44
14,6	42,9	45,5	47,5
14,9	40,3	45,5	47
15,4	45,6	45,5	46,5
15	40,8	44	43,5
15,1	43,2	46	
14	33,7	46,5	47
14,9	39,4	45,5	46
14,6	37,5	46	45,5
13,9	35,2	46	
16,6	55,3	47	46
13,6	31	47,5	46,5
13,8	30,8	44,5	46
15,2	40,8	46	47

Tabla 5. Longitud horquilla y peso total registrado al final del experimento, y número promedio de microincrementos contabilizados por los dos lectores en otolitos de jurel mantenidos en cautiverio.

4.2 Objetivo específico 2.2.2: Validar el primer *annulus* a partir del conteo de microincrementos primarios previamente validados.

4.2.1 Análisis de la macro-estructura de los otolitos *sagittae*

Se dispuso de un total de 479 otolitos *sagittae*, almacenados en el Instituto de Fomento Pesquero, para ejemplares que fluctuaron entre 13 y 23 cm LH y que fueron recolectados durante los años 2008 y 2009, para un total de 8 zonas de muestreo (**Tabla 6**). En general no se observaron grandes variaciones en el rango de longitud, excepto en aquellas zonas donde se dispuso de ejemplares de menor tamaño de entre 13 y 17 cm LH.

Tabla 6. Resumen de estadísticas básica de longitud de horquilla de ejemplares del jurel recolectados por el Instituto de Fomento Pesquero, para los años 2008 y 2009, que disponían de otolitos *sagittae* almacenados, y sobre los cuales se han iniciado el estudio de validación del tiempo de formación del primer *annulus*. Para el año 2017 los ejemplares provinieron del barco pesquero MAGIRIS, que operó en aguas internacionales.

Año	Zona	Media ± DE	Rango	N	CV
2008		17,6 ± 3,1	13 - 23	206	17,6
	ANTOF/MEJ	18,8 ± 2,2	13 - 22	46	11,6
	ARICA	16,9 ± 1,8	13 - 22	40	10,7
	CALDERA	22,4 ± 0,8	20 - 23	19	3,7
	CENTRO/SUR	22,3 ± 0,8	21 - 23	6	3,7
	CORONEL	17,0 ± 5,2	14 - 23	3	30,6
	IQUIQUE	15,5 ± 2,3	13 - 22	84	14,7
	MEJILLONES	20,4 ± 1,0	19 - 21	7	4,8
	TALACAHUANO	23,0 ±	23 - 23	1	
2009		19,7 ± 3,2	13 - 23	205	16,4
	ANTOF/MEJI	18,8 ± 2,5	16 - 23	50	13,1
	ARICA	23,0 ± 0,0	23 - 23	2	
	CALDERA	21,3 ± 1,5	18 - 23	48	7,1
	CENTRO SUR	21,9 ± 1,3	19 - 23	14	5,8
	COQUIMBO	22,3 ± 0,8	21 - 23	7	3,4
	IQUIQUE	19,1 ± 3,9	13 - 23	75	20,3
	MEJILLONES	14,4 ± 0,7	13 - 15	9	5,0
2017	MAGIRIS	18,2 ± 0,8	16 - 20	68	4,3
Total		**18,6 ± 3,3**	**13 - 23**	**479**	**17,8**

En algunos de estos ejemplares analizados se dispusieron de lectura de annuli y medición de radios de forma directa, a través del método tradicional realizado por la sección de Edad y Crecimiento del Instituto de Fomento Pesquero. La **Figura 29** resume la relación talla-edad a la fecha de captura

para ambos años (2008 y 2009), donde es posible apreciar ejemplares de hasta tres años, para el rango de longitud analizados, aunque es posible apreciar también la gran variabilidad talla-edad, particularmente, durante las primeras dos edades, aunque más evidente en el año 2008 **(Figura 29)**. La variabilidad se redujo para los ejemplares de tres años, los que fluctuaron entre 19 y 23 cm LH. Hallazgos similares fueron evidenciados de los resultados de registro del radio a cada banda translúcida, que se completó para el año 2009 en el marco del desarrollo del presente proyecto **(Figura 30)**.

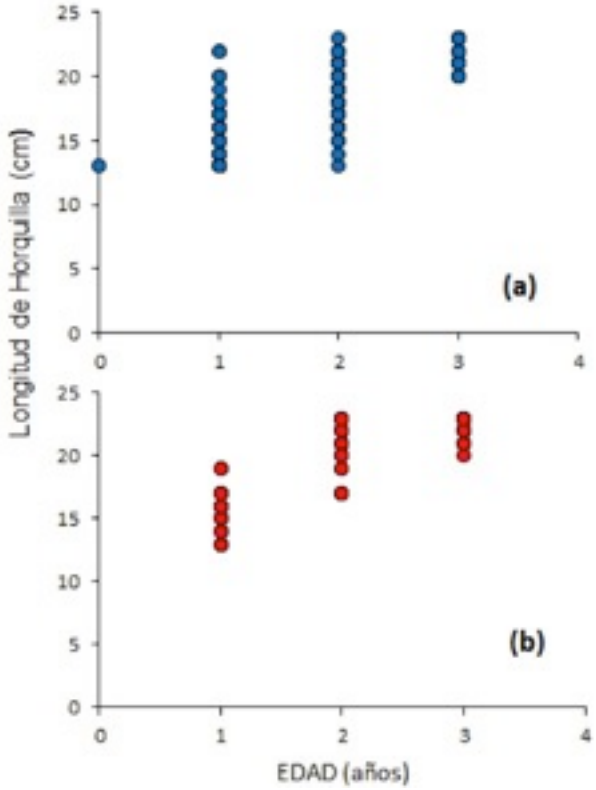


Figura 29. Relación talla edad a la fecha de captura para ejemplares de jurel recolectados por el Instituto de Fomento Pesquero, para los años 2008 (a) y 2009 (b), a los cuales se le determinó el número de bandas opacas por lectura superficial directa bajo lupa estereoscópica.

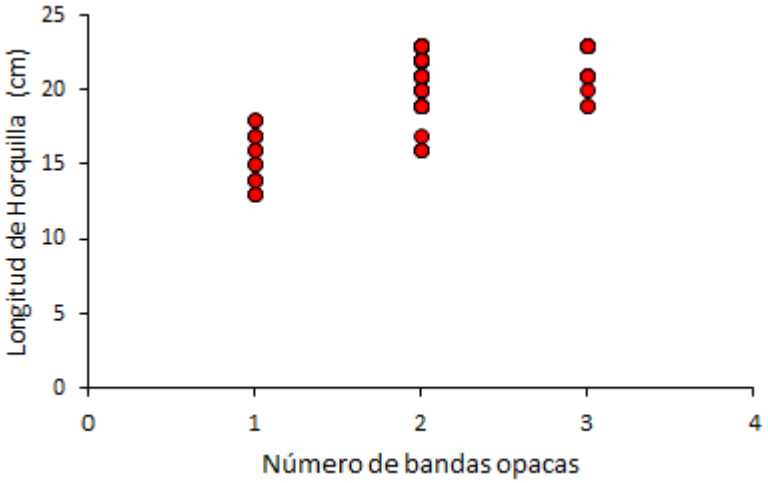


Figura 30. Relación talla edad a la fecha de captura para ejemplares de jurel recolectados en la costa chilena para el año 2009, a los cuales se le determinó el número de bandas opacas por medición de radios al término de cada banda opaca, utilizando un analizador de imágenes, dentro del marco del desarrollo del presente proyecto.

4.2.2 Rasgos macro-estructurales

El patrón macro-estructural común de los otolitos *sagittae* de ejemplares de entre 13 y 23 cm analizados para el año 2009 mostraron, un centro opaco compacto, irregularmente delimitado por una primera banda translúcida que se hizo visible particularmente en las región anterior y posterior (rostro y cauda) en ejemplares sobre 16 cm de LH (**Figura 31abc**). En ejemplares más pequeños 13-16 cm en ocasiones se visualizó una banda translúcida de grosor muy fino en el rostro y cauda, pero muy inconsistente, la que no fue contabilizada en el registro posterior (**Figura 31ab**). En ejemplares de entre 22-23 cm LH, 2-3 bandas translúcidas fueron visibles hacia la cauda, aunque en la mayoría de los casos la resolución fue mucho más nítida en el rostro (**Figura 31cd**). Para este año (2009) fue posible efectuar un análisis de grosor de las bandas opacas y translúcidas con confiabilidad. Para los años 2008 y 2017 la macro-estructura fue muy irregular, lo que dificultó la identificación de las bandas opacas y translúcidas, debido a la mayor presencia de finas transiciones entre depósito opaco y translucido. En adelante se proporcionan los resultados para el año 2009, donde se obtuvieron los registros con mayor confiabilidad.

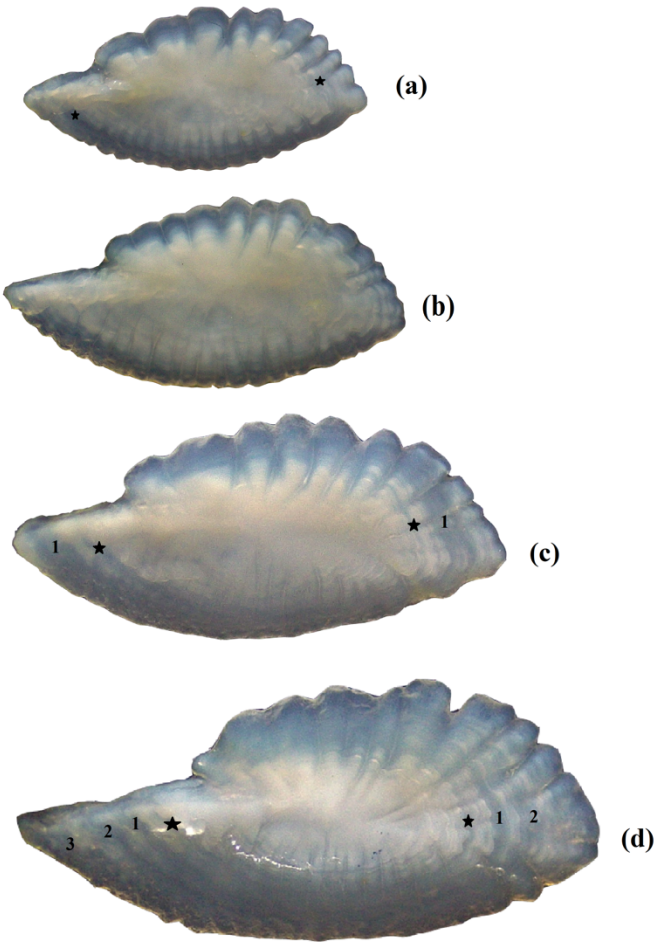


Figura 31. Fotografías ilustrativas del proceso de formación de bandas opacas y translúcidas para cuatro ejemplares de jurel, recolectados en la costa chilena para el año 2009. (a) 14 cm LH; (b) 16 cm LH; (c) 19 cm LH y (d) 23 cm LH. Las estrellas negras indican la ubicación de la banda translúcida fina e inconsistente, mientras que los números indican lo annuli potenciales.

El análisis del registro de radio y grosor a la formación de cada banda de crecimiento opacas y translúcidas del año 2009, medidas en dirección caudal, evidenció que el radio a la formación a la primera banda opaca y translúcida fluctuó entre 1,39 a 2,42 mm (1,78±0,21; CV= 27,97%) y entre 1,61 y 2,82 mm (2,18±0,25 CV=11,34), respectivamente **(Tabla 7)**, observándose un incremento gradual significativo **(Figura 32a-d; Tabla 8;** $p<0,05$), para el resto de los potenciales *annuli*. En el caso del grosor de cada banda después del radio del centro opaco, se observó un decaimiento gradual significativo **(Figura 32 a-d; Tabla 8;** $p<0,05$**)**, con grosores que fluctuaron entre 0,16 a 0,65 mm (0,41±0,10; CV=23%) y entre 0,09 a 0,74 mm (0,43±0,11; CV=21%) para la primera banda

translúcida y opaca, respectivamente, aunque se debe destacar que incluso a la tercera banda, el grosor medio de la banda translúcida estuvo por sobre de los 0,15 mm (0,17±0,8). Se distingue que el cambio más sustantivo y la mayor variabilidad ocurrió entre la primera y segunda banda en ambos tipos de depósito (translucido vs opaco).

Tabla 7. Estadísticas generales de radio caudal (mm) a la formación de las zonas opacas y translúcidas de jurel de entre 13 y 23 cm, recolectados en aguas chilenas durante el año 2009.

	Opaca			Translúcida			
Zona	Media ± DE	Rango		Media ± DE	Rango		N
Zona 1	1,78 ± 0,21	1,39	- 2,42	2,18 ± 0,25	1,61	- 2,82	106
Zona 2	2,61 ± 0,29	1,90	- 3,26	2,87 ± 0,27	2,20	- 3,35	90
Zona 3	2,97 ± 0,18	2,60	- 3,37	3,05 ± 0,15	2,79	- 3,32	17

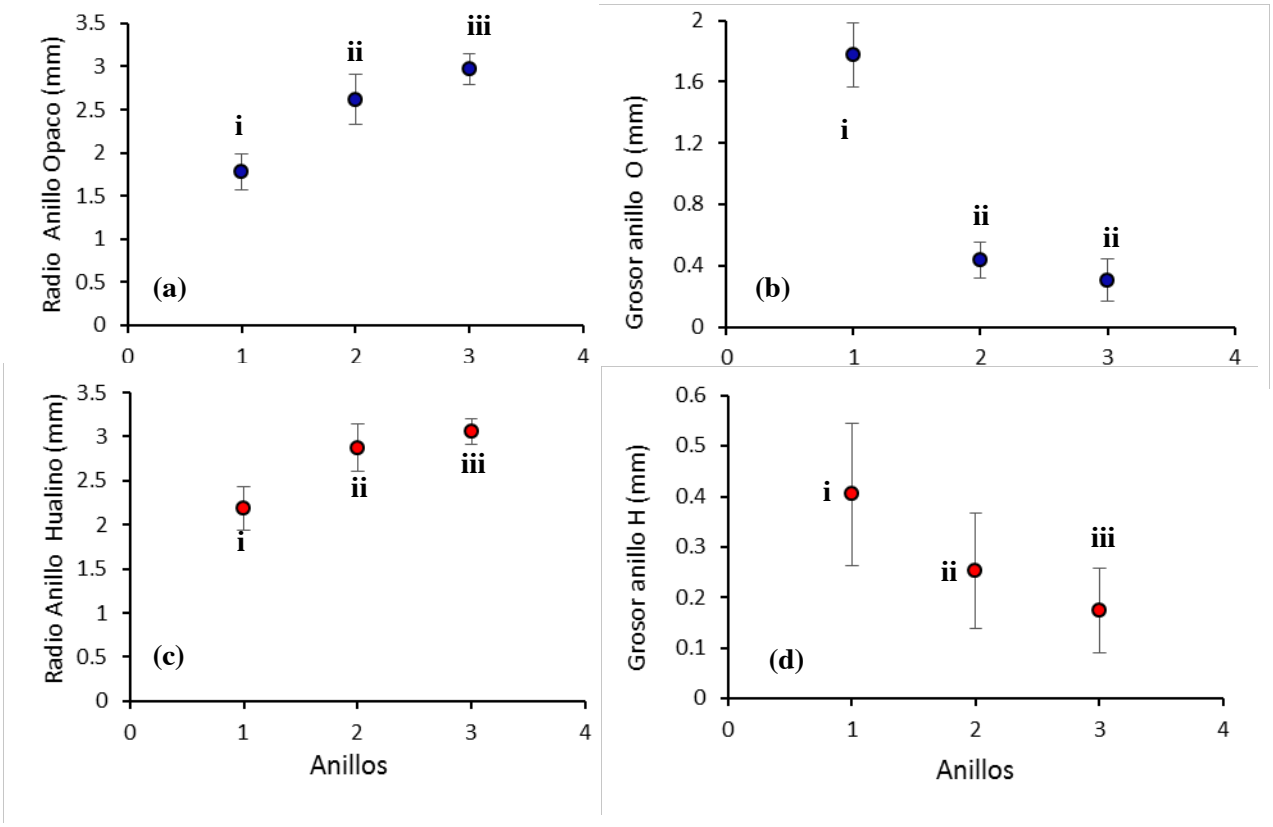


Figura 32. Dimensiones del radio y grosor a la formación de bandas opacas y translúcidas para ejemplares de jurel de entre 13 y 23 cm de LH, recolectados en la costa chilena para el año 2009, a los cuales se le determinó el número de bandas opacas por medición de radios al término de cada banda opaca, utilizando un analizador de imágenes, dentro del marco del desarrollo del presente proyecto. Diferente numeración denota diferencias significativas ($p<0,05$; Test-Tukey).

Tabla 8. Estadísticas derivadas del análisis de varianza univariadas, para evaluar los cambios en las dimensiones del grosor promedios de las primeras tres bandas opacas y translúcidas en ejemplares de entre 13 y 22 cm LH de jurel, recolectados a lo largo de la costa chilena durante el año 2009 e ilustrados en la **Figura 32** (b-d). Se reportan los resultados para un diseño balanceado con tamaño de muestra idéntico para cada banda (a) y un diseño no balanceado (b). Los mayores valores de "F" para el caso de las bandas opacas es producto de que el primer valor corresponde a las dimensiones del centro opaco que posee un mayor valor que el grosor del resto de las bandas.

Diseño	TA	*Origen*	*SCE*	*GL*	*CM*	*F*	*P*
(a)	Opaco	Entre grupos	16,056	2	8,028	667,654	4,E-34
		Dentro de los grupos	0,541	45	0,012		
		Total	16,597	47			
	Translúcido	Entre grupos	0,145	2	0,072	12,087	6,E-05
		Dentro de los grupos	0,269	45	0,006		
		Total	0,414	47			
(b)	Opaco	Entre grupos	105,691	2	52,845	1862,875	7,E-140
		Dentro de los grupos	6,326	223	0,028		
		Total	112,017	225			
	Translúcido	Entre grupos	1,689	2	0,844	70,539	4,E-24
		Dentro de los grupos	2,514	210	0,012		
		Total	4,203	212			

Los resultados derivados del modelo lineal general aditivo se resumen en la **Tabla 9**, donde se demuestra una incipiente influencia significativa del mes de captura en las dimensiones del radio y grosos de ambas bandas y que dichas variaciones parecieron ocurrir independiente de la zona geográfica y del tamaño de los ejemplares contrastados.

Tabla 9. Estadísticas derivadas de un modelo lineal general aditivo para evaluar los cambios en las dimensiones del radio y grosor de las primeras dos bandas opacas y translúcidas en ejemplares de entre 13 y 22 cm de jurel, recolectados a lo largo de la costa chilena durante el año 2009 SCE: Suma de cuadrados del error; DF: Grados de libertad; CM: Cuadrados medios; F: F-Fisher; P: Probabilidad de cometer error tipo I.

Variable	Fuente	SCE	GL	CM	F	P
Radio del primer núcleo opaco (**a**)	Zona	0,086	5	0,017	0,429	0,827
	Mes	0,492	6	0,082	2,037	0,068
	LH	0,043	1	0,043	1,056	0,307
	Error	3,743	93	0,04		
Radio al primer anillo translúcido (**b**)	Zona	0,417	5	0,083	1,593	0,17
	Mes	1,027	6	0,171	3,271	0,006
	LH	0,002	1	0,002	0,047	0,829
	Error	4,867	93	0,052		
Grosor del segundo anillo opaco (**c**)	Zona	0,213	4	0,053	7,26	<0,001
	Mes	0,169	5	0,034	4,612	0,001
	LH	0,007	1	0,007	0,945	0,335
	Error	0,447	61	0,007		
Grosor del primer anillo translúcido (**d**)	Zona	0,037	4	0,009	1,141	0,346
	Mes	0,093	5	0,019	2,336	0,053
	LH	0,001	1	0,002	0,022	0,882
	Error	0,488	61	0,008		

4.2.3 Análisis de la microestructura de los otolitos

La microestructura de los otolitos analizados de ejemplares de entre 13 y 23 cm de LH mostraron un rasgo común, que fue la presencia secuencial de microincrementos resolubles, desde el primordio hasta el borde de los mismos, sin evidenciar signos de fusión (**Figura 33**). En general se distinguieron 3 zonas microestructurales, una primera zona (zona A), que estuvo formada por microincrementos que se depositaron de forma secuencial después de la primera marca que rodeó el primordio y se extendió hasta los primeros 30-50 días, periodo en el cual se comenzaron a formar los primeros centros secundarios de crecimiento (CSC). La segunda zona (Zona B) se caracterizó por presentar microincrementos de mucho mayo grosor, aunque menos resolubles los cuales se formaron a partir de los CSC y se extendieron hasta aproximadamente los 100 días (**Figura 33**). La tercera zona estuvo caracterizada por la presencia de microincrementos primarios (MP), que alternaron en grosor en función de las bandas opacas y translúcidas, pero que fueron visibles hasta el borde de los otolitos, incluso los MP en la tercera zona fueron mucho más visibles y resolubles en otolitos montados en resina pero que no fueron procesados, debido a que el pulido afectó la resolución de los MP,

particularmente hacia los bordes, que fue el área de mayor concavidad (**Figura 34**). Otra característica de la tercera zona fue la existencia de una gran cantidad de discontinuidades de mayor extensión (DME) o transiciones que fueron visibles principalmente hacia la zona caudal. Estas estructuras que aparecieron como marcas opacas profundas que cubrieron casi la totalidad de la región caudal y ocurrieron a intervalos de entre 15 y 30 días, no parecieron interrumpir la secuencia de MP, lo que fue más evidente en cierto tipo de otolitos, donde la lectura macroscópica fue de baja resolución (**Figura 35**). Macroscópicamente estas estructuras aparecieron como una secuencia de anillos opacos, separados por anillos translucidos extremadamente finos. En contraposición se observaron discontinuidades parciales (DP) de menor extensión, que si interrumpieron la secuencia de microincrementos y que fueron evitadas al momento de efectuar la lectura de las secciones (**Figura 33**).

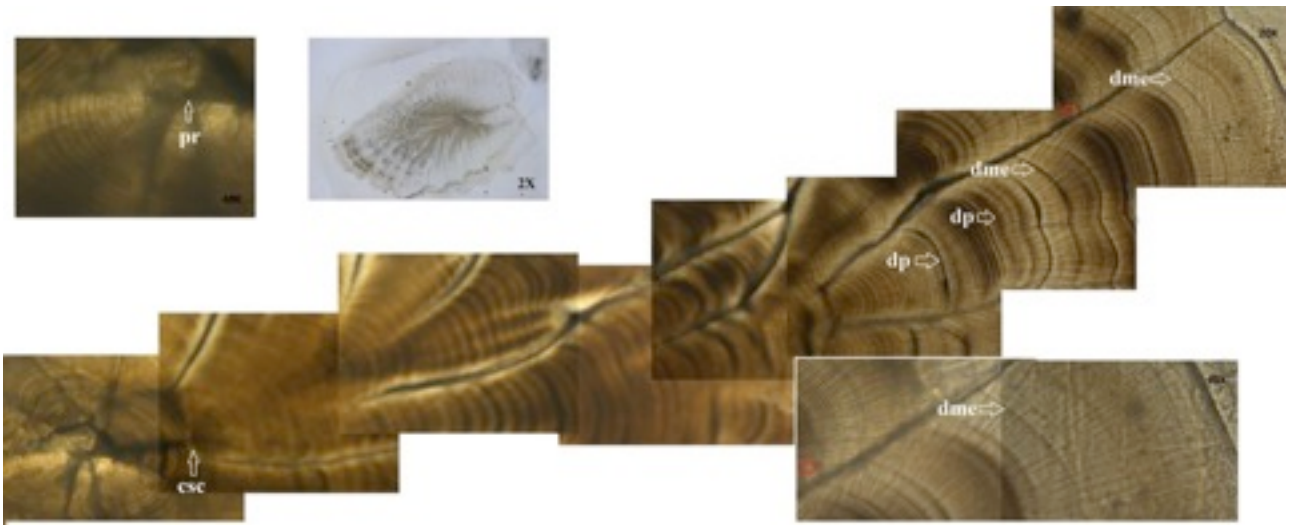


Figura 33. Fotografías de la comparación entre la macro y microestructura de un ejemplar de jurel, de 18 cm de LH, recolectado en la costa chilena. CSC: Centro secundario de crecimiento; DME: discontinuidad de mayor extensión; DP: discontinuidad parcial de menor extensión. La imagen puede ser incrementada con zoom para visualizar de mejor forma los IP. Las fechas rojas indican la exacta correspondencia entre secciones de distinto aumento.

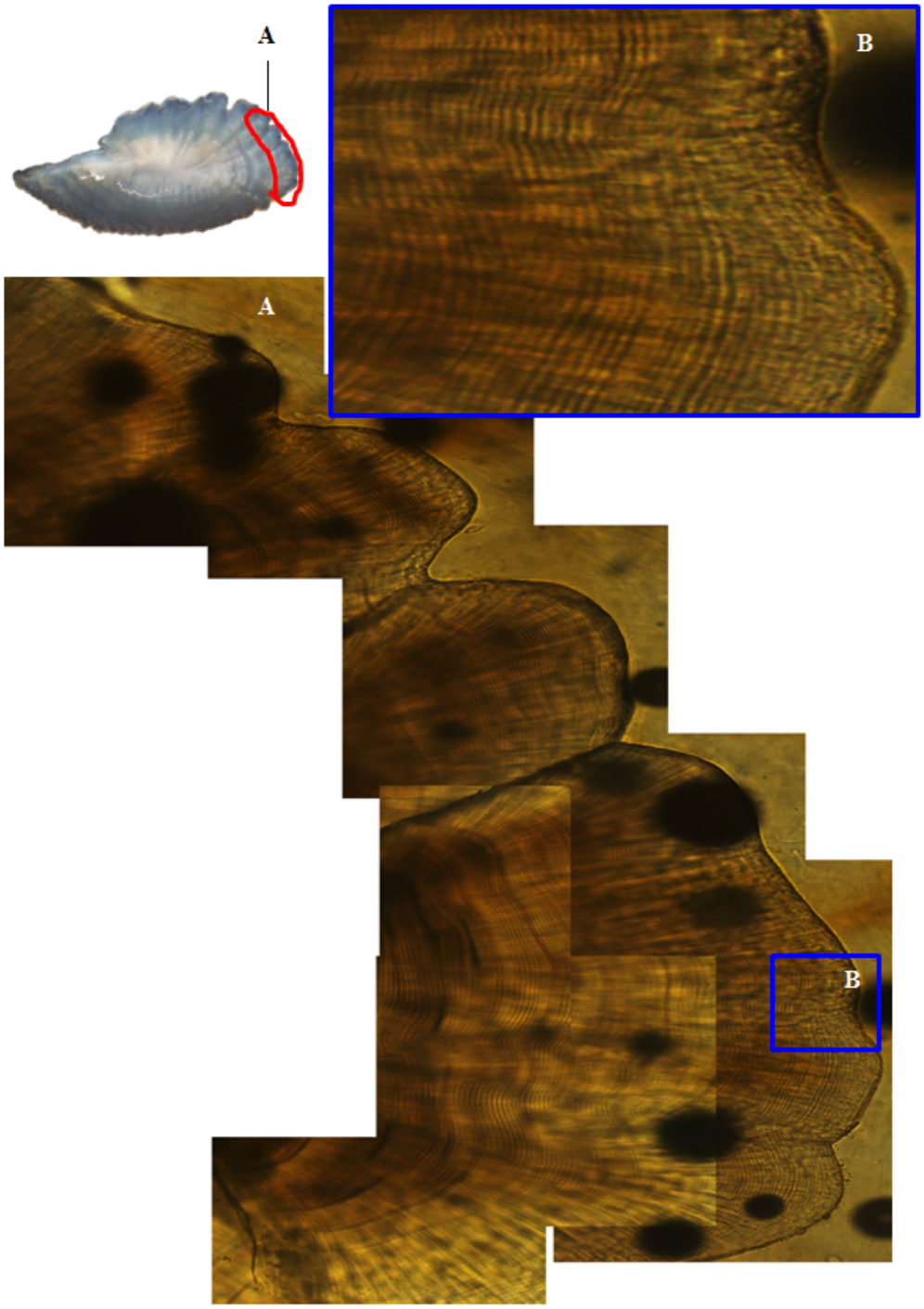


Figura 34. Fotografías ilustrativas de la comparación entre la macro y microestructura de un ejemplar de jurel, de 23 cm de LH, recolectado en la costa chilena para el año 2009. CSC: Centro secundario de crecimiento; DME: discontinuidad de mayor extensión; DP: discontinuidad parcial de menor extensión. La imagen puede ser incrementada con zoom para visualizar de mejor forma los IP. El recuadro azul aumentado evidencia el cambio fase de una fase de crecimiento rápido (opaco) a crecimiento lento (translucido) cerca del borde del otolito.

