

**UNIVERSIDAD ARTURO PRAT**  
**DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL MAR**



**INFORME FINAL CORREGIDO 2ª VERSION**

**PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA**  
**Nº 2004-38**

**VALIDACIÓN DE LA EDAD DE LA ANCHOVETA**  
**EN LA COSTA DE CHILE**

**PROPONENTE: DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL MAR**  
**UNIVERSIDAD ARTURO PRAT**

**IQUIQUE, OCTUBRE 2008**

**INFORME FINAL CORREGIDO 2ª VERSION**

---

**VALIDACIÓN DE LA EDAD DE LA ANCHOVETA  
EN LA COSTA DE CHILE**

**FIP 2004-38**

---

**PROPONENTE: DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL MAR  
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT**

## **EQUIPO DE TRABAJO**

### **Investigadores**

Miguel Araya

Luis Cubillos

Jessica Peñailillo

### **Co-investigadores**

Gabriel Claramunt

Julio Arce

Gustavo Aedo

### **Colaboradores**

Mónica Díaz

Francisca Alvarez

Laura Caballero

Carolina Alarcón

Milton Pedraza

Claudio Castillo

Germán Vásquez

Roberto Torres

## RESUMEN EJECUTIVO

PROYECTO FIP N° 2004-38

### Objetivo general:

Validar la periodicidad de formación de los anillos de crecimiento de la anchoveta y corroborarlo en el conjunto de las edades estimadas, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile

### Objetivo específico

1. Validar la formación del primer anillo de crecimiento anual de la anchoveta, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile.
2. Validar la periodicidad de formación de los anillos de crecimiento de la anchoveta, y corroborarlo en el conjunto de edades, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile.
3. Realizar un análisis de las implicancias del estudio para el conjunto de las edades estimadas de anchoveta y definir el procedimiento de asignación de edades y grupos de edad en base biológica, en ambas unidades de pesquería.

Se valida la formación del primer anillo de crecimiento en la anchoveta de la unidades de pesquerías de la zona norte y sur de Chile y se entrega el tamaño de los anillos a cada *annuli*. Lo anterior es apoyado y comparado por otros resultados, siendo estos análisis de frecuencias de talla, análisis del peso del otolito para determinar la estructura de edad y tamaño del otolito de los ejemplares al cumplir el año.

Los muestreos se realizaron en la zona norte entre abril del 2005 y marzo del 2006, en donde la anchoveta presentó individuos entre 10, 5 y 18,5 cm LT y con una moda centrada en los 15 cm LT, mientras que en la zona sur la estructura de talla estuvo comprendida entre los 4,5 cm LT y 19,5 cm LT con una moda en los 13 cm LT. El análisis de distribución de frecuencia de talla permitió separar desde un componente normal hasta tres, se desprende, además, que solamente en los muestreos de la VIII Región se obtuvieron ejemplares del grupo de edad 0. Alrededor del año y medio se observa una estabilidad en las tallas promedios, y posteriormente un aceleramiento hasta alrededor de los 2 años y medio, lo que da cuenta de

cambios estacionales en la tasa de crecimiento. Los ejemplares de la zona norte son de edades avanzadas, probablemente de 1, 2 y 3 años.

Se realizaron lecturas de otolitos de larvas entre 20 y 30 mm, estimando un ancho promedio de los microincrementos de 1,79  $\mu\text{m}$  (d.e. 0,62  $\mu\text{m}$ ), siendo estos relativamente claros para su lectura. El número de microincrementos presentes en los otolitos estuvo entre 40 y 60 días, asumiendo periodicidad diaria.

En los individuos adultos también es posible observar el patrón de formación de microincrementos alrededor del centro, distinguiendo claramente la zona-L y la zona-D. Las observaciones en el MEB muestran el patrón que observamos en el microscopio óptico, aunque con bajo contraste entre sus componentes, a pesar de probar con distintos tiempos y concentración de ácido. De las muestras leídas el primer *annulus* en otolitos de anchovetas del norte encuentra a los 612,6  $\mu\text{m}$  en promedio, distancia en el eje centro-dorsal, y a 607,3  $\mu\text{m}$  en anchovetas del sur. Esto equivale en promedio a 2943,9 y 2738,2  $\mu\text{m}$  de longitud del otolito respectivamente. Además, se establece que la primera zona translúcida en los otolitos de ejemplares de anchoveta del norte y sur corresponde a una estructura secundaria y que se formaría a los 250 días.

Al considerar la distribución de frecuencia de talla del mes de septiembre del 2005 para la zona sur, en la cual aparece una moda a los 11,3 cm, si se toma en cuenta que esta moda proviene del desove de invierno 2004, en el mes de septiembre se estaría terminando de formar el primer *annulus* con un tamaño promedio del otolito de 2,686 mm en el longitudinal.

El análisis del índice de incremento marginal y análisis del borde no entregan resultados satisfactorios producto de las características del otolito.

Se ajustó el modelo de Deriso al radio del otolito versus la tasa de crecimiento en ambas zonas. Esta curva presenta una asimetría positiva, no alcanzando valores menores de 0,7  $\mu\text{m}$ . En otolitos de anchovetas del norte el ancho máximo medido corresponde a 4,5  $\mu\text{m}$  a los 200  $\mu\text{m}$  desde el centro y en el sur se encuentra que el ancho de los microincrementos alcanza tamaños más grandes, 6  $\mu\text{m}$  a los 400  $\mu\text{m}$  del centro del otolito.

El análisis de progresión modal del peso del otolito revela que el peso promedio progresa en el tiempo con una tasa aproximadamente constante. En la zona norte, a lo menos tres grupos de cohortes pueden identificarse mientras que en la zona sur se observa a lo menos 4 cohortes. Con el objeto poner a prueba la hipótesis que la tasa de crecimiento en peso del otolito es constante entre cohortes, se ajustaron líneas rectas al peso promedio del otolito de las cohortes identificadas en un ciclo anual. Se observó que las dos cohortes identificadas en la zona norte presentan una progresión lineal, con una

tasa de crecimiento que fluctuó entre 0,089 y 0,131 mg por mes. En la zona sur, las tres cohortes completas en un ciclo anual revelan también rectas paralelas con similar tasa de crecimiento. Esta evidencia, permite a su vez asignar una edad relativa a los grupos modales identificados. Se observa que la tasa de crecimiento en peso del otolito es mayor en la zona norte (1,079 mg por mes) que en la zona sur (0,698 mg por mes).

A partir de las rectas de calibración deducidas indirectamente a partir de la progresión modal del peso del otolito, se estimó la edad a los datos individuales del peso del otolito como variable independiente. La longitud del pez en función de la edad estimada con el peso del otolito se comporta de acuerdo al modelo de crecimiento del tipo von Bertalanffy, apareciendo en la zona sur el grupo de edad 0 ya que en dicha zona se pudo muestrear individuos juveniles.

Se ajustaron tres modelos de crecimiento a la información de edad, generada a través del peso del otolito, y longitud total. Se determinó que las curvas de crecimiento son significativamente distintas entre las zonas. De acuerdo a los resultados obtenidos se confirma lo planteado por Aguayo (1976; 1980) y Barría *et al.* (1999) de la formación de estructuras secundarias en los otolitos de anchoveta de la zona norte y sur de Chile.

**INDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
RESUMEN EJECUTIVO.....	i
INDICE GENERAL.....	v
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	viii
TABLAS.....	viii
FIGURAS.....	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD.....	xiii
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
1.3. ANTECEDENTES VALIDACION.....	3
1.4. EDAD Y CRECIMIENTO EN EL GENERO <i>Engraulis</i> .....	4
2. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	10
2.1. GLOSARIO.....	10
2.2. METODOLOGIA OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2.1. Area de Estudio.....	13
2.2.2. Diseño de Muestreo.....	13
2.2.3. Muestreo de Frecuencia de Tallas y Muestreo Biológico Específico.....	14
2.2.4. Unidad Básica de Muestreo.....	14
2.2.5. Muestreo Estratificado (unidades primarias).....	16
2.2.6. Submuestreo para Edad.....	16
2.3. METODOLOGÍA OBJETIVO ESPECIFICO (3.1.).....	18
2.3.1. Microincrementos Diarios Primer Annulus.....	18
2.3.1.1. Preparación de los otolitos.....	19
a) Larvas.....	19
b) Adultos.....	19
2.3.1.2. Lectura de los microincrementos al microscopio óptico.....	21
2.3.1.3. Lectura con microscopio electrónico de barrido (MEB).....	21
2.3.2. Moda de los Juveniles del Año.....	22
2.4. METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO (3.2.).....	24
2.4.1. Análisis del Índice de Incremento Marginal.....	24
2.4.2. Verificación.....	25

2.4.2.1. Distribución de talla .....	25
a) Mix.....	26
b) Multifan .....	27
2.4.2.2. Integración numérica.....	30
2.4.2.3. Comparaciones de lecturas.....	32
□ Estimación del Índice de Precisión para el Conteo de los Microincrementos .....	32
2.4.2.4. Peso del otolito para estimar la edad.....	33
2.4.2.5. Microincrementos diarios entre annuli.....	34
2.4.3. Experimento en Cautiverio .....	34
2.4.3.1. Análisis de la formación de anillos en cautiverio: Mantención en cautiverio desde la eclosión.....	35
2.5. METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO (3.3.).....	37
2.5.1. Tratamiento de los Otolitos y Lectura de Marcas.....	37
2.5.2. Asignación de Edad .....	39
2.5.2.1. Ajuste modelo crecimiento.....	40
a) Modelo estacional.....	41
b) Modelo de crecimiento de Gompertz.....	42
c) Modelo de von Bertalanffy tradicional .....	42
2.5.2.2. Comparación del crecimiento.....	42
2.5.3. Asignación Grupo de Edad.....	43
2.5.3.1. Confección claves talla-edad y composición por talla y edad de las capturas ...	44
2.5.3.2. Composición de Edades .....	45
3. RESULTADOS .....	48
3.1. MUESTREO DE FRECUENCIA DE TALLAS Y MUESTREO BIOLÓGICO ESPECIFICO .....	48
3.2. RESULTADOS OBJETIVO ESPECIFICO (3.1.).....	53
3.2.1. Microincrementos Diarios Primer Annulus.....	53
3.2.2. Moda de los Juveniles del Año .....	56
3.3. RESULTADOS OBJETIVO ESPECIFICO (3.2.).....	57
3.3.1. Análisis del Índice de Incremento Marginal.....	57
3.3.2. Verificación .....	58
3.3.2.1. Distribución de talla .....	58
a) MIX.....	58
b) MULTIFAN.....	66
3.3.2.2. Integración numérica.....	69
3.3.2.3. Peso del otolito para estimar la edad.....	73
3.3.2.4. Microincrementos diarios entre annuli.....	81
3.3.3. Experimento en Cautiverio .....	84
3.4. RESULTADOS OBJETIVO ESPECIFICO (3.3.).....	85
3.4.1. Lectura de Marcas.....	85
3.4.2. Relaciones Morfométricas de los Otolitos.....	87
3.4.3. Relación Longitud -Peso.....	90
3.4.4. Asignación de Edad y Tallas Medias Basadas en el Análisis de Frecuencia de Tallas .....	92

3.4.5.	Ajuste Modelo de Crecimiento .....	94
3.4.6.	Claves Talla Edad .....	97
4.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	100
5.	CONCLUSIONES.....	110
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	112
7.	ANEXOS.....	123
7.1.	PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD.....	123

**INDICE DE TABLAS Y FIGURAS****TABLAS**

Tabla 1. Clasificación de métodos de validación según Brothers (1983). .....	3
Tabla 2. Clasificación de método propuesto por Campana (2001) para validar y corroborar edades absolutas y periodicidad de las estructuras de crecimiento, además de sus características, ventajas y limitaciones. Además se agrega la nominación dada por Wright <i>et al.</i> (2002). .....	6
Tabla 3. Configuración de la estructura de los modelos considerados para analizar los datos de frecuencia de tallas, un signo + indica que el parámetro es considerado en el modelo (ver texto). .....	29
Tabla 4. Resumen de la distribución de frecuencias de tamaño anchoveta en la Zona norte. ....	48
Tabla 5. Resumen de la distribución de frecuencias de tamaño anchoveta en la Zona centro. ....	49
Tabla 6. Resumen de la distribución de frecuencias de tamaño anchoveta en la Zona X Región. ....	49
Tabla 7. Distancia promedio desde el centro del otolito hasta los 365 microincrementos en anchoveta. D.E.: desviación estándar. n: número de individuos. ....	56
Tabla 8. Análisis de frecuencia de tallas de anchoveta, zona norte. K: número de componentes normales, D.E.: Desviación estándar, P: proporción de la participación de la distribución. Entre paréntesis se muestra el error estándar de cada parámetro. ....	59
Tabla 9. Análisis de frecuencia de tallas de anchoveta, VIII Región. K: número de componentes normales, D.E.: Desviación estándar, P: proporción de la participación de la distribución. Entre paréntesis se muestra el error estándar de cada parámetro. ....	60
Tabla 10. Análisis de frecuencia de tallas de anchoveta, X Región. K: número de componentes normales, DE: Desviación estándar, P: proporción de la participación de la distribución. Entre paréntesis se muestra el error estándar de cada parámetro. ....	61
Tabla 11. Resumen de las pruebas de hipótesis para el ajuste de ocho modelos para anchoveta en la zona centro-sur. Se muestra dos veces el valor de la log-verosimilitud para cada modelo y el número de parámetros estimados debajo de la misma. La función de log-verosimilitud subrayados indica el mejor ajuste de cada modelo y los valores en negrita y subrayado indican el mejor modelo entre los ocho en competencia. ....	67
Tabla 12. Anchoveta zona centro-sur, parámetros estimados por MULTIFAN, con errores estándar entre paréntesis. ....	68
Tabla 13. Edad relativa de los grupos de edad y longitud media en el primer mes (enero) de anchoveta en la zona centro-sur obtenidos con MULTIFAN. Desviación estándar entre paréntesis. ....	68
Tabla 14. Composición por edad obtenida con MULTIFAN. ....	69
Tabla 16. Parámetros del modelo de Deriso ajustados al radio del otolito versus la tasa de crecimiento. .	70
Tabla 17. Test de razón de verosimilitud para comparar las curvas ajustadas a la relación radio otolito versus tasa de crecimiento del otolito de las anchovetas del norte y sur. Los tres primeros parámetros corresponden a la zona norte y los siguientes a la zona sur. La columna estimados corresponde a los parámetros ajustados de forma separada. La columna coincidentes es cuando se asume que las líneas son idénticas. SRC: sumatoria de residuos al cuadrado. ....	70

Tabla 18. Parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy estimados para la anchoveta del norte y sur mediante el método de integración numérica. E.E.: error estándar.....	70
Tabla 19. Resumen del análisis con MIX para los datos de frecuencia de peso del otolito de anchoveta, Zona Norte. P: proporción de la participación de la distribución.....	73
Tabla 20. Resumen del análisis con MIX para los datos de frecuencia de peso del otolito de anchoveta, Zona centro-sur. P: proporción de la participación de la distribución.....	74
Tabla 21. Análisis de varianza donde la variable respuesta es el peso del otolito.....	79
Tabla 22. Parámetros de la relación longitud pez y longitud otolito de anchoveta del norte y sur. E.E.: error estándar; P: valor P.....	87
Tabla 23. Parámetros del ajuste peso otolito con la longitud del pez, el modelo ajustado corresponde al de von Bertalanffy. E.E. error estándar.....	88
Tabla 24. Test de razón de verosimilitud para comparar las curvas ajustadas a la relación peso otolito-longitud pez entre las anchovetas del norte y sur. Los tres primeros parámetros corresponden a la zona sur y los siguientes a la zona norte. La columna estimados corresponde a los parámetros ajustados de forma separada. La columna coincidentes es cuando se asume que las líneas son idénticas, y las siguientes columnas cuando se asume la igualdad de los parámetros. SRC: sumatoria de residuos al cuadrado.....	89
Tabla 25. Parámetros relación longitud peso zona norte.....	90
Tabla 26. Parámetros relación longitud peso zona centro.....	90
Tabla 27. Parámetros relación longitud peso zona sur.....	91
Tabla 28. Longitudes medias para distintas asignaciones de edad de anchoveta de la zona centro-sur.....	93
Tabla 29. Parámetros de crecimiento de tres modelos estimados para la anchoveta del norte. E.E.: error estándar.....	94
Tabla 30. Parámetros de crecimiento de tres modelos estimados para la anchoveta del sur. E.E.: error estándar.....	95
Tabla 31. Test de razón de verosimilitud para comparar las curvas ajustadas a la relación edad-longitud pez entre las anchovetas del norte y sur. Los tres primeros parámetros corresponden a la zona norte y los siguientes a la zona sur. La columna estimados corresponde a los parámetros ajustados de forma separada. La columna coincidentes es cuando se asume que las líneas son idénticas, y las siguientes columnas cuando se asume la igualdad de los parámetros. SRC: sumatoria de residuos al cuadrado... ..	96
Tabla 32. Clave talla-edad elaborada para el conjunto de edades estimadas mediante el peso del otolito en la zona norte (Abril 2005 – Marzo 2006). En las ultimas tres filas se entrega el total por edad, la composición en porcentaje y la longitud total promedio.....	98
Tabla 33. Clave talla-edad elaborada para el conjunto de edades estimadas mediante el peso del otolito en la zona centro-sur (Marzo 2005 – Marzo 2006). En las ultimas tres filas se entrega el total por edad, la composición en porcentaje y la longitud total promedio.....	98
Tabla 34. Clave talla-edad elaborada del período abril 2005 – marzo 2006 elaborada por IFOP para la anchoveta de la zona norte. En las ultimas tres filas se entrega el total por edad, la composición en porcentaje y la longitud total promedio.....	106

Tabla 35. Clave talla-edad elaborada del período marzo 2005 – marzo 2006 elaborada por IFOP para la anchoveta de la zona centro-sure. En las ultimas tres filas se entrega el total por edad, la composición en porcentaje y la longitud total promedio.....	107
Tabla 36. Longitud promedio y proporción por grupos de edad de anchoveta en la zona norte según claves talla-edad elaboradas por IFOP para 2005 y 2006, y su comparación con las obtenidas al utilizar el peso del otolito. ....	108
Tabla 37. Longitud promedio y proporción por grupos de edad de anchoveta en la zona centro-sur según claves talla-edad elaboradas por IFOP para 2005 y 2006, y su comparación con las obtenidas al utilizar el peso del otolito, MIX y MULTIFAN.....	109

## FIGURAS

Figura 1. Fotografías para mostrar el trabajo de la red de cerco modificada para la captura de larvas de peces.....	20
Figura 2. Diagrama propuesto por Campana (2001) de una aproximación para validar el primer <i>annulus</i> . Utilizando la moda correspondiente a los peces juveniles en una muestra de frecuencia de longitud colectada cerca del momento de formación del <i>annulus</i> , el diámetro es predicho de la relación longitud pez-longitud otolito (determinado de la misma muestra o de otra diferente). .....	23
Figura 3. Curva hipotética paera mostrar el comportamiento del Índice de Incremento Marginal en un ciclo anual. ....	25
Figura 4. Esquema de un otolito para mostrar las distintas mediciones que se les realizaron. (1) rostrum-postrostrum; (2) antirostrum-postrostrum; (3) rostrum-postrostrum; (4) dorso-ventral; (5) excisura-postrostrum. ....	38
Figura 5. Esquema de un otolito para mostrar las mediciones de los anillos translúcidos.....	39
Figura 6. Modelo hipotético de asignación de edad propuesto por Morales-Nin y Panfili (2002b). ....	40
Figura 7. Frecuencia (%) de longitudes de anchoveta zona norte. ....	50
Figura 8. Frecuencia (%) de longitudes de anchoveta, VIII Región. ....	51
Figura 9. Frecuencia (%) de longitudes de anchoveta, X Región. ....	52
Figura 10. Fotografía de otolito de larva de anchoveta, tomada en microscopio óptico (100X) para mostrar la formación de los microincrementos en las primeras etapas de desarrollo y la claridad para realizar las lecturas. Línea amarilla corresponde a la medición del diámetro del otolito. ....	53
Figura 11. Relación entre el número de microincrementos (días) y la longitud total de larvas anchovetas. ....	54
Figura 12. Fotografía de un corte de otolito para mostrar la zona-D y zona-L de la cual se componen los microincrementos. Sector del centro.....	54
Figura 13. Fotografías de otolitos de anchoveta tomadas en microscopio electrónico de barrido para la observación de microincrementos. ....	55
Figura 14. Aproximación para validar el primer <i>annulus</i> . Utilizando la moda correspondiente a los peces muestreados cerca del momento de formación del primer <i>annulus</i> , la longitud del otolito se obtiene de la relación longitud pez-longitud otolito.....	56
Figura 15. Índice de incremento marginal para la zona norte. Se muestra la gráfica con el fin de indicar la inaplicabilidad del método para la anchoveta. Barras verticales: 1 desviación estándar. ....	57
Figura 16. Porcentaje de borde opaco para anchoveta de la zona norte.....	58
Figura 17. Descomposición de la frecuencia de tallas de anchoveta en componentes normales con MIX, zona norte. ....	62

Figura 18. Descomposición de la frecuencia de tallas de anchoveta en componentes normales con MIX, VIII Región.....	63
Figura 19. Descomposición de la frecuencia de tallas de anchoveta en componentes normales con MIX, X Región.....	64
Figura 20. Longitud media (+/- 1 DE) de anchoveta de los componentes normales versus el mes de muestreo: a) panel superior: zona norte, b) panel medio: VIII Región, c) panel inferior: X Región. Las líneas rectas indican la conexión entre las longitudes medias y representa la progresión modal de las cohortes dentro de un ciclo anual. ....	65
Figura 21. Longitud promedio versus la edad relativa asignada en relación con una fecha de cumpleaños arbitraria al 1° de julio en las tres zonas de estudio. Se compara con la curva de crecimiento comunicada por Cubillos et al. (2001).....	66
Figura 22. Tasa de crecimiento del otolito con respecto al radio (centro-dorso) de anchoveta de la zona norte.....	71
Figura 23. Tasa de crecimiento del otolito con respecto al radio (centro-dorso) de anchoveta de la zona sur. ....	71
Figura 24. Curva de crecimiento para la anchoveta de la zona norte obtenida mediante el método de integración numérica. ....	72
Figura 25. Curva de crecimiento para la anchoveta de la zona sur obtenida mediante el método de integración numérica. ....	72
Figura 26. Ejemplo de la descomposición de la frecuencia del peso del otolito de anchoveta en componentes normales con MIX, Zona Norte. ....	75
Figura 27. Ejemplo de la descomposición de la frecuencia del peso del otolito de anchoveta en componentes normales con MIX, Zona Centro-Sur.....	76
Figura 28. Progresión del peso promedio del otolito de anchoveta en el tiempo, zona norte y centro-sur de Chile. ....	77
Figura 29. Progresión del peso promedio del otolito de anchoveta en un ciclo anual en la zona norte (arriba) y centro-sur (abajo).....	78
Figura 30. Relación entre el peso promedio del otolito y la edad asignada relativa al 1° de enero. ....	80
Figura 31. Relación entre la talla y la edad estimada a partir del peso del otolito en anchoveta. ....	81
Figura 32. Fotografías de otolitos de anchoveta tomadas en microscopio óptico para la observación de microincrementos. (a), (c) y (d) aumento 40X. (b) aumento 100X.....	82
Figura 33. Fotografía tomada en el microscopio óptico (40X) de una sección transversal de un otolito de anchoveta para mostrar las diferentes zonas en relación al aspecto de los microincrementos. ....	83
Figura 34. Otolitos procedentes de ejemplares de cautiverio donde se observan las marcas dejadas por el antibiótico. (a) iluminado con luz ultravioleta; (b) iluminado con luz transmitida normal. Ambas tomadas con aumento 40X.....	84
Figura 35. Distribución de frecuencia de los anillos translúcidos en los otolitos. a) zona norte; b) zona sur. ....	85

Figura 36. Fotografía de otolito entero para mostrar que el primer anillos translúcido se forma aproximadamente a los 250 días. ....	86
Figura 37. Relación entre la longitud del pez y la razón longitud otolito (LO)-longitud pez (LT) para la anchoveta del norte (rojo) y del sur (negro). ....	87
Figura 38. Relación entre la longitud del pez y la longitud del otolito para anchovetas del norte (rojo) y sur (negro). ....	88
Figura 39. Relación peso otolito-longitud pez para la zona norte (rojo) y sur (negro). ....	89
Figura 40. Relación longitud-peso de anchoveta, zona norte. ....	90
Figura 41. Relación longitud-peso de anchoveta, zona centro. ....	91
Figura 42. Relación longitud-peso de anchoveta, zona sur. ....	91
Figura 43. Asignación de grupos de edad sobre la base del análisis de frecuencia de tallas. La asignación año biológico va desde 1° de julio hasta el 30 de junio del año siguiente, mientras que la asignación año calendario va desde el 1° de enero hasta el 31 de diciembre. ....	92
Figura 44. Longitud media en función del grupo de edad, considerando año biológico (1° de julio) y año calendario (1° de enero) para la anchoveta en la zona centro-sur de Chile. ....	93
Figura 45. Ajuste de la curva de crecimiento de von Bertalanffy para la anchoveta del norte. ....	95
Figura 46. Ajuste de la curva de crecimiento de von Bertalanffy para la anchoveta del sur. ....	96
Figura 47. Composición por edad del número de individuos (%) en las capturas de anchovetas, entre abril 2005 y marzo 2006 en la zona norte (a) y entre marzo 2005 y marzo 2006 en la zona centro-sur (b). ....	99
Figura 48. Composición de las capturas elaboradas de las claves talla edad para la anchoveta. (a) zona norte presente estudio; (b) zona centro-sur presente estudio; (c) zona norte elaborada por IFOP; (d) zona centro-sur elaborada por IFOP. ....	107

## INDICE DE ANEXOS

### PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

## 1. ANTECEDENTES

La anchoveta (*Engraulis ringens*) se distribuye en el Pacífico Sur desde el norte de Perú hasta el sur de Chile, en esta distribución geográfica se han identificado a lo menos dos unidades poblacionales una ubicada en la zona centro norte de Perú y otra en el sur de Perú y norte de Chile aproximadamente hasta los 24° 00' S. Sin embargo a lo largo de la costa de Chile existen varias unidades de pesquería que explotan este recurso. En Chile la anchoveta es una de las especie objetivo de la industria de reducción; las principales unidades de pesquería se ubican en la zona norte (I y II región) y en la centro-sur (V a X regiones).

La anchoveta se encuentra en régimen de plena explotación y anualmente se determina una cuota de captura anual a nivel nacional, específicamente por unidad de pesquería, desde la I-II, III-IV y V-X región, esta cuota está subdividida por pesquería industrial y artesanal y posteriormente se prorrotea por zona y período.

Un requisito básico para realizar la evaluación de stock es disponer de la estructura por edades de las capturas, información necesaria que permite determinar los niveles de biomasa, sus excedentes de producción y estimar la captura total permisible. Sin embargo como los modelos de evaluación de stock utilizados en este recurso son estructurados por edades, un requisito básico para la estimación de la composición por edades de la captura es tener certeza en la estimación de la edad, para lo cual se debe hacer investigación sobre la biología del crecimiento de la anchoveta.

En Chile el recurso anchoveta ha sido explotado principalmente por las unidades de pesquería de la zona norte y la zona centro-sur. Sin embargo, para propósitos de la evaluación de stock, es necesario conocer si a nivel latitudinal el recurso anchoveta presenta una misma periodicidad de formación de los anillos de crecimiento y corroborar si esto acontece para el conjunto de las edades estimadas (hipótesis nula).

En base a lo anterior, es necesario replicar este estudio tanto en la zona norte como en la zona centro-sur y obtener un mayor conocimiento del proceso de crecimiento de esta especie que se ha adaptado en hábitat de surgencia costera, cuya producción biológica difieren a lo menos en forma temporal (estacional). Estos antecedentes son cruciales para poder comprender la dinámica poblacional y permiten disponer de información científica confiable que apoya la aplicación de modelos estructurados por edades, cuyos resultados se utilizan en la administración pesquera.

Bajo lo antes citado se han planteado los siguientes objetivos a desarrollar en el presente proyecto.

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Validar la periodicidad de formación de los anillos de crecimiento de la anchoveta y corroborarlo en el conjunto de las edades estimadas, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

**1.2.1.** Validar la formación del primer anillo de crecimiento anual de la anchoveta, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile.

**1.2.2.** Validar la periodicidad de formación de los anillos de crecimiento de la anchoveta, y corroborarlo en el conjunto de edades, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile.

**1.2.3.** Realizar un análisis de las implicancias del estudio para el conjunto de las edades estimadas de anchoveta y definir el procedimiento de asignación de edades y grupos de edad en base biológica, en ambas unidades de pesquería.

### 1.3. ANTECEDENTES VALIDACION

En la literatura se puede encontrar una gran cantidad de métodos de validación así como su clasificación, tanto para edades anuales como diarias. Brothers (1983) clasifica los métodos como mediciones directas, técnicas estadísticas, periodicidad de formación de la marca y métodos químicos/bioquímicos según se presentan en la Tabla 1. Por otro lado, una de las revisiones más recientes corresponde a la de Campana (2001) quién clasifica los métodos de acuerdo a la distinción entre *validar la edad absoluta*, *validar la periodicidad de formación de los incrementos de crecimiento* o de *corroborar (pero no validar) un set de estimaciones de edad*. En la Tabla 2 se presentan los métodos propuestos por Campana (2001) indicando las ventajas y limitaciones entre otra información.

Tabla 1. Clasificación de métodos de validación según Brothers (1983).

Mediciones directas	* Método marcaje y recaptura * Mantención en cautiverio
Técnicas estadísticas	* Análisis de frecuencia de tallas * Análisis morfológico del otolito
Periodicidad de formación de la marca	* Análisis del incremento marginal * Proporcionalidad del crecimiento y retrocálculo * Comparación de diferentes estructuras de lectura de edad * Marcaje de la estructura para edad * Análisis microestructural * Correlación con eventos ambientales y de historia de vida
Métodos químicos/bioquímicos	* Contenido de mercurio * Microradiografía * Biología celular * Cambio en el contenido de lípido * Relación RNA/DNA * Lipofuscina * Técnica de análisis con Microsonda

Por otro lado, Panfili *et al.* (2002) así como Beamish *et al.* (1983) plantean que el concepto de validación significa demostrar que una técnica es exacta y la exactitud puede ser demostrada o estimada, además, que en un estudio de edad dos aspectos deben ser considerados: (1) que los incrementos son depositados con una periodicidad que puede ser relacionada a una escala de tiempo regular (*i.e.* exactitud) y (2) que la estructura que se está utilizando para estimar la edad

presenta un patrón interpretable consistente de incrementos (*i.e.* periodicidad). Además, Panfili *et al.* (*op. cit.*) indican que las metodologías disponibles para validar la frecuencia de formación de los incrementos pueden ser agrupadas en cuatro categorías:

- a) **Validación directa:** Toma en cuenta una marca de referencia temporal precisa en la estructura dura relativa a otra marca de crecimiento; esta es una técnica basado en el individuo que a menudo utiliza marcaje y/o mantención en cautiverio.
- b) **Validación semi-directa:** Requiere la observación de series de tiempo de marcas de crecimiento en un gran número de individuos, esta es una técnica basada en la población.
- c) **Validación indirecta:** Requiere la comparación de estimaciones de edad individual con edad estimada estadísticamente desde distribución de frecuencia de longitud así como de otros datos de edad, esta técnica también esta basada en la población. No valida la periodicidad de formación de los incrementos de crecimiento.
- d) **Corroboración:** Corresponde a interpretación múltiple, es decir, comparación entre una o más lecturas de una o más estructuras del mismo individuo.

En otras palabras, Morales-Nin (2000) indica que el concepto de validación presenta dos significados, el primero, en un sentido estrecho el término es usado para determinar el significado temporal de los incrementos de crecimiento utilizados en la estimación de la edad y en un sentido más amplio, el término es usado para probar que el procedimiento entero para la estimación de edad es exacto.

#### 1.4. EDAD Y CRECIMIENTO EN EL GENERO *Engraulis*

En cuanto a la utilización de los microincrementos en peces pelágicos pequeños se tienen los estudios de Morales-Nin (1989) en *Engraulis ringens*, quien valida los *annuli* graficando la edad en días versus la edad en años (obtenido por el conteo de *annuli*). Hoedt (1992) valida el primer *annulus* en la anchoveta tropical, *Thryssa hamilton*, utilizando dos métodos, primero, por el cambio en el conteo medio de microincrementos de una cohorte de juveniles muestreados sobre un período de tiempo de 80 días, y segundo, con un experimento de marcaje con tetraciclina con especímenes mantenidos en acuarios; el conteo de anillos diarios fue también útil para distinguir

entre anillos falsos y *annuli*. Un resultado similar obtuvo Waldron (1994) para la anchoveta de Sudáfrica (*Engraulis capensis*) por medio de preparaciones al microscopio electrónico de barrido. Cermeño *et al.* (2003) validan la formación de los microincrementos diarios en otolitos de juveniles y adultos de la anchoveta europea *Engraulis encrasicolus* manteniéndolas en cautiverio. Se tiene además, un estudio del FIP (Barría *et al.* 1999), en donde se analizó la variabilidad del crecimiento mediante el uso de otolitos con ejemplares de la zona centro-sur, para ello se utilizaron muestras de los 1996, 1997 y 1998. Por otro lado, para reforzar el procedimiento que utilizaron incorporaron un análisis preliminar de anillos diarios de crecimiento con el propósito de validar la formación de los anillos anuales en anchoveta, en este punto sólo pudieron interpretar 7 otolitos. Las edades de los ejemplares oscilaron entre 263 microincrementos para una talla de 12,5 cm y 523 microincrementos para una talla de 16,5, indicando que a pesar del tamaño de muestra analizada permite aportar cierta evidencia de que no todos los anillos translúcidos identificados son *annuli*, por lo que el criterio de una formación con periodicidad menor a la anual parece confirmarse, desde que Aguayo (1980) definió para la anchoveta de la zona centro sur formaba dos anillos por año, siendo el criterio utilizado para esta especie.

Tabla 2. Clasificación de método propuesto por Campana (2001) para validar y corroborar edades absolutas y periodicidad de las estructuras de crecimiento, además de sus características, ventajas y limitaciones. Además se agrega la nominación dada por Wright *et al.* (2002).

<b>1. Validación de la edad</b>								
Método	Anual/ diario	Rango de edad aplicable	Ventajas	Limitaciones	Precisión	Tamaño de muestra requerido	Tiempo requerido	Nominación Wright <i>et al.</i> (2002)
1.1. Liberación de peces de edad conocida y marcados	A/D	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valida edad absoluta y periodicidad de la estructura de crecimiento</li> <li>● Apropiado para peces con longevidad menor a 10 años</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Requiere peces de edad conocida y marcados</li> <li>● Recaptura puede ser baja o inexistente</li> </ul>	± 0 años	>1	>1-10 años	Validación directa
1.2. Bomba de radiocarbono	A	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valida edad absoluta y periodicidad de la estructura de crecimiento</li> <li>● Muy apropiado para peces de vida larga</li> <li>● No requiere muestras colectadas recientemente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Al menos algunos de los peces de la muestra debe haber eclosionado antes de 1965</li> </ul>	± 1-3 años	20-30	<1 año	Validación directa
1.3. Marcaje-recaptura de peces marcados químicamente	A/D	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valida la periodicidad de la estructura de crecimiento post marcaje en peces de cualquier edad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Número de recaptura de peces en libertad de más de un año puede ser baja o inexistente</li> <li>● Identificación de un solo <i>annulus</i> post marca puede ser problemático</li> </ul>	± 1 años	>1	>1-10 años	Validación directa
1.4. Fechaje radioquímica	A	5+ años	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valida edad absoluta</li> <li>● Puede ser aplicado a muestras colectadas recientemente</li> <li>● Muy apropiado para peces de vida larga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sólo puede distinguir entre estimaciones de edad ampliamente divergente</li> </ul>	± 25-50%	10-50	<1 año	

Continuación Tabla 2.

1.5. Progresión modal de las tallas muestreadas para la estructura de edad	A/D	0-5 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Buen método para validar las dos primeras clases de edad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Las modas no se deben sobrelapar con las adyacentes</li> <li>● Se asume no selectividad, inmigración o emigración en el área de muestreo</li> </ul>	± 0 año	>100	1 año	
1.6. Captura de peces del ambiente con marca natural de alguna fecha específica	A/D	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valida la periodicidad de los incrementos de crecimientos y algunas veces la edad absoluta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Marcas naturales con fecha específica son muy raras</li> </ul>	± 0 año	>1	>1 año	
1.7. Análisis del incremento marginal	A	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valida la periodicidad de los incrementos de crecimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Solamente apropiado para peces de crecimiento rápido y/o peces jóvenes</li> <li>● Requiere muestras de todo el año</li> </ul>	± 1 año	>100	1 año	Validación semi-directa
1.8. Mantenimiento en cautiverio desde la eclosión	A/D	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valida edad absoluta y periodicidad de la estructura de crecimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Incrementos de los otolitos de peces en cautiverio raramente se asemejan a aquellos del medio natural</li> </ul>	± 0 año	>1 año	1-10 años	Validación directa
1.9. Marcados químicamente y mantenidos en cautiverio	A/D	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valida la periodicidad de los incrementos de crecimiento</li> <li>● Fácil para microincrementos diarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Incrementos de los otolitos de peces en cautiverio raramente se asemejan a aquellos del medio natural</li> </ul>	± 0 año	>1 año	1-10 años	Validación directa

Continuación Tabla 2.

2. Corroboración de las interpretaciones de la edad								
Método	Anual/ diario	Rango de edad aplicable	Ventajas	Limitaciones	Precisión	Tamaño de muestra requerido	Tiempo requerido	Nominación Wright <i>et al.</i> (2002)
2.1. Análisis de marca-recaptura	A/D	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrega excelente comparación del crecimiento para clases de edad bien muestreadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peces con mucho tiempo en libertad entregan datos muy útiles, pero son raramente recapturados</li> </ul>	± 0-10 años	>1	1-10 años	
2.2. Análisis de frecuencia talla	A/D	<7 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrega buenas estimaciones de tasas de crecimiento para las primeras clases de edad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asume un desove por año</li> <li>Util para peces de crecimiento rápido mientras las longitudes específicas por edad sean discernibles</li> </ul>	± 0-1 año	>100	<1 año	Validación indirecta
2.3. Progresión de una clase anual fuerte	A	1-20 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrega una rápida y barata punto de vista cualitativo de la exactitud de la edad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Una clase anual fuerte (débil) eventualmente desaparece desde las capturas a la edad por imprecisión en la edad</li> </ul>	± 3 años	>1000	<1 año	Validación indirecta
2.4. Integración numérica del ancho de los microincrementos diarios	A	1-7 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrega estimaciones de la edad absoluta y tasa de crecimiento en la ausencia de cualquier otra información</li> <li>Cuando los <i>annuli</i> son visibles, pueden ser usados para validar su periodicidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Difícil de satisfacer el supuesto que la secuencia de microincrementos diarios es interrumpido y que los microincrementos diarios no vistos sean similares en ancho a los incrementos observados</li> </ul>	± 0-1 año	>1	<1 año	

Continuación Tabla 2.

2.5. Microincrementos diarios entre <i>annuli</i>	A	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Importante para identificar el primer <i>annulus</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pre-supone el conocimiento de fechas de eclosión y formación de <i>annulus</i></li> </ul>	± 0 año	>1	<1 año
2.6. Elemental y ciclo isotópico	A	1-15 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Puede ser correlacionado con ciclos ambientales para inferir edad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Difícil de satisfacer el supuesto que los ciclos son inducidos solamente por el ambiente</li> <li>● No es apropiado para peces de crecimiento lento, donde los <i>annuli</i> son muy estrechos</li> </ul>	± 0-1 año	>1	<1 año
2.7. Intervalo entre muestras	A/D	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Puede ser usado para validar la periodicidad de los incrementos de crecimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Asume no inmigración, emigración, reclutamiento o mortalidad edad-específica</li> </ul>	± 0-1 año	>100	1 + año

## 2. METODOLOGIA DE TRABAJO

### 2.1.GLOSARIO

Para efectos del proyecto se definen los siguientes conceptos de acuerdo a las proposiciones de Kalish *et al.* (1995) y Panfili *et al.* (2002).

