



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

INFORMES TECNICOS FIP

FIP - IT / 97 - 32

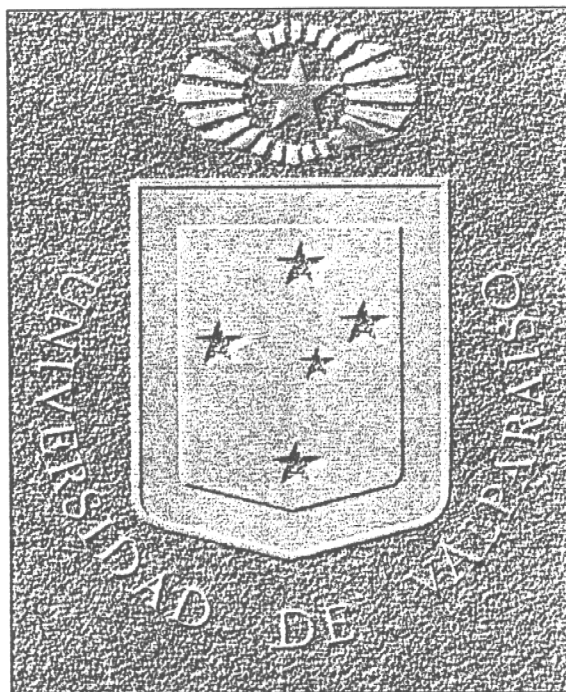
INFORME : ESTUDIO DE EDAD Y REPRODUCCION
FINAL DEL RECURSO ALMEJA EN LA IV Y V
(TOMO I) REGIONES

UNIDAD : UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
EJECUTORA

INFORME FINAL
PROYECTO 97-32

**“ESTUDIO DE EDAD Y REPRODUCCIÓN DEL
RECURSO ALMEJA EN LA IV Y V REGIONES”**

TEXTO



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

AGOSTO, 1999

JEFE DE PROYECTO

BERNARDITA CAMPOS MAIA

INVESTIGADORES

DONALD BROWN
BERNARDITA CAMPOS
LUIS DURÁN
CARLOS MELO
JÖRG URBAN

COLABORADORES

VANIA GÓMEZ
LUIS VEGA
CHRISTIAN BETANCOURT
LUIS COCAS
GONZALO COLLADO
RAÚL RAMÍREZ
KATHERINNE VALDERRAMA

Agosto de 1999

RESUMEN EJECUTIVO

El Consejo de Investigación Pesquera, considerando la importancia de la pesquería del recurso almeja en la IV y V Regiones, encomendó, mediante licitación pública, a la Universidad de Valparaíso, la realización de este proyecto titulado "Estudio de edad y reproducción del recurso almeja en la IV y V Regiones", ya que es de gran importancia disponer de información relevante acerca del ciclo de vida y dinámica poblacional del recurso almeja para que la Subsecretaría de Pesca implemente las medidas de administración pesquera que aseguren la sustentabilidad de los bancos de estas especies.

Hasta 1993 el Anuario Estadístico de Pesca, publicado por SERNAPESCA, hacía referencia a las almejas como un solo gran grupo, sin embargo, a partir de 1994, algunas especies han sido individualizadas. En 1997, SERNAPESCA indicó que trece especies de bivalvos forman parte del desembarques artesanal de moluscos, haciendo referencia a cuatro denominaciones para almejas: almeja (varias especies, entre ellas *Protothaca thaca* y *Venus antiqua*), culengue (*Gari solida*), taquilla (*Mulinia spp.*) y tumbao (*Semele solida*) (SERNAPESCA 1994 a 1998). Sin embargo, aún hay varias especies que siguen siendo registradas en forma general dentro del grupo almejas, como ocurre con *Eurhomalea* y otras que requieren una revisión taxonómica exhaustiva como es el caso de *Mulinia*.

En lo referente al desembarque de almejas en las regiones en estudio, en la IV Región, en 1995 éstas representaron el 34% del total de bivalvos; en 1996 subió a un 36%, en 1997, a un 62% y en 1998 el desembarque disminuyó drásticamente a menos de un 2%; en la V Región el desembarque se ha mantenido más estable ya que las almejas aportaron un 44% en 1995, un 52% en 1996, un 55% en 1997 y casi un 48% en 1998 (SERNAPESCA 1995 a 1998), lo cual es un indicador de la importancia relativa de esta pesquería en dichas regiones y de la dificultad para predecir el comportamiento de la pesquería de un año a otro. A pesar de ello, los antecedentes disponibles acerca de las especies que se explotan, sus parámetros

poblacionales, relación edad - talla, ciclo reproductivo, talla de primera madurez y fecundidad eran, hasta ahora, desconocidos.

Así, este proyecto estuvo orientado a la obtención de antecedentes poblacionales y reproductivos de las principales especies de almeja que forman parte de la actividad pesquera en la IV y V Regiones. Por ello, el objetivo general del proyecto fue determinar la edad, el crecimiento, el ciclo reproductivo y la fecundidad de las cuatro principales especies de almeja que son objeto de la pesquería en las Regiones IV y V.

Para lograr este objetivo se procedió a visitar 18 caletas de la IV Región y 26 de la V Región para determinar taxonómicamente las especies de almeja que estaban formando parte de la actividad pesquera, en ambas regiones, durante 1997. Luego de una primera selección y con el fin de verificar la disponibilidad de material biológico, se efectuaron muestreos piloto en: Punta Choros, Hornos, Peñuelas, Puerto Aldea y Pichidangui, en la IV Región, y en Maitencillo, Algarrobo y Cartagena, en la V Región. En cada uno de estos sitios se registró, además, la batimetría, características sedimentológicas, temperatura y densidad de almejas.

A continuación, se procedió a seleccionar las cuatro especies más importantes, las que finalmente correspondieron a: *Mulinia edulis* en Peñuelas y Pto. Aldea, *Protothaca thaca* en Pta. Choros, en la IV Región, y *Eurhomalea lenticularis* en Algarrobo, V Región.

Una vez seleccionadas las especies a ser estudiadas, se realizaron los muestreos poblacionales mensuales (entre octubre de 1997 y noviembre de 1998), las actividades de marcaje y recaptura (entre enero y diciembre de 1998), y la lectura de anillos en la superficie externa de la concha, con el objeto de: determinar su relación edad - talla, su función de crecimiento, validar la periodicidad de la formación de anillos de crecimiento y estimar las relaciones talla - peso estacional y anual. Además, muestras mensuales de cada especie en estudio se utilizaron para caracterizar el ciclo de madurez sexual, determinar los períodos de evacuación gamética, determinar la función de madurez, la fecundidad y la talla mínima de reproducción.

En cuanto a los resultados, los muestreos poblacionales mensuales mostraron unimodalidad en torno a las tallas 35 - 60 mm, para las tres especies, con ausencia de individuos de tallas menores durante todo el año, no percibiéndose corrimientos modales, lo que al parecer es una constante en los estudios de dinámica poblacional de almejas. Por su parte las actividades de marcaje y recaptura no tuvieron el éxito esperado, ya que la pérdida de material biológico debido a marejadas fue considerable. Aquí es importante destacar, que si bien en la X Región se ha realizado este tipo de actividades con éxito, las condiciones oceanográficas costeras son de suyo diferentes, teniendo la IV y V Regiones, zonas muy expuestas.

Debido a esto, en definitiva, la elaboración de la clave talla - edad y la función de crecimiento se construyeron a partir de las mediciones de radios de anillos sucesivos en la superficie externa de la concha, ya que estos datos tuvieron un mejor ajuste que el simple recuento de anillos en relación con la talla de los organismos. Las claves talla - edad indican, para las tres especies estudiadas, que la edad de la talla mínima legal (55 mm) se alcanzaría a los 6 años, los índices de separación indican que en *M. edulis* los grupos modales serían separables, en el caso de *P. thaca* sólo pueden separarse los cuatro primeros grupos (edades) y no los dos últimos, y en *E. lenticularis* pueden separarse los tres primeros y no los tres últimos, lo que es esperable, ya que cuanto más viejo es el individuo, las líneas de crecimiento tienden a sobreponerse y resulta difícil distinguir unas de otras.

Debido a los magros resultados obtenidos en la actividad de marcaje y recaptura, no fue posible describir el crecimiento estacional ni validar la periodicidad de la ocurrencia de los anillos de crecimiento. Por esta razón, se hizo un esfuerzo adicional, y se decidió implementar una metodología para cumplir con estos dos objetivos basada en el análisis de marcas internas de la concha, de ejemplares recolectados mensualmente entre enero y diciembre de 1998.

El análisis de marcas internas de la concha determinó la formación de diferentes patrones en las tres especies: *M. edulis* presentó tres tipos de marcas en toda la extensión del corte transversal de la concha, *P. thaca* y *E. lenticularis* presentaron

sólo un tipo de marca en toda la extensión del corte. Debido a estos patrones, en *M. edulis* no se pudo determinar fehacientemente las marcas correspondientes a crecimiento y no a perturbación. En *P. thaca*, aunque se podía realizar un estudio de edad, sólo se dispuso de ejemplares obtenidos durante dos meses, por lo cual no se pudo efectuar la validación de la anualidad en la formación del anillo. *E. lenticularis* presentó una clara anualidad en la formación de la marca. El recuento y medición de la distancia umbo-marca permitió confeccionar una nueva clave edad-talla la cual se contrastó con la construida con lectura de anillos externos y que carecía de validación de la periodicidad de la ocurrencia del anillo. Con la nueva metodología, se determinó que en esta especie, la talla mínima legal se alcanzaría entre los 8-9 años (40%), sin embargo, individuos entre 5 y 16 años, se encuentran en este rango de talla. Además, por medio del análisis de borde se pudo estimar el crecimiento estacional para esta especie.

Se considera relevante señalar que el análisis de marcas internas de la concha arroja mayor precisión en la asignación de edad que el estudio de líneas externas de crecimiento, no existiendo antecedentes de su aplicación para los bivalvos de Chile; se considera un aporte el hecho de haber desarrollado un protocolo detallado para que pueda ser aplicado en estudios de edad en otros bivalvos.

En relación con el ciclo reproductivo, *M. edulis* de Peñuelas tiene aparentemente un ciclo reproductivo anual con un período de reposo gonadal de enero a junio y un período reproductivo de actividad gametogénica y evacuación de gametos de julio a enero, mes en que ocurriría la mayor evacuación de gametos. *M. edulis* de Puerto Aldea tiene ciclo reproductivo continuo en que la actividad gametogénica se superpone con la evacuación de gametos, con una máxima madurez en junio. El período de máxima evacuación de gametos ocurriría entre julio y septiembre. *E. lenticularis* de Algarrobo tiene un ciclo reproductivo continuo de tendencia mixta en que la actividad gametogénica y de evacuación de gametos es continua, con un período importante de evacuación de gametos en noviembre – febrero y en mayo - julio.

En *M. edulis* de Peñuelas, de acuerdo con la función de madurez, la talla de primera madurez ($I_{50\%}$) se alcanza a los 8,6 mm. En *E. lenticularis* de Algarrobo, de acuerdo con la función de madurez, la talla de primera madurez ($I_{50\%}$) se alcanza a los 38,0 mm.

La fecundidad relativa, en número total de ovocitos vitelogénicos libres, de *M. edulis* de Peñuelas, para tamaños entre 50,0 y 64,9 mm, aumenta con el rango de talla, entre 1.238.000 y 1.608.333. La fecundidad relativa, en número total de ovocitos vitelogénicos libres de *M. edulis* de Puerto Aldea, para tamaños entre 50,0 y 74,0 mm, aumenta con el rango de talla, entre 1.408.000 y 2.456.666. La fecundidad relativa, en número total de ovocitos vitelogénicos libres, de *E. lenticularis* de Algarrobo, para tamaños entre 50,0 y 74,0 mm de longitud, aumenta con el rango de talla, entre 1.593.600 y 2.293.600.

M. edulis de Peñuelas presenta una talla mínima de primera madurez sexual individual masculina de 8,9 mm de longitud; y la primera madurez sexual femenina de 8,2 mm de longitud. *M. edulis* de Peñuelas expresa la talla mínima de primera madurez sexual poblacional, sin considerar el sexo, en el rango 10,1 - 20,0 mm de longitud.

E. lenticularis de Algarrobo presenta una talla mínima de primera madurez sexual individual masculina de 36,5 mm de longitud y la primera madurez sexual femenina a una talla de 29,4 mm de longitud. *E. lenticularis* de Algarrobo expresa la talla mínima de primera madurez sexual poblacional, sin considerar el sexo, en el rango 40,0 - 45,0 mm de longitud.

Como sobreoferta se confeccionó una "Guía de reconocimiento de almejas de la IV y V Regiones", con el objeto de disponer de una herramienta visual que permita a cualquier usuario, sin entrenamiento previo, distinguir las distintas especies de almejas que constituyen recursos en estas dos regiones.

Otras sobreofertas fueron la estimación del factor de condición promedio mensual, los parámetros de la función de crecimiento, la mortalidad total, la mortalidad natural, la mortalidad por pesca, la biomasa media y el reclutamiento en

aquellas especies y localidades de las cuales hubo suficientes datos para obtener la estimación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	I
TABLA DE CONTENIDO	VII
LISTADO DE TABLAS	IX
LISTADO DE FIGURAS	XIV
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
I. IDENTIFICACIÓN DE ALMEJAS Y SELECCIÓN DE ESPECIES	5
OBJETIVO 1	5
1. METODOLOGÍAS	5
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
3. CONCLUSIONES	13
II. ESTUDIO DE EDAD Y CRECIMIENTO	14
1. METODOLOGÍAS DE LOS OBJETIVOS 2 A 5	14
1.1. Objetivo 2	14
1.2. Objetivo 3	17
1.3. Objetivo 4	25
1.4. Objetivo 5	28
2. RESULTADOS	34
2.1. Objetivo 2	34
2.2. Objetivo 3	37

2.3. Objetivo 4	40
2.4. Objetivo 5	42
3. DISCUSIÓN	46
ACTIVIDADES DE MARCAJE - RECAPTURA	47
LECTURA DE ANILLOS EN LA SUPERFICIE EXTERNA DE LA CONCHA	48
MARCAS INTERNAS EN LA CONCHA	51
ISÓTOPOS ESTABLES DE OXÍGENO Y CARBONO	54
SOBRE LOS PARÁMETROS DE LA VBGF	56
4. CONCLUSIONES	61
III. ESTUDIO REPRODUCTIVO	63
1. METODOLOGÍAS DE LOS OBJETIVOS 6 A 9	63
1.1. Objetivo 6	63
1.2. Objetivo 7	71
1.3. Objetivo 8	71
1.4. Objetivo 9	73
2. RESULTADOS	75
2.1. Objetivo 6	75
2.2. Objetivo 7	87
2.3. Objetivo 8	88
2.4. Objetivo 9	90
3. DISCUSIÓN	96
3.1. Ciclo reproductivo de los adultos	96
3.2. Función de madurez	102
3.3. Fecundidad	102
3.4. Talla mínima de primera madurez sexual	104
4. CONCLUSIONES	106
LITERATURA CITADA	109
AGRADECIMIENTOS	116

LISTADO DE TABLAS

Nº

1. Desembarque de almejas en las caletas de la IV Región, en el período 1991 – 1997.
2. Desembarque de almejas en las caletas de la V Región, en el período 1991 – 1997.
3. Especies de almejas pre-seleccionadas en la IV y V Regiones para la ejecución del estudio.
4. Resultados de la visita a las caletas de la IV Región, en octubre de 1997.
5. Resultados de la visita a las caletas de la V Región, en octubre de 1997.
6. Batimetría, temperatura del agua y tipo de sedimento en las localidades de los muestreos piloto.
7. Densidad promedio, densidad máxima, densidad mínima y desviación estándar (d.e.) de cada especie recolectada durante los muestreos piloto.
8. Resumen del número de animales medidos en muestreos poblacionales de las tres localidades seleccionadas.
9. Temperatura del agua y batimetría en las localidades de los muestreos definitivos realizados en 1998.
10. Densidad media de individuos obtenidos en muestreos cuantitativos, por especie y localidad.
11. *Mulinia edulis*, Peñuelas. Clave talla-edad por medición de anillos.
12. *Mulinia edulis*, Pto. Aldea. Clave talla-edad por medición de anillos.
13. *Protothaca thaca*, Pta. Choros. Clave talla-edad por medición de anillos.
14. *Eurhomalea lenticularis*, Algarrobo. Clave talla-edad por medición de anillos.
15. *Eurhomalea lenticularis*, Algarrobo. Clave talla-edad por medición de marcas internas.
16. *Eurhomalea lenticularis*, Algarrobo. Clave talla-edad por recuento de marcas internas.
17. Resumen de los valores de crecimiento del modelo von Bertalanffy y comparación con el índice ϕ' .
18. Lectura de anillos externos por especie y localidad. Porcentajes de acierto por lector.

19. Lectura de anillos externos por especie y localidad. Porcentajes de acierto en la lectura de valvas izquierda y derecha.
20. Lectura de anillos externos por especie y localidad. Porcentajes totales de acierto por especie.
21. Lectura de anillos externos. Porcentajes de aciertos totales por lector (para las tres especies).
22. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Cronograma de actividades de marcaje-recaptura.
23. ***Mulinia edulis***, Pto. Aldea. Cronograma de actividades de marcaje-recaptura.
24. ***Protothaca thaca***, Pta. Choros. Cronograma de actividades de marcaje-recaptura.
25. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Cronograma de actividades de marcaje-recaptura.
26. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Número de individuos recuperados por rango de talla y delta crecimiento.
27. ***Mulinia edulis***, Pto. Aldea. Número de individuos recuperados por rango de talla y delta crecimiento.
28. ***Protothaca thaca***, Pta. Choros. Número de individuos recuperados por rango de talla y delta crecimiento.
29. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Número de individuos recuperados por rango de talla y delta crecimiento.
30. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Número de individuos recuperados por número de anillos y delta crecimiento.
31. ***Mulinia edulis***, Pto. Aldea. Número de individuos recuperados por número de anillos y delta crecimiento.
32. ***Protothaca thaca***, Pta. Choros. Número de individuos recuperados por número de anillos y delta crecimiento.
33. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Número de individuos recuperados por número de anillos y delta crecimiento.
34. Número de ejemplares examinados mensualmente (1998) por especie y localidad para determinar la relación talla - peso.
35. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g).
36. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g).

37. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g).
38. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g).
39. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g).
40. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso de la concha (g).
41. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g).
42. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g).
43. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso de la concha (g).
44. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g).
45. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g).
46. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g).
47. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Índice gonadosomático (IGS) (promedio y desviación estándar) por fecha de muestreo.
48. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Medida del complejo gónada-glándula digestiva (masa visceral) y sus respectivos índices gonadosomático (promedio y desviación estándar).
49. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Machos.
50. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Hembras.
51. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales totales.
52. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Machos.
53. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Hembras.
54. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Índice gonadosomático (IGS) (promedio y desviación estándar) por fecha de muestreo.
55. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Medida del complejo gónada-glándula digestiva (masa visceral) y sus respectivos índices gonadosomáticos (promedio y desviación estándar).

56. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Machos.
57. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Hembras.
58. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales totales.
59. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Machos.
60. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Hembras.
61. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Machos.
62. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Hembras.
63. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales totales.
64. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Índice gonadosomático (IGS) (promedio y desviación estándar) por fecha de muestreo.
65. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Medida del complejo gónada-glándula digestiva (masa visceral) y sus respectivos índices gonadosomáticos (promedio y desviación estándar).
66. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Machos.
67. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Hembras.
68. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales totales.
69. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Machos.
70. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Hembras.
71. ***Protothaca thaca***, Maitencillo. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Machos.

72. ***Protothaca thaca***, Maitencillo. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. Hembras.
73. ***Protothaca thaca***, Maitencillo. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales totales.
74. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Resultados del ajuste de la función de madurez.
75. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Resultados del ajuste de la función de madurez.
76. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Fecundidad (promedio y desviación estándar).
77. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Fecundidad (promedio y desviación estándar).
78. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Fecundidad (promedio y desviación estándar).
79. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Índice gonadosomático (IGS) (promedio y desviación estándar), por rango de talla.
80. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Variaciones de las frecuencias porcentuales de los ejemplares en los diferentes estados histológicos de la gónada, por rango de talla.
81. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Índice gonadosomático (IGS) (promedio y desviación estándar), por rango de talla.
82. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Variaciones de las frecuencias porcentuales de los ejemplares en los diferentes estados histológicos de la gónada, por rango de talla.
83. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Índice gonadosomático (IGS) (promedio y desviación estándar), por rango de talla.
84. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Variaciones de las frecuencias porcentuales de los ejemplares en los diferentes estados histológicos de la gónada, por rango de talla.
85. Parámetros de crecimiento de la VBGF y prueba Φ' para las tres especies estudiadas, obtenidos por distintos autores.
86. Estimación de la mortalidad natural por especie y localidad.
87. Estimación de la biomasa media por especie y localidad.

LISTADO DE FIGURAS

Nº

1. Distribución de frecuencia de tallas de *P. thaca* (n = 111), *S. solida* (n = 132) y *G. solida* (n = 5) en muestreo piloto de Punta Choros.
2. Distribución de frecuencia de tallas de *M. edulis* en muestreos piloto de Peñuelas (n = 2110) y Puerto Aldea (n = 705).
3. Distribución de frecuencia de tallas de *P. thaca* (n = 23), *E. lenticularis* (n = 78), *S. solida* (n = 7) y *G. solida* (n = 16) en muestreos piloto de Pichidangui.
4. Distribución de frecuencia de tallas en muestreos pilotos de *P. thaca* en Maitencillo (n = 87) y Cartagena (n = 15) y de *E. lenticularis* en Algarrobo (n = 773).
5. Distribución de tallas de *M. edulis* por estación en el muestreo piloto de Peñuelas (transectas numeradas de sur a norte).
6. Distribución de tallas de *M. edulis* por estación en el muestreo piloto de Puerto Aldea (transectas numeradas de sur a norte).
7. Distribución de tallas de *E. lenticularis* por estación en el muestreo piloto de Algarrobo (transectas numeradas de sur a norte).
8. Especies de almejas estudiadas. A. *Mulinia edulis*; B. *Protothaca thaca*; C. *Eurhomalea lenticularis*.
9. Ubicación geográfica de las localidades de muestreos definitivos de almejas en la IV Región.
10. Ubicación geográfica de las localidades de muestreos definitivos de almejas en la V Región.
11. Análisis de marcas internas de la concha. A. Eje dorso-ventral del corte de la concha (modificado de Ropes 1984); B. Sección transversal de una valva indicándose la forma de medición del radio (r) y de la zona de incremento marginal (dr); du = radio máximo; dt = altura de la valva (modificado de Gaspar *et al.* 1995 y Kato & Hamai 1975).
12. Distribución de frecuencia de tallas de *P. thaca* de Pta. Choros, de dos muestreos poblacionales en 1998. Junio n = 528; julio n = 511.
13. Distribución de frecuencia de tallas de *M. edulis* de Peñuelas, de muestreos poblacionales mensuales desde diciembre 1997 a noviembre 1998. El número de ejemplares obtenido mensualmente se señala en la Tabla 8.

14. Distribución de frecuencia de tallas de *M. edulis* de Puerto Aldea, de muestreos poblacionales mensuales durante 1998. El número de ejemplares obtenido mensualmente se señala en la Tabla 8.
15. Distribución de frecuencia de tallas de *E. lenticularis* de Algarrobo, de muestreos poblacionales mensuales desde noviembre 1997 a noviembre 1998. El número de ejemplares obtenido mensualmente se señala en la Tabla 8.
16. *M. edulis* de Peñuelas (P) y Pto. Aldea (PA). Relación nº de anillos *versus* longitud (mm) (recuento de anillos).
17. *P. thaca*, Pta. Choros. Relación nº de anillos *versus* longitud (mm) y curvas de crecimiento de von Bertalanffy (recuento de anillos).
18. *E. lenticularis*, Algarrobo. Relación nº de anillos *versus* longitud (mm) y curvas de crecimiento de von Bertalanffy obtenidas a partir de recuento de anillos externos y de nº de marcas internas.
19. Relación entre nº de anillos *versus* longitud (mm) y curvas de crecimiento de von Bertalanffy estimadas a partir de anillos medidos en *M. edulis* de Peñuelas y Pto. Aldea y en *P. thaca* de Pta. Choros.
20. Tipos de marcas de anillos externos de crecimiento en almejas: **A. *Mulinia edulis***, **B. *Protothaca thaca***, **C. *Eurhomalea lenticularis***. Las flechas indican las marcas.
21. *Mulinia edulis*, Peñuelas. Marcas internas de crecimiento en corte transversal de la concha. Las flechas señalan las marcas hialinas contrastadas con la superficie blanca y opaca. **A.** Primera marca, aumento 90x; **B.** Marcas intermedias, aumento 120x; **C.** Marcas cercanas al borde ventral, aumento 120x.
22. *Protothaca thaca*, Punta Choros. Marcas internas de crecimiento en corte transversal de la concha. Las flechas señalan las marcas hialinas contrastadas con la superficie blanca y opaca. **A.** Aumento 120x; **B.** Zona central de la concha, aumento 120x; **C.** Detalle de B, aumento 180x.
23. *Eurhomalea lenticularis*, Algarrobo. Marcas internas de crecimiento en corte transversal de la concha. Las flechas señalan las marcas hialinas contrastadas con la superficie blanca y opaca. **A.** Marcas en zona cercana al umbo, aumento 120x; **B.** Marca en zona media de la concha (derecha arriba) y marcas más recientes en el borde de la concha (izquierda abajo), aumento 120x; **C.** Detalle de marcas de la zona media de la concha, aumento 180x.
- 23'. *Eurhomalea lenticularis*, Algarrobo. **A.** Variación temporal, durante 1998, del tipo de borde de la concha. **B.** Análisis distal (du/dt) en función del tiempo, durante 1998.
24. *Mulinia edulis*, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para: a) el total de ejemplares recolectados durante 1998, (n= 774); b) el total de hembras recolectadas en 1998, (n= 274).

25. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) – peso partes blandas(g) para el total de machos recolectados en 1998, (n= 314).
26. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 65) y b) otoño (n= 237) de 1998.
27. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 232) y b) primavera (n= 240) de 1998.
28. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para hembras recolectadas en otoño (n= 38) de 1998.
29. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 104) y b) primavera (n= 121) de 1998.
30. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para machos recolectados en otoño (n= 72) de 1998.
31. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 128) y b) primavera (n= 109) de 1998.
32. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para: a) el total de ejemplares recolectados (n= 774) durante 1998, b) el total de hembras recolectadas (n= 274) en 1998.
33. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) – peso total húmedo (g) para el total de machos recolectados (n= 314) en 1998.
34. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 65) y b) otoño (n= 237) de 1998.
35. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 232) y b) primavera (n= 240) de 1998.
36. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para hembras recolectadas (n= 38) en otoño de 1998.
37. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 104) y b) primavera (n= 121) de 1998.
38. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para machos recolectados (n= 72) en otoño de 1998.
39. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 128) y b) primavera (n= 109) de 1998.

40. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para: a) el total de ejemplares recolectados (n= 774) durante 1998, b) el total de hembras (n= 274) recolectadas en 1998.
41. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para el total de machos (n= 314) recolectados en 1998.
42. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 65) y b) otoño (n= 237) de 1998.
43. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 232) y b) primavera (n= 240) de 1998.
44. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para hembras recolectadas en otoño (n= 38) de 1998.
45. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 104) y b) primavera (n= 121) de 1998.
46. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para machos recolectados en otoño (n= 72) de 1998.
47. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 128) y b) primavera (n= 109) de 1998.
48. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Gráfico de residuales de las relaciones: largo (mm) – peso partes blandas (g), n= 774; largo (mm) – peso total húmedo (g), n= 774 y largo (mm) – peso de la concha (g), n= 774.
49. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para: a) el total de ejemplares recolectados (n= 804) durante 1998, b) el total de hembras recolectadas (n= 400) en 1998.
50. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo – peso partes blandas para el total de machos recolectados (n= 400) en 1998.
51. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 65) y b) otoño (n= 329) de 1998.
52. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 171) y b) primavera (n= 239) de 1998.
53. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para hembras recolectadas en: a) verano (n= 42) y b) otoño (n= 157) de 1998.
54. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 78) y b) primavera (n= 123) de 1998.

55. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para machos recolectados en: a) verano (n= 23) y b) otoño (n= 169) de 1998.
56. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 93) y b) primavera (n= 115) de 1998.
57. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para: a) el total de ejemplares recolectados (n= 804) durante 1998, b) el total de hembras recolectadas (n= 400) en 1998.
58. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) – peso total húmedo (g) para el total de machos recolectados (n= 400) en 1998.
59. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 65) y b) otoño (n= 329) de 1998.
60. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 171) y b) primavera (n= 239) de 1998.
61. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para hembras recolectadas en: a) verano (n= 42) y b) otoño (n= 157) de 1998.
62. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 78) y b) primavera (n= 123) de 1998.
63. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para machos recolectados en: a) verano (n= 23) y b) otoño (n= 169) de 1998.
64. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 93) y d) primavera (n= 115) de 1998.
65. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para: a) el total de ejemplares recolectados (n= 804) durante 1998, b) el total de hembras recolectadas (n= 400) en 1998.
66. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo – peso de la concha para: el total de machos recolectados (n= 400) en 1998.
67. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 65) y b) otoño (n= 329) de 1998.
68. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 171) y b) primavera (n= 239) de 1998.
69. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para hembras recolectadas en: a) verano (n= 42) y b) otoño (n= 157) de 1998.

70. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 78) y b) primavera (n= 123) de 1998.
71. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para machos recolectados en: a) verano (n= 23) y b) otoño (n= 169) de 1998.
72. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 93) y b) primavera (n= 115) de 1998.
73. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Gráfico de residuales de las relaciones: largo (mm) – peso partes blandas (g), n = 804; largo (mm) – peso total húmedo (g), n = 804 y largo (mm – peso de la concha (g), n = 804.
74. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para machos recolectados en a) junio (n= 30) y b) julio (n= 34) de 1998.
75. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para hembras recolectadas en a) junio (n= 35) y b) julio (n= 34) de 1998.
76. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para machos recolectados en a) junio (n= 30) y b) julio (n= 34) de 1998.
77. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para hembras recolectadas en a) junio (n= 35) y b) julio (n= 34) de 1998.
78. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para machos recolectados en a) junio (n= 30) y b) julio (n= 34) de 1998.
79. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para hembras recolectadas en a) junio (n= 35) y b) julio (n= 34) de 1998.
80. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para: a) el total de ejemplares recolectados (n= 1030) durante 1998, b) el total de hembras recolectadas (n= 463) en 1998.
81. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para el total de machos recolectados (n= 372) en 1998.
82. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 311) y b) otoño (n= 159) de 1998.
83. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 240) y b) primavera (n= 320) de 1998.
84. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para hembras recolectadas en: a) verano (n= 127) y b) otoño (n= 53) de 1998.

85. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 129) y b) primavera (n= 154) de 1998.
86. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para machos recolectados en: a) verano (n= 90) y b) otoño (n= 34) de 1998.
87. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso partes blandas (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 98) y b) primavera (n= 150) de 1998.
88. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para: a) el total de ejemplares recolectados (n= 1019) durante 1998, b) el total de hembras recolectadas (n= 463) en 1998.
89. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo - peso total húmedo para el total de machos recolectados (n= 372) en 1998.
90. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 311) y b) otoño (n= 159) de 1998.
91. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 240) y b) primavera (n= 320) de 1998.
92. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para hembras recolectadas en: a) verano (n= 127) y b) otoño (n= 53) de 1998.
93. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 129) y b) primavera (n= 154) de 1998.
94. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para machos recolectados en: a) verano (n= 90) y b) otoño (n= 34) de 1998.
95. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso total húmedo (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 98) y b) primavera (n= 150) de 1998.
96. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para: a) el total de ejemplares recolectados (n= 1030) durante 1998, b) el total de hembras recolectadas (n= 463) en 1998.
97. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para el total de machos recolectados (n= 372) en 1998.
98. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) verano (n= 311) y b) otoño (n= 159) de 1998.

99. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para el total de ejemplares recolectados en: a) invierno (n= 240) y b) primavera (n= 320) de 1998.
100. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para hembras recolectadas en: a) verano (n= 127) y b) otoño (n= 53) de 1998.
101. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para hembras recolectadas en: a) invierno (n= 129) y b) primavera (n= 154) de 1998.
102. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para machos recolectados en: a) verano (n= 90) y b) otoño (n= 34) de 1998.
103. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Relación largo (mm) - peso de la concha (g) para machos recolectados en: a) invierno (n= 98) y b) primavera (n= 150) de 1998.
104. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Gráfico de residuales de las relaciones: largo (mm) – peso partes blandas (g), n = 1030; largo (mm) – peso total húmedo (g), n = 1019 y largo (mm) – peso de la concha (g), n = 1030.
105. **A.** Factor de condición (FC) y temperatura del agua (T), por especie y localidad durante 1998.
B. Curvas de captura basadas en datos de frecuencia de longitud por especie y localidad. A. Gráfico incluyendo todos los datos; B. Conjunto de datos utilizados para la regresión. Z= mortalidad total.
C. Patrón mensual de reclutamiento por especie y localidad.
106. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Índice gonadosomático (IGS) (promedio, desviación estándar y error estándar) por fecha de muestreo.
107. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Índice gonadosomático complejo gónada - glándula digestiva (promedio, desviación estándar y error estándar).
108. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. (A): Machos (B): Hembras.
109. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales totales.
110. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar el estado gonadal general al inicio y al final del período de estudio del ciclo reproductivo de los adultos.
111. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar la presencia de parásitos.

112. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Machos. (A): Línea germinal temprana; (B): Línea germinal avanzada; (C): Células vesiculosas intrafoliculares; (D): Otros tejidos.
113. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Hembras. (A): Gonias; (B): Ovocitos previtelogénicos; (C): Ovocitos vitelogénicos adheridos; (D): Ovocitos vitelogénicos libres.
114. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Índice gonadosomático (IGS) (promedio y desviación estándar) por fecha de muestreo.
115. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Índice gonadosomático complejo gónada-glándula digestiva (promedio, desviación estándar y error estándar).
116. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales. (A): Machos (B): Hembras.
117. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo en adultos. Frecuencia (%) de estados gonadales totales.
118. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados gonadales del ciclo reproductivo de los adultos. A. Masculino, madurez inicial; B. Femenino, madurez inicial; C. Masculino, madurez avanzada; D. Femenino, madurez avanzada.
119. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados gonadales del ciclo reproductivo de los adultos. A. Masculino, madurez total; B. Idem, otro ejemplar; C. Femenino, madurez total; D. Idem, otro ejemplar.
120. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados gonadales del ciclo reproductivo de los adultos. A. Masculino, regresión inicial; B. Femenino, regresión inicial; C. Masculino, regresión final; D. Femenino, regresión final.
121. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar el hermafroditismo intrafolicular y la presencia de parásitos tremátodos interfoliculares.
122. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Machos. (A): Línea germinal temprana; (B): Línea germinal avanzada; (C): Células vesiculosas intrafoliculares; (D): Otros tejidos.
123. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Hembras. (A): Gonias; (B): Ovocitos previtelogénicos; (C): Ovocitos vitelogénicos adheridos; (D): Ovocitos vitelogénicos libres.

124. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados gonadales del ciclo reproductivo de los adultos. A. Masculino, madurez inicial; B. Masculino, madurez total; C. Masculino, regresión final.
125. ***Protothaca thaca***, Punta Choros. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados gonadales del ciclo reproductivo de los adultos. A. Femenino, madurez inicial; B. Femenino, madurez total; C. Femenino, regresión final.
126. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Índice gonadosomático (IGS) (promedio y desviación estándar) por fecha de muestreo.
127. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Índice gonadosomático complejo gónada-glándula (promedio, desviación estándar y error estándar).
128. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo. Frecuencia (%) de estados gonadales. (A): Machos (B): Hembras.
129. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo. Frecuencia (%) de estados gonadales totales.
130. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados gonadales del ciclo reproductivo de los adultos. A. Masculino, madurez inicial; B. Femenino, madurez inicial; C. Masculino, madurez avanzada; D. Femenino, madurez avanzada.
131. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados gonadales del ciclo reproductivo de los adultos. A. Masculino, madurez total; B. Femenino, madurez total; C. Masculino, regresión inicial; D. Femenino, regresión inicial.
132. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados gonadales del ciclo reproductivo de los adultos. A. Masculino, regresión final; B. Femenino, regresión final; C. Acino gonadal femenino con ovocito vitelogénico pedunculado, con dos cistos de protozoo parásito microsporidio; D. Esporocisto con cercarias de tremátodos.
133. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Machos. (A): Línea germinal temprana; (B): Línea germinal avanzada; (C): Células vesiculosas intrafoliculares; (D): Otros tejidos.
134. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Ciclo reproductivo. Recuentos mensuales promedio por tipo celular. Hembras. (A): Gonias; (B): Ovocitos previtelogénicos; (C): Ovocitos vitelogénicos adheridos; (D): Ovocitos vitelogénicos libres.
135. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Curva de madurez y talla de primera madurez.
136. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Curva de madurez y talla de primera madurez.

137. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Estados de madurez sexual en machos.
138. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Talla de primera madurez sexual en machos.
139. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Estados de madurez sexual en hembras
140. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Talla de primera madurez sexual en hembras.
141. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Estados de madurez sexual poblacional.
142. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Talla de primera madurez sexual poblacional.
143. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados en la adquisición de la madurez sexual. A. Indeterminado, línea germinal incompleta, estado 1; B. Masculino, línea germinal incompleta, estado 3; C. Masculino, línea germinal incompleta, estado 2; D. Idem, aumento 250x.
144. ***Mulinia edulis***, Peñuelas. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados en la adquisición de la madurez sexual. A. Femenino, línea germinal incompleta, estado 2; B. Femenino, línea germinal incompleta, estado 2; C. F Femenino, línea germinal incompleta, estado 3; D. Idem, aumento 250x.
145. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Estados de madurez sexual en machos.
146. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Talla de primera madurez sexual en machos.
147. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Estados de madurez sexual en hembras.
148. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Talla de primera madurez sexual en hembras.
149. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Estados de madurez sexual poblacional.
150. ***Mulinia edulis***, Puerto Aldea. Talla de primera madurez sexual poblacional.
151. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Estados de madurez sexual en machos.
152. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Talla de primera madurez sexual en machos.
153. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Estados de madurez sexual en hembras.
154. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Talla de primera madurez sexual en hembras.
155. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Estados de madurez sexual poblacional.
156. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Talla de primera madurez sexual poblacional.
157. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados en la adquisición de la madurez sexual. A. Indeterminado,

línea germinal incompleta, estado 1; B. Idem, aumento 400x; C. Masculino, línea germinal incompleta, estado 1; D. Idem, aumento 250x.

158. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados en la adquisición de la madurez sexual. A. Masculino, línea germinal incompleta, estado 2; B. Idem, aumento 250x; C. Masculino, línea germinal incompleta, estado 3; D. Idem, aumento 250x.
159. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados en la adquisición de la madurez sexual. A. Femenino, línea germinal incompleta, estado 1; B. Idem, aumento 250x; C. Femenino, línea germinal incompleta, estado 2; D. Idem, aumento 250x.
160. ***Eurhomalea lenticularis***, Algarrobo. Fotomicrografías de secciones gonadales para tipificar los diferentes estados en la adquisición de la madurez sexual. A. Femenino, línea germinal incompleta, estado 3; B. Idem, aumento 250x; C. Femenino, línea germinal incompleta, estado 3; D. Idem, aumento 250x.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los bivalvos tanto consumidos en el país como exportados proviene de bancos naturales, por lo cual es de gran importancia disponer en el menor plazo posible de información relevante acerca del ciclo de vida y dinámica poblacional de las especies para que la Subsecretaría de Pesca diseñe las medidas de administración pesquera que aseguren la sustentabilidad de los bancos de bivalvos.

De acuerdo con los registros más recientes del Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA 1998), trece especies de moluscos bivalvos nativos forman parte de los desembarques pesqueros de recursos bentónicos. Sin embargo, varias especies son registradas bajo grupos genéricos como es el caso de las almejas.

El grupo de moluscos bivalvos conocido como almejas está conformado por especies que pertenecen a diferentes familias tales como Veneridae, Mactridae, Semelidae y Psammobiidae, siendo la primera de ellas la que contribuye con más representantes a la pesquería artesanal nacional. En esta familia se encuentran *Protothaca thaca*, *Venus antiqua*, *Eurhomalea exalbida*, *Eurhomalea lenticularis*, *Eurhomalea rufa* y *Chione sp.* La familia Mactridae por su parte contribuye con *Mulinia edulis*; Semelidae aporta a *Semele solida* y Psammobiidae, a *Gari solida*.

Hasta hace pocos años atrás, el Anuario Estadístico de Pesca, publicado por SERNAPESCA, mencionaba a todas estas especies como almejas, sin embargo, a partir de 1994, algunas de estas han sido individualizadas, tales como la taquilla, *Mulinia edulis*, el tumbao, *Semele solida*, y el culengue, *Gari solida*. A pesar de estos avances aún hay varias especies que siguen siendo registradas en forma general dentro del grupo almejas como ocurre con las especies de *Eurhomalea* y otras que requieren una revisión taxonómica exhaustiva como es el caso de las especies de *Mulinia*.

Históricamente, los bivalvos han aportado más del 80% a los desembarques nacionales de moluscos. En los últimos años, la explotación de bivalvos ha variado

desde un máximo de 108.632 t, en 1992, hasta un mínimo de 77.369 t en 1995, aumentando progresivamente hasta 96.883 t, en 1998 (SERNAPESCA 1992 a 1998).

En 1997, los mayores desembarques del grupo almejas provinieron de la X Región, seguidos por la IV, XII y V Regiones, correspondiendo a distintas especies en cada Región. Los mayores desembarques de culengue se registraron en la X, XI y VIII Regiones; no registrándose desembarques de este recurso en la IV y V Regiones (SERNAPESCA 1997) aunque los registros del Servicio de Información Pesquera (SIP) de SERNAPESCA (Tabla 1) muestran una mínima extracción en la IV Región. En relación con taquilla, un importante desembarque se registró por primera vez en la IV Región, además de la X Región. Con respecto a tumbao, los únicos desembarques se registraron en la X y VIII Regiones, a diferencia del año anterior cuando en la IV Región se desembarcaron 550 t de este recurso (SERNAPESCA 1997).

Desde el punto de vista regional, la IV Región aportó, en 1995, con 4.506 t de bivalvos, con almeja, culengue y tumbao representando el 34% de la explotación regional total de bivalvos después de las machas (64%). En 1996 se desembarcaron 5.734 t de bivalvos, donde el aporte de almeja, culengue y tumbao fue del 36% en esta Región. En 1997, de un desembarque de 7.080 t de bivalvos, el aporte de almeja y taquilla alcanzó el 62%, siendo este el primer año con registros de desembarque de taquilla. En 1998, aunque el desembarque de bivalvos aumentó a 11.324 t, el de almeja, culengue, taquilla y tumbao, en conjunto, bajó drásticamente a un 2%. Aunque no aparecen en los registros estadísticos oficiales, en la IV Región también se explotan en muy pequeña escala, *E. lenticularis*, *E. rufa* y *G. solida*.

Por su parte, la V Región aportó, en 1995, con 1.273 t de bivalvos al desembarque regional de moluscos donde las almejas aportaron el 44% de la explotación total de bivalvos, después de las machas (47%). En 1996, el desembarque de bivalvos alcanzó a 839 t, con un aporte de un 52% de las almejas. En 1997, el desembarque de bivalvos disminuyó drásticamente a 427 t y el aporte

de almejas fue de un 55%. En 1998, el desembarque de bivalvos alcanzó a 484 t, de las cuales casi un 48% correspondió a almejas desembarcadas en San Antonio. En esta Región se explotan las almejas *P. thaca* y *E. lenticularis*, siendo esta última la especie con mayor desembarque aunque no aparece individualizada como tal en el Anuario Estadístico de Pesca (SERNAPESCA 1996-1998). Las especies *S. solida*, *G. solida* y *M. edulis* no figuran en los registros de desembarque de esta Región (Tabla 2).

La administración de las pesquerías de almejas se ha enfocado sólo a regular su talla mínima de extracción. El D.S. N° 683 de 1980, establece para todo el país, una talla mínima de extracción de 55 mm de longitud para las almejas, incluyendo taquilla y tumbao. En el caso del culengue, esta talla es de 60 mm (RES N° 1102, de 1995) entre la I y XI Regiones.

Una de las deficiencias que aún se mantiene en la información pesquera de los moluscos bivalvos se refiere a la correcta identificación de las especies. Es imprescindible que los diversos agentes que intervienen en la obtención de esta información puedan reconocer específicamente los recursos que están siendo explotados por cada caleta; de otro modo, la calidad de la información respecto a cada recurso en particular se mantendrá en niveles lejanos al óptimo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la edad, el crecimiento, el ciclo reproductivo y la fecundidad de las cuatro principales especies de almeja de las Regiones IV y V.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar taxonómicamente las especies de almeja que son objeto de pesquería en las regiones IV y V y seleccionar del conjunto las cuatro más importantes.
2. Determinar la relación edad talla de las especies de almejas seleccionadas.
3. Determinar el crecimiento estacional y anual por rango de tamaño de las especies de almeja seleccionadas.
4. Validar la periodicidad de la formación de anillos de crecimiento para cada especie.
5. Estimar las relaciones talla - peso estacional y anual para cada especie.
6. Determinar y caracterizar el ciclo de madurez sexual de las especies seleccionadas.
7. Determinar los períodos de evacuación gamética de las especies seleccionadas.
8. Determinar la función de madurez y fecundidad de las especies seleccionadas.
9. Determinar la talla mínima de reproducción para cada especie.



I. IDENTIFICACIÓN DE ALMEJAS Y SELECCIÓN DE ESPECIES

En consideración a que el cumplimiento del objetivo específico 1 es indispensable para la realización de los restantes, a continuación se presentará su desarrollo en forma separada de los siguientes.

OBJETIVO 1

Determinar taxonómicamente las especies de almeja que son objeto de pesquería en las regiones IV y V y seleccionar del conjunto las cuatro más importantes.

1. METODOLOGÍAS

1.1. Selección de especies y de localidades para los muestreos piloto

De acuerdo con la programación, durante octubre de 1997 y una vez que estuvo disponible la primera cuota financiera, se iniciaron las actividades administrativas del proyecto.

Durante la segunda quincena de octubre de 1997 se visitaron 18 caletas de la IV Región y 26 de la V Región. Al momento de la visita, en la mayoría de las caletas, no había capturas recientes de almejas por lo cual la información acerca de las especies explotadas por los pescadores se obtuvo de modo indirecto. A los pescadores presentes en el momento de la visita se les presentó un muestrario de conchas de las siguientes especies de almejas: *Protothaca thaca*, *Venus antiqua*, *Eurhomalea lenticularis*, *E. rufa*, *Semele solida*, *Gari solida* y *Mulinia edulis* con el objeto de que señalaran aquellas especies que extraían, la importancia relativa que ellas tenían en volumen de explotación y la denominación común que ellos les dan. Además se recolectaron conchas de almejas en los alrededores de las caletas y se

compararon con las de la colección de referencia existentes en el Laboratorio de Malacología del Instituto de Oceanología.

Sobre la base de la información recopilada como resultado de las visitas a las caletas, se procedió a una selección preliminar de especies en ambas regiones con el fin de realizar posteriormente un muestreo piloto para determinar si en cada localidad había una abundancia y distribución de tallas de los individuos suficiente para asegurar un número mínimo de muestra para realizar cada una de las actividades comprometidas en la Propuesta Técnica.

En cada una de las localidades preseleccionadas se contactó al Sindicato de Pescadores para informarles acerca del estudio y coordinar la contratación de embarcación y equipo para la ejecución posterior de los muestreos piloto.

En un intento de disponer de cuatro especies para realizar los estudios, se seleccionaron preliminarmente las especies y localidades señaladas en la Tabla 3 para posteriormente realizar muestreos piloto.

1.2. Muestreos piloto

El objetivo principal de estos muestreos fue determinar si en la localidad seleccionada había un número de almejas suficiente para realizar todas las actividades requeridas por los distintos objetivos del proyecto.

Los muestreos piloto se efectuaron en las localidades de Punta Choros, Caleta Hornos, Peñuelas, Puerto Aldea y Pichidangui en la IV Región y en Maitencillo, Algarrobo y Cartagena en la V Región.

En los muestreos piloto se utilizó una embarcación artesanal contratada en la caleta. El diseño de muestreo, basado en la información de los buzos locales entrevistados previamente, consistió en la división del área aproximada del banco en una grilla de estaciones, comprendiendo tres profundidades y, al menos, tres transectas perpendiculares a la costa, completándose un total de 9 estaciones de muestreo. En cada una de las estaciones se registró la posición con un GPS Garmin 40, se determinó la profundidad con un escandallo, se registró la temperatura del

agua del fondo con un termómetro de inversión y se determinó el tipo de sustrato por observación directa de una muestra de sedimento o por análisis granulométrico. La obtención de las muestras bentónicas se hizo mediante buceo semiautónomo en forma manual y en dos ocasiones, con ayuda de una bomba de succión.

Para obtener las muestras cuantitativas de almejas, en cada estación se lanzó, al azar, una cuadrata de 0.25 m^2 , la que se aplicó 4 veces consecutivas en el mismo sitio, completando una muestra de 1 m^2 . Posteriormente la cuadrata se desplazó, dentro de la misma estación, y se repitió el procedimiento hasta completar 3 m^2 por estación. De cada una de las cuadratas se extrajeron todos los ejemplares presentes en los primeros 20 cm de profundidad, los cuales se guardaron en bolsas plásticas, previamente identificadas. En las localidades con fondo de conchuela, no fue posible enterrar la cuadrata por lo que esta se colocó en la superficie del sustrato y se excavó hasta los 20 cm de profundidad, extrayéndose todos los ejemplares presentes.

En cada ejemplar recolectado se midió la longitud total (máxima distancia antero posterior de la concha), con un vernier, con precisión de 0,1 mm.

Se calculó la densidad media de individuos por m^2 para cada una de las localidades y especies estudiadas.

Por otra parte, con la información recopilada en las visitas a las caletas se procedió a diseñar y confeccionar una "Guía de reconocimiento de almejas de la IV y V Regiones" (anexo 1), actividad ofrecida como sobreoferta en la Propuesta Técnica, con el objeto de disponer de una herramienta visual que permitiera a cualquier usuario, sin entrenamiento previo en ello, distinguir las distintas especies de almejas que constituyen recursos en estas dos regiones.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No hubo mayor dificultad para identificar las especies de almejas explotadas en las dos regiones, bastando comparar las características morfológicas de la concha.

Sin embargo, se evidenció una variedad de denominaciones locales para algunas especies.

Las caletas visitadas, su ubicación geográfica, la existencia de bancos de bivalvos, las especies que se explotan y la importancia relativa de estas en la actividad pesquera de la caleta, se resumen en las Tablas 4 y 5.

En la mayoría de las entrevistas en las caletas, los pescadores manifestaron que desde hacía varios meses no estaban explotando almejas debido a su escasez y a su bajo precio. El mayor esfuerzo que deben hacer para obtener una cantidad dada de almejas de talla legal (> 55 mm de longitud) y el bajo valor en playa (entre \$80 y \$200 por kilo) hace muy poco rentable la extracción de ellas. Por otra parte, durante el año se produjeron temporales de lluvia y viento además de fuertes marejadas que provocaron mortalidades masivas de recursos bentónicos por embancamiento de sedimentos o arrastres de los animales a las orillas de playas lo que, en consecuencia, disminuyó los niveles de extracción.

La información entregada por los pescadores entrevistados no coincide con los datos oficiales del Anuario Estadístico de Pesca (SERNAPESCA 1997), ni con la información proporcionada por el SIP, de SERNAPESCA (Tablas 1 y 2) en el sentido de que en Peñuelas, Coquimbo, Tongoy y Puerto Aldea, se señala un fuerte desembarque de almejas, sin embargo, en este estudio se estableció que en Peñuelas y en Puerto Aldea se estaba únicamente explotando taquilla, que en Coquimbo no se estaba explotando almejas y que ni en Tongoy ni en ninguna otra localidad de la IV Región se estaba explotando tumbao.

La visita a las caletas mostró que aún cuando en la IV Región existirían bancos (en densidades desconocidas) de *P. thaca*, *E. lenticularis*, *E. rufa*, *S. solida*, *G. solida* y *M. edulis*, la única especie que estaba siendo explotada en forma sostenida era *M. edulis*. Estos resultados se ven confirmados con la drástica disminución del desembarque de almejas, a menos del 2%, durante 1998 (SERNAPESCA 1998).

En la V Región, se confirmó que *E. lenticularis* es la especie de almeja más explotada, siendo capturada sólo en el banco de Algarrobo, por pescadores de las caletas de Algarrobo y El Quisco. Esto se corrobora al ser San Antonio el único

punto de desembarque de almejas durante 1998 (SERNAPESCA 1998). La almeja *P. thaca* y, en mucho menor escala, el culengue, *G. solida*, se explotan ocasionalmente, de acuerdo a las exigencias del mercado. En todas las caletas visitadas que mostraban una extracción histórica de la almeja *P. thaca*, los pescadores señalaron que, en la actualidad, las capturas de esta especie eran muy pequeñas y aperiódicas. En ninguna de las caletas visitadas se estaba explotando la almeja *E. rufa* o el tumbao *S. solida* y tampoco se encontraron las almejas *V. antiqua* y *Chione sp.* en estas regiones.

En la propuesta técnica se señalaron tres posibles situaciones a encontrar con relación a la explotación de almejas en las dos regiones de estudio, partiendo de la base de que, al menos cuatro especies estaban siendo explotadas en ellas. Sin embargo, la visita a las caletas puso de manifiesto una situación enteramente diferente: solamente dos especies estaban sosteniendo la pesquería artesanal de bivalvos en las Regiones IV y V: la taquilla *M. edulis*, en la IV Región y la almeja *E. lenticularis* en la V Región, situación que se mantuvo durante 1998 (SERNAPESCA 1998).

Aún cuando no estaba formando parte de la actividad pesquera de las caletas, durante el último trimestre de 1997 y en consideración a que hubo cierto consenso entre los pescadores en considerar a la almeja *P. thaca* como la especie de mayor demanda y mejor precio, se decidió intentar incorporar a esta especie en el estudio. También se intentó incluir a la almeja *E. rufa* debido a la casi completa carencia de información respecto de esta especie.

En relación con los resultados de los muestreos piloto, la Tabla 6 muestra las características batimétricas, la temperatura del agua y el tipo de sedimento de los sitios de muestreo. Los resultados de la densidad media de individuos de las diferentes especies obtenidos en los muestreos piloto en las distintas localidades se muestran en la Tabla 7.

Destacan los bancos de *M. edulis*, tanto de Peñuelas como de Puerto Aldea por haber presentado una mayor densidad promedio (112,2 y 97,5 individuos/m², respectivamente) y una mayor densidad máxima (304 y 180 individuos/m²,

respectivamente). Del mismo modo, estas localidades presentaron la mayor desviación estándar (75,94 y 46,3, respectivamente).

En Punta Choros, las densidades de *P. thaca* y *S. solida* presentaron valores relativamente altos (15,8 y 18,7 individuos/m²), sin embargo la extensión del banco de ambas especies se limita a un pequeño sector ubicado entre ambas caletas. El sustrato está compuesto principalmente de conchuela y rocas. En esta localidad también se detectó la presencia de *G. solida* aunque en densidades muy bajas (0,6 individuos/m²).

En Pichidangui se detectó un banco de pequeña extensión de *E. lenticularis* y un punto de concentración de *P. thaca* junto al muelle del Club de Yates. Las densidades obtenidas de ambas especies no permitían asegurar un muestreo periódico en cantidades suficientes para cumplir los objetivos del proyecto. En particular, la población de *P. thaca* presentó una densidad muy baja (2 individuos/m²). Cantidades más pequeñas aún se encontraron de las especies *S. solida* y *G. solida*.

Por otra parte, los bancos de *P. thaca* de Maitencillo y Cartagena también presentaron una extensión limitada y bajas densidades (4,1 y 1,2 individuos/m²). Adicionalmente, en Cartagena se encontraron pequeñas cantidades de *E. lenticularis* y *S. solida*.

Además, el banco de *E. lenticularis* de Algarrobo presentó una extensión de aproximadamente 1.200 m con una densidad relativamente alta (11,4 individuos/m²). En este banco el muestreo piloto dio como resultado dos estaciones sin individuos, lo que disminuyó los valores de densidad promedio.

Por otra parte, los muestreos piloto para determinar la ubicación y abundancia de *E. rufa* en Tongoy y Cta. Hornos dieron como resultado una escasez de ejemplares; debido a que esta especie habita en fondos con piedras y cascajo, fue dificultosa la obtención de individuos, así como el cálculo de densidad (individuos/m²) debido a que la cuadrata no fue operable en dicho sustrato.

Las distribuciones de frecuencia de talla de los muestreos piloto se muestran en las Figs. 1 a 4. Es interesante observar la escasez de ejemplares bajo tallas 40-45

mm en la mayoría de los sitios muestreados, salvo *P. thaca* en Cartagena, lugar en el cual no se encontraron ejemplares sobre 35 mm.

Las distribuciones de frecuencia de talla del muestreo piloto, por transecta y estación, de cada una de las tres localidades seleccionadas se muestran en las Figs. 5 a 7.

La Fig. 5 muestra la distribución de frecuencia de tallas de *M. edulis* de Peñuelas. Como se mencionó anteriormente, este banco presentó una gran extensión pero un estrecho rango batimétrico debido a la poca pendiente del fondo. Debido a lo anterior se efectuaron 5 transectas en dos profundidades. En general, los datos agrupados por estación no presentan diferencias notables en su distribución. Los individuos de los rangos inferiores de tamaño se encontraban representados en escasa cantidad. Adicionalmente a la grilla de muestreo se efectuó un recorrido del banco con el objeto de ubicar concentraciones de individuos de pequeño tamaño, sin resultados positivos.

La Fig. 6 muestra la distribución de frecuencia de tallas de *M. edulis* de Puerto Aldea. Al igual que en el caso de Peñuelas, la poca pendiente del fondo permitió trabajar en sólo dos profundidades en 5 transectas perpendiculares a la costa.

La distribución de frecuencia de tallas muestra, en todas las estaciones, una clara predominancia de los grupos de talla de 55 mm y superiores. No se encontraron tallas inferiores a los 45 mm en ninguna de las estaciones del muestreo piloto. Al igual que en Peñuelas se efectuó un recorrido del banco sin detectar la presencia de individuos de las tallas inferiores.

La Fig. 7 muestra la distribución de frecuencia de tallas de *E. lenticularis* de Algarrobo. En este caso las estaciones 1 ($z = 10$ m) y 3 ($z = 20$ m) de la transecta 1 no presentaron individuos. Lo anterior, a pesar que, en muestreos preliminares en la misma zona se habían encontrado ejemplares de *E. lenticularis*. Todas las estaciones con presencia de individuos de la especie presentaron distribuciones similares, en las que se hallaron representados individuos desde el rango de talla de 10-15 mm hasta 75 mm y más. Sin embargo, se destaca la presencia de un hiato en

la distribución en la cual los individuos de los rangos de talla 30-35 y 40-45 mm no se encuentran representados.

Los resultados de los muestreos piloto entregaron las bases para la determinación de los sitios definitivos de muestreo; además permitieron descartar bancos que, aunque en informaciones previas o estadísticas de SERNAPESCA parecían promisorios, en la realidad correspondían a bancos con una escasa extensión y muy baja densidad (lo que no aseguraba los números mínimos para los muestreos mensuales requeridos) o presentaban una distribución de tallas en un estrecho rango.

Los resultados pusieron en evidencia la imposibilidad de realizar los estudios originalmente propuestos en cuatro especies de almejas como lo requerían las Bases Técnicas de Referencia, debido, en primer lugar, a que no estaban siendo explotadas cuatro especies de almejas sino sólo dos y aunque de las otras dos especies era posible encontrar pequeñas agregaciones, había carencia de un número suficiente de ejemplares que asegurara el total cumplimiento de los objetivos, situación que fue informada oportunamente al Fondo de Investigación Pesquera, con el objeto de obtener autorización del Consejo de Investigación Pesquera, respecto de concentrar el esfuerzo del estudio en las especies de almejas que actualmente están siendo principalmente explotadas en la IV y V Regiones del país. Es probable que el requerimiento por parte del FIP, de incluir cuatro especies en el estudio, se haya basado en información estadística relativa a la explotación de almejas en estas regiones, durante los años precedentes a 1997, situación que fue radicalmente distinta durante ese año y que aún se mantuvo en 1998, especialmente en la IV Región.

Inicialmente se habían seleccionado dos especies en tres localidades pero con posterioridad (mayo 1998), a sugerencias del evaluador y debido a la posibilidad de acceder a la localidad, se contactó al Sindicato de Pescadores de Punta Choros para solicitar autorización para efectuar un muestreo piloto en su área de manejo; los resultados obtenidos en esa oportunidad determinaron incluir a *P. thaca* entre las especies estudiadas sin embargo, los muestreos de *P. thaca* tuvieron que ser

suspendidos en julio de 1998 por no disponerse de financiamiento para completar un estudio anual hasta mediados de 1999. A pesar de ello, este Informe incluye todos los resultados obtenidos con esta especie.

En definitiva, se determinó trabajar con tres especies en cuatro localidades:

- a) *M. edulis* en Peñuelas y Pto. Aldea (IV Región)
- b) *P. thaca* en Pta. Choros (IV Región)
- c) *E. lenticularis* en Algarrobo (V Región)

La morfología de las tres especies estudiadas se muestra en la Fig. 8 y la ubicación geográfica de las cuatro localidades seleccionadas se señalan en las Figs. 9 y 10.

3. CONCLUSIONES

- En la IV Región se explota principalmente la taquilla *Mulinia edulis* de Peñuelas y Tongoy (Puerto Aldea). Las almejas *Semele solida*, *Gari solida*, *Protothaca thaca*, *Eurhomalea lenticularis* y *E. rufa* se explotan en mucho menor cantidad.
- En la V Región se explota principalmente la almeja *Eurhomalea lenticularis* mayoritariamente de la rada de Algarrobo. *Protothaca thaca* y *Gari solida* se explotan en mucho menor cantidad y en forma esporádica. *Semele solida* y *Mulinia edulis* no forman parte de la actividad pesquera en la V Región.
- Con respecto a *Mulinia*, es imprescindible efectuar estudios para dilucidar si las diferentes poblaciones que se explotan en Chile corresponden solamente a *M. edulis* o a otras especies del género señaladas para estas latitudes. Esto debido a que hay notorias diferencias morfológicas en las conchas de ejemplares de *Mulinia* obtenidos en distintas localidades del país.