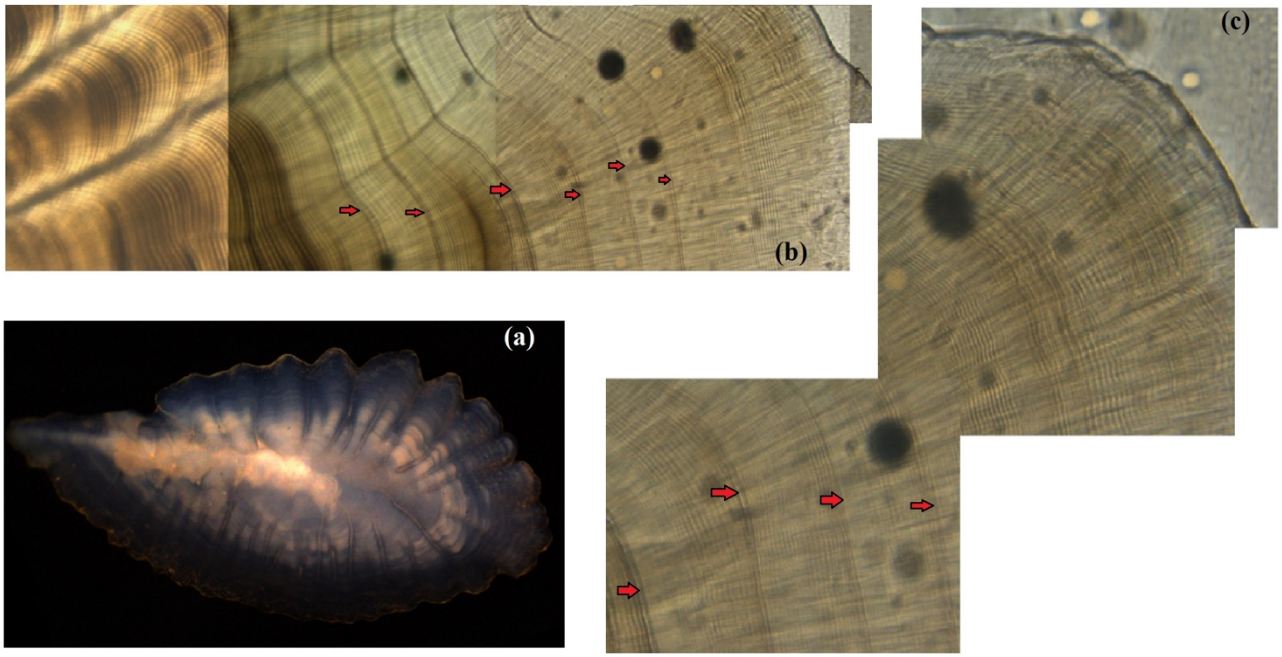


Figura 35. Fotografías ilustrativas de la comparación entre la macro y microestructura de un ejemplar de jurel, de 22 cm de LH, recolectado en la costa chilena durante el año 2008. Las flechas rojas indican discontinuidades de mayor extensión. a) 12,5X; b) 20X; c) 40X.

Al comparar la macroestructura y microestructura se pudo demostrar que el proceso de pulido y en ocasiones sobrepulido tendió a adelgazar las bandas opacas en la región de los bordes anteriores y posteriores, debido al incremento de la concavidad del otolito con el incremento de la longitud del ejemplar. No obstante, en algunos otolitos que fueron analizados antes de ser pulidos fue factible identificar las dos primeras bandas translúcidas de aproximadamente 250 y 170 µm, respectivamente, las cuales estuvieron caracterizadas por una reducción sustantiva del grosor, separadas por una primera banda opaca de grosor similar (**Figura 36**), donde las tres bandas evidenciaron presencia de DME.

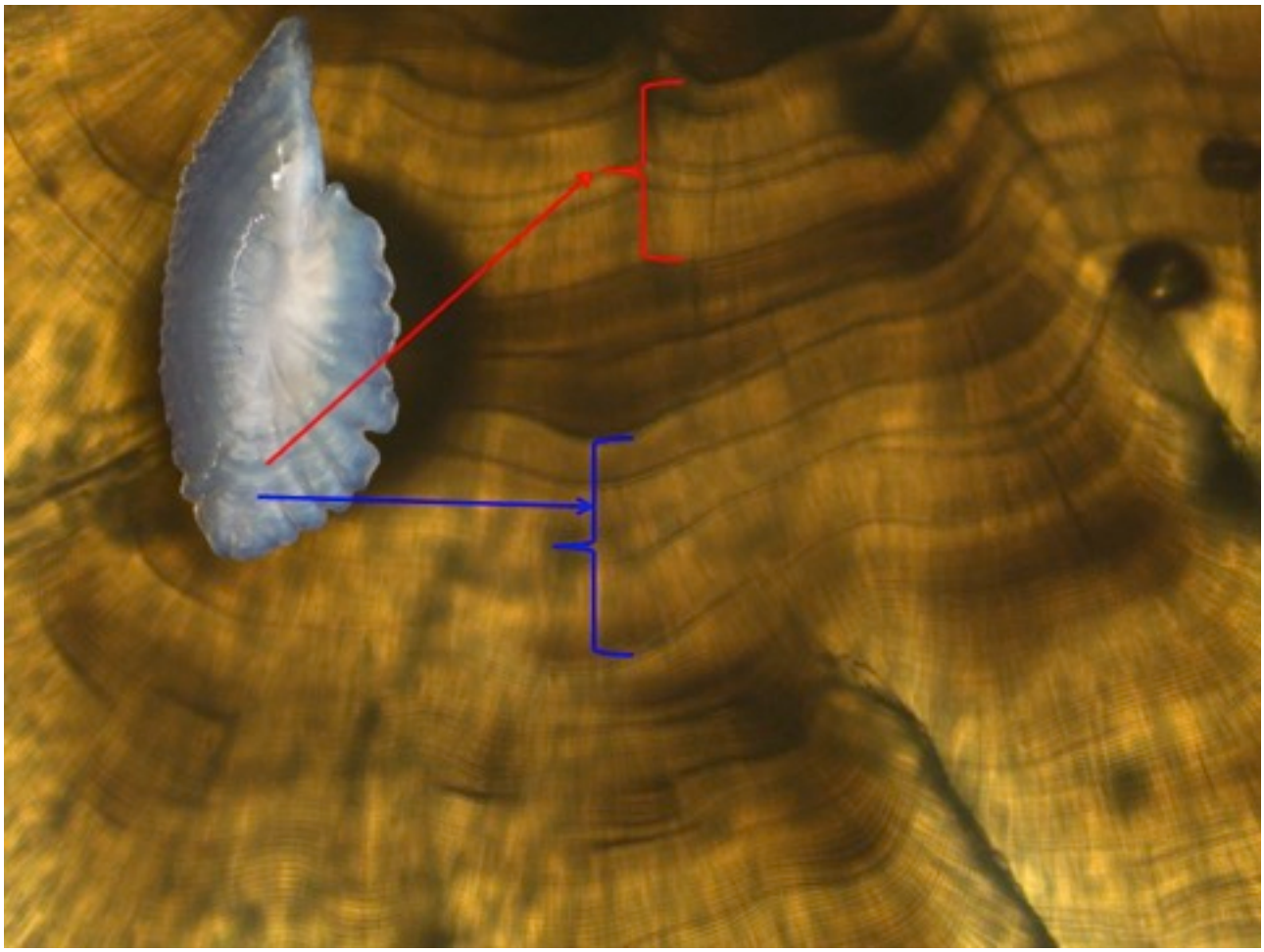


Figura 36. Fotografías ilustrativas de la comparación entre la macro y microestructura de un ejemplar de jurel, de 23 cm de LH, recolectado en la costa chilena durante el año 2009. Las flechas rojas y azules indican la exacta correspondencia entre la macro y microestructura de la primera y segunda banda translúcida.

4.2.4 Perfiles de grosor de los microincrementos

La medición de los grosores en una secuencia continua desde el primordio hasta el borde de los otolitos fue compleja, debido a la existencia de CSC presentes de forma irregular y debido también a la gran ocurrencia de transiciones y discontinuidades. No obstante, fue posible obtener un perfil medio de grosores en algunas muestras que presentaron mayor homogeneidad y menor perturbación. Mediante este análisis se pudo demostrar que los MP fluctuaron entre 1,67 y 35,73 µm (8,38±7,97) mostrando un gran variabilidad (95,93%), donde los IP incrementaron de forma secuencial en la zona A (8,27±6,87; rango:1-23 µm) hasta alcanzar las mayores dimensiones en la zona B ((20,77±7,40; rango: 6-38 µm), y evidenciándose una caída drástica en las tasa de crecimiento del otolito a partir de

los primeros 100 día, con grosores que fluctuaron entre 2 y 11 µm (4,30±1.84) para la zona C (**Figura 37a**). Esta condición influyo en el radio del otolito que fue marcadamente alométrico (**Figura 37b**).

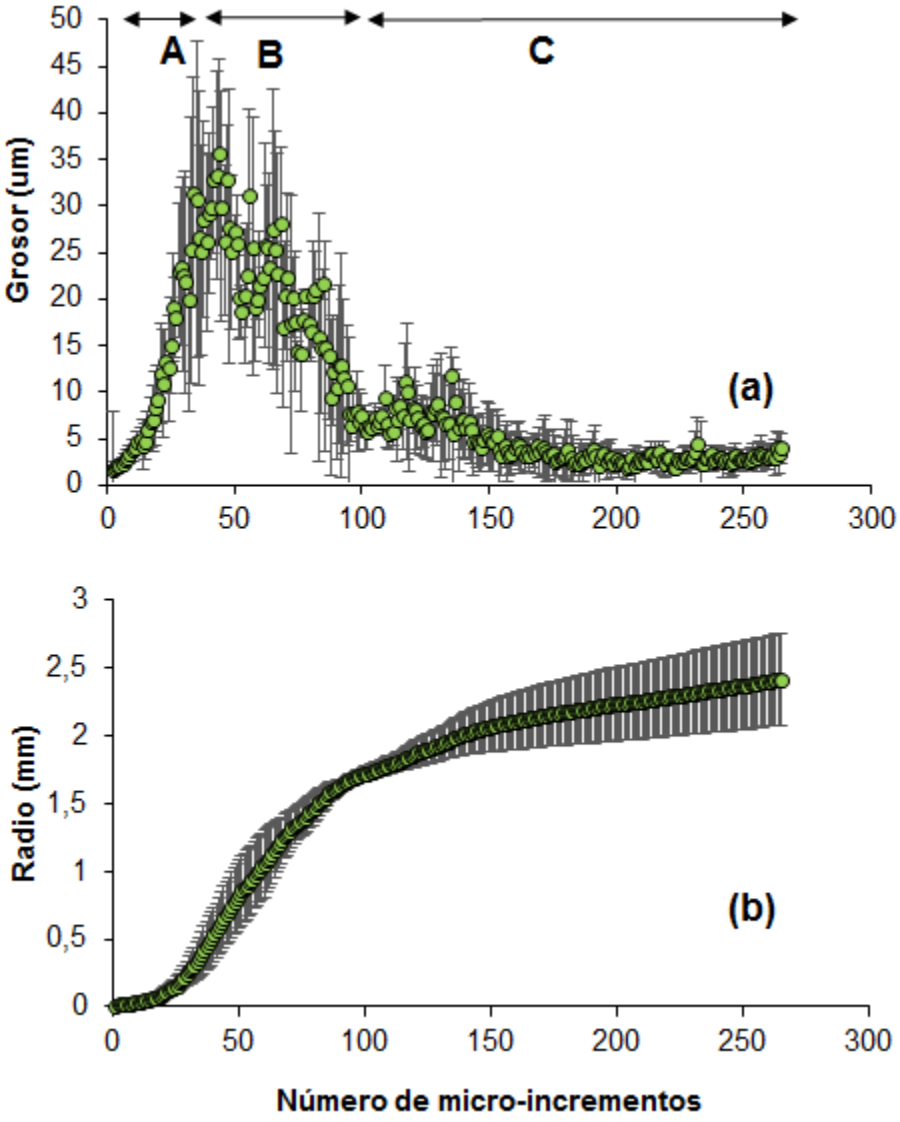


Figura 37. Fotografías ilustrativas del grosor (a) y radio (b) a cada día de ejemplares de entre 13 y 23 cm de LH, del jurel recolectados en la costa chilena. Las letras mayúsculas indican la correspondencia con las respectivas zonas microestructurales.

4.2.5 Validación del primer *annulus*

a) *Estadísticas generales y reproducibilidad*

Un total de 240 muestras fueron seleccionadas para montaje y preparación de análisis microestructural, de las cuales 147 mostraron suficiente resolución después del pulido, para obtener una secuencia de microincrementos primarios desde el primordio hasta el borde de los otolitos. Las estadísticas generales de edad en días, para las muestras analizadas para tres años se muestran en la **Tabla 10**. En general los ejemplares procesados fluctuaron entre 13 y 23 cm y entre 125 y 560 días. Un ejercicio de reproducibilidad, efectuado por 8 lectores con diferente grado de experticia en 8 imágenes de calidad media combinadas, evidenció valores de APE entre 7 y 19% con un coeficiente de variación medio de 18% (**Figura 38a**). Cuando se restringió al análisis a 20 imágenes elevada resolución y grado de experticia media y alta los valores de APE fluctuaron entre 1 y 12%, con un CV medio de 5% (**Figura 38b**).

Tabla 10. Estadísticas generales de longitud y edad de las muestras utilizadas en análisis microestructural del jurel.

	Longitud de Horquilla (cm)			Edad (días)			
Año	LH	d.e	Rango	Edad	d.e	Rango	N
2008	18,88	3,35	13 - 23	286,8	105,4	125 - 555	68
2009	18,42	3,05	13 - 23	277,8	99,8	139 - 534	55
2017	17,87	0,58	17 - 19	210,1	21,6	166 - 243	14
Total	18,59	3,06	13 - 23	275,4	99,9	125 - 555	137

b) *Relación talla-Edad*

La relación entre la edad en días y la LH (cm) para el rango de longitud de los ejemplares analizados siguió un patrón alométrico que se ajustó significativamente a un modelo Gompertz, para ambos años (2008 y 2009; **Tabla 11; Figura 39a,b,c;** $p<0,001$) y cuando toda la información fue combinada, incluyendo la información del año 2017. Para este último año ajustó un modelo talla edad por separado, debido a que el rango de longitud de los ejemplares analizados fue muy estrecho. El modelo estimó tasas máximas al punto de inflexión cercanas a 0,5 mm/día, que se alcanzaron entre los primeros 72 y 78 días de vida. Los modelos predijeron una LH de aproximadamente 22 cm para el primer año de vida (**Figura 39**).

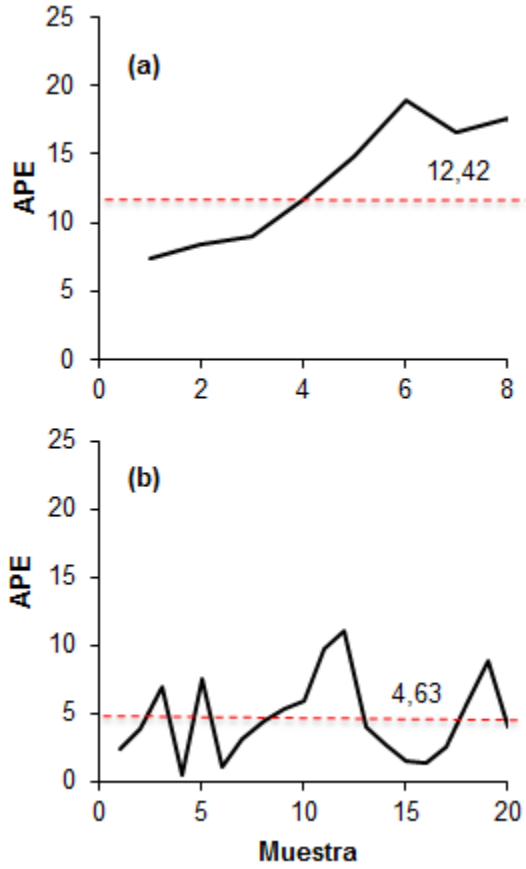


Figura 38. Perfil de reproducibilidad del proceso de estimación de edad a nivel diario en ejemplares de jurel de entre 18 y 23 cm LH, con muestras de otolitos preparadas en posición sagital con resolución media (a) y elevada (b). Las líneas rojas segmentadas representan el valor del IAPE.

Tabla 11. Parámetros estimados a partir del ajuste de modelos Gompertz a la relación edad vs longitud horquilla, para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena. ES: error estándar; LX0: longitud estimada al punto dei inflexión; G: tasa de crecimiento absoluta al punto de inflexión; X_0: edad al punto de inflexión; α: tasa instantánea de crecimiento a X_0; $L\infty$: longitud asintótica. Todos los ajustes fueron significativos ($p<0,001$).

Año	Parámetro	Estimado ± ES	Inferior	Superior	LX_0	G
2008	$L\infty$	23,381 ± 0,834	21,708	25,055	8,60	0,461
	α	0,008 ± 0,002	0,005	0,011		
	X_0	71,972 ± 12,832	46,222	97,722		
2009	$L\infty$	24,206 ± 0,629	22,949	25,463	8,90	0,486
	α	0,008 ± 0,001	0,006	0,01		
	X_0	78,573 ± 7,773	63,05	94,097		
Global	$L\infty$	23,678 ± 0,483	22,722	24,634	8,71	0,464
	α	0,008 ± 0,001	0,006	0,01		
	X_0	72,195 ± 7,338	57,682	86,707		

c) *Relación Edad vs radio*

La existencia de discontinuidades, transiciones y DSC no permitió efectuar un registro observado confiable del radio medio aritmético al primer año de vida, a través de un único eje de medición en la sub-muestra de ejemplares procesados para análisis microestructural. En muchas ocasiones las lecturas se efectuaron de forma zigzagueante para evitar las perturbaciones; y en consecuencia la aproximación más confiable para determinar el tiempo de formación del primer *annulus* fue a través de modelación. El mejor modelo que se ajustó significativamente ($p<0,001$) a la relación curvilínea entre la edad (días) y el radio caudal (mm) fue el logarítmico, tanto en para la información combinada de los tres años, como para los ajustes individualizados por año (**Tabla 12**) (**Figura 40**). Los modelos estimaron un radio medio al primer año de vida de 3,1; 3,0 y 3,1 mm para el enfoque global, año 2008 y 2009, respectivamente.

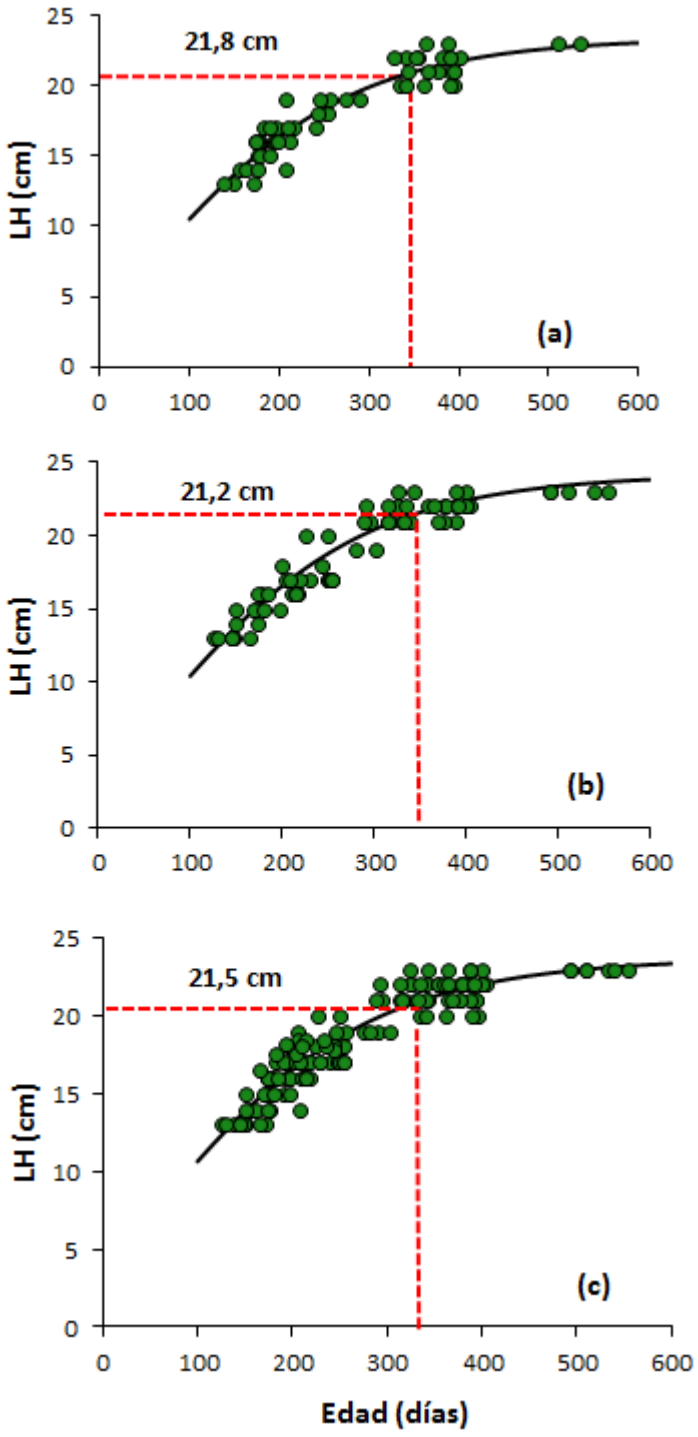


Figura 39. Modelos Gompertz ajustados a la relación edad vs longitud horquilla para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena. Las líneas rojas segmentadas ilustran la longitud media estimada por la función para el primer año de vida, para el año 2008 (a), año 2009 (b) y cuando toda la información fue combinada (c), en función de los coeficientes reportados en la **Tabla 11**.

Tabla 12. Parámetros estimados e información estadística asociada al ajuste de funciones logarítmicas y exponenciales entre la edad y el tamaño del otolito (a) respectivamente, para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena. ES: 1 error estándar; LI: Límite inferior; LS: límite superior; F: Estadístico F-fisher; GL: Grados de libertad; AIC: criterio de Akaike.

Modelo	*Año*	*Parámetro*	*Estimado*	±	*ES*	*LI*	*LS*	*F*	*GL*	*AIC*
Edad vs Radio	2008	α	-4,00	±	0,34	-4,68	-3,32	391,58	(1,65)	-28,83
		β	1,21	±	0,06	1,09	1,33			
	2009	α	-2,96	±	0,40	-3,78	-2,15	196,45	(1,38)	-23,17
		β	1,01	±	0,07	0,86	1,15			
	Global	α	-3,36	±	0,28	-3,92	-2,80	466,54	(1,115)	-43,06
		β	1,09	±	0,05	0,99	1,19			
Radio vs Edad	2008	α	43,16	±	1,10	35,59	52,30	372,78	(1,65)	-61,50
		β	1,84	±	0,10	1,65	2,03			
	2009	α	29,02	±	1,17	20,97	40,17	196,45	(1,38)	-30,91
		β	0,83	±	0,06	0,71	0,95			
	Global	α	35,62	±	1,10	29,61	42,86	466,54	(1,115)	-89,00
		β	0,74	±	0,03	0,67	0,80			

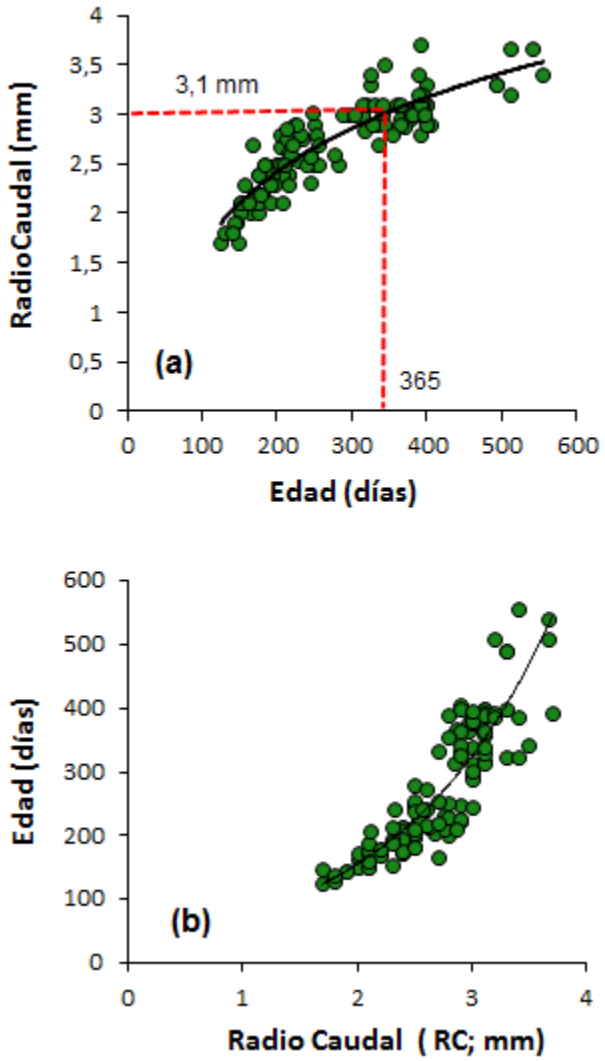


Figura 40. Relaciones logarítmicas y exponenciales entre la edad y el tamaño del otolito (a) y su función inversa (b), respectivamente, para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena. Las líneas rojas segmentadas ilustran el radio caudal estimado por la función para el primer año de vida, cuando toda la información fue combinada.

d) ***Edad diaria vs Edad anual***

La relación edad anual vs edad diaria fue evaluada cruzando la información derivada del análisis de la microestructura de los otolitos y aquella deriva de la lectura tradicional efectuada por el Instituto de Fomento Pesquero, y disponibles para las bases de datos del año 2008 y 2009, incluyendo también la información de lecturas efectuadas durante el desarrollo del presente proyecto para el año 2017, con el fin de desarrollar un enfoque combinado. La relación entre ambos enfoques (anual vs diario) se ajustó significativamente a modelos lineales, para cada año y para la información combinada (**Tabla 13; Figura 41a-c**), donde un análisis de covarianza no evidenció diferencias en la pendiente entre los modelos entre ambos años (ANCOVA $F_{1,118}$=0,24; p=0,652). Los modelos predijeron edades diarias que no tuvieron una correspondencia equivalente a ninguna de las tres edades anuales analizadas (**Figura 41abc**).

Tabla 13. Parámetros estimados a partir de modelos lineales de la relación entre la edad anual vs la edad diaria, para ejemplares de entre 13 y 23 cm de LH del jurel recolectados en la costa chilena.

Año	*a* ± *es*	*b* ± *es*	*F*	*Gl*	R^2	P
2008	85,60 ± 20,67	103,34 ± 9,83	110,43	(1-65)	0,63	p<0,001
2009	85,96 ± 19,50	109,90 ± 10,28	114,40	(1-53)	0,68	p<0,001
Global	91,19 ± 13,20	102,83 ± 6,72	234,35	(1-131)	0,64	p<0,001

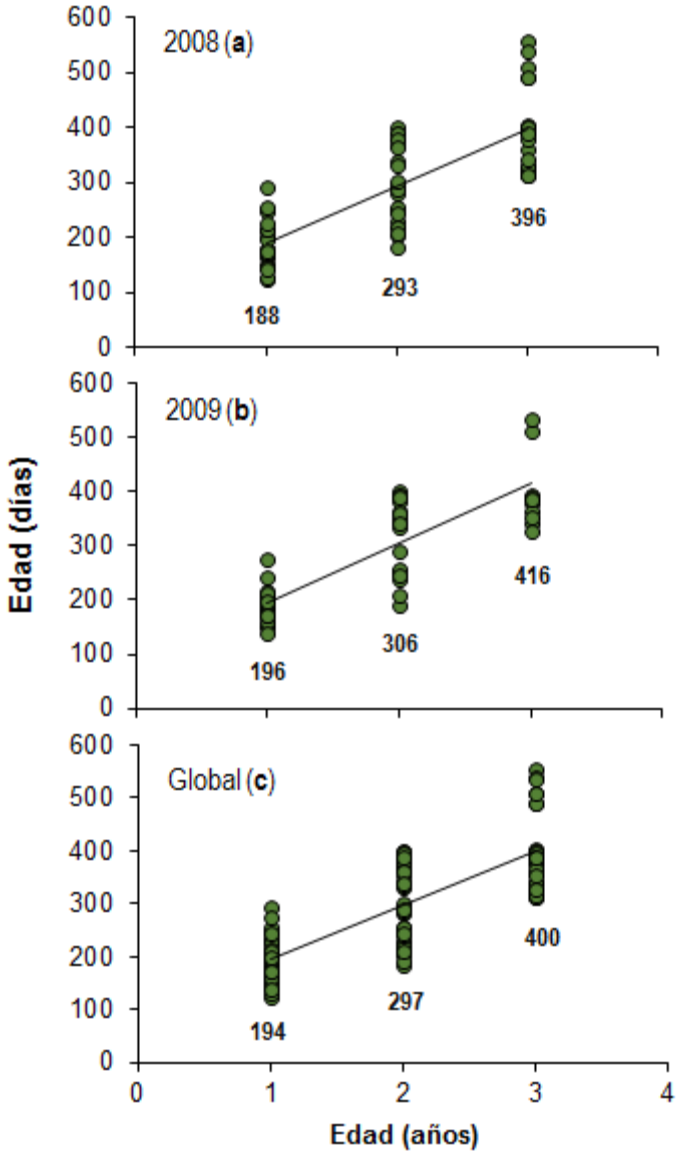


Figura 41. Relaciones lineales entre la edad anual, obtenidas por lectura tradicional y edad diaria obtenida por análisis de la microestructura de otolitos *sagittae* de ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel, para cada año y para la información combinada. Los números debajo de los valores observados representan el número de días promedio predicho por el modelo a la formación de cada *annulus* identificado macroscópicamente.

e) *Edad de formación de bandas translúcidas*

La edad a la formación de las bandas translúcidas, usadas como *annuli* en la lectura tradicional de este recurso fueron estimadas para el año 2009, donde se registraron los radios con mayor confiabilidad usando imágenes digitales. Se utilizó el modelo exponencial entre el radio caudal y la

edad (**Figura 40b**) ajustado para el mismo año (ver **Tabla 12**). Las estimaciones demostraron que la edad de formación fue variable, pero siguió un proceso de progresión modal significativo con el crecimiento (**Figura 42abc** ANOVA $F_{1,210}$= 211,82; p<0,001), aunque se detectó una aparente superposición en la edad de formación entre la segunda y tercera banda translúcida.