**Annulus (pl. annuli):** Anillos concéntricos formados con periodicidad fija y que permite determinar la edad. En algunos casos, un *annulus* no necesariamente puede ser continuo o concéntrico. Estos anillos tienen apariencia opaca o translúcida dependiendo de su refringencia óptica y generalmente se atribuyen a periodos de crecimiento rápido y lento, respectivamente. Estructura de crecimiento formada anualmente.

**Bandas, anillos, zonas, marcas, áreas:** Una región de similar estructura o densidad óptica. Términos auxiliares utilizados en la descripción de las estructuras de crecimiento.

**Centro (core en inglés):** El área o áreas alrededor de uno o más *primordia* y rodeado por la primera zona-D.

**Corroboración:** Una medida de la consistencia o repetibilidad de un método de estimación de edad. Por ejemplo, si dos lectores diferentes acuerdan en el número de zonas presentes en una estructura dura, o si dos estimaciones de edad de diferentes estructuras son interpretadas como teniendo el mismo número de zonas, corroboración (no validación) ha sido realizado. El término “verificación” ha sido utilizado en un sentido similar; sin embargo se prefiere el concepto “corroboración” mientras que la verificación implica que las edades estimadas fueron confirmadas como verdaderas.

**Discontinuidad, check:** Una discontinuidad abrupta en una zona del otolito (*e.g.* marca inducida por stress), un patrón de zonas opacas y translucidas, o microincrementos. Discontinuidad microestructural (*e.g.* check de eclosión) a menudo aparecen como microincrementos de alto contraste con una zona-D profundamente grabada o un abrupto cambio en el patrón de crecimiento microestructural. Al utilizar este término se requiere su definición precisa.

**Estimación de la edad, determinación de la edad:** Estos términos se refieren al proceso de asignar edad a los peces. El término estimación de la edad debiera utilizarse en vez de determinación debido a la incertidumbre al momento de asignar edad.

**Estructura secundaria:** Término utilizado para toda zonación macroscópica que parece conformar zonas opaca y translúcida de un *annulus*. Los principales ejemplos son zonas o anillos falsos o doble anillo.

**Gránulo primordial:** Componente primario o inicial del *primordium*. Puede haber uno o más gránulos primordiales en cada *primordium*.

**Incremento:** Referencia a la región entre zonas similares en una estructura usada para la estimación de la edad. El término se refiere a una estructura, pero puede ser calificado para referirse a porciones de la parte dura formado sobre un intervalo de tiempo especificado (*e.g.* subdiario, diario, anual). Dependiendo de la porción de la parte dura que es considerada, las dimensiones, química y período de formación pueden variar ampliamente. Un incremento primario consiste de una zona-D y una zona-L, mientras que un incremento anual abarca una zona opaca y una zona translúcida. Puede también haber estructuras secundarias tales como microincrementos sub-diarios y zonas falsas y dobles dentro de incrementos anuales.

**Incremento diario, incremento de crecimiento diario:** Estructura de crecimiento formada en un período de 24 horas y se compone de dos unidades, la zona-L y zona-D, dominadas por el calcio y la materia orgánica, respectivamente.

**Microincremento:** Un incremento menor de 50  $\mu\text{m}$  de ancho, típicamente de unos 20  $\mu\text{m}$ ; el prefijo “micro” nos indica que el objeto observado es de relativamente pequeño tamaño y que este puede ser observado con un microscopio compuesto o electrónico. A menudo usado para describir microincrementos diarios o subdiario del otolito.

**Núcleo:** Término colectivo originalmente usado para indicar los *primordia* y centro del otolito. Este término es ambiguo y no debería ser usado en la descripción de la microestructura. Los términos preferidos son *primordium* y centro. Cuando se observa macroscópicamente, el término “núcleo” ha sido usado para referirse a la región alrededor del centro.

**Primordium (pl. *primordia*):** Zona que representa el inicio del crecimiento del otolito. Consiste de material fibrilar o granular alrededor de uno o más núcleos ópticamente densos desde 0,5  $\mu\text{m}$  a 1,0  $\mu\text{m}$  en diámetro. En los estados tempranos de crecimiento del otolito, si varios *primordia* están presentes, ellos generalmente se fusionan para formar el centro del otolito.

**Zona-D:** Porción de un microincremento del otolito que aparece oscuro cuando se ve bajo luz transmitida y como una depresión cuando es grabada con ácido y vista con microscopio electrónico de barrido. Este componente de un microincremento contiene una gran cantidad de matriz orgánica y una menor cantidad de carbonato de calcio que la zona-L.

**Zona-L:** Porción de un microincremento del otolito que aparece claro cuando se ve bajo luz transmitida y como una región elevada cuando es grabada con ácido y vista con microscopio electrónico de barrido. Este componente de un microincremento contiene una menor cantidad de matriz orgánica y una mayor cantidad de carbonato de calcio que la zona-D.

**Zona o anillo opaco, zona o anillo de crecimiento rápido:** Anillo que por su composición densa impide el paso de la luz. En otolitos no tratados bajo luz transmitida, la zona opaca aparece oscura y la zona translúcida aparece clara.

**Zona o anillo translúcido, zona o anillo de crecimiento lento:** Anillo que permite el paso de la luz más que el anillo opaco. Se prefiere utilizar este concepto más que zona hialina.

## **2.2.METODOLOGIA OBJETIVO GENERAL**

*Validar la periodicidad de formación de los anillos de crecimiento de la anchoveta y corroborarlo en el conjunto de las edades estimadas, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile.*

### **2.2.1. Area de Estudio**

El área de estudio comprendió la zona donde se ejerce la mayor actividad pesquera sobre el recurso anchoveta, siendo estas las unidades de pesquería que se ubican en la zona norte (I y II región) y en la centro-sur (V a X regiones), para ello se tomaron muestras en los centros de desembarques más representativo de estas pesquerías, los cuales fueron los puertos de Iquique (zona norte), de Tomé, San Vicente, Coronel, Lota en la VIII Región y Corral en la X Región (zona centro sur).

### **2.2.2. Diseño de Muestreo**

El diseño se orientó a la obtención de muestras suficientes de otolitos para dar cuenta de los siguientes aspectos metodológicos:

- a) Proveer de muestras de otolitos en el ámbito de la validación del primer anillo de crecimiento anual de la anchoveta, metodología que se describe más adelante.
- b) Proveer de muestras de otolitos para validar la periodicidad de la formación de anillos en el rango de edades, lo que implica el análisis del incremento marginal, y cuatro métodos de corroboración con muestras provenientes del medio natural (pesca comercial). En esto último se incluye el análisis de frecuencia de tallas, análisis del peso de los otolitos, así como el análisis de microincrementos de crecimiento diarios entre *annuli*.
- c) Un muestreo suficiente de otolitos para elaborar claves talla-edad sobre la base de diferentes criterios de asignación de edad y grupos de edad con el objeto de comparar estos criterios con el procedimiento actual y su impacto en la composición de edad de las capturas

El conjunto de estos aspectos metodológicos se aplicaron a ejemplares de la zona norte como de la zona centro-sur. Las características operacionales de la flota son diferentes en cada zona, y se tuvieron en cuenta para el diseño de muestreo. Cabe destacar que el estudio corresponde a un estudio de edad y no de monitoreo de las capturas de anchoveta con fines de evaluación de stock o de provisión de indicadores biológicos-pesqueros. En este contexto, y ante recursos limitados, el esfuerzo de muestreo se centró en los puertos de Iquique y Talcahuano. Esto no impidió, dada las características de la actividad pesquera de la zona centro-sur, que los puertos como San Vicente, Coronel o Lota queden excluidos pues se considera forman parte implícita cuando nos referimos a Talcahuano.

### **2.2.3. Muestreo de Frecuencia de Tallas y Muestreo Biológico Específico**

Para los fines del tercer objetivo se consideró un muestreo intensivo de longitudes y un sub-muestreo de edades. Ello permitió analizar las implicancias del estudio para el conjunto de edades de anchoveta en las capturas considerando diferentes procedimientos de asignación de edades y grupos de edad ya sea con una fecha de nacimiento arbitraria o biológica en ambas unidades de pesquerías.

En consecuencia, el diseño de muestreo en ambas zonas estuvo orientado a determinar la composición de longitudes y edades en los desembarques en las áreas de pesca previamente definidas. La metodología general consistió en realizar un número suficiente de muestreos de frecuencia de longitud y muestreos biológicos específicos provenientes de los desembarques, tanto de la flota artesanal como industrial en los principales centros de desembarque en Iquique y Talcahuano.

### **2.2.4. Unidad Básica de Muestreo**

Para determinar la frecuencia de tallas en el desembarque de una embarcación, el colector básico consistió en un balde de 5 litros de capacidad para extraer la muestra de peces. Sin embargo, el número de ejemplares de anchoveta que puede ser colectado con esta unidad básica depende de la estructura de tallas presente en la bodega de la embarcación muestreada. De acuerdo con la experiencia del equipo de trabajo desarrollada en muestreos de anchoveta ya sea en Iquique como en la Octava Región, luego de extraer la muestra con el colector, se debe obtener una submuestra

aleatoria para realizar las mediciones de los peces. La submuestra aleatoria se obtuvo con una bandeja de 30 cm de largo por 25 cm ancho por 5 cm de alto. El número de submuestras dependía del tamaño de los peces, lo que estuvo condicionado de acuerdo con los siguientes criterios:

Tamaño de los peces (Longitud total)	Submuestra Bandeja Plástica
LT < 8 cm	1/2 bandeja
8 cm < LT ≤ 13 cm	1 bandeja
LT > 13	2 bandejas

Lo anterior indica, por ejemplo, que si la captura de una embarcación dada está compuesta por peces menores a 8 cm de longitud total (LT), una submuestra de 1/2 bandeja del colector de 5 litros es suficiente para caracterizar la frecuencia de tallas de anchoveta que trae dicha embarcación.

En efecto, de acuerdo con Pennington (1981), el número mínimo de peces por bandeja se determinó por:

$$n \geq \left( \frac{\mu_{1-\alpha/2} CV}{d} \right)^2$$

donde  $\mu_{1-\alpha/2}$  es el porcentaje de la distribución normal estándar,  $d$  el error relativo esperado, y  $CV$  el coeficiente de variación del atributo, en este caso de la longitud total de la anchoveta. Así, por ejemplo, en una muestra colectada en una de las embarcaciones, se submuestreó 150 peces (1 bandeja) que tenían una estructura de tallas compuesta por ejemplares en el rango de 6 a 11 cm de LT; la longitud promedio fue de 8,3 cm de LT y el coeficiente de variación (CV) de 0,142. Si se considera  $\mu_{1-\alpha/2} = 1,96$  y  $d = 0,05$ , entonces el número mínimo de ejemplares a medir llega a ser aproximadamente de 30 individuos. Asimismo, en una submuestra de 189 peces (2 bandejas) cuya longitud total osciló entre los 11 y 17,5 cm de LT; longitud promedio de 14,1 cm y  $CV = 0,0603$ , el tamaño mínimo de ejemplares efectivos a medir alcanza sólo a 16. Sin embargo, estos números están en relación al atributo de la longitud promedio (Casella y Berger, 1991).

Se debe destacar que en peces pelágicos que forman cardúmenes, usualmente la pesca se desarrolla sobre la base de agregaciones o cardúmenes que se conforman por peces de tamaños similares (Blaxter y Hunter, 1982). En este contexto, en una salida de pesca una embarcación opera sobre

cardúmenes y agregaciones relativamente homogéneas. En consecuencia, el diseño de muestreo se orientó a muestrear más embarcaciones por semana (unidades de primera etapa) que de ejemplares al interior de cada unidad primaria. Este planteamiento, por lo tanto, es concordante con un muestreo bi-etápico (Cochran, 1977), donde las unidades secundarias representa el número de peces a ser colectados por la unidad básica de muestreo. Sobre la base de esta información, los criterios utilizados permiten optimizar el muestreo de cada embarcación sin la necesidad de medir un número elevado de peces desde cada embarcación, ya que, usualmente, la captura de cada embarcación se encuentra conformada por ejemplares de tamaños similares.

De acuerdo a lo expuesto, el diseño de muestreo puso énfasis en el número de embarcaciones a muestrear por semana. En este contexto, el diseño de muestreo bi-etápico, consistió en un muestreo estratificado para las unidades primarias y el desarrollo de un muestreo aleatorio simple donde se obtuvieron datos de frecuencia de tallas en la captura de cada embarcación.

#### **2.2.5. Muestreo Estratificado (unidades primarias)**

El muestreo de frecuencia de tallas compatibilizó la conducta operativa de la flota, la selección de unidades de pesca a muestrear en los sitios de desembarque y la capacidad máxima de muestreo por parte del personal técnico en los distintos sitios de desembarque.

De acuerdo a la capacidad máxima de muestreo que tiene el personal técnico, 3 embarcaciones por día, para obtener frecuencia de longitud, al mes se obtuvieron 60 muestras de longitud lo que equivale a muestrear 60 embarcaciones, en promedio. Debido a la capacidad máxima de muestreo y a imprevistos se procuró obtener 40 muestras de frecuencia de longitud al mes.

#### **2.2.6. Submuestreo para Edad**

- a) El muestreo comenzaba el 1° de cada mes y se cerraba el último día del mismo período.
- b) Se tomaron registros de 30 pares de otolitos. Esto es mensual por clase de LT cada 0,5 centímetro, cubriendo toda la distribución de tallas de la muestra.

c) El número de pares de otolitos por clase de talla se distribuía en el mes, hasta obtener el número fijo, acordado en el punto anterior.

En los muestreos mensuales, que se realizaron en los principales puertos de descarga, a cada ejemplar de la muestra para otolitos se le registró su LT (cm), peso total y de gónadas (gr), sexo, estado de madurez de acuerdo a procedimientos estándar y se le extrajeron los otolitos. Estas estructuras se limpiaron mediante agujas de disección bajo estéreomicroscopio para retirar los restos de tejidos y posteriormente se guardaron en sobres envueltos en toalla de papel.

## 2.3.METODOLOGÍA OBJETIVO ESPECIFICO (3.1.)

### *Validar la formación del primer anillo de crecimiento anual de la anchoveta, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile*

Teniendo claro que la validación del primer *annulus* es un aspecto esencial en cualquier estudio de estimación de edad, ya que sin un punto de partida correctamente definido, las estimaciones de edad estarán consistentemente malas por una cantidad constante. Con el fin de responder al objetivo específico, este se abordó con las siguientes metodologías:

#### 2.3.1. Microincrementos Diarios Primer *Annulus*

La idea de usar los microincrementos diarios para validar la periodicidad de los incrementos anuales en otolitos de peces fue indirectamente sugerido por Panella (1971), quién precisó el hecho que alrededor 360 microincrementos estaban presentes en una banda macroscópica opaca y una translúcida en los otolitos de *Urophycis chuss* y *Merluccius bilinearis*. El autor intentaba realmente validar los microincrementos diarios a partir de los *annuli* y no lo opuesto. Brothers *et al.* (1976) confirman la correspondencia entre la estimaciones de edad obtenidas por *annuli* y el conteo de incremento diarios y propusieron el uso de las líneas diarias como medio de estimar la edad exacta para especies de crecimiento rápido en su primer año de vida

Taubert y Coble (1977) entregan la primera evidencia científica que un *annulus* es producido por depositación de microincrementos diarios. En especies de aguas templadas la depositación diaria puede ser muy comprimida o detenida en períodos fríos (Campana y Neilson, 1985) y un *annulus* a menudo, con microscopía de luz, aparece como una discontinuidad precedida por microincrementos estrechos (Victor y Brothers, 1982). El conteo de microincrementos diarios entre sucesivos *annuli* permitió a Victor y Brothers (1982) y Taubert y Tranquilli (1982) validar incrementos anuales por medio del análisis microestructural. Wenner *et al.* (1986) realiza un estudio similar para estimar la edad a la formación del primer *annulus* en *Centropristis striata*, por el conteo de los microincrementos con microscopía de luz, desde el núcleo a la primera zona translúcida.

Ferreira y Russ (1994) asumen que los microincrementos son diarios y cuentan desde el núcleo al principio de la primera zona opaca para indicar que la formación del primer *annulus* ocurre en el

primer año de vida de *Plectropomus maculatus*, la periodicidad anual también fue validada a través del marcaje con tetraciclina.

### **2.3.1.1. Preparación de los otolitos**

#### **a) Larvas**

Con el fin de observar y corroborar el tamaño de los microincrementos durante la primera etapa de crecimiento, el 13 de septiembre del 2006 se realizó un muestreo en el sector de Chipana con una red del tipo cerco modificada de 300  $\mu\text{m}$  (Figura 1) para la captura de larvas de mayor tamaño con respecto a las que aparecen en redes de capturas tradicionales (WP-2). Las larvas de anchovetas capturadas midieron entre los 20 y 30 mm. A 52 larvas, bajo lupa, fueron medidas y se les extrajeron los otolitos, montándose posteriormente éstos en con Entellan sobre un porta objeto y posteriormente fueron fotografiados en un microscopio óptico a inmersión con un aumento de 100X. Los microincrementos fueron contados bajo el supuesto que la formación de estos es de naturaleza diaria apoyado en los estudios de Mendiola y Gómez (1981), Herrera *et al.* (1985) y Hernández y Castro (2000), así como se agregaron tres días a las lecturas ya que se ha determinado que aproximadamente el primer anillo lo forman al momento de la primera alimentación, lo que ocurriría al tercer día después de la eclosión.

#### **b) Adultos**

Los otolitos de anchoveta adultas, para la observación de los microincrementos diarios, se prepararon siguiendo las metodologías propuestas por Secor *et al.* (1992) y McCurdy *et al.* (2002), aunque con algunas modificaciones en función de las características particulares del otolito y el equipo y material que se posee en el laboratorio. La metodología consistió en obtener una sección de la vista transversal, puliendo la muestra en una pulidora Buehler-Ecomet 2, con lija de diversos granos (diámetro: de 600 a 800), utilizando para el pulido final alúmina de micropulido, hasta llegar al centro.



Figura 1. Fotografías para mostrar el trabajo de la red de cerco modificada para la captura de larvas de peces.

El proceso de pulido se sigue bajo un microscopio con aumento de 600X a 1000X, para evitar la eliminación del centro, hasta obtener el grosor requerido (10 micrones aproximadamente), con lo que se permite la transmisión de la luz. De esta manera, son observados al microscopio óptico los microincrementos de crecimiento. Posteriormente se toma una fotografía digital en un microscopio óptico de la muestra para ser analizada posteriormente.

Esta técnica ha sido empleada con éxito en otolitos de peces de diferentes estados de desarrollo (Campana y Neilson, 1985; Jones, 1985; Peñailillo y Araya, 1996; Araya *et al.*, 2001), en anchoveta (*E. ringens*) por Morales-Nin (1989) y Barria *et al.* (1999), en la anchoveta del norte (*E. mordax*) por Methot (1983) quién determinó de forma muy precisa las fechas de nacimiento de juveniles de esta especie y estimó los cambios estacionales en la sobrevivencia larval.

### **2.3.1.2. Lectura de los microincrementos al microscopio óptico**

Los microincrementos presentes en los otolitos se contabilizaron y se midió el ancho de estos mediante el software Sigmascan. Se tomó una submuestra de 30 otolitos por zona, los que fueron leídos tres veces por dos lectores independientemente, las lecturas repetidas permitirá medir la precisión y detectar errores sistemáticos que se puedan estar cometiendo.

### **2.3.1.3. Lectura con microscopio electrónico de barrido (MEB)**

En peces adultos los microincrementos depositados en períodos de crecimiento lento pueden ser muy finos (0,1–0,4  $\mu\text{m}$ ) que al estar por debajo del poder de detección del microscopio óptico (aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ ), aparecerán durante la observación como bandas sin microincrementos claros. Las agrupaciones rítmicas de microincrementos pueden resolverse como un sólo microincremento y conducir a subestimar de la edad.

La presencia de estos finos microincrementos limita seriamente la aplicación de la microscopía óptica para determinar la edad de adultos. Al iniciar el estudio de una especie es aconsejable observar con MEB algunos otolitos que cubran el rango de tallas, para determinar si se forman microincrementos finos que impidan el uso del microscopio óptico. Sin embargo, el costo del MEB y el tiempo necesario para preparar los otolitos y para la observación, hace impracticable la aplicación de este método a los numerosos otolitos que deben interpretarse en un asesoramiento pesquero.

Hay que destacar que Morales-Nin (1988) de 14 especies de peces en las cuales trabajó, determinó, utilizando el microscopio electrónico de barrido, que en todas las especies los microincrementos se depositaban diariamente, las diferencias o malas interpretaciones que se producen en las lecturas de los microincrementos, se deben a la variación que experimenta el grosor o ancho de los microincrementos que en algunas oportunidades (cuando son menor a un micrón) no se pueden observar con el microscopio óptico.

Por lo tanto, con la finalidad de realizar una mejor observación, corroboración y medición de los microincrementos presentes en los otolitos de anchoveta, se observaron algunas muestras en un microscopio electrónico de barrido, esto permitió conocer la disposición de los microincrementos que componen el otolito para comprender la formación de esta estructura. Además, se midieron el

ancho de los microincrementos ya que de ser menores a un micrón (capacidad de resolución del microscopio óptico) algunas lecturas tendrán que realizarse con MEB.

La preparación de los otolitos para la observación con MEB se realizó de acuerdo a los procedimientos entregados por Secor *et al.* (1992) y Morales-Nin y Panfili (2002a). Que consistió básicamente en cortar el otolito de acuerdo a como se explicó en la sección 2.3.1.1., luego se pasa por un limpiador de ultrasonido para eliminar cualquier partícula extraña. Después de la limpieza la sección se sumerge en EDTA con el fin de revelar la microestructura. El tiempo de permanencia en la solución, de acuerdo a nuestra experiencia es de 5 minutos. Aunque se probaron otros tiempos para obtener los mejores resultados.

Las muestras se secaron a 30°C por 6 a 8 horas y mantenidos libres de humedad. Se pegan a un “stub” del MEB con pintura de carbono. La sección luego fue bañada con oro (100 angstroms) antes de la observación al MEB. Los MEB usados fueron el de la Universidad de Concepción y de la Universidad Católica del Norte en Antofagasta.

### **2.3.2. Moda de los Juveniles del Año**

Este método (Campana, 2001) surge cuando no es posible coleccionar otolitos de los jóvenes del año en el momento en que están formando su primer *annulus* y corresponde a una variación de la validación por progresión de modas. El método requiere una estimación de la longitud media de los peces en el momento de formación de *annulus* (*e.g.* alrededor del primer cumpleaños). Cuando esta estimación se inserta en una regresión longitud pez-longitud otolito el diámetro medio del primer *annulus* se puede predecir (Figura 2). Esta aproximación ha sido usada para validar la posición del primer *annulus* en otolitos de *E. mordax* (Spratt, 1975) y *Melanogrammus aeglefinus* (Campana, 1997).

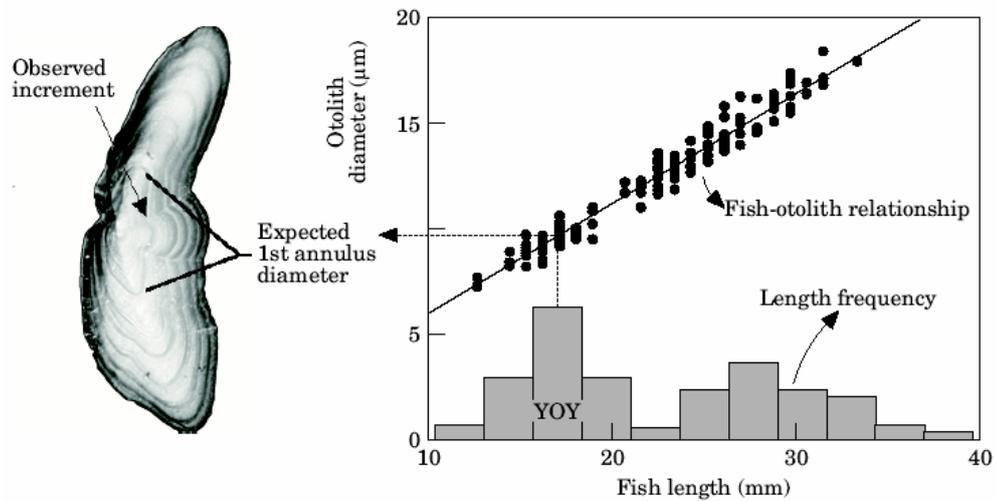


Figura 2. Diagrama propuesto por Campana (2001) de una aproximación para validar el primer *annulus*. Utilizando la moda correspondiente a los peces juveniles en una muestra de frecuencia de longitud colectada cerca del momento de formación del *annulus*, el diámetro es predicho de la relación longitud pez-longitud otolito (determinado de la misma muestra o de otra diferente).

## 2.4. METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO (3.2.)

*Validar la periodicidad de formación de los anillos de crecimiento de la anchoveta, y corroborarlo en el conjunto de edades, en las unidades de pesquería de la zona norte y centro-sur de Chile*

### 2.4.1. Análisis del Índice de Incremento Marginal

El índice de incremento marginal es uno de los métodos de validación de la periodicidad de los anillos de crecimiento anuales más utilizados y posiblemente mal interpretado (Campana, 2001), este describe la formación de los anillos de crecimiento (translúcido y opaco) en una base anual, oscilando entre 0 y 1. Para valores bajos del índice se interpreta como el comienzo de formación de un anillo opaco y para valores altos el término de formación de un anillo translúcido, por lo que, entre 0 y 1, se tiene la formación de un anillo opaco y uno translúcido (Figura 3). De ahí también la importancia del método ya que entrega la época de formación de los anillos. Este método, además, es uno de los pocos que se restringen a peces jóvenes y de rápido crecimiento, siempre cuando pueda ser observado e identificado claramente.

La popularidad del método se puede deber a los requerimientos de muestreo y análisis, así como su bajo costo. Pero presenta a su vez gran problema debido a las dificultades técnicas asociada con la observación del borde del otolito, ya que dependiendo de la luz es como se puede ver el borde y realizar una identificación errónea de éste. Campana (2001) plantea que la metodología es valida, si y sólo si, se aplica con suficiente rigurosidad. Agregando que cuatro son los aspectos a tener en cuenta en el protocolo de trabajo y que se considerarán en el presente estudio: (1) las muestras deben ser completamente aleatorias antes de ser examinadas y el lector no debe saber la fecha de colección; (2) se necesita un mínimo de dos ciclos a ser examinado; (3) los resultados deben ser interpretados objetivamente, y (4) la interpretación del índice se debe restringir solamente a algunos grupos de edad en el tiempo, idealmente solamente a uno. El índice se expresa por:

$$IIM_i = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}} \quad IIM_j = \frac{\sum_{i=1}^N IIM_i}{N}$$

donde:  $IIM_i$  es el incremento marginal del  $i$ -ésimo ejemplar, e  $IIM_j$  es el incremento marginal promedio para el mes  $j$ -ésimo, compuesto por  $N$  ejemplares;  $R$  es el radio total del otolito;  $r_n$  radio

del último anillo translúcido completamente formado y  $r_{n-1}$  radio penúltimo anillo translúcido. El índice  $IIM_j$  se estimó por mes, por clase de talla de 1 cm de longitud total y por edad una vez que ésta fue asignada. Esto debido a que se ha demostrado que la formación de anillos es diferente en una población dependiendo de la edad de estos.

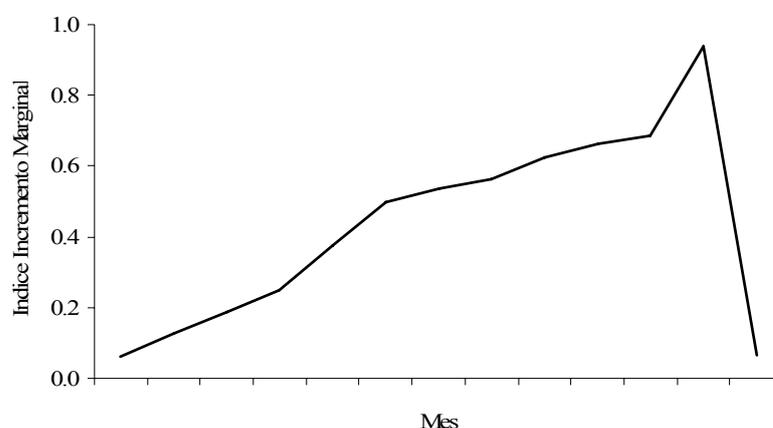


Figura 3. Curva hipotética para mostrar el comportamiento del Índice de Incremento Marginal en un ciclo anual.

## 2.4.2. Verificación

### 2.4.2.1. Distribución de talla

El análisis de frecuencia de tallas se considera altamente confiable en especies de rápido crecimiento, corto ciclo de vida, y con una estación reproductiva principal en el ciclo anual. Este es el caso de la anchoveta, en los cuales la progresión modal en los datos de frecuencia de talla puede ser seguida fácilmente después del reclutamiento (Cubillos, 1991; Cubillos *et al.*, 2001; Cubillos *et al.*, 2002). Además, de acuerdo con Campana (2001) el análisis detallado de la progresión modal puede ser considerado un método alternativo de validación o de corroboración de las edades determinadas mediante lectura en estructuras duras. Esto es así porque usualmente el análisis de frecuencia de tallas en una escala de tiempo mensual permite seguir la evolución del crecimiento de las clases anuales considerando explícitamente una fecha de cumpleaños biológica, la fecha o época de reclutamiento a la fase explotable, y la talla de madurez sexual y la época reproductiva. El conocimiento de estos aspectos biológicos permite una asignación de edades indirecta a las longitudes modales, con criterios biológicos que se consideran objetivos.

Tanto en la zona norte como en la zona centro-sur, la época de reclutamiento de la anchoveta a la fase explotable ocurre a fines de primavera, con ejemplares juveniles que tienen un tamaño modal cercano a los 8 cm de longitud total (Cubillos, 1991; Cubillos *et al.*, 2001; Castillo *et al.*, 2002). A su vez, la época máxima actividad reproductiva ocurre a fines de invierno (agosto), y aunque se puede extender hasta octubre, se puede identificar claramente una fecha de cumpleaños biológica (Cubillos *et al.*, 1999; Oliva *et al.*, 2000, 2001). Cubillos *et al.* (2001) utiliza el primero de julio, razón por la cual a la longitud modal de los juveniles que reclutan en enero (8 cm LT) se les puede asignar una edad de 6 meses (0,5 años). La progresión modal mensual de la longitud de una cohorte después del reclutamiento se les puede así asignar edades en meses sucesivamente, esperándose que al término del primer año tengan una longitud modal cercana a la talla de primera madurez sexual (*i.e.* entre 11,5 y 12,5 cm LT, dependiendo de la tasa de crecimiento y la amplitud del cambio estacional).

En consecuencia, y para los fines de este proyecto, los aspectos antes descritos constituirán la hipótesis nula en la validación de las edades identificadas en los otolitos según los diferentes procedimientos que han sido descritos.

#### **a) Mix**

La metodología que se utilizó es la siguiente: Se usaron datos de frecuencia de tallas mensuales. El número de clases de edad y la composición de edad presente en los datos de frecuencia de tallas se analizó con el algoritmo estadístico-numérico de MacDonald y Pitcher (1979), implementado en el programa computacional MIX (MacDonald y Green, 1988), que permite separar las clases de edad de los datos de frecuencia de tallas. Se utilizó el algoritmo cuasi-newton de convergencia y se asumió que cada clase de edad tiene una función de densidad de probabilidad normal. El número de clases de edad fue determinado por inspección visual del histograma de frecuencia, y el análisis se realizó sin restringir los parámetros, excepto en algunos casos en que el análisis sin restricciones no produce convergencia. Se utilizó el programa “mixdist” (<http://icarus.math.mcmaster.ca/peter/mix/mix.html>, Du Juan 2002) disponible para el software R versión 2.01 y superiores.

Una vez que todas las clases de edad fueron separadas, se identificó cohortes presentes en los datos a través de la progresión de la longitud media en el tiempo. La edad aquí se considera relativa y asignada considerando como una fecha del cumpleaños fija el primero de julio, ya que

la estación reproductiva principal normalmente empieza en julio y se extiende hasta septiembre (Arancibia *et al.*, 1994; Cubillos *et al.*, 1999; Oliva *et al.*, 2000, 2001).

El programa computacional, MIX, utiliza los algoritmos de McDonald y Pitcher (1979). El análisis se basa en el método de estimación de parámetros por métodos de máxima verosimilitud. La mezcla distribucional, cuya forma observable es un histograma de frecuencias se puede representar por:

$$g(l) = p_i f_i(l) + \dots + p_k f_k(l)$$

donde  $p_i$  es la proporción del número total de individuos que están representados en la distribución “ $v$ ” en la mezcla;  $f_i(l)$  es una función de densidad de probabilidad en función de la longitud ( $l$ ). Existen  $k$  de estas funciones en la mezcla distribucional, donde  $l$  es la longitud y las funciones corresponden a la distribución de probabilidad normal, pero MIX puede analizar otras funciones de distribución de probabilidad diferentes a la normal. La función de probabilidad normal está caracterizada por dos parámetros que deben ser estimados: la media (longitud promedio) y la desviación estándar. Por esta razón, cuando un histograma de longitud se descompone en  $k$  componentes normales de edad, se requiere estimar  $3k$  parámetros:  $k$  medias,  $k$  desviaciones estándar, y  $k$  proporciones cuando no se impone ninguna restricción al análisis; exceptuando aquellas lógicas que indican que la desviación estándar sea mayor que 0, que las longitudes promedio vayan en orden creciente, y que la suma de las proporciones sea igual a la unidad. La proporción de cada componente normal representa el aporte de dicho componente (área bajo la curva) en la mezcla total.

Se utilizó los parámetros de crecimiento comunicados por Cubillos *et al.* (2001) para analizar los cambios en el tiempo de la longitud media a la edad sigue el patrón comunicado por dichos autores, quienes analizaron 7 años de datos. Los parámetros de crecimiento están definidos según el modelo de von Bertalanffy modificado por Sommer (1988) con oscilación estacional en la tasa de crecimiento, *i.e.*  $L_\infty = 20,1$  cm LT,  $K = 0,514$  año<sup>-1</sup>,  $t_0 = -0,042$  años,  $C = 0,997$  y  $WP = 0,312$ .

## **b) Multifan**

El análisis de la progresión de las longitudes medias separadas con el programa MIX puede presentar restricciones ya que el análisis se realiza muestra por muestra. Una alternativa es analizar la serie de tiempo completa sobre la base de un modelo integrado que permita identificar

hipótesis estructurales diferentes. El modelo MULTIFAN (Fournier *et al.*, 1990; 1991) permite un análisis robusto de una serie temporal de datos de frecuencia de tallas. Este se aplicó a los datos de frecuencia de tallas de anchoveta de la zona centro-sur con el objeto de determinar el número de clases de edad y la composición de edad presente en los datos de frecuencia de tallas. MULTIFAN se basa en un modelo no-lineal altamente parametrizado, y permite una estimación robusta de los parámetros de crecimiento mediante un método de máxima verosimilitud para estimar la proporción de peces a cada edad, en cada una de las muestras, y por supuesto los parámetros de MCVB, con o sin oscilación estacional en la tasa de crecimiento. Además, MULTIFAN calcula el error estándar y correlación de todos los parámetros estimados. Por otra parte, el uso del método de máxima verosimilitud ayuda a discriminar objetivamente entre modelos alternativos que se diferencian estructuralmente.

Los principales supuestos son: (i) la longitud de los organismos en cada clase de edad presenta una distribución normal alrededor de la longitud promedio de cada grupo de edad; (ii) la longitud promedio, a cada edad, es descrita por una curva de crecimiento del tipo von Bertalanffy; (iii) la desviación estándar de las longitudes actuales alrededor de las longitudes promedio a cada edad, son funciones simples de la longitud promedio a cada edad.

A su vez, MULTIFAN puede incorporar hipótesis estructurales específicas en los modelos utilizados para describir los datos de frecuencia de longitudes observados. La hipótesis estructural más simple asume que las longitudes medias a la edad siguen el modelo de crecimiento de von Bertalanffy y que la desviación estándar de la longitud a la edad es idéntica para todas las clases anuales. Las hipótesis más complejas evaluadas asumen que los siguientes procesos pueden ocurrir en los datos de frecuencia de tallas: i) sesgo por muestreo de la primera clase de edad, ii) desviación estándar dependiente de la edad, y iii) crecimiento estacional. Estas hipótesis estructurales son incorporadas sistemáticamente en los modelos que se ajustan a los datos, considerando todas las combinaciones posibles de hipótesis estructurales. El método permite utilizar un test de razón de verosimilitud para identificar el modelo con estructura más parsimoniosa. La composición de los modelos se resume en la Tabla 3, donde  $K$  es el parámetro del MCVB, el parámetro  $\lambda_2$  determina la tendencia dependiente de la edad en la desviación estándar,  $b_1$  es un parámetro que determina la magnitud del sesgo del tamaño por selectividad para la primera clase de edad. Por ejemplo, si  $\lambda_2 = 0$  y  $b_1 = 0$ , las desviaciones estándar son edad-independientes y no hay sesgo de muestreo para la primera clase de edad, respectivamente. Los

parámetros que definen el crecimiento estacional ( $C$  y  $T_s$ ) no fueron considerados en el análisis de frecuencia de tallas.

Los procedimientos de evaluación se realizan automáticamente por MULTIFAN utilizando un test  $\chi^2$  para determinar que constituye un incremento significativo en el valor máximo de la función de log-verosimilitud. Tal como fue recomendado por Fournier *et al.* (1990), se utilizó el nivel de significancia 0,90 de la variable aleatoria  $\chi^2$  para aceptar una clase de edad extra en el modelo. Para evaluar la significancia de incluir un parámetro adicional, tal como la dependencia de la desviación estándar con la edad, se utilizó el nivel 0,95.

Tabla 3. Configuración de la estructura de los modelos considerados para analizar los datos de frecuencia de tallas, un signo + indica que el parámetro es considerado en el modelo (ver texto).

Parámetros	MODELOS							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$K$	+	+	+	+	+	+	+	+
$B_1$	-	+	-	+	-	+	-	+
$\lambda_2$	-	-	+	+	-	-	+	+
$C$	-	-	-	-	+	+	+	+
$T_s$	-	-	-	-	+	+	+	+

La secuencia analítica del programa MULTIFAN, consiste en los siguientes pasos:

*Proceso inicial:* Esta es la parte más importante del análisis, donde se toman decisiones sobre la base a los aspectos biológicos del recurso. En esta etapa se debe indicar: (i) el "Mes 1", que contiene el grupo de organismos con la talla modal más pequeña en la serie de tiempo (se consideró enero); (ii) la desviación estándar de una moda bien definida, y (iii) restringir algunas longitudes promedio para asegurar que el modelo ajuste las modas apropiadamente y exhiba un comportamiento estable. Finalmente, se debe indicar: (iv) el número probable de clases de edad presentes en la distribución de frecuencias de talla, y (v) valores probables del parámetro de crecimiento  $K$ .

*Búsqueda sistemática inicial:* En esta etapa se estiman los parámetros, considerando el modelo con las hipótesis estructurales más simples, para cada número total de clases de edad y manteniendo constante el parámetro  $K$  de crecimiento.

*Estimación del parámetro  $K$  de crecimiento:* Sólo después que todos los otros parámetros han sido estimados, se procede a estimar el valor definitivo de  $K$ .

*Modificación de la búsqueda inicial:* Según las hipótesis estructurales del modelo: (i) dependencia de la desviación estándar con la edad ( $\lambda_2$ ); y (ii) sesgo por selección de la longitud promedio de la primera clase de edad ( $b_1$ ).

*Selección de los modelos con distinto número de clases de edad:* El modelo seleccionado, entre distinto número de clases de edad, será aquel que genere un significativo incremento en la función de máxima probabilidad entre clases de edad consecutivas. Para ello, se utiliza un nivel de confianza del 90%, recomendado por Fournier *et al.* (1990) para reducir la probabilidad de ocurrencia de un error de tipo 2, *i.e.* rechazar un modelo conteniendo una clase de edad extra cuando ésta se encuentra realmente presente en la distribución de frecuencia de tallas.

