

# Aspectos biológicos y poblacionales de *Argopecten purpuratus* en la reserva marina La Rinconada: contribución para su manejo

**Miguel Avendaño**

*Universidad de Antofagasta*

*Antofagasta, Chile*

*E-mail: mavendano@uantof.cl*

**Marcela Cantillán**

*Universidad de Antofagasta*

*Antofagasta, Chile*

**Avendaño, M. y Cantillán, M.** 2008. Aspectos biológicos y poblacionales de *Argopecten purpuratus* en la reserva marina La Rinconada: contribución para su manejo. En A. Lovatelli, A. Fariás e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. *FAO Actas de Pesca y Acuicultura*. No. 12. Roma, FAO. pp. 249–266.

## RESUMEN

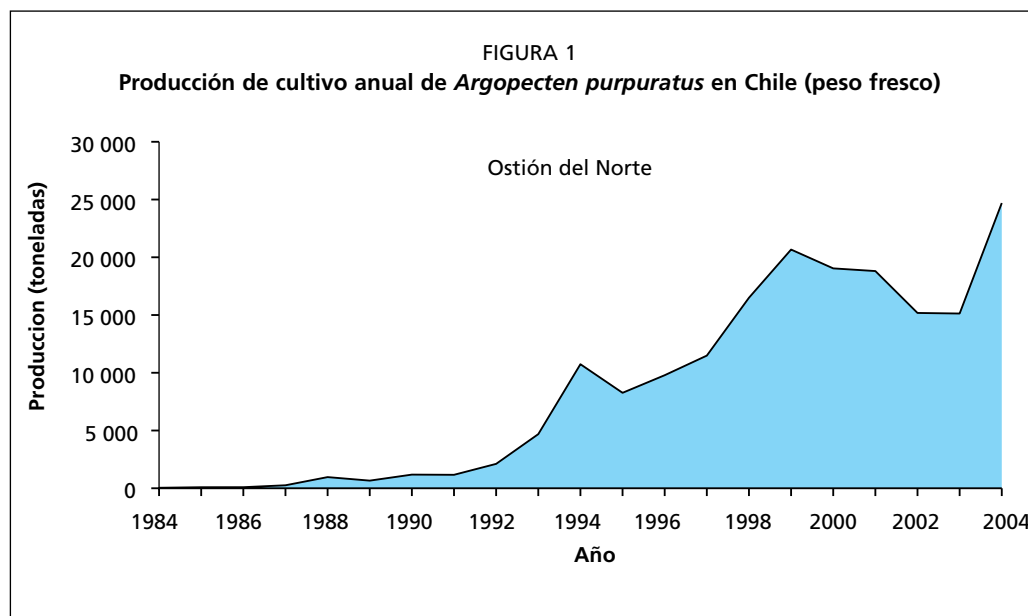
En septiembre de 1997, La Rinconada se convierte en la primera reserva marina de Chile, debido a su localización en el borde costero, a la significativa abundancia de *Argopecten purpuratus*, a las características biológicas de su población, y a las particulares condiciones hidrodinámicas del lugar. En los últimos años los muestreos regulares efectuados sobre esta población de ostiones han permitido conocer detalladamente el desarrollo del ciclo sexual, estimar la abundancia y la distribución de las larvas, estudiar la fijación de las post-larvas sobre su sustrato predilecto, el alga roja *Rhodomenia* sp. e implementar la captación de semillas en colectores artificiales. Los estudios realizados al momento de constituir la reserva, para establecer medidas de conservación, indicaron que este sitio es una zona natural de retención larvaria y de asentamiento de postlarvas de *A. purpuratus*. Gracias a este fenómeno, a las medidas de protección, y a la ocurrencia de un evento ENSO (El Niño/Oscilación del Sur) entre 1997–1998, la población se incrementó de  $6.1 \times 10^6$  ejemplares en 1997, a  $11.3 \times 10^6$  en 1999. Sin embargo, en años posteriores el número de ejemplares de esta reserva, ha variado debido a la extracción clandestina, que afecta a este banco, lo que ha impedido al igual que ocurre con bancos no protegidos en Chile, que las medidas de regulación impuestas por el Estado sobre el recurso, tengan los efectos deseados, demostrando, que el interés económico de corto plazo impuesto por las demandas, primaría sobre una conciencia de protección racional de más largo plazo.