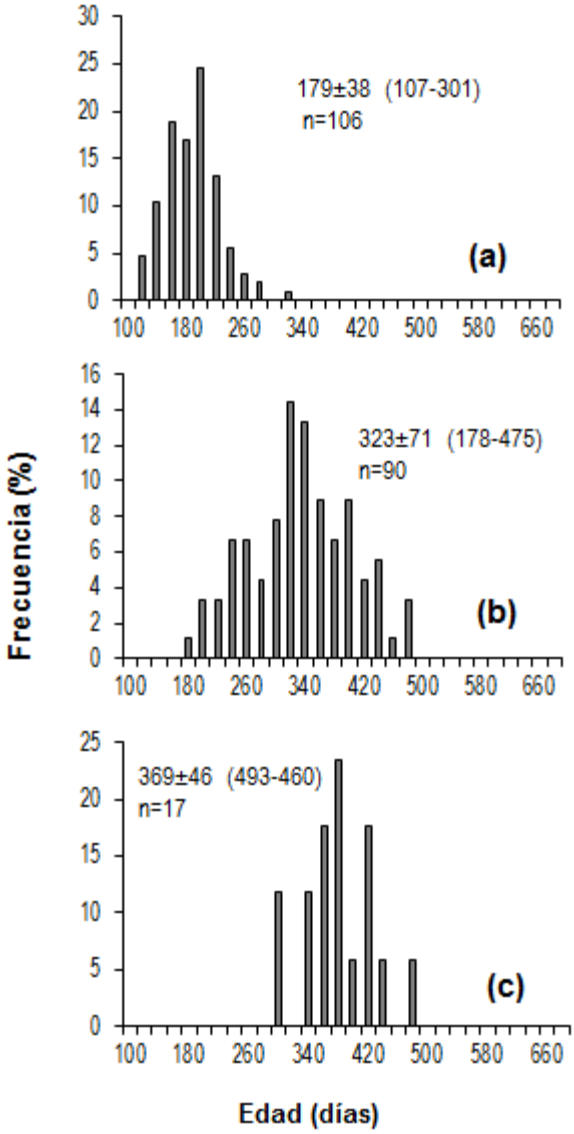


Figura 42. Estimación de la edad de culminación del depósito de la primera (a), segunda (b) y tercera (c) banda translúcida para ejemplares < 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena, durante el año 2009, a partir de un modelo exponencial global radio vs edad.

4.3 Objetivo específico 2.2.3: Caracterizar el crecimiento diario, determinar fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida.

4.3.1 Análisis del peso del otolito en función de la longitud de los individuos menores a un año

En la **Figura 43** se presentan los pesos de 79 de los 126 otolitos analizados microestructuralmente, donde se observa una relación lineal (r^2=0,95) entre la longitud del pez y el peso del otolito.

A partir de los mismos pesos de los otolitos (mg) se procedió a determinar la edad de los peces (días) (**Figura 44**). La relación entre las variables es de tipo lineal, con una alta correspondencia entre ellas (r^2=0,95).

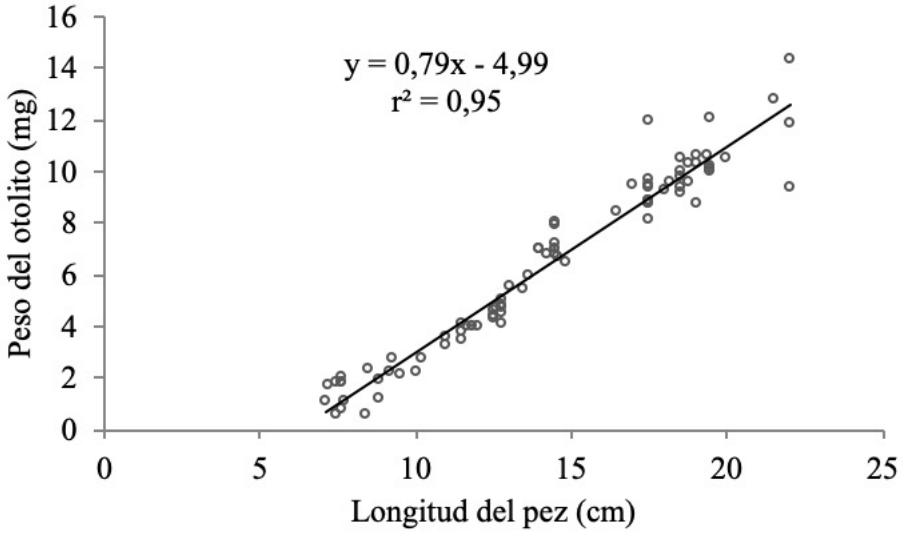


Figura 43. Regresión lineal entre la LH (cm) y peso de su otolito (mg), n=79.

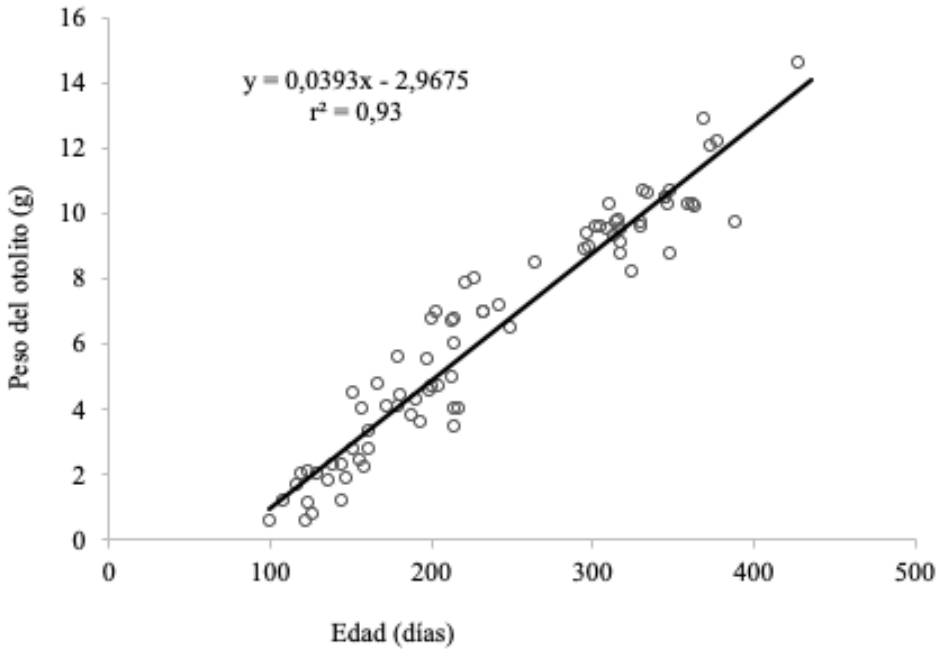


Figura 44. Regresión lineal entre la edad del pez (días) y peso de su otolito (g), n=79.

4.3.2 Preparación de las secciones delgadas

De acuerdo con lo comprometido se analizó 126 otolitos de los 153 recolectados; esto porque se seleccionó las muestras que presentaron mejor calidad para la observación de la microestructura. Todos los otolitos fueron fijados y pulidos en posición sagital, logrando muestras de muy buena calidad donde se pudo observar la microestructura desde el primordio hasta el borde del postrostrum (**Figura 45, Figura 46**).

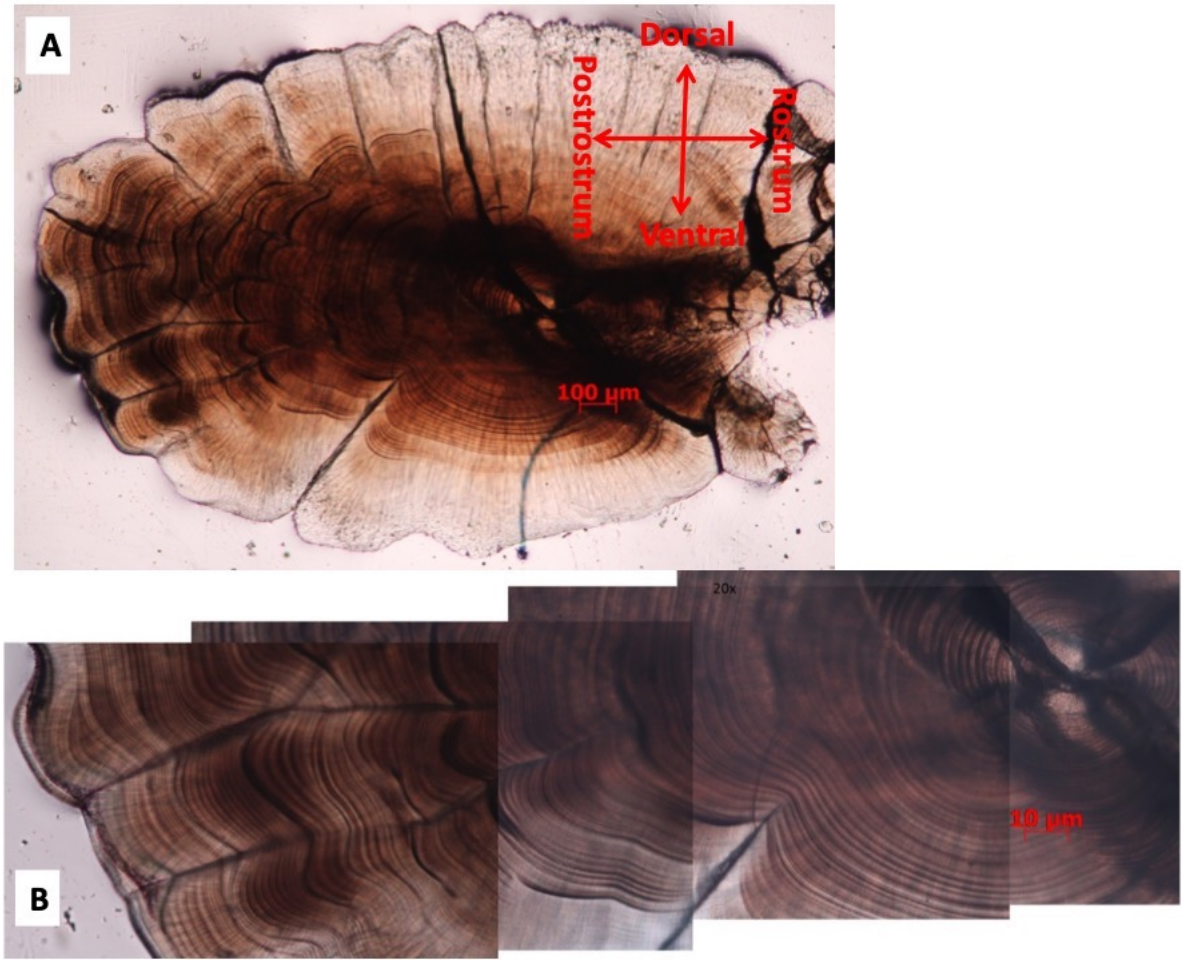


Figura 45. Microestructura de un otolito de jurel de 8,6 cm LH, visto bajo microscopio óptico. (A) corresponde a aumento 5X, (B) corresponde a aumento de 20X.

4.3.3 Análisis de la precisión de las lecturas de microincrementos diarios

El análisis de reproducibilidad de las lecturas de los microincrementos arrojó que la variabilidad entre los lectores está entre 1 y 7,9 % y el APE total es igual a 4,48 (**Tabla 14**).

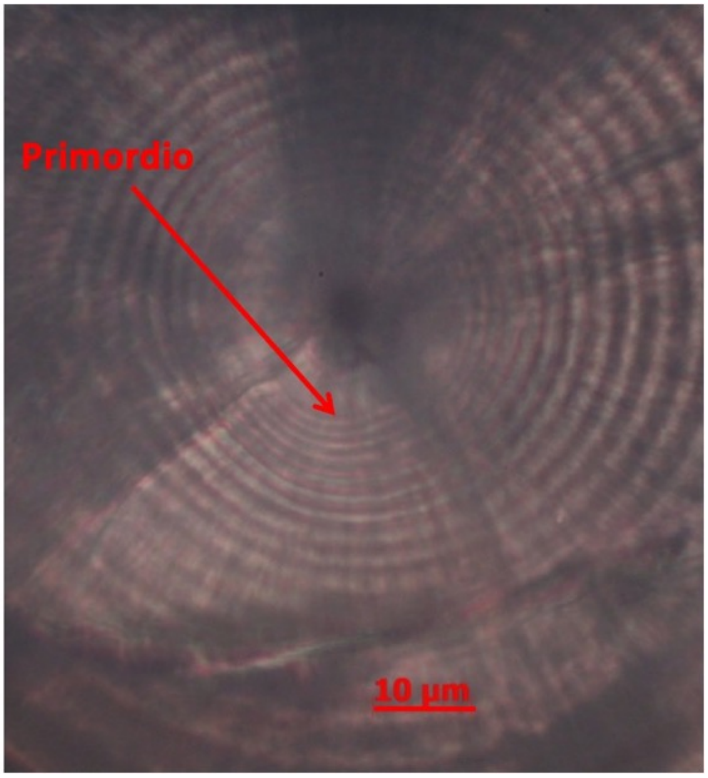


Figura 46. Otolito de jurel de 10,5 cm LH visto bajo microscopio óptico a 100X, se observa el primordio y los primeros microanillos post eclosión.

Tabla 14. Cálculo del error porcentual promedio (APE) para las lecturas de los microincrementos en otolitos de jurel, lecturas realizadas dos veces y por dos lectores LC y ES. ID=identificación de la muestra, Prom: promedio; DE: desviación estándar; CV: % coeficiente de variación.

ID	LC	ES	Prom.	DE	LC	ES	Prom.	APE	CV
A-109	124	137	130,5	9,19	0,05	0,05	0,05	4,98	7,04
T-76	99	101	100	1,41	0,01	0,01	0,01	1	1,41
A-107	159	164	161,5	3,54	0,02	0,02	0,02	1,55	2,19
A-134	121	138	129,5	12,02	0,07	0,07	0,07	6,56	9,28
T-102	158	174	166	11,31	0,05	0,05	0,05	4,82	6,82
T-64	210	245	227,5	24,75	0,08	0,08	0,08	7,69	10,88
T-89	131	149	140	12,73	0,06	0,06	0,06	6,43	9,09
T-83	130	141	135,5	7,78	0,04	0,04	0,04	4,06	5,74
T-75	100	112	106	8,49	0,06	0,06	0,06	5,66	8
A-108	139	151	145	8,49	0,04	0,04	0,04	4,14	5,85
A-106	151	163	157	8,49	0,04	0,04	0,04	3,82	5,4
A-124	143	151	147	5,66	0,03	0,03	0,03	2,72	3,85
A-133	138	152	145	9,9	0,05	0,05	0,05	4,83	6,83

4.3.4 Asignación de fecha de nacimiento

A partir de la diferencia entre la fecha de captura y el número de microincrementos contados, se determinó que los individuos analizados nacieron entre los meses de agosto y enero, con una mayor frecuencia en los meses de octubre y noviembre (**Figura 47**, **Tabla 15**). Los resultados concuerdan con los altos valores del índice gónado somático (IGS) registrados para el mismo periodo en la zona norte de Chile (**Figura 48**).

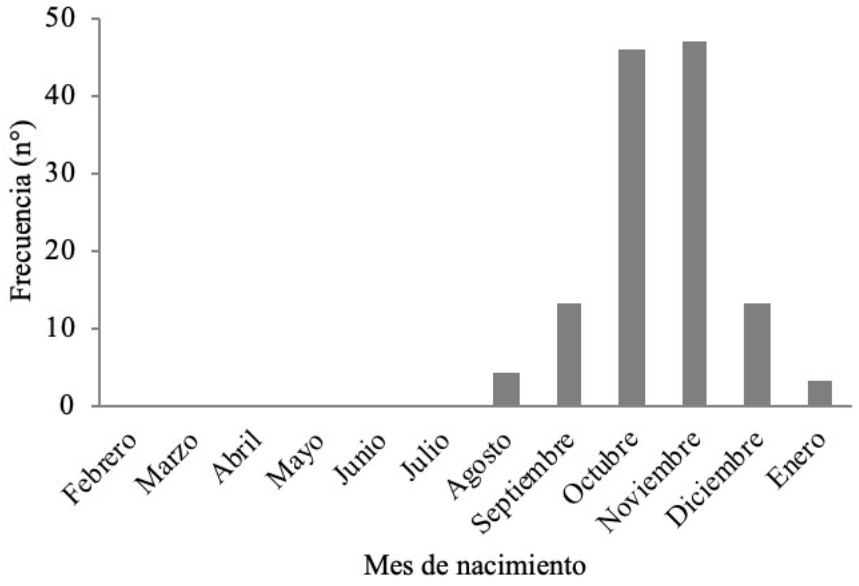


Figura 47. Distribución de frecuencia de individuos, respecto a su fecha de nacimiento determinada a partir de lectura de microincrementos diarios. Los años de nacimiento corresponden a 2016, 2017 y 2018.

Tabla 15. Mes y año de nacimiento de los individuos analizados, determinado a partir del análisis microestructural de los otolitos y sus respectivas tallas al momento de la captura.

Longitud Minima	Longitud Máxima	Mes de Nacimiento	Año de Nacimiento	n
9	12	Enero	2018	3
7,1	22	Agosto-Diciembre	2017	121
22	22,5	Diciembre	2016	2

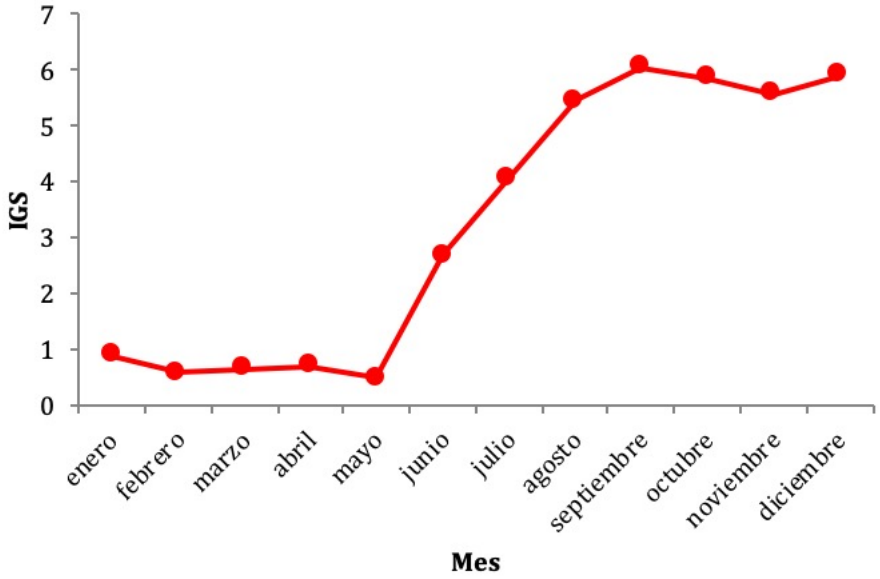


Figura 48. Promedio del IGS determinado para jurel en la zona norte de Chile. Entre los meses de enero y diciembre de 2017. Los mayores valores de IGS se registraron entre los meses de septiembre y diciembre.

4.3.5 Estimación de la tasa de crecimiento del otolito

Se realizó un análisis del grosor de los microincrementos ya validados en el objetivo específico 1, describiendo el ancho del microincremento en función del radio del otolito (distancia desde el primordio hacia el postrostrum); para este análisis se utilizó el 90% (n=113) del total de la muestra (n=126) de jureles capturados en la zona norte, esto debido a que en algunos otolitos no fue posible observar los microincrementos en dirección al eje postrostral. La **Figura 49** muestra el grosor promedio de los microincrementos a una distancia desde el centro, con sus respectivas desviaciones. El modelo ajustado a las observaciones es presentado en la **Figura 50**, donde la tasa de crecimiento del otolito es alcanzada entre los 500 y 900 µm desde el primordio. El modelo de Deriso ajustado a los datos observados presentó alta significancia ($p < 2e\text{-}16$) para los tres parámetros estimados (a, b y c) (**Tabla 16**).

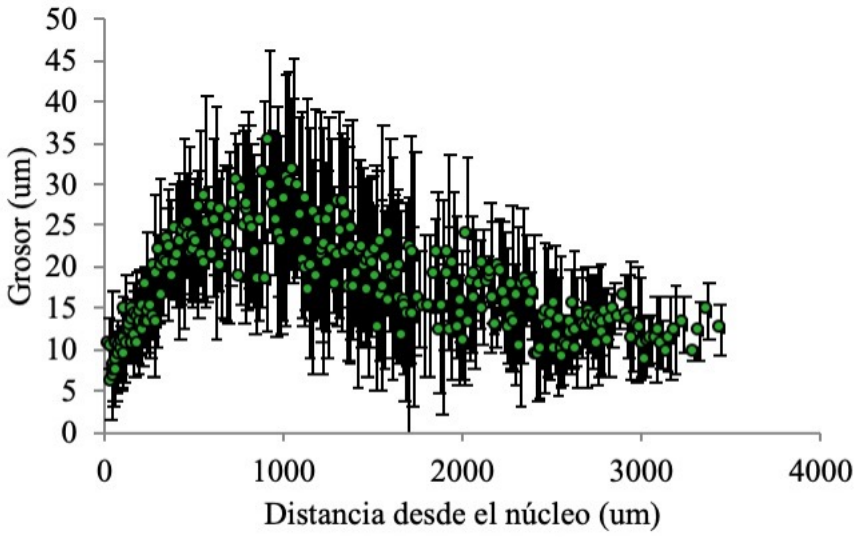


Figura 49. Relación entre el grosor promedio del microincremento (um) con la distancia de este al centro del otolito. Las barras corresponden a la desviación estándar.

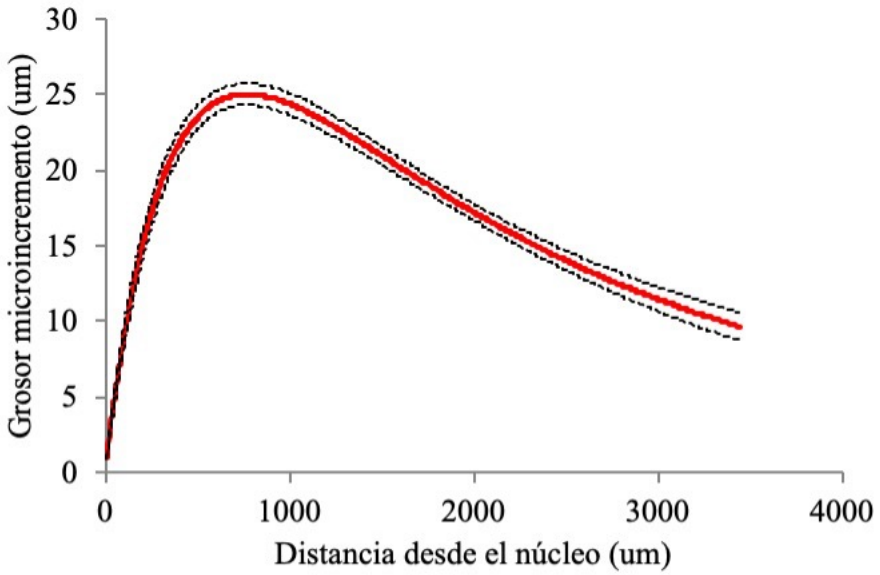


Figura 50. Ajuste del modelo que explica la tasa de crecimiento del otolito de jurel en función de la distancia del centro del otolito. Línea roja= modelo ajustado, línea negra limites superior e inferior de error.

Tabla 16. Parámetros de la tasa de crecimiento de los otolitos de jurel.

Parámetro	Estimado	Error estandar	valor-t	Probabilidad	Significancia
a	0,10	0,01	20,13	<2e-16	***
b	0,00	0,00	14,44	<2e-16	***
c	-0,27	0,03	-8,39	<2e-16	***

4.3.6 Estimación de las tasas de crecimiento de jureles juveniles

A partir de las lecturas de los microincrementos, se procedió a estimar la edad de los individuos en días y ajustar un modelo que describiera mejor el crecimiento individual de esta especie (**Figura 51**). En la **Tabla 17** se presenta los cuatro modelos ajustados, siendo el modelo de von Bertalanffy General el que presentó más error en la estimación de sus parámetros, mientras que los modelos con mejor ajuste fueron el modelo lineal y Gompertz, los que presentaron alta significancia en los parámetros estimados ($p < 2e\text{-}16$). El modelo de von Bertalanffy estacional presentó inconvenientes para ajustarse a los datos observados, en consecuencia, se debió fijar el parámetro L_∞ a fin de poder estimar los cuatro parámetros restantes. En cuanto al mejor modelo, el AIC estimado para von Bertalanffy presenta un menor valor (AIC=338,1), pero no fue considerado ya que sus parámetros no fueron significativos.

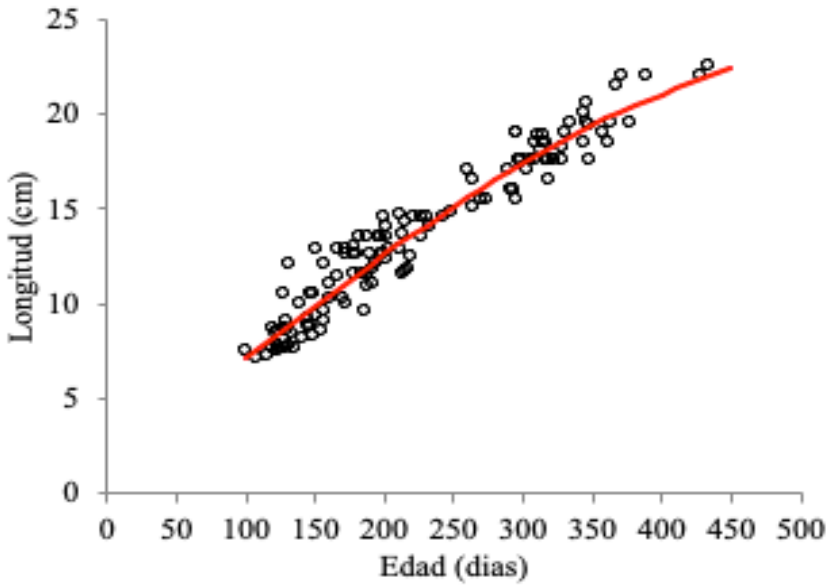


Figura 51. Relación longitud y edad para jureles juveniles de la zona norte de Chile. Los puntos negros corresponden a las observaciones y las línea roja es el ajuste del modelo de Gompertz (n=126).

Tabla 17. Parámetros de crecimiento individual en jurel de la zona norte, estimados a partir de la lectura de microincrementos diarios.

Modelo	Parámetro	Estimado	Error est.	valor-t	Valor p	Significancia	AIC
Gompertz	Y_∞	27,38	2,15	12,71	<2E-16	***	
	G	0,0054	0,0007	7,57	7,50E-12	***	
	tp	154	14,4	10,71	<2E-16	***	381,3
Lineal	Intercepto	3,23	0,34	9,39	1,12E-15	***	
	edad	0,05	0	33,78	<2E-16	***	339
von Bertalanffy	Y_∞	47,52	20,68	2,3	0,024	*	
	K	0,52	0,33	1,59	0,1158		
	t_0	-0,05	0,07	-0,72	0,471		338,1
Estacional	Y_∞	25					
	K	1,98	0,2	9,74	<2E-16	***	
	t_0	0,14	0,04	3,72	0,0003	***	
	C	-0,35	0,11	-3,12	0,0024	**	
	t_s	-1,48	0,05	31,44	<2E-16	***	340

Para comparar las tasas de crecimiento en longitud de la zona centro sur, se ajustó el modelo de Gompertz, modelo que presentó alta significancia en todos los parámetros estimados previamente para los individuos juveniles analizados de la zona norte (**Figura 52**). Las estimaciones de los parámetros G y *tp* con sus respectivas desviaciones y significancia son presentadas en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Estimación de parámetros de crecimiento del modelo de Gompertz para jureles juveniles de la zona centro sur de Chile.

Modelo	Parámetro	Estimado	Error est.	valor-t	Valor p	Significancia
Gompertz	Y_∞	21,6	2,08	10,41	3,19E-14	***
	G	0,0054	0,0014	3,79	4,00E-04	***
	tp	287,3	14,67	19,59	<2E-16	***

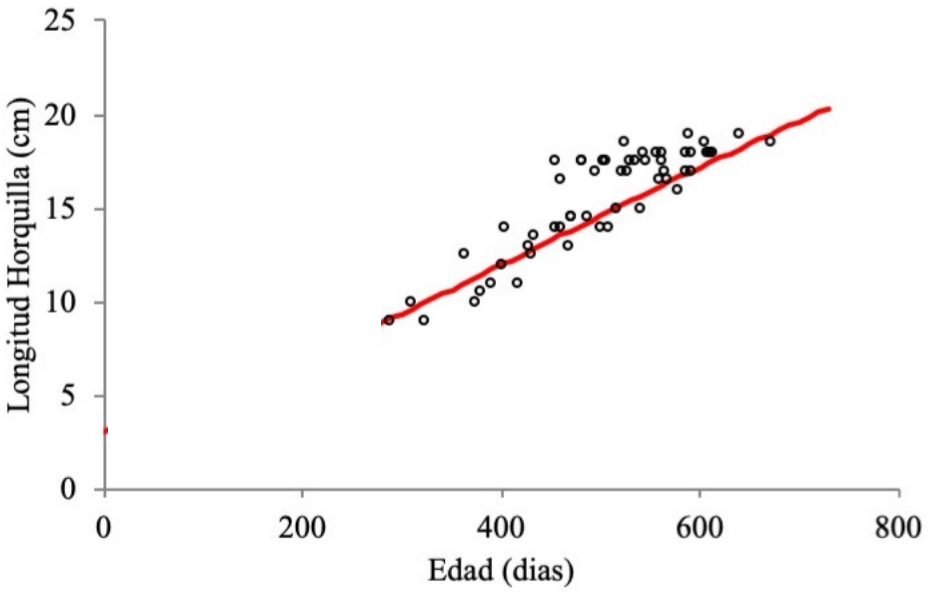


Figura 52. Relación longitud (cm) y edad (días) para jureles juveniles de la zona centro-sur de Chile. Los puntos negros corresponden a las observaciones y la línea roja es el ajuste del modelo de Gompertz (n=55).