*Selección de modelos con hipótesis estructurales alternativas:* Esta es la etapa final, donde se debe seleccionar entre modelos con hipótesis estructurales alternativas. En esta etapa se selecciona el modelo que tiene el más alto incremento en el valor de máxima probabilidad, al ser incluido un parámetro más en el modelo. Esto se realiza a través de la función Chi-cuadrado, esta vez al nivel del 95% de confianza. Por ejemplo, entre un modelo que no toma en cuenta el sesgo por selección de la primera clase de edad versus uno que sí lo considera, a un mismo número de clases de edad.

#### **2.4.2.2. Integración numérica**

Como en algunas preparaciones no es posible observar todos los microincrementos en el otolito, se utilizó el método de la densidad de los microincrementos diarios, método que se ha venido desarrollando desde la década del '70 (Ralston, 1976; Ralston y Williams, 1989; Morales-Nin y Ralston, 1990; Smith y Kostlan, 1991). Este método, utiliza la integración numérica de la tasa de crecimiento del otolito, lo que permitió estimar la edad de cada ejemplar y ajustar un modelo de crecimiento.

A las secciones delgadas de los otolitos, una vez que se le tomó la fotografía, éstas se analizaron con el software Sigmascan. Las lecturas se realizaron en sectores entre el centro y el borde postrostral, seleccionando a lo largo de este eje de crecimiento los lugares en que los microincrementos fueron interpretables, esto es, que se observen la zona-L y la zona-D (Taubert y Coble, 1977; Mugiya *et al.*, 1981). Entre el núcleo y el borde postrostral del otolito se determina la densidad de los microincrementos diarios a diferentes distancias del núcleo. La densidad de los microincrementos se calculó mediante la siguiente aproximación:

$$\frac{\Delta x}{\Delta \text{incrementos}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \approx \frac{dx}{dt}$$

donde:  $dx$  es la longitud del segmento ( $\mu\text{m}$ ) a una distancia "x" del núcleo;  $dt$  es el incremento de tiempo (días), que corresponde al número de microincrementos diarios. La serie de pares ordenados ( $dx/dt; x$ ) se ajustó al modelo propuesto por Deriso (1980 *fide* Hilborn y Walters, 1992) para estudios de stock-recluta, este modelo es mucho más flexible y su forma dependerá del valor que tome el parámetro  $c$ , siendo su expresión:

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

Este modelo corresponde a un modelo fenomenológico, es decir, un modelo que se ha derivado empíricamente y no ha sido planteado a partir de supuestos biológicos (Bjorkstedt, 2000).

Otros autores han ajustado distintos modelos a la tasa de crecimiento del otolito de distintas especies, es así como, Ralston y Miyamoto (1983) ajustan una función exponencial a información de *Pristipomoides filamentosus*, Smith y Kostlan (1991) ajustan una función del tipo gama para *Etelis carbunculus*, Gauldie (1996) ajusta una línea recta para *Macruronus novaezelandiae*, cuyo modelo de regresión no fue estadísticamente significativo.

Posteriormente, con el modelo que explica el crecimiento del otolito, se despejó  $dt$ , y se trató como una integral definida, limitada por el centro del otolito ( $x=0$ ) y el radio ( $X$ ) del otolito al momento de la captura del ejemplar, entregando de esta forma un estimado de la edad del pez, en días ( $T$ ), cuya expresión analítica es:

$$\int_{t=0}^T dt = \int_{x=0}^x \left( ax(1-bcx)^{1/c} \right)^{-1} dx$$

### 2.4.2.3. Comparaciones de lecturas

Las estimaciones de la edad se basan en que los anillos de crecimiento puedan ser identificados y contados, pero sucede que las lecturas llevan implícita variabilidad entre ellas, la que puede estar dada entre lectores, lecturas, entre estructuras para determinar la edad o entre instituciones. Puede depender, además, de la interpretación (error y variabilidad del lector, errores de preparación), o puede depender de la variabilidad propia del individuo. Para estos factores por separado se realizaron una serie de pruebas estadísticas para determinar si existen tendencias sistemáticas en las interpretaciones. El análisis estadístico se basó en el supuesto de que las repeticiones de las lecturas son estadísticamente independientes, esto significa que cada lector no tuvo conocimiento del resultado del otro lector, ni de sus lecturas anteriores.

- **Estimación del Índice de Precisión para el Conteo de los Microincrementos**

La precisión de las lecturas (número de microincrementos que identifica cada lector) 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:

$$APE = 100 * \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j}$$

donde:  $X_{ij}$  es la  $i$ -ésimo conteo de microincrementos del  $j$ -ésimo pez;  $X_j$  es el número de microincrementos promedio del  $j$ -ésimo pez;  $R$  es el número de veces que se contaron los microincrementos.

Además, se empleó el índice propuesto por Chang (1982), el cual emplea un coeficiente de variación (CV) como test de reproductibilidad en la estimación de la edad entre e intralectores. Este último índice ha demostrado ser una medida de precisión más robusta en este tipo de estudios (Campana *et al*, 1995):

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

#### 2.4.2.4. Peso del otolito para estimar la edad

Se utilizó el peso del otolito como una variable para estimar la edad, tal que permitió determinar la composición por edad, idea que se basa en la evidencia que indica que el peso del otolito está directamente relacionado con el tiempo vivido por el pez (Boehlert, 1985; Fletcher, 1991; Araya *et al.*, 2001; Pino *et al.*, 2004; Francis y Campana, 2004). La evidencia sugiere que el otolito sigue creciendo, aún cuando la longitud del pez no lo haga. A su vez, peces con baja tasa de crecimiento en longitud, presentan otolitos de gran tamaño con respecto a peces de su misma longitud (Radtke *et al.*, 1985). Por otra parte, mediante algunos experimentos se ha demostrado que el incremento en tamaño del otolito, es parcialmente independiente del crecimiento en longitud del individuo (Reznick *et al.*, 1989). Estas ideas adquieren importancia en anchoveta por la variabilidad que presentan en el crecimiento tanto en longitud como en peso.

Para evitar sesgos en el registro del peso de los otolitos y para determinar si es necesario secarlos, se realizó, con una submuestra de 30 otolitos, las siguientes pruebas: (a) peso del otolito izquierdo y derecho; y (b) entre peso húmedo y peso seco. Se compararon los coeficientes de regresión de los ajustes realizados entre ambas variables para cada caso, utilizando el test “t” (Zar, 1984). Para secar los otolitos estuvieron en un horno a 60 °C y a intervalos de media hora se tomó el peso hasta estabilizarlo, determinando de esta forma el tiempo óptimo de secado.

Se considera como hipótesis nula que el peso del otolito es un buen predictor de la edad y que la relación entre ambas variables es lineal (Worthington *et al.* 1995a,b, Araya *et al.*, 2001). De acuerdo con esta hipótesis, una relación entre la longitud de los peces y el peso del otolito debería describir una función del tipo von Bertalanffy, observándose una longitud asintótica en los otolitos más pesados.

#### **2.4.2.5. Microincrementos diarios entre *annuli***

El uso del análisis microestructural para la validación de incrementos anuales ha sido aplicado a varias especies de peces a pesar de las advertencias de la periodicidad diaria de los microincrementos y las limitaciones técnicas debido a lo tedioso y difícil de las preparaciones y análisis (Morales-Nin, 1992; Geffen, 1992).

Morales-Nin (1989) y Morales-Nin y Ralston (1990) contabilizaron en otolitos de peces tropicales el número de anillos diarios presentes en un presumible período anual formado por una zona de crecimiento rápido y una lento. El conteo fue realizado en un microscopio electrónico de barrido y los valores medios que obtuvieron no fueron significativamente diferente del número de días en año. Además, la periodicidad anual fue validada por análisis de incremento marginal.

De acuerdo a como se explicó en la sección 2.3.1.1., también se empleará el recuento de los microincrementos diarios entre *annuli*. Para esto se contabilizaron el número de microincrementos que existe desde el centro al borde del otolito, además de registrar la distancia cada cierto número de microincrementos.

#### **2.4.3. Experimento en Cautiverio**

Los experimentos de mantención en cautiverio se realizaron en dependencias del Departamento de Ciencias del Mar de la Universidad Arturo Prat (Iquique) y del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción (Dichato).

La captura de ejemplares vivos se realizó a partir de lances de pesca con red de cerco en embarcaciones artesanales y/o industriales. Los ejemplares se colectan con un balde de 5 litros de capacidad desde el cerco antes de que estos sean dañados por la red e inmediatamente dispuestos en bidones plásticos de 120 litros de capacidad provistos con agua de mar y aireación mediante botellas de aire comprimido. Los bidones fueron transportados desde el lugar de la descarga los lugares de confinamiento

El sistema de mantención consiste de cuatro estanques semicirculares con capacidad de 1000 litros cada uno en plástico reforzado con fibra de vidrio, autolimpiantes, con filtro central, y sistema de desagüe. Los contenedores están conectados entre sí por tubos de PVC hidráulicos, a

través de los cuales circula el agua de mar con la ayuda de una bomba hacia un filtro compuesto por napa y carbón activado para luego volver a los estanques.

Antes de la inyección 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 considera como período de aclimatación el tiempo que se requiere para lograr la adaptación de los peces a las condiciones de cautiverio, que en términos de tendencia, la duración del proceso estará dada por la estabilización de la sobrevivencia de los individuos. El periodo de aclimatación duró alrededor de cinco días. Tanto para el período de aclimatación como para la mantención, se ha contado con flujos permanentes de agua (50% de recambio por hora) y aire, además de disponibilidad de alimento artificial (harina de pescado y pellet) y alimento natural al no ser filtrada el agua de mar.

Para efectuar el marcaje se procedió a anestesiarse los peces para facilitar la manipulación al momento de inyectar y evitar de este modo un mayor desprendimiento de escamas o lesiones, para ello se utilizó el anestésico BZ-20 en dosis de 15ml/100lt y un estanque de 700 lt. Para marcar (intraperitoneal) se utilizó oxitetraciclina al 20% en dosis de 50 mg/Kg/pez, inyectando a cada anchoveta la cantidad de 0,1 ml de una solución (10 ml), que contenía 0,325 ml de antibiótico y 9,675 ml de suero fisiológico (0,82 gr. de NaCl en 100 ml de agua destilada); alcanzando dicha cantidad para un total de 100 ejemplares.

Luego de 30 días se volvieron a inyectar a los ejemplares con la misma dosis para producir una segunda marca. El sacrificio se produjo a los 20 días posteriores a la segunda inyección.

#### **2.4.3.1. Análisis de la formación de anillos en cautiverio: Mantención en cautiverio desde la eclosión**

El cautiverio por mucho tiempo para validar la formación de *annuli* es poco confiable, pero si es útil para trabajar a nivel de microincrementos diarios. Las condiciones entregadas en laboratorio raramente se asemejan a las del medio natural debido al fotoperíodo artificial, ciclo de temperatura, horario de alimentación y el limitado espacio para las migraciones diurnas verticales. Dado que la formación de *annulus* está fuertemente influenciado por el ambiente (Beckman y Wilson, 1995), por lo que un ambiente artificial es probable que produzca *annuli* artificiales. Los microincrementos de formación diaria son menos afectados por las condiciones

ambientales debido a los ritmos endógenos endocrinos los cuales controlan su formación (Campana y Neilson, 1985).

A pesar de las desventajas que presenta este método de validación, según lo expuesto anteriormente y Campana (2001), varios autores lo siguen proponiendo como método de validación. La Universidad Arturo Prat cuenta para el presente proyecto con los otolitos de 59 anchovetas que fueron eclosionadas en laboratorio y mantenidas en cautiverio por un período entre 557 y 884 días. Estas anchovetas fueron parte del proyecto FDI – CORFO “Desarrollo de un sistema de cultivo masivo de postlarvas de anchoveta para exportacion”.

## **2.5. METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO (3.3.)**

*Realizar un análisis de las implicancias del estudio para el conjunto de las edades estimadas de anchoveta y definir el procedimiento de asignación de edades y grupos de edad en base biológica, en ambas unidades de pesquería*

### **2.5.1. Tratamiento de los Otolitos y Lectura de Marcas**

En el laboratorio los otolitos fueron pesados en una balanza analítica de 0,0001gr de precisión, luego fueron fotografiados en un estereomicroscopio y posteriormente con el programa Sigmascan® se les tomaron las siguientes medidas: rostrum-postrostrum; antirostrum-postrostrum; rostrum-postrostrum; dorso-ventral; excisura-postrostrum (Figura 4), con el fin de realizar comparaciones en su crecimiento por zona.

La determinación de la edad en peces, utilizando la macroestructura de los otolitos, se basa en el recuento de anillos opacos o translúcidos dispuestos alternadamente alrededor de un núcleo, que generalmente es opaco formado durante el primer período de crecimiento (Chilton y Beamish, 1982).

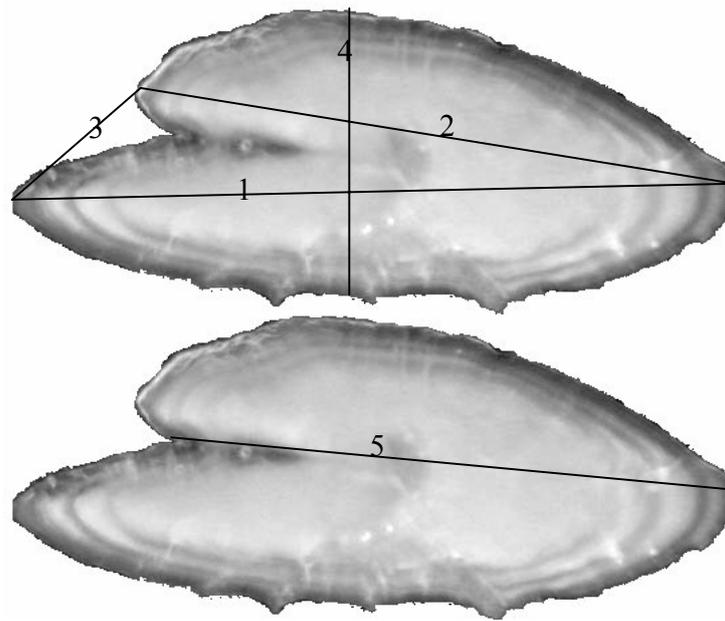


Figura 4. Esquema de un otolito para mostrar las distintas mediciones que se les realizaron. (1) rostrum-postrostrum; (2) antirostrum-postrostrum; (3) rostrum-postrostrum; (4) dorso-ventral; (5) excisura-postrostrum.

Se identificaron por parte de dos lectores, marcas translucidas con modificaciones a las técnicas propuestas por FAO (1982) y a las utilizadas en Chile para anchoveta y otras especies (Aguayo y Steffens, 1986; Araya *et al.*, 2001). Las lecturas de marcas translucidas se realizaron a partir de fotografías digitales, tomadas a los otolitos enteros, por la cara externa y sumergidos en aceite, con luz reflejada sobre fondo oscuro. Se realizaron dos lecturas a cada otolito por los lectores, de manera independientemente, quienes tomaron la siguiente medición e información: tipo borde, diámetro a cada marca translucida en el eje longitudinal y transversal (Figura 5) y calidad del otolito en términos de la observación (B: bueno, R: regular, M: malo).

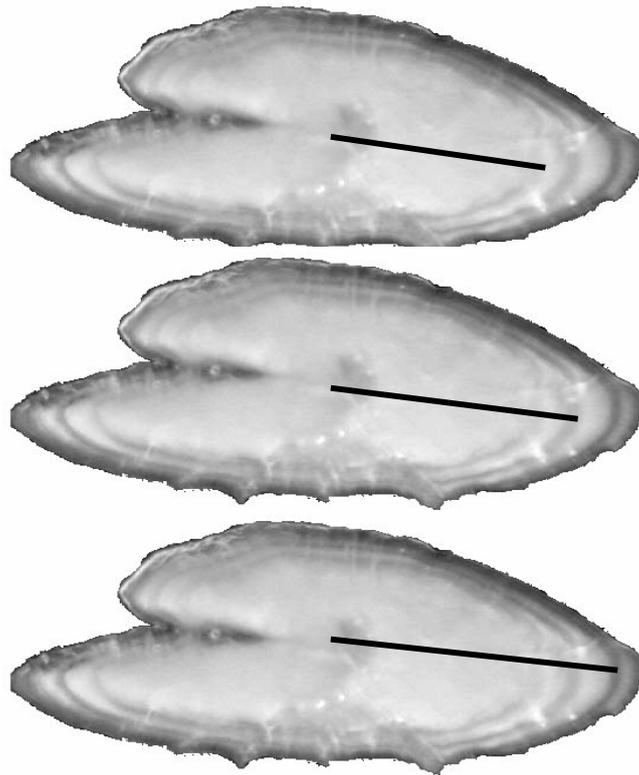


Figura 5. Esquema de un otolito para mostrar las mediciones de los anillos translúcidos.

El criterio que utilizaron los lectores para discernir que marca translúcida medir, es considerar aquellas marcas que estuvieran lo suficientemente claras y posibles de medir, por lo que no necesariamente la marca tiene que rodear completamente al núcleo. De esta forma, se evita que los lectores sepan a priori que marca translúcida registrar y contar.

### **2.5.2. Asignación de Edad**

La asignación de edad se hará en base mensual de acuerdo al número de anillos translúcidos presente y teniendo en cuenta la siguiente información: Naturaleza de borde; Fecha de captura; Fecha de nacimiento (puede ser un promedio o estándar para la población) y principales períodos de formación de incrementos.

La fecha de nacimiento se determina a partir del período de desove y/o por medio de los microincrementos diarios, de no ser así se aceptará como fecha de cumpleaños el 1 de julio, ya que la estación reproductiva principal normalmente empieza en julio y se extiende hasta

septiembre (Cubillos *et al.*, 1999; Oliva *et al.*, 2000, 2001). Los análisis de validación y corroboración que se realicen en los puntos anteriores permitirá determinar precisamente los períodos de formación estacional de los incrementos. En la Figura 6 se entrega un modelo de asignación de edad en meses para la anchoveta capturada a lo largo de un ciclo anual, la cual ha sido modificada de Morales-Nin y Panfili (2002b). Además, se considerará los criterios de asignación entregados por Cappo *et al.* (2000) quienes asignan edad a 11 especies de *Lutjanus* y lo criterios de Smith y Deguara (2003) para *Mugil cephalus*.

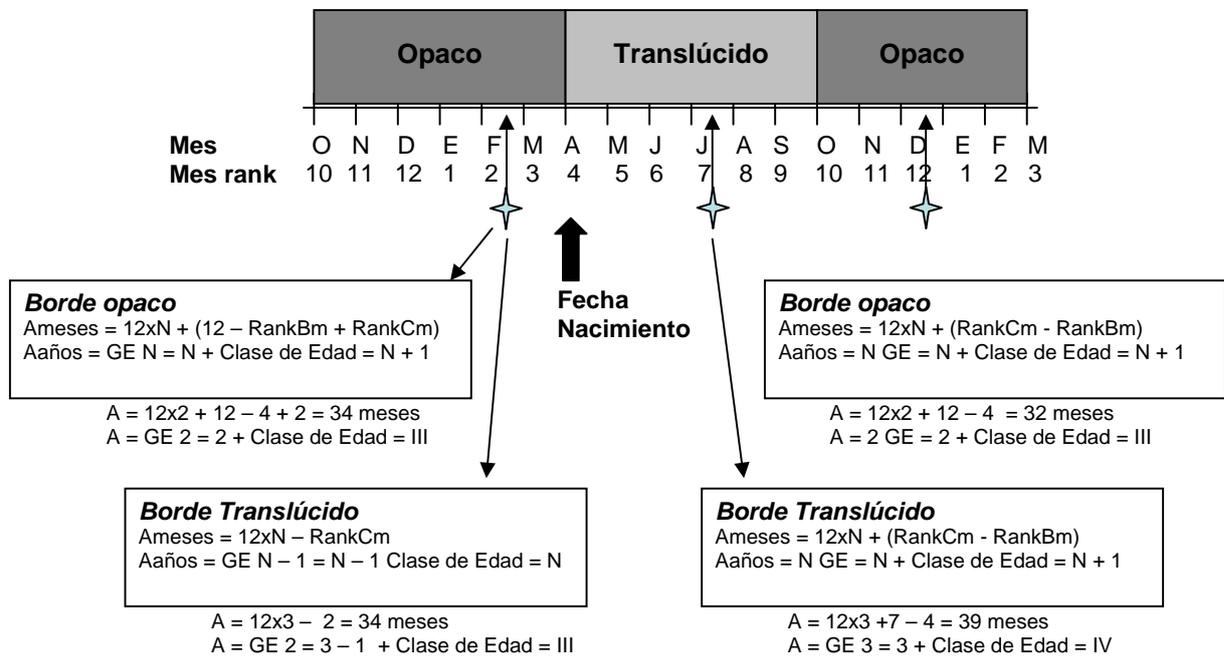


Figura 6. Modelo hipotético de asignación de edad propuesto por Morales-Nin y Panfili (2002b).

### 2.5.2.1. Ajuste modelo crecimiento

Según Cubillos y Arancibia (1993a,b) y Cubillos *et al.* (1994, 2001, 2002), los pelágicos pequeños de la zona centro sur exhiben fluctuaciones estacionales en la tasa de crecimiento, observándose en primavera-verano una mayor tasa de crecimiento en concomitancia con la mayor productividad de la zona costera en Chile centro-sur, y una reducida tasa de crecimiento invernal (mayo-agosto), lo que se debería a una disminución de los eventos de surgencia costera

y a la condición reproductiva de los peces (Cubillos y Arancibia, 1993a), los cuales realizarían un mayor gasto energético hacia la producción de gametos que al crecimiento.

Aún cuando en la literatura se comunica los parámetros de crecimiento de anchoveta, éstos no han considerado el componente de fluctuación estacional en la tasa de crecimiento (Aguayo y Soto, 1978; Arrizaga, 1981; Orrego, 1993) exceptuando el trabajo de Barría *et al.* (1999). Los trabajos de Cubillos y Arancibia (1993a) y Cubillos *et al.* (2001, 2002) entregan estimaciones de los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy y de la amplitud y fase que determinan la oscilación estacional en la tasa de crecimiento.

Se destaca que Sparre (1991) analiza y demuestra que cuando no se considera el componente estacional del crecimiento corporal, se pueden producir notables sesgos en las curvas de rendimiento por recluta, en consecuencia, se probaron distintos tipos de modelos a ser ajustado, siendo éstos:

#### a) Modelo estacional

Propuesto por Pauly y Gaschütz (1979), modificado por Somers (1988), *i.e.*

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

donde  $L_t$  es la longitud del pez a la edad  $t$  (meses),  $K$  es el coeficiente de crecimiento,  $t_0$  es un parámetro hipotético que representa la edad cuando la cual la longitud del pez es cero,  $C$  es una constante adimensional que expresa la amplitud de la oscilación de crecimiento, y  $t_s$  es el tiempo, con respecto a  $t = 0$ , del comienzo de una oscilación estacional con un período de un año. Las constantes  $C$  y  $t_s$  deberían ser mayores a cero y menores a la unidad. Un valor de  $C = 0$  implica que el crecimiento es continuo, sin oscilación estacional; mientras que  $C = 1$ , implica una detención completa en el crecimiento en longitud en algún momento del año.

**b) Modelo de crecimiento de Gompertz**

$$L_t = L_\infty e^{-e^{(-G(t-t_0))}}$$

donde  $L_\infty$  es la longitud asintótica,  $G$  la tasa instantánea de crecimiento a la edad  $t_0$ ,  $t_0$  es el punto de inflexión de la curva y la edad a la cual la tasa de crecimiento absoluta comienza a declinar.

**c) Modelo de von Bertalanffy tradicional**

$$L_t = L_\infty \left[ 1 - e^{-K(t-t_0)} \right]$$

Los modelos anteriores se ajustaron mediante ajuste no lineales considerando los errores aditivos.

**2.5.2.2. Comparación del crecimiento**

Para comparar el crecimiento entre ambas zonas se aplicó el test de razón de verosimilitud para comparar los modelos (Kimura 1980). En este test el estimador puede ser obtenido maximizando la función de verosimilitud bajo el supuesto que el término de error aleatorio  $e \sim N(0, \sigma^2)$ . La función de verosimilitud es:

$$L = -\frac{n}{2} \ln(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum (y - \hat{y})^2$$

El estimador máximo verosimil de  $\sigma^2$  es

$$\sigma^2 = \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n}$$

En que se ha reducido el método de máxima verosimilitud al de mínimos cuadrados cuando  $e \sim N(0, \sigma^2)$ . El procedimiento para comparar curvas de crecimiento es el siguiente:

- i) Ajustar los set de datos a los modelos respectivos, por lo que se tendrá

$$(L_{\infty 1}, K_1, t_{o1}) \quad y \quad (L_{\infty 2}, K_2, t_{o2})$$

(los parámetros pueden ser de cualquier modelo) y estimar la verosimilitud para cada modelo

ajustado ( $L_1$  y  $L_2$ ).

- ii) Si el test es un uno de los parámetros, por ejemplo  $H_0: L_{\infty 1} = L_{\infty 2} = L_{\infty}$ , entonces la curva de crecimiento se ajusta a la combinación de los dos set de datos con ( $L_{\infty}$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $t_{01}$ ,  $t_{02}$ ). Posteriormente se calcula el valor de la verosimilitud  $L$ .
- iii) El estadístico de la razón de verosimilitud es  $T=L-(L_1+L_2)$ . El estadístico  $(-2T)$  tiene una distribución asintótica  $\chi^2$  con grados de libertad dado por la diferencia en el número de parámetros estimados entre los dos set de parámetros hipotéticos. En este caso los grados libertad son 1.
- iv) Si el test de hipótesis envuelve mas de dos parámetros, por ejemplo,  $H_0: L_{\infty 1}=L_{\infty 2}=L_{\infty}$ ;  $K_1=K_2=K$ ;  $t_{01}=t_{02}=t$ , entonces se ajusta la curva de crecimiento a la combinación de los dos set de datos con ( $L_{\infty}$ ,  $K$ ,  $t_0$ ) y el valor de verosimilitud  $L$  es calculado utilizando el procedimiento en (iii). Este método puede ser usado para comparar más de dos curvas de crecimiento.

### 2.5.3. Asignación Grupo de Edad

Una vez establecida la edad de un pez, puede ser asignado al grupo de edades apropiado, que es un número entero de años, de acuerdo con una convención basada en una fecha de nacimiento arbitrariamente adoptada. Se dice que los peces son de una clase anual dada, cuando han nacido en ese año determinado. Para simplificar la estimación de la edad, esta se asigna generalmente en términos de grupo de edad, con referencia a una fecha asignada de nacimiento. Esta fecha de nacimiento no tiene que coincidir necesariamente con el tiempo biológico de nacimiento.

En general se utilizan números árabes para anotar la edad y números romanos para los grupos de edad. Como ya se ha mencionado, la estimación de la edad por sí sola no constituye información suficiente para poder hacer la evaluación del stock, requiriéndose una ulterior elaboración de los datos. Una vez determinada la edad, debe clasificarse cada pez dentro de su grupo de edad adecuado y asignársele una clase anual. La clase anual es el año civil en que nació el pez. El grupo de edad normalmente se obtiene restando simplemente la clase anual del año de captura. El método requiere de un buen conocimiento del esquema de formación de zonas y anillos, porque podrá ser necesario desestimar zonas o anillos que ya se han formado (FAO, 1982).

### 2.5.3.1. Confección claves talla-edad y composición por talla y edad de las capturas

La captura en número de una embarcación se estimó bajo el supuesto que el peso promedio de los individuos de la muestra es igual al peso promedio de los individuos en la captura, entonces el estimador del número de individuos capturados viene dada por el cociente entre la captura en peso y el peso promedio de los individuos en la muestra:

$$C = \frac{Y}{\bar{w}}$$

donde  $C$  es la captura en número,  $Y$  es la captura en peso, y  $\bar{w}$  es el peso promedio de los individuos en la muestra. Al considerar posibles errores de muestreo, la varianza de la captura en número puede ser estimada por el método delta (Quinn y Deriso, 1999):

$$Var(C) = C^2 \left( \frac{Var(\bar{w})}{\bar{w}^2} \right) = Y^2 \left( \frac{1}{\bar{w}} \right)^4 Var(\bar{w})$$

En esta expresión se supone que la captura en peso se conoce sin error (lo que anula la covarianza), y supone que el error está en la estimación del peso promedio. La varianza del peso promedio, viene dada por:

$$Var(\bar{w}) = \sigma_w^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (w_j - \bar{w})^2$$

Sin embargo, para estimar el peso promedio y su varianza se utilizará la relación longitud-peso (RLP) representativa del período (semana, mes, trimestre) en que se realizó el muestreo, y que se define a través de la siguiente relación potencial:

$$W = qL^b$$

donde  $q$  y  $b$  son constantes,  $W$  es el peso promedio de un individuo a la longitud  $L$ . Aunque hay variación en el peso de los individuos de una cierta longitud, esta ecuación está señalando el promedio. En consecuencia, se utiliza los datos de frecuencia de longitud para obtener el peso promedio. En estos casos, la estimación del peso promedio debe considerar el efecto no lineal de la RLP, y la mejor manera de tratar el problema es a través de una integral definida, cuyo resultado sea dividido por el rango de integración (definición de promedio), i.e.

$$w_{L_1, L_2} = \frac{1}{L_2 - L_1} \int_{L_1}^{L_2} qL^b$$

de donde se obtiene, la siguiente expresión:

$$\bar{w}_j = \frac{q[L_{j+1}^{(b+1)} - L_j^{(b+1)}]}{(L_{j+1} - L_j)(b+1)}$$

donde  $\bar{w}_j$  es el peso promedio de la clase de longitud  $j$  (clases regulares),  $L$  es el límite inferior de las clases de longitud  $j$ ,  $q$  y  $b$  son las constantes de la relación longitud-peso. El peso promedio de una muestra de frecuencia de tallas se estima por:

$$\bar{w} = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} f_j \bar{w}_j}{\sum_{j=1}^{j=k} f_j}$$

donde el subíndice  $j$  sigue representando clases de longitud regulares ( $j = 1, 2, \dots, k$ ),  $f$  es la frecuencia de la clase de longitud  $j$ , y  $w_j$  es el peso promedio del intervalo de longitud  $j$ . Una vez calculado el peso promedio, se procede a calcular la captura en número, mientras que la varianza del promedio se estima por:

$$Var(\bar{w}) = \sigma_w^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^k f_j (\bar{w}_j - \bar{w})^2$$

donde:

$$n = \sum_{j=1}^k f_j$$

### 2.5.3.2. Composición de Edades

Una clave longitud-edad es una tabla de doble entrada que permite distribuir por grupos de edad a los individuos de una cierta clase de longitud. En otras palabras, es una tabla que contiene la probabilidad de que un individuo de una cierta longitud pertenezca a un grupo de edad determinado. Se debe considerar que la longitud es una variable aleatoria que tiende a distribuirse normal o log-normal en cada grupo de edad. Es deseable que la captura en número por edad, de

un año dado, incorpore tanto la variabilidad de las longitudes a la edad (promedio y varianza) como la mortalidad ocurrida durante ese año (Ricker, 1975; Kimura y Chikuni, 1987). Para ello, normalmente se realiza un muestreo intensivo de longitudes, donde se verifica la mortalidad, y un muestreo menos intensivo para determinar las edades.

Las claves edad-talla, en consecuencia, se construyó clasificando las lecturas de cada otolito por grupo de edad y clase de talla, entregando la probabilidad de edad "X" para cada individuo de longitud "L", *i.e.*  $p(X|L)$ .

Con el objeto de comparar el efecto de la asignación de edades sobre la base de una fecha de cumpleaños arbitraria y otra con una fecha de cumpleaños biológica, se consideró una agrupación mensual.

La composición de edad estará basada según la composición de longitudes de la captura trimestral para cada zona de pesca, y se obtendrán mediante la sumatoria de las distribuciones mensuales respectivas. Siguiendo a Kimura (1977), se considera que las proporciones de edad  $i = 1, \dots, n_a$  son  $p_1, p_2, \dots, p_{n_a}$ . Supóngase, además, que la distribución de longitudes en cada edad es  $q_{ij}$ ,  $j = 1, \dots, n_l$ . En esta formulación, los números  $n_a$  y  $n_l$  indican número de categorías de edades y no edades verdaderas; lo mismo se aplica en el caso de las longitudes. De esta manera, se tiene que cumplir que:

$$\sum_{j=1}^{n_l} q_{ij} = 1$$

para cualquier edad  $i$ . La proporción de la longitud  $j$ , es:

$$l_j = \sum_{i=1}^{n_a} p_i q_{ij}$$

A partir de la clase de longitud  $j$ , la proporción de peces de edad  $i$  es:

$$q_{ij}' = (p_i q_{ij}) / l_j$$

y, por lo tanto

$$\sum_{i=1}^{n_a} q_{ij}' = 1$$

para cualquier grupo de tallas  $j$ . Las cantidades que son directamente estimables de los datos son  $l_j$  y  $q_{ij}$ . Si se cuenta con una muestra aleatoria de  $N_i$  frecuencias de tallas, y  $n_j$  son de la longitud  $j$ , y si a  $n_j^*$  de los  $n_j$  ejemplares se les determina la edad, de los cuales  $m_{ij}$  son de edad  $i$ , entonces:

$$\hat{l}_j = \frac{n_j}{N_i}$$

y

$$\hat{q}_{ij}' = \frac{m_{ij}}{n_j^*}$$

son estimadores insesgados de  $l_j$  y  $q_{ij}$ . En efecto, ya que

$$p_i = \sum_{j=1}^{n_i} l_j q_{ij}'$$

permite que

$$\hat{p}_i = \sum_{j=1}^{n_i} \hat{l}_j \hat{q}_{ij}'$$

sea un estimado insesgado de  $p_i$ , lo que constituye la aplicación tradicional de una clave edad-talla. La proporción de peces a la edad  $i$  se estima mediante la aplicación de la clave edad-longitud  $q_{ij}$  a la composición de longitudes  $l_j$ . Este método de estimación se basa en una submuestra relativamente pequeña de la muestra para longitudes, que se clasifica por longitud y edad para obtener las probabilidades de observar la edad en cada intervalo de longitud, las que posteriormente se multiplican por la composiciones de longitudes, generadas a partir de la medición de un número elevado de peces, generalmente provenientes de la combinación de varias muestras obtenidas durante un cierto período en una determinada zona.

La varianza será estimada por

$$\hat{V}(\hat{p}_i) = \sum_{j=1}^{n_i} \left( \frac{l_j^2(1 - q_{ij})}{n_j} + \frac{l_j(q_{ij} - p_i)^2}{n} \right)$$

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. MUESTREO DE FRECUENCIA DE TALLAS Y MUESTREO BIOLÓGICO ESPECÍFICO

La estructura de tallas de los ejemplares provenientes de los muestreos se resume en las Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6 y gráficamente se presentan en las Figura 7, Figura 8 y Figura 9, para la Zona norte, VIII y X Región, respectivamente.

En la zona norte, para el período comprendido entre abril de 2005 y marzo del 2006, la anchoveta presentó individuos entre 10,5 y 18,5 cm de LT y con una moda centrada en los 15 cm de longitud total, cuyo número de individuos muestreados fluctuó entre 2336 y 6969. En esta región, la estructura de tallas revela distribuciones unimodales y bi-modales en ejemplares mayores a 11 cm (Figura 7). En las muestras obtenidas no se registró el ingreso de ejemplares < 11 cm, aspecto que podría afectar el análisis de progresión modal (ver más adelante).

Tabla 4. Resumen de la distribución de frecuencias de tamaño anchoveta en la Zona norte.

	2005									2006		
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Media	14,3	14,3	15,5	14,9	14,6	14,8	15,5	15,2	15,4	15,0	15,5	14,8
Moda	13	13,5	15,5	15	14,5	14,5	15,5	15	15,5	15,5	16	15,5
Lt min	11,5	11,5	12	10,5	12	12	13	13	11	11	11,5	11
Lt max	18	18,5	18,5	18	17,5	18,5	18	18,5	18	18	18	18
N	<b>3697</b>	<b>6593</b>	<b>3471</b>	<b>5934</b>	<b>9656</b>	<b>6661</b>	<b>2336</b>	<b>5565</b>	<b>4759</b>	<b>2993</b>	<b>6969</b>	<b>5285</b>

En la VIII Región, para el período comprendido entre marzo de 2005 y marzo del 2006, la estructura de tallas de anchoveta se caracterizó por individuos comprendidos entre 4,5 y 19,5 cm de longitud total y una moda centrada en los 13 cm de longitud total. El número de individuos muestreados en el período fue entre 286 y 4293. En esta región, se observó un mayor espectro de tallas con estructuras uni, bi, y polimodales (Figura 8). En septiembre y octubre, y particularmente en enero de 2006 se registró la moda de de ejemplares más pequeños, con moda entre 7 y 8 cm de longitud total. En tanto, en la X Región, el número de individuos muestreados fluctuó entre 248 y 1490, cuyo rango de tamaños se presentó entre 9 y 18 cm de LT y una moda centrada en alrededor de los 11 y los 15 cm de longitud total. Para los propósitos de análisis de la zona centro-sur, se combinó los datos de la VIII y X Región.

Tabla 5. Resumen de la distribución de frecuencias de tamaño anchoveta en la Zona centro.

	2005									2006		
	Mar	Abr	May	Jun	Julo	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
Media	12,8	13,1	13,2	11,7	13,1	12,4	12,1	11,8	13,0	9,6	13,5	13,7
Moda	12,5	13	13	11	13	11,5	11	12;14	13,5	8,5	11,5	13
Lt min	9,5	10,5	10	6,5	7,5	7	8	8	7,5	4,5	8	7,5
Lt max	17	18	17	17	18,5	18	18	18	17,5	18	18	19,5
N	<b>805</b>	<b>1052</b>	<b>798</b>	<b>1899</b>	<b>1347</b>	<b>4293</b>	<b>4164</b>	<b>508</b>	<b>1213</b>	<b>903</b>	<b>286</b>	<b>1152</b>

En la X Región, el número de individuos muestreados fluctuó entre 248 y 1490, cuyo rango de tamaños se presentó entre 9 y 18 cm de LT y una moda centrada en alrededor de los 11 y los 15 cm de longitud total.

Tabla 6. Resumen de la distribución de frecuencias de tamaño anchoveta en la Zona X Región.