### ABSTRACT

In September 1997, the La Rinconada area was declared a marine reserve, due to its location, abundance of *Argopecten purpuratus* and its unique hydrodynamics. Over the last few years, regular sampling carried out on this scallop population has permitted experts to gather data on its reproductive cycle, abundance estimates and larval distribution. The authors have also studied the accumulation of postlarvae on a preferred natural substrate, the red alga *Rhodomyenia* sp., as well as the effects of mass juvenile scallop seed collection using the Japanese-type collectors. Research carried out in the Reserve has focused on the management of the scallop populations and this has proved beneficial to the country. The primary goal has been to evaluate its potential as a constant, self-renewing source of seed scallops for use in aquaculture, since the area is well adapted for retention of larvae produced by the resident scallop population. Protective measures, aided by environmental conditions resulting from the 1997–98 ENSO (El Niño/Oscilación del Sur) events, promoted an increase in the natural banks from  $6.1 \times 10^6$  scallops in 1997 to  $11.3 \times 10^6$  individuals in 1999. In subsequent years however, oscillations in population numbers within the Reserve, due to illegal harvesting, have placed in doubt the continued success in the achievement of the primary goal stated above. The illegal extraction which affects these scallop beds has produced, similarly to that occurring in other (unprotected) Chilean scallop banks, a patent disregard for legislated national policy established for the protection and conservation of this marine resource. As noted, the application of harvesting restrictions on the commercialization of marine resources in Chile are not fully respected by the fishermen who, rather than following regulations designed to protect the resource and maintain it as a long-term renewable source of income, prefer to extract the more immediate economic benefits obtainable in the short-term.

### INTRODUCCIÓN

El Ostión del Norte, *Argopecten purpuratus*, es un Bivalvo, Pectinidae, distribuido a lo largo de las costas del Pacífico de Perú y del Norte de Chile, entre Paita ( $5^{\circ}$  S,  $81^{\circ}$  W) y Valparaíso ( $33^{\circ}$  S,  $71^{\circ}$  W; Boré y Martínez, 1980). Antiguos bancos han sido encontrados más al Sur, hasta la bahía de San Vicente, Chile ( $37^{\circ}$  S  $73^{\circ}$  W) (Wolff y Mendo, 2000). *A. purpuratus*, sería una especie reliquia de la fauna tropical a subtropical que colonizó la zona costera de Perú y Chile en el Mioceno (Wolff, 1987). Los tres principales bancos de *A. purpuratus*, a lo largo de la costa chilena están localizados en las bahías de Mejillones del Sur ( $23^{\circ}$   $54'$  S), de La Rinconada (II Región, Antofagasta;  $23^{\circ}$   $28'$  S), y de Tongoy ( $30^{\circ}$   $14'$  S). La explotación de estos bancos ha sido máxima a comienzos de los años 80, con 4 997 toneladas (peso fresco, PF), desembarcados en 1985 donde el 82,3 por ciento provenía de los dos bancos de la II Región (Mejillones y La Rinconada) (Avendaño y Cantillánez, 1996, 1997a, 2003; Avendaño *et al.*, 2001b). Esta presión de pesca, condujo rápidamente a una disminución de los tonelajes desembarcados en años posteriores, obteniéndose sólo 492 toneladas en 1987, a pesar de un esfuerzo de pesca idéntico (Avendaño, 1993). El cierre de la pesquería en 1988, en razón a la disminución alarmante de los stocks naturales (Avendaño y Cantillánez, 1997a; Stotz y Mendo, 2001), condujo a un rápido desarrollo de la pectinicultura intensiva (Disalvo *et al.*, 1984), adoptando la tecnología desarrollada en Japón para *Pecten yessoensis*, lo cual ha permitido alcanzar 24 577 toneladas PF en el 2004, sin embargo, pese a esta cifra excepcional de producción, en la última década las producciones generalmente han oscilado entre 16 000 y 20 000 toneladas PF (Figura 1). El stock natural de ostiones en 1988 no representó mas del 10 al 15 por ciento del stock total de ostiones en Chile, estando la biomasa esencialmente concentrada en los centros de cultivo lo que demuestra la urgencia de proteger los bancos naturales a fin de preservar la diversidad genética de esta especie (Stotz, 2000).