4.3.7 Comparación del crecimiento en longitud para jureles juveniles capturados en la zona norte y centro sur de Chile

Para comparar del crecimiento en longitud entre jureles juveniles de las zonas norte y sur de Chile, se comparó la longitud a la edad determinada a partir del modelo de Gompertz. El análisis de varianza arrojó diferencias significativas ($p<5,5e-19$) entre las longitudes a la edad entre las dos zonas (**Tabla 19**).

Tabla 19. Análisis de varianza longitud a la edad estimada a partir de los parámetros de crecimiento del modelo de Gompertz entre las zonas norte y sur de Chile.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2212,5	1	2212,5	105,7	5,5E-19	3,9
Dentro de los grupos	3057,4	146	20,9			
Total	5269,9	147				

4.3.8 Estimación de la edad de reclutamiento

De acuerdo al modelo ajustado para jureles de la zona norte de Chile (4.3.6), donde se determinó que la longitud horquilla al año de vida corresponde a 19,8 cm. De acuerdo a estos resultados, el reclutamiento de esta especie ocurriría entre el primer y segundo año de vida, ya que de acuerdo a la longitud de reclutamiento descrita por varios autores (ver **Tabla 20**) los jureles reclutan a longitudes que varían entre los 16 y 25 cm.

Tabla 20. Determinaciones de longitud y edades de reclutamiento de *T. murphyi* por diferentes autores

Referencia	Longitud reclutamiento	Edad Reclutamiento
Gretchina, 1998	>16 cm	2 a 3
ORP, 2007	<25 cm	3 a 4
Vasquez, 2013	<25 cm	2 a 3
Este estudio	≈ 20cm	1 a 2

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos en el primer experimento de marcaje con OTC, es decir, después de observar las muestras, en diferentes microscopio y con diferentes filtros el grupo de trabajo descarta que los equipos de observación (filtro) no fueran los adecuados, pudiendo explicado por: a) el tiempo que los jureles estuvieron inmersos en la solución, es decir, haberlos mantenido por 12 horas y no 6, o bien que b) la concentración de la OTC no fue la correcta; a pesar de seguir los protocolos indicado en la literatura. Se optó por no inyectar ya que se consideró que los individuos eran muy pequeños y la mortalidad por inyección podría ser alta (Wright *et al.* 2002b).

La zona translúcida de los otolitos, observada bajo lupa, puede ser producto del estrés postcaptura y marcaje de los ejemplares, en este sentido se ha informado que el estrés de cautiverio lleva a cambios en la estructura de los otolitos formando discontinuidades, los cuales son marcas más delgadas y regulares (Pannella 1980, Geffen 1992, Panfili y Tomas 2001). Marcas de estrés por manipulación se han encontrado, en *Oreochromis niloticus* (Panfili y Tomas 2001) y en *Etropus crossotus* (Reichert *et al.* 2000).

Con el segundo experimento marcando con alizarina los otolitos de jureles juveniles, se pudo obtener con basta confiabilidad al menos la primera marca, sin necesidad de poder observarla con microscopio de fluorecencia, siendo esto muy alentador para futuros experimentos de marcación de otolitos. Esto ya ha sido señalado en otras especies en que ha sido posible realizar más de dos marcas con alizarina en ejemplare de tamaños pequeños (Liu *et al.* 2009).

La segunda marca, a pesar de no tomar el color fucsia como la primera, fue visible y permitió contar el número de microincrementos primarios entre marcas del otolito. El número de microincremetos coincidió con el número de días transcurrido entre los dos eventos de marcaje de los peces en cautiverio. La apariencia de las marcas podría estar asociada también al proceso de estrés al que fueron sometidos los ejemplares al momento de sumergirlos en la alizarina. Se ha informado que las características de ancho y contraste de los microincrementos puede ser afectado por las condiciones de cultivo no afectando el número de estos (Moksness *et al.* 1995, Massou *et al*. 2002). Incluso, cuando se priva de alimento se forman microincrementos siendo estos más pequeños (Campana y Neilson 1985). Payan *et al.* (2004) también encuentran que individuos en *Oncorhynchus mykiss* el estrés produce una zona-D más amplia. La zona con respecto al centro del otolito, donde se contabilizaron los microincremento para la validación, correspondería al inicio de la zona C de la **Figura 37a**.

El número promedio entre las marcas confirma que los microincrementos formados en los otolitos de jurel de 10 cm LH promedio, son de naturaleza diaria, los resultados obtenidos están de acuerdo con los encontrados por Araya *et al*. (2003) en la misma especie y con individuos entre 28,4 y 37,7 cm LH.

Durante el desarrollo del enfoque de validación del tiempo de formación del primer *annulus* mediante análisis microestructural de otolitos *sagittae* del jurel en ejemplares < 23 cm LH, se evidenciaron los siguientes hallazgos principales (i) presencia de microincrementos diarios depositados de forma continua y secuencial desde el primordio hasta el borde de los otolitos; (ii) relaciones edad vs talla y edad vs radio caudal tipo curvilíneas para el rango de longitud de ejemplares analizados (13-23 cm LH); (iii) existencia de tres zonas microestructurales características; (iv) existencia de CSC; y (v) gran ocurrencia de discontinuidades de diferentes modalidades. A continuación, se discutirán algunos elementos asociados a estos hallazgos.

La presencia de secuencias de microincrementos diarios resolubles en los ejemplares de hasta 23 cm LH, confirman los resultados de Cerna *et al.* (2016), donde se reportaron hallazgos similares, usando el mismo criterio de lectura validado para el jurel en el presente proyecto. Estos autores estimaron una talla media de ~22 cm LH para el primer año de vida mediante un ajuste de un modelo Gompertz. En el presente estudio las estimaciones de longitudes media al primer año de vida estuvieron muy cercanas a dichas estimaciones (~22 cm LH), pero fueron mayores a la reportada por Goicochea *et al*. (2013) quienes estimaron una talla media de 17,7 cm LH para el primer año de vida, en la zona de Perú, usando también lectura de microincrementos diarios. Sin embargo, estos estudios no pueden ser comparables, sin antes verificar que hayan usado el mismo criterio de identificación de microincrementos diarios.

Los resultados de Cerna *et al.* (2016), sumados a los del presente estudio, respaldan el nuevo paradigma de crecimiento rápido del jurel en aguas chilenas, donde alcanzaría longitudes cercanas a las estimaciones de su ojiva media de madurez (Leal *et al*. 2013), al finalizar su primer año de vida. Es importante destacar, que los resultados para esta especie se alinean bien con los resultados de crecimiento rápido para la anchoveta *E. ringens* en la zona norte de Chile (Plaza y Cerna 2015, Cerna y Plaza 2016, Plaza *et al*. 2018), donde parece ser indicativo de que especies pelágicas tienden a crecer aceleradamente durante el primer año de vida, presumiblemente como resultado de co-habitar en un ecosistema de alta productividad (Thiel *et al*. 2007). Es importante destacar, que gran parte del crecimiento del primer año de vida, para el caso del jurel pareciera concentrarse durante los primeros 3-4 meses, debido a que el grosor del microincrementos fue muy elevado en dicho periodo. Sin

embargo, es importante destacar que esta magnitud puede estar algo sobre-estimada debido a la existencia de CSC.

Entre tres y cinco CSC fueron visibles en cada uno de otolitos *sagittae* analizados, los cuales se formaron principalmente en dirección rostral, caudal y ventral respectivamente. Estas estructuras otorgaron una delimitación natural entre una primera zona microestructural formada durante la fase presumiblemente larval y la segunda zona de mayor crecimiento. Es importante destacar, que los CSC han sido reportadas en varias especies y en diferentes hábitats (Campana y Nielson 1985, Gartner 1991, Sogard 1991, Hare y Cowen 1991, Buratti y Santos 2010, Joh *et al*. 2005), así como también para una especie emparentada, como es el caso del jurel japonés *Trachurus japonicus* (Xie *et al*. 2005). Aunque no existe una evidencia científica definitiva que explique las causas de la formación de estas estructuras en las fases tempranas de peces teleósteos, se cree que pueden formarse cuando ocurren cambios de hábitats (Campana 1984, Sogard 1991) y/o cuando las especies desarrollan cambios ontogenéticos asociados a modificaciones en la dieta (Marks y Conover 1993). Alternativamente se ha propuesto que los CSC aparecen en los otolitos cuando ocurren cambios fisiológicos asociados a la metamorfosis, los que pueden generar un cambio morfológico que modifique el volumen de las cápsulas óticas y consecuentemente generar un cambio en el eje de crecimiento del otolito (Hare y Cowen 1994). En el caso del jurel no existen estudios de alimentación en juveniles tempranos, pero se deduce que debiesen ser principalmente zooplanctófagos, como en especies emparentadas (Deudero y Morales-Nin 2001, Xie *et al*. 2005). Adicionalmente, se pudo evidenciar que la aparición de los CSC en jurel estuvo asociada a un incremento sustantivo en el crecimiento del otolito, por lo que no se puede inferir que estas estructuras pudiesen estar asociadas a un cambio de dieta, en vez de un cambio de hábitat, debido que es una especie pelágica. Para poner a prueba esta inferencia se debe efectuar un estudio comparativo de alimentación en las fases larvales y juvenil temprana de esta especie, incorporando también un análisis de otro par de otolitos (*e.g*. *lapilli*), a fin de verificar que los CSC no sean una mera exclusividad del otolito sagital de mayor tamaño.

El elevado crecimiento en la segunda fase (zona B) contrastó con la reducción marcada del crecimiento del otolito a partir de aproximadamente el tercer y cuarto mes de vida, a partir de cual el grosor de los microincrementos diarios fluctuó alrededor de 4 micrones, con oscilaciones en función del tipo depósito (opaco vs translúcido) (Zona C). En esta zona un hallazgo claramente distintivo fue la presencia de una gran cantidad de perturbaciones de mayor extensión, que a nivel microestructural se observaron como una grieta profunda entre la secuencia de microincrementos y que macroscópicamente aparecieron como una secuencia de bandas opacas y translúcidas muy finas. Este

patrón fue más marcado en algunos tipos de otolitos, donde la identificación macroscópica de las bandas translúcidas y opacas tradicionales (estacionales) se hizo muy inconsistente. Por ejemplo, hasta la fecha este tipo de depósito macróscopico ha sido reportado en varias de especies, principalmente para el primer y segundo año de vida y han sido tipificadas como anillos falsos (Wysokinski 1982, Meekan *et al.* 1999, Albert *et al*. 2009), que se forman cuando hay una pausa temporal en el crecimiento del pez (Snow y Long 2016, Snow *et al*. 2018). Por lo tanto, una pregunta inmediata que surge es ¿Qué factor podría ser responsable de este tipo tan singular de detenciones reiteradas en el crecimiento en algunos ejemplares del jurel en condiciones naturales? ¿Es la regla o es la excepción en esta especie? Para responder a estas interrogantes es fundamental que se efectúe un intento por caracterizar y cuantificar la ocurrencia de estas estructuras a nivel macro-estructural, en una escala temporal y espacial bien amplia, con el fin de evaluar su nivel de ocurrencia y sus potenciales aplicaciones.

A nivel microestructural las discontinuidades mayores (anillos falsos), no parecieron interrumpir la secuencia de microincrementos, a pesar de la notoria reducción del crecimiento somático hacia el término del primer año de vida, que fue evidente debido a la existencia de patrones curvilíneos en las relaciones edad-radio y edad-longitud. Es importante destacar que la relación entre el tamaño del otolito y el tamaño de los peces, para el rango de ejemplares analizados es lineal para esta especie (Cerna *et al*. 2016) y para otra especie de carángido también (Xie *et al*. 2005), lo que es indicativo de la existencia de una proporcionalidad entre el crecimiento somático y el crecimiento del otolito. Dicha característica ontogenética se alinea bien con lo reportado también para la etapa juvenil en otras especies (Jenkins *et al*. 1993, Dickey *et al*. 1997, Reichert *et al*. 2000, Plaza *et al*. 2005) y puede explicar la consistencia en los patrones curvilíneos en su relación con la edad para ambas variables encontrados en el presente estudio. Otro elemento a favor de la confiabilidad en la estimación de edad a nivel diario, fue el hecho de que los microincrementos fueron claramente visibles en los bordes caudales en otolitos que no fueron procesados. Sin embargo, aún bajo estas evidencias no hay que descartar algún grado de sub-estimación de la edad, asociadas a la gran cantidad de perturbaciones.

En el presente estudio quedó demostrado macroscópicamente que existe una primera zona translúcida, que se forma muy tempranamente, después de una fase de crecimiento acelerado, que se inicia aproximadamente a los primeros 100 días y que culmina aproximadamente a los primeros 6 meses. Con certeza esta primera zona translúcida no puede ser considera el primer *annulus* para esta especie, y debe ser obviada en los procesos de estimación de edad para propósitos de evaluación del

recurso. Estos hallazgos confirman los resultados reportados por Cerna *et al*. (2016), quienes, utilizando una metodología similar, reportan que el primer macro-anillo que se le asigna un año de vida, de acuerdo con los criterios de lectura anual, no correspondería al *annulus*, al presentar un número de microincrementos inferior a 200 días.

Por otra parte, la segunda zona translúcida más prominente comenzó a formarse después de un crecimiento opaco menor y se estimó que finalizó su formación en promedio a los 323 días de vida, cuando se utilizó un enfoque de modelación y a aproximadamente los 300 días cuando se cruzó la información observada de edad diaria derivada del análisis microestructural con el registro de *annuli* en la modalidad tradicional. Por su parte, la tercera banda translúcida se terminó de formar en promedio a los 369 y los 416 días de vida, para ambos enfoques respectivamente. Estos tiempos de formación fueron inferiores a los reportados por Cerna *et al.* (2016), quienes reportaron que la segunda y tercera banda se formaron a los 341 y 491 días, respectivamente. En el estudio de Cerna *et al.* (2016) no se reportó si el análisis fue realizado en un año particular o incluyó una mezcla de clases anuales, por lo que fue no posible verificar si ambos estudios son exactamente comparables. No obstante, ambos estudios muestran de forma consistente que la segunda banda se terminó de formar muy cerca del finalizar el primer año de vida y la tercera muy lejos de completar un nuevo ciclo anual.

Para comprender el alcance de estos resultados, es importante subrayar que a nivel microestructural, en la mayoría de los casos el *annulus* comienza a formarse antes de los 365 días, particularmente en especies de crecimiento lento donde los microincrementos en la zona translúcida llegan a ser irresolubles (Waldron 1994, Radtke *et al*. 1985, Waldron y Kerstan 2001, Beckman y Calfee 2014). No obstante, también se han descrito situaciones donde ha sido factible cuantificar más de 365 microincrementos a nivel microestructural sin evidenciar fusión de microincrementos (Iles y Johnson 1962, Waldron y Kerstan 2001). Los resultados del presente estudio y los de Cerna *et al* (2016) parecen confirmar que este patrón aplica también para *T. murphyi*, donde la presencia de microincrementos resolubles en las zonas translúcidas indican que los ejemplares mantienen un crecimiento sustantivo, a pesar de la alometría que se produce al finalizar el primer año de vida.

Por otra parte, es importante destacar que la evidencia reportada en muchas especies ha demostrado que la zona translúcida (*annulus*) está asociada a un periodo de crecimiento lento, que en algunas especies puede estar vinculada al periodo de invierno, pero en otros casos puede ser el resultado del gasto energético asociado al proceso reproductivo que demanda una gran cantidad de energía (Pearson 1999, Satoshi *et al*. 2006). Por consiguiente, es razonable inferir, que cuando la época de desove coincida total o parcialmente con la estación fría, la macro-estructura pudiese tener menor

perturbación, traduciéndose en *annuli* bien marcados y consistentes. Este no pareciera ser el caso del jurel, al menos para aguas chilenas, donde se ha reportado que esta especie desova de forma consistente en una ventana de aproximadamente cuatro meses, con valores máximos actividad reproductiva concentrada entre octubre y diciembre (Arancibia y Cubillos 1993, Gretchina *et al*. 1998, Leal *et al*. 2013). Este desfase puede explicar la existencia de la primera banda translúcida que correspondería a un periodo de crecimiento lento asociado a la estación invernal del año siguiente, separada por una pequeña fracción de depósito opaco, presumiblemente vinculada a las condiciones de mayor productividad del bloom de primavera, para posteriormente formar el primer *annulus* asociado al primer evento de desove en esa misma estación. Por consiguiente, tanto la biología de esta especie como los hallazgos derivados de los análisis microestructurales de los otolitos en el presente estudio y aquellos de Cerna *et al* (2016), son evidencias que respaldan que la segunda banda translúcida, medida en lectura tradicional, corresponde al primer *annulus* en esta especie. La subestimación marginal encontrada en ambos estudios puede estar explicada por la gran cantidad de discontinuidades, que pueden contribuir que algunos microincrementos, no sean identificados adecuadamente durante el proceso de registro de edad a nivel diario.

La mayor subestimación encontrada en el presente estudio en el término de formación de la tercera banda puede ser explicada por dos inferencias: (i) esta banda corresponde al segundo *annulus* pero aparece subestimada porque aún no está completamente formada hasta los 23 cm de LH, límite superior de longitud de los ejemplares analizados en el presente estudio; y/o (ii) esta tercera banda translúcida corresponde a un segundo anillo falso de invierno del siguiente ciclo, lo que sería indicativo que esta especie forma dos anillos translucidos de consistencia similar por año. Los análisis de seguimiento modal de una clase anual fuerte realizado por Cerna *et al.* (2016) está en sincronía con la segunda inferencia. Aunque es esperable que estos dos eventos (invierno frio y desove de primavera) registrados como depósitos separados en los otolitos en las primeras fases de desarrollo se terminen fundiendo en una única banda translúcida en ejemplares más longevos. Por consiguiente, un análisis comparativo entre la macro y microestructura en ejemplares de mayor talla, podría contribuir a determinar a partir de que marca translúcida se debiese comenzar a contar una banda translúcida por año. No obstante, antes de ello es necesario resolver el siguiente aspecto metodológico.

El análisis comparativo entre la macro y de la microestructura de los otolitos *sagittae* de esta especie demostró ser una herramienta efectiva para validar el tiempo de formación del primer *annulus* en esta especie. No obstante, hay espacio para avanzar en afinar la potencialidad de esta aproximación. Por ejemplo, junto con la capacidad de la microestructura para registrar una secuencia casi completa

de microincrementos diarios en ejemplares < 23 cm para *T. murphy*, también fue evidente su capacidad para registrar las perturbaciones, entre las cuales se distinguen los CSC, las discontinuidades y los cambios de fase entre depósito opaco a translúcido. A este se suma el hecho de que el criterio validado en condiciones de confinamiento, demostró la existencia de una gran cantidad de anillos subdiarios, aspecto que también otorga elementos adicionales de perturbación que dificultan la adecuada interpretación de un anillo diario. Esta situación quedó en evidencia por las diferencias en los niveles de reproducibilidad alcanzados, las cuales fueron menores en muestras de calidad media, mejorando sustancialmente en muestras de mayor resolución. Por consiguiente, aún si se han validado los criterios de identificación en condiciones experimentales para esta especie, se hace imprescindible avanzar hacia la integración de información entre distintos laboratorios, para generar protocolos de interpretación e identificación de microincrementos diarios para esta especie, que se traduzcan en catálogos gráficos y colecciones de referencia.

Para responder al tercer objetivo específico, se analizó el total de las muestras comprometidas n=126; los individuos muestreados provenían de las regiones I y II, a pesar de que la oferta técnica comprometió la recolección de muestras de la III y IV regiones. Conseguir ejemplares de las tallas necesarias para los análisis fue muy difícil, ya que estas fueron muy escasas en los desembarques de jurel durante el periodo de muestreo; aun cuando este se amplió hasta el mes de diciembre de 2018. Debido a que parte importante del objetivo 3 solicitaba la comparación entre cohortes de dos zonas de reclutamiento, se optó por utilizar muestras de individuos reclutas y juveniles disponibles en la colección de otolitos del Instituto de Investigación Pesquera y que fueron capturados en la zona centro sur de Chile entre los años 2008 y 2015.

Araya *et al.* (2001) demostraron que existe una importante relación entre el peso del otolito y la longitud de *T. murphyi*. En este informe, logramos obtener el peso de 79 de los 126 otolitos correspondientes a jureles capturados en la zona norte de Chile, los mismos que posteriormente fueron utilizados para el análisis microestructural. El tamaño de muestra fue menor ya que los otolitos del género *Trachurus* en general, presentan un rostrum delgado y alargado, difícil de manipular durante la extracción, más aún cuando los otolitos corresponden a ejemplares juveniles. Por ese motivo, varios otolitos perdieron parte del rostrum y no fue posible obtener el peso total, necesario para este análisis. El ajuste lineal entre la longitud del pez y el peso de otolito presentó una alta relación r^2=0,95, lo que indica que el crecimiento en peso de esta estructura se encuentra altamente asociado al crecimiento en longitud del pez. La edad estimada a partir del peso del otolito, indica que individuos de longitudes superiores a 20 cm tienen poco más de un año de vida. Estos resultados son consistentes con lo

obtenido a partir del análisis de la microestructura de los otolitos de jureles capturados en zona norte. Relaciones entre el peso del otolito y la edad del pez han sido descritas para varias especies de peces, por ejemplo, *Macroronus magellanicus* del sur de Chile (Pino *et al*. 2004); *Trachurus mediterraneus* del mar negro (Kasapoglu y Duzgunes, 2013). Incluso para jurel, Araya *et al*. (2001) y Cisterna (2014), probaron que el peso del otolito es un buen proxy de la edad del pez. El principio que subyace es que el material calcáreo es depositado en el otolito a lo largo de la vida del pez. Por lo tanto, el tamaño como el peso del otolito deben aumentar con el tiempo. El uso del peso del otolito para determinar la edad es mucho más rápido y barato que contar incrementos en otolitos enteros o seccionados, lo que permite reducir considerablemente los costos del análisis de la edad.

El conocimiento de la edad de larvas y de peces juveniles mediante el recuento de microincrementos permite obtener la tasa de crecimiento diario (mm/día), así como la distribución de fechas de nacimiento para los supervivientes de esa población y sus implicaciones en los procesos de reclutamiento (Vásquez *et al*. 2013). En el presente informe se ha determinado que el 100% de los individuos analizados nació entre los meses de agosto y enero; con un pico entre octubre y noviembre que correspondió al 73% de los individuos. Las fechas de nacimiento se sobreponen ampliamente con el periodo de mayor IGS reportado para esta especie, que registra valores más altos entre los meses de septiembre y diciembre. Así también lo demuestran Lange *et al*. (2016), quienes describen la dinámica de los estados de madurez macroscópicos y microscópicos (histológicos), los IGS, la ocurrencia de ovarios con ovocitos atrésicos y/o FPOs, no solamente en 2016, sino también en 2012-2014, indican la presencia del desove activo de jurel desde fines de noviembre hasta fines de diciembre. En estudios anteriores se ha establecido que el período principal de desove de jurel está centrado en noviembre, extendiéndose desde octubre a diciembre (Gretchina *et al.* 1998, Oyarzún *et al.* 1998).

El análisis del grosor de los microincrementos en función del radio del otolito, indicó que la mayor tasa de crecimiento se alcanza cuando el otolito mide entre 500 y 900 μm, estos resultados coinciden con lo ya reportado por Araya *et al.* (2001) para esta especie, quienes estiman la distancia entre 400 y 800 μm. El modelo de Deriso ajustado a las observaciones muestra que el mayor grosor del incremento (25 μm) se alcanza a una distancia de 772 μm del centro del otolito, nuestros resultados discrepan de lo reportado anteriormente por Araya *et al.* (2001), quienes determinan con este mismo modelo un grosor máximo de 14 μm; esta diferencia se explica en la metodología de lectura de microincrementos aplicada, ya que en el presente proyecto se validó la presencia de microincrementos diarios tipo bandas, lo que explica el aumento en las tasas de crecimiento de esta especie. Cerna y

Moyano (2015) por su parte describen tasas de crecimiento similares a las reportadas en el presente informe; sin embargo, estos autores no utilizan el criterio de lectura de bandas para el análisis de la edad.

El modelo más apropiado para describir el crecimiento de *T. murphyi* juveniles es el de Gompertz, ya que además de presentar parámetros altamente significativos en las estimaciones realizadas, este modelo que ha sido probado amplia y satisfactoriamente para describir el crecimiento de larvas y juveniles de varias especies de peces (Katsanevakis y Maravelias 2008, Gamito 1998). El modelo de von Bertalanffy no fue considerado, a pesar de presentar el menor valor de (AIC=338,1), esto porque solamente uno de los tres parámetros estimados resultó significativo; esto se explica porque una de las desventajas del modelo de von Bertalanffy es que no describe apropiadamente el crecimiento de peces jóvenes (Gamito 1998).

De acuerdo al modelo ajustado, estimamos que jureles del norte de Chile que tienen un año de vida presentan una longitud horquilla aproximada de 19,8 cm. Estas estimaciones se asemejan a lo reportado por Cerna *et al.* (2016), y se encuentran por encima de lo reportado por otros autores quienes utilizaron tanto anillos anuales (Kochkin 1998, Dioses 2013) como análisis de microestructura (Goicochea *et al.* 2013, Cisterna y Arancibia 2017). De acuerdo a estos nuevos resultados, el reclutamiento de esta especie ocurriría alrededor del primer año de vida. Esto es, ejemplares reclutas que tienen una longitud menor a 25 cm, y que históricamente correspondían a los grupos de edad 2 y 3 (Gretchina 1998, ORP 2007), deben ser reasignados a los grupos de edad 1 y 2.

La comparación del crecimiento en longitud entre jureles capturados en las zonas norte y centro sur de Chile se realizó mediante un análisis de varianza; esta prueba paramétrica es de las más comunes y poderosas para la detección de diferencias en el análisis de otolitos (Campana y Jones 1992)**.** El análisis de varianza aplicado arrojó diferencias significativas ($p<5,5e-19$) entre las longitudes a la edad de los jureles capturados en las zonas norte y centro sur. Esta diferencia puede ser explicada por la variable ambiental temperatura del agua, ya que los individuos de la zona sur (34° y 38° S; 80° y 86° W) habitaban aguas más frías (14°C) que los especímenes del norte (18°C). Para peces pelágicos juveniles se ha reportado que la temperatura del hábitat controla el crecimiento, esto es, que a mayor temperatura del hábitat la tasa de crecimiento es más alta (Takasuka y Aoki 2006), por lo tanto, es esperable que exista diferencias en el crecimiento de jureles juveniles, ya que si bien provienen de una misma zona de desove (Arcos *et al.* 2001), desarrollaron su etapa larval y juvenil en zonas de crianza distintas.

Se destaca que los individuos bajo 12,5 cm LH analizados en la zona centro sur (34° y 38° S), corresponden a jureles capturados el año 2009 en zonas oceánicas, y que de acuerdo con nuestros análisis estos individuos tenían más de 100 días de vida. Estos resultados no siguen el patrón de distribución larval descrito por Vásquez *et al*. (2013), quienes estimaron que especímenes de jurel con más de 100 días de vida habitan zonas de crianza cercanas a la costa en latitudes menores a los 30°S, dicho patrón de distribución ha sido descrito históricamente para esta especie por otros autores (Elizarov *et al.* 1993, Gretchina 1998, Arcos 2001).

Una posible explicación a la presencia de individuos juveniles en aguas oceánicas puede estar asociada a patrones de circulación atípicos reportados para el año 2009, donde se presentaron giros oceánicos específicos de energía cinética, los que pudieron retener larvas y juveniles de jurel en áreas cercanas a montes submarinos Parada *et al.* (2017). A. Gretchina (comunicación personal, 2 septiembre de 2019) relata que estos eventos pueden mantenerse por hasta cuatro meses, sin permitir la movilización de jureles menores a 12 cm LH hacia aguas más costeras.

Se sugiere que en estudios futuros se realice análisis de tasas de crecimiento diaria en larvas y juveniles de jurel de la zona centro sur, ya que debido al bajo número de muestras analizados (n=55), los resultados obtenidos para esta zona son de carácter preliminar. Dichos análisis deberían tener asociadas variables ambientales como por ejemplo temperatura y alimentación, ya que se ha probado que estas variables afectan el crecimiento de larvas de peces pelágicos (Takasuka y Aoki 2006).

6 CONCLUSIONES

1. Fue posible producir las dos marcas en los otolitos de jureles de 12,4 cm LH, la primera de color fucsia con una zona-D amplia y la segunda también con una zona-D un poco más fina.

2. El número promedio de microincrementos entre marcas fue de 45,8 (0,83) y de 45,7 (1,13) según ambos lectores. Ambas medias no son significativamente diferentes de 46 (test-t; p=0,107 y p=0,114, respectivamente) que son los días que permanecieron los ejemplares de jureles en cautiverio entre marcas.