II. ESTUDIO DE EDAD Y CRECIMIENTO

1. METODOLOGÍAS DE LOS OBJETIVOS 2 A 5

1.1 Objetivo 2

1.1.1. Diseño de muestreo

Para cada una de las especies y localidades seleccionadas en el objetivo 1, el estudio de crecimiento se realizó mensualmente, durante 12 meses, en el sitio de muestreo escogido tras realizar el muestreo piloto (descrito en el punto anterior).

En el muestreo piloto se determinó que las tallas no se encontraban distribuidas uniformemente en la zona de muestreo, estando ausente las tallas menores. Se realizó un esfuerzo adicional en la búsqueda de individuos de baja talla para programar muestreos dirigidos estratificados por talla. Sin embargo, debido a la imposibilidad de encontrar éstos y debido, además, a la fuerte fluctuación de las densidades entre distintos meses, en los bancos de almejas estudiados, se realizaron los muestreos poblacionales mensuales en los lugares que aseguraran una captura mínima de 500 ejemplares (modificado de la propuesta original y aceptado en el Informe de Avance).

1.1.2. Muestreo poblacional

Se realizaron muestreos mensuales en las siguientes localidades y de las siguientes especies seleccionadas:

- a) Punta Choros, IV Región, *P. thaca* (sólo 2 meses).
- b) Peñuelas, IV Región, *M. edulis*.
- c) Puerto Aldea, IV Región, *M. edulis*.
- d) Algarrobo, V Región, *E. lenticularis*.

Los muestreos se realizaron mediante buceo semiautónomo desde una embarcación de 8 m de eslora equipada con compresor Hooka y sistema GPS. Las áreas y profundidades de muestreo se definieron a partir de la información obtenida de los muestreos piloto. En cada localidad se realizaron muestreos mensuales de 500 individuos extrayendo todo el rango de tallas encontrado. En casos excepcionales, debido a malas condiciones de tiempo, visibilidad mínima, o fuertes alteraciones de los bancos, producto de las marejadas, se trabajó con una muestra inferior a los 500 individuos. De cada organismo capturado se midió su largo (máxima distancia anteroposterior de la concha) con un vernier con una precisión de 0,1 mm.

Con los datos así obtenidos se generaron las bases de datos, en planillas Excel, con las que posteriormente se construyeron y graficaron las distribuciones de frecuencia de tallas.

1.1.3. Cálculo de la relación edad - talla

Originalmente se propuso realizar el cálculo de la relación edad - talla, para cada una de las especies estudiadas, a partir de análisis de la distribución de frecuencia de tallas (DFT) usando progresión modal. Este método se basa en la presunción de que cada una de las clases modales de la distribución de frecuencia corresponde a una cohorte y representa, por tanto, diferentes clases de edad, determinadas a intervalos de tiempo regulares. Estos análisis pueden aplicarse a poblaciones con un reclutamiento marcadamente estacional, lo que permite mantener la identidad de las clases anuales en el tiempo; además, que tengan un crecimiento lo suficientemente rápido como para evitar la superposición de tallas en las clases de edad sucesivas. Cuando la reproducción es continua a lo largo del año, la estructura de tallas no refleja la estructura de edades. Sin embargo, los datos obtenidos de los muestreos poblacionales no reflejaron corrimientos de tallas modales, es decir, los datos no muestran cohortes distinguibles que progresan en el tiempo. Debido a lo expuesto en el párrafo anterior, se modificó la metodología

propuesta, en virtud de obtener la clave solicitada, utilizando los datos de medición de anillos externos sucesivos en valvas de almejas de las tres localidades seleccionadas, construyendo un arreglo matricial de rangos de talla / nº de anillos, para luego llevar las frecuencias absolutas a frecuencias relativas, complementado con el cálculo del índice de separación, los promedios de talla al anillo y su correspondiente desviación estándar. Posteriormente, la misma metodología se aplicó a los datos obtenidos del análisis de marcas internas.

Cálculo del índice de separación (I)

Este índice permite evaluar el grado de separación de los componentes vecinos, en comparación con el tamaño de la desviación estándar. Por ello es que se usó este índice para analizar la posibilidad de separar los diferentes grupos de edad provenientes de la clave talla - edad.

$$I = \frac{L(a+1) - L(a)}{(s(a+1) + s(a))/2}$$

L representa la media y s la desviación estándar de las clases a y $a+1$. Para interpretar los valores calculados se utiliza la siguiente regla práctica: si $I < 2$ es prácticamente imposible separar los componentes (Sparre y Venema 1992).

Por las razones antes expuestas, no se utilizó Progresión Modal para encontrar la función de crecimiento de las especies estudiadas, pero sí se aplicaron las metodologías de Lectura de Anillos Externos y Lectura de Marcas Internas de Crecimiento. Para ambos métodos, el cálculo del Índice de Separación es meramente **referencial** y refleja una alta o baja desviación estándar de la talla promedio con respecto a un grupo de edad.

1.2 Objetivo 3

1.2.1. Crecimiento anual a partir de datos edad - longitud (DEL) = datos anillos de crecimiento (DAC) / marcas internas

La distancia desde el umbo a cada anillo de crecimiento, en la superficie externa de las valvas, se midió con un vernier de precisión 0,1 mm; para ello se tomaron 30 individuos de cada especie, distribuidos uniformemente sobre todo el rango de tallas disponible. El recuento de los anillos de crecimiento y la correspondiente longitud de cada individuo fueron ordenados en una base de datos anillo - longitud.

El mismo procedimiento se utilizó para el análisis de marcas internas, midiendo la distancia desde el umbo a cada marca (radio) (Fig. 11), con un vernier digital de precisión 0,1 mm. Para describir el crecimiento se utilizó la función de crecimiento no oscilante de von Bertalanffy (VBGF) (von Bertalanffy 1938):

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

donde L_∞ es la longitud asintótica (mm), k es la constante de crecimiento (año^{-1}), t es la edad (años) y t_0 es la edad a la longitud 0 (King, 1995).

Los parámetros de crecimiento de la VBGF fueron estimados por el ajuste del modelo a DEL utilizando el método iterativo no - lineal de los mínimos cuadrados (algoritmo SIMPLEX, Press *et al.* 1986; Wilkinson 1988).

En los individuos grandes es difícil separar y contar los últimos anillos de crecimiento debido al reducido incremento que estos experimentan, de modo que los anillos aparecen muy próximos o se sobreponen. Por lo tanto, no es inusual obtener datos que sobrestimen L_∞ y subestimen k , debido a que estos dos parámetros están inversamente relacionados (Pauly 1979). Por lo tanto, estos parámetros tienen que ser verificados, y si L_∞ es significativamente diferente de

L_{max} , la máxima longitud encontrada en la población, la longitud asintótica puede ser estimada por un método alternativo (método de Powell - Wetherall, Wetherall *et al.* 1987) donde la ecuación - Z de Beverton & Holt (1956) basada en los datos de longitud es reordenada como una ecuación de regresión lineal, de la siguiente forma:

$$ML - L' = a + b L' ; Z/K = -(1 + b)/b ; L_{\infty} = - a/b$$

en la cual **ML** es la longitud media de los individuos de longitud L' y mayores, y L' es la longitud para la cual todos los individuos de esa longitud y mayores están bajo plena explotación. Para obtener los parámetros de crecimiento correctos, el algoritmo tiene que ser nuevamente corrido con valores fijos de L_{∞} calculados como se describió arriba.

Para comparar las diferencias en las tasas de crecimiento de una misma especie en dos sitios o entre especies, se calculó el índice de crecimiento estándar (ϕ') (Pauly & Munro 1984; Vakily 1992), que unifica los valores de k y L_{∞} pero eliminando las variaciones de estos parámetros (Sparre & Venema. 1992). Este índice ha sido usado exitosamente en bivalvos de fondos blandos (Vakily 1992; Defeo *et al.* 1992a).

1.2.2. Análisis de anillos de crecimiento en la superficie externa de las conchas

Debido a que las conchas de bivalvos tienen generalmente una gran cantidad de marcas en su superficie externa, se consideraron anillos de crecimiento anual a los más acentuados, fuertes o principales. Los restantes anillos se consideraron marcas de perturbación o también denominados anillos débiles o secundarios. Por lo tanto, el análisis de anillos externos de crecimiento en conchas de almejas estuvo

referido al recuento de anillos fuertes (descartando los débiles) que se observan en la superficie externa de las conchas de almeja. Esta actividad fue ejecutada por una persona especialmente entrenada para este objetivo.

El material biológico a ser analizado se obtuvo mediante separación, al azar, de 200 individuos de todo el rango de tallas disponibles, de las siguientes especies y localidades: *Protothaca thaca* de Punta Choros, *Mulinia edulis* de Peñuelas, *Mulinia edulis* de Puerto Aldea y *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo.

Se entrenó a los lectores en el reconocimiento morfológico de las especies, para luego definir lo que se consideraría como anillo externo de crecimiento y se realizaron lecturas de pruebas.

Al iniciar el entrenamiento de los lectores surgieron las siguientes preguntas: a) ¿es la valva izquierda una réplica exacta de la valva derecha para efecto de realizar el análisis de anillos externos? o, dicho de otra forma, ¿se obtiene el mismo resultado al hacer el análisis en la valva izquierda que en la derecha? b) ¿tiene algún lector mayor precisión que los otros en el análisis de anillos de crecimiento? ó ¿es el lector capaz de leer siempre lo mismo? y c) ¿todas las especies presentan igual dificultad en el análisis de las conchas o hay especies más difíciles de leer?

Con el objeto de dilucidar estas interrogantes se implementó el siguiente diseño experimental: de cada uno de los 4 grupos de 200 individuos señalados más arriba, se separaron 60 de ellos, obtenidos de todo el rango de tallas disponible, se numeraron correlativamente sus valvas izquierda y derecha, comenzando por la primera, de modo que las valvas izquierdas tuvieron numeración impar y las derechas par. Se entrenaron tres lectores, cada uno de los cuales tomó al azar y leyó cada una de las 120 valvas. Los datos de lectura de anillos se anotaron en la ficha de registro confeccionada para este fin. Al analizar la correspondencia entre el análisis de la valva izquierda y derecha se obtuvo un indicador con el cual responder la pregunta a).

Posteriormente, de entre las mismas 120 valvas ya leídas, y por cada grupo, se seleccionaron al azar 36 valvas, efectuándose una nueva lectura por parte de los tres lectores; los datos de lectura se anotaron en la ficha de registro

correspondiente. Esto permitió tener un indicador de la precisión de la lectura de cada lector y así responder la pregunta b). Para responder la pregunta c) se analizó la varianza entre lectores por especie.

Una vez que fue seleccionado el lector con mayor precisión, éste leyó los anillos en los 140 individuos restantes de cada uno de los cuatro grupos ya mencionados. El análisis se realizó tomando al azar cada uno de los individuos, a los cuales se les realizó el recuento de anillos de crecimiento. Los datos de lectura se anotaron en la ficha de registro correspondiente. Además, se midió la distancia desde el umbo a cada anillo de crecimiento con un vernier de 0,1 mm de precisión, en la superficie de las valvas de 30 individuos, para cada uno de los cuatro grupos antes señalados. Las mediciones se anotaron en la ficha de registro correspondiente.

1.2.3. Análisis de marcas internas

Debido a las dificultades metodológicas que se presentaron en los estudios de edad y crecimiento, al aplicar los métodos originalmente propuestos, de progresión modal y marcaje - recaptura, fue necesario incluir otro procedimiento para generar información que complementara aquella obtenida previamente, permitiendo así cumplir con los objetivos pertinentes.

Esta nueva metodología, consistente en el análisis de marcas internas de crecimiento en la concha, tuvo como objetivo aumentar la precisión de la función de crecimiento, corroborar la clave talla – edad, describir el crecimiento estacional y validar la periodicidad de la formación de anillos en las especies estudiadas. Este método, más laborioso que el análisis de marcas externas de la concha, ha sido descrito para diferentes especies de almejas por Kato & Hamai (1975), Peterson *et al.* (1983), Peterson *et al.* (1985), Searcy *et al.* (1989), Bourget & Brock (1990), entre otros autores.

El material biológico consistió en valvas de por lo menos cinco individuos de cada especie, obtenidas mensualmente, de todo el rango de talla. De *M. edulis* de

Peñuelas, se examinaron muestras obtenidas de enero a diciembre de 1998, con excepción de febrero y marzo; de *M. edulis* de Pto. Aldea, hubo muestras disponibles de enero a diciembre de 1998 con excepción de febrero; de *P. thaca* de Pta. Choros, hubo muestras de junio y julio de 1998 y de *E. lenticularis*, se examinaron muestras de enero a diciembre de 1998, con excepción de febrero. Las conchas seleccionadas fueron numeradas, registrándose su longitud (máxima distancia anteroposterior) y altura (máxima distancia dorsoventral), con un vernier digital de precisión 0,1 mm.

Para realizar el análisis de marcas internas, las valvas se cortaron transversalmente, con un cortador de disco, para examinar la estructura interna de la concha y verificar la existencia de marcas, probablemente relacionadas con el crecimiento (Fig. 11).

Las muestras se prepararon de dos formas, previo al corte: a) con una pincelada o baño de resina cubriendo completamente las superficies externa e interna de la concha y b) con inclusión total de la concha en bloques de resina. Se utilizó resina debido a que el cortador de disco causa desprendimiento de partes de la concha en la zona de corte o quiebre de esta antes de finalizar el corte.

Se usó la valva izquierda, dejando la derecha como réplica, para preparar las muestras insertas en resina. Una vez que se dispuso de valvas cortadas y pulidas se procedió a la caracterización, recuento, medición de marcas internas y al análisis de borde.

La observación de las valvas y el registro fotográfico de las marcas internas observadas en las tres especies estudiadas se realizó con un microscopio estereoscópico Wild M8 provisto de equipo fotográfico Leica Wild MPS12.

La caracterización se basó en el tipo (grosor y color) y profundidad (distancia desde el borde externo de la concha hasta el punto donde se pierde en el interior de la matriz) de las marcas observadas. Para el recuento se consideraron sólo marcas del mismo tipo, utilizando criterios particulares para cada especie. La distancia entre las marcas se midió, con un vernier digital de precisión 0,1 mm, en forma lineal, por la superficie de la valva, desde el umbo hasta el punto donde se ubicó cada anillo

de crecimiento (para determinar las variaciones de crecimiento - delta crecimiento - por talla), midiendo para ello la separación entre los anillos (Kato & Hamai 1975).

El análisis de borde consistió en determinar el tipo de borde en la estructura calcárea, esto es, opaco o traslúcido, y medir la distancia marginal, desde el último anillo o marca al borde de la concha (Fig. 11), con un vernier digital de precisión 0,1 mm.

1.2.4. Crecimiento estacional a partir de datos de marcaje - recaptura (DMR)

Para el estudio de crecimiento estacional de las almejas se usó el método de marcaje - recaptura. Los individuos fueron medidos con vernier, marcados con un número en ambas valvas y luego puestos en cajas llenas con sustrato proveniente del sitio de muestreo. Estas cajas fueron ubicadas en el sitio de estudio. Después de diferentes intervalos de tiempo (aproximadamente cada 2-3 meses), las cajas fueron recuperadas y se registró el crecimiento. Con el objeto de estudiar el efecto de la estacionalidad, se realizaron 3 conjuntos de experimentos. El primero de ellos cubrió el período de verano, el segundo, invierno y el tercero, primavera. Así la duración total de este experimento fue de un año. Los datos fueron arreglados como DMR. Los datos fueron analizados separadamente (cada conjunto de datos) para estudiar el crecimiento en las diferentes estaciones o en conjunto como un sólo grupo en orden a estimar los parámetros oscilantes de crecimiento.

Previendo la pérdida del material depositado en cajas en los sitios de muestreo y para disponer de un mínimo de información respecto a crecimiento de las especies en estudio, se realizaron seis intentos de mantener, en el área de Montemar, cajas con ejemplares marcados de *M. edulis* provenientes de Peñuelas y Puerto Aldea y de *E. lenticularis* de Algarrobo. Para ello, en las localidades ya mencionadas se obtuvieron ejemplares y sedimento local, los que fueron trasladados a Montemar. Las cajas utilizadas fueron recubiertas interiormente con una malla de polietileno de 1 mm de apertura para evitar el ingreso de sustrato local a las cajas. Una vez colocados los ejemplares previamente numerados y medidos,

en las cajas, estas fueron cubiertas con una malla de 20 mm de abertura para evitar el ingreso de depredadores (principalmente crustáceos). Las cajas se anclaron al sustrato mediante bolsas de red rellenas con piedras y en lugares relativamente protegidos dentro de la poza de Montemar, asegurándose que las cajas estarían siempre cubiertas por agua. La fecha de marcaje y la cantidad de individuos marcados se muestran en las Tablas 22 y 23 para *M. edulis* y 25 para *E. lenticularis*.

1.2.5. Crecimiento estacional a partir de análisis de incremento marginal

Si se considera que la marca de julio-agosto corresponde a la marca inicial, equivalente a marcaje-recaptura, las medidas del incremento marginal (distancia desde la última marca al borde ventral) permiten tener una estimación del incremento en longitud mensual (para muestras mensuales) o estacional (para muestras obtenidas cada tres meses). Se define el incremento marginal como la distancia, en milímetros, desde la última marca de crecimiento hasta el borde de la concha (Fig. 11). Esta medida, en forma absoluta, es un indicador del crecimiento de la concha luego de la última marca y cumple la función para la cual fue definida.

1.2.6. Crecimiento no oscilante estacional con DMR y/o marcas internas

Los parámetros de crecimiento fueron estimados utilizando el método de Fabens (Fabens, 1965), por el ajuste de una función reordenada de la VBGF con DMR utilizando el algoritmo Simplex.

$$L_2 = L_1 + (L_\infty - L_1) (1 - e^{-k(t_2 - t_1)})$$

en el cual, L_1 es la longitud al comienzo y L_2 la longitud al término del intervalo de tiempo $t_2 - t_1$. Con este método sólo pueden ser estimados L_∞ y k . Con el objeto de estimar t_0 la VBGF, fue ajustada con DEL con el algoritmo Simplex.

Los métodos de estimación de crecimiento como los descritos arriba pueden conducir a valores erróneos de L_{∞} . Por ejemplo, muy bajos valores pueden obtenerse si grandes individuos se pierden del conjunto de datos de marcaje - recaptura. Así ocurre aquí un problema similar al mencionado en la sección 3.3.1. De aquí que, individuos de todas las clases de tamaño deben ser seleccionados para los experimentos de marcaje - recaptura. Sin embargo en el caso de que L_{∞} sea considerablemente diferente de L_{max} , también el método de Powell - Wetherall tiene que ser aplicado (ver sección 3.3.1).

1.2.6. Crecimiento oscilante anual a partir de DMR

La estacionalidad del crecimiento puede también ser descrita por medio de una curva de crecimiento anual oscilante. Por lo tanto, se usó una versión modificada de la función de crecimiento de von Bertalanffy (VBGF), la cual da cuenta del crecimiento oscilante (Somers 1988, modificado de Pauly & Gaschütz 1979):

$$L_t = L_{\infty} \left\{ 1 - e^{-k[(t-t_0) - T1 + T2]} \right\}$$
$$T1 = \left\{ C \sin [2 \pi (t - t_s)] / 2 \pi \right\}$$
$$T2 = \left\{ C \sin [2 \pi (t_0 - t_s)] / 2 \pi \right\}$$

donde C es la amplitud de la oscilación del crecimiento (año^{-1}) y t_s es el punto de partida de la oscilación C . Los parámetros de crecimiento son estimados por el ajuste de una función reordenada a los datos de marcaje - recaptura utilizando el algoritmo Simplex. Con este método, que fuera desarrollado por Appeldoorn (1987), el parámetro t_0 no puede ser estimado; sin embargo, asumiendo que este parámetro sea 0, las curvas de crecimiento pueden ser graficadas contra las edades relativas (años - t_0):

$$L_2 = L_{\infty} \left\{ 1 - (1 - L_1/L_{\infty}) e^{-k[(t_2 - t_1) - T1 + T2]} \right\}$$

$$T_1 = \{ C \text{ sen } [2 \pi (t_1 - t_s)] / 2 \pi \}$$

$$T_2 = \{ C \text{ sen } [2 \pi (t_2 - t_s)] / 2 \pi \}$$

donde, L_1 y L_2 corresponden a la longitud al comienzo y al término del intervalo.

1.3. Objetivo 4

En este proyecto se propuso validar la periodicidad de la formación de anillos por dos métodos:

1.3.1. Comparación de DAC y DMR con el método de la grilla auximétrica

La suposición básica detrás del análisis de anillos de crecimiento es que éstos se forman con una periodicidad anual; sólo si ésta es verdadera, el crecimiento anual puede ser estimado a partir de los datos de anillos de crecimiento. Así, es un objetivo importante a confirmar que aquellos anillos identificados como anuales sean verdaderamente formados a intervalos anuales. Esto puede hacerse utilizando los datos de crecimiento (DAC y DMR) comparando los datos de anillos de crecimiento con los datos de marcaje - recaptura. La aplicación de los datos de marcaje - recaptura no está limitado por la suposición mencionada arriba, así, si el crecimiento calculado a partir de los datos de anillos de crecimiento es idéntico o similar al crecimiento anual (no oscilante), estimado a partir de los datos de marcaje - recaptura, se puede suponer que los anillos de crecimiento se forman anualmente.

Se propuso estimar el crecimiento anual a partir de dos fuentes de datos:

- a) de DEL (= DAC)
- b) de DMR, utilizando el grupo de datos completo, los cuales así tomados corresponden a un año.

En pesquerías, el modelo de crecimiento más frecuentemente aplicado es la función de crecimiento de von Bertalanffy (VBGF) (1938), el cual se fundamenta en

la relación alométrica entre la masa corporal y el área del cuerpo. En conjunto con la longitud asintótica, L_{∞} , otro parámetro importante de la VBGF es el parámetro de crecimiento k , el cual representa la tasa a la cual L se acerca a L_{∞} (King 1995). Como los dos parámetros L_{∞} y k están inversamente relacionados, lo que implica que el crecimiento de poblaciones diferentes o especies con diferente L_{∞} no pueden ser comparados sólo por medio de k , un método que considera este problema ha sido desarrollado por Pauly (1979). La grilla auximétrica es un gráfico de k versus el peso asintótico W_{∞} en una escala doble logarítmica. Especies o poblaciones de crecimiento similar aparecen en la misma línea de base, la cual relaciona certeramente valores de k y W_{∞} . El crecimiento depende de muchos factores, de aquí que los datos de crecimiento de un grupo nunca caigan exactamente en una línea de base pero varían de ella de forma normalmente distribuida. Los datos de crecimiento de cada grupo por lo tanto forman agrupaciones o "clusters" elípticos. Esta suposición fue confirmada para bivalvos por Vakily (1992) quién comparó el crecimiento de 190 poblaciones de diferentes especies de bivalvos. Los pesos asintóticos W_{∞} , necesarios para la grilla auximétrica, pueden ser calculados por regresiones lineales de las relaciones peso - longitud.

1.3.2. Periodicidad en la formación de anillos de crecimiento a través de experimentos de marcaje - recaptura

Adicionalmente a lo descrito en el punto referente al experimento de marcaje - recaptura, se registraron todos los anillos (los de crecimiento anual y los de perturbación) visibles en la superficie externa de la concha de los individuos marcados. Simultáneamente, a cada individuo, se le hizo una marca, perpendicular a las líneas de crecimiento, con una lima, en el borde ventral de la concha, con el objeto de comparar el crecimiento pre y post marca e identificar el período en el cual aparecen los anillos. Estos especímenes fueron recuperados a intervalos de tiempo de 3 meses, durante un período anual, lo cual permitiría:

- a) detectar el número de anillos que se forman en un año.
- b) determinar la época en que esto ocurre.
- c) determinar la magnitud del incremento del borde, estacional, a la talla.

Una vez concluido el experimento, las cajas recuperadas con individuos marcados, se llevaron al laboratorio y, en cada uno de ellos, se midió el incremento del borde tras la marca, analizando además la presencia de nuevos anillos. Los datos fueron registrados en una ficha y luego transcritos a planillas Excel para su análisis.

Posteriormente, en consideración a los resultados obtenidos en marcaje y recaptura y a objeto de dar cumplimiento a este objetivo, se decidió implementar un tercer método de validación de la periodicidad en la formación de anillos.

1.3.3. Validación de la periodicidad en la formación de marcas internas utilizadas en el estudio de edad

Posteriormente, en consideración a los resultados obtenidos en marcaje y recaptura y a objeto de dar cumplimiento a este objetivo, se decidió implementar un tercer método: Validación de la periodicidad en la formación de marcas internas utilizadas en el estudio de edad.

Con el objeto de validar la época y periodicidad de la formación de las marcas internas de crecimiento, se realizó un análisis de borde en muestras obtenidas mensualmente durante un año. Este análisis consistió en determinar el tipo de borde, opaco o translúcido, en la estructura calcárea. Esta información se ordenó en una planilla Excel de la siguiente manera: en la primera columna se colocaron los meses desde enero a diciembre de 1998, en la columna siguiente se indicó el tipo de borde; se utilizó 1 para señalar borde opaco (la marca no está en el borde) y 0 para indicar borde translúcido (la marca está en el borde).

Además se realizó un análisis distal, que corresponde a la obtención del índice i

$$i = \frac{du}{dt} \quad 0 \leq i \leq 1$$

donde:

du : es el radio máximo medido en milímetros

dt : es el alto de la concha en milímetros (Fig. 11)

Así, en la primera columna de una planilla Excel se ordenaron los meses desde enero a diciembre 1998, en la segunda columna se registró el radio máximo, en la tercera columna, el alto de la concha y en la cuarta columna se calculó el índice i . Posteriormente se graficó i v/s tiempo (en meses).

i es un indicador adimensional del crecimiento de la concha y, como cociente estimado en función del tiempo, describe la variación mensual y estacional del incremento marginal.

1.4. Objetivo 5

1.4.1. Sitio de muestreo, periodicidad y diseño de muestreo

Los individuos con los cuales se realizaron los estudios de talla - peso se capturaron en los mismos sitios de muestreo seleccionados para los estudios de crecimiento y reproducción: *M. edulis* (Puerto Aldea y Peñuelas), *P. thaca* (Punta Choros) y *E. lenticularis* (Algarrobo); las muestras se recolectaron mensualmente.

Debido a que el objetivo exigió relacionar los parámetros talla - peso fue necesario realizar un muestreo dirigido estratificado por talla.

1.4.2. Procesamiento de las muestras

Una vez capturados los ejemplares en los sitios de muestreo, fueron transportados al Instituto de Oceanología, de la Universidad de Valparaíso y mantenidos en acuarios con flujo abierto de agua de mar mientras se procedía a su tratamiento.

De la muestra obtenida de cada especie y de cada localidad se seleccionaron 80 ejemplares que cubrieran el mayor rango de tallas; estos ejemplares fueron dispuestos sobre una superficie y ordenados de menor a mayor tamaño y numerados correlativamente en ambas valvas.

A cada ejemplar numerado se le midió el largo **L** (máxima distancia anteroposterior), ancho **A** (máxima distancia entre las valvas) y alto **H** (máxima distancia dorsoventral) de la concha, con un vernier digital con una precisión de 0,1 mm. Para el registro de peso se consideró peso total húmedo **PTE** (peso del organismo entero), peso escurrido de concha **PC** (peso de la concha secada al aire una vez extraídas las partes blandas) y peso escurrido de partes blandas **PPB** (peso de partes blandas una vez separadas de la concha). En una balanza digital, de 0,01 g de precisión, se registró el peso total húmedo de cada animal; luego se procedió a la separación de las valvas con ayuda de un cuchillo. Cada organismo con sus valvas abiertas fue dispuesto en forma perpendicular al plano de una bandeja para que eliminara el agua contenida en el interior de ellas, luego se retiraron completamente las partes blandas, las que se colocaron en un recipiente plástico para su posterior registro de peso. En forma independiente se registró el peso de la concha.

Se determinó el sexo de los individuos obtenidos en estos muestreos con el fin de determinar las relaciones somatométricas referidas a éste, ya que no existen éstos estudios en almejas de la IV y V Regiones del país, existiendo antecedentes de otras especies de almejas que evidencian diferencias en las relaciones somatométricas por sexo (King 1995). Para identificar el sexo de cada ejemplar, se obtuvo, mediante punción, con una pipeta Pasteur, una muestra del tejido gonádico

el cual fue observado bajo microscopio. Se clasificó cada ejemplar en una de las siguientes categorías: hembra, macho, hermafrodita o indiferenciado, de acuerdo a la presencia de gametos femeninos, masculinos, ambos o ninguno, respectivamente.

1.4.3. Relaciones talla - peso estacional y anual

Con los datos así obtenidos se generaron las bases de datos en planillas Excel con las que se construyeron y graficaron las funciones Talla (mm) v/s Peso Partes Blandas (g) y Talla (mm) v/s Peso Total Húmedo (g) y Talla (mm) v/s Peso Concha (g) estacional y anual, tanto para la muestra total como para machos y hembras, considerando como talla el largo L .

Se calcularon las funciones de regresión $T(L)$ v/s **PPB**, $T(L)$ v/s **PTH** y $T(L)$ v/s **PC** ajustadas a cada modelo obtenido, para machos, hembras y para la muestra total. En cada caso se ajustaron regresiones a períodos estacional y anual.

Para el análisis estacional, se consideró como verano desde el 22 de diciembre al 21 de marzo, otoño, desde el 22 de marzo al 21 de junio, invierno desde el 22 de junio al 21 de septiembre y primavera desde el 22 de septiembre al 21 de diciembre.

La relación longitud peso a ajustar corresponde a la siguiente función potencial:

$$W_i = a * L_i^b$$

donde: L_i : talla del individuo i en mm

W_i : peso del individuo i en g

a : parámetro de la función exponencial - intercepto

b : parámetro de la función exponencial - pendiente

Dicha relación fue linealizada con la función que permitió el mejor ajuste, aplicando regresión lineal, calculando su coeficiente de correlación R^2 y sus residuales para lo cual se utilizó el programa Excel. Los resultados finales se presentan como funciones de relación talla - peso en base estacional y anual.

Sobreofertas

En base de la información recolectada y disponible en las bases de datos, se estimaron:

- 1) **El factor de condición (FC)** promedio mensual, por un período anual, para cada especie como:

$$FC = \frac{\sum (PPB_i / PT_i)}{n} * 100$$

donde: PPB_i = peso escurrido de las partes blandas del individuo i (g)

PT_i = peso escurrido total del individuo i (g)

- 2) **Los parámetros de la función de crecimiento** L_∞ , K y t_0 , mediante la aplicación del algoritmo Simplex a la base de datos de anillos externos y de marcas internas. Los parámetros de crecimiento en talla y peso se integraron al modelo clásico de von Bertalanffy de la forma:

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

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-K(t - t_0)})^b$$

donde: W_t = peso a la edad t

W_∞ = peso asintótico

Para la conversión de la talla en edad, requerida en la estimación de mortalidad total, se usó un procedimiento de optimización y sensibilización para la información procedente de marcas externas. De esta forma se asegura una mejor consistencia en la estimación de la mortalidad.

3) La tasa instantánea de mortalidad total (Z), mediante un análisis procedente de los muestreos prospectivos realizados en los lugares seleccionados en el proyecto, ya que no se dispone de una representación de la captura total. El análisis de la curva de captura linealizada (Jones & van Zalinge, 1981) se ha utilizado profusamente y constituye un procedimiento aceptado en una estructura de pseudo cohorte.