Por otro lado, después de cerca de dos décadas de haberse iniciados los cultivos comerciales de ostiones en Chile, esta actividad enfrenta serios problemas los cuales se centran por una parte, en el abastecimiento de semillas, problema que se ha transformado en un «cuello de botella» para incrementar sus volúmenes de producción, dado los pobres resultados obtenidos en los hatcheries cuyo abastecimiento no supera el 10 por ciento del total de semilla utilizada (Gajardo *et al.*, 1996; Le Pennec *et al.*, 1998; Abarca 2001; Avendaño *et al.*, 2001a; Stotz y Mendo 2001). Este tipo de dificultades no es solo de *A. purpuratus*, sino que lo presentan la mayoría de los pectínidos que se cultivan a nivel mundial, los cuales muestran importantes fluctuaciones anuales incompatibles con la exigencia de las necesidades económicas y que traducen la dificultad del dominio de estas instalaciones, ciertas épocas del año parecen más favorables que otras para la producción larvaria, pero frecuentemente el ciclo de cultivo es interrumpido antes o después de la metamorfosis, por razones diversas como por ejemplo, la nocividad de bacterias y por el acondicionamiento de los reproductores (Le Pennec, 1997).

El diagnóstico realizado por la Subsecretaría de Pesca, en base a los antecedentes aportados por (Wolff y Alarcón, 1993; Cantillánez y Avendaño, 1993; Avendaño y Cantillánez, 1996), señalaban que aún hasta 1995 no era posible sustentar una pesquería artesanal masiva en el largo plazo de este recurso, dado que la mayoría de los bancos existentes eran pequeños, estaban compuestos por individuos bajo la talla comercial y, además, el recurso presenta una alta vulnerabilidad a las condiciones oceanográficas y una alta accesibilidad a la extracción no controlada. Más aún, dada la fuerte presión extractiva clandestina existente, los bancos naturales subsistentes se encontraban en una situación de peligro de colapso, al no tener las medidas tradicionales de aplicación de vedas sobre el recurso, los resultados esperados. Frente a ello, la Subsecretaría definió tres objetivos específicos de administración que podrían contribuir a resolver la situación delicada de degradación y colapso que este recurso presentaba, y así evitar las consecuencias negativas sobre el sector, tanto artesanal como acuicultor (I.T. N° 70, SUBPESCA, 1995), estos objetivos fueron:

- Restaurar y conservar los principales stocks silvestres de este recurso, con el propósito que sustenten actividades productivas;
- Impulsar la actividad productiva a través del Cultivo y de áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos; y
- Conservar la diversidad genética de stocks silvestres seleccionados, estableciendo reservas genéticas para esta especie.

Sobre la base de estos objetivos, se definió una estrategia de administración, que entre otros priorizaba acciones en aquellos bancos que presentan una o más de las siguientes características:

- población de alta variabilidad genética de modo de obtener una calidad genética óptima de ejemplares cultivados;
- áreas apropiadas para la captación de semillas;
- bancos con densidades apropiadas que permitan servir de base para el repoblamiento de otros bancos sobre-explotados;
- propiciar la creación de reservas marinas, principalmente como reservas genéticas del recurso, administradas con la participación del sector privado e instituciones de investigación.