	2005						2006
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene
Media	14,7	13,7	13,5	14,5	12,2	12,4	14,2
Moda	14,5	14	13,5	15	12,5	11	11
Lt min	12	9	7,5	11	9,5	9,5	9,5
Lt max	18	17,5	17,5	17,5	15,5	17	17
N	<b>269</b>	<b>1490</b>	<b>1060</b>	<b>837</b>	<b>248</b>	<b>526</b>	<b>642</b>

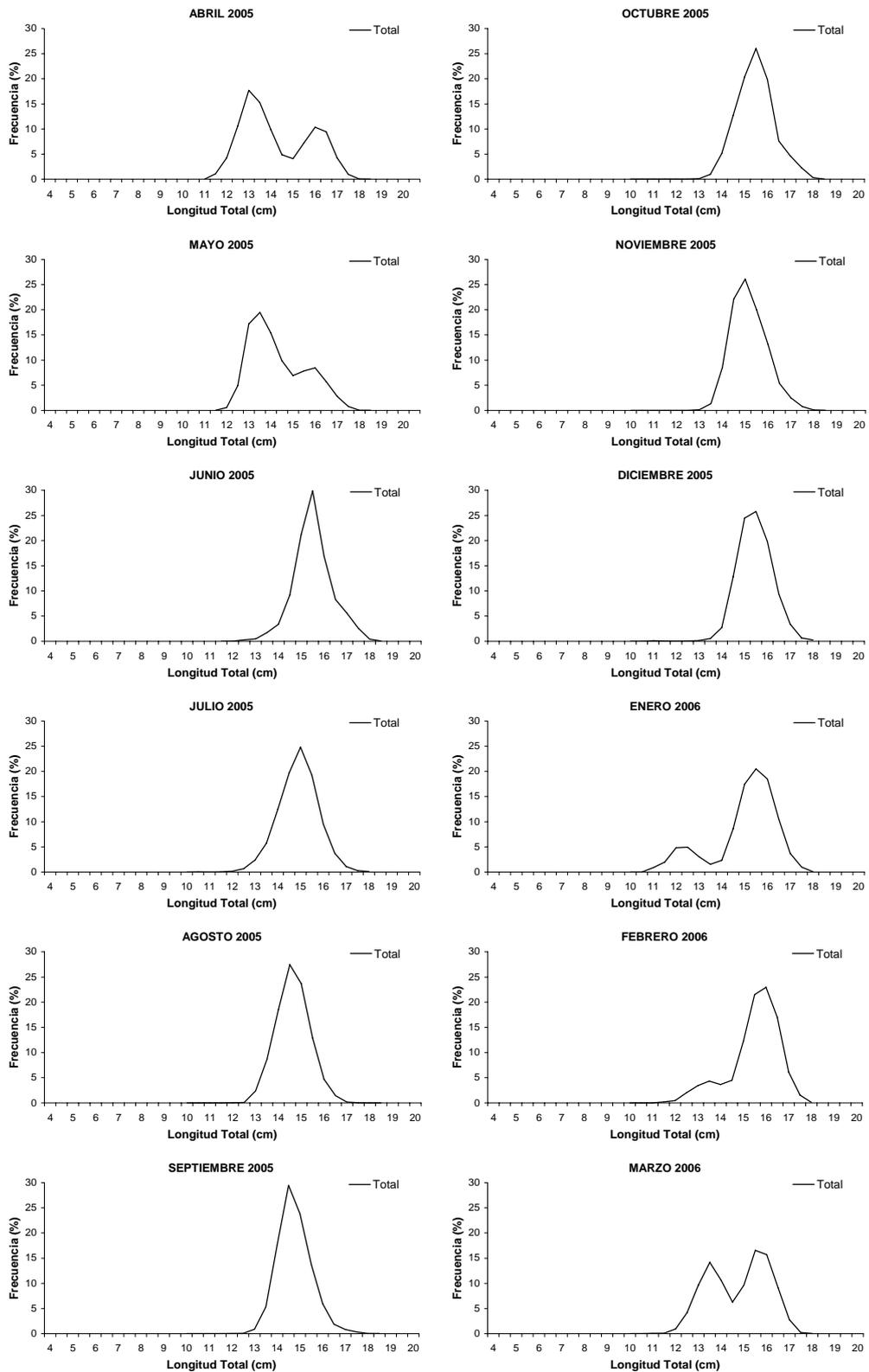


Figura 7. Frecuencia (%) de longitudes de anchoveta zona norte.

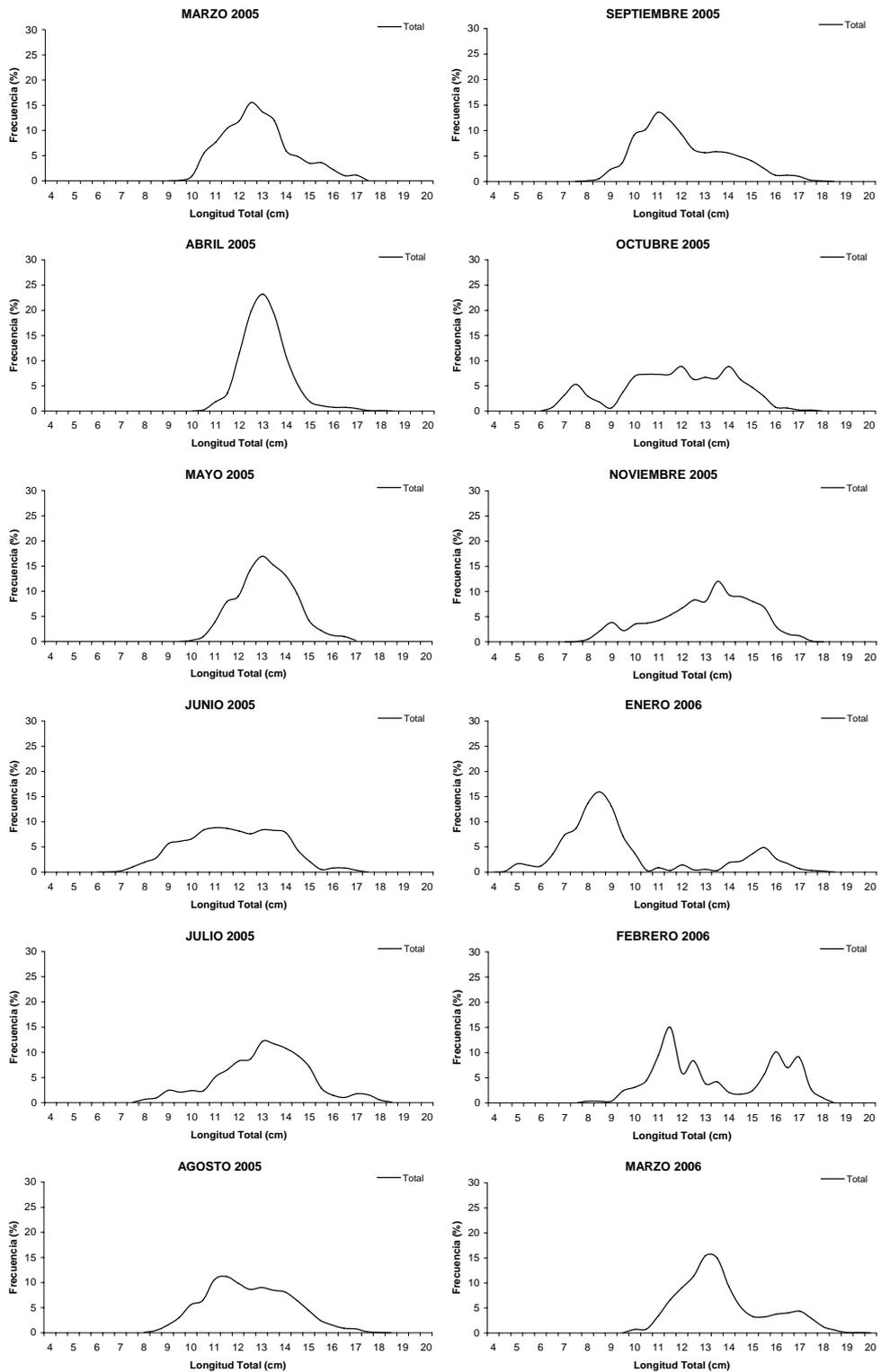


Figura 8. Frecuencia (%) de longitudes de anchoveta, VIII Región.

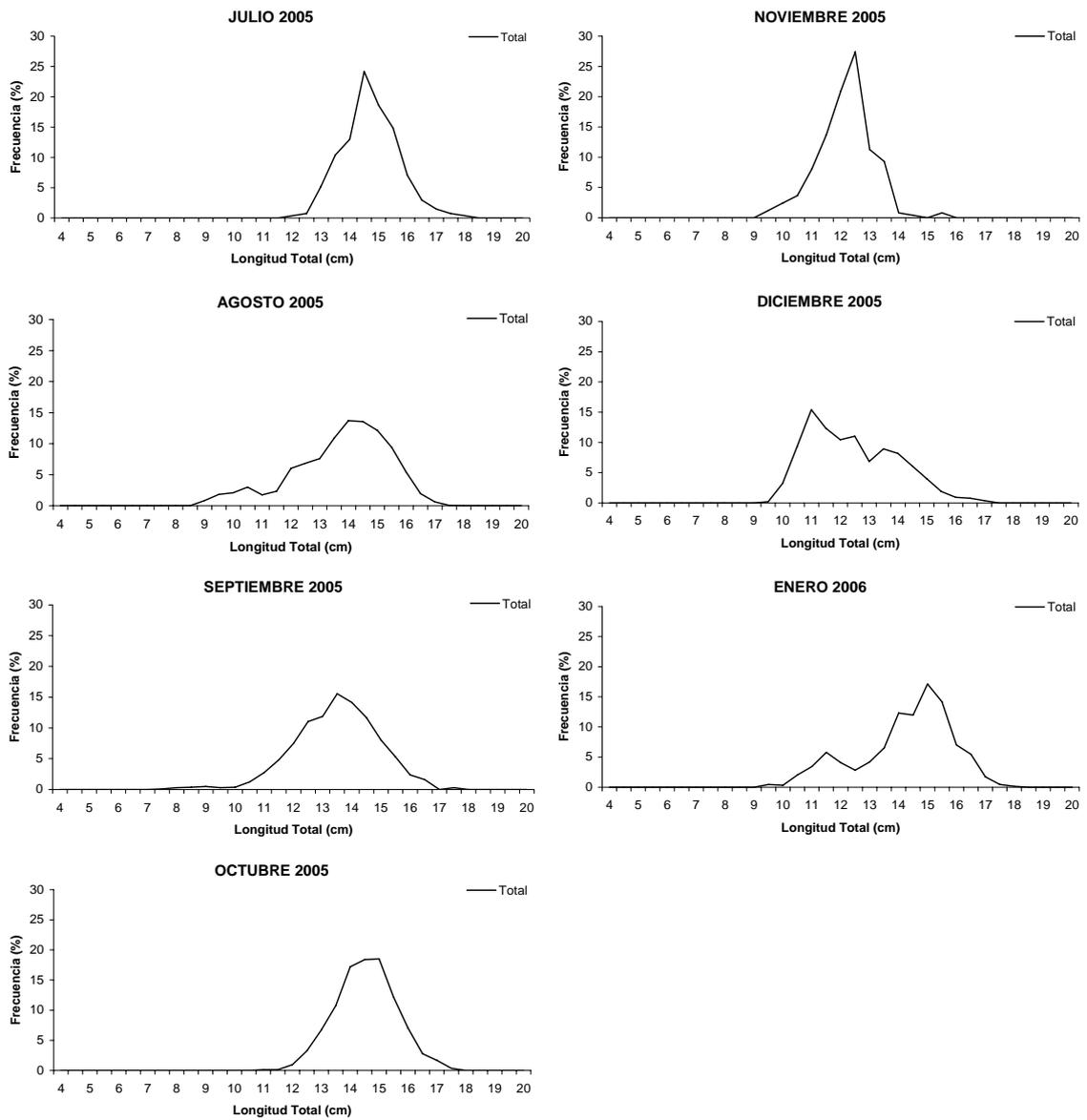


Figura 9. Frecuencia (%) de longitudes de anchoveta, X Región.

### 3.2. RESULTADOS OBJETIVO ESPECIFICO (3.1.)

#### 3.2.1. Microincrementos Diarios Primer Annulus

De la lectura de otolitos de larvas de anchovetas se obtuvo que el ancho promedio de los microincrementos es de  $1,79 \mu\text{m}$  (d.e.  $0,62 \mu\text{m}$ ), siendo estos relativamente claros para su lectura (Figura 10). El número de microincrementos presentes en los otolitos estuvo entre los 40 y 60 días. El crecimiento en esta etapa queda representada por un línea recta cuya ecuación es  $\text{edad}=12,624+0,262*LT$  (Figura 11).

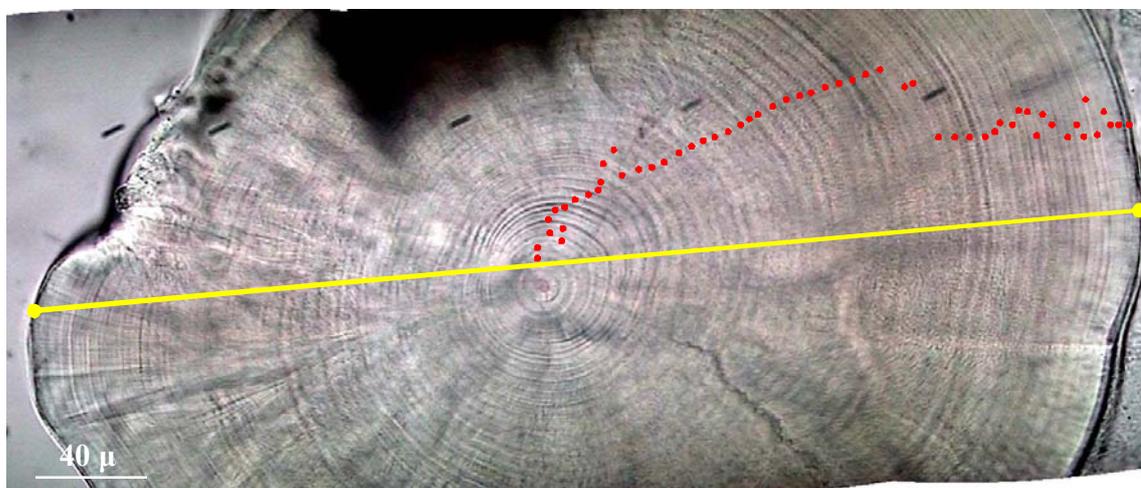


Figura 10. Fotografía de otolito de larva de anchoveta, tomada en microscopio óptico (100X) para mostrar la formación de los microincrementos en las primeras etapas de desarrollo y la claridad para realizar las lecturas. Línea amarilla corresponde a la medición del diámetro del otolito.

En los individuos adultos también es posible observar el patrón de formación de microincrementos alrededor del centro, distinguiendo claramente la zona-L y la zona-D (Figura 12), aunque en algunas preparaciones no es posible observar debido a la calidad de la misma, por lo que se debió trabajar con un número mayor al establecido inicialmente. Las observaciones en el MEB (Figura 13) muestran el patrón que observamos en el microscopio óptico, aunque con bajo contraste entre sus componentes, a pesar de probar con distintos tiempos y concentración de ácido, las preparaciones no mejoran más. De las muestras leídas (Tabla 7) los primeros 365 microincrementos (primer *annulus*) en otolitos de anchovetas del norte encuentra a los  $612,6 \mu\text{m}$

en promedio, distancia en el eje centro-dorsal, y a 607,3  $\mu\text{m}$  en anchovetas del sur. Esto equivale en promedio a 2943,9 y 2738,2  $\mu\text{m}$  de longitud del otolito respectivamente.

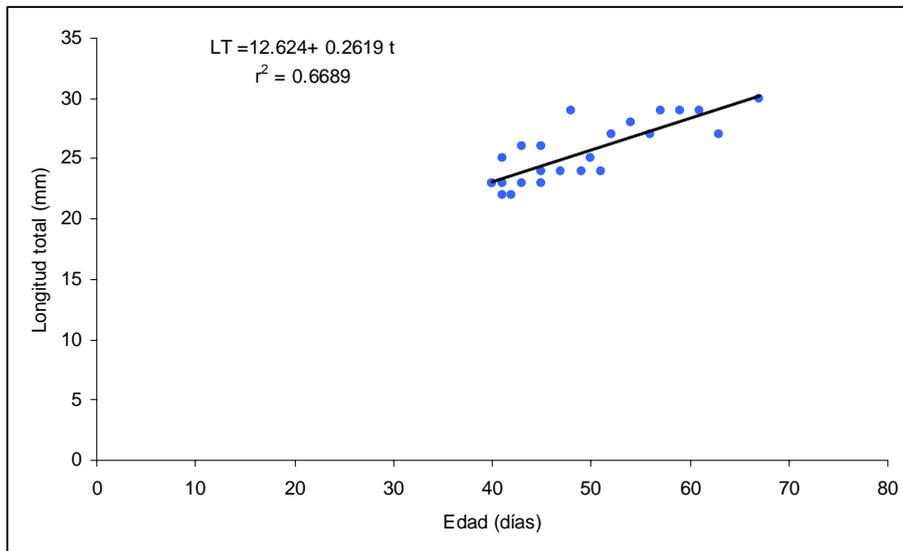


Figura 11. Relación entre el número de microincrementos (días) y la longitud total de larvas anchovetas.

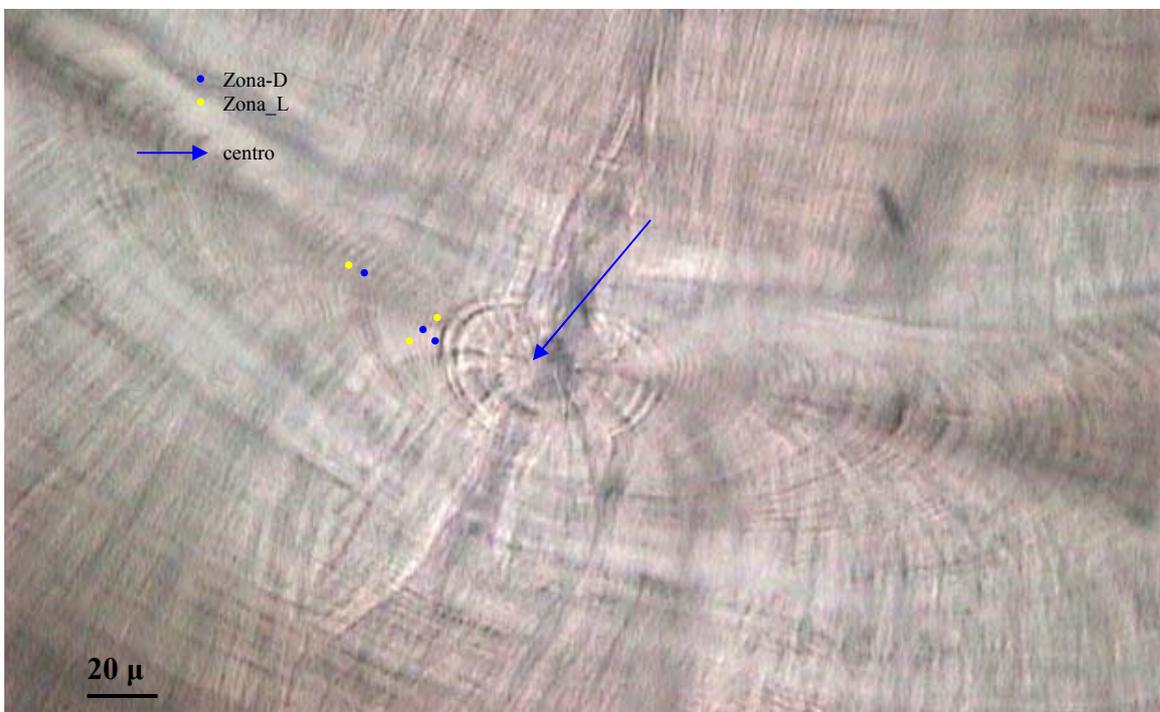


Figura 12. Fotografía de un corte de otolito para mostrar la zona-D y zona-L de la cual se componen los microincrementos. Sector del centro.

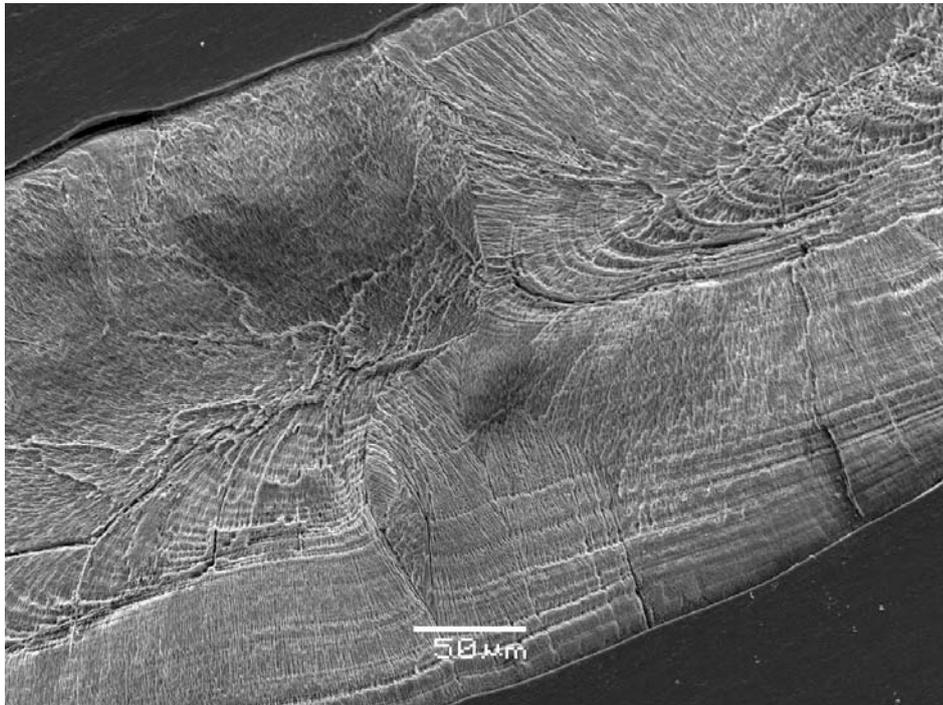
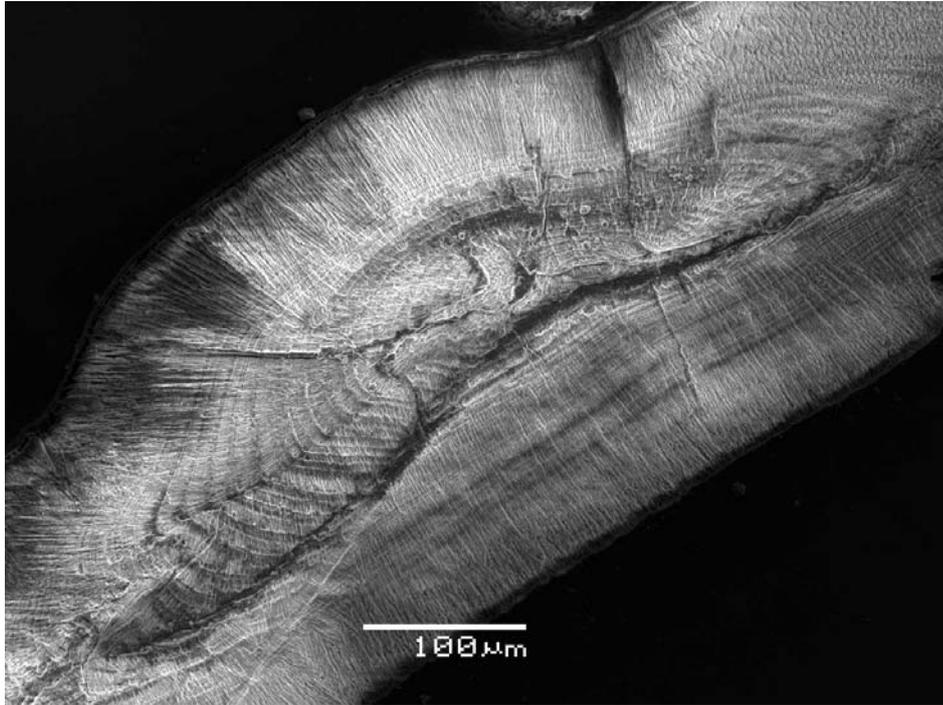


Figura 13. Fotografías de otolitos de anchoveta tomadas en microscopio electrónico de barrido para la observación de microincrementos.

Tabla 7. Distancia promedio desde el centro del otolito hasta los 365 microincrementos en anchoveta. D.E.: desviación estándar. n: número de individuos.

	Distancia promedio ( $\mu\text{m}$ )	D.E.	N
Norte	612,6	29,612	32
Sur	607,3	21,283	29

### 3.2.2. Moda de los Juveniles del Año

Al considerar la distribución de frecuencia de longitud del mes de septiembre del 2005 para la zona sur, en la cual aparece una moda a los 11,3 cm (Figura 14), si se toma en cuenta que esta moda proviene del desove de invierno 2004, en el mes de septiembre se estaría terminando de formar el primer *annulus* con un tamaño promedio del otolito de 2,686 mm.

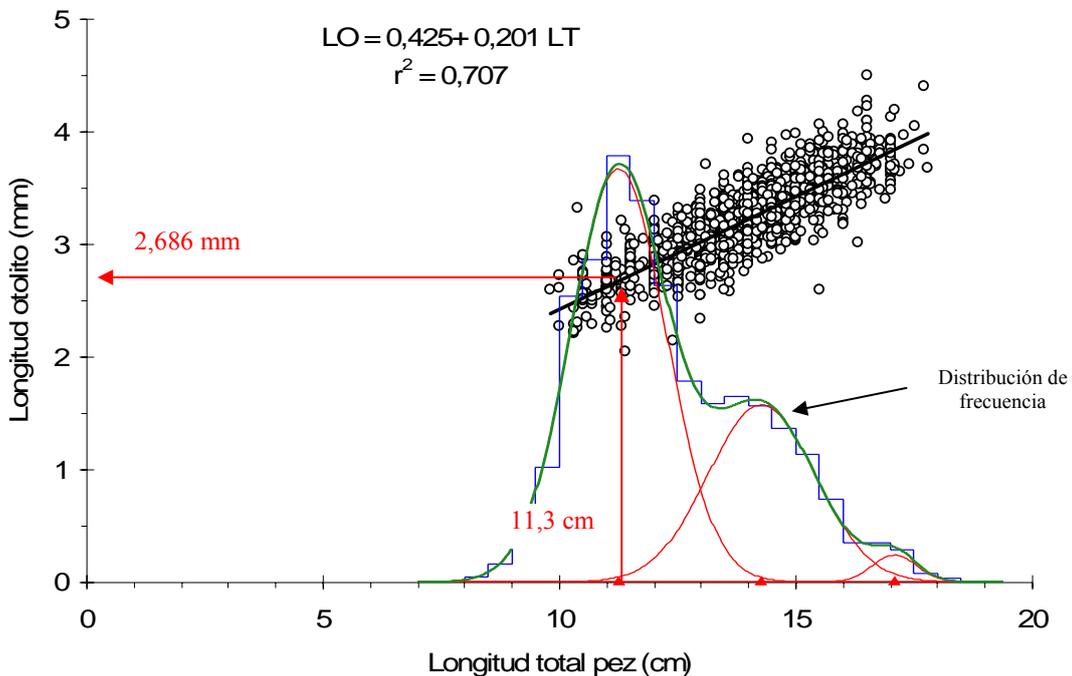


Figura 14. Aproximación para validar el primer *annulus*. Utilizando la moda correspondiente a los peces muestreados cerca del momento de formación del primer *annulus*, la longitud del otolito se obtiene de la relación longitud pez-longitud otolito.

### 3.3. RESULTADOS OBJETIVO ESPECIFICO (3.2.)

#### 3.3.1. Análisis del Índice de Incremento Marginal

El análisis del incremento marginal por talla no arroja resultados satisfactorios, tanto en el norte como en el sur por lo que sólo se presenta los valores para la zona norte, e.g., en la Figura 15 se presenta el valor mensual del índice para la primera clase de talla (menores a 13 cm), presentándose valores cercanos a uno lo que se interpreta como si durante todo el año se esta terminando de formar un *annulus*, y en los casos donde el IIM es mayor que uno significa que el último *annulus* medido es más grande que el anterior. Igual situación ocurre al graficar el porcentaje de borde opaco (Figura 16) en que durante todo el año se observa que aparece en un 100% aproximadamente.

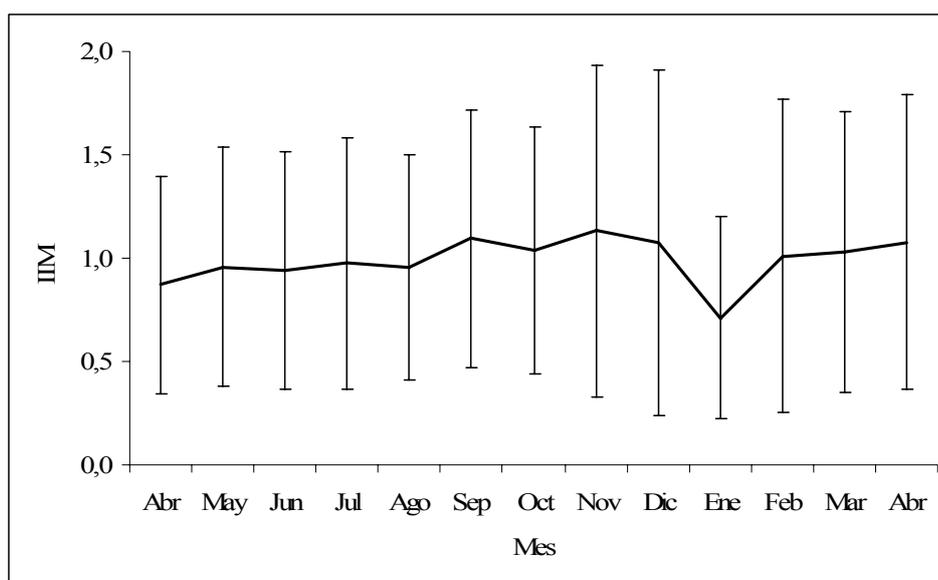


Figura 15. Índice de incremento marginal para la zona norte. Se muestra la gráfica con el fin de indicar la inaplicabilidad del método para la anchoveta. Barras verticales: 1 desviación estándar.

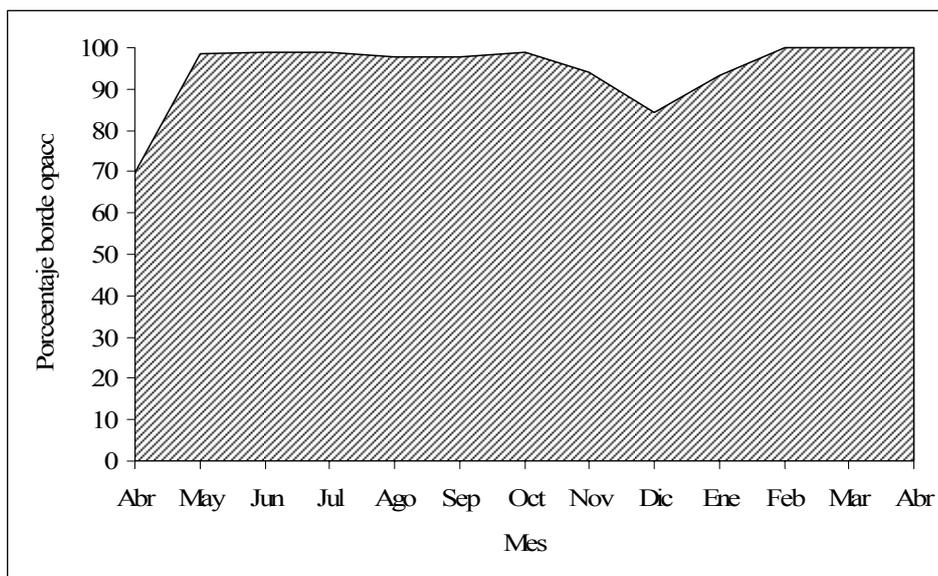


Figura 16. Porcentaje de borde opaco para anchoveta de la zona norte.

### 3.3.2. Verificación

#### 3.3.2.1. Distribución de talla

##### a) MIX

Los datos de frecuencia de tallas de anchoveta analizados con MIX, permitieron separar los componentes normales de la mezcla. En general, hubo meses en que el análisis sólo detectó un componente normal y un máximo de tres. Los resultados se presentan en las Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10 para la zona norte, VIII Región, y X Región, respectivamente. En tanto, la representación gráfica se ilustra respectivamente en las Figura 17, Figura 18, Figura 19.

La longitud media ( $\pm 1$  DE) en función del tiempo se presenta en la Figura 20, a partir de la cual se identificó la progresión modal y se asignó una edad relativa al 1° de julio y en forma consecutiva según el mes y grupo modal presente en la mezcla.

Tabla 8. Análisis de frecuencia de tallas de anchoveta, zona norte. K: número de componentes normales, D.E.: Desviación estándar, P: proporción de la participación de la distribución. Entre paréntesis se muestra el error estándar de cada parámetro.

AÑO	MES	K	Media (cm)	D.E. (cm)	P
2005	Abril	1	13,48 (0,018)	0,713 (0,014)	0,640 (0,009)
		2	16,33 (0,023)	0,636 (0,018)	0,360 (0,009)
	Mayo	1	13,76 (0,018)	0,584 (0,012)	0,636 (0,012)
		2	15,95 (0,042)	0,813 (0,027)	0,364 (0,012)
	Junio	1	15,76 (0,014)	0,842 (0,010)	1,000 NA
	Julio	1	15,15 (0,011)	0,856 (0,008)	1,000 NA
	Agosto	1	14,88 (0,007)	0,719 (0,005)	1,000 NA
	Septiembre	1	15,01 (0,009)	0,726 (0,007)	1,000 NA
	Octubre	1	15,72 (0,017)	0,810 (0,012)	1,000 NA
Noviembre	1	15,41 (0,010)	0,767 (0,008)	1,000 NA	
Diciembre	1	15,70 (0,011)	0,740 (0,008)	1,000 NA	
2006	Enero	1	12,57 (0,032)	0,616 (0,025)	0,168 (0,007)
		2	15,82 (0,016)	0,748 (0,012)	0,832 (0,007)
	Febrero	1	13,65 (0,040)	0,696 (0,028)	0,150 (0,006)
		2	16,11 (0,011)	0,673 (0,009)	0,850 (0,006)
	Marzo	1	13,75 (0,020)	0,632 (0,015)	0,444 (0,009)
		2	16,01 (0,016)	0,612 (0,012)	0,556 (0,009)

Tabla 9. Análisis de frecuencia de tallas de anchoveta, VIII Región. K: número de componentes normales, D.E.: Desviación estándar, P: proporción de la participación de la distribución. Entre paréntesis se muestra el error estándar de cada parámetro.

AÑO	MES	K	Media (cm)	D.E. (cm)	P	
2005	Marzo	1	11,16 (0,18)	0,46 (0,13)	0,131 (0,073)	
		2	12,92 (0,12)	0,93 (0,14)	0,727 (0,099)	
		3	15,58 (0,30)	0,87 (0,15)	0,142 (0,040)	
	Abril	1	13,24 (0,03)	0,82 (0,03)	0,962 (0,012)	
		2	16,16 (0,39)	0,88 (0,23)	0,038 (0,012)	
	Mayo	1	13,39 (0,04)	1,15 (0,03)	0,986 (0,007)	
		2	16,64 (0,20)	0,31 (0,14)	0,014 (0,007)	
	Junio	1	11,04 (0,15)	1,52 (0,08)	0,688 (0,048)	
		2	13,87 (0,11)	0,83 (0,08)	0,293 (0,049)	
		3	16,64 (0,08)	0,36 (0,06)	0,019 (0,004)	
	Julio	1	9,47 (0,15)	0,69 (0,11)	0,071 (0,012)	
		2	13,45 (0,05)	1,47 (0,05)	0,896 (0,014)	
		3	17,57 (0,08)	0,36 (0,06)	0,033 (0,006)	
	Agosto	1	11,27 (0,10)	1,04 (0,05)	0,403 (0,061)	
		2	13,66 (1,18)	1,49 (0,08)	0,597 (0,061)	
	Septiembre	1	11,25 (0,05)	1,01 (0,03)	0,661 (0,022)	
		2	14,28 (0,10)	1,13 (0,09)	0,319 (0,025)	
		3	17,09 (0,10)	0,47 (0,08)	0,020 (0,005)	
	Octubre	1	7,76 (0,08)	0,48 (0,06)	0,130 (0,017)	
		2	11,19 (0,25)	1,05 (0,17)	0,433 (0,088)	
		3	14,10 (0,30)	1,16 (0,16)	0,437 (0,085)	
	Noviembre	1	9,09 (0,08)	0,35 (0,10)	0,054 (0,014)	
		2	11,48 (0,65)	1,33 (0,26)	0,284 (0,125)	
		3	14,31 (0,27)	1,29 (0,12)	0,663 (0,126)	
	2006	Enero	1	8,47 (0,05)	1,20 (0,04)	0,797 (0,014)
			2	15,36 (0,11)	1,20 (0,10)	0,203 (0,014)
		Febrero	1	11,95 (0,10)	1,21 (0,08)	0,613 (0,030)
2			16,57 (0,08)	0,76 (0,07)	0,387 (0,030)	
Marzo		1	13,22 (0,04)	1,09 (0,04)	0,804 (0,015)	
		2	16,89 (0,09)	0,89 (0,07)	0,196 (0,015)	

Tabla 10. Análisis de frecuencia de tallas de anchoveta, X Región. K: número de componentes normales, DE: Desviación estándar, P: proporción de la participación de la distribución. Entre paréntesis se muestra el error estándar de cada parámetro.

AÑO	MES	K	Media (cm)	DE (cm)	P
2005	Julio	1	14,96(0,06)	0,96(0,04)	1,000NA
	Agosto	1	10,48(0,09)	0,67(0,07)	0,098(0,010)
		2	12,46 (0,09)	0,44(0,10)	0,117(0,030)
		3	14,65 (0,07)	1,05(0,05)	0,785(0,028)
	Septiembre	1	8,87 (0,20)	0,56(0,15)	0,013(0,004)
		2	13,78 (0,04)	1,32(0,03)	0,987(0,04)
	Octubre	1	14,79(0,04)	1,03(0,03)	1,000NA
	Noviembre	1	12,41(0,06)	0,93(0,04)	1,000NA
	Diciembre	1	11,34(0,09)	0,58(0,07)	0,385(0,064)
		2	13,51(0,18)	1,32(0,09)	0,615(0,064)
2006	Enero	1	11,76(0,11)	0,75(0,08)	0,185(0,020)
		2	15,12(0,06)	1,02(0,04)	0,815(0,020)

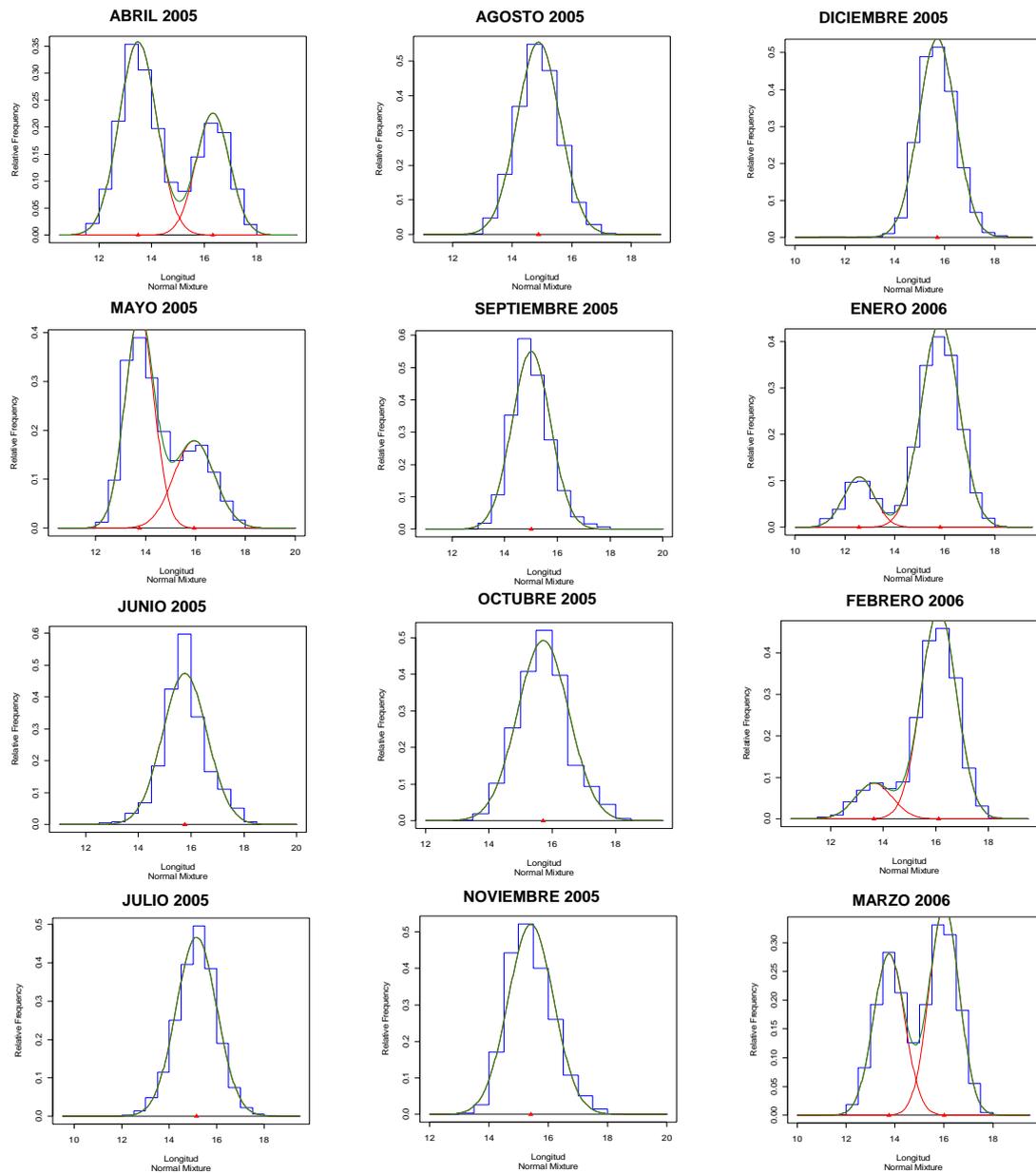


Figura 17. Descomposición de la frecuencia de tallas de anchoveta en componentes normales con MIX, zona norte.