El procedimiento utiliza datos a la talla, sobre los cuales se dispone de una determinación directa de la edad, como es el caso presente; la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy fue entonces utilizada para convertir las tallas en edades. Este procedimiento se describe en detalle en Sparre & Venema (1995) y es denominado por estos autores como "*curva de captura convertida a tallas*" o la "*curva de captura linealizada convertida a tallas*" (Anexo 3).

La edad correspondiente a una determinada talla se puede calcular, despejando el valor de t (edad) desde la función de crecimiento de von Bertalanffy (1938):

$$t = -\ln\left(1 - \frac{L1}{L_{\infty}}\right) \frac{1}{k} + t_0$$

Jones & van Zalinge (1981) proyectan las edades en términos de las equivalencias en talla, de modo que la edad t corresponde a L1 y la edad t+Δt a L2:

$$L1 = L(t) \quad \text{y} \quad L2 = L(t+\Delta t)$$

con esta correspondencia exacta entre el intervalo de edad [t, t+Δt] y el intervalo de talla [L1, L2], se puede cambiar la notación para el número de individuos capturados:

$$C(t, t+\Delta t) = C(L1, L2)$$

En el presente contexto Δt es el tiempo que tarda una almeja promedio en crecer de la longitud L1 a la longitud L2; por lo tanto, Δt se obtiene substrayendo las dos ecuaciones inversas de von Bertalanffy correspondiente a L2 y L1 respectivamente:

Δt se calcula directamente a partir de los parámetros de crecimiento k y Longitud asintótica, haciendo uso de los correspondientes límites de los intervalos de talla $L1$ y $L2$, así como también, substrayendo $t(L1)$ de $t(L2)$.

El término $(t+\Delta t/2)$ también se puede convertir en una expresión de longitud ($L1$ y $L2$), ya que el punto medio del intervalo de la edad $(t+\Delta t/2)$ se puede convertir en un punto medio basado en la talla si se supone que:

$t(L1) + \Delta t/2$ es aproximadamente igual a:

$$t \frac{(L1+L2)}{2} = -\ln\left(1 - \frac{L1+L2}{2L_{\infty}}\right) \frac{1}{k} + t_0$$

así, la curva de captura llamada curva de captura linealizada convertida a tallas es:

$$\ln \frac{C(L1, L2)}{\Delta t(L1, L2)} = c - Z t \frac{(L1+L2)}{2}$$

En esta ecuación lineal, la variable explicada "y" está constituida por:

$$\ln \frac{C(L1, L2)}{\Delta t(L1, L2)}$$

y la variable explicadora "x" está constituida por:

$$t \frac{(L1+L2)}{2}$$

la pendiente es directamente la tasa instantánea de mortalidad total Z .

Se trabajaron los datos convertidos de la curva de captura, en sucesivos ajustes de modo de evaluar el comportamiento de las estimaciones; así entonces se generan estimados con una serie de cuatro clases de talla, desde el inicio de la zona descendente de la curva de captura, luego cinco y así hasta completar la serie de datos disponibles. Se dejó fuera de análisis el sector de la curva de captura que mostró un comportamiento propio de los efectos de cola.

4) La tasa de mortalidad natural (M) y longevidad

Es difícil lograr una estimación de M en una especie que se recolecta en sectores afectados por captura, ya que se tiende intuitivamente a considerar que la longevidad está muy bien relacionada con ésta.

Alagaraja (1984) propuso una forma alternativa de ilustrar el concepto de coeficiente de mortalidad: atribuyó provisionalmente el lapso de vida natural de las especies en función de su longevidad medida en años. Esto significa que existe un valor de mortalidad que satisface la condición que el 99% de una cohorte desaparecería, al término de su edad de máxima permanencia (evaluada por la edad de L_{max}). La mortalidad así evaluada sería una aceptable estimación de M .

Si T_{max} representa la longevidad y $M_{1\%}$, la mortalidad natural correspondiente al 1% de supervivencia, entonces:

$$M_{1\%} = -\ln(0,01)/T_m$$

lo que puede además ser estimado por procedimientos de optimización.

5) Mortalidad por pesca (F) anual, se calculó en base de la siguiente relación:

$$F = Z - M$$

6) Biomasa media, calculada por el método de tasa de crecimiento de peso específico (Crisp 1984) del promedio de las muestras cuantitativas, de los datos agrupados de frecuencia de longitud, de los parámetros VBGF y de la relación longitud - peso.

$$P = \sum N_i W_i G_i$$

donde N_i es el número promedio de individuos (N por m^2), W_i es el peso promedio del cuerpo en g en la longitud de la clase i y G_i (por año) es la tasa de crecimiento de peso específico:

$$G_i = b K ((L_x/L_i) - 1)$$

donde b es el exponente de la relación longitud - peso, L_x y K son parámetros de VBGF y L_i es la longitud promedio en la longitud clase i .

La biomasa media de la población (g por m^2 por año) se calculó según:

$$B = \sum N_i W_i$$

7) **Reclutamiento**, se estimó utilizando la subrutina “Recruitment Patterns” del paquete FISAT (Gayanillo *et al.* 1989). Esta subrutina reconstruye los pulsos de reclutamiento para una serie de datos de frecuencia de longitudes en el tiempo, con el objeto de determinar el número de pulsos anuales y la fuerza relativa de cada uno de ellos.

Para utilizar esta subrutina se requieren datos de frecuencia de longitudes con tamaños de clases de tallas constantes y los parámetros de la función de crecimiento L_{∞} , k y t_0 si es que este último está disponible. Los datos utilizados para este estudio correspondieron a los generados a partir de las bases de datos de longitudes correspondientes a los muestreos poblacionales.

Estos resultados deben considerarse como una aproximación, ya que este método considera dos supuestos que no siempre se cumplen en la realidad: (i) que todos los organismos en la muestra crecen como es descrito por un único conjunto de datos de crecimiento, y (ii) que uno de los doce meses del año siempre tiene reclutamiento igual a cero.

2. RESULTADOS

2.1. Objetivo 2

2.1.1. Muestreos poblacionales mensuales

La Tabla 8 muestra el número de ejemplares obtenidos en los muestreos poblacionales mensuales por especie y localidad. En el banco de Peñuelas se observaron las mayores variaciones en el número de individuos recolectados. Lo anterior se debió a las condiciones particulares de la bahía de Coquimbo,

especialmente en relación con turbiedad, agravadas por las condiciones anormalmente severas del Fenómeno El Niño durante la primera mitad del período de estudio.

La Tabla 9 muestra la temperatura del agua, medida inmediatamente sobre el fondo, y la profundidad de muestreo. La temperatura en Peñuelas varió entre un máximo de 20,1°C en enero de 1998 a un mínimo de 13,2°C en agosto de 1998. En Puerto Aldea la temperatura varió entre 18,7°C en marzo 1998 y 12,5°C en agosto del mismo año. Finalmente, en Algarrobo la temperatura varió entre 18,6°C en febrero de 1998 y 11,9°C en agosto del mismo año.

Las Figs. 12 a 15 muestran las distribuciones de frecuencia de talla de los muestreos poblacionales realizados en las cuatro localidades seleccionadas.

En Punta Choros, por las razones expuestas con anterioridad, se realizaron sólo dos muestreos para *P. thaca*. En ambos muestreos es posible observar representación de todos los rangos de talla superiores a 20 mm (Fig. 12).

En *M. edulis* de Peñuelas, extraordinariamente en diciembre de 1997 se encontraron individuos de rango de talla de 30 a 40 mm y en noviembre de 1998 individuos de 10 a 20 mm de longitud, ya que durante todo el año las tallas representadas en los muestreos poblacionales fluctuaron entre 40 y 65 mm. En general, en los muestreos se obtuvo un máximo de cinco rangos de talla, con la excepción de diciembre 1997 y noviembre de 1998 (7 rangos de talla representados) y mayo y junio 1998 (6 rangos de talla) (Fig. 13).

En *M. edulis* de Puerto Aldea, las tallas representadas en los muestreos fluctuaron entre 40 y 70 mm. En la mayoría de los meses estuvieron representados 6 rangos de tallas con la excepción de enero (5 rangos), julio (8 rangos) y agosto (7 rangos) (Fig. 14).

En las dos localidades de muestreo para *M. edulis* las tallas menores de 40 mm se encontraron escasamente representadas, prácticamente inexistentes.

En *E. lenticularis* de Algarrobo se presentó una situación diferente a lo ocurrido con *M. edulis*; la mayoría los rangos de talla estuvieron representados en todos los muestreos, a partir desde los 10 mm. Excepción a lo anterior ocurrió en abril de

1998 cuando sólo se encontraron 7 de los rangos de talla considerados. En diciembre de 1997 y febrero, marzo y mayo de 1998 se encontraron representados los 14 rangos de talla considerados. Sin embargo, en la mayoría de los muestreos, las tallas menores tuvieron una muy baja representación. Sólo en mayo de 1998 se encontró una cantidad algo mayor de individuos del rango de 20 a 25 mm (Fig. 15).

La Tabla 10 muestra la fluctuación de la densidad y su desviación estándar para los muestreos cuantitativos. En junio de 1998 se observó una disminución en la densidad de *M. edulis* de Peñuelas y Pto. Aldea en relación con los otros meses muestreados, situación que en Algarrobo ocurrió en diciembre de 1997 (muestreo piloto). Durante diciembre de 1997 (muestreo piloto) se observaron las mayores densidades en Peñuelas y Pto. Aldea, la misma situación se produjo en noviembre de 1998, en Algarrobo.

Debido a la estabilidad de la estructura de tallas en las tres especies no fue posible aplicar el método de progresión modal para calcular la relación talla - edad.

2.1.2. Elaboración de clave talla - edad con datos de anillos de crecimiento (DAC) y marcas internas

Las Tablas 11 a 14 contienen las Claves Talla – Edad obtenidas por medición de anillos externos de crecimiento, para las especies *M. edulis* de Peñuelas y Pto. Aldea, *P. thaca* de Pta. Choros y *E. lenticularis* de Algarrobo, con sus respectivas varianzas e índices de separación.

Se observó similitud en la clave talla - edad de *M. edulis* en las dos localidades estudiadas. Equivalente fue la situación de *P. thaca* y *E. lenticularis*, que tuvieron proporciones de edad muy similares a la talla. Además, puede observarse que éstas dos especies crecen con mayor rapidez que *M. edulis*.

Los valores obtenidos de los índices de separación indican que las desviaciones estándares de los anillos 4 y 5 son bastante altas, para tallas promedios muy cercanas, en *M. edulis* de Peñuelas. En el caso de *P. thaca* se observa el mismo fenómeno para los pares de anillos 5-6, 6-7 y 7-8, los que evidencian índices

menores que 2, lo cual implica modas muy cercanas, con desviaciones estándares muy amplias. Similar es la situación de los pares de anillos 4-5, 5-6, 6-7 y 7-8 de *E. lenticularis*.

2.1.3. Elaboración de clave talla - edad con datos de marcas internas de crecimiento

Las Tablas 15 y 16 contienen las Claves Talla – Edad obtenidas por medición y recuento de marcas internas respectivamente, para *E. lenticularis* de Algarrobo, con sus respectivas desviaciones estándar e índices de separación.

No se construyeron claves para *P. thaca* por haber sido imposible la validación de la periodicidad anual de los anillos, por disponer de muestras de sólo dos meses. En el caso de *M. edulis* el complejo patrón de marcas, tampoco permitió obtener resultados concluyentes.

2.2. Objetivo 3

2.2.1. Crecimiento anual a partir de datos edad - longitud (DEL) = datos anillos de crecimiento

La Tabla 17 contiene los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, con el correspondiente Índice de Crecimiento Estándar (ϕ').

La Fig. 16 muestra los resultados de las lecturas de los lectores dos y tres para *M. edulis* de Peñuelas y Pto. Aldea (recuento de anillos). La Fig. 17 muestra las curvas de crecimiento de von Bertalanffy para *P. thaca* correspondiente a los tres lectores (recuento de anillos). No se graficó la VBGF debido a la ausencia de ejemplares pequeños.

En la Fig. 18 es posible observar la gráfica de la VBGF para *E. lenticularis* (recuento de anillos).

Las gráficas de la VBGF para la metodología de anillos medidos para las tres especies en las cuatro localidades seleccionadas se aprecian en la Fig. 19.

2.2.1.1. Lectura de anillos de crecimiento en la superficie externa de la concha

Las Tablas 18 a 21 entregan información referente a precisión en el análisis de cada lector, la comparación entre las lecturas de la valva izquierda y derecha y la dificultad de lectura referida a cada especie. La Fig. 20 muestra la superficie externa de la concha de las tres especies estudiadas, con indicación de las líneas de crecimiento de fácil lectura.

2.2.2. Crecimiento anual a partir de datos de marcas internas de crecimiento

La Tabla 17 contiene los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, con el correspondiente Índice de Crecimiento Estándar (ϕ') y la Fig. 18 muestra la función de crecimiento, para *E. lenticularis* obtenidos con el análisis de marcas internas. Anteriormente se indicó la razón por la cual no hay resultados para *M. edulis* y *P. thaca* con marcas internas.

2.2.3. Crecimiento estacional a partir de datos de marcaje - recaptura

La programación de las actividades de marcaje y recaptura, así como el número y porcentaje de individuos marcados y recapturados se señala en las Tablas 22 a 25. En ellas es posible observar que los experimentos instalados en el primer trimestre en los sitios de muestreo no pudieron ser recuperados; los experimentos correspondientes al segundo trimestre tuvieron una recaptura muy baja (1 % y 5 %), salvo en Pta. Choros, donde se obtuvo un 75% de recaptura, por lo cual prácticamente sólo se tienen los datos del tercer trimestre para analizar.

Las Tablas 26 a 29 indican el número de organismos recapturados al final del período por rango de talla y su delta incremento de talla. La misma información es

ordenada en las Tablas 30 a 33 como número de organismos recapturados con N anillos y su delta incremento.

Se observa que en *M. edulis* de Pto. Aldea, los individuos recuperados pertenecen solamente a dos rangos de talla consecutivos 40-45 y 45-60 mm y el número total de organismos recuperados fue 19, con un incremento promedio de talla de 0 mm, en un período de tiempo de 3 meses y 7 días (Tabla 27).

Similar es la situación de *E. lenticularis* de Algarrobo, donde se recuperaron 37 ejemplares pertenecientes a dos rangos de talla: 50-55 y 55-60 mm, con un incremento promedio de talla de 0 mm en un lapso de tiempo de 2 meses y 10 días (Tabla 28).

En el caso de *P. thaca* de Pta. Choros, hubo dos grupos: en el primero se recuperaron 26 organismos pertenecientes a tres grupos de talla 30-35, 35-40 y 45-50 mm, con un incremento de talla promedio de 7,9, 4,3 y 5,9 mm respectivamente, durante un lapso de tiempo de 5 meses y 28 días. En el segundo grupo se recuperaron 24 individuos pertenecientes a dos rangos de tallas 50-55 y 55-60 mm, con un incremento de talla promedio de 7 y 0,4 mm respectivamente; este experimento duró 4 meses y 17 días.

Con respecto al marcaje-recaptura en Montemar, la hidrodinámica local no permitió mantener el sustrato original dentro de las cajas lo que provocó la mortalidad de la totalidad de los individuos marcados. La repetición de este experimento en distintas oportunidades dio iguales resultados por lo cual se determinó no insistir nuevamente.

Debido a la ausencia de individuos de pequeñas tallas para incluir en el experimento de marcaje y recaptura, a lo estrecho de los rangos de talla de los organismos recapturados y al corto tiempo de duración de los experimentos recuperados, no fue posible construir la función de crecimiento no oscilante estacional ni la función de crecimiento oscilante anual las cuales se construirían a partir de los datos obtenidos del experimento de marcaje y recaptura.

2.2.4. Crecimiento estacional a partir del análisis de marcas internas de crecimiento

La Tabla 17 muestra, para *E. lenticularis*, los valores de los parámetros de la función de Von Bertalanffy para las cuatro estaciones, observándose una mayor tasa de crecimiento en primavera-verano que en otoño, por otra parte del análisis de incremento marginal de las marcas de crecimiento internas se desprende que en invierno el crecimiento es o tiende a cero. Así también, la misma tabla muestra la función de crecimiento oscilatorio para esta misma especie.

2.3. Objetivo 4

2.3.1. Comparación de los datos de anillos de crecimiento (DAC) y (DMR) con el método de la grilla auximétrica

Por las mismas razones explicadas con anterioridad no fue posible aplicar el método de la grilla auximétrica, el cual compararía los datos DAC y DMR.

2.3.2. Validación de la periodicidad en la formación de anillos de crecimiento a través de experimentos de marcaje y recaptura

Por las mismas razones explicadas con anterioridad no fue posible validar la periodicidad en la formación de anillos de crecimiento en base de los resultados de los experimentos de marcaje – recaptura.

2.3.3. Análisis de marcas internas

Mulinia edulis

En esta especie fue posible distinguir, con bastante dificultad, tres tipos de marcas internas: las primeras, ubicadas a partir del umbo y hasta alrededor de los

20 mm del radio máximo de la concha, corresponden a bandas anchas, café oscuro; las segundas, ubicadas entre los 20 y 33 mm de radio, son finas y bien definidas, translúcidas, de color café claro y regularmente espaciadas; las últimas, ubicadas hacia la zona marginal de la concha, son opacas y con poca separación entre una marca y otra, siendo difícil distinguir las con claridad (Fig. 21).

En esta especie no fue posible determinar, a partir del análisis de marcas internas y del análisis de borde, si la formación de anillos es anual o no; esto debido por una parte, a que no hubo disponibilidad de ejemplares pequeños, disponiéndose sólo de conchas por sobre los 33 mm de alto (radio máximo). Como ya se señaló, en la zona marginal se observó un patrón complejo de marcas internas; la dificultad radica en que las marcas eran difíciles de distinguir y por lo tanto, de determinar la ubicación del último anillo para medir el incremento marginal. Por esta misma razón, no fue posible determinar el patrón de crecimiento estacional que se basa en la variación estacional del incremento marginal en los diferentes rangos de talla.

Se observó que alrededor de un 30% de la muestra analizada no presentó un patrón coincidente con aquel antes descrito. En este grupo se observaron conchas que no poseían los tres tipos de marcas; algunas conchas presentaron sólo marcas claras y regulares, y otras, diferentes tipos de marcas con un patrón aleatorio.

No fue posible determinar, a partir del análisis de marcas internas y del análisis de borde, si la formación de anillos era anual o no. Además, la ausencia de individuos pequeños durante todo el año contribuyó a la incertidumbre relacionada con la validación de la periodicidad de anillos en las tallas menores a las disponibles; tampoco fue posible evaluar el crecimiento estacional debido a la imposibilidad de medir la distancia marginal porque el complejo patrón de marcas no permitió distinguir claramente entre unas y otras y por lo tanto ubicar la marca más extensa para medir el incremento marginal.

Protothaca thaca

Las marcas internas en las conchas de esta especie fueron claramente distinguibles en la superficie del corte. Presentaron un patrón bien definido, con las

marcas hialinas de color café claro (líneas de crecimiento) contrastando con el resto de la superficie del corte, de apariencia blanca y opaca (Fig. 22).

La disponibilidad de muestras de sólo dos meses del año, no permitió evaluar el crecimiento estacional, ni validar la periodicidad de aparición de anillos, ya que para ello se requiere de muestras mensuales por un período mínimo de un año con el objeto de realizar análisis de borde.

Eurhomalea lenticularis

En esta especie, el análisis de marcas internas se pudo realizar con mayor facilidad. Las conchas presentaron marcas uniformes, de características muy similares a lo largo de su crecimiento y suficientemente separadas para distinguir bien entre unas y otras (Fig. 23), a diferencia de lo observado en *M. edulis*.

La primera marca se encontró entre los 9 y 14 mm de radio máximo, la segunda, entre los 16 y 24 mm de radio máximo, la tercera, entre los 23 y 32 mm de radio máximo, y así sucesivamente.

Con respecto al análisis borde, en la Fig. 23'A es posible observar la proporcionalidad de los tipos de borde durante un año de estudio; pudiéndose notar claramente que en julio-agosto, el 100% de los individuos tiene borde translúcido (formación de la marca) y, durante los otros meses, el 100 % de los individuos tiene borde opaco.

La Fig. 23'B muestra la relación i v/s tiempo, y de la cual también se desprende inequívocamente la periodicidad anual de la marca (pico que obtiene el valor $i = 1$ en la gráfica).

2.4. Objetivo 5

El número mensual de individuos analizados por especie y localidad se indican en la Tabla 34.

Los resultados de las relaciones talla – peso de *M. edulis* de Peñuelas se muestran en las Figs. 24 a 47 y en las Tablas 35 a 37; los de *M. edulis* de Puerto Aldea se muestran en las Figs. 49 a 72 y en las Tablas 38 a 40; los de *P. thaca* de Punta Choros se muestran en las Figs. 74 a 79 y en las Tablas 41 a 43; los resultados *E. lenticularis* de Algarrobo se muestran en las Figs. 80 a 103 y en las Tablas 44 a 46.

En *M. edulis* de Peñuelas, casi la totalidad de las relaciones largo – peso partes blandas establecidas respondieron al modelo de la función potencial, las excepciones fueron las hembras de invierno, los machos y el total de primavera, en las cuales el mejor ajuste se obtuvo con un modelo lineal. Al efectuar el análisis a nivel de sexo, las relaciones que consideran a los machos exhibieron valores de R^2 superiores a las hembras con la excepción del otoño en que el valor es superior en las hembras (Tabla 35).

En la relación largo – peso total húmedo, sólo la relación establecida en otoño para machos respondió a un modelo lineal, el resto de las relaciones queda explicada por una función potencial. Al efectuar el análisis a nivel de sexo, las relaciones que consideran a los machos exhibieron valores de R^2 superiores a las hembras (Tabla 36).

En la relación largo – peso concha, la totalidad de las relaciones establecidas respondieron a una función potencial y al igual que en la relación anterior, las relaciones de los machos exhibieron valores R^2 superiores a las de las hembras (Tabla 37).

En *M. edulis* de Puerto Aldea, la totalidad de las relaciones largo – peso partes blandas, largo – peso total húmedo y largo – peso de la concha establecidas, respondieron al modelo de la función potencial. A nivel de sexo en la relación largo – peso partes blandas, las hembras exhibieron valores de R^2 superiores a los machos con la excepción de primavera (Tablas 38, 39 y 40).

En el caso de *P. thaca* de Punta Choros, la información obtenida corresponde solamente a los meses de junio y julio de 1998. Los valores de los coeficientes de

correlación para machos y hembras son altos (superiores a 0,8) (Fig. 74 y Tablas 41 a 43).

En *E. lenticularis* de Algarrobo, las relaciones largo – peso partes blandas, largo – peso total húmedo y largo – peso de la concha se corresponden con el modelo de ecuación que tradicionalmente se emplea para describir las relaciones entre peso y largo. En el caso de esta especie y a diferencia de *M. edulis*, contribuye a establecer un mejor ajuste el hecho de que el rango de talla encontrado en el sitio de muestreo incluyó individuos de talla pequeña, menores a 20 mm e individuos por sobre los 70 mm. (Figs. 80 a 103 y Tablas 44 a 46).

En las Figs. 48, 73 y 104 se presentan los gráficos de los residuales de *M. edulis* de Peñuelas y Puerto Aldea y de *E. lenticularis* de Algarrobo para el total anual de las relaciones largo – peso partes blandas, largo – peso total húmedo y largo – peso de la concha.

Sobreofertas

Factor de condición mensual

El factor de condición de *M. edulis* de Peñuelas fluctuó entre 0,1736 en mayo y 0,3241 en diciembre de 1998 respectivamente. La Fig. 105A muestra un incremento del factor de condición desde abril hasta diciembre. Sin embargo, la misma especie en Pto. Aldea presentó un mínimo de 0,2073 en agosto y un máximo de 0,3928 en enero del mismo año; la distribución de los valores del factor de condición durante el ciclo anual 1998, en Pto. Aldea, no presenta un patrón claro (Fig. 105A).

De *P. thaca* de Pta. Choros sólo se dispuso de valores para dos meses del año; en junio, el factor de condición alcanzó un valor de 0,2498 y en julio fue de 0,2587 (Fig. 105A).

El factor de condición de *E. lenticularis* de Algarrobo fluctuó entre 0,1360 y 0,2330 en enero y julio de 1998 respectivamente, presentándose una alta estabilidad durante 1998 (Fig. 105A).

No se encontró una clara correlación entre el patrón de temperatura del agua, el IGS y el factor de condición en ninguna de las especies estudiadas.

Parámetros de la función de crecimiento

En la Tabla 15 se resumen los valores de crecimiento calculados por el modelo von Bertalanffy y su comparación con el índice phi'.

Mortalidad total Z

En la Fig.105B se indican las curvas de captura basadas en datos de frecuencia de longitud y los valores de Z. Para *M. edulis* de Peñuelas y Pto. Aldea, Z tuvo un valor de 0,9945 y 1,5041 respectivamente. Para *E. lenticularis*, Z tuvo un valor de 1,1578 (Tabla 86).

Mortalidad natural M

En *E. lenticularis* se obtuvo un valor de $M = 0,3289$ (Tabla 86).

En *M. edulis* de Peñuelas se obtuvo un valor de M igual a 0,3289 y para *M. edulis* de Pto. Aldea, un valor de 0,3838 (Tabla 86).

Mortalidad por pesca F

A partir del parámetro de mortalidad natural M para *E. lenticularis*, el valor de F calculado para esta especie fue de 0,8289 (Tabla 86). Por su parte, para *M. edulis* de Peñuelas y de Pto. Aldea, los valores de F, obtenidos fueron 0,6656 y 1,1203 respectivamente (Tabla 86).

Biomasa media

Para *M. edulis* de Peñuelas y Puerto Aldea, la biomasa media estimada con un 95% de intervalo de confianza para muestras cuantitativas fue de $29,9 \pm 15,052$ (n=90) y $42,4 \pm 3,092$ (n=63) g de peso total húmedo respectivamente; la biomasa media de *E. lenticularis* de Algarrobo fue de $78,9 \pm 29,547$ (n=44) g de peso total húmedo. (Tabla 87).

Reclutamiento

Los resultados del patrón de reclutamiento de *M. edulis* de Peñuelas y Puerto Aldea y de *E. lenticularis* de Algarrobo se muestran en la Fig. 105C. Ninguna de las especies y localidades estudiadas presentó un claro patrón temporal de reclutamiento.

3. DISCUSIÓN

Actividades de muestreo

Con respecto a las actividades de muestreo, en los muestreos piloto las distribuciones de frecuencia de talla de *M. edulis* de Peñuelas y Pto. Aldea mostraron unimodalidad en torno a las tallas 35-65 mm de longitud antero-posterior. En *E. lenticularis* de Algarrobo también se observó unimodalidad en torno a las tallas 55-80 mm de longitud, y las tallas menores estuvieron representadas en baja proporción. A través de la grilla de muestreo no se detectó un patrón de estratificación por talla ni latitudinal ni batimétrico. Esta ausencia de tallas pequeñas ha sido observada por Poblete & Padilla (1976) y Zegers & Peña (1983) para *P. thaca*. En los bancos de almejas se sugiere realizar estudios similares al de Ortiz & Stotz (1996) en el cual se estudia la segregación por talla de los juveniles de macha y se relaciona ésta con factores como profundidad, cursos de agua dulce y tipo de sustrato.

Los muestreos poblacionales mensuales presentan estructuras similares a la evidenciada en los muestreos piloto, sin detectarse corrimientos modales que permitan aplicar metodologías de separación de modas basadas en este criterio (Figs. 11 a 14). Defeo *et al.* (1992a) compara el resultado de tres metodologías de progresión modal para determinar el crecimiento en la almeja amarilla *M. mactroides*, las diferencias encontradas en los resultados aparecen cuando los supuestos básicos no son cumplidos, por lo cual no se sugiere la aplicación de éstos métodos sin ser riguroso en la verificación de los supuestos.

Con respecto a los muestreos cuantitativos, las densidades promedio en este tipo de muestreo fueron altamente fluctuantes (Tabla 10), una posible explicación a esta situación en el caso de *M. edulis* de Peñuelas y Pto. Aldea la constituye las fuertes mortalidades y varazones que afectaron a estos bancos durante el verano de 1998. En los muestreos posteriores de junio a noviembre de 1998 la densidad en Peñuelas y Pto. Aldea aumentó en forma constante sin alcanzar los valores iniciales. En *E. lenticularis* de Algarrobo no se detectaron mortalidades masivas, y sus densidades promedio aumentaron constantemente a lo largo de todos los muestreos cuantitativos.

Actividades de marcaje - recaptura

La mayor dificultad en los experimentos de marcaje y recaptura fue la poca disponibilidad de tallas pequeñas para marcar en las tres especies estudiadas. Adicionalmente, la mortalidad mayor entre los ejemplares marcados afectó a los individuos de menor talla lo que tuvo como consecuencia que la mayoría de las recapturas se centraron en individuos de tallas superiores a los 50 mm con un crecimiento lento. Lo anterior no permitió detectar crecimientos significativos excepto en los ejemplares de *P. thaca* de Pta. Choros.

Finalmente, la pérdida de jaulas de fondo y cajas con ejemplares marcados, debido a las condiciones anormalmente severas de marejadas costeras, también constituyó un factor negativo para la obtención de resultados en los experimentos de marcaje y recaptura, careciendo de información para la primera mitad del año.

Por otra parte se estimó que el tipo de marca utilizado no produjo ningún daño sobre el organismo, no afectando la sobrevivencia ni el crecimiento (Caddy 1989; Nielsen 1992).

Lectura de anillos en la superficie externa de la concha

La determinación de la edad individual es una poderosa herramienta en biología pesquera ya que permite el cálculo de curvas de crecimiento, el análisis de distribuciones de talla poblacionales, de captura a la edad y otros.

Sin embargo, el uso de las marcas en estructuras duras para asignación de edad necesita la validación de una serie de supuestos, además de establecer claros criterios para el análisis de estas marcas (Saavedra 1974; Ojeda 1980, Guajardo 1989). Dentro de la interpretación de marcas en la concha, como estructura dura, se han desarrollado dos metodologías: una de ellas es la que utiliza los anillos externos. La estimación de edad en base de líneas concéntricas conspicuas en la superficie externa de la concha a sido ampliamente utilizado, no sólo en aplicaciones ecológicas, sino también paleobiológicas; sin embargo, frecuentemente se ha supuesto que dichas líneas corresponden a anillos de crecimiento depositados anualmente, antes de probar rigurosamente esta hipótesis (Clark 1974; Jones 1981 *fide* Peterson *et al.* 1985). Este método ha sido aplicado a especies nativas por varios autores (Pacheco 1979; Zegers & Peña 1983; Reyes *et al.* 1993; 1994; Urban & Campos 1994; Urban 1996; Urban & Tesch 1996); sin embargo, la mayoría de estos autores no ha dado cuenta detallada de la metodología empleada, y, tampoco, ha informado a cerca de la validación de la periodicidad de las marcas estudiadas.

Diferentes autores indican diferentes épocas para la formación de los anillos. Defeo *et al.* (1992b) en un análisis del crecimiento de *Mesodesma mactroides* usando análisis de progresión modal, marcaje y recaptura, y lectura de anillos externos, concluye que los anillos principales se formarían entre abril y mayo (otoño) con excepción del primer anillo que se formaría entre septiembre y octubre (primavera); la formación de los anillos secundarios coincide con período de

producción de gametos entre diciembre y enero (verano) y podrían asociarse a estrés reproductivo.