Frente a esta estrategia de administración, y en base a los estudios que confirmaron que el sector de La Rinconada localizada en el borde costero de la Región de Antofagasta, sostiene uno de los bancos más importante de *A. purpuratus* de Chile, el cual facilita el estudio de aspectos diversos del ciclo de vida de este pectínido (Avendaño, 1993; Avendaño y Cantillánez, 1992, 1997b), La Rinconada se convierte en la primera reserva marina de Chile, mediante Decreto Supremo N° 522, en septiembre de 1997. Esta reserva a través de un sistema de protección y un plan de conservación de *A. purpuratus*, debería permitir la recuperación gradual de sus niveles de abundancia históricos, dando inicio a un programa permanente de captación de semilla, destinada a potenciar su recuperación, y con sus excedentes abastecer las necesidades de semilla del sector pesquero artesanal, para repoblar sus áreas de manejo, así como para satisfacer parte de la demanda de las actividades de cultivo que se realizan en Chile, que dependen principalmente de la captación natural (Abarca, 2001).

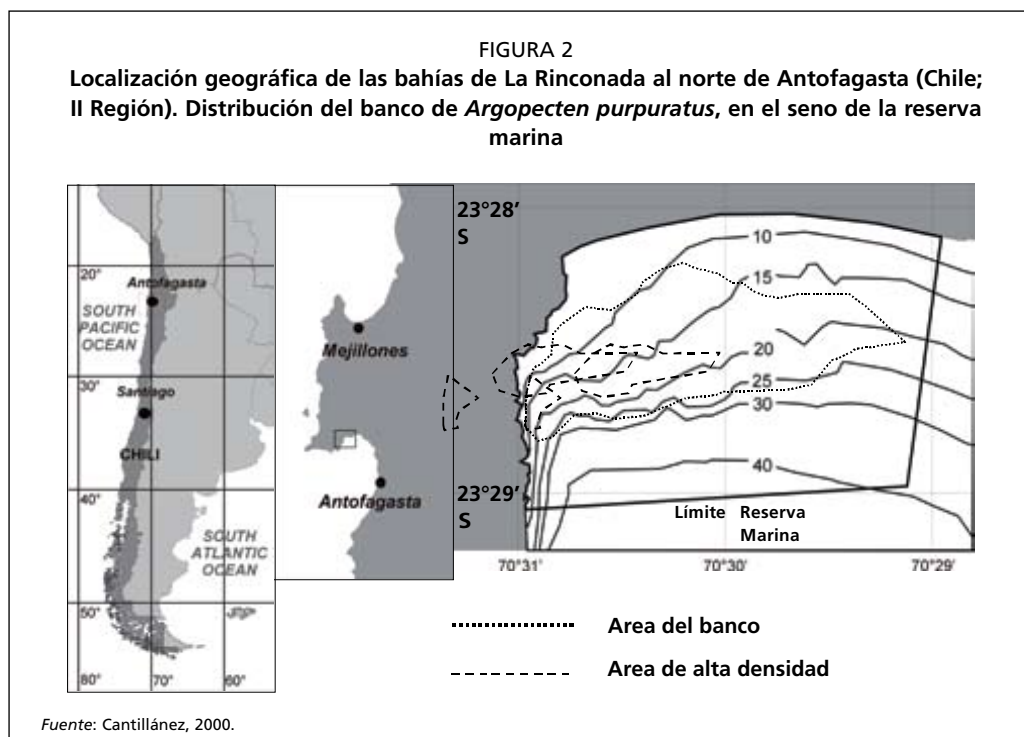
Se presentan a continuación los resultados obtenidos a través de los estudios realizados sobre *A. purpuratus* en esta Reserva Marina, los cuales han permitido contribuir con un conocimiento más profundo de factores escasamente estudiados en esta especie, responsables de la viabilidad tanto de sus larvas como de sus post-larvas, reclutas y adultos, a través del tiempo, necesarios para implementar programas efectivos de abastecimiento de semillas.

### Área de estudio

#### *Ambiente físico de la zona de estudio*

La bahía de Antofagasta (Figura 2) posee una zona costera que se caracteriza por la presencia de vientos de moderada intensidad que fluyen desde el Sur y Suroeste, aunque con inversiones dentro del ciclo diario debido al rápido intercambio de calor entre el mar y el continente.