3. La microestructura de los otolitos *sagittae* de ejemplares del jurel *Trachurus murphy*, recolectados en aguas chilenas de entre 13 y 23 cm LH, permitió registrar una secuencia ininterrumpida de microincrementos diarios, desde la primera marca circundado al primordio hasta el borde de los mismos, lo que permitió su estimación de edad diaria con confiabilidad.

4. La microestructura de los otolitos *sagittae* de ejemplares de entre 18 y 23 cm de LH de *Trachurus murphy* presentó tres zonas, una primera zona caracterizada por un incremento gradual del grosor de los microincrementos entre la primera y cuarta semana de vida, una segunda zona de mayor crecimiento del otolito que se inició con la aparición de CSC y que se extendió hasta aproximadamente el cuarto mes de vida, y una tercera zona microestructural que se caracterizó por una reducción marcada de las tasas de crecimiento del otolito.

5. La relación edad vs LH fue descrita significativamente por el modelo de Gompertz, a partir del cuales se estimaron longitudes de entre 21, 2 a 21, 8 cm LH para el primer año de vida.

6. Los modelos Gompertz ajustados a la relación edad vs LH para ejemplares entre 13 y 23 cm LH para esta especie, estimaron tasas de crecimiento absolutas máximas al punto de inflexión de entre 0,46 y 0,48 mm/día, alcanzadas entre los 70 y 78 días de vida.

7. En el presente estudio también se demostró a través de modelos lineales generales aditivos, donde se incorporó la LH como una variable covariante, que el mes de recolecta tuvo un

impacto significativo en las fluctuaciones de las bandas translúcidas y opacas, demostrando que hay un factor de estacionalidad actuando en este proceso.

8. La relación edad vs radio caudal y su función inversa se ajustaron significativamente a modelos logarítmicos y exponenciales, respectivamente, a partir de los cuales se estimaron radios medios al primer año de vida de entre 3 y 3,1 mm.

9. La comparación entre la edad la edad diaria y la edad anual registrada de forma tradicional, en dos años de estudio (2008 y 2009), demostró que la primera zona translúcida completó su formación a edades medias de 180 días, muy por debajo de los 365 días requeridos para ser considerado el primer *annulus* en esta especie.

10. La estimación de edad a nivel diario demostró que la segunda zona translúcida se formó a edades medias entre los 293 y 323 días a un radio medio estimado de 2,9 mm en dirección caudal de los otolitos *sagittae*, valores que estuvieron cercanos a la edad teórica esperada y por consiguiente debiese ser considera como el primer *annulus* para esta especie.

11. Existe buena relación entre la longitud del pez y el peso de otolito, representada por un alto valor de r^2=0,97, lo que indica que el crecimiento en peso de esta estructura, se encuentra altamente asociado al crecimiento en longitud del pez.

12. El análisis de las fechas de nacimiento indicó que los individuos analizados nacieron ente meses de agosto y enero; con un pico entre octubre y noviembre que correspondió al 73% de los individuos. Las fechas de nacimiento se sobreponen ampliamente con el periodo de mayor IGS reportado para esta especie, que registra valores más altos entre los meses de septiembre y diciembre.

13. El análisis del grosor de los microincrementos ya validados en función del radio del otolito, mostró que la mayor tasa de crecimiento se alcanza cuando el otolito mide entre 500 y 900 μm.

14. Las longitudes a la edad fueron significativamente explicadas por el modelo de Gompertz (Y_∞=27,38 g=0,0054; t_p=154), por lo tanto, sugerimos que se considere el modelo de Gompertz, para describir el crecimiento de larvas y peces juveniles de *T. murphyi*.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akaike H. 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control 19 (6): 716-723.

Albert OT, M Kvalsund, T Vollen & AB Salberg. 2009. Towards accurate age determination of Greenland Halibut. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science 40: 81-9.

Arancibia H & L Cubillos. 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.

Araya M, L Cubillos, M Guzmán, J Peñailillo & A Sepúlveda. 2001. Evidence of a relationship between age and otolith weight in the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols). Fisheries Research 51: 17-26.

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.

Arcos D, L Cubillos & S Nuñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-1998 effects off Chile. Progress in Oceanography 49(1-4): 597-617.

Beamish RJ & DA Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences 38: 982-983.

Beckman D & J Calfee. 2014. Timing of first *annulus* formation in white sucker otoliths. North American Journal of Fisheries Management 34: 1187-1189.

Buckland S, K Burnham & N Augustin. 1997. Model Selection: an integral part of inference. Biometrics, 53(2): 603-618.

Burnham KP & DR Anderson. 2002. Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. 2nd Edition, Springer-Verlag, New York.

Buratti CC & BA Santos. 2010. Otolith microstructure and pelagic larval duration in two stocks of the Argentine hake, *Merluccius hubbsi*. Fisheries Research 106: 2-7.

Campana SE. 1984. Microstructural growth patterns in the otoliths of larval and juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. Canadian Journal of Zoology 62:1507-1512.

Campana SE & JD Neilson. 1985. Microstructure of fish otoliths. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42: 1014-1032.

Campana SE & CM Jones. 1992. Analysis of otolith microstructure data, p. 73-100. In D. K. Stevenson and S. E. Campana [ed.] Otolith microstructure examination and analysis. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences. 117:126p.

Campana SE. 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.

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 SC01-06: 12.

Canales C & E Leal. 2009. Parámetros de historia de vida de la anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842, en la zona centro norte de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 44: 173 - 179.

Catalano C, L Matthew & M Allen. 2010. A size -and age-structured model to estimate fish recruitment, growth, mortality, and gear selectivity. Fisheries Research 105: 38-45.

Cermeño P, A Uriarte, B Morales-Nin, U Cotano & P Álvarez. 2008. Setting up interpretation criteria for ageing juvenile European anchovy otoliths. Scientia Marina 72, 733-742.

Cerna F & G Moyano. 2015. Preliminary analysis of jack mackerel otolith microstructure. SPRFMO, 3rd Meeting of the Scientific Committee Port Vila, Vanuatu, 28 September - 3 October.

Cerna F & G Plaza. 2016. Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. Marine and Freshwater Research 67: 899-912.

Cerna F, C Valero, G Moyano & L Muñoz. 2016. Protocolo de lectura de otolitos de jurel. Informe Final, Proyecto FIPA 2014-32. 103 p.

Cisterna L. 2014. Determinación de la edad de jurel (*Trachurus murphyi*) mediante lecturas de incrementos de crecimiento diario en otolitos *sagittae*. Tesis de Magíster. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Cisterna L & H Arancibia. 2017. Estimation of the age of jack mackerel (*Trachurus murphyi*) using growth rings in *sagittae* otoliths. Gayana 81 (1): 28-31.

Cleveland WS 1981. A program for smoothing scatterplots by robust locally weighted fitting. The American Statistician 35:54.

Degens ET, WG Deuser & RL Haedrich. 1969. Molecular structure and composition of fish otoliths. Marine Biology 2: 105-113.

Deriso RB. 1980. Harvesting strategies and parameters estimation for an age-structured model. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37: 268-282.

Deudero S & B Morales-Nin. 2001. Prey selectivity in planktivorous juvenile fishes associated with floating objects in the western Mediterranean. Aquaculture Research 32: 481- 490.

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. Revista Peruana de Biología 20 (1): 061 – 066.

Dickey CL, JJ Isely & JR Tomasso. 1997. Slow growth did not decouple the otolith size fish size relationship in striped bass. Transactions of the American Fisheries Society 126: 1027-1029.

Dioses T. 2013. Edad y crecimiento del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú. Revista Peruana de Biología 20(1): 045- 052.

Elizarov AA, AS Gretchina, BN Kotenev & AN Kuzetsov. 1993. Peruvian Jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphii),* in the open waters of the Southern Pacific. Journal of Ichthyology 33: 86-104.

Francis R. 2016. Growth in age-structured stock assessment models. Fisheries Research 180: 77-86.

Gamito S. 1998. Growth models and their use in ecological modeling: an application to a fish population. Ecological Modelling, 113 (1-1): 83-94.

Gartner JV. 1991. Life histories of three species of lanternfishes (Pisces: Myctophidae) from the eastern Gulf of Mexico. I. Morphological and microstructural analysis of sagittal otoliths. Marine Biology 111: 11-20.

Geffen AJ. 1992. Validation of otolith increment deposition rate, p. 101-113. In D.K. Stevenson and SE. Campana [ed.] Otolith microstructure examination and analysis. Canadian Special Publication Fisheries Aquatic Science 117.

Gerlotto F, M Gutierrez & A Bertrand. 2012. Insight on population structure of the Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*). Aquatic Living Resources 25: 341-355.

Goicochea C, J Mostacero, P Moquillaza, T Dioses, Y Topiño & R Guevara-Carrasco. 2013. Validación de los anillos de crecimiento de otolitos del jurel *Trachurus murphyi*. En: Csirke J, Guevara-Carrasco R, Espino M (Eds.) Ecología, pesquería y conservación del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Perú. Revista Peruana de Biología 20(1): 053 – 060.

Gretchina A. 1998. Historia de investigaciones y aspectos básicos de la ecología del jurel *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en alta mar del Pacífico sur. En: Arcos D (ed). Biología y ecología del jurel en aguas chilenas 11-37.

Gretchina A, S Núñez & D Arcos. 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.

Gretchina A, A Arkhipkin & S Vásquez. 2017. Nuevos antecedents preliminaries sobre el crecimiento diario de jurel, hasta dos años de edad, frente las costas de Chile centro-sur. En: Libro de Resúmenes XXXVII Congreso de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Chile. Sociedad Chilena de Ciencias del Mar. Valparaíso. 544 pp.

Hare JA & RK Cowen. 1991. Expatriation of *Xyrichtys novacula* (Pisces: Labridae) larvae: evidence for rapid cross-slope exchange. Journal of Marine Research 49: 801-823.

Hare JA & RK Cowen. 1994. Ontogeny and otolith microstructure of bluefish *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae). Marine Biology 118: 541-550.

Iles TD & PO Johnson. 1962. The correlation table analysis of a sprat (*Clupea sprattus* L.) year-class to separate two groups differing in growth characteristics. Journal du Conseil International pour l' Exploration de la Mer 27: 287-303.

Jenkins GP, M Shaw & BD Stewart. 1993. Spatial variation in food-limited growth of juvenile greenback flounder, *Rhombosolea tapirina*, evidence from otolith daily increments and otolith scaling. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 50: 2558 – 2567.

Joh M, T Matsuda & A Miyazono. 2005. Common otolith microstructure related to key early life-history events in flatfishes identified in the larvae and juveniles of cresthead flounder *Pseudopleuronectes schrenki*. Journal of Fish Biology 86: 448-462.

Kasapoglu N & E Duzgunes. 2013. The relationship between somatic growth and otolith dimensions of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) from the Black Sea. Journal of Applied Ichthyology 29: 230-233

KatsanevaKis S & CD Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. Fish and Fisheries 9: 178-187.

Kochkin P. 1998. Edad y crecimiento del jurel *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en aguas oceánicas del Pacífico sur. In: Arcos, D., Grechina, A.S. (Eds.) Biología y pesca comercial del jurel en el Océano Pacífico Sur. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, pp. 163-172.

Kousteni V & P Megalofonou. 2015. Aging and life history traits of the longnose spiny dogfish in the Mediterranean Sea: New insights into conservation and management needs. Fisheries Research 168, 619.

Lange C, S Vásquez, S Núñez, J Silva, A Sepúlveda, A Gretchina, C González, E Sanhueza, A Barraza, R Luna, C Canales, B Molina & S Klarian. 2016. Condición biológica de jurel en alta mar. Informe Pre final. Instituto de Fomento Pesquero. 76 + anexos.

Leal E, E Díaz, JC 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 48: 601-611.

Liu Q, XM Zhang, PD Zhang & SA Nwafili. 2009. The use of alizarin red S and alizarin complexone for immersion marking Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* (T.). Fisheries Research 98: 67 - 74.

Marks RE & DO Conover. 1993. Ontogenetic shift in the diet of young-of-the-year bluefish *Pomatomus saltatrix* during the oceanic phase of the early life history. Fishery Bulletin 91: 97-106.

Massou AM, J Panfili, R Lae, JF Baroiller, O Mikolasek, G Fontenelle & P-Y Le Bail. 2002. Effects of different food restrictions on somatic and otolith growth in *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) reared under controlled conditions. Journal of Fish Biology 60, 1093–1104.

McCurdy WJ, J Panfili, FJ Meunier, AJ Geffen & H de Pontual. 2002. Preparation of calcified structures. In Manual of fish sclerochronology (Panfili J., Pontual H. (de), Troadec H., Wright P.J., eds), pp. 331- 372. Brest, France: Ifremer-IRD coedition.

Meekan MG, GM Wellington & L Axe. 1999. El Nino Southern Oscillation events produce checks in the otoliths of coral reef fishes in the Galápagos Archipelago. Bulletin of Marine Science 64(2): 383 - 390.

Moksness E, K Rukan, L Ystanes, A Folkvord & A Johannessen. 1995. Comparison of somatic and otolith growth in North Sea Herring (*Clupea harengus* L.) larvae: evaluation of growth dynamics in mesocosms. In Recent Developments in Fish Otolith Research (Secor, D. H., Dean, J. M. & Campana, S. E., eds), pp. 119–134. Columbia, SC: University of South Carolina Press.

Natanson LJ, JJ Mello & SE Campana. 2002. Validated age and growth of the porbeagle shark, *Lamna nasus*, in the western North Atlantic Ocean. Fishery Bulletin 100: 266 - 278.

Organización Regional de Pesca (ORP). 2007. Report of the Scientific Committee Meeting. Reñaca, Chile. 59 pp.

Oyarzún C, J Chong & M Malagueño. 1998. Fenología reproductiva en el jurel *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) (Perciformes, Carangidae), en el área de Talcahuano- Chile; 1982-1984. En: Biología y Ecología del jurel en aguas chilenas, pp. 67-75. Ed. Arcos, D. Publicado por Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile. 216 pp.

Panfili J & J Tomás. 2001. Validation of age estimation and back-calculation of fish length based on otolith microstructures in tilapias (Pisces, Cichlidae). Fishery Bulletin 99:139–150.

Pannella G. 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. Science, 173(4002): 1124-1127.

Pannella G. 1980. Growth pattern in fish *sagittae*. In: Rhoads DC, Lutz RA (Eds) Skeletal growth of aquatic organisms Biological records of environmental change. Plenum Press, New York, USA and London, UK, pp 519–560

Parada C, A Gretchina, S Vásquez, A Belmadani, V Combes, B Ernst, E Di Lorenzo, J Porobic & A Sepulveda. 2017. Expanding the conceptual framework of the spatial population structure and life history of jack mackerel in the southeastern Pacific: Oceanic seamount region as potential spawning/nursery habitat. ICES Journal of Marine Sciences doi:10.1093/icesjms/fsx065.

Payan P, H De Pontual, A Edeyer, G Borelli, G Boeuf & N Mayer-Gostan. 2004. Effects of stress on plasma homeostasis, endolymph chemistry, and check formation during otolith growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 61. 1247-1255.

Pearson DE. 1999. Timing of hyaline-zone formation as related to sex, location, and year of capture in otoliths of the widow rockfish, *Sebastes entomelas*. Fishery Bulletin 94: 190-197.

Pino C, L Cubillos, M Araya & A Sepúlveda. 2004. Otolith weight as an estimator of age in the Patagonian grenadier, *Macruronus magellanicus*, in central-south Chile. Fisheries research. 66:145-156.

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. Journal of Fish Biology 66: 592 - 597.

Plaza G & F Cerna. 2015. Validation of daily microincrement deposition in otoliths of juvenile and adult Peruvian anchovy *Engraulis ringens*. Journal of Fish Biology 86: 203-216.

Plaza G, F Cerna, MF Landaeta, A Hernández & JE Contreras. 2018. Daily growth patterns and age-at-recruitment of the anchoveta *Engraulis ringens* as indicated by a multi-annual analysis of otolith microstructure across developmental stages. Journal of Fish Biology 93:370 381.

Radtke RL, ML Fine & J Bell. 1985. Somatic and otolith growth in the oyster toadfish (*Opsanus tau* L.). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 90, 259-75.

Reichert MJM, JM Dean, RJ Feller & JM Grego. 2000. Somatic growth and otolith growth in juveniles of a small subtropical flatfish, the fringed flounder, *Etropus crossotus*. Experimental Marine Biology and Ecology 254: 169-188.

Ricker WE. 1979. Growth rates and models. In: Hoar, W.S., Randall, D.J. and Brett, J.R., Eds., Fish Physiology, III, Bioenergetics and Growth, Academic Press, New York, 677 743.

Satoshi S, K Yutaka & U Yasuhiro. 2006. Age structure of Pacific saury *Cololabis saira* based on observations of the hyaline zones in the otolith and length frequency distributions. Fisheries Science 72: 742-749.

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

Snow R, MJ Porta & DR Stewart. 2018. Otolith *annulus* validation and variables influencing false *annuli* formation in dorsal spines of saugeye. Journal of Applied Ichthyology DOI: 10.1111/jai.13776.

Snow RA & JM Long. 2016. Effects of a growth check in daily age estimates of age 0 Alligator Gar. Journal of the Southeatern Association of Fish and Wildlife Agencies 3: 6-10.

Sogard SM. 1991. Interpretation of otolith microstructure in juvenile winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*): ontogenetic development, daily increment validation and somatic growth relationships. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 48: 1862-1871.

Somers IF. 1988. On a seasonally oscillating growth function. Fishbyte 6:8-11.

Summerfelt R & G Hall. 1987. Age and growth of fish. Iowa State University Press: Ames, IA, USA.

Taylor PR. 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.

Takasuka A & I Aoki. 2006. Environmental determinants of growth rates for larval Japanese anchovy *Engraulis japonica* in different waters. Fisheries Oceanography, 15(2):139-149.

Thiel M, EC Macaya, E Acuña, WE Arntz, H Bastias, K Brokordt & A Vega. 2007. The Humboldt current system of northern and Central Chile: Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. Oceanography and Marine Biology 45: 195-344.

Vásquez S, M Correa-Ramírez, C Parada, & A Sepúlveda. 2013. The influence of oceanographic processes on jack mackerel (*Trachurus murphyi*) larval distribution and population structure in the southeastern Pacific Ocean. ICES Journal of Marine Science, 70:1097-1107.

Victor B & E Brothers. 1982. Age and growth of the fallfish *Semotilus corporalis* with daily otolith increments as a method of *annulus* verification. Canadian Journal of Zoology 60 (11): 2543-2550.

Von Hippel, FA, LC Smayda, CE Zimmerman & MA Bell. 2013. Validation of daily growth increments in otoliths to age threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). Evolutionary Ecology Research 15: 947-957.

Waldron ME. 1994. Validation of *annuli* of the South African anchovy, *Engraulis capensis*, using daily growth increments. ICES Journal of Marine Science, 51: 233-234.

Waldron ME & M Kerstan. 2001. Age validation in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) otoliths. ICES Journal of Marine Science 58: 806-813.

Wright PJ, DA Woodroffe, FM Gibb & JDM Gordon. 2002a. 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.

Wright PJ, J Panfili, A Folkvord, H Mosegaard & FJ Meunier. 2002b. Validation and verification methods A. Direct validation In: Panfili J, de Pontual H, Troadec H, Wright PJ (eds). Manual of fish sclerochronology. Brest: Ifremer-IRD, pp 114–127.

Wright PJ, J. Panfili, B Morales-Nin & AJ Greffen. 2002c Types of calcified structures otoliths. In: Panfili J, de Pontual H, Troadec H, Wright PJ (eds). Manual of fish sclerochronology. Brest: Ifremer– IRD, pp. 31–57.

Wysokinsk A. 1982. Essai d'application de l''analyse des longeurs modales pour la determination de la croissance du jeune merlu (*Merluccius capensis*). Collect. Sci. Pap. ICSEAF/Recl. Doc. Sci CIPASE/Colecc. Doc. Cient. CIPASO 9(2): 343-352.

Xie S, Y Watanabe, T Saruwatari, R Masuda, Y Yamashita, C Sassa & Y Konishi. 2005. Growth and morphological development of sagittal otoliths of larval and early juvenile *Trachurus japonicus*. Journal of Fish Biology 66: 1704-1719.

8 ANEXOS

8.1. Carta enviada al Secretario Ejecutivo del FIPA, señor Luis Carroza.

8.2. Acta de Talleres de discusión interna.

8.2. Taller de difusión de resultados. Talcahuano, 23 de septiembre 2019. Programa, listado de asistente, diapositivas y comentarios y respuestas a preguntas realizadas.

Anexo 1. *Carta enviada al Secretario Ejecutivo del FIPA, señor Luis Carroza*

Universidad ARTURO PRAT del Estado de Chile

Facultad de RECURSOS NATURALES RENOVABLES UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

Iquique, 19 de octubre 2018

Señor
Luis Carroza
Secretario Ejecutivo
Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura
Valparaíso

REF: FIPA 2017-61

De mi consideración:

Mediante la presente, vengo a exponer y solicitar al Consejo de Investigación Pesquera lo que se indica a continuación: El proyecto "Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel" tiene 3 objetivos, de los cuales el primero de ellos, "Validar la periodicidad de los micro-incrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio", impone la necesidad de mantener peces en cautiverio para marcar los otolitos con oxitetraciclina (OTC), según lo comprometido en la propuesta técnica.

Obtener los ejemplares vivos ha sido muy difícil debido a que, por un lado, en la pesca industrial de la zona norte no han aparecido habitualmente en las capturas, recurriendo a la utilización de embarcaciones artesanales para pescarlos con línea de mano, obteniendo ejemplares de 22 cm LH aproximadamente. Por otro lado, en exploraciones que se han realizado hacia el sur y norte de Iquique, se encontraron ejemplares de 8 cm LH promedio en la bahía de Antofagasta, completando un total de 4 viajes para capturarlos con red atarraya y trasladarlos vivos hacia las instalaciones que posee la Universidad Arturo Prat en Iquique.

Después de un período de aclimatación de 20 días aproximadamente, se procedió a producir la primera marca en los otolitos (11 de abril) sumergiendo a los jureles en la solución de OTC, el experimento comenzó con alrededor de 150 jureles de 8 cm LH promedio y 40 de 22 cm LH promedio. La segunda marca se realizó el 7 de junio, para sacrificar a los ejemplares el día 27 de julio, consiguiendo al final del experimento 115 y 20 ejemplares de cada grupo, respectivamente.

El siguiente paso, fue preparar los otolitos para observarlos en un microscopio de fluorescencia, estos se revisaron en el Laboratorio de Microbiología de

Facultad de Recursos Naturales Renovables – Universidad Arturo Prat
Avda. Arturo Prat Nº 2120 – Iquique Teléfono:057-2394501

la Universidad Arturo Prat donde no se pudieron identificar las marcas ya que el filtro no era el adecuado, por lo que se decidió viajar a la ciudad de Antofagasta para revisar las muestras en un microscopio invertido de fluorescencia que se encuentra en el Laboratorio de Reproducción Humana de la Universidad de Antofagasta. Lamentablemente las marcas tampoco se pudieron observar nítidamente, por lo que se decide viajar a la ciudad de Valparaíso para observar las muestras en un microscopio de la Universidad de Playa Ancha, ya que contaba con equipo de última generación y un mayor espectro de filtros; no obstante, como sucedió en las otras revisiones, con este equipo sólo se observaron las marcas en dos otolitos.

Con el fin de agotar todas las instancias, en el sentido de observar las muestras con distintos filtros, también se recurrió a un microscopio en la Universidad de Valparaíso, Universidad Andrés Bello en Viña del Mar y en el Centro EULA y en el CMA (Centro de Microscopía Avanzada) de la Universidad de Concepción. Después de observar las muestras, en diferentes microscopios con diferentes tipos de filtros, el grupo de trabajo descarta que los equipos de observación (filtro) no sean los adecuados, sino que se el problema puede ser explicado por: a) el tiempo que los jureles estuvieron en la solución, o que b) la concentración de la OTC no fue la correcta; a pesar de seguir los protocolos indicado en la literatura. Ante esta situación, consideramos que la mejor alternativa es inyectarlos como se ha realizado anteriormente en esta especie, se aclara que no se inyecto en esta oportunidad ya que se consideró que los individuos eran muy pequeños y la mortalidad por inyección podría ser alta.

Debido a que los otros dos objetivos dependen de los resultados del primer objetivo, el grupo de trabajo ha decidido repetir el experimento con algunas modificaciones al anterior, es decir, se contempla marcar con OTC inyectable y con alizarina, para lo cual los tiempos requeridos que hemos estimados son:
1 mes de aclimatación,
1 mes y medio entre marca y marca, y
1 mes y medio hasta el sacrificio.
Por lo que, se requiere para el desarrollo del nuevo experimento 4 meses.

Ante esta situación, vengo a solicitar al Consejo de Investigación Pesquera, una ampliación del plazo para la entrega del pre-informe final hasta el 6 de junio del 2019.

Le saluda atte. a Ud.,

Miguel Araya Christie
Jefe de Proyecto
Universidad Arturo Prat

Cc: Vicerrector de Finanzas UNAP
Vicerrector de Investigación Innovación y Postgrado (S) UNAP
Director de Investigación UNAP
Decano Facultad Recursos Naturales Renovables UNAP
Director INPESCA
Guido Plaza PUCV

Anexo 2. *Acta de Talleres de discusión interna.*

ACTA TALLER TÉCNICO INTERNO
PROYECTO FIPA Nº 2017-61
"VALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DIARIO DE JUREL"

Iquique, 19-20 de marzo 2018

El taller se enmarca en las actividades contempladas en la propuesta técnica del proyecto FIPA Nº 2017-61, participaron:

Guido Plaza	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Lilian Cisterna	Instituto de Investigación Pesquera
Jessica Peñailillo	Universidad Arturo Prat
Marianela Medina	Universidad Arturo Prat
Miguel Araya	Universidad Arturo Prat

El Taller tuvo como objetivos:

1. Revisar el estado de avance de los objetivos planteados en la propuesta técnica de acuerdo a la carta Gantt.
2. Discutir los criterios de preparación y lectura de los microincrementos en otolitos de jurel.
3. Lectura de otolitos.
4. Uso de software.
5. Formato de los informes a entregar.
6. Revisión del cronograma según lo comprometido

En el transcurso de los primeros 5 meses se diseño e implemento el sistema de mantención en cautiverio de los ejemplares.
La captura de los peces en enero y febrero no se pudo realizar como se tenía contemplado en la propuesta, es decir, a bordo de embarcaciones industriales ya que la flota en la zona norte estuvo sin trabajar. Con el fin de conseguir la muestra por otra vía, se han realizado 6 salidas en las cuales se ha ido mejorando la captura y traslado hasta el Campus Huayquique de la Universidad Arturo Prat. Actualmente se tienen alrededor de 30 ejemplares de talla promedio de 20 cm LH y unos 80 de talla 10 cm LH promedio.

Se discutió la forma de marcaje, si sería conveniente inyectar a los ejemplares pequeño ya que el uso de la aguja podría ocasionar mortalidad. Se decidió marcar con inmersión en OTC.

Se discutió el plano del otolito en cual sería pulida cada muestra de otolitos (transversal, longitudinal o sagital). De acuerdo con la experiencia de los 3 grupos de trabajo y en relación con el pequeño tamaño de los otolitos, se decidió realizar las preparaciones en el plano sagital.

Se sugirió utilizar la pasta de pulir “Gamma alumina” (0,05 micras) en vez de “Brasso”, para obtener mejores preparaciones de otolitos.

Participantes en el taller metodológico de jurel realizado en Iquique el 19 y 20 de marzo.

ACTA TALLER TÉCNICO INTERNO
PROYECTO FIPA Nº 2017-61
"VALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DIARIO DE JUREL"

Valparaíso, 11 de octubre 2018

Participantes:
Universidad Arturo Prat
Miguel Araya
Jessica Peñailillo
Marianela Medina
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Guido Plaza
Instituto de Investigación Pesquera Participación vía Skipe
Lilian Cisterna
Aquiles Sepúlveda

Miguel Araya da inicio a la reunión informando sobre el desarrollo del objetivo específico 1 "Validar la periodicidad de los micro-incrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio".
Para el cumplimiento de este objetivo era necesario mantener peces en cautiverios y marcar los otolitos, según lo comprometido, con oxitetraciclina (OTC).
Las etapas de este objetivo consistieron en:
Implementar sistema de mantención de cautiverio de ejemplares de jurel
Búsqueda, captura y traslado de jureles vivos al sistema de cautiverio
Aclimatación de ejemplares en cautiverio (20 días aproximadamente)
Primera marcación (11 de abril del 2018) sumergiendo ejemplares en una concentración de OTC (150 jureles de 8 cm LH promedio y 40 de 22 cm LH promedio).
Segunda marcación y sacrificio de ejemplares el 27 de julio.
Una vez realizado el experimento de acuerdo con el cronograma de actividades de la propuesta, se procedió a preparar los otolitos para observarlos en un microscopio de fluorescencia.

Jessica Peñailillo expone sobre la metodología que se ha llevado a cabo en el montaje, pulido y observación de otolitos de jurel provenientes del experimento de marcaje. En el tratamiento se está dando prioridad a dejar el borde lo mas claro posible para observar los micro-incrementos formados durante el periodo de cautiverio. Se presentan imágenes de otolitos preparados y se analizan las diferentes zonas que se pueden distinguir en el otolito, como los microincrementos diarios (MD), zonas discontinuas de crecimiento, incrementos subdiarios, el rol que juega el enfoque para visualizar los incrementos diarios y los subdiarios y la dificultad en la interpretación de los incrementos. Se analiza la formación o presencia de zonas intermedias de crecimiento con bandas anchas muy oscuras. El proceso de montaje y pulido también es fundamental debido a la formación del otolito que no es parejo ni plano, por lo que debe ser montado con cierto ángulo y posterior pulido de manera desigual, pudiendo ocurrir el sobrepulido.