Kim *et al.* (1985) en un estudio de crecimiento sobre la almeja *Mactra sulcataria*, en la costa de Corea, usaron anillos externos superficiales para asignación de edad. Basado en la observación a ojo desnudo y en la variación mensual de la tasa de crecimiento marginal de la concha se sugirió la formación de un anillo al año entre agosto y septiembre (otoño). Sakurai *et al.* (1998) leen anillos de crecimiento externo con luz penetrable en la almeja *Mactra chinensis*, comprobando que el anillo es anual y que se forma con el decremento de temperatura entre noviembre y enero (otoño invierno) en Hokkaido, Japón.

La almeja pismo *Tivela stultorum* fue uno de los primeros bivalvos en los que se estudió la perioriodicidad de la formación de anillos externos, Weymouth (1923) *vide* Searcy *et al.* (1989), en su estudio clásico siguió la aparición del anillo en muestras mensuales de almejas de hasta 3 años en Pismo Beach, California, U.S.A., quien demostró que su aparición ocurre a fines de otoño y principios de invierno aparentemente en asociación con temperaturas bajas. Posteriormente, Herrington (1930), en estudios sobre esta misma especie, advirtió sobre la posibilidad de que existan marcas falsas no anuales y Coe (1947) observó, para la misma especie en el sur de California, la aparición de dos anillos anuales, uno de verano y otro de invierno, aunque los de verano (asociados posiblemente a la reproducción) son los más conspicuos. Sin embargo, el método de lectura de anillos para estimar edad en *T. stultorum* fue adoptado en estudios posteriores (Fitch 1950; Granados Gallegos, 1970).

Por otra parte, Peterson *et al.* (1985) demostró que el patrón de formación de anillos externos puede diferir radicalmente en una misma especie en función de la latitud o el hábitat.

Finalmente, en este estudio no se pudo determinar la época de formación de las marcas externas, debido a que se dispuso principalmente de individuos sobre 45 mm de talla, por lo cual se dificultaba la individualización de los últimos anillos.

En cuanto al proceso mismo de lectura de anillos en la superficie externa de la concha, se pudo constatar, que no todos los lectores, por una parte, tienen la misma precisión, y por otra, tampoco necesariamente el mismo criterio; es decir, hubo lectores con una precisión significativamente mejor que otros, esto es: leen siempre lo mismo para una misma valva, y, en el otro caso, mientras un lector lee "a" otro leyó "2a" para la misma valva. Si bien el estudio y el procesamiento de los datos se realizó sobre los datos de aquel lector con mejores características de precisión y reproductibilidad, éste de hecho es uno de los problemas que presenta este método, ya que la lectura a "ojo desnudo" por definición se basa en una interpretación personal de lo que muestra la superficie de la concha.

Por otra parte, como resultado del diseño experimental presentado se desprende que no todas las especies de bivalvos permiten una lectura de igual facilidad o dificultad; es así como *M. edulis* y *P. thaca* presentan un patrón de anillos más complejo de interpretar que *E. lenticularis*. Esto es, en el caso de *E. lenticularis* las marcas consideradas como anillos de crecimiento se distinguen fácilmente de las llamadas marcas o anillos de perturbación. En el caso de *M. edulis* es complejo definir que se entiende por anillo de crecimiento, ya que la textura pareja de la concha los hace poco visualizables. En cambio, en el caso de *P. thaca* se presenta un exceso de líneas, donde los anillos de perturbación pueden confundirse fácilmente con anillos de crecimiento.

Además, muchas veces en los individuos mayores el primer anillo está ausente, y los últimos anillos son difíciles de leer por encontrarse en sobreposición. Esto permitiría que un lector que tuviese alta precisión (lee siempre lo mismo o aplica siempre el mismo criterio) tenga una baja exactitud (alta diferencia entre lo observado y el valor real).

Todas estas razones, tanto las debidas a la capacidad del lector como las correspondientes a la textura de la concha de las diferentes especies de bivalvos, hacen que el método de lectura de anillos o marcas de crecimiento en la superficie externa de las conchas **no alcance una alta precisión y/o exactitud**, y no hace

comparables los resultados de las lecturas entre especies, e incluso, para una misma especie con diferentes lectores.

Sin embargo, esto no quiere decir que este tipo de estudios deban descartarse de plano, sino que deben validarse con un método que otorgue mayor precisión y exactitud.

Finalmente, las claves construidas para *M. edulis*, utilizando datos de lectura de anillos externos, sólo pueden aplicarse bajo el supuesto de formación de un anillo anual, lo cual no pudo ser validado.

Marcas internas en la concha

Una metodología más usada en los últimos años es el recuento de marcas en el corte transversal de la concha de bivalvos. Esta se puede observar directamente con un microscopio estereoscópico o bien pueden producirse réplicas en acetato de secciones de la concha (Ropes 1984; Ropes *et al.* 1984).

Gaspar *et al.* (1995), mediante análisis de réplicas, en acetato, de secciones de la concha del mátrido *Spisula solida*, en Portugal, determinaron una época de crecimiento rápido (amplias bandas) en invierno y una de crecimiento lento (bandas estrechas) asociado a una pequeña depresión o fisura, en verano. La curva de crecimiento estimada a partir de la estructura interna de la concha y de la distancia entre fisuras fue diferente de la curva estimada cuando se usaron anillos externos visibles en la superficie de la concha, ya que este método sobrestima la edad. Experimentos en terreno han demostrado que la periodicidad de la formación del patrón microestructural es endógeno y no se encuentra en relación con factores exógenos.

Sin embargo, en lo que se refiere a marcas interanuales no hay unanimidad entre los autores. Bourget & Brock (1990) estudiaron las posibles causas de los microincrementos interanuales en las líneas de crecimiento interno de la concha de *Cerastoderma edule*, en Dinamarca. Se observaron marcadas diferencias intrapoblacionales, no siendo posible verificar la hipótesis de un ritmo endógeno en los microincrementos o por ritmos de mareas.

Searcy *et al.* (1989) estudiaron la época y periodicidad de la formación de marcas internas de crecimiento en la almeja pismo *T. stultorum* de Baja California, México, mediante el análisis de cortes transversales de la concha en individuos que fueron marcados y recuperados uno y dos años después. Como resultado se encontró que los anillos tienen una periodicidad anual (en el 91% de los casos analizados) y éstos se formaron principalmente en verano entre agosto y octubre de 1979, asociándose aparentemente con una etapa del ciclo reproductivo anterior al desove masivo de esa temporada. El patrón de formación de anillos de crecimiento de *T. stultorum* inferido de este estudio, difiere radicalmente del reportado por Weymouth para una población de California del Sur (1923), utilizando anillos externos para este fin.

Como se vió en resultados, la lectura de marcas internas de crecimiento no presenta las dificultades observadas en la lectura de anillos en la superficie externa de las conchas; no existe la subjetividad debida a la interpretación que hace el lector, no hay marcas que desaparezcan con el tiempo, se mandienen indelebles, y en los individuos de mayor edad es posible leer con claridad las marcas debido a los últimos años. Esto hace que esta metodología se imponga por precisión y exactitud a la anteriormente citada.

Sin embargo, si bien esta metodología se aplicó con éxito a *E. lenticularis* y *P. thaca*, en términos de que estas especies presentan un claro patrón de marcas que permite, primero, la validación de la formación anual de la marca y, segundo, una estimación de la edad y el crecimiento adecuado, subsiste el problema de interpretación del patrón de marcas de *M. edulis* (recordemos que la ausencia de ejemplares bajo 50 mm fue una constante en los muestreos poblacionales mensuales).

De los resultados obtenidos para *E. lenticularis*, en el estudio de crecimiento, puede decirse que los resultados provenientes del análisis de marcas internas resultaron más confiables, debido a que la variabilidad de los anillos externos es más grande, esto se refleja en ϕ' es mayor en el caso de estudio con marcas internas (Tabla 17).

En cuanto a los índices de separación en el estudio de marcas internas de *E. lenticularis*, se observa que los índices son bastante bajos, lo que indica una alta superposición de tallas (Tabla 15), sumado al hecho de obtener muy bajas tasas de crecimiento sobre el tercer año. Por otra parte, el estudio reproductivo indica una amplia época reproductiva, lo cual favorece la superposición de tallas a las diferentes edades.

Recordemos que el uso del Índice de Separación, en relación con la lectura de marcas internas, es nada más que **referencial**, y está reflejando el hecho de que esta especie tiene una **alta desviación estándar de la talla en cada grupo de edad**.

Para *E. lenticularis* se validó la periodicidad de la formación de la marca, esto es, se forma una marca en el año, y esto ocurre en una época del año muy definida: julio-agosto. Además del análisis y caracterización de la marca se desprende que existe un único y uniforme tipo de marca, de fácil lectura. Por lo tanto, y considerando lo anteriormente expuesto, lo que se observa en la clave talla-edad es que la especie tiene una alta dispersión en torno a la talla media para cada edad, y este hecho no tiene impedimento ni matemático ni biológico. Esto puede deberse a características genéticas de la especie y/o al hecho de que el período de reproducción de *E. lenticularis* es extenso, lo cual provoca que al momento de la formación de la marca (julio-agosto) lleguen individuos con 1 mes de vida (los que nacieron en junio del mismo año), con 6 meses de vida (los que nacieron en enero del mismo año) o con 11 meses de vida (los que nacieron en septiembre del año anterior), lo cual implica que individuos de tallas muy diferentes tendrán asignada la misma edad, en este caso, un año.

De esta manera, las claves talla-edad construidas basándose en la lectura de marcas internas sí son aplicables a *E. lenticularis*, y los grupos de edad fueron separados no porque el Índice de Separación así lo permitiera, sino debido a la validación de la formación de un anillo en el año, y a la posterior relación $\text{radio} \propto \text{número de anillo} = \text{edad}$, la cual permite asignar tallas medias al anillo (edad) y calcular su desviación estándar.

Además, es interesante observar que las lecturas de anillos externos de crecimiento, realizados a ojo desnudo, tuvieron Índices de Separación más altos que los obtenidos con la lectura de marcas internas; sin embargo, ello no indica que se puedan separar mejor los grupos de edad con ese método. El hecho de que la lectura de anillos externos tuviera mayores IS se debería a que la lectura a ojo desnudo, sobre todo en las edades mayores (donde los IS bajan), no pudo discriminar con exactitud entre anillos sucesivos; por su parte, la lectura de marcas internas sí permitió discriminar con exactitud entre marcas sucesivas, obteniendo de este modo, grupos modales que no pudieron registrarse en la lectura de anillos externos por superposición de éstos.

Isótopos estables de oxígeno y carbono

La aplicación de los isótopos estables de carbono y oxígeno a los estudios de crecimiento de moluscos ha sido explicada por Krantz & Williams (1985). Estos autores verificaron que los incrementos en crecimiento en el mátrido *Spisula solidissima* eran anuales. Según estos investigadores, las tasas O^{18}/O^{16} y C^{13}/C^{12} en el $CaCO_3$ de la concha de moluscos son controladas principalmente por la temperatura y la composición isotópica del agua. La variación anual de la temperatura del agua de mar es registrada en la concha como un perfil isotópico, el cual puede ser usado como escala de tiempo. Esta técnica permite la calibración de los modelos de crecimientos usados. Sin embargo, es necesario destacar que para la aplicación de este método se requiere de un gran número de muestras de $CaCO_3$ para su análisis isotópico por cada ejemplar estudiado, además de un registro mensual de temperaturas pretéritas. Igualmente es necesario una marcada diferencia de temperatura durante el año. La ausencia de estas dos últimas condiciones no permitió aplicar el método descrito para validar la periodicidad de la formación de anillos en las especies incluidas en este estudio, lo cual fue oportunamente planteado y aceptado por el CIP. Por esta razón se implementó una nueva metodología para cumplir con este objetivo.

Por otra parte, Witbaard *et al.* (1994) demostraron que las bandas internas de crecimiento en *Arctica islandica*, del Mar del Norte, muestran una ocurrencia anual. Los investigadores explican que la edad del material depositado en la concha puede ser estimado usando señales tiempo-dependientes de ocurrencia anual o por radionúcleos producidos antropogénicamente y depositados en organismos vivos en el ambiente. Así, las bandas de crecimiento secuencial fueron examinadas por dos métodos independientes: a) por análisis de C^{14} , método mediante el cual se correlacionaron los niveles atmosféricos y de aguas oceánicas de carbono radioactivo, obteniéndose evidencia que las bandas de crecimiento en las conchas representan eventos anuales en esta especie y, b) por análisis de isótopos estables de oxígeno y carbono. Este método se basa en que la proporción del isótopo estable $\delta^{18}O$ en el carbonato de las conchas es una función de la temperatura y de la proporción de $\delta^{18}O$ en el agua, ésta última es influenciada por la evaporación y por la mezcla con otras masas de agua con distintas características de temperatura y salinidad. Entonces los valores de $\delta^{18}O$ se relacionan inversamente con la temperatura, así, altos valores de la temperatura del agua se corresponden con bajos valores de $\delta^{18}O$ del carbonato depositado bajo estas condiciones. En el caso de *Arctica*, especie que vive en condiciones de salinidad uniforme y con una clara periodicidad de temperatura en el fondo, esto se reflejó claramente en una periodicidad en la composición de $\delta^{18}O$ y en la periodicidad de las bandas internas de crecimiento en la concha.

En el caso de los isótopos estables de C^{13} , la proporción de $\delta^{13}C$ en el carbonato que forma parte de las conchas estaría influenciado por factores metabólicos y por condiciones termodinámicas; el efecto de la temperatura sobre la proporción de $\delta^{13}C$ es menos clara que para el $\delta^{18}O$, aquí la función del metabolismo es mucho más importante, el cual está directamente relacionado con la temperatura y la disponibilidad alimentaria. El método del isótopo de C^{13} es muy preciso en la determinación de edad en las siguientes condiciones: cuando la región

geográfica tiene un claro ciclo de temperatura y fitoplancton anual, con mínimas variaciones de salinidad.

Este método fue inaplicable en el contexto de este estudio porque se necesitaban mediciones históricas de la temperatura del agua a la profundidad de muestreo, mediciones que no estaban disponibles y además debido a que era necesario analizar 40 a 50 muestras de carbonato por cada concha, mas las necesarias para validar el método, lo que no era posible costear.

En Chile, casi no hay estudios en relación con posibles fluctuaciones del CaCO_3 en bivalvos; Navea & Miranda (1982) realizaron un estudio del contenido de CaCO_3 en *Eurhomalea rufa*, concluyendo que todos los rangos de talla contenían igual cantidad de CaCO_3 , en toda época del año, sin existir diferencias según el estado de madurez ni el sexo.

Sobre los parámetros de la VBGF

Los valores de los parámetros de la VBGF para *M. edulis* en las dos localidades estudiadas, presentan gran consistencia. La prueba de ϕ' presenta alta similitud entre estos dos grupos (Tabla 85).

Para *P. thaca* el valor calculado de k es el menor de entre las tres especies, sin embargo, la prueba de ϕ' muestra un valor similar al de *E. lenticularis*.

Los parámetros de la curva de crecimiento presentan una mayor confiabilidad al basarse en datos de anillos medidos. Si se consideran los parámetros de L_∞ , los valores no varían en relación con anillos contados o anillos medidos. Sin embargo, los valores de k están siempre sobrestimados al considerar las lecturas de anillos contados.

Si se consideran los valores de los parámetros calculados en base de los anillos medidos, en *P. thaca* se observa un L_∞ menor y un k mayor al calculado para la misma especie en la bahía de Dichato (Urban & Campos 1994). Lo anterior es esperable por las condiciones de temperatura del agua que varían entre 12 °C en verano y 16 °C en invierno en bahía de Dichato, mientras que en la zona de

Coquimbo, durante el período de estudio, la temperatura medida en el fondo varió entre 13,2 °C y 20,1 °C.

Una condición similar se presenta si comparamos los valores de L_{∞} y k de *M. edulis* de Peñuelas y Puerto Aldea con los de valores calculados para la misma especie en el Estrecho de Magallanes (Urban & Tesch 1996). En este caso también se determina un L_{∞} mayor en la zona sur (68.8 *versus* 63.6 mm) y un k menor (0.136 *versus* 0.198 y 0.21 año⁻¹).

Para el caso de *E. lenticularis* de Algarrobo no hay estudios sobre la especie que permitan comparaciones con otras localidades. Sin embargo los valores de L_{∞} y k presentan valores similares a *P. thaca* y *M. edulis*.

Con respecto a los logros del Objetivo 3

Si bien los Términos Básicos de Referencia indicaban que los resultados esperados para este objetivo eran "Estimaciones de crecimiento estacional y anual por rango de tallas y sus estimaciones de variación, para cada una de las especies de almeja seleccionadas para el estudio", es necesario considerar que de las dos especies seleccionadas para este estudio, *E. lenticularis* y *M. edulis*, los resultados obtenidos entregan toda la información referente a *E. lenticularis* y que, con respecto a *M. edulis*, se intentaron tres métodos para satisfacer los resultados esperados:

(a) En primera instancia, se aplicaron técnicas de marcaje que arrojaron una baja recaptura, debido a condiciones climáticas adversas durante el año de estudio, sumado al hecho de trabajar en playas expuestas, características de la IV y V Regiones.

(b) En segunda instancia, se utilizó la metodología de lectura de anillos externos, con la cual se obtuvo una función de crecimiento cuyos estimadores de error fueron relativamente altos debido a que las características intrínsecas de la morfología externa de la concha no permiten una lectura clara.

(c) Finalmente, se aplicó la metodología de análisis de marcas internas, la cual tampoco arrojó los resultados esperados debido a la complejidad del patrón de

marcas que presenta esta especie (Fig. 21). Este complejo patrón de marcas impidió separar las marcas de crecimiento de otras marcas de perturbación presentes en la matriz de la concha, lo cual no permitió validar la periodicidad de éstas, ni describir un claro patrón para su recuento, y por lo tanto obtener una función de crecimiento anual y estacional para la especie.

En definitiva, de las dos especies estudiadas, para *E. lenticularis* se entrega toda la información requerida; en cuanto a *M. edulis*, se utilizaron todas las metodologías disponibles para lograr los resultados esperados; sin embargo, no se cumplieron supuestos tácitos como que era posible obtener una recaptura adecuada en la zona de estudio, leer con una alta precisión anillos en la superficie externa de la concha y disponer de un claro patrón de marcas internas. A pesar de ello, queda la posibilidad de utilizar la clave talla-edad de *M. edulis*, formulada usando la lectura de anillos externos, bajo el supuesto de la formación de un anillo anual.

Con respecto a los logros del objetivo 4

De las dos especies estudiadas, sólo para *E. lenticularis* se validó la periodicidad de la marca anual. Para *M. edulis*, se utilizaron varias metodologías, pero el fracaso del marcaje recaptura no permitió validar la periodicidad del anillo externo y el complejo patrón de marcas internas, ya discutido, no permitió validar la periodicidad de marcas.

En cuanto a anillos externos, *M. edulis* **no presentó las características mínimas necesarias** para aplicar esta metodología, esto verificado en la amplia diferencia de lectura entre lectores debido a que su concha es muy lisa y sus marcas finas y tenues. Por lo tanto, aunque las actividades de marcaje y recaptura hubiesen sido exitosas, muy difícilmente hubiese podido validarse la periodicidad del anillo.

Este objetivo se basó en el **supuesto de** que podía leerse anillos en todas las especies y ello no fue así. Lo que ocurrió con esta especie es similar al patrón presentado por bivalvos tropicales, en los cuales, para estudiar el crecimiento no

queda más que describir los incrementos de talla en el tiempo a través de marcaje-recaptura, no existiendo marcas o anillos anuales para leer (Vakily 1992).

Relaciones talla – peso

El único antecedente disponible acerca de relaciones talla – peso en *M. edulis* es el aportado por la Universidad Austral de Chile (1998). En la relación largo – peso total húmedo, la ecuación para el total de la muestra obtenida en el verano ($y = 0.0001 x^{3,181}$) de *M. edulis* de Peñuelas, es muy similar a la ecuación obtenida para una muestra de *M. edulis* ($y = 0.0001 x^{3,14}$) obtenida en el verano de 1997, en Maullín, X Región, por esos autores.

Con respecto a *E. lenticularis*, estos son los primeros antecedentes disponibles respecto de la relación talla – peso.

El análisis de los residuales efectuado en *M. edulis* y *E. lenticularis* permite afirmar que el modelo empleado en las relaciones establecidas es consistente ya que al observar los gráficos estos no tienen un patrón de comportamiento sino que más bien se distribuyen aleatoriamente en torno al eje 0, presentan una variabilidad próxima a la homogeneidad y con escasas observaciones que se apartan de la masa de puntos.

Con respecto del factor de condición se puede señalar que en un ciclo anual, un bajo FC puede deberse a situaciones de estrés prolongado, épocas de escasez de alimento y/o a épocas de emisión de gametos; altos FC se deberían a alta disponibilidad de alimento y época de desarrollo gonadal. La diferencia entre *M. edulis* de Peñuelas y Pto. Aldea probablemente se debió a las diferencias ambientales en ambos lugares, esto es, que la distribución anual de los valores de temperatura, disponibilidad de alimento y el patrón de vientos y corrientes puede no ser los mismos, afectando con ello el patrón anual del FC. Además, *M. edulis* de Pto. Aldea presentó un mayor promedio anual en el FC que en Peñuelas, lo que supondría un mejor rendimiento en carne para el consumo.

Por otra parte, sería necesario tener una serie de tiempo anual de varios años para poder comparar estos valores con los encontrados en 1998, para saber si éstos son

valores normales o no, existe la posibilidad de que la estabilidad de los valores obtenidos se hayan debido a la influencia del fenómeno El Niño durante la ejecución de este proyecto. Es por ello que se sugiere realizar estudios de crecimiento y reproducción por localidad, ya que las situaciones para una misma especie varían de una localidad a otra debido al efecto de las condiciones ambientales locales sobre la reproducción y el crecimiento. Además sería conveniente realizar estos estudios a mayor plazo, ya que los resultados de estos estudios puntuales son sólo puntos de referencia, no siendo posible compararlos con los obtenidos en otros años, y menos con valores obtenidos por otros autores en otras localidades y con otros métodos.

Cálculo de mortalidad Z y M

Los procedimientos para el cálculo de la mortalidad usan la información generada en los muestreos, por considerar que ellos representan fielmente la estructura de los sitios seleccionados. Mejor aún sería el muestreo directo de la fracción explotada, lo que en el entorno de la pesca artesanal no es posible, debido a la dependencia del precio, de la oportunidad de distribución y venta.

Del análisis de los muestreos, se generó una representación de la talla de máxima permanencia en la zona de pesca, la que fue convertida en edad con la información pertinente, emanada de las estimaciones del crecimiento siguiendo el modelo de von Bertalanffy (1938); para el efecto de un mejor estimado, se procedió a sensibilizar la función de crecimiento, en término de sus parámetros, haciendo uso del concepto de la ecuación de Stevens (1951) que sustenta matemáticamente al modelo de crecimiento empleado.

Se pudo constatar que, en general, las dos especies tienen un similar esquema de crecimiento, con excepción de *M. edulis* de Peñuelas; las diferencias observables en la longitud asintótica entre *M. edulis* de Peñuelas y *M. edulis* de Puerto Aldea, sugieren una mayor presión del medio ambiente sobre la primera. El factor de curvatura de la función de crecimiento, representado por el parámetro "k"

señala una situación similar, ya que es mayor en *M. edulis* de Peñuelas, reflejando un ligero aceleramiento, producto de condiciones más adversas del medio. El parámetro " t_0 " tiene una incidencia marginal ya que sólo representa la convergencia de la función a tiempo cero, sin que éste tenga un mayor significado biológico.

Considerando lo anterior, las edades de máxima permanencia muestran ligeras diferencias pero, en general, se sitúan entre los 13 y 14 años. Este comportamiento, que es absolutamente coherente, tiene un efecto en las estimaciones de la tasa instantánea de mortalidad natural (**M**), haciendo que éstas se sitúen entre 0,3289 y 0,3838. Este efecto es explicable por la asociación de esta tasa de mortalidad a la longevidad.

En la estimación de la tasa instantánea de mortalidad total (**Z**), se produjo una situación que es característica de los procedimientos de muestreo aplicados en sitios que están sometidos a pesca. Los estimados de esta tasa **Z**, a medida que se incorporan más grupos de tallas, desde el punto máximo de la curva de captura a la talla, se hacen mayores y además, ello produce ajustes que explican una mayor fracción de la variabilidad, indicando que son mejores representaciones de la fracción explotada de la curva de captura. Por esta razón se seleccionaron como mejores, los valores que proceden del ajuste que incorpora a toda la fracción en la zona de análisis, excluidas las tallas que muestran el efecto de cola.

Los resultados reflejan una mayor mortalidad total (**Z**) en Puerto Aldea, (a un similar rango de mortalidad natural) producto de una mayor "presión" de pesca en este lugar ($F=1,12$), la que es seguida de la mortalidad total (**Z**) de *E. lenticularis* en Algarrobo. La presión de pesca es menor en esta localidad y es aún menor en Peñuelas.

Los resultados son consistentes, reflejan apropiadamente lo que ocurre y el análisis no se vio enfrentado a problemas derivados del proceso de muestreo, lectura o tratamiento de la información.

4. CONCLUSIONES

- Los muestreos poblacionales mensuales mostraron unimodalidad en torno a las tallas 35 - 60 mm, para las tres especies, con ausencia de individuos de tallas menores durante todo el año, no percibiéndose corrimientos modales.
- Las actividades de marcaje y recaptura no tuvieron el éxito esperado, ya que la pérdida de material biológico debido a marejadas fue considerable.
- La clave talla - edad y la función de crecimiento de construyeron a partir de las mediciones de radios de anillos sucesivos en la superficie de la concha y con datos de marcas internas de crecimiento, ya que estos datos tuvieron un mejor ajuste que el simple recuento de anillos en relación con la talla de los organismos. En el caso de los anillos externos, las claves talla - edad indican, para las tres especies estudiadas, que la edad de la talla mínima legal (55 mm) se alcanzaría a los 6 años. Los índices de separación indican que en *M. edulis* los grupos modales serían separables; en el caso de *P. thaca* pueden separarse con claridad los cuatro primeros grupos (edades); los dos últimos muestran una alta desviación estándar para modas cercanas. En *E. lenticularis* pueden separarse con facilidad los tres primeros grupos, presentando los tres últimos, también una alta desviación estándar para modas cercanas, lo que es esperable, ya que cuanto más viejo es el individuo, las líneas de crecimiento tienden a superponerse y resulta difícil distinguir unas de otras.
- La lectura de anillos externos en conchas de almejas depende, al menos, de dos factores: a) la precisión de los lectores y b) las características de concha inherentes a cada especie.

- El análisis de marcas internas en conchas de almejas, aunque es más laborioso que la lectura de anillos externos, proporciona información más confiable.
- El patrón de marcas internas en conchas de almejas es específico. *P. thaca* y *E. lenticularis* presentan marcas claras y distinguibles con un patrón definido. *M. edulis* presenta un patrón complejo con diversos tipos de marcas.
- Mediante el análisis de marcas internas es posible determinar el crecimiento y validar la periodicidad en la formación de anillos de *P. thaca* y *E. lenticularis*. En *E. lenticularis* se validó la periodicidad anual de la marca.
- En *M. edulis* es difícil determinar el crecimiento y validar la periodicidad en la formación de anillos mediante el análisis de anillos externos y de marcas internas por lo cual el uso de estos métodos debe ser aplicado junto con otros como marcaje y recaptura.
- Si la formación del anillo es anual, puede suponerse que un anillo corresponde a un año, por lo tanto, en *E. lenticularis*, la talla mínima legal se alcanzaría entre el 6° y 13° año, con mayor probabilidad entre el 9° y 11° año de vida.
- En *E. lenticularis* se determinó que la tasa de crecimiento en primavera-verano fue mayor que la de otoño, en invierno el crecimiento tiende a cero.

III. ESTUDIO REPRODUCTIVO

1. METODOLOGÍAS DE LOS OBJETIVOS 6 A 9

1.1. Objetivo 6

Durante un período de 12 meses se procesaron mensualmente 30 ejemplares adultos elegidos al azar, a pesar de considerar 15 machos y 15 hembras en la propuesta original. Este cambio se justifica en el hecho que el muestreo dirigido por sexo es impracticable cuando hay ejemplares en regresión gonadal total, en que no es posible determinar el sexo por análisis microscópico en vivo; además de no permitir una aproximación a la proporción de sexos periódica.

Los muestreos de la población de *E. lenticularis* de Algarrobo (V Región) se realizaron desde noviembre de 1997 hasta noviembre de 1998. Las poblaciones de *M. edulis* de Puerto Aldea y Peñuelas (IV Región) se muestrearon desde diciembre de 1997 hasta noviembre de 1998. La población de *P. thaca* de Maitencillo (V Región) se muestreó a partir de diciembre de 1997; sin embargo, se suspendió en febrero de 1998 por la dificultad en la obtención de muestras y por los problemas ambientales ocasionados por la corriente del Niño. En junio de 1998, por petición de los evaluadores del proyecto, se inició el muestreo de una población de *P. thaca* de Punta Choros (IV Región), el cual se suspendió en agosto de 1998 ante la imposibilidad de financiamiento de propuesta de extensión del proyecto hasta 1999.

En la propuesta técnica del proyecto se ofreció como metodología rápida de estudio del ciclo reproductivo en las especies comprometidas, la estimación de índices gonadosomáticos (IGS) de acuerdo con las siguientes relaciones:

$$\text{IGS1} = \frac{\text{área de G}}{\text{área del CGGD}} \times 100$$

donde **G** = gónada y **CGGD** = complejo gónada glándula digestiva.

Sin embargo, en los primeros muestreos se evidenció que aún cuando se conserve la regularidad en la elección de un eje de corte longitudinal o transversal, la posición relativa de la glándula digestiva es variable de ejemplar en ejemplar. Esto hizo que el cálculo de **IGS1** fuera inadecuado, descartándose este cálculo.

En cuanto a:

$$\text{IGS2} = \frac{\text{peso de G}}{\text{peso del CGGD}} \times 100$$

$$\text{IGS3} = \frac{\text{volumen de G}}{\text{volumen del CGGD}} \times 100$$

la disección de la gónada y la glándula digestiva mostró una gran imprecisión, sobre todo en animales maduros en los cuales los gametos se disgregan y dificultan la medición de peso y volumen, por lo que también fue descartado.

Como alternativa se calculó:

$$\text{IGS} = \frac{\text{peso del CGGDP}}{\text{peso total escurrido c/concha}} \times 100$$

donde **CGGDP** = complejo gónada - glándula digestiva - pié (masa visceral).

Además, se midió en vivo, longitud, alto y ancho del complejo gónada glándula digestiva para intentar, en el futuro, un correlato con el tamaño y el estado gonadal de los animales, calculando los siguientes IGS:

$$\text{IGSL} = \frac{\text{longitud del CGGD}}{\text{longitud total c/concha}} \times 100$$

$$\text{IGSH} = \frac{\text{altura del CGGD}}{\text{altura total c/concha}} \times 100$$

$$\text{IGSA} = \frac{\text{ancho del CGGD}}{\text{ancho total c/concha}} \times 100$$

donde **IGSL** = índice gonadosomático en base a la longitud, **IGSH** = índice gonadosomático en base a la altura, **IGSA** = índice gonadosomático en base al ancho; **CGGD** = complejo gónada - glándula digestiva

Los resultados se expresaron en las tablas y gráficos respectivos, como la media aritmética \pm la desviación estándar ($x \pm \text{d.e.}$) mensual, de las medidas y de los IGS totales (machos y hembras).