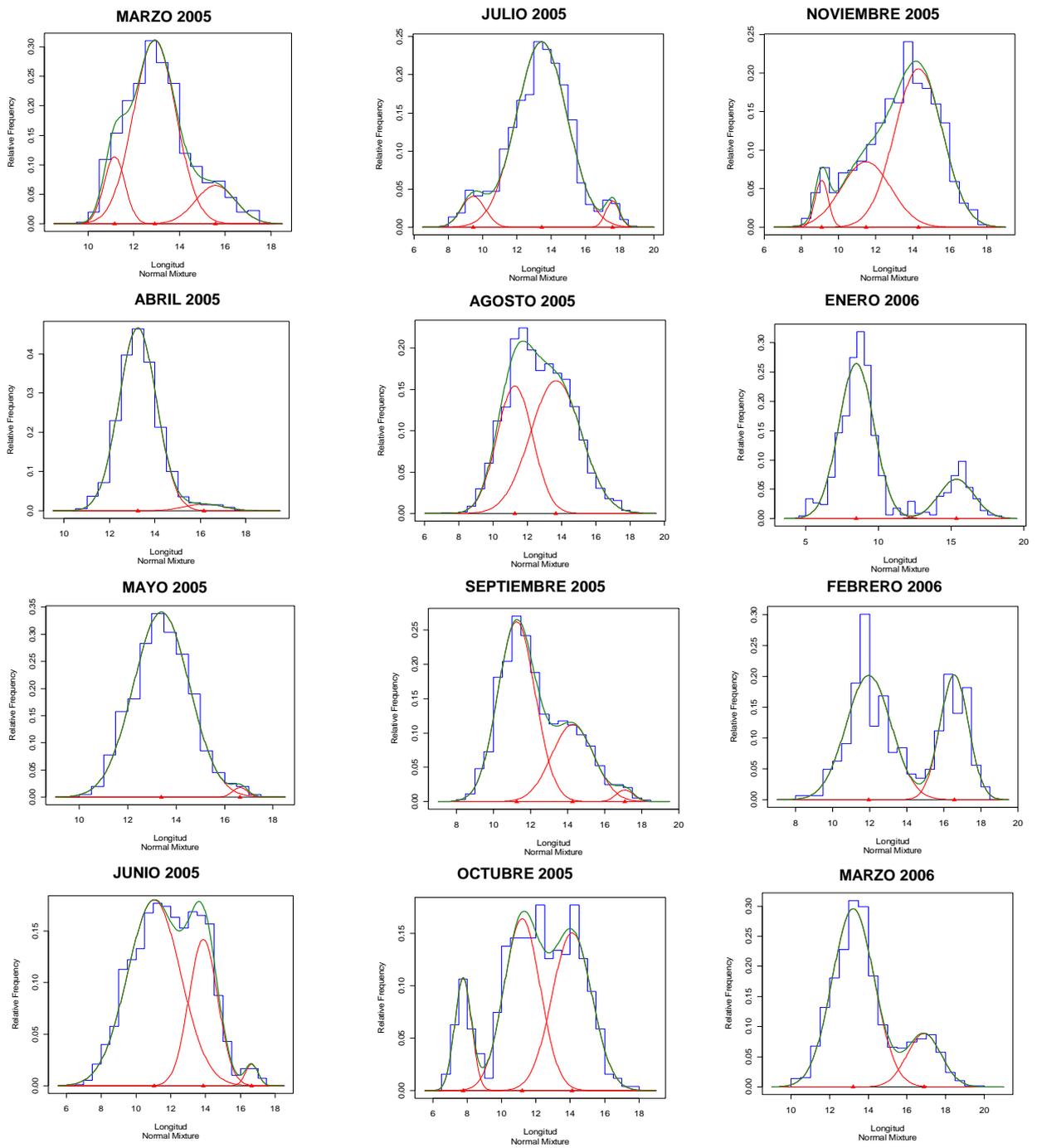


Figura 18. Descomposición de la frecuencia de tallas de anchoveta en componentes normales con MIX, VIII Región.

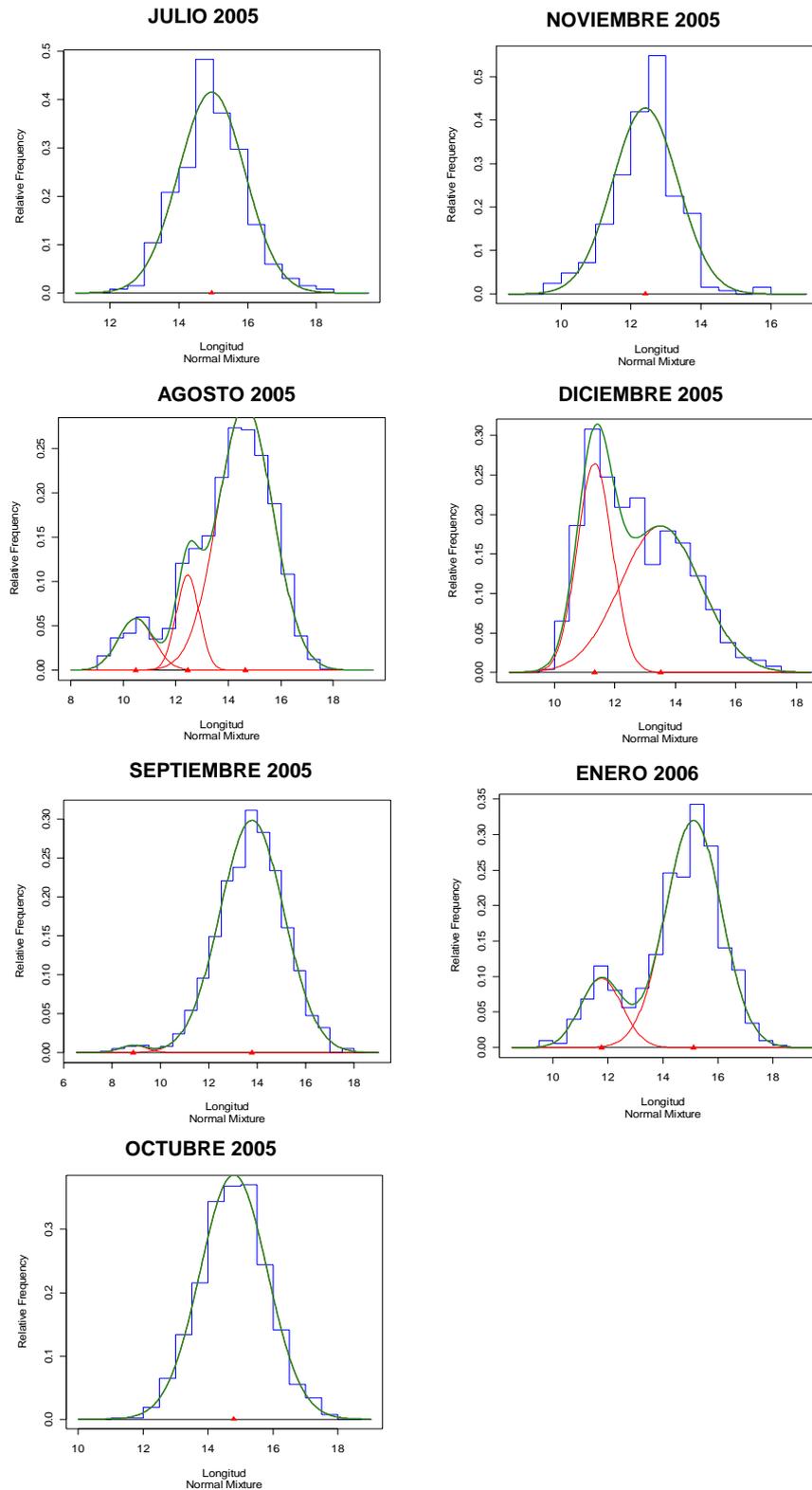


Figura 19. Descomposición de la frecuencia de tallas de anchoveta en componentes normales con MIX, X Región.

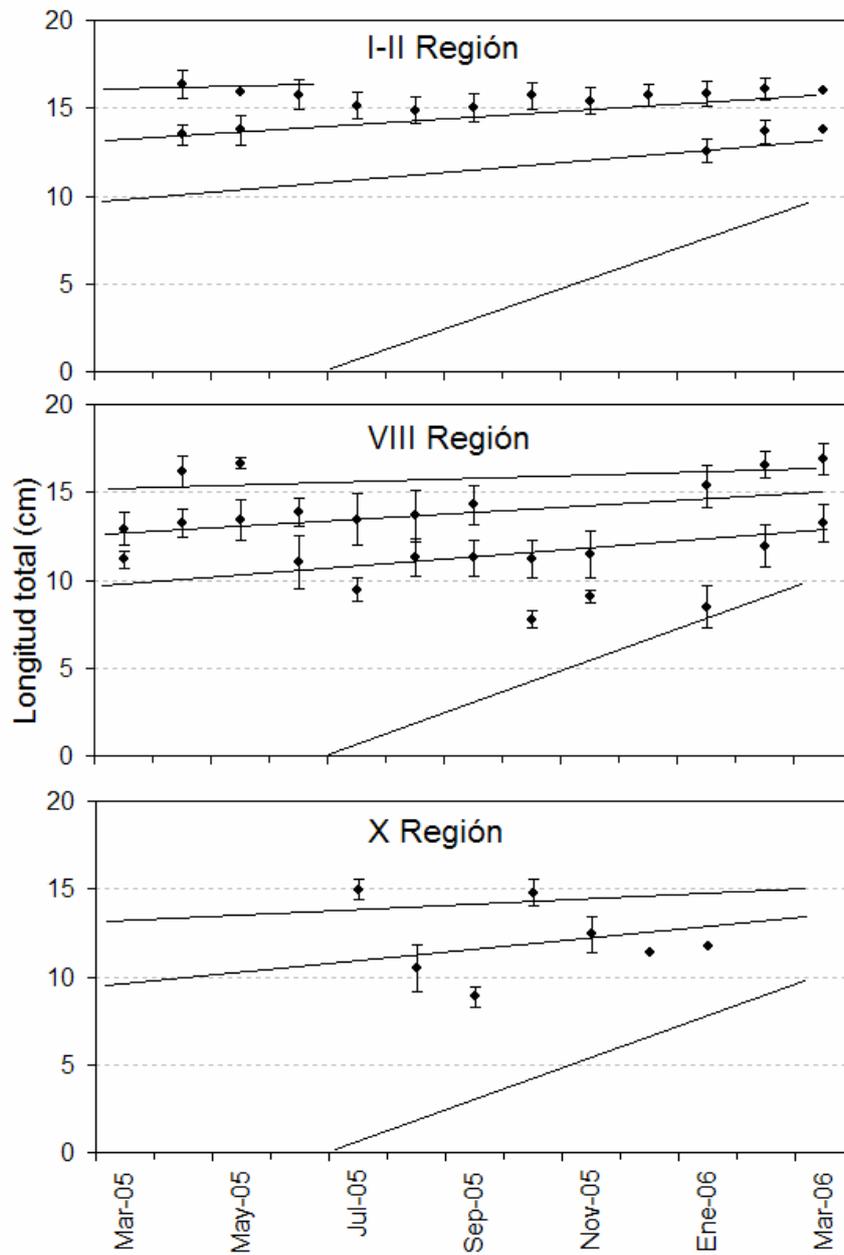


Figura 20. Longitud media ( $\pm 1$  DE) de anchoveta de los componentes normales versus el mes de muestreo: a) panel superior: zona norte, b) panel medio: VIII Región, c) panel inferior: X Región. Las líneas rectas indican la conexión entre las longitudes medias y representa la progresión modal de las cohortes dentro de un ciclo anual.

La Figura 21 resume el análisis de progresión modal en términos de la longitud promedio y la edad relativa asignada. En la VIII Región, las tallas medias identificadas por MIX para la anchoveta juvenil fueron sobreestimadas en comparación con la curva de crecimiento descrita por Cubillos *et al.* (2001), en tanto los grupos de edad más viejos se ajustan al patrón. Del análisis se desprende que solamente en los muestreos de la VIII Región se obtuvieron ejemplares del grupo de edad 0. Alrededor del año y medio se observa una estabilidad en las tallas promedio, y posteriormente un aceleramiento hasta alrededor de los 2 años y medio, lo que da cuenta de cambios estacionales en la tasa de crecimiento. Los ejemplares de la zona norte son de edades avanzadas, probablemente de 1, 2 y 3 años. En tanto, la anchoveta del área de Corral (X Región) presenta tallas más bajas a una misma edad relativa.

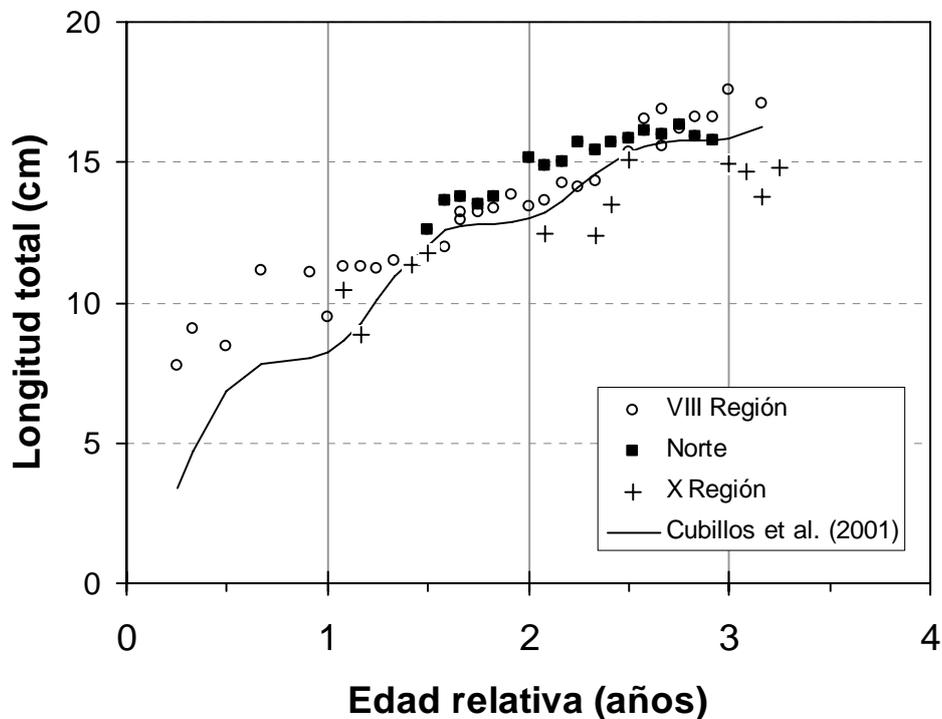


Figura 21. Longitud promedio versus la edad relativa asignada en relación con una fecha de cumpleaños arbitraria al 1° de julio en las tres zonas de estudio. Se compara con la curva de crecimiento comunicada por Cubillos *et al.* (2001).

## b) MULTIFAN

Los resultados del análisis de frecuencia de tallas de anchoveta con MULTIFAN se resumen en la Tabla 11, que ilustra la máxima log-verosimilitud para la combinación entre el número de

clases de edad y el número de parámetros estructurales que definen cada modelo de crecimiento. Los primeros cuatro modelos no incluyen el crecimiento estacional en el modelo de von Bertalanffy, observándose que los datos de frecuencia de tallas de anchoveta presentan sesgo por selección del primer grupo de edad (b1) y cambios en la desviación estándar de la longitud a la edad con la edad (Modelo 4). Al incluir la componente estacional, el Modelo 8 fue el mejor en competencia, e indica que el crecimiento estacional, los cambios en la desviación estándar y el sesgo por selección del primer grupo de edad están afectando los datos de frecuencia de tallas observados.

Tabla 11. Resumen de las pruebas de hipótesis para el ajuste de ocho modelos para anchoveta en la zona centro-sur. Se muestra dos veces el valor de la log-verosimilitud para cada modelo y el número de parámetros estimados debajo de la misma. La función de log-verosimilitud subrayados indica el mejor ajuste de cada modelo y los valores en negrita y subrayado indican el mejor modelo entre los ocho en competencia.

age- classes	MODELOS							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
2	5509,45	5517,71	5512,51	5518,10	5633,89	5644,18	5635,23	5645,28
	17	18	18	19	19	20	20	21
3	5976,22	6005,04	5976,49	6005,21	6047,17	6047,17	6048,46	6047,91
	30	31	31	32	32	33	33	34
4	<u>6047,15</u>	<u>6079,72</u>	<u>6047,88</u>	<b>6092,65</b>	<u>6125,67</u>	<u>6128,77</u>	<u>6135,49</u>	<b><u>6173,56</u></b>
	43	44	44	45	45	46	46	47

El resumen de los parámetros estimados con MULTIFAN se presenta en la Tabla 12. Los parámetros de crecimiento indican  $L_{\infty} = 18,3$  cm y  $K = 0,594$  año<sup>-1</sup> cuando no se considera el crecimiento estacional (Modelo 4), mientras que al considerar este proceso la longitud asintótica fue 19,3 cm y  $K = 0,484$  año<sup>-1</sup> (Tabla 12). Se debe tener en cuenta el sesgo por selección presente en los datos, que determina que en las muestras la longitud del primer grupo de edad en las muestras aparece mayor que en la población. El número de clases de edad presentes en los datos de frecuencia de tallas fue de 4. Los parámetros aquí estimados deben ser considerados como referenciales y dependientes de los datos disponibles.

La longitud media a la edad, sigue un patrón similar al determinado con el análisis de frecuencia de tallas con MIX (Tabla 13). Se observa también que la desviación estándar a la edad disminuye

con la edad, lo que determina en ejemplares más grandes sea más difícil detectar un grupo de edad en la estructura de tallas con MIX.

La composición por edad obtenida con MULTIFAN según la proporción de cada grupo de edad se muestra en la Tabla 14.

Tabla 12. Anchoveta zona centro-sur, parámetros estimados por MULTIFAN, con errores estándar entre paréntesis.

Parámetros		Unidad	Modelo 4	Modelo 8
Longitud asintótica	$L_{\infty}$	cm	18,3 (0,121)	19,3 (0,127)
Coficiente de crecimiento	$K$	año <sup>-1</sup>	0,594 (0,016)	0,484 (0,027)
Longitud media de la primera clase de edad en el “Mes 1”	$l_1$	cm	7,06 (0,084)	7,88 (0,178)
Longitud media de la última clase de edad en el “Mes 1”	$l_m$	cm	16,34 (0,052)	16,61 (0,034)
Amplitud del crecimiento	$C$	-	-	0,561 (0,048)
Fase del crecimiento	$T_s$	-	-	0,275 (0,010)
Edad estimada de la primera clase de edad	$t_1$	año	0,82 (0,004)	1,09 (0,017)
Desviación estándar promedio		cm	1,108 (0,019)	1,085 (0,016)
Razón DS			0,817 (0,015)	0,585 (0,013)
Sesgo por selección 1ra longitud	$b_1$		1,764 (0,072)	1,235 (0,222)
Número de clases de edad en los datos de frecuencia de tallas			4	4
log-likelihood			6092,95	6173,56
Número de clase de talla no vacíos			266	266
Número de parámetros estimados			45	47
Grados de libertad			221	219

Tabla 13. Edad relativa de los grupos de edad y longitud media en el primer mes (enero) de anchoveta en la zona centro-sur obtenidos con MULTIFAN. Desviación estándar entre paréntesis.

Edad relativa (años)	Longitud promedio (cm)	Edad relativa (años)	Longitud promedio (cm)
0,82	8,68 (1,23)	1,09	8,54 (1,42)
1,82	12,09 (1,10)	2,09	11,96 (1,08)
2,82	14,86 (1,04)	3,09	14,77 (0,92)
3,82	16,39 (1,00)	4,09	16,50 (0,83)

Tabla 14. Composición por edad obtenida con MULTIFAN.

Año	Meses	E				D				Total		
		1	2	3	4	1	2	3	4			
2005	Mar	3	676	108	18	805	0,0037	0,8398	0,1342	0,0224	1	
	Abr	3	1018	17	14	1052	0,0029	0,9677	0,0162	0,0133	1	
	May	16	741	37	3	797	0,0201	0,9297	0,0464	0,0038	1	
	Jun	1159	695	33	12	1899	0,6103	0,3660	0,0174	0,0063	1	
	Jul	397	1037	129	53	1616	0,2457	0,6417	0,0798	0,0328	1	
	Ago	2683	2709	370	21	5783	0,4639	0,4684	0,0640	0,0036	1	
	Sep	3217	1732	253	22	5224	0,6158	0,3315	0,0484	0,0042	1	
	Oct	251	925	165	4	1345	0,1866	0,6877	0,1227	0,0030	1	
	Nov	532	874	49	6	1461	0,3641	0,5982	0,0335	0,0041	1	
	Dic	372	150	3	2	527	0,7059	0,2846	0,0057	0,0038	1	
	2006	Ene	768	129	499	148	1544	0,4974	0,0835	0,3232	0,0959	1
		Feb	7	162	7	110	286	0,0245	0,5664	0,0245	0,3846	1
Mar		4	805	133	210	1152	0,0035	0,6988	0,1155	0,1823	1	
Total		9412	11653	1803	623	23491	0,4007	0,4961	0,0768	0,0265	1	

### 3.3.2.2. Integración numérica

Los modelos ajustado al radio del otolito, en el eje transversal, versus la tasa de crecimiento se presentan en las Figura 22 y Figura 23, tanto para el norte como el sur, respectivamente. Ambos ajuste presentan una curva con asimetría positiva, no alcanzando valores menores de 0,7  $\mu\text{m}$ . En otolitos de anchovetas del norte el ancho máximo medido corresponde a 4,5  $\mu\text{m}$  a los 200  $\mu\text{m}$  desde el centro y en el sur se encuentra que el ancho de los microincrementos alcanza tamaños más grandes, 6  $\mu\text{m}$  a los 400  $\mu\text{m}$  del centro del otolito. Los parámetros del modelo ajustado se entregan en la Tabla 15. Ambas curvas presentan un máximo aproximadamente en los 200  $\mu\text{m}$ . La comparación de las curvas generadas no presentan diferencias entre ellas (test de verosimilitud)(Tabla 15). Los parámetros de crecimiento obtenidos para ambos stock, mediante la integración numérica se entregan en la Tabla 17 y el ajuste en la Figura 24 y Figura 25, para el norte y sur respectivamente.

Tabla 15. Parámetros del modelo de Deriso ajustados al radio del otolito versus la tasa de crecimiento.

Parámetro	Valor	e.e.	Valor P
Norte			
A	0,0526	0,0064	0
B	0,0082	0,0012	0
C	-0,4108	0,0505	0
Sur			
A	0,0530	0,0106	0
B	0,0091	0,0025	0,0004
C	-0,5312	0,0972	0

Tabla 16. Test de razón de verosimilitud para comparar las curvas ajustadas a la relación radio otolito versus tasa de crecimiento del otolito de las anchovetas del norte y sur. Los tres primeros parámetros corresponden a la zona norte y los siguientes a la zona sur. La columna estimados corresponde a los parámetros ajustados de forma separada. La columna coincidentes es cuando se asume que las líneas son idénticas. SRC: sumatoria de residuos al cuadrado.

	Estimados	Coincidentes
a-norte	0,0526	0,0499
b-norte	0,0082	0,0078
c-norte	-0,4108	-0,4240
a-sur	0,0530	0,0499
b-sur	0,0091	0,0078
c-sur	-0,5312	-0,4240
SRC	250,6487	257,862
$\chi^2$		15,860
g.l.		3
<b>P</b>		<b>0,0012</b>

Tabla 17. Parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy estimados para la anchoveta del norte y sur mediante el método de integración numérica. EE: error estándar.

Parámetro	Valor	EE.	Valor-P	R <sup>2</sup>
Norte				
$L_{\infty}$	22,23	1,243	0	0,808
$K$	0,244	0,041	0	
$t_0$	-1,065	0,286	0,0002	
Sur				
$L_{\infty}$	21,63	1,368	0	0,835
$K$	0,433	0,078	0	
$t_0$	-0,005	0,164	0,973	

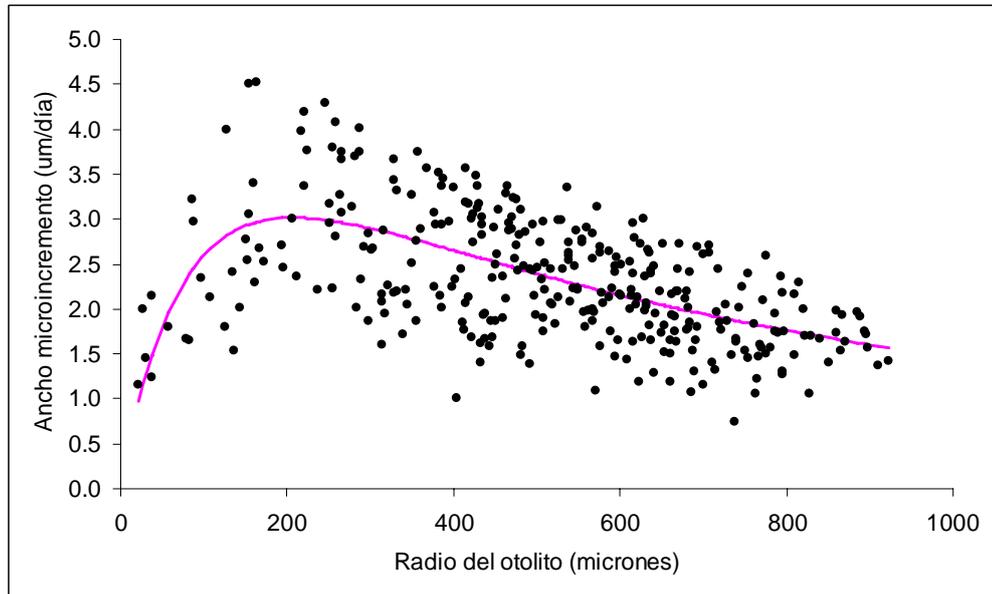


Figura 22. Tasa de crecimiento del otolito con respecto al radio (centro-dorso) de anchoveta de la zona norte.

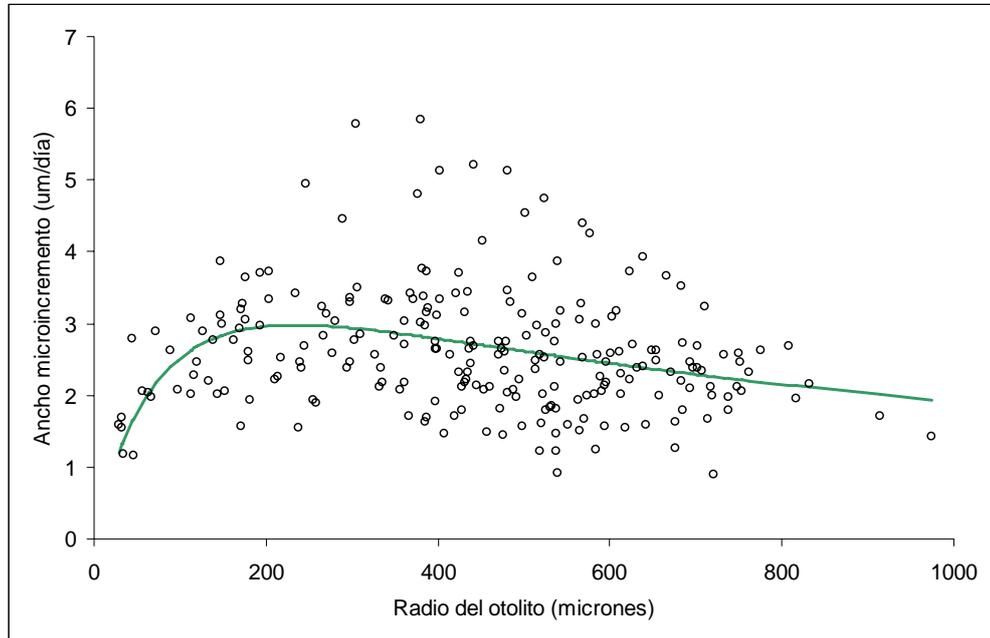


Figura 23. Tasa de crecimiento del otolito con respecto al radio (centro-dorso) de anchoveta de la zona sur.

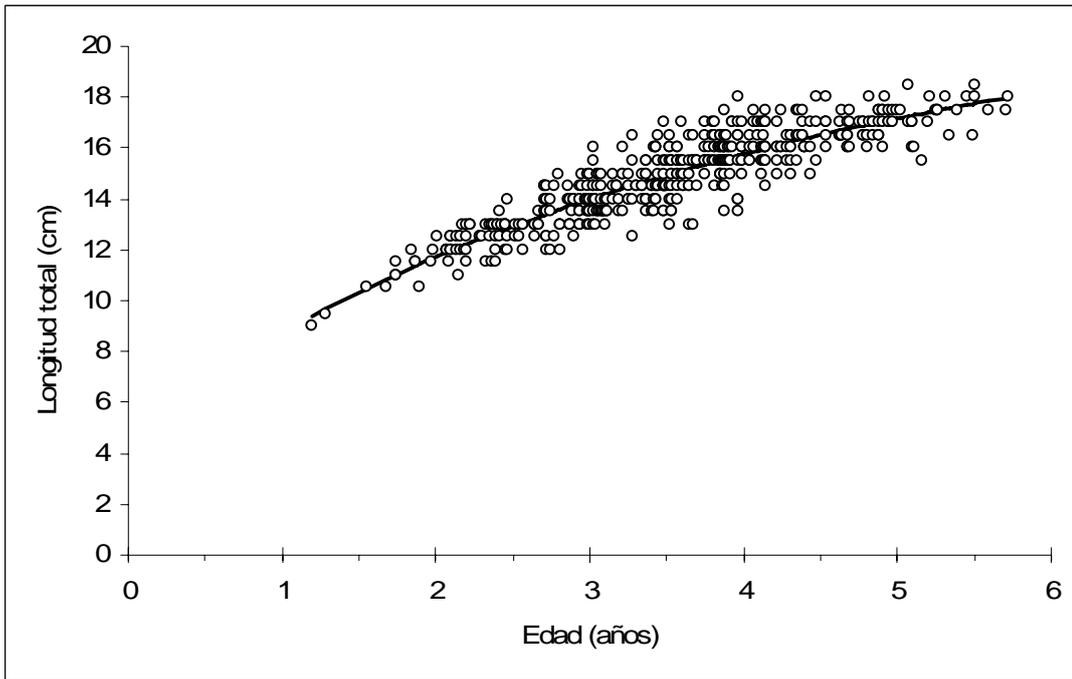


Figura 24. Curva de crecimiento para la anchoveta de la zona norte obtenida mediante el método de integración numérica.

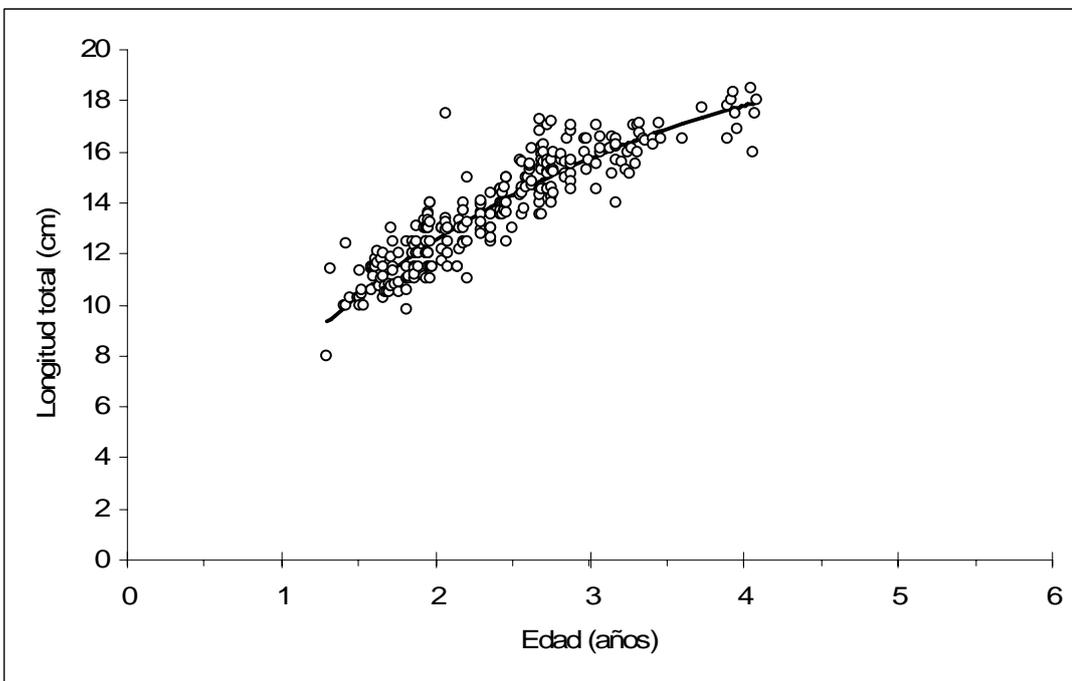


Figura 25. Curva de crecimiento para la anchoveta de la zona sur obtenida mediante el método de integración numérica.

### 3.3.2.3. Peso del otolito para estimar la edad

Los datos de peso de otolitos fueron compilados en histogramas de frecuencia mensuales para la zona norte y centro-sur de Chile, utilizando intervalos de clase de 0,25 mg. El análisis de la frecuencia de peso de otolitos se realizó con MIX para detectar componentes normales en la mezcla total. El resumen estadísticos del peso promedio del otolito, desviación estándar y proporción en la mezcla se resumen en las Tabla 18 y Tabla 19, para la anchoveta de la zona norte y centro-sur respectivamente. En la zona norte, sólo dos componentes normales fueron identificados en los datos de frecuencia, a excepción de diciembre de 2005. En el caso de la anchoveta de la zona centro-sur, hubo una mayor cantidad de meses en los que 3 componentes normales pudieron ser identificados en la mezcla (Figura 26 y Figura 27).

Tabla 18. Resumen del análisis con MIX para los datos de frecuencia de peso del otolito de anchoveta, Zona Norte. P: proporción de la participación de la distribución.

AÑO	MES	K	Media	Sigma	P
2005	Abril	1	1,929	0,2672	0,483
		2	3,323	0,4294	0,517
	Mayo	1	2,040	0,2732	0,4801
		2	3,252	0,4585	0,5199
	Junio	1	1,903	0,3595	0,2728
		2	3,398	0,3961	0,7272
	Julio	1	2,527	0,4373	0,8671
		2	3,682	0,5313	0,1329
	Agosto	1	2,503	0,3107	0,7878
		2	3,394	0,3107	0,2122
	Septiembre	1	2,428	0,3406	0,7051
		2	3,407	0,3406	0,2949
Octubre	1	2,500	0,2589	0,3462	
	2	3,462	0,5175	0,6538	
Noviembre	1	2,667	0,4053	0,6114	
	2	3,733	0,4786	0,3886	
Diciembre	1	1,701	0,3784	0,179	
	2	2,784	0,3784	0,5529	
	3	3,635	0,3784	0,2681	
2006	Enero	1	1,240	0,2638	0,3541
		2	2,578	0,2638	0,3248
		3	3,198	0,2638	0,3211
	Febrero	1	1,588	0,3093	0,5059
		2	2,790	0,3093	0,3618
		3	3,736	0,3093	0,1322
	Marzo	1	1,600	0,2804	0,5356
		2	2,863	0,2804	0,38979
		3	3,909	0,2804	0,07461

Tabla 19. Resumen del análisis con MIX para los datos de frecuencia de peso del otolito de anchoveta, Zona centro-sur. P: proporción de la participación de la distribución.

AÑO	MES	k	Media	Sigma	P	
2005	Marzo	1	1,62	0,214	0,80893	
		2	2,48	0,214	0,12638	
		3	3,152	0,214	0,06469	
	Abril	1	1,753	0,2243	0,91318	
		2	2,49	0,2243	0,05109	
		3	3,31	0,2243	0,03573	
	Mayo	1	1,953	0,2913	0,97003	
		2	3,252	0,2913	0,02997	
	Junio	1	1,958	0,3799	0,95782	
		2	3,248	0,3548	0,04218	
	Julio	1	2,187	0,3236	0,7832	
		2	3,088	0,4207	0,2168	
	Agosto	1	2,155	0,3367	0,97084	
		2	3,499	0,3367	0,02916	
	Septiembre	1	2,146	0,3091	0,8684	
		2	3,133	0,423	0,1316	
	Octubre	1	1,845	0,3238	0,4551	
		2	2,67	0,5333	0,5449	
	Noviembre	1	2,266	0,3889	0,97322	
		2	3,574	0,1907	0,02678	
	Diciembre	1	1,813	0,3827	0,90518	
		2	2,854	0,3827	0,09482	
	2006	Enero	1	0,4523	0,09744	0,49745
			2	2,2938	0,49717	0,4745
3			3,4337	0,36462	0,02805	
Febrero		1	1,111	0,2409	0,6311	
		2	2,479	0,389	0,3689	
Marzo		1	1,542	0,2678	0,5286	
		2	2,474	0,4557	0,45726	
		3	3,672	0,2818	0,01414	

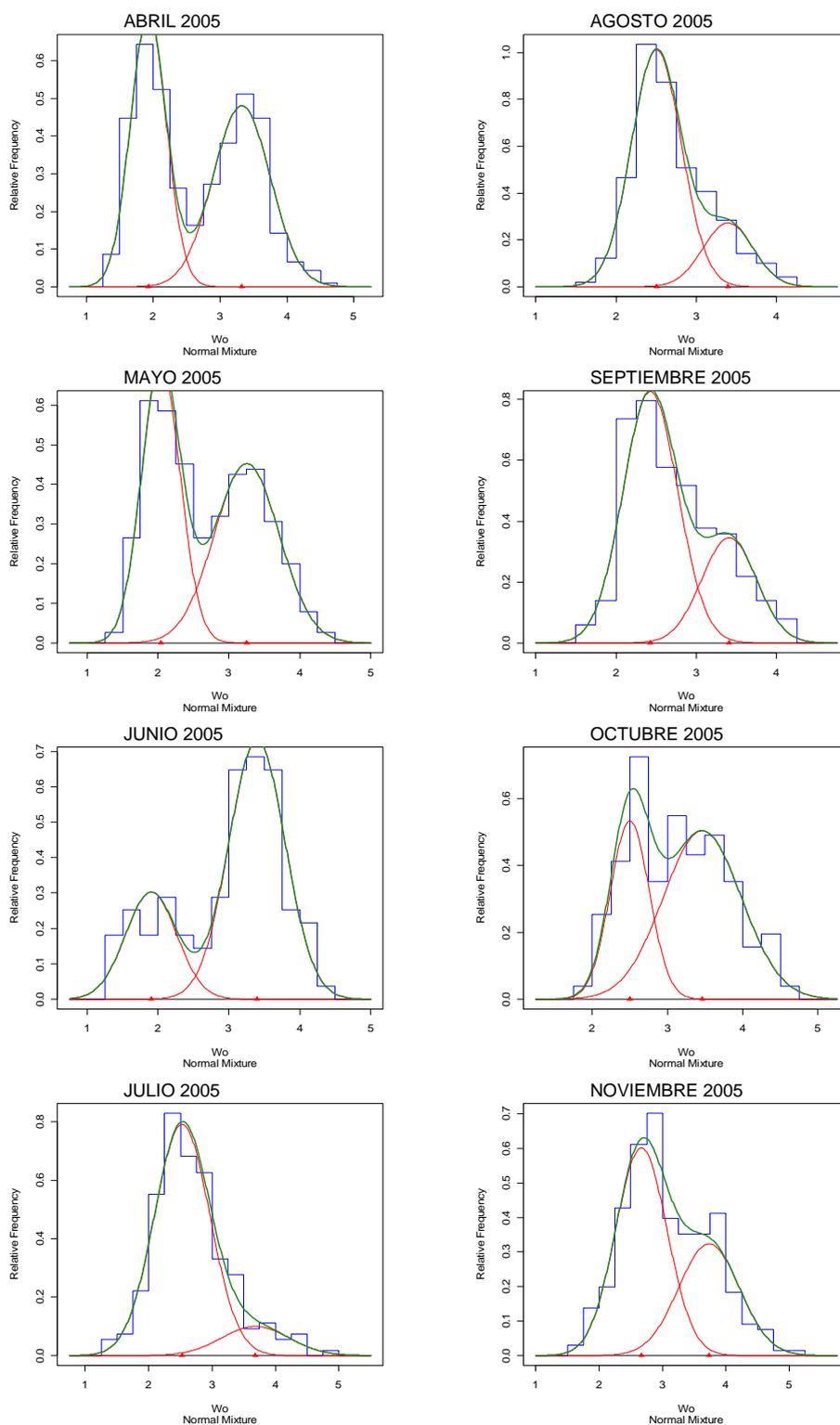


Figura 26. Ejemplo de la descomposición de la frecuencia del peso del otolito de anchoveta en componentes normales con MIX, Zona Norte.