Lilian Cisterna expone de lo que llevan realizado a la fecha en término de la lectura de otolitos provenientes de la pesquería, cuantos han leído en forma macro y como se han preparado los otolitos para lecturas de micro-incrementos.
Ella indica que necesita muestras del estrato de tallas entre 11 y 17 cm LH y de los datos de tallas de los otolitos marcados que se le enviaron. Queda comprometido el envío de otolitos y de los datos.

Guido Plaza y Lilian Cisterna mencionan que está comprometido las lecturas de otolitos para validar, de forma macro y de micro-incrementos, de acuerdo con la metodología de la propuesta.
Leer con ambos criterios macrobandas y microbandas
Se revisan los números de otolitos comprometidos en la propuesta Guido n=150 , Lilian en oferta n=126, preparados 124.

Guido Plaza menciona sobre técnica que están probando para leer macro sin pulir
En portaobjeto cóncavo colocar otolito y echar agua o aceite de bebe y leer directo a microscopio. El tiempo de exposición en agua menos de una hora. Menciona que se ven con mucha claridad los incrementos.

Miguel Araya explica que, al no contar con un microscopio adecuado en la UNAP para identificar las marcas, se recurrió a otras Universidades como la Universidad de Antofagasta, Universidad Andrés Bello, Universidad de Playa Ancha con diferentes tipos de microscopio, filtros para diferentes longitudes de ondas, sin embargo, las marcas no se vieron de acuerdo con experiencia anterior. En algunas muestras se vio fluorescencia en el borde solamente. Con excepción del microscopio de Playa Ancha de última generación que se vio solamente en dos muestras las dos marcas.
Finalmente, un último microscopio con fluorescencia fue de la Universidad de Valparaíso, donde se logró ver fluorescencias no nítidas en algunas muestras, pero no en el borde, en otolitos no marcados no se vio el borde con fluorescencia como ocurrió con otros otolitos marcados.

Guido Plaza señala que por su parte llevará las muestras a dos tipos de microscopio con focal con un amplio espectro de longitudes de ondas de su Institución y confirmar si las marcas vistas en el microscopio de la Universidad de Playa Ancha corresponden o no ya que no se ven en todos los otolitos, cuya respuesta la tendrá la semana siguiente.

Miguel Araya plantea otro microscopio ofrecido por Reischman

Miguel Araya plantea de no tener respuestas positivas con los otros microscopios, habría que repetir el experimento.
Se plantea que el problema puede estar en el tiempo que los jureles estuvieron en la solución, o en la concentración que no fue la adecuada, o bien que mantener inmerso en la solución para esta especie no sea la adecuada y lo mejor sea inyectarlos como se ha realizado anteriormente en esta especie.

Guido Plaza sugiere utilizar otro marcador bioquímico como la Alizarina, a parte la OTC.

Miguel Araya plantea probar con alizarina y OTC pero inyectarla es decir, no poner los peces en solución. Por lo tanto, habría que pedir una prorroga al FIPA ya que no se puede continuar con el proyecto para cumplir con los objetivos específicos 2 y 3.

Lilian Cisterna comenta de los microscopios que le han ofrecido (EULA y CIMAR) pero no tienen filtros adecuados ya que la OTC necesita un espectro demasiado amplio entonces los filtros no son adecuados. Sin embargo, un microscopio con focal podría servir ya que trabaja con todas las longitudes de ondas, siendo un procedimiento más lento y por eso se debe pedir hora para su uso. Le consultan ¿en que están fijadas las muestras?, si es en cristal bond quizás eso tiene epifluorescencia.
Miguel Araya responde que en el experimento del año 1995 estaban montados en resina.
El plantea que hay que tomar una decisión a la brevedad de repetir el experimento y solicitar prorroga con anticipación al FIPA.

Lilian Cisterna indica que dejó muestras al técnico encargado del microscopio para que las revise, sin embargo, recién tendrá una respuesta el martes de la semana siguiente ya que las horas de uso del microscopio están todas pedidas y recién el viernes tendría hora para verlas ella, pero habría que pagar. Una respuesta definitiva de si se ven o no con ambos microscopios sería el próximo viernes.

Aquiles Sepúlveda pregunta que en lo logístico y estratégico se tomaría una semana más de plazo para terminar con todas las pruebas y después tomar la decisión ya sea solicitar prorroga como por eventualmente probar con otro marcador fluorescente.

Miguel Araya responde que habría que agotar todas las pruebas con los microscopios con focal y solicitar prórroga para repetir el experimento.

Guido Plaza plantea que los objetivos específicos 2 y 3 dependen de la validación y en el caso particular del objetivo 2, él debe validar el tiempo de formación del primer anillo y el tiempo que necesita después de tener la información de los criterios de interpretación de los micro-incrementos es mínimo de 1 mes y medio. Debido a que son muestras con secuencias de imágenes que hay que leer, que hay que hacer ejercicios de reproducibilidad. Ellos ya tienen muestra preparadas que han estado leyendo. Por lo que necesitan si o si más tiempo.

Miguel Araya dice que la prorroga va si o si y si hay que repetir el experimento habría que pedir más meses de extensión.

Guido Plaza plantes que hay que tener un plan A y un plan B. Un escenario positivo es que haya resultado el experimento y que se vean las marcas y un escenario no positivo es que no se haya incorporado la OTC en los otolitos y se repite el experimento si es que quedan peces en cautiverio.

Miguel Araya dice que ya no hay peces en cautiverio y habría que capturar nuevamente. El problema sería que para esta fecha no estaría los peces pequeños que ingresaron al área de Antofagasta. Ahora habría ejemplares más grandes sobre 15 cm LH, pero se buscarán y se espera encontrar nuevamente.

Guido Plaza sugiere que, al repetir el experimento, probar con varios marcadores quizás hasta con shock térmico. En sus fotos de los otolitos los anillos se ven muy bien lo que significa que los jureles crecieron.

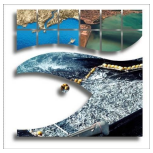
Miguel Araya dice que se pensó con la gente del cautiverio aplicar shock térmico pero, por problemas de estanques al subir o bajar la T° y costo de energía por el volumen de agua, etc., habrían inconvenientes, pero habría que considerar esta opción.

Miguel Araya dice que haría que pedir la prorroga pensando en que hay que repetir el experimento. De todas maneras, si la próxima semana se verifica que en el equipo con focal se ven las marcas, se trabaja tranquilamente con las muestras de otolitos marcados. Si se ven o no las marcas, se pedirá igual la prórroga.

Miguel Araya le pide a Lilian Cisterna tener la información de las características de los microscopios (tipo, filtros, longitudes de onda, otros) donde han revisado los otolitos para entender mejor cómo funcionan los equipos.

Miguel Araya queda de ir a conversar el viernes 12 de octubre con el director del FIPA para ponerlos en antecedentes de la situación y que se solicitará una prorroga lo antes posible.
Se da término a la reunión.

Anexo 3 *Taller de difusión de resultados. Talcahuano, 23 de septiembre 2019. Programa, listado de asistente, diapositivas y comentarios y respuestas a preguntas realizadas.*



TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

FIPA Nº 2017-61 VALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DIARIO DE JUREL

LUNES 23 SEPTIEMBRE 2019

Salón Auditorio INPESCA, Av. Colón N° 2780, Talcahuano

PROGRAMA

10:30 – 10:45 h Palabras de bienvenidas y presentación del proyecto.

Sr. Miguel Araya, Director de Proyecto, UNAP.

10:45 – 11:15 h Validación de la periodicidad de los micro-incrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio

Sr. Miguel Araya UNAP

11:15 – 11:35 Café

11:35 – 12:05 h Validación del primer *annulus* a partir del conteo de micro-incrementos primarios previamente validados

Sr. Guido Plaza PUCV

12:05 – 12:35 h Caracterización del crecimiento diario, determinación fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida

Sra. Lilian Cisterna INPESCA

12:35 – 13:00 h Discusión y Cierre del Taller

Universidad ARTURO PRAT del Estado de Chile — PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

FIPA Nº 2017-61 VALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DIARIO DE JUREL

LUNES 23 SEPTIEMBRE 2019

Salón Auditorio INPESCA, Av. Colón N° 2780, Talcahuano

LISTA DE ASISTENTES

N°	Nombre	Institución	e-mail	Firma
1	Guido Plaza	PUCV	guido.plaza@pucv.cl	
2	Mario Acevedo	SUBPESCA	macevedo@subpesca.cl	
3	Ivan Oyarzun M.	SERNAPESCA	ioyarzun@sernapesca.cl	
4	Gonzalo Ramírez	SERNAPESCA	gramirez@sernapesca.cl	
5	Roberto Pinto S.	Sernapesca	rpinto@sernapesca.cl	
6	Fernando Jiménez	Camanchaca PSUR	fernando.jiménez@camanchaca.cl	
7	Sebastián Vásquez Pastene	INPESCA	svasquez@inpesca.cl	
8	Alejandro Farías	CAMANCHACA		
9	Alexandra Grechina	INPESCA	agrechina@inpesca.cl	
10	Sylvia Vargas	Inpesca	svargas@inpesca.cl	
11	Jocelyn Silva A.	INPESCA	jsilva@inpesca.cl	
12	EVELIN SANHUEZA A.	"	esanhueza@inpesca.cl	
13	Roberto San Martín V.	"	RSanMartin@inpesca.cl	
14	Carla González A.	"	cgonzalez@inpesca.cl	
15	Marcia Neira	Inpesca	mneira@inpesca.cl	
16	Lilian Cisterna	"	lcisterna@inpesca.cl	
17	Nicolás Alegría	inpesca	nalegria@inpesca	

Universidad ARTURO PRAT del Estado de Chile

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

FIPA N° 2017-61 VALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DIARIO DE JUREL

LUNES 23 SEPTIEMBRE 2019

Salón Auditorio INPESCA, Av. Colón N° 2780, Talcahuano

LISTA DE ASISTENTES

N°	Nombre	Institución	e-mail	Firma
1	Claudio Gatica	Inpesca	cgatica@inpesca	
2	Miguel Araya	UNAP		
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				

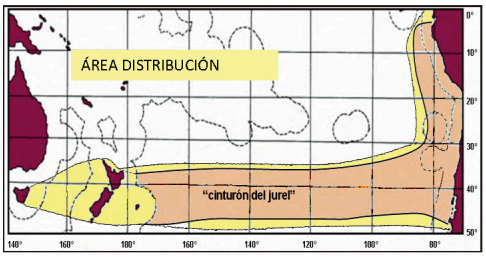
23/9/19

Universidad ARTURO PRAT del Estado de Chile

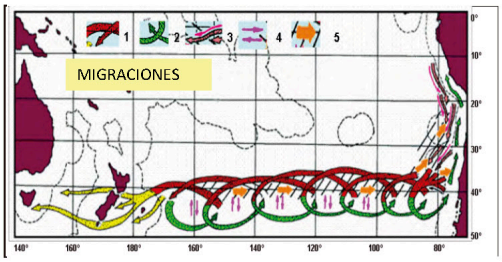
TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

FIPA Nº 2017-61
VALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DIARIO DE JUREL

Talcahuano, lunes 23 septiembre 2019



Esquema generalizado del área de distribución, desove, migraciones de peces juveniles y adultos en el Océano Pacífico Sur durante su ciclo de vida (*Elizarov et al., 1992; Gretchina, 1998*).

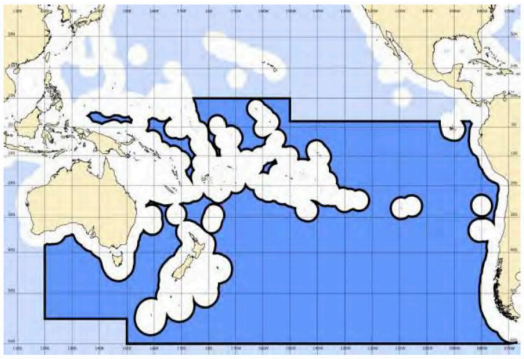


1: adultos desovantes; 2: adultos en engorda; 3: peces juveniles hasta 2-3 años de edad; 4: peces adultos entre zonas de desove y engorda; 5: distribución y migración de alevines y juveniles de hasta un año de edad

1

Administración: South Pacific Region Fisheries Management Organization (SPRFMO: www.southpacificrfmo.org)

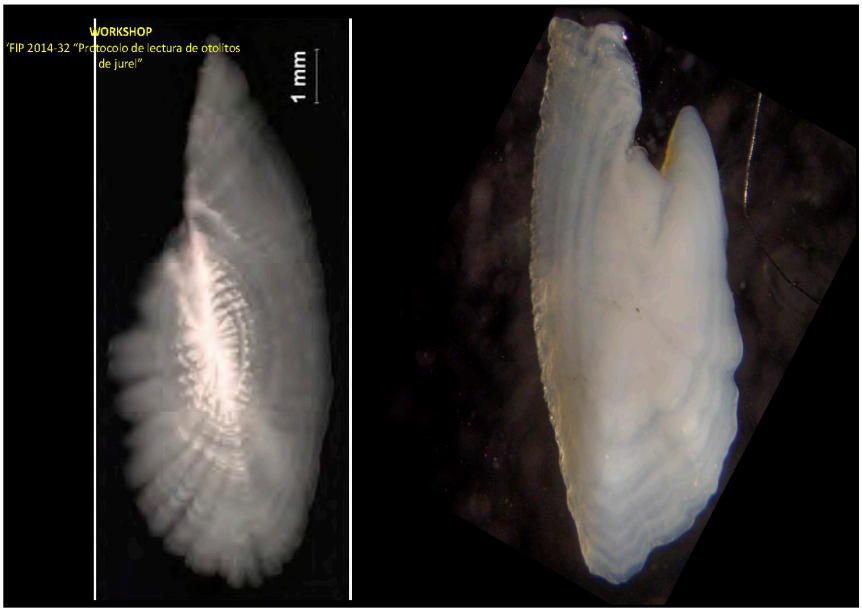
SPRFMO
South Pacific Regional Fisheries Management Organisation



Commission Members

1 Australia
2 Republic of Chile
3 People's Republic of China
4 Cook Islands
5 Republic of Cuba
6 Republic of Ecuador
7 European Union
8 Kingdom of Denmark in respect of the Faroe Islands
9vRepublic of Korea
10 New Zealand
11 Republic of Peru
12 Russian Federation
13 Chinese Taipei
14 The United States of America
15 Republic of Vanuatu

3



23/9/19

Cerna et al. (2016)

Cerna et al. 2016

9. Se realizó el Workshop de intercalibración de la edad y elaboración del protocolo de lectura de jurel. En el ejercicio de intercalibración participaron 4 de 7 países (Holanda, Ecuador, Rusia y Chile), en tanto que en el Workshop solo lo hicieron 2 de 7 (Ecuador y Chile). Siendo uno de los principales resultados, la constatación de la gran diferencia existente en los criterios de lectura entre los distintos laboratorios.

3

Cerna et al. 2016

Una de las recomendaciones emanadas de los talleres de trabajo, ha sido la necesidad de validar la periodicidad de los microincrementos como una forma de evaluar a su vez la presumiblemente elevada tasa de crecimiento, estimada para el primer año de vida para esta especie.

Cerna et al. 2016

Para ello es crucial contar con ejemplares juveniles en condiciones de confinamiento que permitan validar los criterios de interpretación de microincrementos, para posteriormente aplicarlos en la estimación de edad de juveniles silvestres para la validación del primer *annulus*.

Objetivo General

Validar la edad de jurel, a partir de la determinación de la periodicidad de los micro-incrementos primarios y macro-anillos en otolitos de juveniles, con el propósito de mejorar la exactitud de la estimación de edad anual.

Objetivos Específicos

1. Validar la periodicidad de los micro-incrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio.

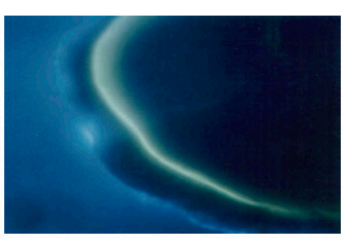
2. Validar el primer *annulus* a partir del conteo de micro-incrementos primarios previamente validados.

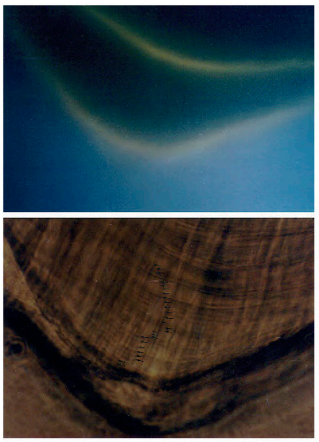
3. Caracterizar el crecimiento diario, determinar fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida.

Universidad ARTURO PRAT del Estado de Chile

Objetivo específico 1.

Validar la periodicidad de los micro-incrementos primarios de los otolitos de peces juveniles de jurel utilizando técnicas de mantención de peces en cautiverio.



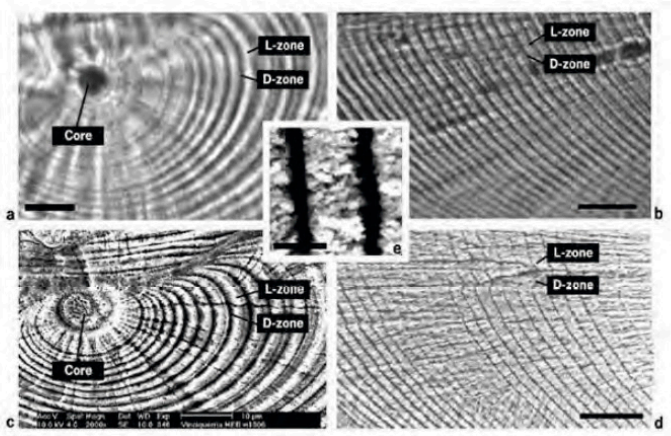


(Araya et al., 2003)

1

Zona-L y Zona-D

Zona-L: rica en carbonato de calcio
Zona-D: rica en proteína



(Wright et al. 2002)

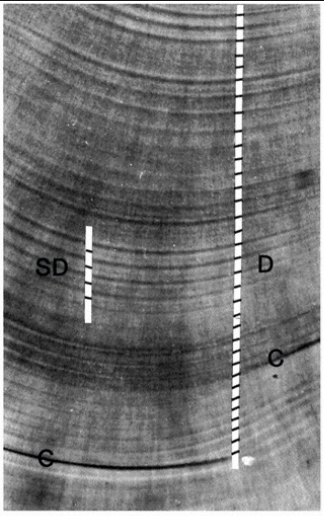
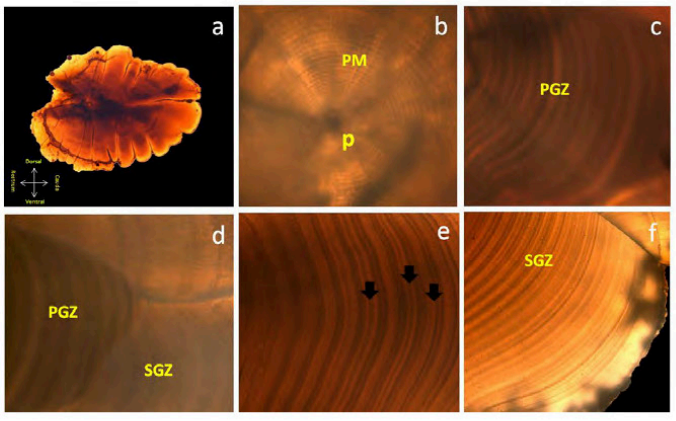


FIG. 3. A growth increment sequence characterized by daily (D) and subdaily (S) increments, as well as by checks (C). The daily increment sequence is smooth and regular in its appearance; changes in increment width and contrast are often gradual.

(Campana, 1992)

2

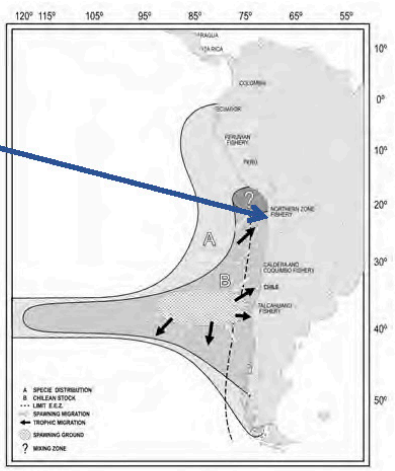


WORKSHOP
"FIP 2014-32 "Protocolo de lectura de otolitos de jurel"

***Figure 7**: Sagittae otolith microstructure of T. murphyi with 10,7 cm FL. The pictures show the whole reading axis toward the post-rostrum. The picture a) show the whole otolith; b) show the initial primordium (p) and primary microincrement (PM); c) the middle area of PGZ; d) the end area of PGZ and start of SGZ; e) correspond at the middle area of SGZ where was observed the growth bands formed for two thin rings, the arrow indicated an possible sub-daily ring; f) shows the thin rings near to edge of otolith.*

Materiales y Métodos

Zona costera
de Antofagasta

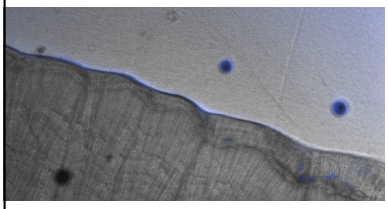


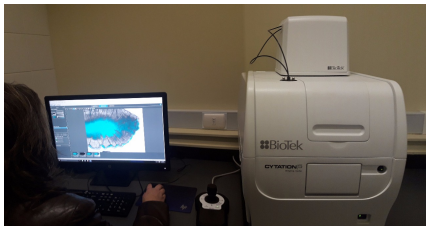
3

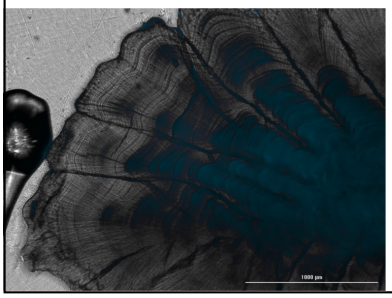
4

VETERQUIMICA
TERRIVET ® F 200
Oxitetraciclina 20%
Solución Inyectable
USO VETERINARIO
VETERQUIMICA
TERRIVET ® F 200

5



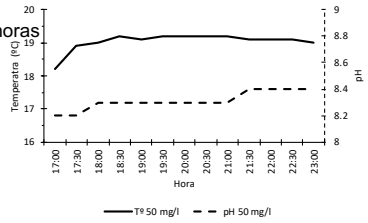




11

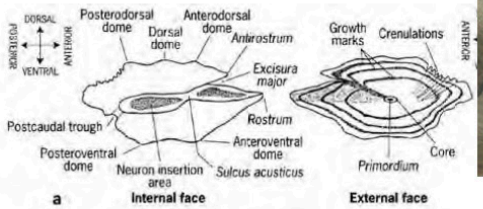
12 días aclimatación
46 días entre marcaje
10 días al sacrifico

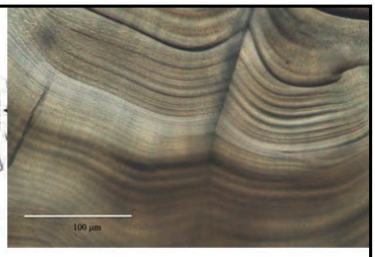
Concentración de Alizarina roja S (50 mg/l) por 6 horas

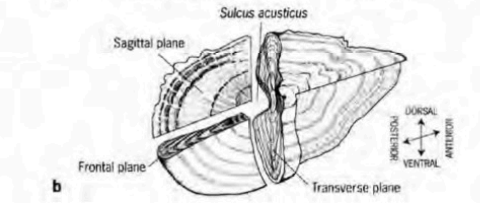


6

Partes de un otolito y planos de cortes



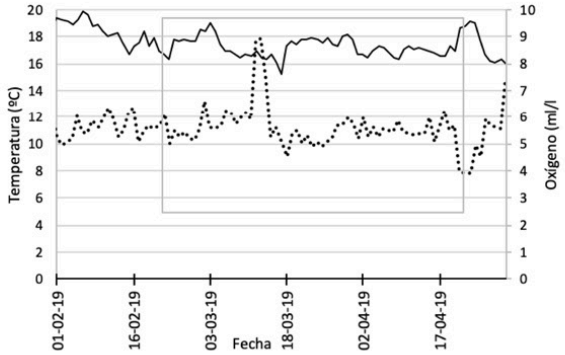




(Wright et al. 2002)

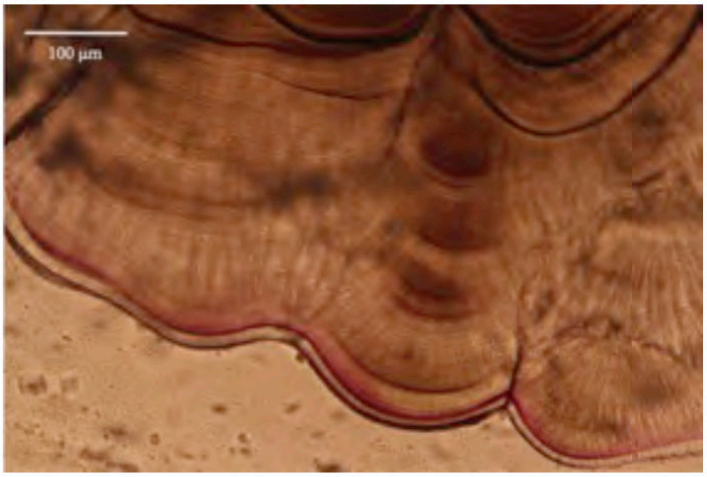
- Se obtuvo una vista sagital
- Medio montaje cystalbond
- Mediciones hacia el postrostrum
- Observaciones con microscopia de campo claro a 40X
- Se contabilizaron dos veces por dos personas

Resultados

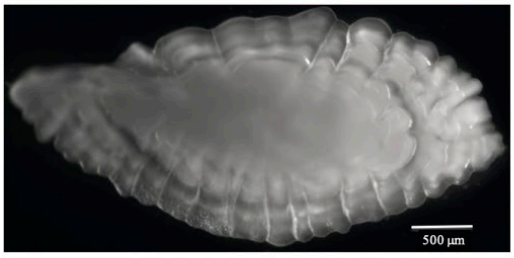


7

Otolito de jurel de 10,4 cm LH muerto 8 días después del marcaje (50 mg/l)
Se observa en el borde la marca de alizarina. 20X

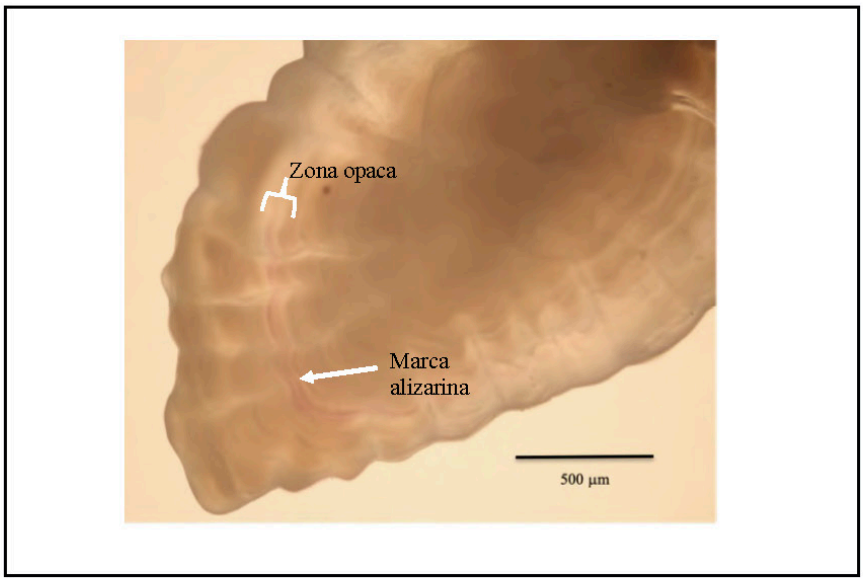


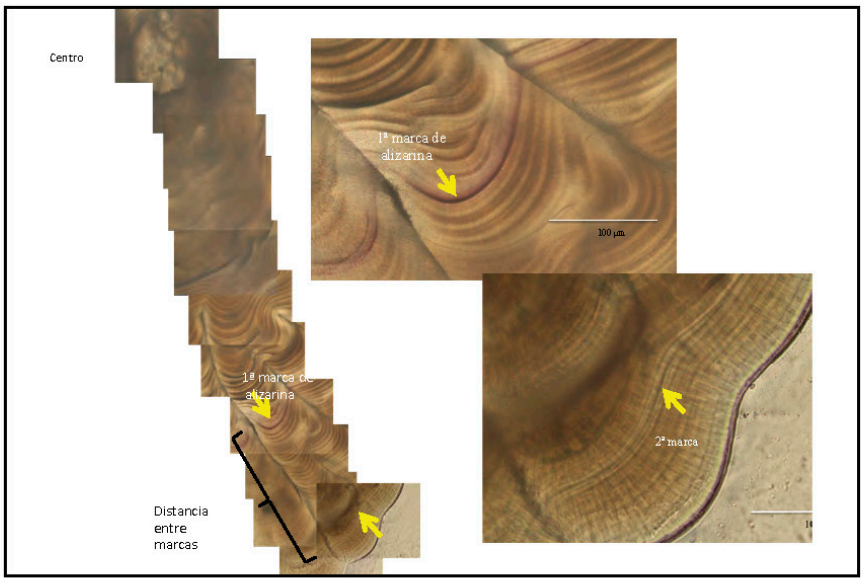
14,2 cm LH



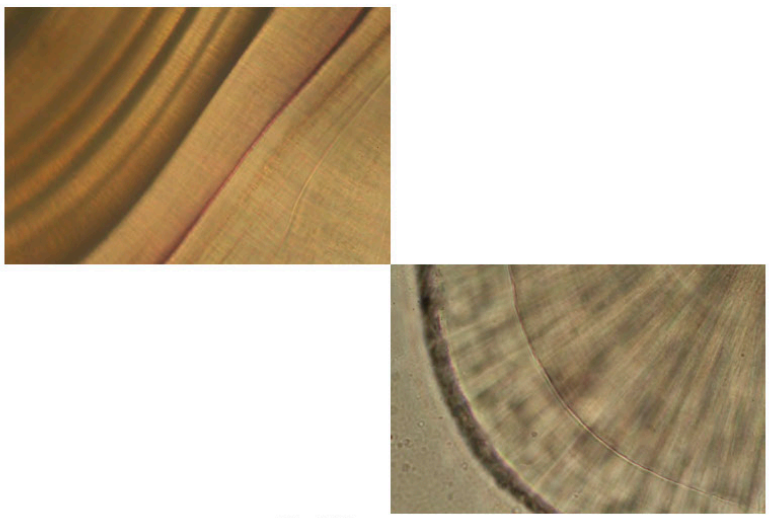
12,9 cm LH

8

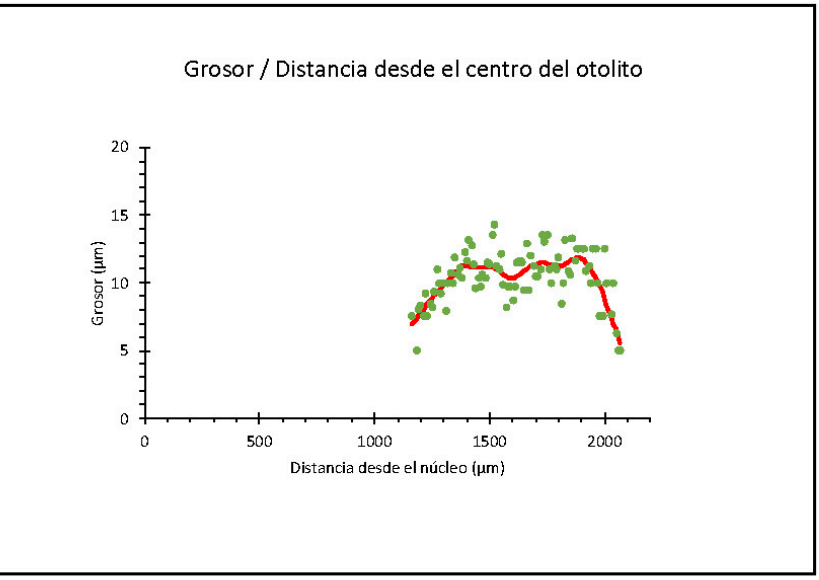

Zona opaca
Marca alizarina
500 µm


Centro
1ª marca de alizarina
Distancia entre marcas
1ª marca de alizarina
100 µm
2ª marca