Para el estudio histológico cualitativo del ciclo reproductivo, los 30 ejemplares por especie y por banco, fueron procesados por técnica histológica de rutina (López *et al.*, 1982). Trozos gonadales transversales de la región media y de 5 mm de espesor fueron fijados en Bouin Hollande. Las muestras, luego de lavadas en agua corriente, fueron deshidratadas en etanol, aclaradas en butanol (Gabe, 1968) e incluidas en Paraplast Plus (P.F.= 57°- 60°C). Después de ser cortadas en micrótopo rotatorio, las secciones de 5 - 8 μm , obtenidas de diferentes niveles gonadales con un distanciamiento de al menos 500 μm , fueron montadas en portaobjetos albuminizados, desparafinadas en xilol, hidratadas en etanol a concentraciones decrecientes hasta el agua destilada y teñidas con el método tricrómico de ARTETA. Finalmente, las preparaciones fueron deshidratadas en etanol y aclaradas en xilol para su montaje definitivo con bálsamo de Canadá o Entellan.

Considerando los acinos gametogénicos (la organización gonadal morfofuncional básica en almejas), asumiendo la existencia de células somáticas vesiculosas intraacinares, como ocurre en otras especies de almejas, y considerando el grado de evolución citomorfológica de la línea germinal asociada a éstos, la gónada de cada animal de cada muestreo mensual fue clasificada cualitativamente en uno de los siguientes 5 estados histológicos del tejido gonadal de acuerdo con la siguiente escala (Brown, 1995; escala modificada de Lucas, 1965):

- D1 Desarrollo inicial (Madurez inicial)
- D2 Desarrollo avanzado (Madurez avanzada)
- D3 Desarrollo total (Maduro)
- R1 Regresión inicial (Evacuación parcial)
- R2 Regresión total (Evacuación total o vacío)

1.1.1. Estados histológicos de la gónada en machos

MD1: (Masculino, Desarrollo estado 1). Madurez inicial.

Folículos o acinos gonadales pequeños, con tejido de células somáticas vesiculosas intrafoliculares o intraacinares. La línea germinal puede estar representada por grupos de espermatogonias en proliferación próximas a las paredes de los folículos o acinos (o basales); espermatocitos en diferentes fases de la meiosis; y hasta las primeras espermátidas en escasa cantidad. Estas generaciones de células están comúnmente organizadas en una banda continua o en grupos cuneiformes hacia el centro del folículo o acino, rodeadas de tejido somático intrafolicular o intraacinar. Este estado incluye desde línea germinal incompleta hasta completa con escasas espermátidas de núcleo compacto (Figs. 118A, 130A, 124A).

MD2: (Masculino, Desarrollo estado 2). Madurez avanzada.

Folículos o acinos gonadales de mayor tamaño. Las células somáticas intrafoliculares o intraacinares han disminuído, permaneciendo como islotes basales en el acino. Es característica la línea germinal completa con un notable incremento de espermátidas, especialmente aquellas diferenciadas de núcleo compacto basófilo. Los cúmulos de células germinales han repoblado los folículos o acinos casi totalmente, organizándose una banda ancha de espermatogonias y espermatocitos, mientras las espermátidas forman columnas alargadas en espigas con sus colas hacia el centro del folículo o acino (Figs. 118B, 130C).

MD3: (Masculino, Desarrollo estado 3). Maduro.

Folículos o acinos de gran tamaño, de aspecto lobulado. La repoblación de los folículos o acinos por las células germinales es completa. No hay tejido intrafolicular o intraacinar de células somáticas. Las espermatogonias y espermatoцитos están limitados a una estrecha banda basal en los folículos o acinos. Estos están repletos de espermátidas organizadas como espigas en bandas radiales hacia el centro de cada folículo o acino, o de espermatozoides desorganizados colmando el lumen del folículo o acino (Figs. 119A-B, 131A, 110C, 124B).

MR1: (Masculino, Regresión estado 1). Regresión inicial.

Signos de evacuación de gametos. Folículos o acinos de aspecto estrellado por los límites ligeramente colapsados, con espermatozoides en menor cantidad que el estado anterior, desorganizados de las bandas radiales y semejando corrientes de evacuación. En algunos casos hay evidencia de reorganización basal incipiente del tejido somático intrafolicular o intraacinar. En algunos casos presencia de hemocitos (Figs. 120A, 131C).

MR2: (Masculino, Regresión estado 2). Regresión final o Evacuación total.

Folículos o acinos de pequeño tamaño. El tejido somático intrafolicular o intraacinar reorganizado totalmente llena los folículos o acinos. La línea germinal está representada por espermatogonias troncales basales y sólo escasos espermatozoides residuales, que permiten diferenciar el sexo en este estado. Eventualmente pueden existir hemocitos en grupos dentro de algunos folículos o acinos (Figs. 120C, 132A, 110A, 124C).

1.1.2. Estados histológicos de la gónada en hembras

FD1: (Femenino, Desarrollo estado 1). Madurez inicial.

Folículos o acinos gonadales pequeños, con tejido de células somáticas vesiculosas intrafoliculares o intraacinares. La línea germinal característica está representada por ovogonias en proliferación, ovocitos previtelogénicos en profase meiótica, ovocitos previtelogénicos que han detenido su evolución meiótica con vesícula germinativa circular pequeña, nucléolo evidente y escaso citoplasma. La presencia de algunos ovocitos de mayor tamaño por crecimiento de la vesícula germinativa y aumento del citoplasma, son evidencia del comienzo de la vitelogénesis. Estas células germinales están ampliamente adheridas a las paredes de los folículos o acinos gonadales, o ligeramente pedunculadas (Figs. 118B, 130B, 125A).

FD2: (Femenino, Desarrollo estado 2). Madurez avanzada.

Folículos o acinos gonadales de mayor tamaño. Disminución del tejido somático intrafolicular o intraacinar. Aumento evidente de la cantidad de ovocitos vitelogénicos adheridos y pedunculados asociados a las paredes foliculares o acinares. Aún cuando predominan los elementos celulares de la línea germinal temprana, en el lumen de los folículos o acinos hay numerosos ovocitos vitelogénicos libres. (Figs. 118D, 130D).

FD3: (Femenino, Desarrollo estado 3). Maduro.

Folículos o acinos gonadales de gran tamaño y lobulados, con células germinales que los han repoblado completamente. No hay tejido somático intrafolicular o intraacinar. La generación de células germinales predominantes corresponde a los ovocitos vitelogénicos libres totalmente desarrollados que, al llenar los folículos o acinos, en algunos casos adoptan formas poliédricas por compresión (Figs. 119C-D, 131B, 110D, 125B).

FR1: (Femenino, Regresión estado 1). Regresión inicial.

Evidencia de inicios de la evacuación de gametos. Folículos o acinos gonadales de menor tamaño que eventualmente presentan reorganización del tejido somático intrafolicular o intraacinar en islotes basales. Disminución de la cantidad de ovocitos vitelogénicos libres, algunos de ellos con signos de degeneración. En algunos casos presencia de hemocitos (Figs. 120B, 131D).

FR2: (Femenino, Regresión estado 2). Regresión final o Evacuación total de gametos.

Folículos o acinos de pequeño tamaño, con tejido somático intrafolicular o intraacinar reorganizado totalmente. Asociadas a las paredes folículares o acinares sólo permanecen las ovogonias troncales y algunos ovocitos previtelogénicos residuales. En algunos casos es posible observar ovocitos vitelogénicos libres, que no fueron evacuados, rodeados por el tejido intrafolicular o intraacinar. Eventualmente pueden existir hemocitos en grupos dentro de algunos folículos o acinos (Figs. 120D, 132B, 110B, 125C).

Los resultados para cada muestreo se expresaron en un histograma como frecuencia porcentual de: a) machos en cada estado, b) hembras en cada estado y c) machos y hembras en cada estado.

1.1.3. Determinación cuantitativa del ciclo reproductivo

Para la determinación cuantitativa del ciclo reproductivo, se aplicaron dos técnicas histológicas cuantitativas mediante la observación de las mismas preparaciones histológicas utilizadas para determinar el ciclo reproductivo cualitativo.

Como respuesta a la dificultad que ofrece el recuento de los tipos celulares de la línea germinal masculina, debido a su pequeño tamaño, se utilizó una metodología estereológica (Briarty 1975; Weibel 1979) mediante la superposición de un retículo Weibel (Weibel 1979) sobre imágenes al azar de porciones microscópicas de planos

histológicos transversales del complejo gónada - glándula digestiva (CGGD). Estas imágenes fueron captadas usando un equipo de videomicroscopía (cámara de video Cohu Mod. 4812; microscopio óptico Leitz Orthoplan) y posteriormente, se visualizaron y analizaron en un computador (Power Macintosh 7500 100) con la ayuda del programa de uso público NIH Image 1.60 (desarrollado en el U.S. National Institute of Health y disponible en Internet en el <http://rsb.info.nih.gov/nih-image/>). Luego de una observación de "barrido" de la sección histológica mejor conservada y usando el mismo aumento ($\sim 1000 \times$), según recomendación de Die *et al.* (1995), se escogieron al azar tres campos microscópicos que presentaran tejido gonádico. Con el fin de expresar cuantitativamente la representación del tejido gonadal en relación con los distintos tipos de tejido presentes en las secciones histológicas, se registró el número de impactos de los "puntos de prueba" de la grilla Weibel (100 puntos por campo microscópico), que incidían sobre estos. La sumatoria de las áreas de recuento correspondió a $\sim 0,011 \text{ mm}^2$. En las lecturas se registró el número de impactos de los "puntos de prueba" por cada tipo celular según el criterio sugerido por Christiansen *et al.* (1972, 1973), de tomar en cuenta los elementos ubicados dentro del retículo utilizado inclusive aquellos situados en la periferia del margen superior e izquierdo, con centros de gravedad en las líneas de borde del sistema. En los machos esto correspondió a: espermatogonias y espermatocitos que se encuentran formando parte de la línea germinal temprana (LGT); espermátidas y espermatozoides en la línea germinal avanzada (LGA), células vesiculosas intrafoliculares (CVIF) o intraacinares (CVIA) y "otros" en que se incluyen los vasos sanguíneos, trazas de músculo y hemocitos. Posteriormente se calculó el promedio de impactos de cada tipo celular por individuo, que se transformó a "fracción de volumen" (FV, %) presentada en tablas y gráficos de cada tipo celular por muestreo. En hembras, no se utilizó el método estereológico debido a la superestimación de la proporción de los tipos celulares presentes en cada sección, a consecuencia de su mayor tamaño. Por consiguiente, la cinética de la línea germinal respondió al recuento del número de ovocitos realizados mediante la superposición de un marco de área conocida ($0,0052 \text{ mm}^2$), a un aumento de $625 \times$, sobre la porción

microscópica de un plano histológico transversal del complejo gónada - glándula (CGGD). Para efectuar los recuentos, se adoptó el criterio de Christiansen *et al.* (1972; 1973). Se escogieron al azar tres campos microscópicos por individuo. Como tipos celulares representativos de la cinética de la línea germinal femenina durante el ciclo reproductivo, en cada campo se registró el número total de ovogonias, ovocitos previtelogénicos, ovocitos vitelogénicos adheridos al folículo o acino y ovocitos vitelogénicos libres maduros. El área total de recuento correspondió a $\sim 0,0156 \text{ mm}^2$.

1.2. Objetivo 7

Para la determinación de los períodos de evacuación gamética se utilizaron los resultados del análisis cualitativo y cuantitativo de ciclo reproductivo, considerando tal período como: a) el lapso de tiempo entre la expresión de máximos porcentajes de individuos en condición D3 o madurez total, sucedidos por porcentajes máximos de individuos en R2 o regresión total; y b) el momento en que ocurren las fluctuaciones entre el número máximo de ovocitos vitelogénicos libres, OVL, seguidos de marcados decrementos, como signo claro de su evacuación.

1.3. Objetivo 8

1.3.1. Función de madurez

Se aplicó el análisis de regresión logística el cual consiste en el ajuste de la función logística (programa STATISTICA - módulo NONLIN):

$$P(I) = \frac{1}{1 + e^{\beta_2 + \beta_3}}$$

donde $P(I)$ es la proporción sexualmente madura a la talla I y β_2 y β_3 son parámetros de posición y pendiente respectivamente. Este modelo se considera apropiado para

una variable (madurez sexual) que se comporta en forma dicotómica (individuos maduros e inmaduros) como función de una variable continua (talla). Los errores de este modelo presentan una distribución binomial (Hosmer & Lemeshow, 1989) por lo que los parámetros se estimaron a través de una estimación de máxima verosimilitud binomial:

$$\ln(\beta_2, \beta_3) = - C \sum [h \ln (P(I)) + (1 - h) \ln (1 - P (I))]$$

donde h es la variable ya descrita y con valores de h = 0, inmaduro y h = 1, maduro, $P(I)$ es la ecuación logística y \sum sobre todas las observaciones.

1.3.2. Fecundidad

Dada la laboriosidad y el tiempo propio de las metodologías utilizadas en este tipo de estudios, rutinariamente el número de ejemplares maduros no sobrepasa la decena analizada en un sólo rango de talla. En esta proyecto, para el cálculo de fecundidad potencial se procesaron alrededor de 10 ejemplares hembras de cada especie y localidad en cada rango de talla de 1 cm, desde la talla comercial hasta la talla máxima recolectada, que corresponderían al stock de almejas en reproducción activa afectadas por la extracción pesquera. Los individuos fueron recolectados al momento del ciclo reproductivo de los adultos en que se estimó el mayor porcentaje de D3 (maduros), luego fueron medidos (longitud), pesados y disecados. La masa visceral en vivo se pesó y se midió su volumen. La gónada se disecó totalmente del sistema digestivo y pie, siendo determinado su peso y volumen; luego fue disgregada para liberar los ovocitos, los que fueron resuspendidos en una probeta con 1.000 ml de agua de mar. Luego de obtener una suspensión homogénea de los ovocitos por agitación suave de la columna de agua, se extrajo una alícuota de 1 ml para recuento en cámara por duplicado en microscopio. Cuando hubo discrepancias en el recuento, este se realizó por tercera vez y se promedió. Finalmente, luego de multiplicar el valor obtenido por 1.000, se obtuvo la fecundidad relativa para el

ejemplar analizado. Este estudio preliminar se realizó en 36 ejemplares de *M. edulis* de Puerto Aldea y en 20 ejemplares de *E. lenticularis* de Algarrobo.

En el período agosto - octubre se repitió el procesamiento, pero esta vez la masa visceral fue fijada en formol cálcico de Baker marino y mantenida por dos meses. Luego de lavar las muestras en agua corriente, se procedió a aplicar la metodología señalada anteriormente.

Dado que no hay diferencias entre el material procesado en vivo y fijado, los resultados se expresaron como promedio total de OVL por rango de tamaño \pm error estándar ($X \pm E.E.$), como expresión de la fecundidad potencial por rango de tamaño.

1.4. Objetivo 9

En los estudios de madurez sexual rutinariamente se han utilizado los IGS determinados por las relaciones de peso o gravimétricas de especies en las cuales la gónada es un órgano conspicuo o forma un complejo con la glándula digestiva, aún discernible en individuos inmaduros (*Chlamys (Argopecten) purpurata*, Guerra & Brown 1980; *Halotis rufescens*, Brown 1981; *Concholepas concholepas* Brown *et al.* 1997b; *Fissurella latimarginata*, *F. cumingi*, Brown *et al.* 1997a). Bajo estas mismas condiciones anatómicas, el IGS, determinado por las relaciones de medidas o somatométricas, ha resultado ser apropiado (Brown *et al.* 1997). Sin embargo, como en los estudios de ciclo reproductivo y sobre todo en especies como las almejas en que la gónada no es un órgano conspicuo fácil de aislar en los animales inmaduros o en maduración, la metodología más útil y objetiva sigue siendo la técnica histológica.

En este proyecto se utilizó:

- a) El IGS determinado por las relaciones de medida o somatométricas.
- b) El método histológico por determinación de estados gonadales.

Se realizó un muestreo para cada especie y para cada área de estudio en el período en que, mediante los muestreos de ciclo reproductivo, se observó gametogénesis activa y tendiendo a la madurez total en los animales adultos.

Se intentó procesar, tratando de completar 30 ejemplares para cada rango de talla, hasta la talla máxima obtenida para cada población.

La metodología fue la siguiente:

a) IGS: se determinó IGS1 utilizando una metodología similar a la descrita para el estudio del ciclo reproductivo.

b) Método histológico: la región gonadal o los trozos sagitales en el eje dorsoventral de la gónada, según corresponda con el tamaño de los animales, se procesaron por la técnica histológica de rutina descrita para el estudio del ciclo reproductivo. De acuerdo con el grado de evolución morfológica de la línea germinal, los animales en cada rango de talla fueron clasificados cualitativamente en dos categorías generales (Brown 1995):

A. Línea germinal incompleta (LGI).

B. Línea germinal completa (LGC).

Los ejemplares con línea germinal incompleta se clasificaron de la forma siguiente:

ILGI 1 Sólo presencia de células germinales troncales o gonias (Figs. 143A-157A-B).

MLGI 1 Presencia de espermatogonias (Fig. 157C-D).

FLGI 1 Presencia de ovogonias (Fig. 159A-B).

MLGI 2 Presencia de espermatocitos (Fig. 158A-B).

FLGI 2 Presencia de ovocitos previtelogénicos (Figs. 144A-B, 159C-D).

MLGI 3 Presencia de espermátidas tempranas (Figs. 143B-D, 158C-D).

FLGI 3 Presencia de ovocitos vitelogénicos adheridos, pedunculados y libres (Figs. 144C-D, 160A-D).

Los resultados para cada rango de talla se expresaron en tablas y gráficos como:

a) Frecuencia porcentual de ejemplares con LGI y LGC.

b) Frecuencia porcentual de ejemplares en cada condición de madurez sexual.

Este análisis gráfico permitió visualizar la forma de la relación entre talla y madurez de machos y hembras en cada estado, así como para la muestra total poblacional.

Todas las actividades de muestreo realizadas para cumplir con los objetivos específicos 2 a 9, se resumen en el anexo 2.

2. RESULTADOS

2.1. Objetivo 6

2.1.1. Ciclo reproductivo de los adultos

A. *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región

Es necesario destacar que desde el inicio de este proyecto, las muestras de la población de *M. edulis* de Peñuelas presentaron un estado fisiológico muy deteriorado, evidenciado tanto por su baja sobrevivencia una vez extraídas del agua, como por su aspecto morfológico externo y capacidad de respuesta a estímulos. Fue característico su contenido y aspecto acuoso que se corresponde con una débil consistencia. Además, mediante el análisis histológico de los cortes, se ha podido comprobar que prácticamente el 100% presenta numerosos quistes individuales de parásitos (aparentemente tremátodos) en la pared muscular externa que subyace a la epidermis (Fig. 111A-B). Tanto la condición gonadal (Figs. 110A-B, 111A) como el estado fisiológico de los ejemplares de esta población difieren notoriamente de los ejemplares provenientes de Puerto Aldea y de *E. lenticularis* de Algarrobo, como se describirá más adelante.

A.1. Índice gonadosomático, IGS

La Tabla 47 resume los resultados de IGS para el total de ejemplares de las muestras poblacionales sin considerar el sexo. Los promedios se expresan en la Fig. 106.

La Tabla 48 resume los resultados de medidas del complejo gónada - glándula digestiva (masa visceral) y los respectivos IGS calculados en base de estas medidas y las medidas de la concha, donde: **IGSL** = índice gonadosomático en base a la longitud, **IGSH** = índice gonadosomático en base a la altura, **IGSA** = índice gonadosomático en base al ancho; **CGGD** = complejo gónada - glándula digestiva. La distribución de los promedios se expresa en la Fig. 107.

Las variaciones en IGS expresadas en los promedios, con valores entre 7,18 y 13,97, muestran una distribución con dos tendencias: una en que se mantienen IGS bajos entre diciembre 1997 y junio 1998, y otra, en que hay un claro incremento hasta alcanzar su valor más alto en noviembre 1998 de incremento desde febrero a julio de 1998.

El índice gonadosomático en base a la longitud del complejo gónada - glándula digestiva / longitud de la concha, **IGSL**, el índice gonadosomático en base a la altura, **IGSH** y el índice gonadosomático en base al ancho, **IGSA**, siguen una tendencia similar al anterior índice gonadosomático en base al peso del complejo gónada - glándula digestiva / peso total con concha escurrido. Las fluctuaciones son leves en el período de índices gonadosomáticos bajos. Estos valores bajos tienen un claro correlato con la condición gonadal de regresión o evacuación total, R2, predominante de diciembre de 1997 a junio de 1998; consecuentemente, los valores que incrementan desde julio a noviembre, se corresponden con los mayores porcentajes de animales en desarrollo avanzado, maduros (D2 y D3) y en regresión (comparar Figs. 116-117 con 122-123).

A.2. Análisis histológico cualitativo

Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para los ejemplares machos se muestran en la Tabla 49 y, para las hembras, en la Tabla 50. Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para la muestra total sin considerar el sexo se muestran en la Tabla 51. La distribución de las frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para los ejemplares machos se expresan en la Fig. 108A, y para las hembras, en Fig. 108B. Los porcentajes totales para los distintos estados gonadales en las muestras poblacionales, sin considerar el sexo, están representados en la Fig. 109. Las Figs. 110A-B y 110C-D (fotomicrografías de secciones histológicas) muestran el estado histológico general de regresión total al inicio y al final del período de muestreo, respectivamente.

En los muestreos para esta población de almejas se puede apreciar que en machos y hembras hay una tendencia general similar de aparición de los estados gonadales. En general, a nivel poblacional, están representados al menos tres estados histológicos de la gónada en un mismo mes. Los estados de regresión o evacuación total R2 y desarrollo inicial D1 corresponden a un alto porcentaje alrededor del 80% de los animales en el período diciembre 1997– junio 1998. Por el contrario, los estados de desarrollo avanzado D2, maduro D3 y regresión inicial R1, son los más frecuentes en el período julio – noviembre 1998. Este patrón de estados gonadales muestra un claro correlato con los índices gonadosomáticos, como se señaló anteriormente.

Es necesario destacar que la mayoría de los ejemplares presentaron quistes de parásitos (aparentemente tremátodos) en el tejido muscular subepidérmico (Figs. 111A-B), principalmente en la primera mitad del período de muestreo. Aun muy infrecuente, también hay evidencias de parasitación por tremátodos a nivel gonadal, por la presencia de esporocistos de tremátodos en el compartimiento intersticial interfolicular con efecto de castración (Fig. 111C).

A.3. Análisis histológico cuantitativo

Los resultados de los recuentos mensuales de tipos celulares en los machos se muestran en la Tabla 52. La distribución de los promedios de células de la línea germinal temprana (LGT) se expresa en la Fig. 112A, la de la línea germinal avanzada (LGA) en la Fig. 112B, la de las células vesiculosas intrafoliculares (CVIF), en la Fig. 112C y de otros tipos celulares se expresa en la Fig. 112D. Los resultados de los recuentos mensuales de tipos celulares en las hembras se muestran en la Tabla 53. La distribución de los promedios de ovogonias se expresan en la Fig. 113A, de ovocitos previtelogénicos (OPV) en la Fig. 113B, de ovocitos adheridos (OVA) en la Fig. 113C y de ovocitos vitelogénicos libres (OVL) en la Fig. 113D.

En los machos, los valores de recuento en células de la línea germinal temprana LGT tienen un estrecho correlato directo; sin embargo, las variaciones en los recuentos de células vesiculosas intrafoliculares, CVIF, y otros elementos, OTROS, muestran un claro correlato inverso a los valores de recuento de células de la línea germinal avanzada, LGA. Consecuentemente, en machos, los promedios altos de LGT, en el período julio – noviembre 1998, se corresponden directamente con los de LGA (comparar Fig. 112A y 112B); al mismo tiempo que se correlacionan inversamente los recuentos de CVIF y OTROS, (comparar Figs. 112A-112B con 112C-112D). Consecuentemente hay un correlato estrecho con los estados histológicos de madurez gonadal, en que los valores máximos de LGA, representada por espermatidas y espermatozoides, se corresponden estrechamente con las máximas frecuencias de machos en el estado gonadal de desarrollo avanzado D2, total o maduro D3 y regresión inicial R1, del período junio – octubre 1998 (comparar Fig. 112 con 108B).

El correlato también es claro en las hembras pero sigue una tendencia inversa progresiva entre ciertos tipos celulares de la línea germinal. Así, entre diciembre 1997 y junio 1998, una disminución en las gonias se correspondió con un aumento

en ovocitos previtelogénicos, OPV. La progresiva disminución en OPV fue acompañada por el progresivo aumento de ovocitos adheridos OVA hacia agosto 1998 y el progresivo incremento de ovocitos libres hacia noviembre del mismo año, cuando se dieron las mayores frecuencias de hembras en la condición gonadal de desarrollo avanzado D2, total D3 y regresión inicial R1, en el correspondiente período julio – noviembre 1998 (comparar Fig. 113 con 108B).

B. *Mulinia edulis* de Puerto Aldea, IV Región

B.1. Índice gonadosomático, IGS

La Tabla 54 resume los resultados de IGS para los ejemplares totales de las muestras poblacionales sin considerar el sexo. Los promedios se expresan en la Fig. 114.

La Tabla 55 resume los resultados de medidas del complejo gónada - glándula digestiva (masa visceral) y los respectivos IGS calculados en base a estas medidas y las medidas de la concha donde: **IGSL** = índice gonadosomático en base a la longitud, **IGSH** = índice gonadosomático en base a la altura, **IGSA** = índice gonadosomático en base al ancho; **CGGD** = complejo gónada - glándula digestiva. La distribución de los promedios se expresan en la Fig. 115.

Las fluctuaciones en IGS expresadas en los promedios con valores entre 11,93 y 15,47, muestran sus máximos en diciembre 1997- febrero, mayo y julio 1998. A diferencia de la población de Peñuelas, estas variaciones aparentemente no tienen un correlato claro con las variaciones en los estados gonadales. Como se verá más adelante, el IGS más bajo, de 11,93, de junio se corresponde con el mayor porcentaje de animales con desarrollo gonadal total D3, y valores altos de febrero y noviembre se correlacionan con porcentajes elevados de animales en regresión gonadal R1-R2 (comparar Tabla 52 y Fig. 117).

El índice gonadosomático en base de la longitud del complejo gónada - glándula digestiva / longitud de la concha, **IGSL**, así como el índice gonadosomático en base a la altura, **IGSH** y el índice gonadosomático en base al ancho, **IGSA**, sigue una tendencia similar al **IGS**. Sin embargo, las fluctuaciones en los índices gonadosomáticos de la población de Puerto Aldea no son tan marcadas como en la población de Peñuelas; además, es necesario destacar que los valores de IGS en los primeros meses prácticamente se duplican en los ejemplares de Puerto Aldea (comparar Tablas 47 y 54).

B.2. Análisis histológico cualitativo

Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para los ejemplares machos, se muestran en la Tabla 56 y para las hembras en la Tabla 57. Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para la muestra total, sin considerar el sexo, se muestran en la Tabla 58. La distribución de las frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para los ejemplares machos se expresan en la Fig. 116A, y para las hembras, en Fig. 116B. Los porcentajes totales para los distintos estados gonadales en las muestras poblacionales, sin considerar el sexo, están representados en la Fig. 117. Las Figs. 118-120 (fotomicrografías de secciones histológicas) muestran los distintos estados histológicos de la gónada de los machos y hembras adultos.

En esta población de almejas se puede apreciar que en machos y hembras hay una tendencia general similar de aparición de los estados gonadales, que es más evidente en las variaciones porcentuales de la condición de madurez total **D3**. En general, a nivel poblacional, están representados al menos tres estados histológicos de la gónada en un mismo mes. El estado de desarrollo o madurez total **D3** está presente durante todos los meses, excepto en septiembre y noviembre 1998, con su máxima frecuencia en marzo y junio 1998, en los machos; también en junio, para las hembras, es el estado más representado junto con el desarrollo avanzado **D2** y la

regresión inicial R1 (Fig. 116). Consecuentemente, la condición de regresión o evacuación total R2 y el desarrollo gonadal inicial D1 es poco frecuente pero se presenta durante todo el período de muestreo en bajos porcentajes.

Se puede observar que el patrón de frecuencias de estados gonadales de esta población de *M. edulis* difiere notoriamente del patrón exhibido por la población de Peñuelas.

Es interesante destacar que se presentaron algunos casos de ejemplares hermafroditas que tenían folículos gonadales masculinos contiguos a folículos femeninos (Fig. 121A) y otros en que dentro de un mismo folículo presentaron células germinales masculinas y femeninas (Fig. 121B-C), en un caso junto a folículos gonadales netamente femeninos (Fig. 121C).

Como en *M. edulis* de Peñuelas también se presenta con muy baja frecuencia la parasitación por tremátodos a nivel gonadal (Fig. 121D).

B.3. Análisis histológico cuantitativo

Los resultados de los recuentos mensuales de tipos celulares en los machos se muestran en la Tabla 59. La distribución de los promedios de células de la línea germinal temprana (LGT) se expresan en la Fig. 122A, de la línea germinal avanzada (LGA) en la Fig. 122B, de las células vesiculosas intrafoliculares (CVIF) en la Fig. 122C y de otros tipos celulares, se expresan en la Fig. 122D.

Los resultados de los recuentos mensuales de tipos celulares en las hembras se muestran en la Tabla 60. La distribución de los promedios de ovogonias se expresan en la Fig. 123A, la de ovocitos previtelogénicos (OPV) en la Fig. 123B, la de ovocitos adheridos (OVA) en la Fig. 123C y la de ovocitos vitelogénicos libres (OVL) en la Fig. 123D.

De manera similar a lo observado en *M. edulis* de Peñuelas, en los machos de esta especie de Pto. Aldea, los valores de recuento en células de la línea germinal temprana (LGT) así como otros elementos (OTROS), tienen un estrecho correlato inverso con las variaciones de recuento de células de la línea germinal avanzada

(LGA). Si bien los recuentos de células vesiculosas intrafoliculares (CVIF) muestran fluctuaciones, estas células son escasas. Consecuentemente, en machos, los promedios altos de LGA en febrero y junio se corresponden con promedios bajos de LGT y OTROS (comparar Figs. 122A y 122B) y por lo tanto hay un correlato estrecho con los estados histológicos de madurez gonadal, en que los valores máximos de LGA representada por espermatidas y espermatozoides, se corresponden estrechamente con las máximas frecuencias de machos en el estado gonadal de desarrollo total o maduro D3, en febrero y junio (comparar Figs. 122 y 116A).

El correlato también es claro en las hembras pero sigue una tendencia inversa progresiva entre ciertos tipos celulares de la línea germinal. Así, entre diciembre y junio, una disminución en las gonias se corresponde con aumentos fluctuantes en ovocitos previtelogénicos (OPV) y con un aumento progresivo en ovocitos previtelogénicos libres (OVL), con máximo en junio. Consecuentemente, un aumento de OPV en agosto va seguido por el aumento de ovocitos adheridos (OVA) hacia septiembre - noviembre, y que no están acompañados por abundancia de OVL, correlacionándose con importantes frecuencias de hembras en la condición gonadal de desarrollo avanzado D2, y de regresión inicial R1 (comparar Fig. 123 con 116B).

C. *Protothaca thaca* de Punta Choros, IV Región

C.1. Análisis histológico cualitativo

Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada, para los ejemplares machos, se muestran en la Tabla 61 y para las hembras, en la Tabla 62. Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para la muestra total, sin considerar el sexo, se muestran en la Tabla 63. Las Figs. 124 y 125

(fotomicrografías de secciones histológicas) muestran los principales estados histológicos de la gónada de los machos y hembras adultos.

En junio, todos los machos y más del 90% de las hembras están en regresión gonadal, predominando la condición de regresión o evacuación inicial R1, además de dos hembras maduras, D3. Los altos porcentajes de ejemplares en regresión se mantienen en julio; sin embargo, se encontraron un macho y cinco hembras en desarrollo total o maduro, D3.