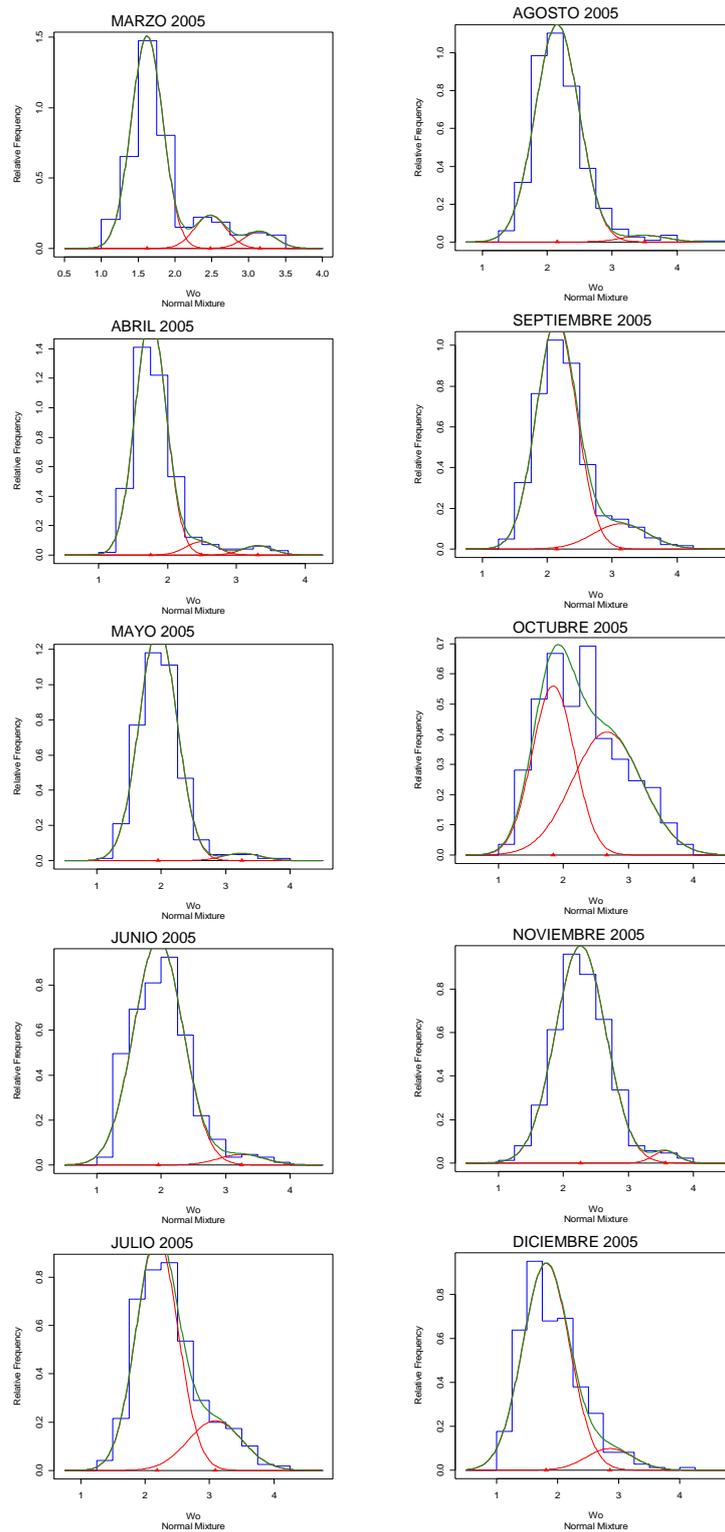


Figura 27. Ejemplo de la descomposición de la frecuencia del peso del otolito de anchoveta en componentes normales con MIX, Zona Centro-Sur.

El análisis de progresión modal (Figura 28) revela que el peso promedio del otolito progresa en el tiempo con una tasa aproximadamente constante. En la zona norte, a lo menos tres grupos de cohortes pueden identificarse mientras que en la zona sur se observa a lo menos 4 cohortes.

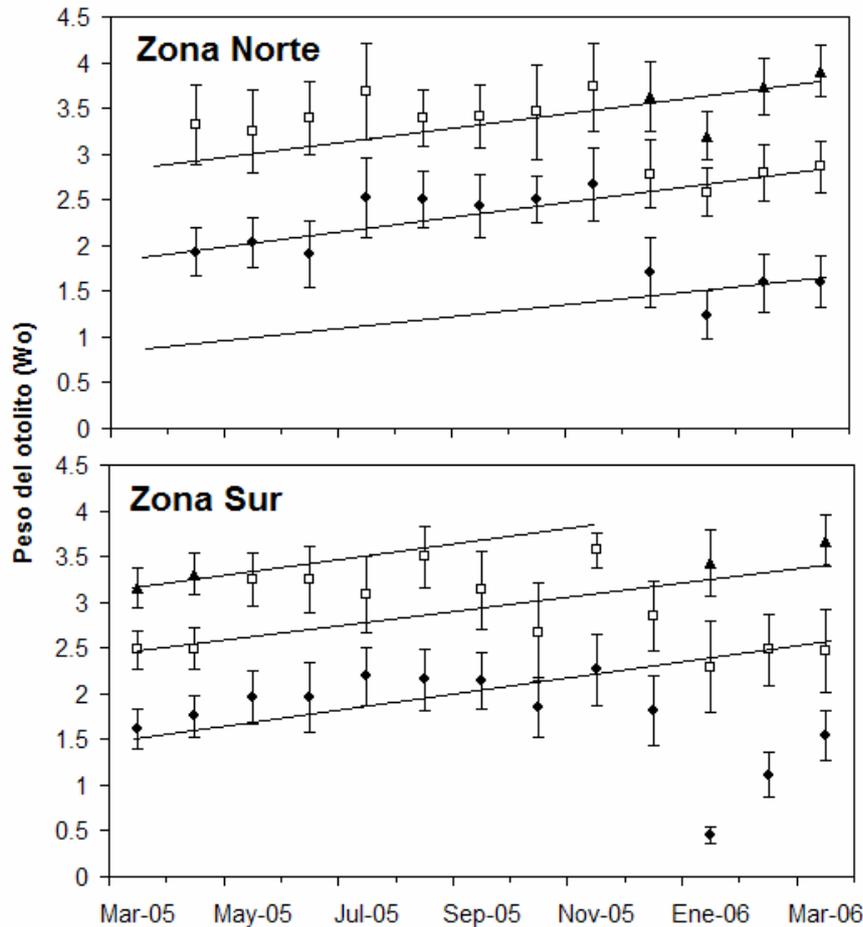


Figura 28. Progresión del peso promedio del otolito de anchoveta en el tiempo, zona norte y centro-sur de Chile.

Con el objeto poner a prueba la hipótesis que la tasa de crecimiento en peso del otolito es constante entre cohortes, se ajustaron líneas rectas al peso promedio del otolito de las cohortes identificadas en un ciclo anual. Se observó que las dos cohortes identificadas en la zona norte presentan una progresión lineal, con una tasa de crecimiento (pendiente de la recta) que fluctuó entre 0,089 y 0,131 mg por mes (Figura 29). En la zona sur, las tres cohortes completas en un ciclo anual revelan también rectas paralelas con similar tasa de crecimiento (Figura 29). Esta evidencia, permite a su vez asignar una edad relativa a los grupos modales identificados. En esta oportunidad, las edades relativas están referidas al 1° de enero y se asignaron cronológicamente en función del tiempo (mes y año), utilizando la expresión utilizada por Pino *et al.* (2004).

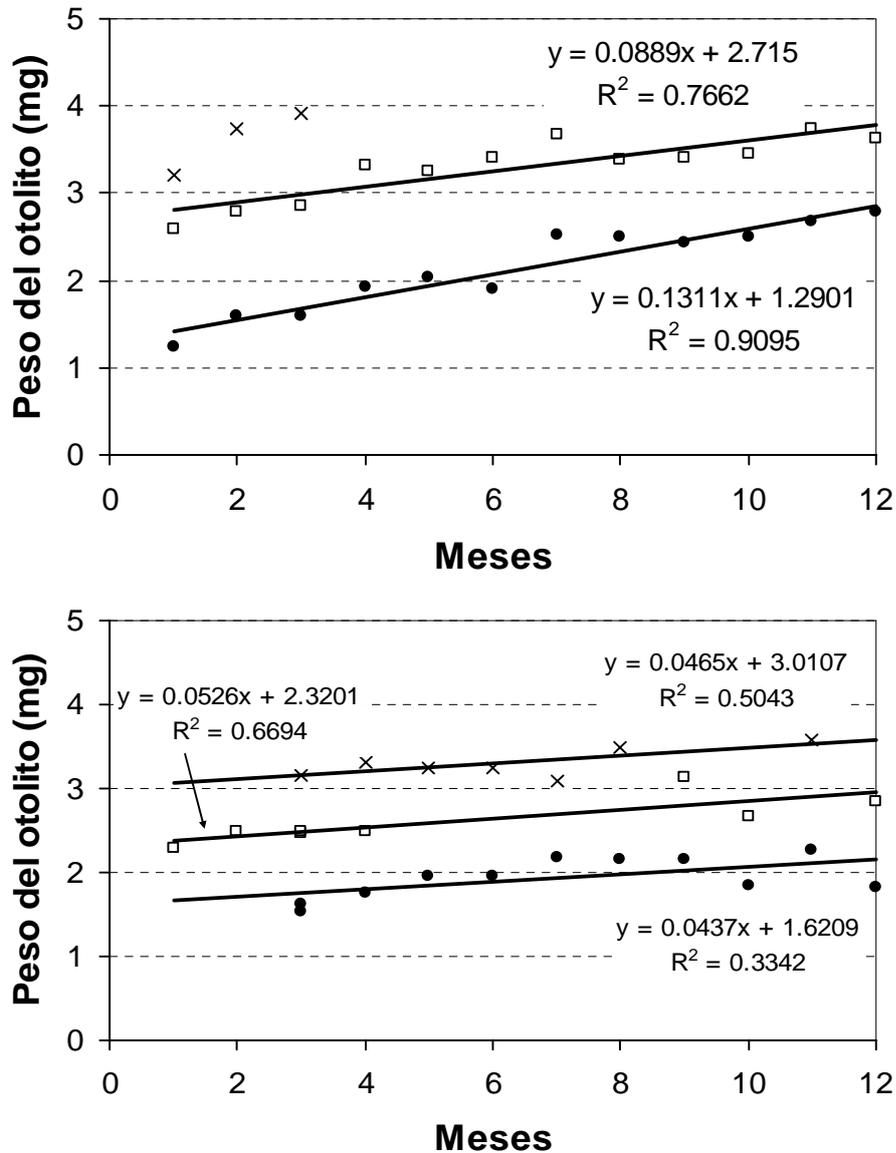


Figura 29. Progresión del peso promedio del otolito de anchoveta en un ciclo anual en la zona norte (arriba) y centro-sur (abajo)

Existen diferencias significativas entre las cohortes identificadas, entre zonas, y con el índice de tiempo (edad asignada). El análisis de covarianza indica que no existen diferencias entre cohortes en el tiempo (pendientes iguales) para una misma zona, pero las pendientes son diferentes entre zonas (Tabla 20).

Tabla 20. Análisis de varianza donde la variable respuesta es el peso del otolito.

Co-variable	g.l.	Suma Cuadrado	Cuadrado Medio	F	Pr(>F)
Cohorte	2	16,8171	8,4085	274,92	< 2,2e-16 ***
Zona	1	2,0989	2,0989	68,62	2,71e-10 ***
Tindice	1	3,7765	3,7765	123,47	6,08e-14 ***
Cohorte*Zona	2	0,4872	0,2436	7,96	0,00119 **
Cohorte*Tindice	2	0,0878	0,0439	1,43	0,24984
Zona*Tindice	1	0,5243	0,5243	17,14	0,00016***
Cohorte*Zona*Tindice	2	0,1976	0,0988	3,23	0,04980*
Residuales	41	1,2540	0,0306		

Signif.: 0 \*\*\*; 0.001 \*\* ; 0.01\*

La relación entre la edad asignada y el peso promedio de los otolitos de las cohortes se ilustra en la Figura 30 para la zona norte y centro-sur. Se observa que la tasa de crecimiento en peso del otolito (pendiente de la recta) es mayor en la zona norte (1,079 mg por mes) que en la zona sur (0,698 mg por mes).

A partir de las rectas de calibración deducidas indirectamente a partir de la progresión modal del peso del otolito, se procedió a estimar la edad a los datos individuales del peso del otolito como variable independiente. La longitud del pez en función de la edad estimada con el peso del otolito se muestra en la Figura 31, observándose que los datos siguen un modelo de crecimiento del tipo von Bertalanffy. En la zona sur, aparece el grupo de edad 0 ya que en dicha zona se pudo muestrear individuos juveniles. A su vez, en la zona sur se estimó edades mayores que en la zona norte.

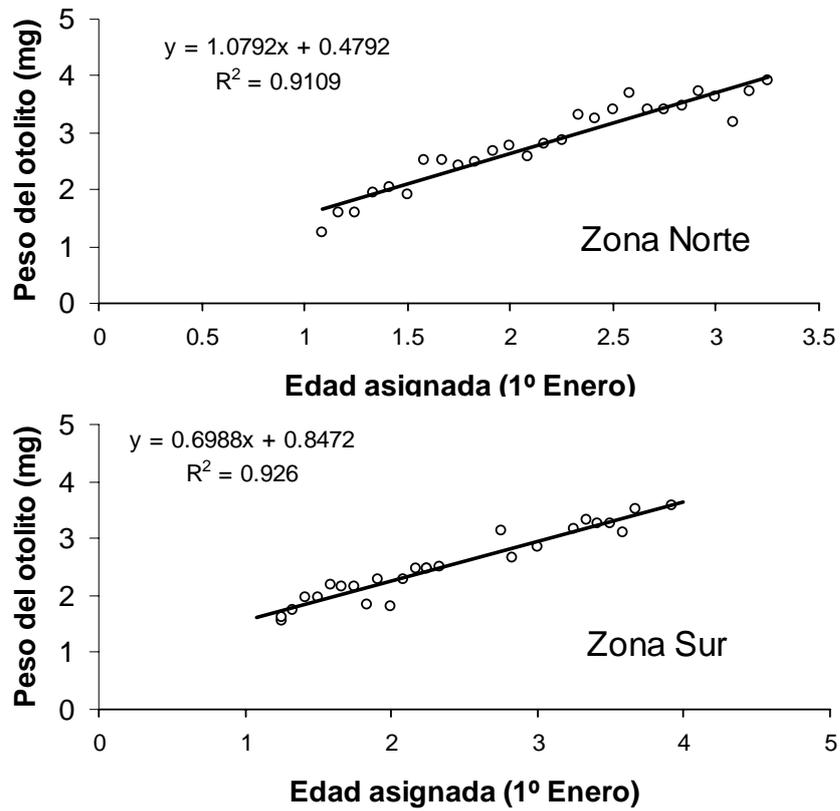


Figura 30. Relación entre el peso promedio del otolito y la edad asignada relativa al 1º de enero.

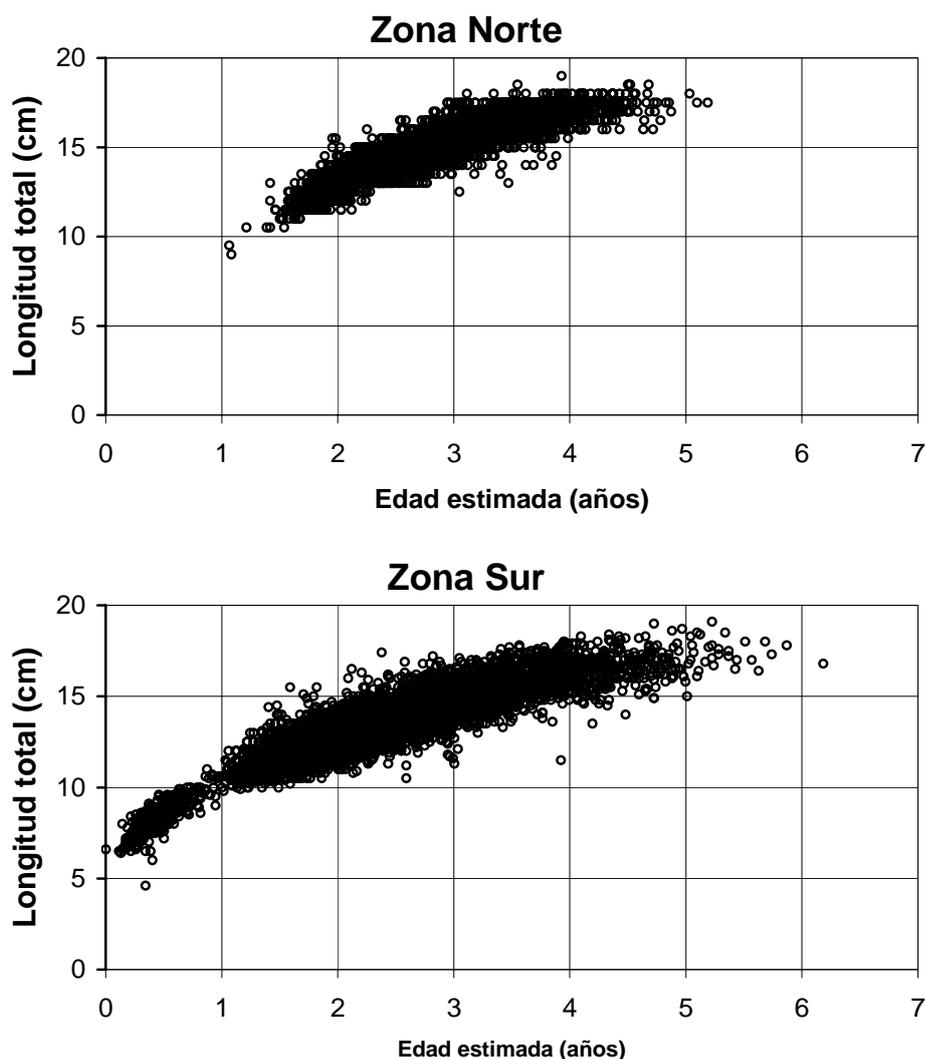


Figura 31. Relación entre la talla y la edad estimada a partir del peso del otolito en anchoveta.

#### 3.3.2.4. Microincrementos diarios entre *annuli*

En las fotografías de las preparaciones de los otolitos, tanto del norte como del sur, es posible distinguir los microincrementos a lo largo de todo su eje (Figura 32), así como también distintas zonas en cuanto a su apariencia (Figura 33). Estas se caracterizan por: Zona I: microincrementos que rodean el centro, de tamaño variable. Zona II: microincrementos mucho más anchos y con un claro patrón de formación. Zona III: zona que en algunas casos se presenta difusa con clara

disminución de los microincrementos. Zona IV: microincrementos que van decreciendo siendo posible observarlo con microscopía óptica y a su vez comienzan a ser mas regulares.

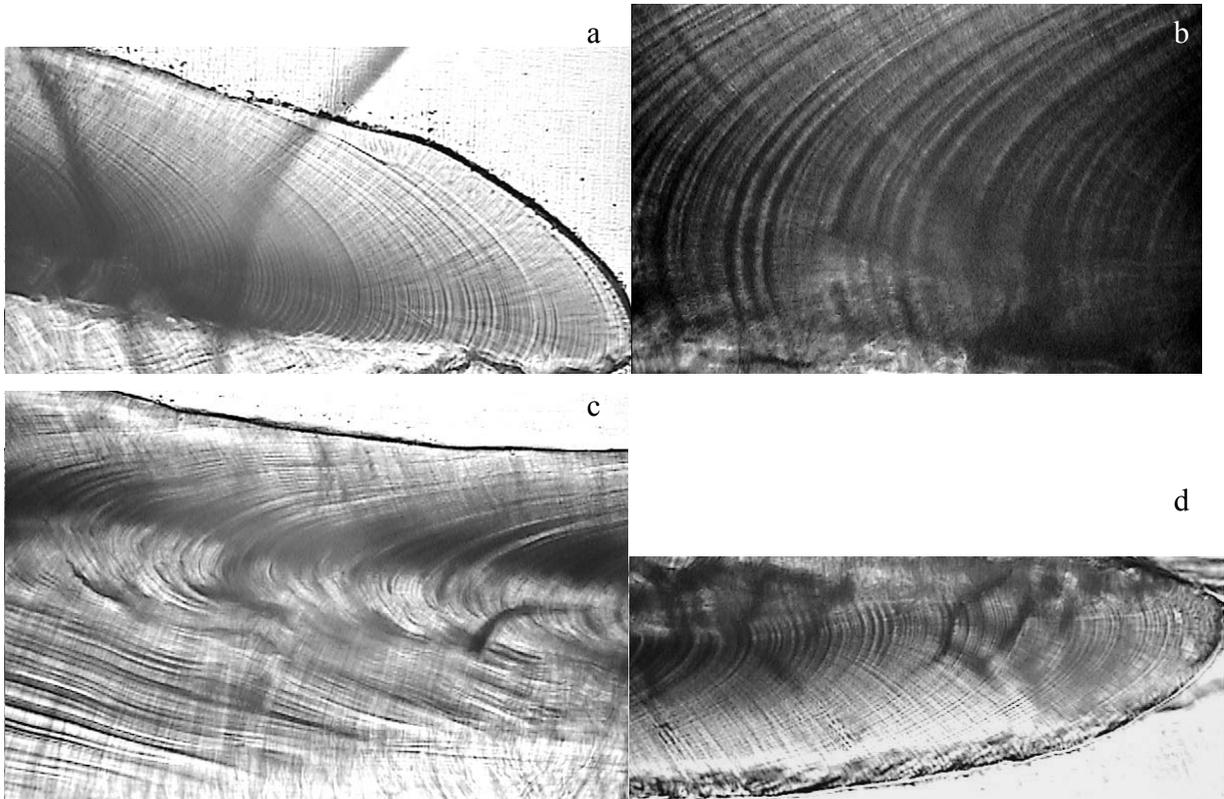


Figura 32. Fotografías de otolitos de anchoveta tomadas en microscopio óptico para la observación de microincrementos. (a), (c) y (d) aumento 40X. (b) aumento 100X.

Las lecturas de los microincrementos desde el centro muestran que los *annuli* se forman a las siguientes distancias en el norte 612,6; 814,8; 885,3 y 908,8  $\mu\text{m}$  y en el sur a los 607,3; 761,1; 823,6 y 917,5  $\mu\text{m}$ . Los cuales tienen una equivalencia en el eje longitudinal que se muestra en el punto 3.4.1.

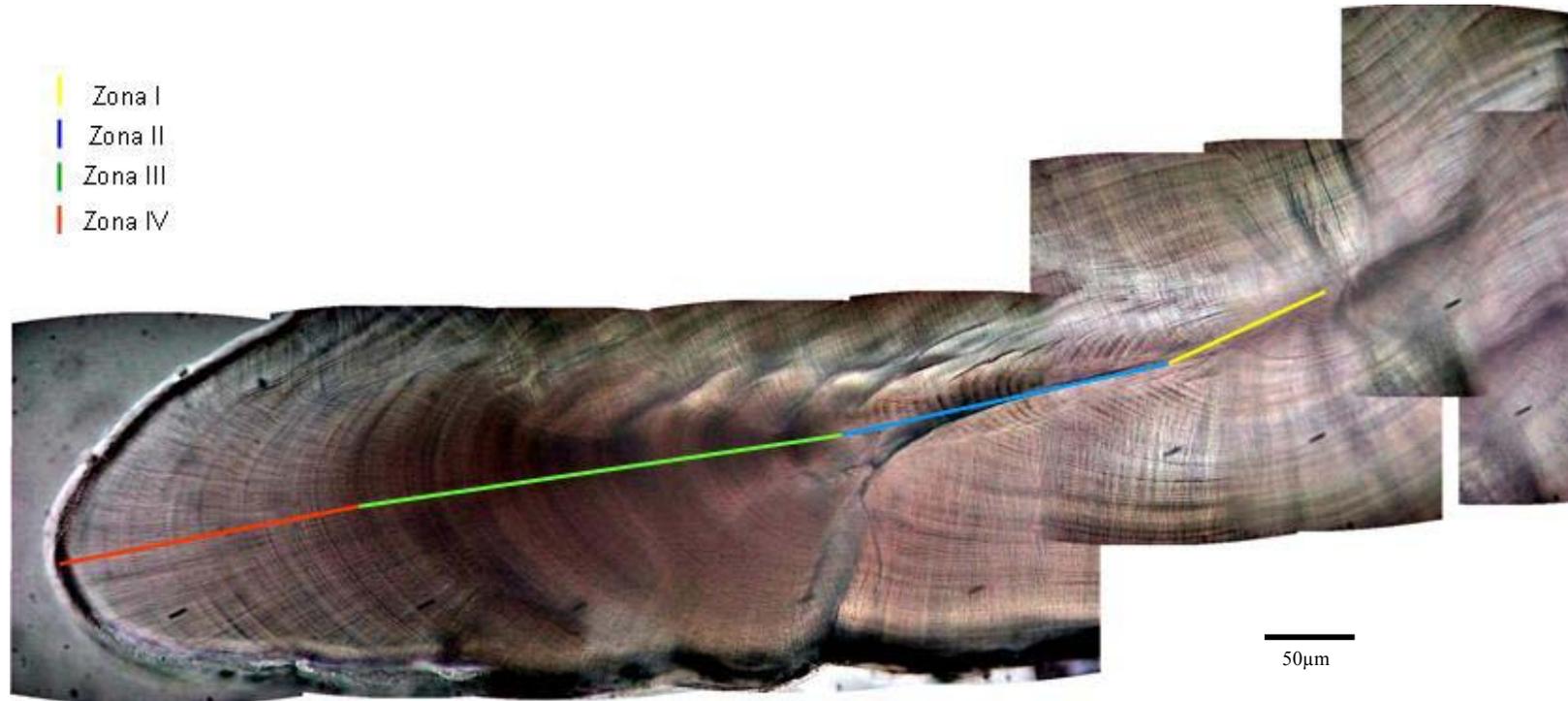


Figura 33. Fotografía tomada en el microscopio óptico (40X) de una sección transversal de un otolito de anchoveta para mostrar las diferentes zonas en relación al aspecto de los microincrementos.

### 3.3.3. Experimento en Cautiverio

Los experimentos en cautiverio se realizaron satisfactoriamente en ambas zonas. La observación de otolitos (Figura 34) de ejemplares marcados con las inyecciones de antibióticos indica que la dosis utilizada fue la adecuada, pero el tamaño de los microincrementos no permitió detectarlos con microscopía óptica.

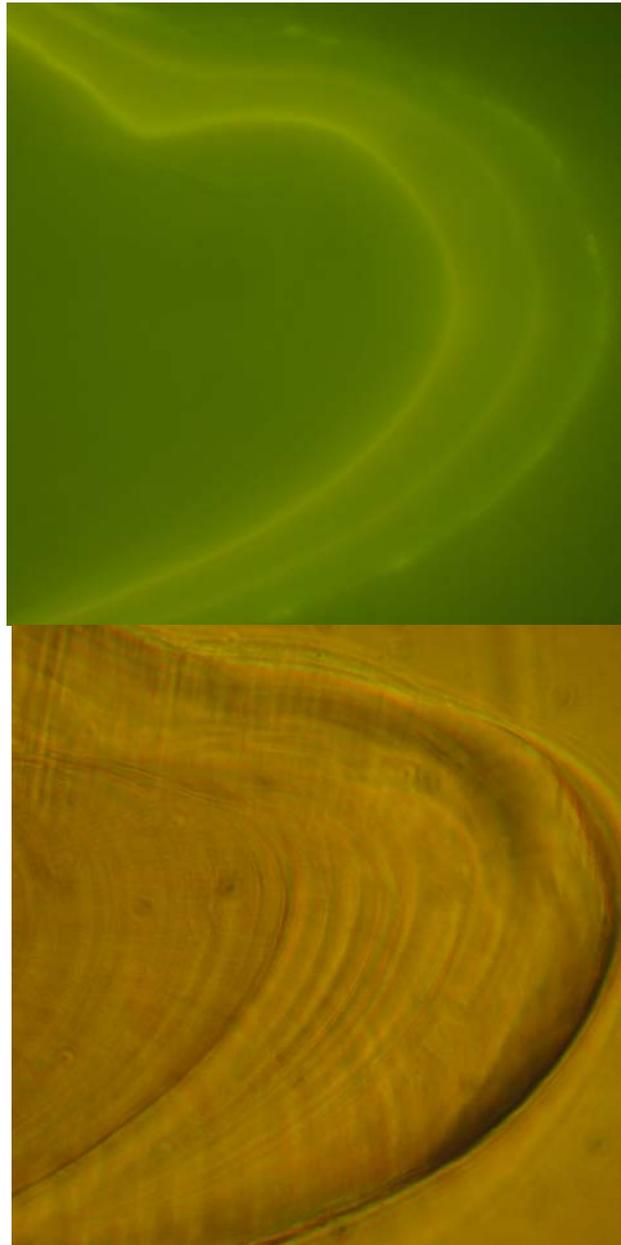


Figura 34. Otolitos procedentes de ejemplares de cautiverio donde se observan las marcas dejadas por el antibiótico. (a) iluminado con luz ultravioleta; (b) iluminado con luz transmitida normal. Ambas tomadas con aumento 40X.

### 3.4. RESULTADOS OBJETIVO ESPECIFICO (3.3.)

#### 3.4.1. Lectura de Marcas

Las distribuciones de frecuencia de los anillos translúcidos se presenta en la (Figura 35) tanto para la zona norte como sur. En la zona norte se encuentran hasta 8 anillos translúcidos los cuales no todos corresponden a *annuli*. De acuerdo a las lectura de los microincrementos y realizando la equivalencia en el eje longitudinal los anillos que corresponden a la formación de *annuli* son: 1,5; 1,9; 2,2 y 2,3 mm aproximadamente. En la zona sur también se encuentran hasta 8 anillos translúcidos y los que corresponden a la formación de *annuli* son 1,4; 1,6; 1,8; 2,1 y 2,3 mm aproximadamente.

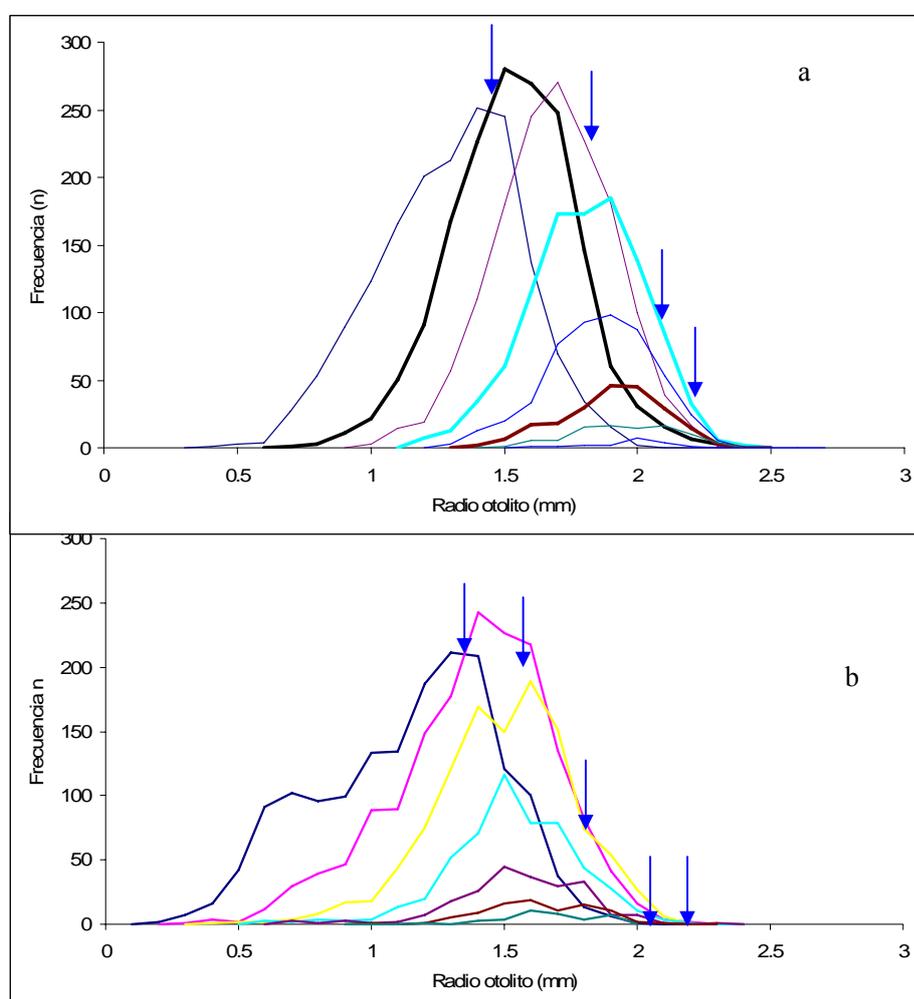


Figura 35. Distribución de frecuencia de los anillos translúcidos en los otolitos. a) zona norte; b) zona sur.

De acuerdo a los resultados anteriores el primer anillo translúcido que aparece a los 1,2 mm en otolitos de anchoveta del norte, corresponde a un anillo que se forma a los 250 días y para la zona sur aparece a los 0,7 mm y otro a los 1,15mm, que también son anillos translúcidos que no conforman un *annulus*.

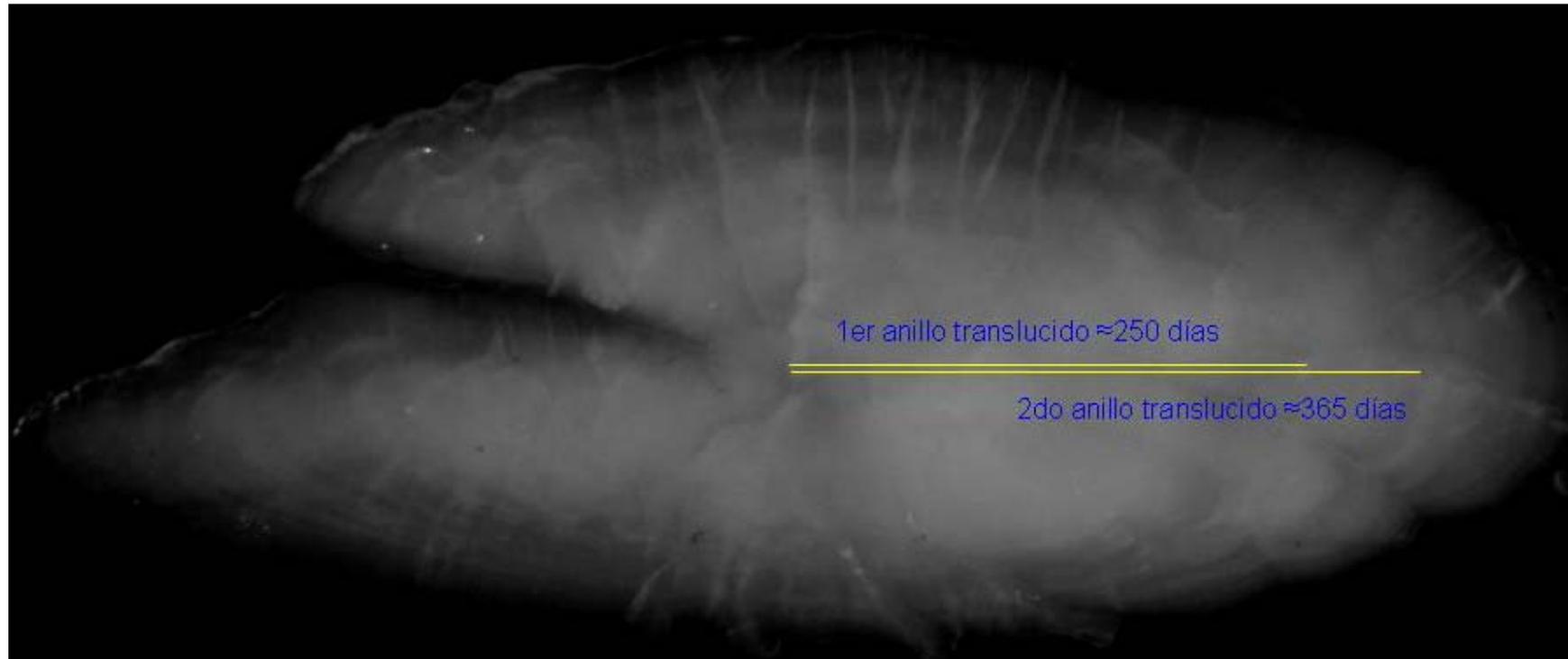


Figura 36. Fotografía de otolito entero para mostrar que el primer anillos translúcido se forma aproximadamente a los 250 días.

### 3.4.2. Relaciones Morfométricas de los Otolitos

Los otolitos de anchovetas son pequeños, alcanzando un promedio de 2,4% en el norte y 2,3% en relación a la longitud corporal, un análisis de regresión (Figura 37) nos indica que en general los otolitos no mantienen una proporcionalidad en la medida que el pez crece, las pendientes en ambos casos son significativamente distinto de cero ( $P < 0,0001$ ), y los otolitos de las anchovetas del norte tienden a disminuir menos en su proporcionalidad con respecto a las del sur.

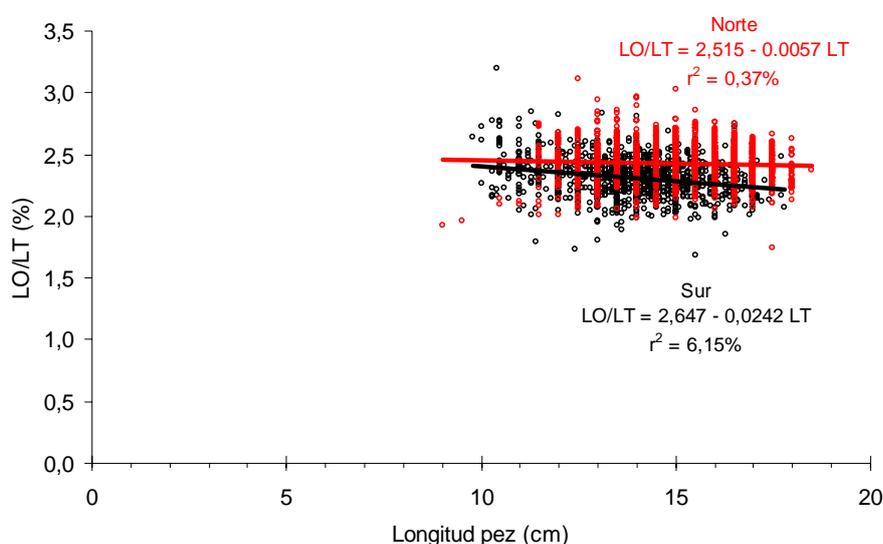


Figura 37. Relación entre la longitud del pez y la razón longitud otolito (LO)-longitud pez (LT) para la anchoveta del norte (rojo) y del sur (negro).