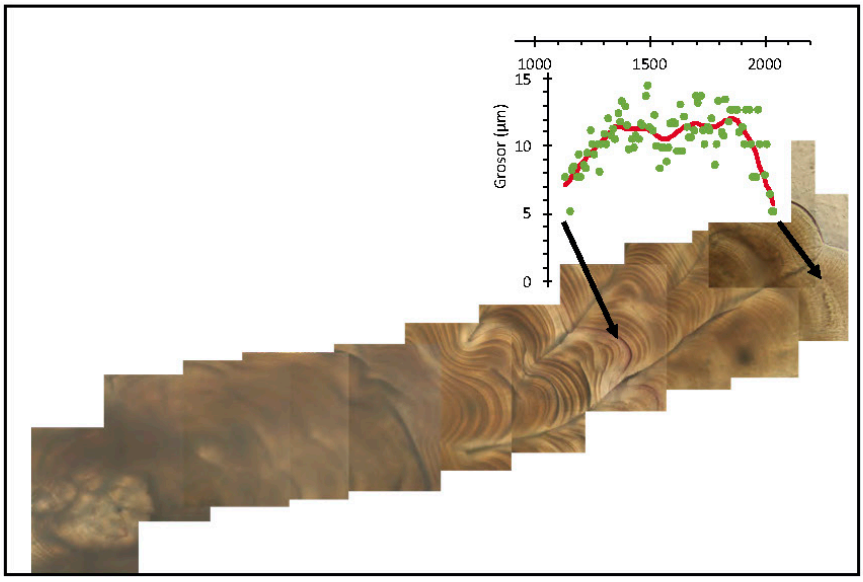
9

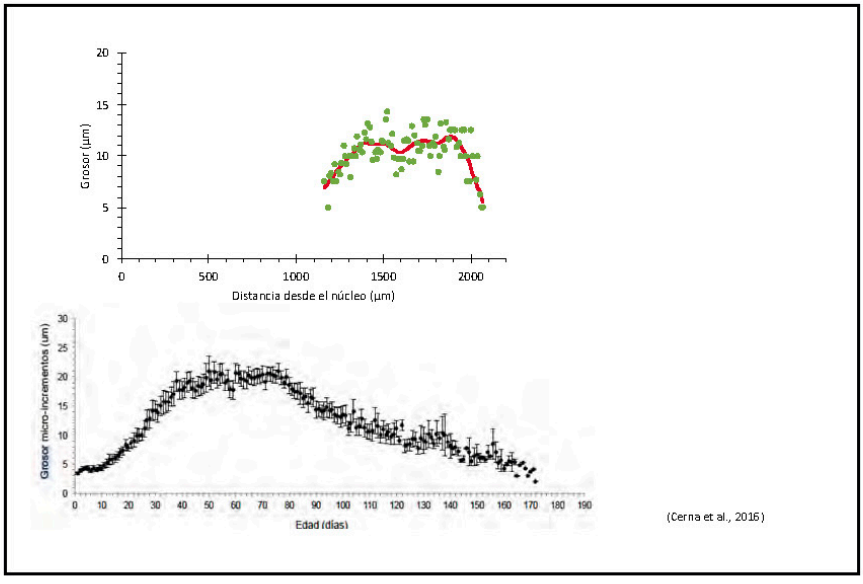


Fotos 100X



10


1000
1500
2000
15
10
5
0
Grosor (µm)


20
15
10
5
0
Grosor (µm)
0
500
1000
1500
2000
Distancia desde el núcleo (µm)
Grosor micro-incrementos (um)
Edad (días)
(Cerna et al., 2016)

11

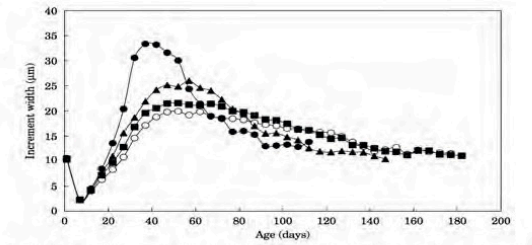


FIG. 6. Variations in increment width in sagittae among hatch-month cohorts (-○-, January and February; -●-, March; -▲-, April; -◆-, May) of *Trachurus japonicus* juveniles collected from Fugawa Bay in 2002.

{Xie & Watanabe, 2005}

El número promedio de microincrementos entre marcas fue de 45,8 (d.e.: 0,86) y de 45,7 (d.e.: 1,17)

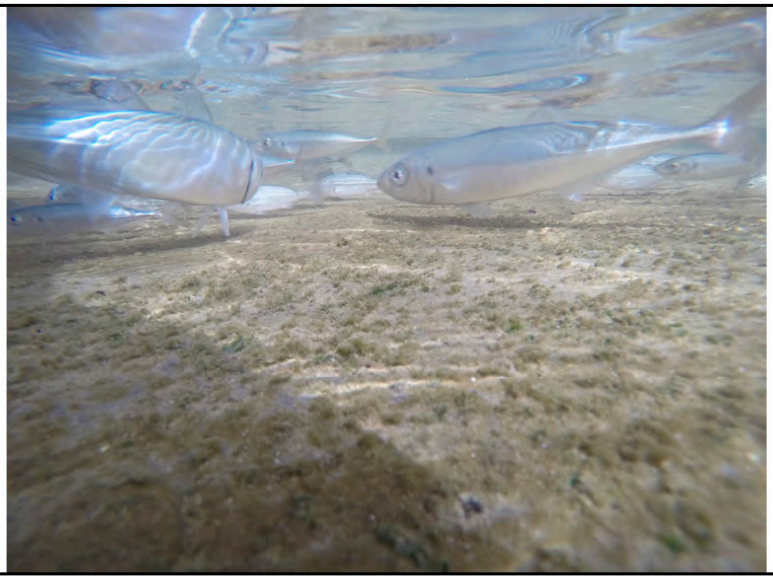
Ambas medias no son significativamente diferentes de 46 (test-t; p=0,095 y p=0,209, respectivamente) que son los días que permanecieron los ejemplares de jureles en cautiverio entre marcas.

12

Conclusiones

- Fue posible producir las dos marcas en los otolitos de jureles de 12,4 cm LH, la primera de color fucsia con una zona-D amplia y la segunda también con una zona-D un poco más fina.

- El número promedio de microincrementos entre marcas fue de 45,8 (d.e.: 0,86) y de 45,7 (d.e.: 1,17) según ambos lectores. Ambas medias no son significativamente diferentes de 46 (test-t; p=0,095 y p=0,209, respectivamente) que son los días que permanecieron los ejemplares de jureles en cautiverio entre marcas.



Taller de Resultados

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA
INPESCA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

FIP 2017-61: VALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DIARIO DE JUREL

OBJETIVO 4.2 "Validar el primer annulus a partir del conteo de micro-incrementos primarios previamente validados

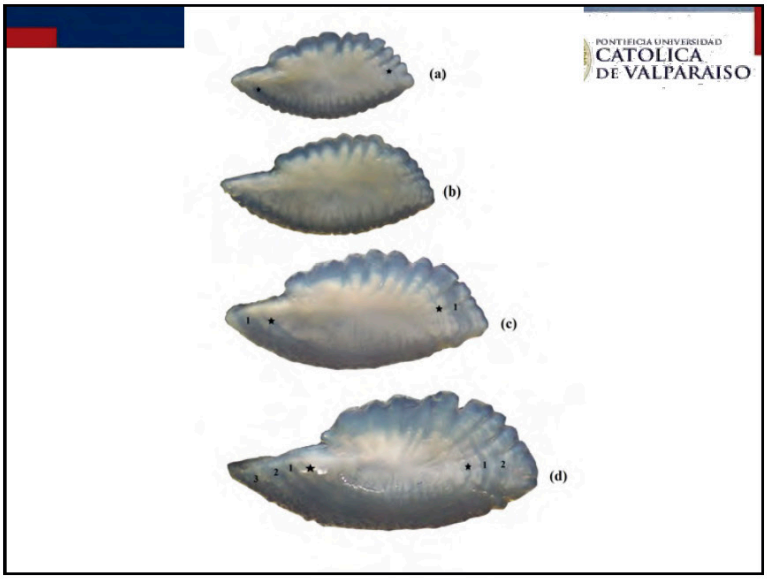
OBJETIVOS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

Síntesis del número de otolitos sagitales de ejemplares de entre 18 y 23 cm LH del jurel *Trachurus Murphy*, disponibles para análisis micro y macro-estructural en el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), el Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA), en los últimos 7 años. N total= 891. Las muestras más recientes provienen de la embarcación pesquera rusa MAGIRIS.

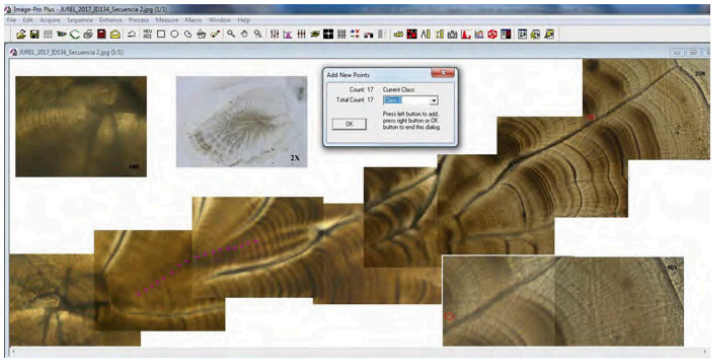
Año	Zona	Media ± DE	Rango	N	CV
2008		17,6 ± 3,1	13 - 23	206	17,6
	ANTOF/MEJ	18,8 ± 2,2	13 - 22	46	11,6
	ARICA	16,9 ± 1,8	13 - 22	40	10,7
	CALDERA	22,4 ± 0,8	20 - 23	19	3,7
	CENTRO/SUR	22,3 ± 0,8	21 - 23	6	3,7
	CORONEL	17,0 ± 5,2	14 - 23	3	30,6
	IQUIQUE	15,5 ± 2,3	13 - 22	84	14,7
	MEJILLONES	20,4 ± 1,0	19 - 21	7	4,8
	TALACAHUANO	23,0 ±	23 - 23	1	
2009		19,7 ± 3,2	13 - 23	205	16,4
	ANTOF/MEJI	18,8 ± 2,5	16 - 23	50	13,1
	ARICA	23,0 ± 0,0	23 - 23	2	
	CALDERA	21,3 ± 1,5	18 - 23	48	7,1
	CENTRO SUR	21,9 ± 1,3	19 - 23	14	5,8
	COQUIMBO	22,3 ± 0,8	21 - 23	7	3,4
	IQUIQUE	19,1 ± 3,9	13 - 23	75	20,3
	MEJILLONES	14,4 ± 0,7	13 - 15	9	5,0
2017	MAGIRIS	18,2 ± 0,8	16 - 20	68	4,3
Total		**18,6 ± 3,3**	**13 - 23**	**479**	**17,8**

REGISTRO DE LA MACRO-ESTRUCTURA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA
Image-Pro Plus - 090209_ID93_12.5X_IZ.jpg (1/1)
File Edit Acquire Sequence Enhance Process Measure Macro Window Help
090209_ID93_12.5X_IZ.jpg (1/1)
L1


PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
(a)
(b)
(c)
(d)

COMBINACION DE IMAGENES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

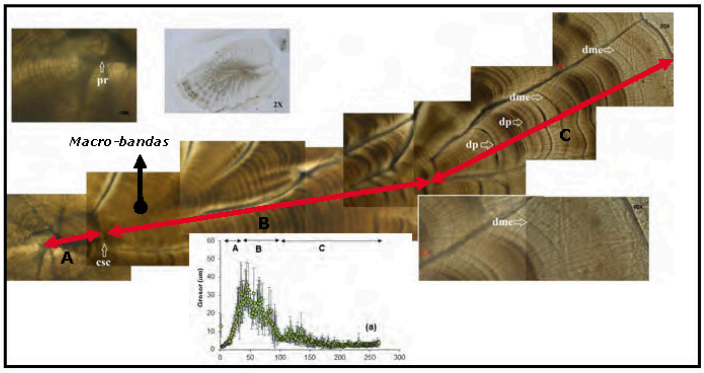


RESULTADOS (rasgos micro-estructurales)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

Microincrementos diarios depositados de forma continua y secuencial desde el primordio hasta el borde de los otolitos en ejemplares de entre 20 y 23 cm LH

➡ *Cerna et al. 2019*



5-6 CSC ¿Causas de su formación?

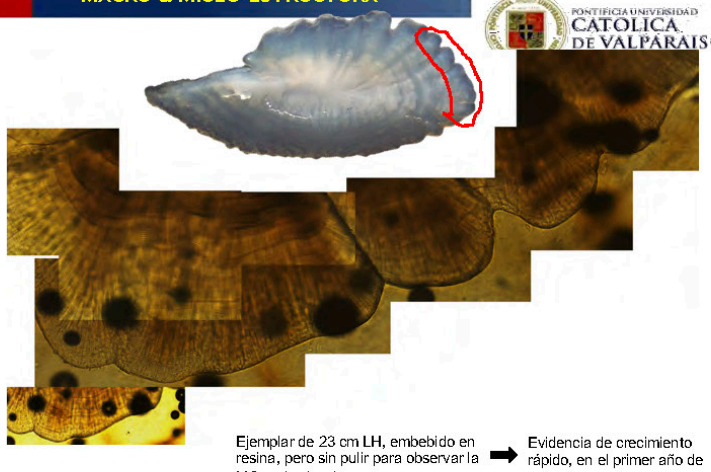
- ❖ Cambios de hábitat
- ❖ Metamorfosis
- ❖ Morfogénesis de la cavidad ótica

➡ *Campana y Nelson 1985, Gartner 1991, Sogard 1991, Hare y Cowen 1991, Buratti y Santos 2010, Joh et al. 2005*

➡ ***LAPILUS?***

MACRO & MICEO-ESTRUCTURA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

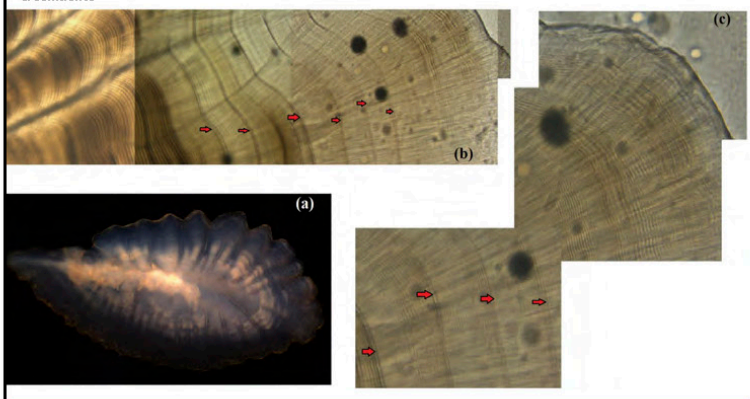


Ejemplar de 23 cm LH, embebido en resina, pero sin pulir para observar la MO en los bordes ➡ Evidencia de crecimiento rápido, en el primer año de vida

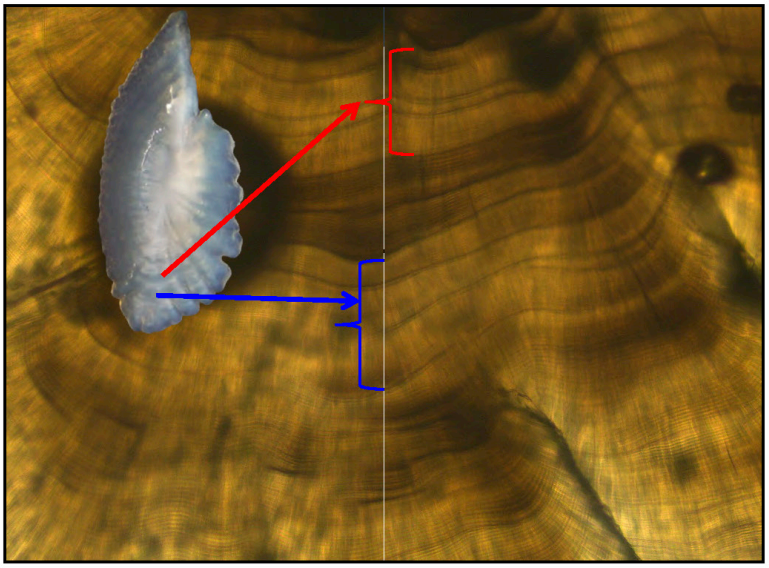
MACRO & MICRO-ESTRUCTURA (Zona C)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

Anillos falsos asociadas a detenciones del crecimiento ➡ *Snow & Long (2016), Snow et al. (2018)*



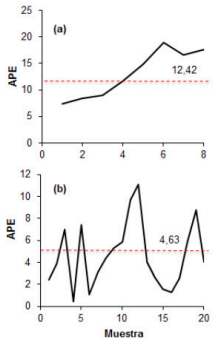
¿Qué factor podría ser responsable de este tipo tan singular de detenciones reiteradas en el crecimiento en algunos ejemplares del jurel en condiciones naturales? ¿Es la regla o es la excepción en esta especie?



Análisis de Reproducibilidad

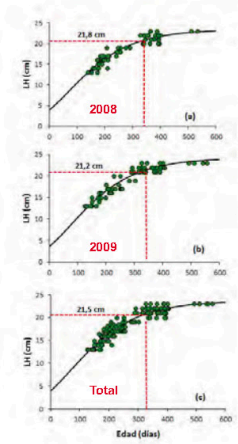
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

	Longitud de Horquilla (cm)			Edad (días)			
Año	LH	d.e	Rango	Edad	d.e	Rango	N
2008	18,88	3,35	13 - 23	286,8	105,4	125 - 555	68
2009	18,42	3,05	13 - 23	277,8	99,8	139 - 534	55
2017	17,87	0,58	17 - 19	210,1	21,6	166 - 243	14
Total	18,59	3,06	13 - 23	275,4	99,9	125 - 555	137



Modelos de Crecimiento a nivel diario

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO



Modelos Laird-Gompertz ajustados a la relación edad vs longitud de horquilla para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena.

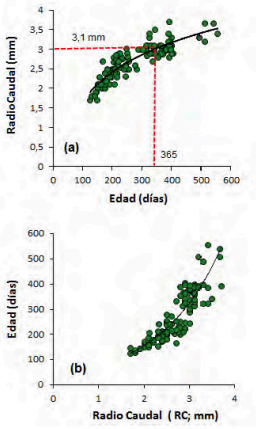
Año	Parámetro	Estimado ± ES	Inferior	Superior	LX_0	G
2008	L_∞	23.381 ± 0.834	21.708	25.055	8.60	0.461
	α	0.008 ± 0.002	0.005	0.011		
	X_0	71.972 ± 12.832	46.222	97.722		
2009	L_∞	24.206 ± 0.629	22.948	25.463	8.90	0.486
	α	0.008 ± 0.001	0.006	0.01		
	X_0	78.573 ± 7.773	63.05	94.097		
Global	L_∞	23.678 ± 0.483	22.722	24.634	8.71	0.464
	α	0.008 ± 0.001	0.006	0.01		
	X_0	72.195 ± 7.338	57.682	86.707		

- Cerna et al (2014) ~22 cm LH--Laird-Gompertz
- Goicochea et al. (2013) estimaron una talla media de 17,7 cm LH

Crecimiento rápido durante el primer año de vida en peces pelágicos

Relación edad vs Radio Caudal

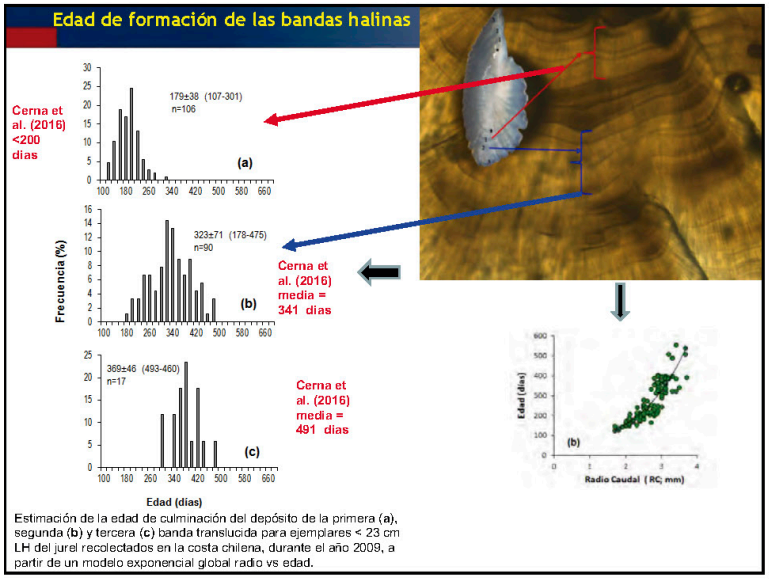
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO



Parámetros estimados e información estadística asociada al ajuste de funciones logarítmicas y exponenciales entre la edad y el tamaño del otolito (a) respectivamente, para ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena.

Modelo	*Año*	*Parámetro*	*Estimado ± ES*	*LI*	*LS*	*F*	*GL*	*AIC*
Edad vs Radio	2008	α	-4,00 ± 0,34	-4,68	-3,32	391,58	(1,65)	-28,83
		β	1,21 ± 0,06	1,09	1,33			
	2009	α	-2,96 ± 0,40	-3,78	-2,15	196,45	(1,38)	-23,17
		β	1,01 ± 0,07	0,86	1,15			
	Global	α	-3,36 ± 0,28	-3,92	-2,80	466,54	(1,115)	-43,06
		β	1,09 ± 0,05	0,99	1,19			
Radio vs Edad	2008	α	43,16 ± 1,10	35,59	52,30	372,78	(1,65)	-61,50
		β	1,84 ± 0,10	1,65	2,03			
	2009	α	29,02 ± 1,17	20,97	40,17	196,45	(1,38)	-30,91
		β	0,83 ± 0,06	0,71	0,95			
	Global	α	35,62 ± 1,10	29,61	42,86	466,54	(1,115)	-89,00
		β	0,74 ± 0,03	0,67	0,80			

Edad de formación de las bandas halinas

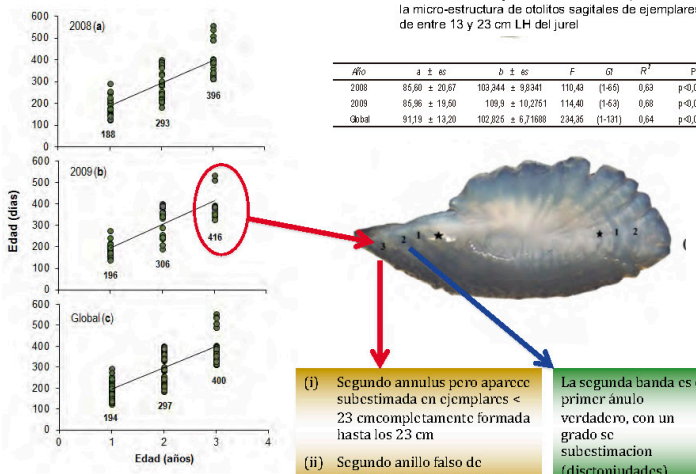


Estimación de la edad de culminación del depósito de la primera (**a**), segunda (**b**) y tercera (**c**) banda translucida para ejemplares < 23 cm LH del jurel recolectados en la costa chilena, durante el año 2009, a partir de un modelo exponencial global radio vs edad.

Relación Edad Diaria vs Edad Anual

Relaciones lineales entre la edad anual, obtenidas por lectura tradicional y edad diaria obtenida por análisis de la micro-estructura de otolitos sagitales de ejemplares de entre 13 y 23 cm LH del jurel

Año	a ± es	b ± es	F	Gl	R^2	P
2008	85,60 ± 20,67	103,344 ± 9,8341	110,43	(1-65)	0,63	p<0,001
2009	85,96 ± 19,50	109,9 ± 10,2751	114,40	(1-63)	0,68	p<0,001
Global	91,19 ± 13,20	102,825 ± 6,71688	234,36	(1-131)	0,64	p<0,001



(i) Segundo annulus pero aparece subestimada en ejemplares < 23 cmcompletamente formada hasta los 23 cm

(ii) Segundo anillo falso de invierno del siguiente ciclo

La segunda banda es el primer ánulo verdadero, con un grado se subestimacion (disctoniudades)

CONCLUSIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

- La micro-estructura de los otolitos sagitales de ejemplares del jurel *Trachurus murphy*, recolectados en aguas chilenas de entre 13 y 23 cm LH, permitió registrar una secuencia ininterrumpida de micro-incrementos diarios, desde la primera marca circundado al primordio hasta el borde de los mismos, lo que permitió su determinación de edad diaria con confiabilidad.
- La micro-estructura de los otolitos sagitales de ejemplares de entre 18 y 23 cm de LH de Trachurus murphy presentó tres zonas, una primera zona caracterizada por un incremento gradual del grosor de los micro-incrementos entre la primera y cuarta semana de vida, una segunda zona de mayor crecimiento del otolitio que se inició con la aparición de CSC y que se extendió hasta aproximadamente el cuarto mes de vida, y una tercera zona micro-estructural que se caracterizó por una reducción marcada de las tasas de crecimiento del otolito.
- La relación edad vs LH fue descrita significativamente por modelos Laird-Gompertz, a partir del cuales se estimaron longitudes de entre 21, 2 a 21, 8 cm LH para el primer año de vida.
- La relación edad vs radio caudal y su función inversa se ajustaron significativamente a modelos logarítmicos y exponenciales, respectivamente, a partir de los cuales se estimaron radios medios al primer año de vida de entre 3 y 3.1 mm.
- La comparación entre la edad la edad diaria y la edad anual registrada de forma tradicional, en dos años de estudio (2008 y 2009), demostró que la primera zona translucida completó su formación a edades medias de 180 días, muy por debajo de los 365 días requeridos para ser considerado el primer ánulo en esta especie y en consecuencia debiese ser omitida en los procesos de monitoreo de edad para esa especie.
- La determinación de edad a nivel diario demostró que la segunda translucida se formó a edades medias entre los 293 y 323 días a un radio medio estimado de 2,9 mm en dirección caudal de los otolitos sagitales, valores que estuvieron cercanos a la edad teórica esperada y por consiguiente debiese ser considera como el primer ánulo para esta especie.

Universidad ARTURO PRAT del Estado de Chile

CATOLICA DE VALPARAISO

Objetivo Específico 3. Caracterizar el crecimiento diario, determinar fechas de nacimiento y edad de reclutamiento en peces silvestres menores a un año de vida.