D. *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región

D.1. Índice gonadosomático, IGS

La Tabla 64 resume los resultados de IGS para los ejemplares totales de las muestras poblacionales sin considerar el sexo. Los promedios se expresan en la Fig. 126.

La Tabla 65 resume los resultados de medidas del complejo gónada - glándula digestiva (masa visceral) y los respectivos IGS calculados en base de estas medidas y las medidas de la concha donde: **IGSL** = índice gonadosomático en base a la longitud, **IGSH** = índice gonadosomático en base a la altura, **IGSA** = índice gonadosomático en base al ancho; **CGGD** = complejo gónada - glándula digestiva. La distribución de los promedios se expresa en la Fig. 127.

Las fluctuaciones en IGS expresadas en los promedios, son leves, con valores desde 8,34 a 10,99, no mostrando una tendencia clara.

El índice gonadosomático en base de la longitud del complejo gónada - glándula digestiva / longitud de la concha, **IGSL**, el índice gonadosomático en base a la altura, **IGSH** y el índice gonadosomático en base al ancho, **IGSA**, siguieron una tendencia similar al IGS. Sin embargo, se presentaron valores máximos de índices gonadosomáticos en agosto - septiembre 1998, con coincidencia de los máximos de noviembre de los años 1997 y 1998. Estas variaciones que aparentemente no tienen un correlato claro con las variaciones en los estados gonadales, al menos se

correlacionan con los mayores porcentajes poblacionales o totales de animales en desarrollo avanzado y maduros D2 - D3 (comparar Tablas 64 con 65 y Figs. 126 con 127).

D.2. Análisis histológico cualitativo

Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para los ejemplares machos se muestran en la Tabla 66 y para las hembras, en la Tabla 67. Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para la muestra total, sin considerar el sexo, se muestran en la Tabla 68. La distribución de las frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para los ejemplares machos se expresa en la Fig. 128A, y para las hembras, en la Fig. 128B. Los porcentajes totales para los distintos estados gonadales en las muestras poblacionales, sin considerar el sexo, están representados en la Fig. 129. Las Figs. 130A-132B (fotomicrografías de secciones histológicas) muestran los distintos estados histológicos de la gónada de los machos y hembras adultos.

En la población de *E. lenticularis* de Algarrobo se puede apreciar que en machos y hembras no hubo una tendencia general similar de aparición de los estados gonadales muy evidente. En general, a nivel poblacional, estuvieron representados al menos tres estados histológicos de la gónada en un mismo mes. En los machos, los estados de madurez avanzada, D2, y de madurez total, D3, fueron muy frecuentes en cada mes analizado, excepto en octubre, cuando se evidenció más de un 80% de los ejemplares en desarrollo inicial, D1. Consecuentemente, en los machos, la condición de regresión estuvo poco representada (Fig. 128A). En las hembras, los máximos porcentajes en desarrollo total o maduro, D3, se presentaron sólo en noviembre de 1997 y octubre de 1998, sin alcanzar el 40%; en cambio, la regresión inicial, R1, estuvo bien representada durante todo el período de muestreo por sobre tal porcentaje, junto con una frecuencia importante de animales en desarrollo avanzado, D2. La regresión total o evacuación total de gametos, R2,

escasamente frecuente, se presentó en noviembre - diciembre de 1997 y en febrero de 1998, destacándose este período por frecuencias importantes de desarrollo inicial D1, así como también en junio y julio (Fig. 128B). La tendencia general a la disminución de D3 hacia marzo, aparentemente puede correlacionarse con la disminución observada en los índices gonadosomáticos (comparar Figs. 126-127 con 129).

Como en *M. edulis* también se presentó, con muy baja frecuencia, la parasitación por tremátodos a nivel gonadal (Fig. 132D). Además fue muy común la parasitación por protozoos microsporidios intraocitarios (Fig. 132C), ya descritos en un estudio previo (Campos & Brown 1998).

D.3. Análisis histológico cuantitativo

Los resultados de los recuentos mensuales de tipos celulares en los machos se muestran en la Tabla 69. La distribución de los promedios de células de la línea germinal temprana (LGT) se expresa en la Fig. 133A, la de la línea germinal avanzada (LGA) en la Fig. 133B, la de las células vesiculosas intraacinares (CVIA), en la Fig. 133C y la de otros tipos celulares, en la Fig. 133D. Los resultados de los recuentos mensuales de tipos celulares en las hembras se muestran en la Tabla 70. La distribución de los promedios de ovogonias se expresan en la Fig. 134A, la de ovocitos previtelogénicos (OPV) en la Fig. 134B, la de ovocitos adheridos (OVA) en la Fig. 134C y la de ovocitos vitelogénicos libres (OVL) en la Fig. 134D.

En machos, los valores de recuento en células de la línea germinal temprana LGT tienen un correlato recíproco con los valores de recuento de células de la línea germinal avanzada, LGA, al mismo tiempo que hay un correlato directo con los estados histológicos de madurez gonadal. Sin embargo, en los machos, los promedios de LGT y LGA mostraron pocas variaciones durante el período noviembre – agosto 1998 y, en octubre, hubo un aumento notorio en la LGT que se corresponde inversamente con un decremento violento de LGA (comparar Figs. 133A con 133B), al mismo tiempo que se correlaciona directamente con la

presencia por sobre un 80% de animales en la condición de desarrollo inicial, D1 (Fig. 128A) Por otra parte, en los machos, los valores máximos de LGA, representada por espermátidas y espermatozoides, en este caso se correspondieron con las máximas frecuencias de machos en el estado gonadal de desarrollo avanzado D2, total o maduro D3, y de regresión inicial R1, en el período noviembre - agosto 1998 (comparar Fig. 128A con 133B).

Este correlato también se presentó en las hembras, en las cuales los promedios bajos de gonias, OPV y/o OVA (abril) se correspondieron consecutivamente con promedios altos de OVL (mayo). Sin embargo, en el resto del período de muestreo, la correlación no fue tan clara ya que las fluctuaciones en los ovocitos libres estuvieron entre 3,7 y 5,7 (Tabla 70).

E. *Protothaca thaca* de Maitencillo, V Región

E.1. Análisis histológico cualitativo

Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para los ejemplares machos se muestran en la Tabla 71 y para las hembras, en la Tabla 72. Los resultados de número y frecuencias porcentuales de los distintos estados histológicos de la gónada para la muestra total, sin considerar el sexo, se muestran en la Tabla 73.

De los dos meses muestreados, en diciembre 1997, alrededor del 80% de machos y hembras estaban en desarrollo total o maduros, junto a machos y hembras en regresión inicial R1 y total R2. En enero 1998 es destacable que todos los machos y más del 80% de las hembras estaban en regresión gonadal con un alto porcentaje en R2 o evacuación total. Además, en hembras, aparecieron ejemplares en desarrollo inicial D1 y avanzado D2.

2.2. Objetivo 7

A. *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región

En esta población puede asumirse la aparición de animales en regresión o evacuación total de gametos R2 en octubre y noviembre de 1998, consecuente con un aumento de desarrollo gonadal D2-D3 y regresión inicial R1 (Fig. 109). Así mismo se debe considerar la leve caída en el recuento de LGA en los machos (Fig. 112B); sin embargo, los OVL fueron en franco ascenso (Fig. 113D).

B. *Mulinia edulis* de Puerto Aldea, IV Región

En esta población hubo un decremento en la frecuencia de la condición de desarrollo avanzado y total D2-D3 hacia febrero - marzo 1998 con el consecuente aumento de regresión o evacuación inicial R1 y aparición de animales en regresión total R2 (Fig. 117). Si bien marzo – abril y junio – agosto 1998 presentaron decrementos de LGA consecuentes a máximos previos (Fig. 122B), esta condición sólo se dio en el último período para los OVL en las hembras (Fig. 123D).

C. *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región

En esta especie hubo un período, de noviembre de 1997 a febrero de 1998, en que estuvieron bien representados los estados de desarrollo inicial D1 junto con la regresión o evacuación total, estado que se determinó también en junio – julio (Fig. 129) y septiembre – noviembre 1998 para los machos, principalmente octubre en que se dieron los menores recuentos de LGA (Tabla 67).

2.3. Objetivo 8

2.3.1. Función de madurez

A. *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región

El ajuste de la función de madurez resultó en los estimadores de parámetros que se indican en la Tabla 74. La curva de madurez y la talla de primera madurez se muestran en la Fig. 135.

A partir de estos parámetros, la estimación de $I_{50\%}$ indica que la talla de primera madurez fue de 8,6 mm.

B. *Mulinia edulis* de Puerto Aldea, IV Región

En esta localidad prácticamente no fue posible encontrar ejemplares menores a 45 mm, y sobre este tamaño todos los ejemplares presentaron línea germinal completa, LGC, por lo que no fue posible calcular la talla mínima de primera madurez sexual (como se verá más adelante), y por lo tanto no se pudo hacer el ajuste de la función de madurez.

C. *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región

El ajuste de la función de madurez resultó en los estimadores de parámetros que se indican en la Tabla 75. La curva de madurez y la talla de primera madurez se muestran en la Fig. 136.

A partir de estos parámetros, la estimación de $I_{50\%}$ indica que la talla de primera madurez fue de 38,0 mm.

2.3.2. Fecundidad

2.3.2.1. Fecundidad relativa

A. *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región

La Tabla 76 resume los resultados promedio y desviación estándar de fecundidad relativa por rangos de talla.

En esta especie se puede observar que entre los 50,0 y los 64,9 mm de longitud, el número total de ovocitos aumentó con el rango de talla, entre 1.238.000 y 1.608.333, aún cuando disminuyó el volumen gonadal total. Este aumento de acuerdo con el rango de talla, también se observó cuando se determinó el número de ovocitos / 0,1 ml de gónada.

B. *Mulinia edulis* de Puerto Aldea, IV Región

La Tabla 77 resume los resultados promedio y desviación estándar de fecundidad relativa por rangos de talla.

En las hembras obtenidas para este estudio, entre los 50,0 y los 74,0 mm de longitud, el número total de ovocitos aumentó con el rango de talla, entre 1.408.000 y 2.456.666, aún cuando el volumen gonadal no tuvo un aumento consecuente, superando los valores determinados para los mismo rangos en la población de Peñuelas. Como en los ejemplares de Peñuelas, el incremento también se observa cuando se determinó el número de ovocitos / 0,1 ml de gónada, aún cuando a los 70,0 - 74,0 mm fue menor; sin embargo, la desviación estándar que, en general, fue alta, en este rango lo fue aún más.

C. *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región

La Tabla 78 resume los resultados promedio y desviación estándar de fecundidad relativa por rangos de talla.

La fecundidad relativa por ejemplar presentó una tendencia general similar a la observada para *M. edulis*, siendo más clara la tendencia al aumento en el total de ovocitos a medida que aumentaron los rangos de talla. Sin embargo, aún cuando hubo una tendencia al aumento en el número de ovocitos / 0,1 ml de gónada, los promedios disminuyeron entre los 60,0 y 69,9 mm.

En las dos poblaciones de *M. edulis* y en la de *E. lenticularis*, se puede apreciar que, si bien, en los animales hubo un aumento del peso de las partes blandas, en el volumen total y en el volumen del sistema digestivo (glándula digestiva y tubo digestivo) en relación con el rango de talla, tal correlato no se observa respecto del volumen de la gónada.

2.4. Objetivo 9

2.4.1. Talla mínima de primera madurez sexual

A. *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región

A.1. Índice gonadosomático, IGS

La Tabla 79 resume los resultados de IGS para los ejemplares totales de las muestras poblacionales sin considerar el sexo, extraídas por rango de talla para el análisis de madurez sexual.

Los valores de IGS entre 10,4 y 12 no presentaron grandes variaciones relacionadas con los rangos de talla. Sin embargo, el mayor promedio correspondió al menor rango, de 30 - 34 mm.

Es necesario aclarar que en el Informe de Avance se presentó una Fig.10 mostrando IGS por rango de talla, correspondiente a un primer muestreo, en diciembre de 1997. Los IGS presentaban valores similares en los distintos rangos de talla, lo que puede ser expresión del estado de regresión generalizado en los adultos por el mal estado fisiológico que presentaron los animales extraídos para ciclo reproductivo. Por tal razón la muestra no se procesó para análisis histológico. Los resultados presentados en este Informe corresponden a un muestreo realizado en noviembre de 1998.

A.2 Análisis histológico

La Tabla 80 resume los resultados de estados histológicos de madurez sexual de las muestras poblacionales extraídas para cada rango de talla y para cada sexo, así como las frecuencias porcentuales totales de ejemplares con Línea Germinal Incompleta, LGI, y de ejemplares con Línea Germinal Completa, LGC, sin considerar el sexo. La Fig. 137 muestra las frecuencias de estados gonadales de madurez sexual; la Fig. 138, las frecuencias en que se presentan los animales con LGC como expresión de primera madurez sexual para los machos, y las Figs. 139 y 140 para las hembras respectivamente. La Fig. 141 muestra la frecuencia de estados gonadales de madurez sexual poblacional y la Fig. 142 la frecuencia con que se presenta la primera madurez sexual poblacional. Las Figs. 143 y 144 (fotomicrografías de secciones histológicas) muestran los distintos estados histológicos de la gónada encontrados en ejemplares indeterminados y en machos y hembras inmaduros con LGI.

A.3. Talla mínima de madurez sexual individual

El ejemplar macho de menor tamaño que presentó Línea Germinal Completa, LGC, correspondió al rango 0,1 - 10,0 mm y midió 8,9 mm de longitud. La gónada presentó una maduración homogénea de los acinos gonadales como en los adultos en estado de desarrollo inicial MD1, con abundante línea germinal temprana, LGT, representada por espermatogonias, espermatocitos, y escasas espermátidas elongadas iniciando la formación de columnas. También hay espermatozoides residuales hacia el lumen folicular. Esto indica que ha alcanzado el estado de desarrollo o madurez inicial masculina LGCD1, con signos de evacuación previa.

El ejemplar hembra de menor tamaño que presentó LGC también correspondió al rango 0,1 - 10,0 mm y midió 8,2 mm de longitud. Esta hembra presentó acinos gonadales con LGT, integrada por ovogonias y ovocitos previtelogénicos 1 y 2, y algunos elementos LGA, integrada por ovocitos vitelogénicos pedunculados y ovocitos vitelogénicos libres. Esto indica que ha alcanzado el estado de desarrollo o madurez inicial femenino, LGCD1, propio de los adultos.

A.4. Talla mínima de madurez sexual poblacional

En este trabajo se consideró como la talla mínima de madurez sexual de la muestra poblacional, aquella correspondiente al rango de talla en que la frecuencia porcentual de ejemplares con LGC, era igual o mayor al 50%; y en que los animales son capaces de experimentar la primera evacuación de gametos durante el ciclo propio de los adultos.

Ya en el rango 0,1 - 10,0 mm hubo machos con LGC, evidentemente en la condición de desarrollo o madurez inicial D1; y en el rango siguiente aumentó al 100%, con más de un 40% en regresión o evacuación inicial de gametos (R1). El estado de línea germinal incompleta, LGI, que caracteriza a los animales inmaduros, estuvo representado en los machos por la condición LGI3 sobre el 55% sólo en el primer rango. Por lo tanto, la condición LGC representativa de la talla de primera madurez sexual ya se establece en el segundo rango de talla 10,1 - 20,0 mm, con el 100% de

animales que presentan incluso los indicadores propios de la evacuación de gametos o regresión inicial (R1) (Tabla 80, Fig. 137), y que correspondería al rango de primera madurez sexual poblacional en los machos (Fig. 138).

La misma tendencia se observó en las hembras con más del 60% de LGI en el primer rango de talla, en que hubo un pequeño porcentaje en la condición LGI2 que no estuvo representada en los machos. La LGC ya se establece en un 80% con ejemplares que presentan los estados de desarrollo gonadal inicial (D1) y regresión (R1-R2), propio de los adultos, en el rango de talla siguiente de 10,1 - 20,0 mm (Tabla 80, Fig. 139), que correspondería a la talla de primera madurez sexual poblacional en las hembras (Fig. 140), como en los machos, y que se expresa en la talla de primera madurez sexual poblacional total.

B. *Mulinia edulis* de Puerto Aldea, IV Región

B.1. Índice gonadosomático, IGS

La Tabla 81 resume los resultados de IGS para los ejemplares totales de las muestras poblacionales sin considerar el sexo, extraídas por rango de talla para el análisis de madurez sexual.

En esta localidad prácticamente no fue posible encontrar ejemplares menores a 45 mm. Los ejemplares del rango 45 - 49 mm tuvieron un IGS de 13,8.

B.2. Análisis histológico

La Tabla 82 resume los resultados de estados histológicos de madurez sexual de las muestras poblacionales extraídas para cada rango de talla y para cada sexo, así como las frecuencias porcentuales totales de ejemplares con Línea Germinal Incompleta, LGI, y de ejemplares con Línea Germinal Completa, LGC, sin considerar el sexo. La Fig. 145 muestra las frecuencias de estados gonadales de madurez sexual y la Fig. 146, las frecuencias en que se presentan los animales con LGC como

expresión de primera madurez sexual para los machos, y las Figs. 147 y 148, para las hembras respectivamente. La Fig. 149 muestra la frecuencia de estados gonadales de madurez sexual poblacional y la Fig. 150, la frecuencia con que se presenta la primera madurez sexual poblacional.

En el rango 45,1 - 50 mm ya se expresa la condición propia de la talla de primera madurez sexual; el 100% de los machos y de las hembras estaban en la condición LGC con animales en desarrollo D1, D3 y en regresión R1 y R2, así como los dos ejemplares machos del rango anterior.

C. *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región

C.1. Índice gonadosomático, IGS

La Tabla 83 resume los resultados de IGS para los ejemplares totales de las muestras poblacionales sin considerar el sexo, extraídas por rango de talla para el análisis de madurez sexual.

El IGS entre 5,8 y 9,8 mostró una tendencia de aumento desde el rango 30 - 34 mm, con un cambio notable desde los 45 mm.

C.2. Análisis histológico

La Tabla 84 resume los resultados de estados histológicos de madurez sexual de las muestras poblacionales extraídas para cada rango de talla y para cada sexo, así como las frecuencias porcentuales totales de ejemplares con Línea Germinal Incompleta, LGI, y de ejemplares con Línea Germinal Completa, LGC, sin considerar el sexo. La Fig. 151 muestra las frecuencias de estados gonadales de madurez sexual, la Fig. 152, las frecuencias en que se presentan los animales con LGC como expresión de primera madurez sexual para los machos, y las Figs. 153 y 154 para las hembras respectivamente. La Fig. 155 muestra la frecuencia de estados gonadales de madurez sexual poblacional y la Fig. 156, la frecuencia con que se presenta la

primera madurez sexual poblacional. Las Figs. 157 a 160 (fotomicrografías de secciones histológicas) muestran los distintos estados histológicos de la gónada encontrados en ejemplares indeterminados y en machos y hembras inmaduros con LGI.

C.3. Talla mínima de madurez sexual individual

El ejemplar macho de menor tamaño que presentó Línea Germinal Completa, LGC, correspondió al rango 35,1 - 40,0 mm y midió 36,5 mm de longitud. La gónada presenta una maduración homogénea de los acinos gonadales como en los adultos en regresión inicial con nueva onda de maduración, hay línea germinal temprana, LGT, representada por espermatogonias, espermatocitos y abundantes espermatozoides desorganizados hacia el lumen acinar. Esto indica que ha alcanzado el estado de regresión o evacuación inicial masculina LGCR1.

El ejemplar hembra de menor tamaño que presentó LGC correspondió al rango 29,1 - 35,0 mm y midió 29,4 mm de longitud. Esta hembra presentó acinos gonadales con LGT integrada por ovogonias y ovocitos previtelogénicos 1 y 2, y elementos celulares de la LGA integrada por ovocitos vitelogénicos pedunculados y algunos ovocitos vitelogénicos libres residuales. Esto indica que ha alcanzado el estado de desarrollo o madurez inicial femenino, LGCD1, propio de los adultos; sin embargo hay OVL residuales propios de la condición de regresión, indicando evacuación previa.

C.4. Talla mínima de madurez sexual poblacional

Ya en el rango 35,1 - 40,0 mm hubo machos con LGC, en la condición de desarrollo inicial D1, total o maduros D3 y en regresión o evacuación inicial de gametos (R1) sobre un 40%. El estado de línea germinal incompleta, LGI, que caracteriza a los animales inmaduros, estuvo representado en los machos mayormente por LGI3; consecuentemente va en decremento a medida que aumentan sobre el 80% los animales con línea germinal completa, LGC, en desarrollo (D1-D3) y en regresión (R1) en el rango 40,1-45,0 mm. Por lo tanto la condición LGC

representativa de la talla de primera madurez sexual ya se establece en el rango de talla 40,1 - 50,0 mm (Tabla 84, Fig. 151), con un alto porcentaje de animales que presentan incluso los indicadores propios de la evacuación de gametos o regresión (R), que correspondería a la talla mínima de madurez sexual poblacional en los machos (Fig. 152).

La misma tendencia se observó en las hembras; sin embargo, sobre el 80% estaba en la condición LGI1 - LGI2, prevaleciendo ésta última hasta los 35,1 - 40,0 mm. La LGC ya se estableció sobre el 50% con ejemplares que presentaban los estados de desarrollo gonadal inicial y avanzado (D1-D2) propio de los adultos, en el rango de talla 35,1 - 40,0 mm (Tabla 84, Fig. 153), que correspondería a la talla mínima de madurez sexual poblacional en las hembras (Fig. 154), a un rango menor que en los machos.

Consecuentemente, la talla mínima de madurez sexual poblacional, sin considerar el sexo se expresa en el rango de talla 40,1 - 45,0 mm en que sobre el 80% de los animales ha alcanzado la condición de LGC (Tabla 84, Fig. 156) y los estados gonadales propios de los adultos, desarrollo inicial, avanzado y total (D1-D2-D3), y regresión inicial(R1), están representados en la muestra poblacional (Fig. 155).

Es necesario aclarar que la condición LGI1 está representada en este caso por animales clasificados como indeterminados (INDET) con sólo gonias que no permiten identificar el sexo, que en el primer rango se presentan con una frecuencia cercana al 40% decreciendo hasta no estar representado a los 40,1 - 45,0 mm (Fig. 155). Los animales representados como LGI1 son aquellos en que las gonias y la morfología de los acinos gonadales permitieron discriminar el sexo.

3. DISCUSIÓN

3.1. Ciclo reproductivo de los adultos

En la historia de vida de los moluscos, el ciclo reproductivo puede considerarse como un carácter de la expresión del sexo a nivel gonadal, al cual se incorporan los

animales juveniles de una población una vez experimentada la primera madurez sexual. Giese (1959) lo define como la serie de eventos que ocurren en la gónada, desde el momento de la activación, crecimiento y gametogénesis, hasta la emisión de gametos y regresión de la actividad gonadal a un nivel de reposo relativamente sostenido. El ciclo reproductivo tiene un correlato directo con la actividad o ciclo gametogénico en los individuos de una población (Sastry, 1979), determinando un período reproductivo de gametogénesis y evacuación de gametos y, eventualmente, un período de reposo gonadal en que la línea germinal está inactiva.

De acuerdo con su duración, el ciclo reproductivo de las especies es una respuesta al ambiente, genéticamente controlada en que los eventos reproductivos se expresan en patrones anuales, semianuales o continuos (Giese, *op. cit.*). A nivel poblacional, estos eventos pueden ser sincrónicos si todos los adultos de la población se reproducen simultáneamente o asincrónicos cuando los individuos tienen ciclos gametogénicos desfasados, determinando un mosaico de individuos en diferentes estados de actividad gametogénica (Sastry, *op. cit.*).

Entre los estímulos ambientales, la temperatura ha mostrado una estrecha correlación con el desarrollo de la gametogénesis. En los moluscos bivalvos que se distribuyen en varias zonas climáticas, el patrón reproductivo puede variar en relación con el ambiente local. Es así como en las especies de origen tropical que extienden su distribución hasta zonas frías, las poblaciones que habitan en el límite frío presentan una actividad gametogénica durante los meses cálidos. En cambio, en aquellas especies cuyo origen se encuentra en latitudes frías pero que se distribuyen hasta las zonas cálidas, el período reproductivo en el límite cálido tiende a ocurrir en los meses fríos (Sastry *op. cit.*).

El ciclo reproductivo de las almejas adopta diversos patrones de expresión. Por ejemplo, en el Hemisferio Sur, hay especies con una amplia distribución geográfica (Callao en Perú al Archipiélago de Chonos en Chile), que presentan un ciclo reproductivo anual con diferencias interespecíficas atribuidas a su distribución latitudinal, como por ejemplo *Gari solida* y *Semele solida* (Brown *et al.* 1993). Sin embargo, hay especies que escapan al análisis latitudinal considerando su centro

de origen. Si bien hay especies que en su distribución norte tienen actividad gametogénica continua, con varias evacuaciones de gametos durante el año, como es el caso de *P. thaca* (Barboza *et al.* 1980), hay otras especies con este patrón, para sus poblaciones de distribución sur, como ocurre en *Venus antiqua* (Lozada & Bustos 1984). Sin embargo, *P. thaca* en la X Región tiene un período reproductivo con máxima madurez en septiembre y octubre que culminaría con la evacuación de gametos desde septiembre hacia febrero; observándose un período de reposo gonadal en marzo y el consecuente inicio de un nuevo período reproductivo en otoño; configurando un patrón de ciclo reproductivo anual (Reyes *et al.* 1994), y expresando las diferencias latitudinales.

Es necesario destacar que estos períodos de reproducción y el número de emisiones pueden variar en relación con la latitud y consecuentemente con la temperatura, adelantándose la madurez gonádica y produciéndose una segunda emisión de gametos en las poblaciones que habitan en bajas latitudes y mayor temperatura. Este hecho es de gran importancia en el manejo de las especies que se distribuyen en un amplio rango como la mayoría de los bivalvos de la costa chilena, ya que diferencias en la temperatura crítica pueden determinar patrones de ciclo reproductivo diferentes en el gradiente latitudinal.

En la población de almejas *M. edulis* de Peñuelas, durante el período de muestreo analizado es posible observar variación intragonadal individual por un cierto grado de heterogeneidad en los estados histológicos de los acinos; además de variación intrapoblacional, manifestándose por la heterogeneidad de estados gonadales encontrados en un mismo mes de muestreo y que se expresa en las distintas frecuencias de estados gonadales mensuales. También, estas variaciones se evidencian entre los sexos, sin embargo siguen una tendencia similar. Ha sido muy evidente un período de diciembre a junio en que la regresión total de los animales fue predominante en altos porcentajes, que incluso impidieron reconocer el sexo en los adultos; y un período de recuperación gonadal de junio a noviembre en que predominaron el desarrollo avanzado D2, total D3 y la regresión inicial R1. Este patrón de distribución de estados histológicos gonadales tiene un estrecho

correlato con los índices gonadosomáticos y con los recuentos de células de la línea germinal masculina y femenina. Consecuentemente se configura un aparente patrón de ciclo reproductivo anual con un período de reposo gonadal de enero a junio y un período reproductivo de actividad gametogénica y evacuación de gametos de julio a enero, mes en que ocurriría la mayor evacuación de gametos. Sin embargo esta interpretación basada objetivamente en los resultados obtenidos, no da cuenta del deteriorado estado fisiológico en que se presentaron los animales durante el período de marcada regresión total, aparentemente influenciada por el fenómeno del Niño que provocó una gran acumulación de sedimentos en la desembocadura del río Elqui. El paulatino cambio de las condiciones ambientales, aparentemente permitió la asombrosa recuperación de este banco de almejas, registrándose en un corto tiempo, que los animales presentaran condiciones gonadales similares al banco de Puerto Aldea, muestreado simultáneamente.

Es necesario destacar que en este caso, los índices gonadosomáticos, al mostrar un claro correlato con las variaciones en los estados gonadales, se revelan como una herramienta macroscópica útil si se emplea con rigurosidad.

Por su parte, en el banco de Puerto Aldea, *M. edulis* presenta las características generales de variación intragonadal, de variación intrapoblacional y de variaciones entre los sexos; sin embargo, el patrón de distribución de estados gonadales sigue una tendencia similar. A diferencia de lo observado en *M. edulis* de Peñuelas, la escasa presencia de la condición de regresión total R2, determinada en los ejemplares de Puerto Aldea, configura un patrón de ciclo reproductivo continuo en que la actividad gametogénica se superpone con la evacuación de gametos, con una máxima madurez en junio y en que hay animales evacuados o R2 durante todo el ciclo excepto en diciembre representando un mes de desarrollo gonadal y junio representando un mes de máxima madurez. El período de máxima evacuación de gametos ocurriría entre julio y septiembre, en que se observan los mayores decrementos en D3 con la consecuente disminución en los recuentos de células germinales.

A diferencia de lo observado en Peñuelas, los índices gonadosomáticos no tienen un correlato con la distribución de estados gonadales ni con los recuentos celulares, y sus valores prácticamente duplican los bajos índices durante el primer período de reposo gonadal de Peñuelas.

Por otra parte, el método de análisis histológico cuantitativo ha sido un importante aporte objetivo para confirmar los eventos durante el ciclo reproductivo de ambas poblaciones de *M. edulis*.

Los únicos antecedentes previos acerca del ciclo reproductivo de esta especie corresponden a *M. edulis* de la VIII Región, y señalan que la población se encontraría madura durante la mayor parte del año, presentando tres evacuaciones de gametos relacionadas con el alza de temperatura y la oferta alimenticia (Orellana, 1980). Estos resultados, aún cuando podrían ajustarse al patrón de ciclo de la población de Peñuelas, no se ajustan a la población de Puerto Aldea.

En la población de la almeja *P. thaca* de Punta Choros, IV Región, los dos meses muestreados correspondieron a invierno y aparentemente es un período reproductivo de actividad gametogénica y principalmente de evacuación de gametos, puesto que en machos y hembras la regresión inicial R1 y total R2 están bien representadas en los dos meses.

Por el contrario, el corto período de dos meses muestreados de la población de *P. thaca* de Maitencillo, V Región, correspondió a verano y fortuitamente ha coincidido con diciembre, un mes en que la mayoría de los machos y las hembras están totalmente maduros D3 y enero, un mes en que la mayoría presenta la condición de regresión o evacuación de gametos con un gran porcentaje de R2 o evacuación total. Por lo tanto esta población estaría en un importante período reproductivo con una importante actividad de evacuación de gametos en enero.

Estos resultados son escasos para configurar un patrón de ciclo reproductivo. Sin embargo, se podría especular la posibilidad de que la población de Punta Choros, se aproxime al ciclo de *P. thaca* de Antofagasta, II Región, la que aparentemente presenta un ciclo reproductivo continuo, con evacuación de gametos en marzo, mayo y agosto (Barboza *et al.* 1980). Sin embargo, la población de

Maitencillo se aproximaría al patrón de ciclo de *P. thaca* en la X Región, donde el período reproductivo con máxima madurez en septiembre y octubre culminaría con la evacuación de gametos desde septiembre hacia febrero; observándose un período de reposo gonadal en marzo y el consecuente inicio de un nuevo período reproductivo en otoño; configurando un patrón de ciclo reproductivo anual (Reyes *et al.* 1994), y expresando las diferencias latitudinales.