Al relacionar la longitud del pez con el tamaño del otolito (Figura 38) se aprecia que en la medida que el pez crece los otolitos tienden a ser más grande en el norte que en el sur a una misma talla. Las pendientes (Tabla 21) son significativamente distintas ( $P < 0,0001$ ).

Tabla 21. Parámetros de la relación longitud pez y longitud otolito de anchoveta del norte y sur. E.E.: error estándar; P: valor P

Zona		Valores	E.E.	P
Norte	Intercepto	0,1738	0,0587	0,00314
	Pendiente	0,2312	0,0039	0
Sur	Intercepto	0,4248	0,0465	1,98E-19
	Pendiente	0,2001	0,0033	0

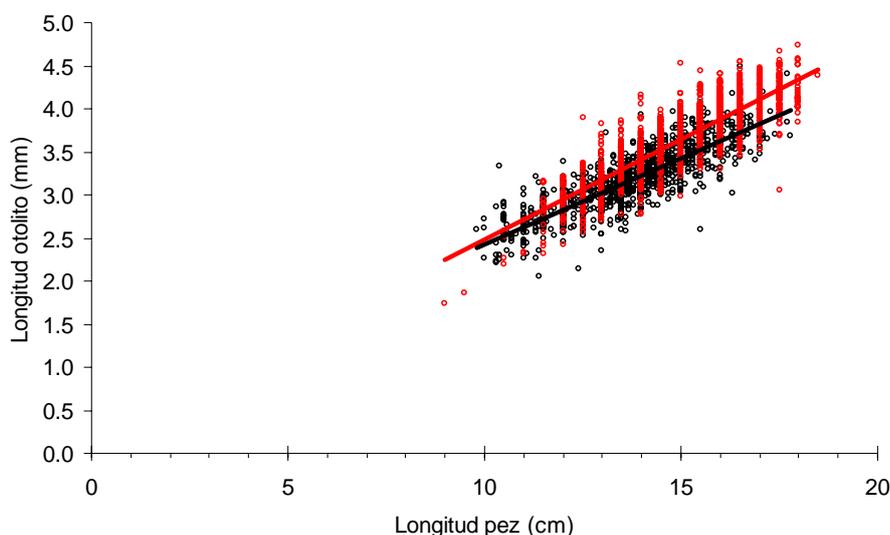


Figura 38. Relación entre la longitud del pez y la longitud del otolito para anchovetas del norte (rojo) y sur (negro).

A la relación peso otolito-longitud pez se ajustó el modelo de von Bertalanffy (bajo el supuesto que el peso del otolito está directamente relacionado con la edad (ver 3.3.3.4), por lo que es posible tener una estimación de la longitud infinita, y en los cuales las unidades de los parámetros  $K$  y  $t_0$ , son  $\text{mg}^{-1}$  y  $\text{mg}$  (Tabla 22), respectivamente. La comparación de las curvas mediante el test de razón de verosimilitud nos indica que existen diferencias significativas en ellas y esta diferencia está dada en los tres parámetros (Tabla 23).

Tabla 22. Parámetros del ajuste peso otolito con la longitud del pez, el modelo ajustado corresponde al de von Bertalanffy. E.E. error estándar.

Zona	Parámetros	Valor	E.E.	valor P
Norte	$L_{\infty}$ (cm)	19,861	0,377	0
	$K$ ( $\text{mg}^{-1}$ )	0,412	0,032	0
	$t_0$ (mg)	-0,986	0,121	0
Sur	$L_{\infty}$ (cm)	18,486	0,396	0
	$K$ ( $\text{mg}^{-1}$ )	0,547	0,049	0
	$t_0$ (mg)	-0,646	0,109	0

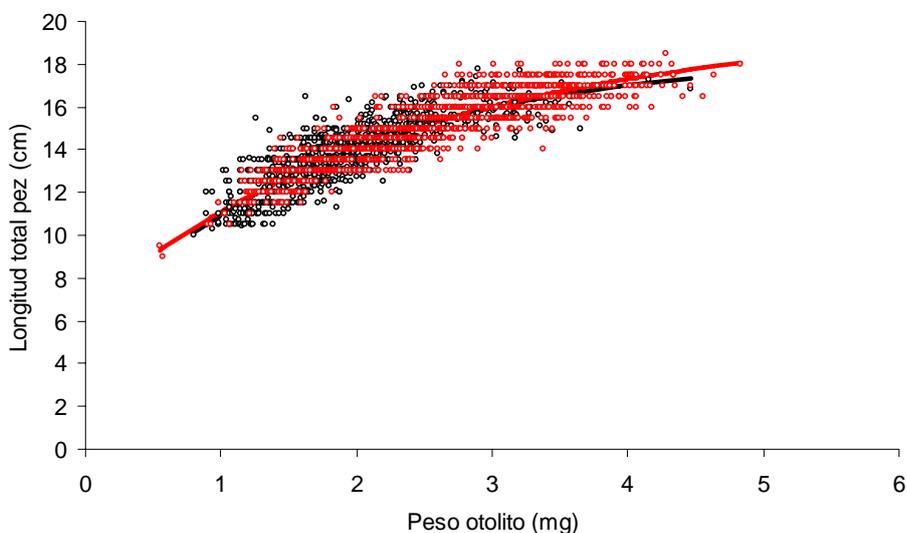


Figura 39. Relación peso otolito-longitud pez para la zona norte (rojo) y sur (negro).

Tabla 23. Test de razón de verosimilitud para comparar las curvas ajustadas a la relación peso otolito-longitud pez entre las anchovetas del norte y sur. Los tres primeros parámetros corresponden a la zona sur y los siguientes a la zona norte. La columna estimados corresponde a los parámetros ajustados de forma separada. La columna coincidentes es cuando se asume que las líneas son idénticas, y las siguientes columnas cuando se asume la igualdad de los parámetros. SRC: sumatoria de residuos al cuadrado

	Estimados	Coincidentes	$L_{\infty}$	K	$t_0$
$L_{\infty}$ -S	18,486	19,384	19,419	19,330	19,106
K-S	0,547	0,453	0,452	0,457	0,476
$t_0$ -S	-0,646	-0,870	-0,870	-0,865	-0,824
$L_{\infty}$ -N	19,861	19,384	19,419	19,385	19,413
K-N	0,412	0,453	0,452	0,457	0,456
$t_0$ -N	-0,986	-0,870	-0,851	-0,828	-0,824
SRC	1415,724	1420,247	1418,932	1418,825	1418,128
$\chi^2$		8,523	6,048	5,847	4,534
g.l.		3	1	1	1
P		0,0364	0,0139	0,0156	0,0332

### 3.4.3. Relación Longitud -Peso

Los parámetros de la relación longitud-peso de los ejemplares provenientes del monitoreo se resumen en la Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26 y gráficamente se presentan en la Figura 40, Figura 41 y Figura 42 para la zona norte, zona centro y zona sur, respectivamente.

Tabla 24. Parámetros relación longitud peso zona norte.

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
$\alpha$	0,0055	0,0055	0,0115	0,0080	0,0042	0,0113	0,0149	0,0195	0,0170	0,0243	0,0042	0,0138
$\beta$	3,0692	3,0632	2,7937	2,9193	3,1391	2,7726	2,7007	2,6004	2,6520	2,5372	3,1577	2,7137
$r^2$	0,9235	0,9381	0,8487	0,9291	0,9008	0,8610	0,8278	0,9092	0,8575	0,9157	0,9267	0,9143

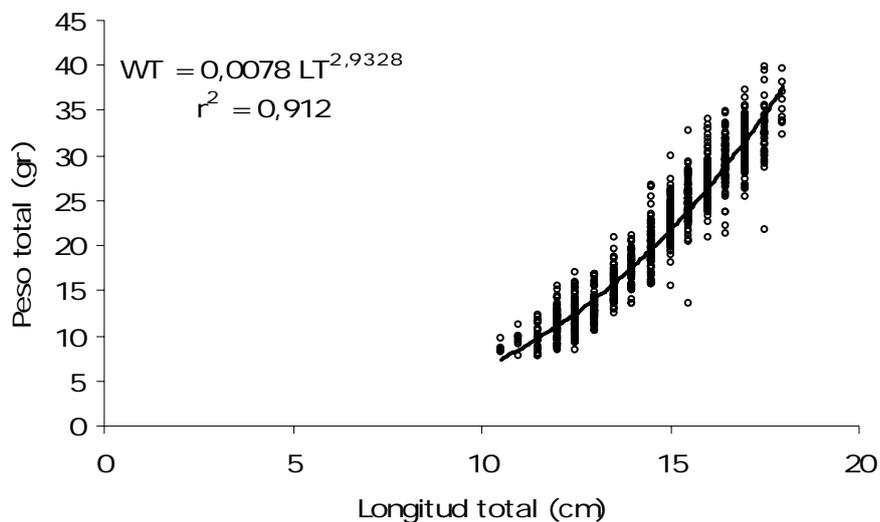


Figura 40. Relación longitud-peso de anchoveta, zona norte.

Tabla 25. Parámetros relación longitud peso zona centro.

	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Ene	Feb	Marzo
$\alpha$	0,0044	0,0036	0,0200	0,0027	0,0007	0,0051	0,0047	0,0079	0,0060	0,0025	0,0026	0,0019
$\beta$	3,2273	3,2870	3,4443	3,3264	3,8016	3,0463	3,0951	2,9617	3,0828	3,4517	3,4122	3,5359
$r^2$	0,9330	0,9270	0,9202	0,9606	0,9552	0,9477	0,9302	0,9427	0,9624	0,9834	0,9833	0,9746

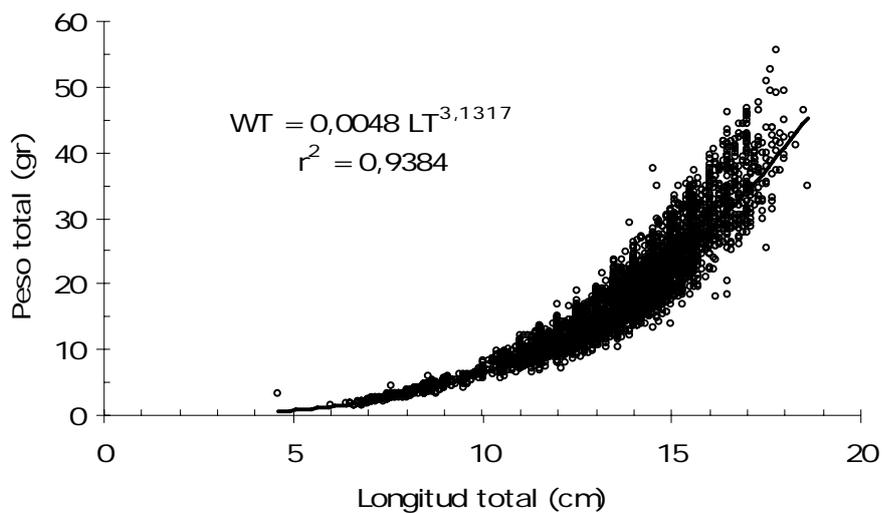


Figura 41. Relación longitud-peso de anchoveta, zona centro.

Tabla 26. Parámetros relación longitud peso zona sur.

	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Total
$\alpha$	0,0020	0,0024	0,0187	0,0197	0,0026	0,0036	0,0070	0,0051
$\beta$	3,4080	3,3544	2,5798	3,5759	3,3690	3,2147	2,9837	3,0763
$r^2$	0,8648	0,9671	0,7830	0,9083	0,9199	0,9599	0,9217	0,9294

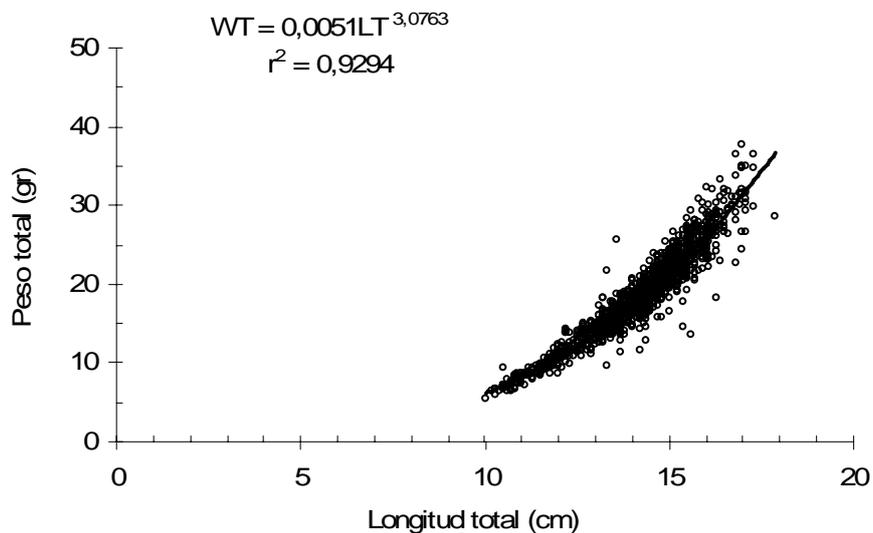


Figura 42. Relación longitud-peso de anchoveta, zona sur.



Tabla 27. Longitudes medias para distintas asignaciones de edad de anchoveta de la zona centro-sur.

Grupo de edad	Año Biológico (1° de julio) Longitud media (cm)	Año Calendario (1° de enero) Longitud media (cm)
0	9,7	8,5
1	11,7	10,7
2	14,9	13,2
3	15,3	15,8

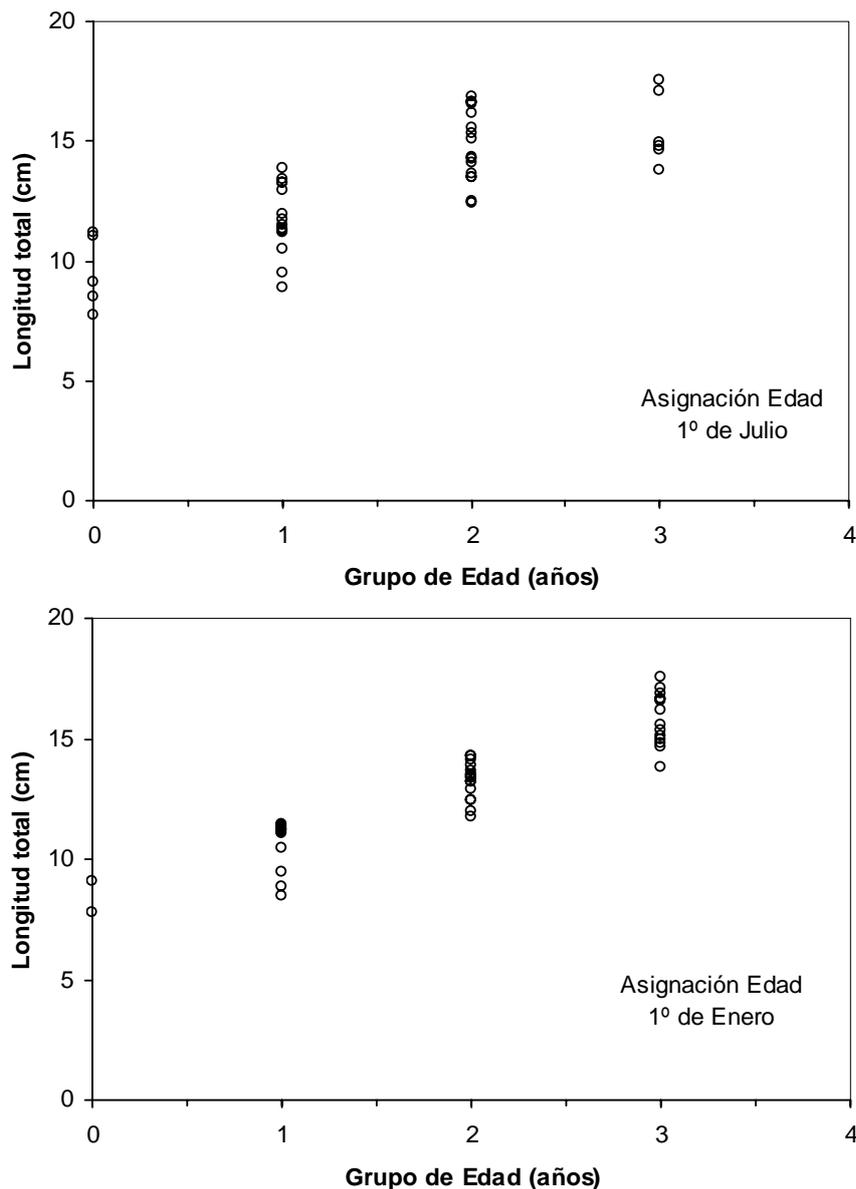


Figura 44. Longitud media en función del grupo de edad, considerando año biológico (1° de julio) y año calendario (1° de enero) para la anchoveta en la zona centro-sur de Chile.

### 3.4.5. Ajuste Modelo de Crecimiento

Se ajustaron tres modelos a la información de edad, obtenida a partir del peso del otolito, y longitud del pez, en términos de la calidad del ajuste y para las dos zonas el modelo de von Bertalanffy y Gompertz entregan los mayores coeficientes de determinación y sus parámetros son significativos (Tabla 28 y Tabla 29) en relación a la versión estacional del modelo de von Bertalanffy. De acuerdo a los resultados, para ambas zonas se considera que el modelo para explicar el crecimiento corresponde al del von Bertalanffy. El valor de  $L_{\infty}$  y  $K$  para ambas zonas son 19,79 cm y 0,441 año<sup>-1</sup> zona norte y 19,93 cm y 0,316 año<sup>-1</sup> zona sur. Las curvas generadas por ambos ajustes (Figura 45; Figura 46)son estadísticamente diferentes de acuerdo al test de verosimilitud, y esta diferencia esta dada por los parámetros  $K$  y  $t_0$ . (Tabla 30).

Tabla 28. Parámetros de crecimiento de tres modelos estimados para la anchoveta del norte. E.E.: error estándar.

Parámetro	Value	E.E.	Valor-P	$r^2$
von Bertalanffy				
$L_{\infty}$	19,797	0,242	0	0,813
$K$	0,441	0,022	0	
$t_0$	-0,475	0,074	0	
von Bertalanffy estacional				
$L_{\infty}$	19,4717	0,2252	0	0,803
$K$	0,4684	0,0230	0	
$t_0$	-0,3236	0,0724	0,000	
$C$	0,0823	0,0495	0,096	
$ts$	0,0749	0,0921	0,416	
Gompertz				
$L_{\infty}$	19,1269	0,1782	0	0,813
$G$	0,5882	0,0231	0	
$t_0$	0,3378	0,0297	0	

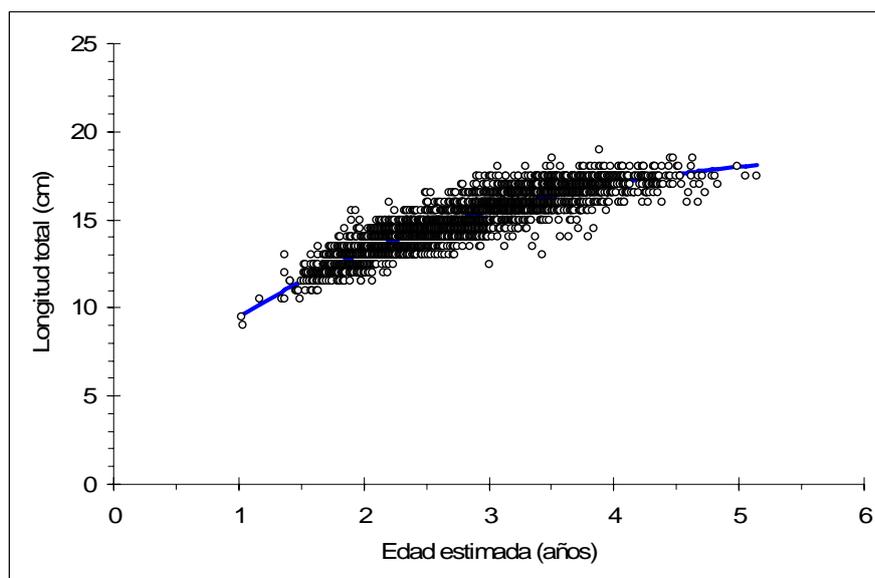


Figura 45. Ajuste de la curva de crecimiento de von Bertalanffy para la anchoveta del norte.

Tabla 29. Parámetros de crecimiento de tres modelos estimados para la anchoveta del sur. E.E.: error estándar.

Parámetro	Value	E.E.	Valor-P	$r^2$
von Bertalanffy				
$L_{\infty}$	19,934	0,168	0	0,853
$K$	0,316	0,008	0	
$t_0$	-1,279	0,031	0	
von Bertalanffy estacional				
$L_{\infty}$	19,9029	0,1698	0	0,853
$K$	0,3177	0,0080	0	
$t_0$	-1,2691	0,0369	0	
$C$	0,0550	0,0435	0,206	
$ts$	0,2530	0,1240	0,041	
Gompertz				
$L_{\infty}$	18,5527	0,1060	0	0,852
$G$	0,4902	0,0084	0	
$t_0$	-0,0375	0,0120	0,002	

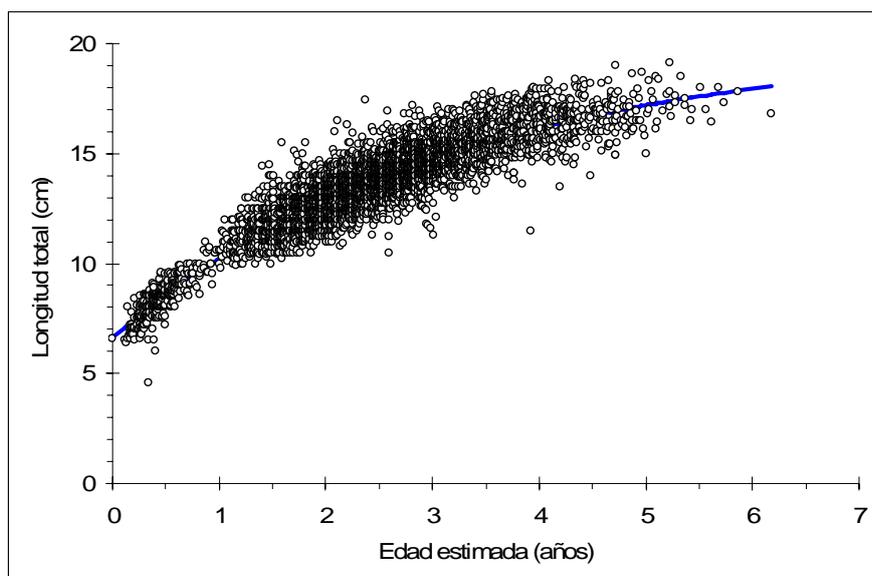


Figura 46. Ajuste de la curva de crecimiento de von Bertalanffy para la anchoveta del sur.

Tabla 30. Test de razón de verosimilitud para comparar las curvas ajustadas a la relación edad-longitud pez entre las anchovetas del norte y sur. Los tres primeros parámetros corresponden a la zona norte y los siguientes a la zona sur. La columna estimados corresponde a los parámetros ajustados de forma separada. La columna coincidentes es cuando se asume que las líneas son idénticas, y las siguientes columnas cuando se asume la igualdad de los parámetros. SRC: sumatoria de residuos al cuadrado.

	Estimados	Coincidente			
		s	$L_{\infty}$	K	$t_0$
$L_{\infty}$ -N	19,797	21,151	19,897	21,421	22,657
K-N	0,441	0,292	0,432	0,327	0,270
$T_0$ -N	-0,475	-1,253	-0,503	-0,914	-1,232
$L_{\infty}$ -S	19,934	21,151	19,897	19,701	19,727
K-S	0,316	0,292	0,317	0,327	0,327
$t_0$ -S	-1,279	-1,253	-1,273	-1,237	-1,232
SRC	5504,317	6373,666	5504,429	5518,664	5536,193
$\chi^2$		1422,575	0,197	25,253	56,017
g.l.		3	1	1,	1
P		0,0000	0,657	0,0000	0,0000

### **3.4.6. Claves Talla Edad**

Una vez estimada la edad, se utilizó el valor entero para dar cuenta de grupos anuales de edad y construir claves talla-edad tal que permitan establecer la composición por edad de la anchoveta en las respectivas zonas.

Las claves talla-edad estimadas para la zona norte se presenta en la Tabla 31 y Figura 47a, observándose una mayor contribución del grupo de edad 2 y 3 con un aporte de 45 y 38,9% de los individuos. Le sigue en importancia el grupo de edad 1 con 10,6%, mientras que el aporte del grupo de edad 5 fue marginal.

En la zona sur, la clave talla-edad deducida a partir del peso del otolito se muestra en la Tabla 32 y Figura 47. En esta zona, la contribución del grupo de edad 0 fue del orden del 6,3%. El grupo de edad dominante se debe al grupo de edad 2 con 47,3% seguido de los grupos de edad 1 y 3 con 22,2 y 18,9% respectivamente. El aporte del grupo de edad 4 fue inferior al del 0, en tanto el grupo de edad 5 fue marginal con menos del 1%.

Tabla 31. Clave talla-edad elaborada para el conjunto de edades estimadas mediante el peso del otolito en la zona norte (Abril 2005 – Marzo 2006). En las ultimas tres filas se entrega el total por edad, la composición en porcentaje y la longitud total promedio.

LT	E D A D					Total	
	0	1	2	3	4		
4						0	
5						0	
6						0	
7						0	
8						0	
9		1				1	
10		1				1	
11		14				14	
12		135	21			156	
13		161	182	2		345	
14		39	551	15		605	
15		3	543	127		673	
16		2	187	526	14	729	
17			30	511	80	621	
18			3	129	87	3	222
19				2	3	5	
Total		356	1517	1312	184	3	3372
%		10.6	45.0	38.9	5.5	0.1	
LT		12.7	14.5	16.5	17.4	18.0	

Tabla 32. Clave talla-edad elaborada para el conjunto de edades estimadas mediante el peso del otolito en la zona centro-sur (Marzo 2005 – Marzo 2006). En las ultimas tres filas se entrega el total por edad, la composición en porcentaje y la longitud total promedio.

LT	E D A D					Total	
	0	1	2	3	4		
4	1					1	
5						0	
6	20					20	
7	87					87	
8	195					195	
9	81	2				83	
10	14	127	3			144	
11	1	431	63	2		497	
12		527	445	2		974	
13		271	1128	39	1	1439	
14		42	1019	322	12	1395	
15		4	288	500	58	1	851
16			43	241	132	7	423
17			2	93	86	14	195
18				2	13	6	21
19					1	1	2
Total	399	1404	2991	1201	303	29	6327
%	6.3	22.2	47.3	19.0	4.8	0.5	
LT	8.0	11.8	13.4	15.0	16.1	17.0	

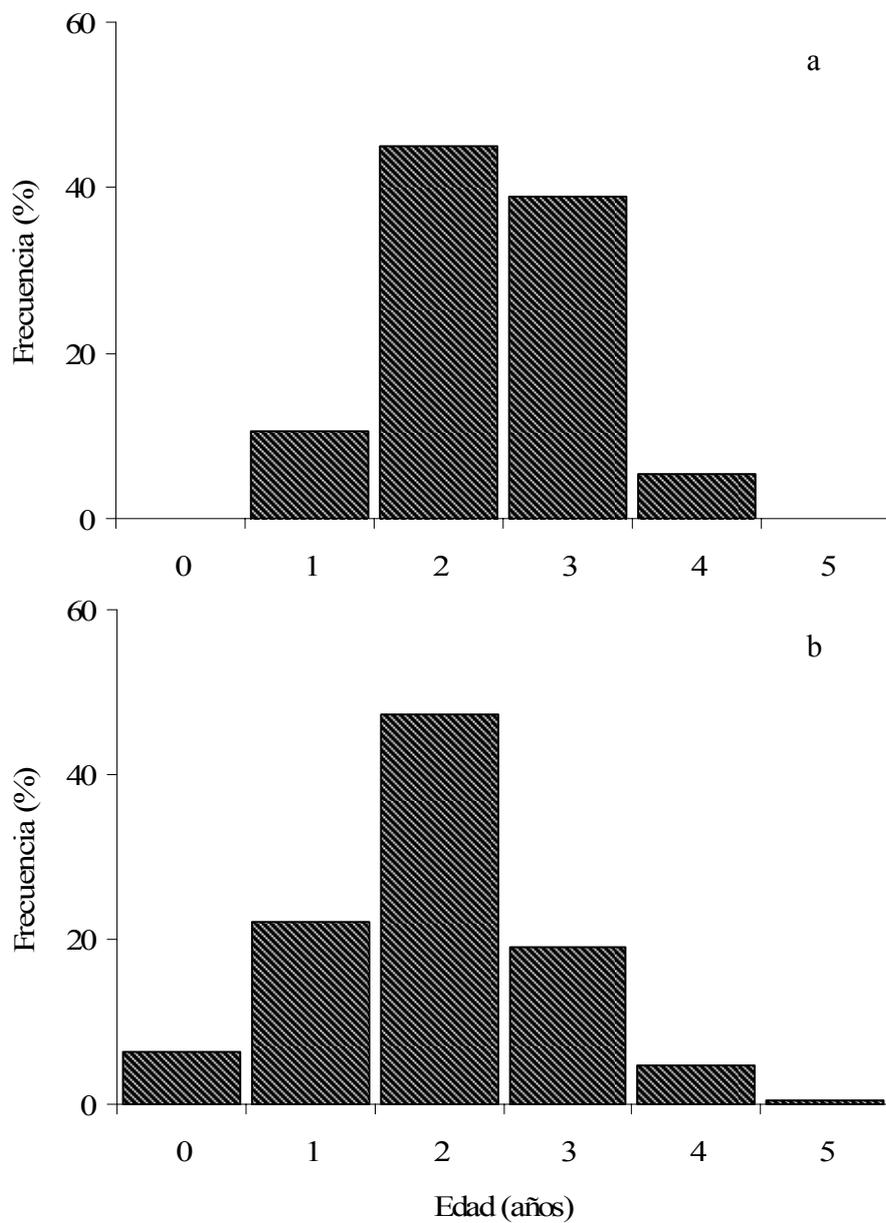


Figura 47. Composición por edad del número de individuos (%) en las capturas de anchovetas, entre abril 2005 y marzo 2006 en la zona norte (a) y entre marzo 2005 y marzo 2006 en la zona centro-sur (b).

#### 4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

El índice de incremento marginal (IIM) y el análisis del borde, son métodos considerados como de validación (Mcpherson, 1992, Barbieri *et al.*, 1994; Campana, 2001) y a su vez son ampliamente utilizados y posiblemente mal interpretado (Campana, 2001). El IIM describe la formación de los anillos de crecimiento (translúcido y opaco) en una base mensual, oscilando entre 0 y 1. Para valores bajos del índice se interpreta como el comienzo de formación de un anillo opaco y para valores altos el término de formación de un anillo translúcido, por lo que, entre 0 y 1, se tiene la formación de un anillo opaco y uno translúcido. De ahí también la importancia del método ya que entrega la época de formación de los anillos. Este método, además, es uno de los pocos que se restringen a peces jóvenes y de rápido crecimiento, siempre cuando pueda ser observado e identificado claramente el borde.

La popularidad del método se puede deber a los requerimientos de muestreo y análisis, así como su bajo costo. Pero presenta a su vez gran problema debido a las dificultades técnicas asociada con la observación del borde del otolito, ya que dependiendo de la luz es como se puede ver el borde, pudiendo realizarse una identificación errónea de éste. Campana (2001) plantea que la metodología es valida, si y sólo si, se aplica con suficiente rigurosidad. Agregando que cuatro son los aspectos a tener en cuenta en el protocolo de trabajo: (1) las muestras deben ser completamente aleatorias antes de ser examinadas y el lector no debe saber la fecha de colección; (2) se necesita un mínimo de dos ciclos a ser examinado; (3) los resultados deben ser interpretados objetivamente, y (4) la interpretación del índice se debe restringir solamente a algunos grupos de edad en el tiempo, idealmente solamente a uno. A pesar de todas estas consideraciones en el presente estudio no fue posible obtener resultados que indicaran la formación de *annuli* en otolitos de anchoveta, tanto con el IIM como el análisis del borde. Posibles explicaciones a estos resultados es que la dificultad de distinguir el tipo de borde, ya sea opaco o translúcido, producto a que el otolito en la zona del borde es más delgada que el centro y la formación de los últimos anillos es más delgada, por lo que bajo luz reflejada éstos aparecen refringente.

Por otra parte la interpretación de la naturaleza del borde tiene relación con las zonas previas, opaco o translúcidos, y las densidades de estas zonas varía de acuerdo al área del otolito que estemos observando y además se tienen que considerar la formación bi-anual del anillos

translúcido lo que llevaría a una mala interpretación. En la anchoveta de la zona centro-sur, Barría *et al.* (1999) indican que parece existir dos períodos de formación del anillo opaco correspondiente a primavera y otoño, recalando que son frecuentes todo el año.

Se ha documentado que el crecimiento de la anchoveta exhibe cambios estacionales en la tasa de crecimiento en longitud, tanto en la anchoveta del stock centro-norte de Perú (Palomares *et al.*, 1987), en el stock del sur de Perú y norte de Chile (Cubillos, 1991), como en la zona centro-sur (Cubillos *et al.*, 2000; Cubillos *et al.*, 2001).

Según Cubillos *et al.* (2001), la anchoveta presenta una alta regularidad interanual en el crecimiento estacional de diferentes clases anuales. Esta característica sería una consecuencia de la estrategia reproductiva de las especies al ecosistema de surgencia estacional que están habitando. La estrategia reproductiva, en este sentido, es una adaptación de la población, de un punto de vista evolutivo, para reforzar la supervivencia de la descendencia. La prevención del transporte fuera de la costa de huevos y larvas, y la optimización de la disponibilidad de alimento que consiste en acumular reservas energéticas en primavera y su posterior utilización para producir gametos en invierno serían los factores que explican los cambios en la tasa de crecimiento en longitud dentro del ciclo anual (Cubillos *et al.*, 2001).

La amplitud (C) de los cambios estacionales en la tasa de crecimiento crece de norte a sur. En Perú, la amplitud ha sido estimada en  $C=0,27$  por Palomares *et al.* (1987), en  $C = 0,5$  para la anchoveta en la zona norte por Cubillos (1991) y  $C > 0,8$  en la zona centro-sur (Cubillos *et al.*, 2001; Cubillos *et al.*, 2002). A su vez, el momento en que ocurre la más baja tasa de crecimiento coincide con la época invernal. Estas características del crecimiento de anchoveta han sido deducidas, por el momento, a partir del análisis detallado de datos mensuales de frecuencia de tallas, siguiendo los cambios en la longitud promedio de las clases anuales que reclutan a la fase explotable del stock.

El análisis de frecuencia de tallas se considera altamente confiable en especies de rápido crecimiento, corto ciclo de vida, y con una estación reproductiva principal en el ciclo anual. Este es el caso de la anchoveta, en los cuales la progresión modal en los datos de frecuencia de talla puede ser seguida fácilmente después del reclutamiento (Cubillos, 1991; Cubillos *et al.*, 2001; Cubillos *et al.*, 2002). Además, de acuerdo con Campana (2001) el análisis detallado de la progresión modal puede ser considerado un método alternativo de validación o de

corroboración de las edades determinadas mediante lectura en estructuras duras. Esto es así porque usualmente el análisis de frecuencia de tallas en una escala de tiempo mensual permite seguir la evolución del crecimiento de las clases anuales considerando explícitamente una fecha de cumpleaños biológica, la fecha o época de reclutamiento a la fase explotable, y la talla de madurez sexual y la época reproductiva. El conocimiento de estos aspectos biológicos permite una asignación de edades indirecta a las longitudes modales, con criterios biológicos que se consideran objetivos.

Tanto en la zona norte como en la zona centro-sur, la época de reclutamiento de la anchoveta a la fase explotable ocurre a fines de primavera, con ejemplares juveniles que tienen un tamaño modal cercano a los 8 cm de longitud total (Cubillos, 1991; Cubillos *et al.*, 2001; Castillo *et al.*, 2002). Aunque en la zona centro-sur se registró el ingreso de peces de pequeño tamaño entre junio y agosto, es factible por cierto realizar el análisis de progresión modal sobre la base de la cohorte principal. Este hecho, podría indicar la presencia de una cohorte secundaria y erróneamente interpretar como que en la zona centro-sur ingresan dos cohortes por año. Sin embargo, una interpretación alternativa radica en que en invierno es usual muestrear sobre agregaciones conformadas por peces juveniles inmaduros ya que los adultos se segregan de ellos para reproducirse (Gania *et al.*, 2008). Ello podría incluso hacer bajar la talla media, sin que necesariamente esté ingresando una nueva cohorte. A su vez, la época máxima actividad reproductiva se inicia en julio, con un pico en agosto, y aunque se puede extender hasta octubre, se puede identificar claramente una fecha de cumpleaños biológica (Cubillos *et al.*, 1999; Oliva *et al.*, 2000, 2001). Cubillos *et al.* (2001) utilizó el primero de julio, razón por la cual a la longitud modal de los juveniles que reclutan en enero (8 cm LT) se les puede asignar una edad de 6 meses (0,5 años). La progresión modal mensual de la longitud de una cohorte después del reclutamiento se les puede así asignar edades relativas en meses sucesivamente, esperándose que al término del primer año tengan una longitud modal cercana a la talla de primera madurez sexual *i.e.* entre 11,5 y 12,5 cm LT, dependiendo de la tasa de crecimiento y la amplitud del cambio estacional.

En relación con el análisis de la frecuencia de tallas, en la zona norte de Chile no se registró el reclutamiento en la época estival (noviembre-enero). En este sentido, el seguimiento modal para describir el crecimiento no fue posible como en el caso de la zona sur. A su vez, el hecho de no contar con otolitos de los juveniles del año (reclutas) en la zona norte, el método de

Campana (2001), que permite estimar el tamaño del primer *annulus* y no validar la edad, no pudo ser aplicado. En otras palabras, no se pudo contar con una estimación de la longitud media de los peces en el momento de formación del primer *annulus* (e.g. alrededor del primer cumpleaños). No obstante, es posible realizar alguna modificación sobre la base de longitudes retrocalculadas para predecir el diámetro medio del primer *annulus*.

La integración numérica de la tasa de crecimiento del otolito permite construir la historia de crecimiento promedio a partir de un set de otolitos (individuos), la ecuación que se ajuste dependerá de la relación entre la tasa de crecimiento (ancho de los microincrementos) y la respectiva distancia al centro del otolito (Figura 22 y Figura 23), otros estudios han ajustado las ecuaciones exponencial, gama e incluso recta (Ralston y Miyamoto, 1983; Smith y Kostlan, 1991; Gauldie, 1996). En el presente estudio se ajustó la función propuesta por Deriso (1980 *vide* Hilborn y Walters, 1992) y utilizada en estudios de stock-recluta, este modelo es mucho más flexible y su forma dependerá del valor que tome el parámetro  $c$ . Los parámetros de este modelo y para el presente estudio sólo son importantes en el sentido de la descripción de la relación entre las variables. Ambos ajustes, norte y sur, entregan un máximo aproximado a los 200  $\mu\text{m}$ , este máximo puede estar asociado a la mayor tasa de crecimiento en longitud como parte del término de la metamorfosis, lo que ocurriría a los 142 días en promedio de edad (Moreno *et al.*, en prensa), para luego comenzar con la fase de crecimiento del tipo von Bertalanffy. Nótese que el modelo de Deriso ajustado representa, en la primera etapa, parte de la primera derivada del modelo tipo logístico y en el decaimiento a la primera derivada del modelo de von Bertalanffy.

Por otra parte, en relación al método, algunos autores han indicado algunas limitaciones en la aplicación de este, siendo éstas: Al disminuir la tasa de crecimiento, es posible que el grosor de los microincrementos quede por debajo del límite de detección del microscopio óptico, lo que tendría incidencia en la subestimación de la edad (Morales-Nin y Ralston, 1990). En el presente estudio fue posible observar los microincrementos a lo largo de todo su eje de crecimiento al igual que otros autores que han trabajado con especies del género *Engraulis* (Morales-Nin, 1989; Waldron, 1994; Cermeño *et al.*, 2003, 2006).