Lilian Cisterna, Aquiles Sepúlveda, Marcia Neira y Evelin Sanhueza
Instituto de Investigación Pesquera

Metodología

Recolección de muestras

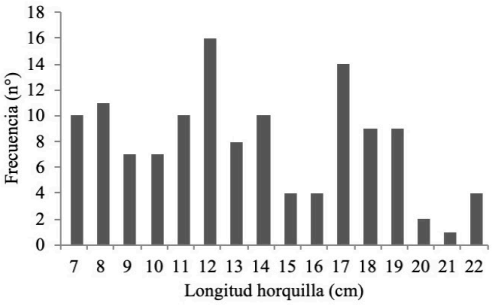


Figura 1. Histograma de frecuencias que presenta el número de individuos muestreados en la zona norte entre 7 y 22 cm LH.

- Se analizó 126 otolitos de los 153 recolectados en la zona norte de Chile.
- Muestreados entre los meses de septiembre 2017 y mayo de 2018.
- Realizar comparaciones entre las tasas de crecimiento, se analizaron muestras que correspondían a la zona centro sur de Chile (8,5 a 19 cm LH).
- Capturados el año 2008, 2009 y 2014.

Análisis del peso del otolito en función de la longitud de los individuos menores a un año

- Como ya ha sido probado que el peso del otolito se relaciona con el crecimiento del pez (Araya *et al.* 2001; Pino *et al*. 2004).
- El peso fue medido con balanza analítica de 0,0001 g de precisión.
- La relación entre la longitud del pez (cm) y el peso del otolito (mg) fue ajustado a través de una regresión lineal.

Preparación de las secciones delgadas para la observación de microincrementos.

- Abrasivos comerciales de diferente grano (1500, 2000 y 2500).
- Consiguiendo lámina de 0,3 mm de espesor.
- Se aplicó una pasta de pulir gamma alúmina de 0,05µm de espesor para eliminar las marcas dejadas por las lijas.

Figura 2. Otolito de jurel fijado en portaobjeto mediante medio de montaje Crystal Bond.

Preparación de las secciones delgadas

- Todos los otolitos fueron fijados y pulidos en posición sagital.
- Muestras de muy buena calidad donde se pudo observar la microestructura desde el primordio hasta el borde del postrostrum.

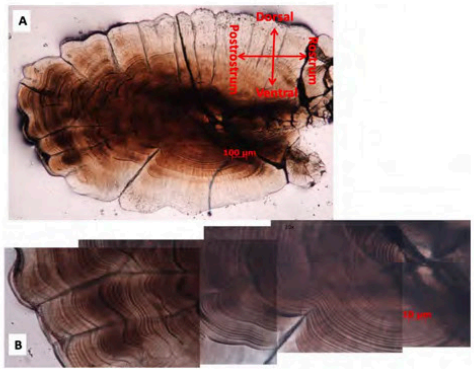


Figura 3. Microestructura de un otolito de jurel de 8,6 cm LH, visto bajo microscopio óptico. (A) corresponde a aumento 5X, (B) corresponde a aumento de 20X.

Estimación de la tasa de crecimiento del otolito

- Se analizó 113 muestras de los mismos especímenes analizados para la microestructura.
- Las secciones delgadas fueron fotografiadas mediante cámara fotográfica.
- Las imágenes fueron analizadas con la ayuda del programa AxioVision Rel. 4.6.

Figura 4. Microscopio óptico Carl Zeiss, modelo Axio Lab A1. Provisto de cámara fotográfica

23/9/19

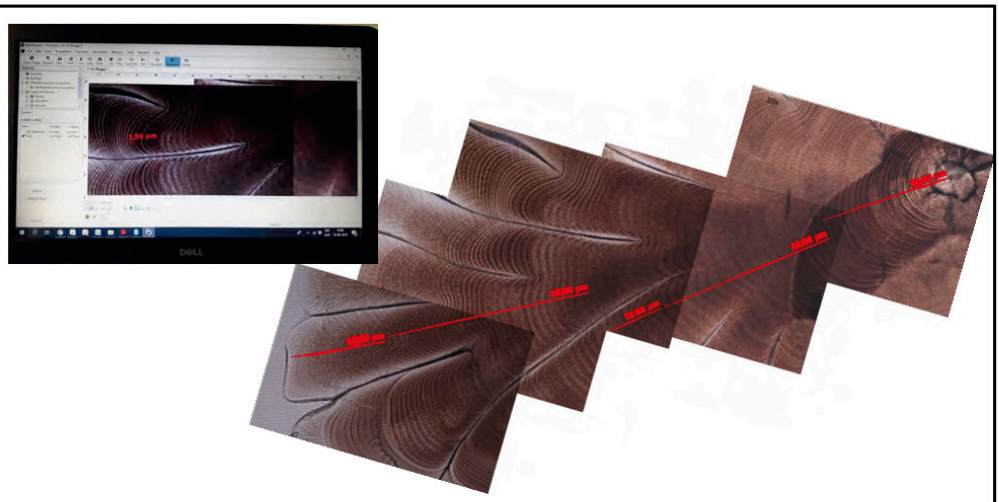
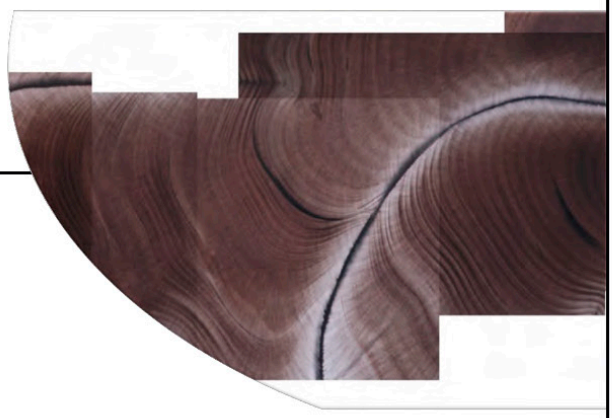


Figura 5. Demostración de medición del grosor de los microincrementos mediante el programa computacional Axio Vision Release 4.6.

Resultados



Análisis del peso del otolito en función de la longitud de los individuos menores a un año

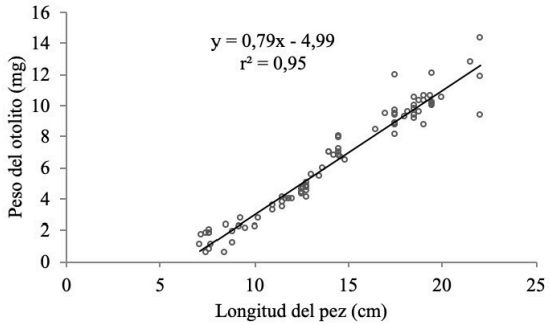


Figura 6. Regresión lineal entre la LH (cm) y peso de su otolito (mg), n=79.

Análisis de la precisión de las lecturas de microincrementos diarios

Tabla 1. Cálculo del error porcentual promedio (APE) para las lecturas de los microincrementos en otolitos de jurel, lecturas realizadas dos veces y por dos lectores LC y ES. ID=identificación de la muestra, Prom: promedio; DE: desviación estándar; CV: % coeficiente de variación.

★ APE total es igual a 4,48

ID	LC	ES	Prom.	DE	LC	ES	Prom.	APE	CV
A-109	124	137	130,5	9,19	0,05	0,05	0,05	4,98	7,04
T-76	99	101	100	1,41	0,01	0,01	0,01	1	1,41
A-107	159	164	161,5	3,54	0,02	0,02	0,02	1,55	2,19
A-134	121	138	129,5	12,02	0,07	0,07	0,07	6,56	9,28
T-102	158	174	166	11,31	0,05	0,05	0,05	4,82	6,82
T-64	210	245	227,5	24,75	0,08	0,08	0,08	7,69	10,88
T-89	131	149	140	12,73	0,06	0,06	0,06	6,43	9,09
T-83	130	141	135,5	7,78	0,04	0,04	0,04	4,06	5,74
T-75	100	112	106	8,49	0,06	0,06	0,06	5,66	8
A-108	139	151	145	8,49	0,04	0,04	0,04	4,14	5,85
A-106	151	163	157	8,49	0,04	0,04	0,04	3,82	5,4
A-124	143	151	147	5,66	0,03	0,03	0,03	2,72	3,85
A-133	138	152	145	9,9	0,05	0,05	0,05	4,83	6,83

Asignación de fecha de nacimiento

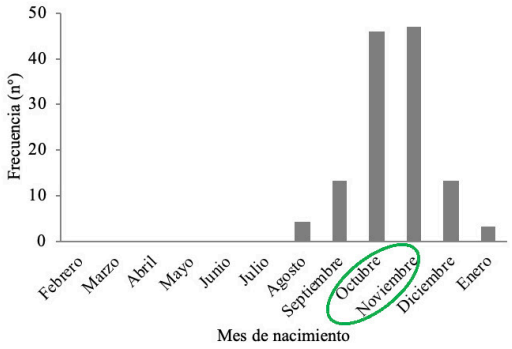


Figura 7. Distribución de frecuencia de individuos, respecto a su fecha de nacimiento determinada a partir de lectura de microincrementos. Los años de nacimiento corresponden a 2016, 2017 y 2018.

Estimación de la tasa de crecimiento del otolito

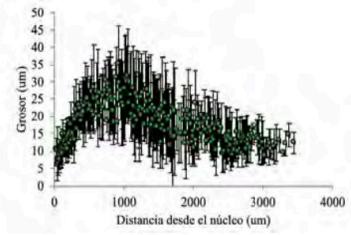


Figura 8. Relación entre el grosor promedio del microincremento (um) con la distancia de este al centro del otolito. Las barras corresponden a la desviación estándar.

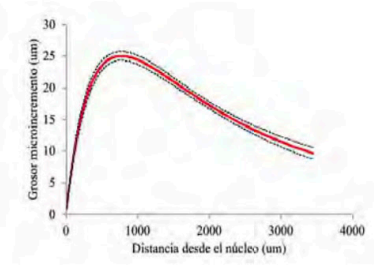


Figura 9. Ajuste del modelo que explica la tasa de crecimiento del otolito de jurel en función de la distancia del centro del otolito. Línea roja= modelo ajustado, Líneas negras= limites superior e inferior de error.

Estimación de las tasas de crecimiento de jureles juveniles

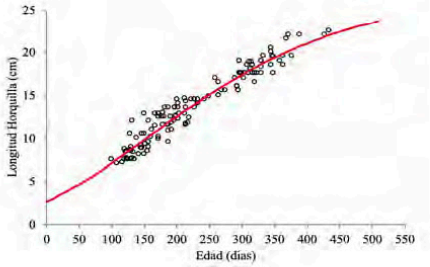


Figura 10. Relación longitud y edad para jureles juveniles de la zona norte de Chile. Los puntos negros corresponden a las observaciones y la línea roja es el ajuste del modelo de Gompertz (n=126).

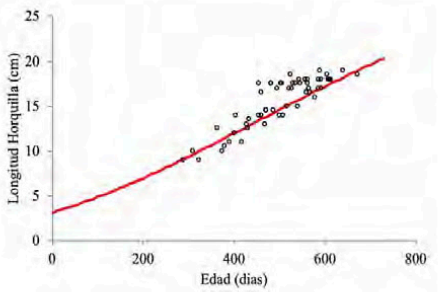


Figura 11. Relación longitud (cm) y edad (días) para jureles juveniles de la zona centro-sur de Chile. Los puntos negros corresponden a las observaciones y la línea roja es el ajuste del modelo de Gompertz (n=55).

Comparación del crecimiento en longitud para jureles juveniles capturados en la zona norte y centro sur de Chile

Tabla 18. Análisis de varianza LH a la edad estimada a partir de los parámetros de crecimiento del modelo de Gompertz entre las zonas norte y sur.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1511,4	1	1511,38	36,01	<1,48e-8	3,91
Dentro de los grupos	6128,3	146	41,97			
Total	7639,7	147				

Análisis y discusión de resultados

- Los individuos muestreados provenían de las regiones I y II, a pesar de que la oferta técnica comprometió la recolección de muestras de la III y IV regiones

- Debido a que parte importante del objetivo 3 solicitaba la comparación entre cohortes de dos zonas de reclutamiento, entonces se utilizó muestras de individuos reclutas y juveniles disponibles en la colección de otolitos de INPESCA

Tabla 2. Desembarque oficial de jurel con tallas menores a 23 cm de LH en las XV, I, II, III y IV regiones, para el periodo de muestreo del presente proyecto. Fuente: Boletines Instituto de Fomento Pesquero.

		REGIÓN					
AÑO	MES	XV	I	II	III	IV	Total
	Septiembre	-	-	6	529	567	1102
2017	Octubre	54	1	7	23	68	153
	Noviembre	51	35	36	3	203	328
	Diciembre	-	-	18	-	88	106
	Enero	-	66	-	-	1,18	1246
	Febrero	-	-	-	-	-	0
	Marzo	-	1009	696	-	-	1705
	Abril	-	879	1255	-	-	2135
2018	Mayo	-	570	4999	-	-	5569
	Junio	-	2369	72	-	-	2441
	Julio	-	-	-	-	-	0
	Agosto	-	-	-	-	-	0
	Septiembre	-	-	-	-	-	0
	Octubre	-	-	-	-	-	0
	Noviembre	-	-	-	-	-	0
	Diciembre	-	26	-	-	-	26

- En el presente objetivo se determinó que el 100% de los individuos analizados nació entre los meses de agosto y enero; con un pico entre octubre y noviembre que correspondió al 73% de los individuos.
- Las fechas de nacimiento se sobreponen ampliamente con el periodo de mayor IGS reportado para esta especie.
- Así también lo demuestran Lange *et al.* (2016); Gretchina *et al.*, 1998; Oyarzún *et al.*, 1998.

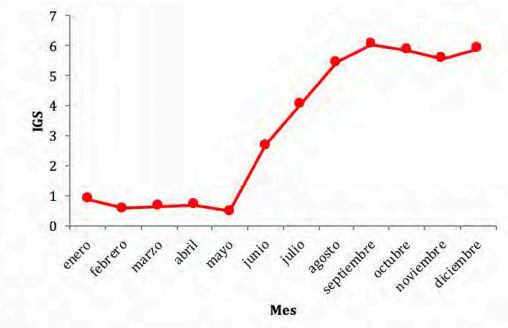


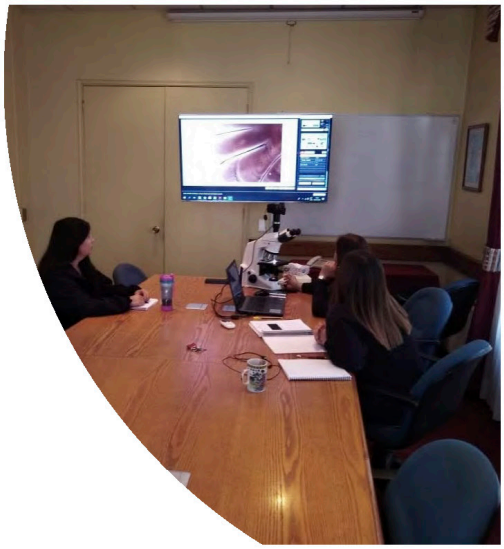
Figura 12. Promedio del índice gónado somático (IGS) determinado para jurel en la zona norte de Chile. Entre los meses de enero y diciembre de 2017. Los mayores valores de IGS se registraron entre los meses de septiembre y diciembre.

- El análisis del grosor de los microincrementos, en función del radio del otolito de jurel; indicó que la mayor tasa de crecimiento se alcanza cuando el otolito mide entre 600 y 900 µm.
- El modelo de Deriso ajustado a las observaciones muestra que el mayor grosor del incremento (25 µm) se alcanza a una distancia de 772 µm del centro del otolito.
- Araya *et al.* (2001), determinan con este mismo modelo un grosor máximo de 14 µm.
- Diferencia se explica por la metodología de lectura de microincrementos aplicada, ya que en el presente proyecto se validó la presencia de microincrementos diarios tipo bandas.

- El análisis de varianza aplicado arrojó diferencias significativas ($p<1,48e-8$) entre las longitudes a la edad de los jureles capturados en las zonas norte y centro sur.
- Esta diferencia puede ser explicada por la variable ambiental temperatura del agua, ya que los individuos de la zona sur (34° y 38° S; 80° y 86° W) habitaban aguas más frías (14°C) que los especímenes del norte (18°C).
- Takasuka y Aoki (2006), reportaron que la temperatura del hábitat controla el crecimiento de peces, esto es, a mayor temperatura del hábitat la tasa de crecimiento es más alta.
- Es esperable que exista diferencias en el crecimiento de jureles juveniles, ya que si bien provienen de una misma zona de desove (Arcos *et al*. 2001), desarrollaron su etapa larval y juvenil en zonas de crianza distintas.

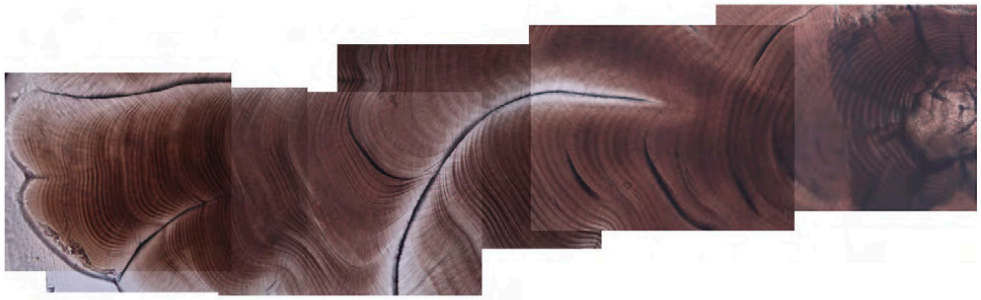
- Los individuos bajo 12,5 cm LH analizados en la zona centro sur (34° y 38° S), corresponden a jureles capturados el año 2009 en zonas oceánicas, y que de acuerdo con nuestros análisis estos individuos tenían más de 100 días de vida
- Vasquez *et al*. (2013), quienes estimaron que especímenes de jurel con más de 100 días de vida habitan zonas de crianza cercanas a la costa en latitudes menores a los 30°S
- La presencia de individuos reclutas en aguas oceánicas puede estar asociada a patrones de circulación atípicos reportados para el año 2009, donde se presentaron giros oceánicos específicos de energía cinética, los que pudieron retener larvas y juveniles de jurel en áreas cercanas a montes submarinos (Parada *et al.* 2017).
- A. Gretchina (comunicación personal) relata que estos eventos pueden mantenerse por hasta cuatro meses, sin permitir la movilización de jureles menores a 12 cm LH hacia aguas más costeras.

Conclusiones



- Existe buena relación entre la longitud del pez y el peso de otolito, representada por un alto valor de r^2=0,95, lo que indica que el crecimiento en peso de esta estructura, se encuentra altamente asociado al crecimiento en longitud del pez.
- Las fechas de nacimiento indicaron que los individuos analizados, nacieron entre los meses de agosto y enero; con un pico entre octubre y noviembre que correspondió al 73% de los individuos.
- El análisis del grosor de los microincrementos en función del radio del otolito, se determinó que la mayor tasa de crecimiento se alcanza cuando el otolito mide 750 µm aprox.
- Las longitudes a la edad fueron significativamente explicadas por el modelo de Gompertz (LH_∞=3,39; G =2,16; g= 0,001). Por lo tanto, sugerimos que se considere este modelo, para describir el crecimiento de larvas y peces juveniles de *T. murphyi*.

Gracias



Preguntas, Respuestas y Comentarios
Taller de Difusión de Resultados
Talcahuano 23 de septiembre 2019

1. ¿Qué estructura de tamaños tienen los ejemplares que fueron marcados en la segunda etapa (con alizarina)?
   - Entre 8 y 10 cm, ya que la idea era trabajar con juveniles.

2. ¿Cuántos ejemplares fueron analizados?
   - 44 otolitos.

3. ¿Han probado cambiando las condiciones de fotoperiodo?
   - No, pero es sabido que produce una diferencia en la formación de los microincrementos.

4. En relación al grosor de las bandas al momento de leer ¿cuál es tu sugerencia, para este caso en que las bandas son más anchas o mas angostas, es establecer algún criterio o hacer mediciones del ancho de las bandas? 40x, 20x al microscopio? para no equivocarse y contabilizarlas dos veces?
   - Se debe observar en 40X, debido a que si trabajamos a un aumento mayor veríamos líneas más finas (microincrementos subdiarios) y estaríamos sobrestimando la edad, mientras que en este aumento se distinguen claramente las bandas, que son paquetes de microincrementos subdiarios, esto ya está informado en la literatura tanto por Guido como por Ifop para anchoveta, y también para jurel en individuos más grandes.

5. ¿Cuáles fueron las condiciones de alimentación durante el periodo de cautiverio? ¿se pudieron alimentar bien o no? Debido a que muchas veces a esta especie les cuesta alimentarse en condiciones de cautiverio. ¿Estas condiciones favorecieron o no el conteo de anillos en comparación a condiciones normales? ¿se formarán anillos más marcados probablemente?
   - El jurel al 3er o 4to día ya comienza a alimentarse, es más, apenas una persona se paraba cerca del estanque, ellos se acercaban solos automáticamente. Fueron alimentados con pellet y anchovetas pequeñas capturadas también con atarraya, todos los ejemplares fueron alimentados *ad libitum*, dos a tres veces al día. En los ejemplares más grandes fue más notorio el contenido de grasas en las vísceras, en los más pequeños al ser sacrificados se notaba que habían crecido más en peso, no tanto en longitud. Una hipótesis que hemos estado formulando con los colegas de por qué el otolito de jurel tiene esa característica macro, con tantos anillos opaco y hialino, es por el sistema de migración que tiene, no siempre se está alimentando a una misma hora y con un mismo alimento, y creemos va pasando por largos momentos de inanición, por eso suponemos de que al recibir esa cantidad de alimento puede ayudar a formar mayor cantidad de anillos subdiarios.

6. ¿Existe algún patrón, dado que eran 44 ejemplares, de cada uno de los individuos, que represente las distancias entre anillos, con sus respectivas medias y desviaciones estándar y además el número de posibles incrementos subdiarios que podría establecerse para mejorar el protocolo que ya existe? Y la cantidad de anillos subdiarios?
   - Si existe, tendríamos que agregarlo, ya que cada individuo tiene medidas de grosor de sus anillos para poder construir la curva, aunque no están los 54. La cantidad de anillos subdiarios no la tenemos.

7. Pasaron 46 días entre la primera y segunda marca (alizarina), ¿tienes conteo de microincrementos antes de la primera marca? Como para comparar cuantos microincrementos hay en 46 días y cuantos hay antes de la primera marca?
   - No, pero tenemos la información de donde sacarla.

8. Si consideramos las marcas subdiarias ¿podría haber una sobreestimación en el patrón de crecimiento? en papers de microincrementos anteriores se habla de un crecimiento acelerado, cómo podría haber sido más acelerado aún, si ya es acelerado? puede que estos estudios estén considerando todavía los anillos subdiarios?
   - Depende de la institución, por ejemplo, los colegas de Ifop no han considerado los anillos subdiarios, no los han contabilizado.

9. A Hay algo que me genera curiosidad, hablando del pseudoanillo o la primera marca que no es anual, si uno sigue el patrón de movimiento del área de desove masivo de la zona oceánica y después un transporte activo hacia la zona norte de Chile, incluso hasta el sur de Perú, el tema de las temperaturas no sería tan fuerte en términos de seguir acercándose a zonas más cálidas, no sería como una marca de invierno producto de un cambio de temperatura, quizás es interesante que justo a los seis meses cuando uno ve que el patrón de transporte coincide con estos seis meses, podría establecerse esta conexión entre el océano y el norte de Chile, pero que fuese otra la razón no térmica sino que producto de un cambio de ambiente, de oceánico a costero.
   - Con un análisis espacio temporal debería dilucidarse si efectivamente los ejemplares que se encuentran de Caldera a Coquimbo pudiesen tener recurrentemente esta marca.

10. En el norte de Chile también hay desove, en Perú también hay desove, entonces hay una alta variabilidad en estos primeros seis meses, esta marca podría asociarse con historia de vida temprana.
    - Según la hipótesis del cinturón del Jurel, no se descarta que existan poblaciones discretas que son mantenidas por filopatría en las zonas de desove y que la gran área de desove provee a un recurso que es bastante trasnacional hacia otras áreas, se requiere avanzar en marcadores que podrían ayudar a entender esta dinámica. Uno podría ser la macroestructura, lamentablemente no es tan clara esa definición, en especies donde la parte del núcleo del otolito está muy bien definida puede ser un marcador, en el caso del jurel

no siempre es así, ya que hay años en donde encuentras muy claramente un núcleo opaco rodeado de una zona hialina muy bien definida, y otros años en que se encuentra una variabilidad impresionante, por ejemplo, en el año 2009, el 80% de los otolitos tenían esta característica, y en este caso el lector que trabaja en determinación de edad simplemente lo descarta, o si trata de todos modos de estimar edad, lo hará bajo mucha subjetividad y error.

11. La probabilidad de desove es más amplia, no es que solamente esté aislado, que desove acá o desove allá en la zona oceánica, existe también un cinturón de probabilidades de encontrar esto, bajo buena sobrevivencia en ciertos sectores que puedan aparecer mezclas de individuos que vienen de la zona oceánica en el mismo sector en que se está muestreando, esa variabilidad tiene que ver con el muestreo.
    - Hay muchas dudas e interesantes problemáticas que abordar. El proyecto de estructura poblacional del jurel que se realizó no logró resolver la problemática a ese nivel, sólo logró determinar heterogeneidad. Lo que podemos aportar como grupo de trabajo desde el punto de vista de la microestructura como herramienta es lograr encontrar los prereclutas de las áreas de desove oceánico, si pudiéramos tener acceso a esos prereclutas, pero no hay registro de prereclutas de jurel en el área oceánica, solo sabemos que hay ejemplares de 15 cm asociados a montes submarinos en el área de Juan Fernández, pero no prereclutas. Ese es un gran desafío, saber donde están los prereclutas, si están en un área de desove oceánica ellos necesitan un nursery, donde está el nursery para esa área. En muchos otros carángidos las algas flotantes funcionan como nursery, pero el desafío en este caso es saber donde están, si tuviéramos acceso a este tipo de muestras sería muy interesante para poder hacer las comparaciones.

12. Cuando determinas 1 año de edad o 360 dias, cual es el rango de longitud en que fluctúa esa edad?
    - Si, entre 19 y 22 cm

13. Y eso según tu coincide con la edad del primer desove, o la ojiva de madurez?
    - Si, en anchoveta también ocurre una caída en el crecimiento a partir de los 12 cm. Da la impresión de que la mayoría de los pelágicos tienden a maximizar el crecimiento antes de la primera madurez. Parece ser un paradigma que se está asentando en peces pelágicos. Otros autores también han reportado lo mismo, incluso han usado modelos de crecimiento para estimar también primera madurez en algunos casos, dando un enfoque distinto.

14. ¿Dónde fueron capturadas estas muestras?
    - A lo largo de toda la costa norte y centro sur, ya que en este caso el objetivo de este trabajo es la validación del primer annulus. Para analizar la parte espacial se necesita de otro estudio aparte.

15. Lo preguntaba porque es curioso que si el muestreo se realizó a lo largo de toda la zona costera exista tan poca variabilidad en el crecimiento.
    - Estos datos corresponden al 2008 y 2009, lamentablemente no tenemos datos más recientes. Es curioso que en el trabajo de IFOP también los ajustes fueron muy precisos, esa precisión apunta a la identificación de las macrobandas, ya que al leer microbandas la variabilidad aumenta, pero la identificación de las macrobandas es mucho más precisa. Incluso una persona sin tener mucha experiencia puede contar macrobandas. Es por eso que el criterio de lectura de macrobandas es bajo menor magnificación, se debe leer en menor magnificación. La idea es leer a 10x, porque si se lee a 40x, por ejemplo, la cantidad de anillos que se visualiza es enorme.

16. En ejemplares de tallas más grandes, el seguir los anillos diarios ¿es más difícil? Para ejemplares sobre 30 o 40 cm, por ejemplo, debido que hacia el borde las bandas van siendo más ajustadas unas con otras.
    - Yo esperaría que sí. La talla mayor que obtuvimos en este estudio fue de 23 cm. Pero según otros estudios, a partir de cierto tamaño (27 cm en el caso de jurel) los anillos se comienzan a fusionar. Es poco usual encontrar anillos diarios más allá de los 365 días, es muy difícil, de hecho, sólo en especies de crecimiento rápido es factible encontrar esa característica. Pero por ejemplo, si analizo un otolito de merluza o de otro demersal a nivel microestructural, lo máximo que voy a lograr contar son 6 meses, porque después están totalmente fusionado el annulus. Para ejemplares mayores a 27 cm se han implementado técnicas, como por ejemplo, usando isótopos estables, usando el oxígeno 18 y 16 reproduce la estacionalidad de las temperaturas, mediante picos de temperaturas, siendo cada pico un año.

17. ¿Existe alguna relación entre el mayor ancho de las bandas de crecimiento, que tú dices que es cuando existe una distancia de 700 µm desde el centro del otolito con alguna talla especifica o días de vida del pez?
    - No, pero se puede hacer. Al medir el radio total del otolito, desde el centro al borde postrostral, entonces, vamos a poder aplicar el modelo en relación al tamaño del otolito. Por ejemplo, si individuos de 100 días tienen un otolito de 1000 µm aproximadamanete, y sabemos que los grosores máximos de los microincrementos se encuentran antes de 1000 µm. A medida que va creciendo el pez, la tasa de crecimiento del otolito se ve disminuida.

18. Con respecto a la Figura 11, la variabilidad se ve alta comparado a la Figura 10 debido a que las muestras provienen de distintos años (2008,2009 y 2014). El 2008 fue un año anómalo muy cálido afuera y justo estaba en la zona de desove. Se vuelve importante lo del monitoreo ya que todos los años no son iguales.
    - Estos años habían muestras muy acotadas (meses de marzo y abril), lo ideal sería tener muestras de un año completo para poder estudiar bien una cohorte.