Como en *M. edulis*, *E. lenticularis* de Algarrobo presenta las características generales de variación intragonadal, de variación intrapoblacional y de variaciones entre los sexos, por lo que no hay una clara sincronía entre estos, aún cuando la tendencia general es similar, siendo en los machos más fácil discernir el estado de desarrollo o madurez total D3 y en las hembras más evidente la condición de regresión o evacuación inicial R1. El hecho que los índices gonadosomáticos varíen levemente, consecuente con que la regresión total R2 se presente en bajos porcentajes y que los recuentos celulares se mantengan con leves variaciones durante la mayor parte del año, permite afirmar que *E. lenticularis* tiene un ciclo reproductivo continuo en el cual la actividad gametogénica y de evacuación de gametos es continua. Si se toma en cuenta preferentemente los momentos de decremento en los recuentos de ovocitos vitelogénicos libres OVL, el trimestre noviembre - febrero sería un periodo importante de evacuación de gametos, así como mayo - julio, meses que coinciden con la presencia de hembras R2 y en desarrollo inicial D1. En consecuencia, si se considera los machos, el periodo septiembre - octubre representa el decremento más importante en los recuentos de línea germinal avanzada LGA, siendo octubre el mes con sobre el 80% de machos en desarrollo inicial D1, que al mismo tiempo corrobora la continuidad del ciclo reproductivo post evacuación.

Antecedentes previos en esta localidad han caracterizado el ciclo reproductivo con tendencia continua y sin embargo, el período primavera - verano correspondería a la actividad gametogénica de madurez y evacuación de gametos más marcada (Brown *et al.* 1997), coincidente con los resultados obtenidos en este proyecto.

3.2. Función de madurez

A. *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región

De acuerdo con la función y curva de madurez la estimación de $I_{50\%}$ indica que la talla de primera madurez (TPM) fue a los **8,6 mm** en esta especie. Resultado que se ajusta a las tallas de primera madurez individual para machos (8,9 mm) y hembras (8,2 mm), y que es cercano al rango 10,1 - 20,0 mm de talla de primera madurez sexual poblacional determinada por análisis histológico de la gónada.

B. *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región

De acuerdo con la función y curva de madurez la estimación de $I_{50\%}$ indica que la talla de primera madurez (TPM) fue **38,0 mm**. En esta especie. Resultado que se ajusta a las tallas de primera madurez individual para machos (36,5 mm) y es superior al obtenido en hembras (29,4 mm). Esta talla es cercana al rango 40,0 - 45,0 mm de talla de primera madurez sexual poblacional determinada por análisis histológico de la gónada.

3.3. Fecundidad

En las especies analizadas y sus respectivas localidades, la fecundidad relativa muestra la misma tendencia al aumento en el número total de ovocitos vitelogénicos libres OVL (que son los cuantificados como potencialmente a ser emitidos en una evacuación de gametos) por rango de talla, que no es acompañado con un aumento notorio en el volumen gonadal. Asumiendo que no hay error en la determinación del volumen, aparentemente hay un aumento en la eficiencia de los folículos o acinos como unidades morfofuncionales gametogénicas gonadales, puesto que el número de OVL expresado por unidad de volumen gonadal (ovocitos / 0,1 ml gónada) también tiene una tendencia al aumento. Sin embargo, hay diferencias en el número

total de OVL entre las poblaciones de *M. edulis* y entre éstas y *E. lenticularis*. De acuerdo con los resultados, *M. edulis* de Peñuelas sería menos fecunda y, en relación con la gónada, menos eficiente por rango de talla que la población de Puerto Aldea. Sin embargo esta afirmación no es definitiva, tomando en cuenta que la población de Peñuelas venía, muy probablemente de una recuperación en su estado fisiológico deteriorado por el estrés ambiental producto del fenómeno del Niño. Por otra parte *E. lenticularis*, aún cuando presenta una fecundidad similar a *M. edulis* de Puerto Aldea en el total de OVL, entre los 50 y 54,9 mm, en los rangos siguientes, su fecundidad tiende a ser levemente menor.

Antecedentes de la fecundidad potencial en *M. edulis* sólo se han obtenido en poblaciones de la VIII y X Regiones (Universidad Austral de Chile, 1998). En ese estudio se utilizó la técnica estereométrica en cortes histológicos. Se obtuvieron valores de 24.379.635 ovocitos para una población en Tubul, 14.155.714 ovocitos para una población de Maullín y 10.259.714 ovocitos para una población de Yaldad. Los autores emplearon 10 hembras cuya talla promedio, aparentemente, tiene un correlato con el aumento de ovocitos, pero no así el volumen promedio de gónada. Si estos valores corresponden al promedio de ovocitos para cada hembra, son valores mucho más altos que los obtenidos en el actual proyecto, por lo cual no resiste ninguna comparación entre ambos estudios; además, la enorme diferencia en los resultados entre ambos estudio tampoco pueden justificarse por las diferentes metodologías utilizadas. En el caso del estudio de la Universidad Austral de Chile (*op. cit.*), si los valores indicados corresponden al número total de ovocitos para las 10 hembras en cada localidad, los valores se aproximarían a los obtenidos en este proyecto, si es que los resultados obtenidos para la VIII y X Regiones se dividieran por un factor de 10.

En relación con *E. lenticularis*, no hay antecedentes previos de fecundidad potencial.

Una aproximación a la fecundidad promedio de ejemplares de *P. thaca* indica que entre 50 y 60 mm de longitud es de $3,6 \times 10^6$, pero no se señala la metodología ni el número de animales (Padilla, 1983). Los resultados promedios actuales que

tiene desviaciones estándar altas, están muy por debajo de este valor. Aún cuando la metodología aplicada de disecar la gónada en vivo o en almejas fijadas implica pérdida de ovocitos, ésta no daría cuenta de la diferencia tan marcada con *P. thaca*.

3.4. Talla mínima de primera madurez sexual

Los bivalvos alcanzan la madurez sexual a diferentes edades aunque por lo general se considera un proceso que ocurre precozmente en el ciclo de vida de estos organismos (Eversole *et al.* 1980). Quayle & Bourne (1972) han sugerido que la madurez sexual sería función de la talla más que de la edad del individuo. En dos poblaciones de machas, *Mesodesma donacium*, separadas latitudinalmente (bahía Peñuelas, en la IV Región, y bahía Longotoma, en la V Región) se han observado diferencias marcadas en la expresión de la talla mínima de primera madurez sexual (50-55 mm y 65-70mm, respectivamente), siendo los machos quienes aparentemente alcanzan primero el estado de madurez total propio de los adultos; así como también hay diferencias en el desarrollo del patrón de organización de la unidad morfofuncional básica productora de gametos, el folículo gonadal (Brown, 1995). En las almejas gonocóricas, los machos tienden a madurar a una talla inferior y a una edad más temprana que las hembras, probablemente debido a que en éstas la ovogénesis demanda un mayor gasto energético en la producción de vitelo. Por otra parte, la edad a la cual se alcanza la madurez sexual en los bivalvos difiere dependiendo de la localidad geográfica debido principalmente a las condiciones ambientales tales como temperatura, productividad, fotoperíodo, etc., propias de cada lugar. Eversole (*op. cit.*) sostiene además, que muchas especies de almejas alcanzan la primera madurez cuando tienen una talla cercana al 25% de la talla máxima de la especie. Sin embargo, los venéridos chilenos en los cuales hay algún antecedente respecto a la talla de la primera madurez, esta se alcanzaría entre el 33 y el 38% de la talla máxima registrada.

En *M. edulis* de Peñuelas no hay diferencias marcadas en la expresión de la madurez sexual entre machos y hembras. De acuerdo con los resultados los

machos y las hembras son muy precoces, puesto que desde el primer rango es posible identificar animales con línea germinal completa en desarrollo inicial D1 con una maduración homogénea entre los folículos gonadales. Es destacable que ya en el rango de talla de 10,1-20 mm se presentan animales con línea germinal completa, LGC, en el 100% de los machos y en el 80% de las hembras, y más aún, que junto con el estado de desarrollo inicial D1, un número importante de ellos muestra signos de evacuación de gametos R1 e incluso una hembra en la condición R2. Se descarta la posibilidad que esta precocidad sea propia de una maduración virginal o "sexualidad juvenil", descrita como un fenómeno fugaz y difícil de detectar (Lucas, 1975), puesto que cuando se identifican los estados gonadales propios de los adultos, estos se manifiestan homogéneamente en la gónada.

En esta muestra, recolectada en noviembre de 1998, la primera madurez sexual individual está representada por el macho de 8,9 mm y por la hembra de 8,2 mm. El rango en que se expresa la primera madurez sexual poblacional correspondió a 10,1-20 mm. Resultados anteriores señalan que en *M. edulis* en la VIII Región y la primera madurez sexual ocurriría a los 33 mm de longitud (Orellana, 1980). Este es un rango de tamaño pequeño para una almeja de tamaño adulto regular. Independientemente de las posibles diferencias en las metodologías aplicadas, no se descarta por una parte la diferencia latitudinal, y por otra, la posible precocidad en respuesta al estrés poblacional producto del fenómeno del Niño.

En relación con *M. edulis* de Puerto Aldea, dado que no se encontraron animales de tamaño inferior a 39,1 mm, sólo se puede decir que a este tamaño los animales ya están maduros, y se asume que la primera madurez individual y poblacional ocurre a un rango inferior.

En *E. lenticularis* de Algarrobo hay diferencias en la expresión de la madurez sexual entre machos y hembras. Aún cuando la norma es la precocidad sexual en los machos, en esta oportunidad es una hembra de menor tamaño que presenta línea germinal completa. Cuando se analiza la distribución de animales en los diferentes estados correspondientes a línea germinal incompleta LGI; sobre el 70% de los machos siempre es precoz porque presenta LGI3 desde el primer rango,

estado que en las hembras ocurre sólo desde los 19,1 mm y con escasa frecuencia siendo predominante la condición LGI1 y LGI2. Sin embargo, la talla de primera madurez sexual poblacional para las hembras ocurre a los 35,1-40 mm, un rango menor que en los machos. La condición LGI3, caracterizada por la presencia de escasos gametos desarrollados junto a la línea germinal incompleta y discontinua es característica de la maduración virginal o “sexualidad juvenil” ya descrita (Lucas *op. cit.*).

En esta muestra poblacional, la primera madurez sexual individual está representada por el macho de 36,5 mm y por la hembra de 29,4 mm. El rango en que se expresa la primera madurez sexual poblacional correspondió a 40,1-45,0 mm. Descartando el primer rango, los índices gonadosomáticos tienen un correlato aproximado con la adquisición de la talla de primera madurez poblacional y en esta especie, puede ser una herramienta metodológica macroscópica válida como una primera aproximación a la determinación de la primera madurez sexual.

Resultados previos para la misma localidad señalan que la primera madurez sexual individual correspondió a un ejemplar macho de 36.4 mm y a una hembra de 36.7 mm de longitud y que la primera madurez sexual poblacional en los machos se establece en el 100% de los ejemplares en el rango de talla 40-50 mm y en las hembras a los 30-40 mm (Campos & Brown, 1998). Aún cuando, en este proyecto, la primera madurez sexual individual en las hembras fue mayor al obtenido por Campos & Brown (*op. cit.*) y fue similar en los machos, los resultados obtenidos en este proyecto son plenamente coincidentes con los anteriores.

4. CONCLUSIONES

- En relación con el ciclo reproductivo, *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región, tiene aparentemente un ciclo reproductivo anual con un período de reposo gonadal de enero a junio y un período reproductivo de actividad gametogénica y evacuación

de gametos de julio a enero, mes en que ocurriría la mayor evacuación de gametos.

- *Mulinia edulis* de Puerto Aldea, IV Región, tiene ciclo reproductivo continuo en que la actividad gametogénica se superpone con la evacuación de gametos, con una máxima madurez en junio. El período de máxima evacuación de gametos ocurriría entre julio y septiembre.
- *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región, tiene un ciclo reproductivo continuo de tendencia mixta en que la actividad gametogénica y de evacuación de gametos es continua, con un período importante de evacuación de gametos en noviembre – febrero y en mayo - julio.
- En *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región, de acuerdo con la función de madurez, la talla de primera madurez (I_{50%}) se alcanza a los 8,6 mm.
- En *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región, de acuerdo con la función de madurez, la talla de primera madurez (I_{50%}) se alcanza a los 38,0 mm.
- La fecundidad relativa, en número total de ovocitos vitelogénicos libres, de *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región, para tamaños entre 50,0 y los 64,9 mm aumenta con el rango de talla, entre 1.238.000 y 1.608.333.
- La fecundidad relativa, en número total de ovocitos vitelogénicos libres de *Mulinia edulis* de Puerto Aldea, IV Región, para tamaños entre los 50,0 y los 74,0 mm aumenta con el rango de talla, entre 1.408.000 y 2.456.666.
- La fecundidad relativa, en número total de ovocitos vitelogénicos libres, de *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región, para tamaños entre 50,0 y 74,0 mm de longitud, aumenta con el rango de talla, entre 1.593.600 y 2.293.600.

- En *Mulinia edulis* y *Eurhomalea lenticularis* aparentemente hay un aumento en la eficiencia de los folículos o acinos como unidades morfofuncionales gametogénicas gonadales, puesto que el número de OVL, expresado por unidad de volumen gonadal (ovocitos/0,1 ml gónada), también tiene una tendencia al aumento.
- *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región, presenta una talla mínima de primera madurez sexual individual masculina de 8,9 mm de longitud; y la primera madurez sexual femenina de 8,2 mm de longitud.
- *Mulinia edulis* de Peñuelas, IV Región, expresa la talla mínima de primera madurez sexual poblacional, sin considerar el sexo, en el rango 10,1 - 20,0 mm de longitud.
- *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región, presenta una talla mínima de primera madurez sexual individual masculina de 36,5 mm de longitud y la primera madurez sexual femenina a una talla de 29,4 mm de longitud.
- *Eurhomalea lenticularis* de Algarrobo, V Región expresa la talla mínima de primera madurez sexual poblacional, sin considerar el sexo, en el rango 40,0 - 45,0 mm de longitud.

LITERATURA CITADA

- Alagaraja, K. 1984. Simple methods for estimation of parameters for assessing exploited fish stocks. *Indian J. Fish.* 31: 177-208.
- Appeldoorn, R.S. 1987 Modification of a seasonally oscillating growth function for use with mark-recapture data. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 43:194-198.
- Barboza, P.; Ramos, R; Tapia, E. & C. Toro 1980 Ciclo reproductivo de la almeja *Protothaca thaca* (Molina 1782) (Mollusca: Bivalvia): análisis histológico. Seminario de tesis, Univ. Antofagasta. 85 pp.
- Beverton, R.S.H. & S.J. Holt 1956 A review of methods for estimating mortality rates in exploited fish populations with special reference to sources on bias in catch sampling. *Rapp. P.-V. Réun. CIEM* 140: 67-83.
- Bourget, E. & V. Brock 1990 Short-term shell growth in bivalves: individual, regional and age-related variations in the rythm of deposition of *Cerastoderma* (= *Cardium*) *edule*. *Mar. Biol.* 106: 103-108.
- Briarty, L.G. 1975 Stereology: methods for quantitative light and electron microscopy. *Science Progress, Oxford* 62: 1-32.
- Brown, D. 1981 Madurez sexual del "abalón rojo de California" *Haliotis rufescens* (Gastropoda: Prosobranchia) nacido y cultivado en Coquimbo, Chile. *Arch. Biol. Med. Exp.* 14(3): R253.
- Brown, D. 1995 Aspectos reproductivos y madurez. En: Informe Final, Proyecto "Monitoreo de la pesquería del recurso macha en la IV y V Regiones, 1994". Fondo de Investigación Pesquera (FIP), Subsecretaría de Pesca. 101pp.
- Brown, D.; Campos, B. & R. Rivero 1997 Sexualidad y ciclo reproductivo de la almeja *Eurhomalea lenticularis* (Bivalvia: Veneridae) de la rada de Algarrobo, V Región. *XVII Congreso Ciencias del Mar*: 175
- Brown, D.; Durán, L.R.; Collado, G. & C. Betancourt 1997a Ciclo reproductivo de las "lapas" *Fissurella latimarginata* y *F. cumingi* (Mollusca, Archaeogastropoda) en Punta Coloso (II Región) y Los Vilos (IV Región). *XVII Congreso de Ciencias del Mar*: 84.
- Brown, D.; Ramírez, R. & L. Cocas 1997b Madurez sexual en el "loco" *Concholepas concholepas* (Mollusca, Neogastropoda) de Los Molles y El Algarrobo. *XVII Congreso de Ciencias del Mar*: 85.

- Brown, D., Campos, B., Guerra, R. & C. Olivares 1993 Ciclo reproductivo de *Semele solida* (almeja) y *Gari solida* (culengue) (Mollusca: Bivalvia) provenientes de bancos naturales separados geográficamente. XIII Jornadas de Ciencias del Mar: 109.
- Caddy, J. 1989 Recent developments in research and management for wild stocks of bivalves and gastropods. En: Marine Invertebrate Fisheries, J. Caddy (ed.): 665 – 701.
- Campos, B. & D. Brown 1998 Aspectos reproductivos de la almeja *Eurhomalea lenticularis* (Sowerby) proveniente de la rada El Algarrobo, V Región. Informe Final Proyecto DIUV 20-95.
- Christiansen, H.E; Cabrera, M.E. & S.R. Brodsky 1972 Posibilidades de aplicación de una técnica estereométrica en la determinación de la fecundidad y en los cálculos de los procesos de reabsorción ovocitaria en invertebrados marinos. Anales de la Sociedad Científica Argentina 194: 279-298.
- Christiansen, H.E.; Brodsky, S.R. & M.E.Cabrera 1973 Aplicación de una técnica histométrica en la determinación de la fecundidad en invertebrados marinos. Physis a Buenos Aires 32(84): 121-135.
- Clark, G.R. II 1974 Growth lines in invertebrate skeletons. Ann. Rev. Earth Planet Sci. 2: 77-99.
- Coe, W.R. 1947 Nutrition, growth and sexuality of the pismo clam (*Tivela stultorum*). J. Exp. Zool., 104: 1-24.
- Crisp, D.J. 1984 Energy flow measurements. En: Holme N.A. & A.D. McIntyre (eds) Methods for the study of marine benthos, pp. 284-372, Blackwell, London.
- Defeo, O.; E. Ortiz & J.C. Castilla 1992a Growth, mortality and recruitment of the yellow clam *Mesodesma mactroides* in Uruguayan beaches. Mar. Biol. 114: 429-437.
- Defeo, O.; Arreguín-Sánchez, F. & J. Sánchez 1992b Growth study of the yellow clam *Mesodesma mactroides*: a comparative analysis of three length-based methods. Sci. Mar. 56(1): 53-59.
- Die, D.J.; McGilvray, J.G.; Courtney, A.J. & M.G. Cosgrove 1995 A quantitative method for staging penaid prawn ovaries using image analysis. Invertebrate Reproduction and Development. 28 (3): 177-183

- Eversole, A.G.; Michener, W.K. & P.J. Eldridge. 1980 Reproductive cycle of *Mercenaria mercenaria* in a South Carolina estuary. Proc. Natl. Shellfisheries Assoc. 70(1): 22-30.
- Fabens, A.J. 1965 Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. Growth 29: 265-285.
- Fitch, J.E. 1950 The pismo clam. Calif. Fish and Game 36(3): 285-312.
- Gabe, M. 1968 Techniques histologiques. París, Masson et Cie. 1113pp.
- Gaspar, M.; Castro, M. & C. Monteiro 1994 Age and growth rate of the clam, *Spisula solida* L., from a site off Vilamoura, south Portugal, determined from acetate replicas of shell sections. Sci. Mar. 59 (Supl. 1): 87-93.
- Gayanilo, F.C.; Soriano, M. Jr. & D. Pauly 1988 A draft guide to the COMPLEAT ELEFAN. ICLARM Software 2 / ICLARM Contribution 435
- Giese, A.C. 1959 Comparative Physiology: annual reproductive cycles of marine invertebrates. Annual Review of Physiology 21: 547-576.
- Granados Gallegos, J.L. 1970 Estructura de la población y crecimiento de la almeja pismo (*Tivela stultorum*, Mawe 1823) en San Quintín, B.C. Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., 47 pp.
- Guajardo, J. 1989 Comparación de las técnicas de corte de otolitos – transversal y diagonal – en el estudio de edad y crecimiento de la merluza austral (*Merluccius australis*) y la merluza común (*Merluccius gayi*). Tesis de Ingeniería Pesquera, Escuela de Ciencias del Mar, U.C.V., 91 pp.
- Guerra, R. & D. Brown 1980 Aspectos de la madurez sexual en *Chlamys (Argopecten) purpurata* de bahía Tongoy. Arch. Biol. Med. Exp. 13(3): R365.
- Herrington, W.C. 1930 The pismo clam: further studies on its life history and depletion. Calif. Fish and Game Fish. Bull., 18, 69 pp.
- Hosmer, D. & S. Lemeshow. 1989 Applied Logistic Regression. Wiley & Sons, New York.
- Jones, D.S. 1981 Repeating layers in the molluscan shell are not always periodic. J. Paleontol. 55: 1076-1082.

- Jones, R. & N.P. van Zalinge. 1981 Estimates of mortality rates and population size for shrimp in Kuwait waters. *Kuwait Bull. Mar. Sci.* 2: 273-288.
- Kato, Y. & I. Hamai 1975 Growth and shell formation of the surf clam, *Spisula sachalinensis* (Schrenck). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 25(4): 291-303.
- Kim, B.; Ko, T. Song, H.; Lee, S. & S. Kim 1985 Studies on the spawning and growth of hen clam, *Macra sulcataria* (Reeve). *Bull. Fish. Dev. Agency* 34: 157-164.
- King, M. 1995 Fisheries biology, assessment and management. Fishing News Books, 341 pp. USA.
- Krantz, D.E. & F. Williams 1985 Application of Stable Isotopes to Mollusc Growth Studies. *Estuaries*, 8(2b): 128.
- López, M.; Leyton, C. & M. Graf 1982 Técnicas de citología e histología. Depto. de Biología Celular y Genética. Fac. de Medicina. U. de Chile (ed.), 242 pp.
- Lozada, E. & H. Bustos 1984 Madurez sexual y fecundidad de *Venus antiqua antiqua* King & Broderip 1835 en la Bahía de Ancud (Mollusca: Bivalvia; Veneridae). *Rev. Biol. Mar.* 20 (2): 91-112.
- Lucas, A. 1965 Recherche sur le sexualité des mollusques bivalves. Theses Doctorat. Fac. Science. L' Université de Rennes. Francia.
- Navea, E. & O. Miranda 1982 Carbonato de calcio en moluscos y equinodermos de Antofagasta, Chile. *Rev. Biol. Mar.* 18(2): 117-128.
- Nielsen, L. 1992 Methods of marking fish and shellfish. *Am. Fisheries Soc. Spec. Publ.* 23208 pp.
- Ojeda, V. 1980 Determinación de la edad y crecimiento de merluza española (*Merluccius polylepis* Ginsburg 1954) mediante la lectura de otolitos. Tesis de Ingeniería de Ejecución en Pesquerías, Escuela de Ciencias del Mar, U.C.V., 73 pp.
- Orellana, M. 1980 Estudios morfológicos y poblacionales de *Mulinia edulis* (King & Broderip 1885) Gray 1837 de Isla de los Reyes, Bahía de Concepción (36° 40' S, 73° 02' W) Chile (Mollusca, Bivalvia, Mactridae). Tesis, U. de Concepción, 157 pp.

- Ortíz, M. & W. Stotz 1996 Distribución de juveniles recientemente asentados de *Mesodesma donacium* (Lamarck 1818) (Mollusca: Bivalvia: Mesodesmatidae) en tres bahías de la cuarta región: variables físicas y químicas que le caracterizan. Biol. Pesq. 25: 27-40.
- Padilla, M. 1983 Ultraestructura funcional de los gametos de la almeja. Rev. Biol. Mar. 19(1): 47-62.
- Pacheco, E. 1979 Determinación de la edad en ostiones de la zona de Valparaíso (*Chlamys purpurata* Lamarck 1819) un análisis comparativo de diferentes metodologías para la identificación de anillos de crecimientos. Tesis de Ingeniería en ejecución en pesquerías, U.C.V., 94 pp.
- Pauly, D. 1979 Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. Ber. Inst. Meereskde, Kiel 63: 1-156.
- Pauly, D. 1983 Length converted catch harvest: a powerful tool for fisheries research in the tropics. Fishbyte 1: 9-13.
- Pauly, D. & G. Gaschütz 1979 A simple method for fitting oscillating length growth data with a program for pocket calculators. Int. Council. Explor. Sea C. M. G24: 26 pp.
- Pauly, D. & J.L. Munro 1984 Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. Fishbyte 2: 21.
- Peterson, C.H.; P.B. Duncan; H.C. Summerson & B.F. Beal 1985 Annual band deposition within shells of the hard clam *Mercenaria mercenaria*: consistency across habitat near Cape Lookout, North Carolina. Fish. Bull. U.S. 83(4): 671-677.
- Peterson, C.H.; P.B. Duncan; H.C. Summerson & G.W. Safrit Jr. 1983 A mark-recapture test of annual periodicity of internal growth band deposition in shells of hard clams, *Mercenaria mercenaria*, from a population along the southeastern United States. Fish. Bull. U.S. 81(4):765-779.
- Poblete, M. & M. Padilla 1976 Estimación de la estructura de edades en una población de *Protothaca thaca* (Molina 1782). Medio Ambiente 2(1): 51-56.
- Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A. & W.T. Vetterling 1986 Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing. Cambridge Univ. Press, Cambridge

- Quayle, D.B. & N. Bourne 1972 The clam fisheries of British Columbia. Bull. Fish. Res. Board Can. 179: 1-70.
- Reyes, A.; Barahona N.; Carmona A.; Rojas C.; Arias & E. Lozada 1993 Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales bentónicas III, IV y X Región 1992. Informe técnico CORFO-IFOP, 75 pp.
- Reyes, A.; Barahona N.; Carmona A.; Rojas C.; Arias, E.; Arias, J.L. & V. Pezo 1994 Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales bentónicas III, IV y X Región 1993 Informe técnico CORFO-IFOP, 33 pp.
- Ropes, J.W. 1984 Procedures for preparing acetate peels and evidence validating the annual periodicity of growth lines formed in the shells of ocean quahogs, *Arctica islandica* Mar. Fish. Rew., 46 (2): 27-35.
- Ropes, J.W.; Jones, D.S.; Murawski, S.A.; Serchuck, F.M. & A. Jearld 1984 Documentation of annual growth lines in ocean quahogs, *Arctica islandica* Linne. Fish. Bull., 96: 344-351.
- Saavedra, O. 1974 Determinación de criterios para la definición de anillos de crecimiento en escamas ctenoideas, aplicadas a una muestra de corvina (*Cilus montii*, Defin 1900) de la zona de Valparaíso. Tesis de Ingeniería en ejecución en pesquerías, U. C. V., 87 pp.
- Sakurai, I.; Horii, T.; Murakami, O. & S. Nakao 1998 Population dynamics and stock size prediction for the sunray surfclam, *Macra chinensis*, at Tomakomai, southwest Hokkaido, Japan. Fish. Bull., 96: 344-351.
- Sastry, A.N. 1979 Pelecypoda (excluding Ostreidae). En: A.C. Giese & J.S. Pearse (eds.): 113- 292. Reproduction of Marine Invertebrates. Vol. V. Academic Press, New York.
- Searcy, R.; J. Lugo & C. Beltrán 1989 Periodicidad de la depositación de anillos internos de crecimiento en la almeja pismo (*Tivela stultorum*) de playa San Ramón, B.C., México. Ciencias Marinas 15(3): 45-56
- SERNAPESCA. 1991-97. Anuario Estadístico de Pesca.
- Somers, I.F. 1988 On a seasonally oscillating growth function. Fishbyte 6 (1): 8-11.
- Sparre, P.E. & S.C. Venema 1992 Introduction to tropical fish assessment. Part I. Manual FAO Fish. Tech. Pap. (306.1). Rome, FAO: 337 pp.

AGRADECIMIENTOS

A los pescadores artesanales de las diferentes caletas en las que realizamos actividades. Ellos, con su experiencia, conocimiento del área y sus recursos y su buena disposición, fueron parte fundamental en el desarrollo del trabajo en terreno. En especial, a René Maluenda y pescadores de Peñuelas, Ramón Carrasco y pescadores de Puerto Aldea y Rubén Altamirano y pescadores de Algarrobo quienes no sólo nos brindaron su colaboración sino que nos honraron con su amistad.

Deseamos destacar la colaboración en el trabajo de laboratorio de Marcela Cerón y Leoncio González. René Astudillo colaboró en la confección de algunas de las figuras de este texto. Patricio Rivera prestó su valiosa y siempre bien dispuesta ayuda en informática. Gloria Córdova participó con dedicación en la confección de la guía de reconocimiento de almejas. Manuel Aguirre, buzo profesional, colaboró activa y eficientemente en la obtención de muestras y adicionalmente en la lectura de anillos de crecimiento.

Agradecemos también a Guillermo Bornscheuer, Jefe del Servicio de Información Pesquera de SERNAPESCA, quien puso a nuestra disposición información estadística referente a los desembarques en las regiones IV y V.

Agradecemos a Patricio Pavéz, profesor de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valparaíso, por su asesoría en el tema de mortalidad.

Finalmente deseamos dejar constancia de nuestro agradecimiento a Francisco Ponce, por sus sugerencias y acertadas correcciones durante la ejecución del proyecto.

- Stevens, W.L. 1951 Asymptotic regression. *Biometrics* 7(3): 247-267.
- Universidad Austral de Chile 1998 Estudio biológico pesquero de los recursos almeja, navajuela y huepo en la VIII y X Regiones. Informe Final Proyecto FIP 96-46, 106 pp.
- Urban, H.-J. 1996 Population dynamics of the bivalves *Venus antiqua*, *Tagelus dombeii* and *Ensis macha* from Chile at 36°S. *J. Shellfish Res.* 15(3): 719-727.
- Urban, H.-J. & B. Campos 1994 Population dynamics of the bivalves *Gari solida*, *Semele solida* and *Protothaca thaca* from a small bay in Chile at 36° S. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 115: 93-102.
- Urban, H.-J. & C. Tesch 1996 Aspects of the population dynamics of six bivalve species from Southern Chile. *Arch. Fish. Mar. Res.* 44 (3): 243-256.
- Vakily, J.M. 1992 Determination and comparison of bivalve growth, with emphasis on Thailand and other tropical areas. *ICLARM Tech. Rep.* 36, 125 pp.
- van Sickle, J. 1977 Mortality rates from size distributions: application of a conservation law. *Oecologia, Berl.* 27:311-318.
- von Bertalanffy, L. 1938 A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Hum. Biol.* 10: 181-213.
- Weibel, E. R. 1979 *Stereological methods. Vol. 1: Practical methods for biological morphometry.* Academic Press. London. 415 pp.
- Wetherall, J.A.; Polovina, J.J. & S. Ralston 1987 Estimating growth and mortality in steady-state fish stocks from length-frequency data. *ICLARM Conf. Proc.* 13: 53-74.
- Weymouth, F.W. 1923 The life history and growth of the pismo clam (*Tivela stultorum* Mawe). *Calif. Fish. and Game Fish. Bull.*, 7, 120 pp.
- Wilkinson, L. 1988 *SYSTAT: The System for Statistics.* Evanston, Illinois, SYSTAT Inc.
- Witbaard, R.; M. Jennes; K. Van den Borg & G. Gansen 1994 Verification of annual growth increments in *Arctica islandica* L. from the North Sea by means of oxygen and carbon isotopes. *Neth. J. Sea Res.* 33(1): 91-101
- Zegers, J. & R. Peña 1983 Estructura y crecimiento de una población de *Protothaca thaca* (Molina 1782). *Estud. Oceanol.* 3(1): 75-82.