El método asume que la formación de incrementos diarios es continua a través de la vida. Sin embargo, períodos cortos sin crecimiento del otolito probablemente no inciden significativamente en la pérdida de exactitud (Campana y Jones, 1992). Por otro lado, existe la posibilidad que el ancho de los microincrementos llegue a ser tan tenue con la edad hasta el

punto de no ser evidentes. Si esto llegase ocurrir, ninguno de los incrementos en los peces más viejos podrían ser contados y la correspondiente tasa instantánea de crecimiento del otolito estaría basada solamente en el período de crecimiento más rápido, en este caso hay que tener en cuenta que dado la operación de la pesquería los ejemplares de anchovetas que se encuentran no son individuos viejos. Por lo que el cálculo resultante sería una subestimación de la edad actual de los peces (Ralston y Williams, 1989). Las secuencias de microincrementos medidos (contados) representan sin sesgo el correspondiente intervalo del otolito, lo que implica que las lecturas no deberían estar restringidas a solamente las zonas donde el ancho de los microincrementos es de fácil interpretación (Campana y Jones, 1992).

Se debe agregar que las estimaciones de edad para los individuos no son independientes ya que se utiliza -indistintamente para cada individuo- la misma función que describe la tasa instantánea del otolito promedio. No obstante lo anterior, el hecho es que indistintamente para cada individuo se asume que la tasa de crecimiento promedio del otolito es un buen descriptor del crecimiento individual. Este es un aspecto que al parecer no ha sido explorado antes, *i.e.* mantener la individualidad con el método de densidad de los microincrementos. Sin embargo, algunas desventajas pueden emerger, como por ejemplo: a) la función ajustada a la relación “ancho de microincrementos-distancia al núcleo” debería cubrir la mayor parte de dicha distancia para evitar extrapolaciones, de lo contrario la función matemática ajustada podría no ser un buen descriptor de la tasa de crecimiento instantánea del otolito; y, b) en otolitos de peces viejos, los problemas de resolución del microscopio óptico podrían incidir en los resultados, generando subestimaciones de la edad (y por ende, sobrestimando la tasa de crecimiento).

En relación a los parámetros del modelo de Deriso se encuentran diferencias significativas entre las estimaciones del norte y del sur, en cuanto a los parámetros mismos estos sólo nos sirven para explicar la relación entre distancia al centro del otolito y su tasa de crecimiento (ancho de los microincrementos). Los parámetros en si mismo no presentan un significado que nos aporte a los resultados del proyecto. Por otra parte, el método de integración numérica y de lectura de otolitos generan resultados diferentes, principalmente porque el primer método realiza utiliza un modelo matemático para estimar la edad basado en la distancia del centro al borde mientras que el segundo se basa en lectura individual y el uso del peso del otolito.

Los resultados de la integración numérica, a su vez nos indican que estamos frente a dos stock con características fenotípicas distintas, estas diferencias se deberían al efecto que tendría el ambiente en el crecimiento en cada zona.

Es de uso en común la oxitetraciclina para validar la formación de incrementos diarios en otolitos de peces en cautiverio (Campana y Neilson, 1982) y del ambiente (Wild & Foreman, 1980). En el presente estudio a pesar que que la dosis fue la adecuada, por las marcas fluorescentes observadas (Figura 34), los microincrementos son muy delgados para que puedan ser observados con microscopio óptico. Esto se puede deber a las condiciones que pudieron haber estado sometido los ejemplares en cautiverio, por ejemplo, que el alimento no haya sido de la calidad y cantidad apropiada.

En relación con el análisis de frecuencia del peso del otolito, se debería esperar que la tasa de crecimiento en peso del otolito debiera ser constante y relacionada con la edad. El análisis indirecto de la progresión modal del peso del otolito de la zona norte evidencia al menos que existe progresión del peso del otolito en el tiempo, una señal que no es muy clara en el caso de la zona centro-sur de Chile, probablemente debido a los cambios estacionales en la tasa de crecimiento. Worthington (1995a,b) indica que el mejor índice de la utilidad del peso del otolito es la pendiente de la relación entre el peso del otolito y la edad observada. Nuestro análisis, por lo tanto, es más bien indirecto y la hipótesis de una tasa constante de acreción de material en el otolito se evaluará estadísticamente una vez que se cuente con más información, a la forma en que lo plantea Pino *et al.* (2004) para *Macruronus magellanicus*.

A su vez, una vez que se cuente con una curva de calibración de la relación peso del otolito-edad observada, se evaluará su utilidad con el método planteado por Francis y Campana (2004). Sin embargo, se debe tener en cuenta que el objetivo de esta última metodología es más bien proveer de un estimador de la composición de edad más que de la edad individual.

Las claves talla edad, tanto para el norte como centro-sur (Tabla 31 y Tabla 32), presentan un patrón de variación por edad de acuerdo a claves tradicionales, y como se puede apreciar también en las claves generadas por el IFOP para el mismo período y zonas (Tabla 33 y Tabla 34). Al comparar la composición por edad, elaborada directamente desde las claves talla edad, generadas en el presente estudio y por IFOP (Figura 48), encontramos que presentan el mismo patrón en la zona norte y para la zona centro-sur este es diferente. En donde el grupo principal

que sustenta las capturas aparece la edad 2, según el presente estudio, e IFOP estima que corresponde a la edad 1. Interesante resulta situación en términos de los resultados que pueda entregar la evaluación de stock utilizando estas estructuras de edad.

Tabla 33. Clave talla-edad elaborada del período abril 2005 – marzo 2006 elaborada por IFOP para la anchoveta de la zona norte. En las ultimas tres filas se entrega el total por edad, la composición en porcentaje y la longitud total promedio.

LT	E D A D					Total
	0	1	2	3	4	
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11		9				9
12	8	42				50
13	8	112	15			135
14		169	117			286
15		135	356	9		500
16		56	456	125	2	639
17		4	248	291	36	579
18			37	247	108	392
19			5	42	38	85
Total	16	527	1234	714	184	2675
%	0.6	19.7	46.1	26.7	6.9	
LT	12.5	14.1	15.8	17.3	18.0	

La longitud media y la proporción de los grupos de edad obtenidos a partir de las claves talla-edad elaboradas por IFOP para el año 2005 y 2006 se resumen en la Tabla 35, para la zona norte, y se compara con la longitud media por grupos de edad y la proporción a la edad obtenida en este estudio con el peso del otolito en forma indirecta. A pesar que en nuestros datos no registramos individuos del grupo de edad 0, la longitud media a la edad fue muy similar con las obtenidas por IFOP como también la distribución de edades.

Tabla 34. Clave talla-edad elaborada del período marzo 2005 – marzo 2006 elaborada por IFOP para la anchoveta de la zona centro-sure. En las ultimas tres filas se entrega el total por edad, la composición en porcentaje y la longitud total promedio.

LT	E D A D					Total
	0	1	2	3	4	
4						
5						
6						
7						
8	1					1
9	23	12				35
10	60	53				113
11	62	154				216
12	39	283	5			327
13	8	352	51			411
14		273	197	1		471
15		160	298	17		475
16		51	289	106	2	448
17		6	140	180	23	349
18			22	77	25	124
19				3	5	8
Total	193	1344	1002	384	55	2978
%	6.5	45.1	33.6	12.9	1.8	
LT	10.7	13.0	15.3	16.8	17.6	

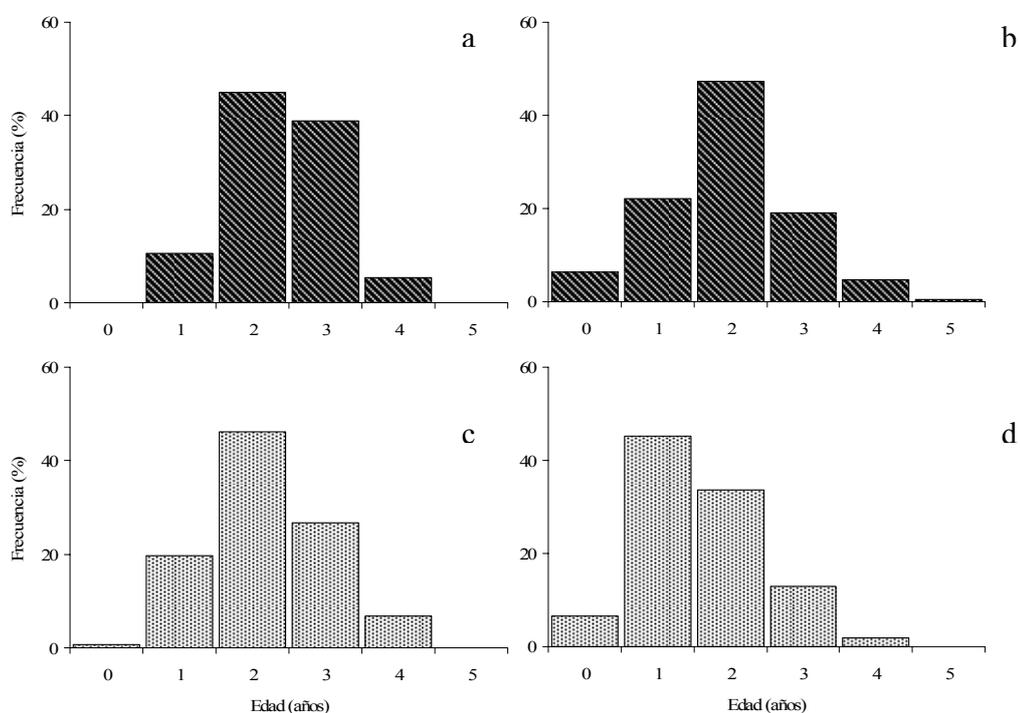


Figura 48. Composición de las capturas elaboradas de las claves talla edad para la anchoveta. (a) zona norte presente estudio; (b) zona centro-sur presente estudio; (c) zona norte elaborada por IFOP; (d) zona centro-sur elaborada por IFOP.

Tabla 35. Longitud promedio y proporción por grupos de edad de anchoveta en la zona norte según claves talla-edad elaboradas por IFOP para 2005 y 2006, y su comparación con las obtenidas al utilizar el peso del otolito.

ORIGEN		GRUPOS DE EDAD (años)				
		0	1	2	3	4
IFOP 2005	LT (cm)	11,8	12,9	15,1	16,6	17,3
	P(%)	0,6	24,8	44,1	25,0	5,5
IFOP 2006	LT (cm)	10,7	13,4	14,9	16,3	17,0
	P(%)	5,6	22,0	42,6	22,9	6,8
PO	LT (cm)	-	12,4	14,3	16,2	17,2
	P(%)	-	10,6	45,0	38,9	5,5

En la zona centro-sur, la longitud media a la edad y la distribución de edades provenientes de las claves talla-edad de IFOP se resumen en la Tabla 36, comparándose con la longitud media a la edad obtenida en forma indirecta en este estudio. Se observa una notable diferencia entre las longitudes medias, siendo las obtenidas por IFOP mayores en cada grupo de edad. No obstante, parece haber un corrimiento que podría estar asociado con la identificación del grupo de edad 0 y el primer grupo de edad. No obstante, parece haber un corrimiento que podría estar asociado con la identificación del grupo de edad 0 y el primer grupo de edad. Cabe señalar que la comparación de las longitudes medias por grupo de edad basadas en el peso del otolito como las de IFOP son realizadas por la agrupación año calendario. Asimismo, las longitudes medias basadas en MIX y MULTIFAN están referidas al 1° de enero, lo que hace las comparaciones válidas. Las diferencias podrían ser atribuibles al efecto del borde en la agrupación que realiza IFOP. En efecto, aquí se demuestra que el análisis del borde no genera información confiable en cuanto a épocas de formación de anillos. En este contexto, podría ser factible que los lectores, sabiendo a priori la fecha de muestreo, asignen criterios de identificación del borde sobre una base de lo esperable para la fecha. Un ejercicio que podría realizarse es una lectura e interpretación ciega de otolitos de anchoveta de la zona sur y norte, donde se desconozca la zona proveniente el otolito, longitud del ejemplar, la fecha de muestreo y no utilizar reglilla micrométrica. Es altamente probable que para la zona sur se estén utilizando los mismos criterios de interpretación que los que se utilizan para la zona norte. En este estudio, se demuestra que el crecimiento del otolito, tanto en peso como en la

tasa instantánea de crecimiento (densidad de microincrementos), existen diferencias entre localidades. Sin embargo, el patrón de depositación parece similar.

Tabla 36. Longitud promedio y proporción por grupos de edad de anchoveta en la zona centro-sur según claves talla-edad elaboradas por IFOP para 2005 y 2006, y su comparación con las obtenidas al utilizar el peso del otolito, MIX y MULTIFAN.

ORIGEN		GRUPOS DE EDAD				
		0	1	2	3	4
IFOP 2005	LT (cm)	11,0	13,2	15,6	17,1	18,0
	P(%)	7,0	47,2	32,9	11,7	1,2
IFOP 2006	LT (cm)	10,4	13,3	15,5	17,0	17,7
	P(%)	7,7	39,1	38,8	12,6	1,8
PO	LT (cm)	8,0	11,8	13,4	15,0	16,1
	P(%)	6,3	22,2	47,3	18,9	4,8
MIX-1° ene	LT (cm)	8,5	10,7	13,2	15,8	-
MULTIFAN-4	LT (cm)	8,7	12,1	14,9	16,4	-
MULTIFAN-8	LT (cm)	8,5	12,0	14,8	16,5	-

Las claves talla-edad deberían seguir siendo construídas sobre la base de la lectura de otolitos enteros. El objetivo de las claves talla-edad es estimar la composición por edad de las capturas. En este contexto, se recomienda también utilizar el peso del otolito para establecer la composición por edad. Para ello, bastaría con establecer una curva de calibración (relación peso otolito – edad) sobre la base de un número determinado de lecturas donde el rango de edades y de pesos de otolitos esperable quede cubierto. En una segunda etapa, la edad puede ser estimada a partir del peso del otolito utilizando la curva o relación funcional. Otro de los objetivos de las claves talla – edad, que se basan en grupos de edad sobre la base de una fecha de cumpleaños arbitraria (ya sea 1° de enero, 1° de julio, o cualquiera) radica en identificar la clase anual. Es decir, identificar grupos que han nacido en un mismo periodo. En este contexto, se recomienda analizar si con una u otra fecha es factible indentificar el paso de clases anuales débiles o fuertes por la estructura de edad de las capturas. Esta actividad, debe ser realizada antes de tomar una desición respecto de la agrupación por año calendario o 1° de julio.

## 5. CONCLUSIONES

Se valida la formación del primer anillo de crecimiento en la anchoveta de las unidades de pesquerías de la zona norte y sur de Chile y se entrega el tamaño de los anillos a cada anillo.

El análisis de distribución de frecuencia de talla permitió separar desde un componente normal hasta tres, se desprende, además, que solamente en los muestreos de la VIII Región se obtuvieron ejemplares del grupo de edad 0. Alrededor del año y medio se observa una estabilidad en las tallas promedio, y posteriormente un aceleramiento hasta alrededor de los 2 años y medio, lo que da cuenta de cambios estacionales en la tasa de crecimiento. Los ejemplares de la zona norte son de edades avanzadas, 1, 2 y 3 años.

Se realizaron lecturas de otolitos de larvas entre 20 y 30 mm, estimando un ancho promedio de los microincrementos de  $1,79 \mu\text{m}$  (d.e.  $0,62 \mu\text{m}$ ). El número de microincrementos presentes en los otolitos estuvo entre 40 y 60.

En los individuos adultos es posible observar el patrón de formación de microincrementos alrededor del centro, distinguiendo claramente la zona-L y la zona-D. Las observaciones en el MEB muestran el patrón que observamos en el microscopio óptico.

De las muestras leídas el primer *annulus* en otolitos de anchovetas del norte encuentra a los  $612,6 \mu\text{m}$  en promedio, distancia en el eje centro-dorsal, y a  $607,3 \mu\text{m}$  en anchovetas del sur. Esto equivale en promedio a  $2943,9$  y  $2738,2 \mu\text{m}$  de longitud del otolito respectivamente. Además, se establece que la primera zona translúcida en los otolitos de ejemplares de anchoveta del norte y sur corresponde a una estructura secundaria y que se formaría a los 250 días.

Al considerar la distribución de frecuencia de talla del mes de septiembre del 2005 para la zona sur, en la cual aparece una moda a los 11,3 cm, si se toma en cuenta que esta moda proviene del desove de invierno 2004, en el mes de septiembre se estaría terminando de formar el primer *annulus* con un tamaño promedio del otolito de  $2,686 \text{ mm}$  en el longitudinal.

El análisis del índice de incremento marginal y análisis del borde no entregan resultados satisfactorios producto de las características del otolito.

Se observó que las dos cohortes identificadas en la zona norte presentan una progresión lineal, con una tasa de crecimiento del otolito entre 0,089 y 0,131 mg por mes. En la zona sur, las tres cohortes completas en un ciclo anual revelan también rectas paralelas con similar tasa de crecimiento. Esta evidencia, permite a su vez asignar una edad relativa a los grupos modales identificados. Se observa que la tasa de crecimiento en peso del otolito es mayor en la zona norte (1,079 mg por mes) que en la zona sur (0,698 mg por mes).

La longitud del pez en función de la edad estimada con el peso del otolito se comporta de acuerdo al modelo de crecimiento del tipo von Bertalanffy, apareciendo en la zona sur individuos menores a un año.

Las claves talla-edad deberían seguir siendo construídas sobre la base de la lectura de otolitos enteros. En este contexto, se recomienda también utilizar el peso del otolito para establecer la composición por edad. Para ello, bastaría con establecer una curva de calibración (relación peso otolito – edad) sobre la base de un número determinado de lecturas donde el rango de edades y de pesos de otolitos esperable quede cubierto.

Se recomienda analizar si con una u otra fecha de cumpleaños es factible identificar el paso de clases anuales débiles o fuertes por la estructura de edad de las capturas. Esta actividad, debe ser realizada antes de tomar una desición respecto de la agrupación por año calendario o 1 de julio.

De acuerdo a los resultados obtenidos se confirma lo planteado por Aguayo (1976; 1980) y Barría et al. (1999) de la formación de estructuras secundarias en los otolitos de anchoveta de la zona norte y sur de Chile.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguayo, M. 1980. Determinación de edad de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Clupea (Strangomera) bentincki*) de Talcahuano. En: Perspectivas de Desarrollo de las Pesquerías Nacionales. Dinámica Poblacional de sardina y anchoveta, zona Talcahuano. Corporación de Fomento de la Producción. Inst. Fom. Pesq., Santiago, Chile. 20-36 (AP 80-3).
- Aguayo, M. & H. Steffens. 1986. Edad y crecimiento de *Scomber japonicus* del Norte de Chile. Invest. Pesq. (Chile) 33: 61-76.
- Aguayo, M. & S. Soto. 1978. Edad y crecimiento de la sardina común (*Clupea (Strangomera) bentincki*) en Coquimbo y Talcahuano. Serie Inv. Pesq. Inst. Fom. Pesq. Santiago, Chile, 28: 55.
- Arancibia, H., L. Cubillos, J. Remmaggi, R. Alarcón. 1994. Determinación de la talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), del área de Talcahuano, Chile. Biol. Pesq. (Chile) 23, 11-17.
- Araya, M., L. Cubillos, M. Guzmán, J. Peñailillo & A. Sepúlveda. 2001. Evidence of the relationship weight of otolith – age for the Chilean horse mackerel *Trachurus murphyi* (Carangidae). Fisheries Research 51: 17-26.
- Arrizaga, A. 1981. Nuevos antecedentes biológicos para la sardina común, común *Clupea (Strangomera) bentincki* Norman 1936. Bol. Soc. Biol. Concepción, 52:5-66.
- Barbieri, L.R., M.E. Chittenden, Jr, C.M. Jones. 1994. Age, growth, and mortality of Atlantic croaker, *Micropogonias undulates*, in the Chesapeake Bay region, with a discussion of apparent geographic changes in population dynamics. Fish. Bull. 92: 1-12.
- Barría, P., M.G. Bohm, A. Aranís, R. Gili, M. Donoso & S. Rosales. 1999. Evaluación indirecta y análisis de la variabilidad del crecimiento de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final Proyecto FIP 97-10. Fondo de Investigación Pesquera.

- Beamish, R.J. & D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 982–983.
- Beamish, R.J., G.A. McFarlane & D.E. Chilton. 1983. Use of oxytetracycline and other methods to validate a method of age determination for sablefish (*Anoplopoma fimbria*). In *Proceedings of the International Sablefish Symposium*. Anchorage, Alaska, Alaska Sea Grant Report 83-3: 95-116.
- Beckman, D. W. & C.A. Wilson. 1995. Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths. In *Recent Developments in Fish Otolith Research* (Secor, D. H., Dean, J. M. and Campana, S. E., eds), pp. 27–43. Columbia: University of South Carolina Press.
- Bjorkstedt, E.P. 2000. Stock-recruitment relationship for cycles that exhibit concurrent density dependence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 459-467.
- Blaxter, J.H.S. & J.S. Hunter. 1982. The biology of the clupeoid fishes. *Adv. Mar. Biol.* 20: 201-223.
- Boehlert, G. 1985. Using objective criteria and multiple regression models for age determination in fishes. *Fishery Bulletin*: Vol. 83, No. 2.
- Brothers, E.B., C.P. Mathews & R. Lasker. 1976. Daily growth increments in otoliths from larvae and adult fishes. *Fish. Bull., U.S.* 74:1-8.
- Campana, S.E. 1997. Use of radiocarbon from nuclear fallout as a dated marker in the otoliths of haddock, *Melanogrammus aeglefinus*. *Mar. Ecol. Progress Ser.* 150: 49–56.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish. Biol.* 59: 197-242.
- Campana, S.E. & J.D. Neilson. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 1014-1032.
- Campana, S. E. & Neilson, J. D. 1982. Daily growth increments in otoliths of starry flounder (*Platichthys stellatus*) and the influence of some environmental variables in their production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 937–942.

- Campana, S.E. & C.M. Jones. 1992. Analysis of otolith microstructure data, p. 73-100. In D.K. Stevenson and S.E. Campana (Ed.) Otolith microstructure examination and analysis. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 117 p.
- Campana, S.E., M.C. Annand & J.I. McMillan. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. Trans. Am. Fish. Soc. 124, 131-138.
- Cappo, M., P. Eden, S.J. Newman & S. Robertson. 2000. A new approach to validation of periodicity and timing of opaque zone formation in the otoliths of eleven species of *Lutjanus* from the central Great Barrier Reef. Fish. Bull. 98:474–488.
- Casella, G. & R.L. Berger. 1991. Statistical Inference. Duxbury Press. 650 pp.
- Castillo, J., J. Córdova, A. Saavedra, M. Espejo, P. Gálvez & M.A. Barbieri. 2002. Evaluación acústica de la biomasa, abundancia, distribución espacial y caracterización de cardúmenes de anchoveta en el periodo de reclutamiento. Primavera 2001. In: Evaluación del reclutamiento de anchoveta en la I y II Regiones, temporada 2001-2002. Informes Técnicos FIP-IT/2001-11, 207 p.
- Cermeño, P., A. Uriarte, A.M. De Murguía & B. Morales-Nin. 2003. Validation of daily increment formation in otoliths of juvenile and adult European anchovy. J. Fish Biol. 62: 679–691.
- Cermeño, P., B. Morales-Nin & A. Uriarte. 2006. Juvenile European anchovy otolith microstructure. Sci. Mar. 70: 553-557.
- Chang, W.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 1208–1210.
- Chilton, D.E. & R.J. Beamish. 1982. Age determination methods for fishes studied by the Groundfish Program at the Pacific Biological Station. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 60: 102 p.
- Cochran, W. 1977. Sampling techniques, 3 ed. John Wiley and Sons Inc. New York, 428p.

- Cubillos, L. 1991. Estimación mensual de la biomasa, reclutamiento, y mortalidad por pesca de la anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona norte de Chile en el período 1986-1989. Biol. Pesquera 20: 49-59.
- Cubillos, L. 1994. Comparación del crecimiento individual. En: Pre-Informe Final Proyecto FIP N° 93-17 "Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona norte (Regiones I y II). Instituto de Fomento Pesquero/Universidad Arturo Prat/Instituto de Investigación Pesquera, 221 p. 66 figs. + 93 tablas + 4 fotos.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993a. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Documentos Técnicos del Instituto de Investigación Pesquera (IIP), Talcahuano, Chile 2(2):1-19.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. Invest. Mar. Valparaíso 21:3-21.
- Cubillos, L., D. Bucarey & M. Canales. 2000. Evaluación de sardina común y anchoveta en la zona centro sur de Chile (1990 – 2000). Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP), Talcahuano, 9(1):1- 19.
- Cubillos, L., M. Canales, D. Bucarey, A. Rojas & R. Alarcón. 1999. Época reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en la zona centro-sur de Chile en el período 1993-1997. Invest. Mar. Valparaíso 27:73-86.
- Cubillos, L.A., D.A. Bucarey & M. Canales. 2002. Monthly abundance estimation for common sardine *Strangomera bentincki* and anchovy *Engraulis ringens* in the central-south Chile (34-40°S). Fish. Res. 57: 117-130.
- Cubillos, L.A., D.F. Arcos, M. Canales & D. Bucarey. 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano (37°S-73°W), Chile: a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? Aquat. Living Resour. 14:115-124.
- Du, Juan, 2002. Combined Algorithms for Fitting Finite Mixture Distributions, McMaster University unpublished M.Sc. thesis.

- FAO. 1982. Report of the technical consultation on the methodologies used for age-reading. FAO Fish. Rep. 257, 104 p.
- Ferreira, B.P. & G.R. Russ. 1994. Age validation and estimation of growth rate of the coral trout, *Plectropomus leopardus* (Lacepede 1802), from Lizard Island, Northern Great Barrier Reef. Fish. Bull. 92: 46–57.
- Fletcher, W.J. 1991. A test of the relationship between otolith weight and age for the pilchard *Sardinops neopilchardus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 35-38.
- Fournier, D.A., J.R. Sibert, J. Majkowski, J. Hampton. 1990. MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple length frequency data sets illustrated using data for bluefin tuna (*Thunus maccoyii*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 301-317.
- Fournier, D.A., J.R. Sibert & M. Terceiro. 1991. Analysis of length frequency samples with relative abundance data for the Gulf of Maine northern shrimp (*Pandalus borealis*) by MULTIFAN method. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 591-598.
- Francis, R.I.C.C. & S.E. Campana. 2004. Inferring age from otolith measurement: a review and a new approach. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61: 1269-1284.
- Ganias, K. 2008. Ephemeral spawning aggregations in the Mediterranean sardine, *Sardina pilchardus*: a comparison with other multiple-spawning clupeoids. Marine Biology 155:293-301.
- Gauldie, R.W. 1996. Ages estimated from average microincrement width in otoliths of *Macruronus novaezelandiae* are verified by length mode progressions. Bulletin of Marine Science, 59(3): 498-507.
- Geffen, A.J. 1992. Validation of otolith increment deposition rate. In *Otolith Microstructure Examination and Analysis* (Stevenson, D. K. and Campana, S. E., eds), pp. 101–113. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 117.
- Hernández, E.H. & L.R. Castro. 2000. Larval growth of the anchoveta *Engraulis ringens* during the winter spawning season off central Chile. Fish. Bull. 98: 704-710.

- Herrera, G., E. Aguilera, G. Castillo y P. A. Bernal. 1985. Growth of anchovy *Engraulis ringens* in Central Chile, determined by daily increment counts in otoliths. *Biol. Pesq.* 14: 11-15.
- Hilborn, R. & C. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment*, Chapman and Hall, NY, 570 p
- Hoedt, F.E., 1992. Age and growth of a large tropical anchovy, *Thryssa hamiltoni* (Gray): a comparison of ageing techniques. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 43 (5): 953-971.
- Jones, C.J. 1985. Determining age of larval fish with the otolith increment technique. *Fish. Bull.* 84: 91-103.
- Kalish, J.M., R.J. Beamish, E.D. Brothers, J.M. Casselman, R.I.C.C. Francis, H. Mosegaard, J. Panfili, E. Prince, R.E. Thresher, C.A. Wilson & P.J. Wright. 1995. Glossary for otolith studies. In: Secor, D. H., Dean, J. M., Campana, S. E. (Eds.) *Recent developments in Fish Otolith Research*. University of South Carolina Press, Columbia, SC pp. 723-729.
- Kimura, D.K. 1977. Statistical assesement of age-length key. *J. Fish. Res. Board Can.* 31:317-324.
- Kimura, D. 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fish. Bull.* 77: 765-766.
- Kimura, D. & S. Chikuni. 1987. Mixtures of empirical distributions: an iterative application of the age-length key. *Biometrics*, 43: 23 - 35.
- McCurdy, W.J., J. Panfili, F.J. Meunier, A.J. 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. 331-357. Brest, France: Ifremer.IRD coedition.
- McDonald, P.D.M. & P.E.J. Green. 1988. User's guide to program MIX: an interactive program for fitting mixtures of distributions. *Ichthus Data Systems*, Hamilton, Ont., 75 p.

- McDonald, P.D.M. & T.J. Pitcher. 1979. Age groups from size-frequency data: a versatile and efficient method for analyzing distribution mixtures. *J. Fish. Res. Board Can.* 36, 987-1001.
- McPherson, G.R. 1992. Age and growth of the narrow-barred spanish mackerel (*Scomberomorus commerson* Lacépede, 1800) in North-eastern Queensland Waters. In "Age Determination and Growth in Fish and Other Aquatic Animals". (Ed. D.C. Smith). *Aust. J. Mar. Freshwater Res* 43: 1269-1282.
- Mendiola, B. R. de & O. Gómez. 1981. Daily otolith rings in otoliths of larval anchovy (*Engraulis ringens*). *Rapp. P. V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer.* 178: 565-566.
- Methot, R.D. Jr., 1983. Seasonal variation in survival of larval northern anchovy *Engraulis mordax* estimated from the age distribution of juveniles. *Fish. Bull.* 81: 741-750.
- Morales-Nin, B. 1988. Caution in the use of daily increments for ageing tropical fishes. *Fishbyte* 6(2): 5-6.
- Morales-Nin, B. 1989. Age and growth of the southern stock of Peruvian anchoveta based otolith microstructures and length frequency analysis, p. 179-188. In: D. Pauly, J. Mendo and I. Tsukayama (eds.) *The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions*. ICLARM Conference Proceedings 18, 438 p. Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.
- Morales-Nin, B. 1992. Determination of growth in bony fishes from otolith microstructure. *FAO Fisheries Technical Paper* 322.
- Morales-Nin, B. 2000. Guidelines for validation studies. *EFAN Report* 4-2000
- Morales-Nin, B. & J. Panfili. 2002a. Observation. In *Manual of fish sclerochronology* (Panfili J., Pontual H. (de), Troadec H., Wright P.J., eds), pp. 358-369. Brest, France: Ifremer-IRD coedition.

- Morales-Nin, B. & J. Panfili. 2002b. Age estimation. In *Manual of fish sclerochronology* (Panfili J., Pontual H. (de), Troadec H., Wright P.J., eds), pp. 91-98. Brest, France: Ifremer.IRD coedition.
- Morales-Nin, B. & S. Ralston. 1990. Age and growth of *Lutjanus kasmira* (Forsk.) in Hawaiian waters. *J. Fish Biol.* 36:191-203.
- Moreno, P., G. Claramunt & L. Castro. Manuscrito. Morphometric changes during the larvae-juvenile transition of anchovy (*Engraulis ringens*): length or age related?. En revision.
- Mugiya, Y., N. Watabe & J. Yamada. 1981. Diurnal rhythm in otolith formation in the goldfish. *Comp. Biochem. Phys.* 68:659-662.
- Oliva, J., M. Braun, Córdova, J. Castillo, V. Valenzuela, V. Catasti, J. Blanco, C. Martínez. 2000. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, 1999. Informe Final FIP 99-10, Informes Técnicos FIP – IT / 99-10, 97 p.
- Oliva, J., C. Montenegro, M. Braun, O. Rojas, E. Díaz, V. Catasti, H. Reyes, P. Barría, R. Serra, G. Claramunt, G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, R. Escribano, M. Oliva. 2001. Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2000. Informe Final FIP 2000-06, Informes Técnicos FIP – IT /2000-06, 116 p.
- Orrego, A.H. 1993. Edad y crecimiento de la sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936)(Pisces: Clupeidae) a través de los microincrementos en los otolitos *sagittae*. Tesis de Magister en Ciencias, Escuela de Graduados, Universidad de Concepción. 84pp.
- Palomares, M.L., P. Muco, J. Mendo, E. Chuman, O. Gómez & D. Pauly. 1987. Growth of the Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*), 1953 to 1982. p. 117-141. In D. Pauly and L. Tsukayama (eds.) *The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change*. ICLARM Studies and Reviews 15, 351 p. Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GZT), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany; and

International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.

- Pannella, G. (1971). Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science* 173, 1124–1127.
- Panfili, J., Puntual H. (de), Troadec H., Wright P.J. (eds), 2002. Manual of fish sclerochronology. Brest, France: Ifremer-IRD coedition, 464 p.
- Pauly, D. & G. Gaschütz. 1979. A simple method for fitting oscillating length growth data, with a program for pocket calculator. ICES C.M. 1979/G:24 Demersal Fisheries Committee, 26 p.
- Peñailillo, J. & M. Araya. 1996. Momento de formación y periodicidad de los microincrementos de crecimiento en otolitos de larvas de pejerrey (*Austromenidia regia*) mantenidos en laboratorio. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 24: 31-38.
- Pennington, M. 1981. Variability of the weight of stomach contents of fish and its implications for food studies. In: Gutshop 81. Fish food habits studies proceedings of the third Pacific Workshop. M. Cailliet and Ch. A. Simenstad (Ed). University of Washington: 2-7.
- Pino, C., L. Cubillos, A. Sepúlveda & M. Araya. 2004. Growth of *Macruronus magellanicus* of the center south Chile using otolith weight-age relationships. *Fisheries Research* 66: 145-156.
- Quinn II, T.J & R.B. Deriso. 1999. Quantitative fish dynamics. Oxford University Press, New York, 542 p.
- Radtke, R.L., M.L. Fine & J. Bell. 1985. Somatic and otolith growth in the oyster toadfish (*Opsanus tau* L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 90, 259-275.
- Ralston, S. 1976. Age determination of a tropical reef butterflyfish utilizing daily growth rings of otoliths. *Fish. Bull.*, U.S. 74:990-994.
- Ralston, S. & G.T. Miyamoto. 1983. Analyzing the width of daily otolith increments to age the Hawaiian snapper, *Pristipomoides filamentosus*. *Fish. Bull.*, U.S. 81:523-535.

- Ralston, S. & Williams. 1989. Numerical integration of daily growth increments: An efficient means of ageing tropical fishes for stock assessment. *Fish. Bull.*, U.S. 87:1-16.
- Reznick, D., E. Lindbeck & H. Bryga. 1989. Slower growth results in larger otoliths: an experimental test with guppies (*Poecilia reticulata*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:108-112.
- Ricker, W.E. 1975. Computations and interpretations of biologist statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada* (191): 382 p.
- Secor, D.H., J.M. Dean & E.H. Laban. 1992. Otolith removal and preparation for microstructural examination, p. 19-75. In: D.K. Stevenson and S. E. Campana (de.) Otolith microstructure examination and analysis. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117.
- Smith, K. & E. Kostlan. 1991. Estimates of age and growth of ehu *Etelis carbunculus* in four regions of the pacific from density of daily increments in otoliths. *Fish. Bull.*, U.S. 89:461-472.
- Smith, K.A. & K. Deguara. 2003. Formation and annual periodicity of opaque zones in sagittal otoliths of *Mugil cephalus* (Pisces:Mugilidae). *Mar. Fresh. Res.* 54: 57-67.
- Somers, F. 1988. On a seasonally-oscillating growth function. *Fishbyte* 6(1), 8-11.
- Sparre, P. 1991. Estimation of yield per recruit when growth and fishing mortality oscillate seasonally. *Fishbyte* 9(1):40-44.
- Spratt, J.D. 1975. Growth rate of the northern anchovy, *Engraulis mordax*, in southern California waters, calculated from otoliths. *California Fish and Game* 61, 116–126.
- Taubert, B.D. & D.W. Coble. 1977. Daily rings in otolith of three species of *Lepomis* and *Tilapia mossambica*. *J. Fish. Res. Board Can.* 34:332-340.
- Taubert, B.D. & J.A. Tranquilli. 1982. Verification of the formation of annuli in otoliths of largemouth bass. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 111(4): 531-534.

- Victor, B.C. & E. B. Brothers. 1982. Age and growth of the fallfish *Semotilus corporalis* with daily otolith increments as a method of annulus verification. *Can. J. Zool.* 60: 2543-2550.
- Waldron, M.E. 1994. Validation of annuli of the South African anchovy, *Engraulis capensis*, using daily otolith growth increments. *ICES J. mar. Sci.*, 51: 233-234.
- Wenner, C.A., W.A. Roumillat & C.W. Waltz. 1986. Contributions to the life history of black sea bass, *Centropristis striata*, off the southeastern United States. *Fish. Bull.* 84: 723-741.
- Wild, A. & T.J. Foreman. 1980. Relación entre el tiempo y los incrementos de los otolitos del atún aleta amarilla y barrilete marcados con tetraciclina. *Bol. Int. del Atún Tropical*, 17(7):509-560.
- Worthington, D.G., P.J. Doherty & A.J. Fowler. 1995a. Variation in the relationship between otolith weight and age: implications for the estimation of age of two tropical damselfish (*Pomacentrus moluccensis* and *P. wardi*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 233–242.
- Worthington, D.G., A.J. Fowler & P.J. Doherty. 1995b. Determining the most efficient method of age determination for estimating the age structure of a fish population. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52:2320-2326.
- Wright, P.J., J Panfili, A. Folkword, H. Mosegaard & F.J. Meunier. 2002. Validation and verification methods. In *Manual of fish sclerochronology* (Panfili J., Pontual H. (de), Troadec H., Wright P.J., eds), pp. 111-142. Brest, France: Ifremer.IRD coedition.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A., 405 p.

## 7. ANEXOS

### 7.1. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

#### Universidad Arturo Prat

Personal profesional	Título profesional	Función
Miguel Araya	Biólogo Pesquero	Jefe y coordinador del proyecto, preparación de otolitos, lecturas de otolitos optico y MEB. Análisis integrado de todos los objetivos. Informes
Jessica Peñailillo	Biólogo Pesquero	Preparación de las muestras para lectura macro y micro, lecturas de los otolitos, análisis de la información de todos los objetivos, confección de informe.
Gabriel Claramunt	Biólogo Marino	Experimento en cautiverio zona norte, análisis integrado. Informes
Julio Arze	Biólogo Marino (e)	Muestreo, apoyo en la preparación de otolitos, mantención base de datos
Francisca Alvarez	Biólogo Pesquero (e)	Muestreo, apoyo en la preparación de otolitos, mantención base de datos. Experimento cautiverio
Laura Caballero	Biólogo Marino (e)	Control y coordinación muestreos zona norte. Composición de tallas del desembarque.
Mónica Díaz	Biólogo Pesquero (e)	Muestreo, experimentos en cautiverio

#### Universidad de Concepción

Personal profesional	Título profesional	Función
Luis Cubillos S. (MSc)	Biólogo Pesquero	Análisis integrado, análisis de frecuencia de tallas, y análisis de impacto de la asignación de edad en la composición de edades de las capturas
Gustavo Aedo U. (MSc)	Biólogo Marino	Experimentos en cautiverio centro-sur Control y coordinación muestreos zona centro-sur. Composición de tallas del desembarque
Carolina Alarcón M.	Biólogo Marino	Verificación datos frecuencia de tallas y biológico-específicos, mantención y poblamiento de bases de datos.
Milton Pedraza G.	Ingeniero Pesquero	Experimentos en cautiverio centro-sur
Claudio Castillo J.	Ingeniero en Pesca y Acuicultura	Experimentos en cautiverio centro-sur
Germán Vásquez	Técnico	Muestreo biológico específico centro-sur
Roberto Torres	Técnico	Muestreo frecuencia de tallas centro-sur