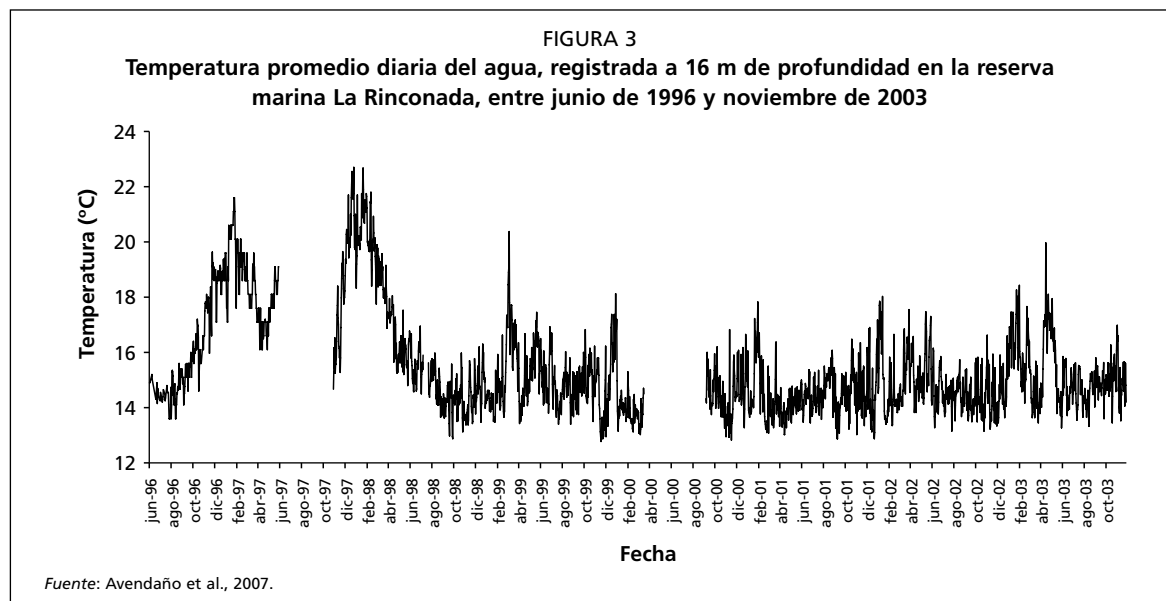
Desde un punto de vista oceanográfico, la zona corresponde a un ambiente de transición sub-tropical. Su orientación geográfica hacia el Sur y Suroeste y su posición latitudinal la exponen a la confluencia de varios tipos de masas de agua. Entre ellas, predomina durante un año normal, la masa de agua Sub-Antártica (ASA), que domina los 200 m superiores de la rama norte de la corriente fría de Humboldt. En la zona las aguas ASA se mezclan con una menor proporción de aguas sub-tropicales (AST), de mayor salinidad y temperatura y periódicamente con aguas más frías que provienen de mayor profundidad, correspondientes a aguas ecuatoriales sub-superficiales (AESS), que ascienden hacia la costa debido a procesos de surgencia inducida por los vientos Sur y Suroeste. Estas características de un año normal se irrumpen debido a variaciones interanuales inducidas por El Niño (anomalía Térmica positiva) y La Niña (anomalía térmica negativa). Durante El Niño se espera la presencia de aguas oceánicas que ingresan a la costa y se estancan en el interior de la bahía, debido al debilitamiento de la corriente de Humboldt, mientras que en un año frío se espera una alta advección de dominancia de las ASA.



### *Asociación físico-biogeoquímico-biológico en La Rinconada*

Los vientos del sur-oeste dominantes que afectan el área de La Rinconada, generan una corriente residual dirigida hacia el norte, pero la topografía de la bahía hace que las corrientes permitan la formación de una zona de retención (giro) de aproximadamente 5 Km de diámetro hacia el oeste de la bahía. Esta zona de retención se localiza sobre o en las proximidades inmediatas de la zona de fuerte densidad de *A. purpuratus*. Su posición y su extensión dependen de la dirección y de la fuerza de los vientos. Los tiempos de residencia de las masas de agua en la bahía, varían de 4 a 12 días en verano, contra 2 a 24 días en invierno (Avendaño *et al.*, 2004). La influencia del Niño y de la Niña, modifica la circulación de las masas de agua y perturba las subidas de aguas frías (upwellings) a lo largo de las costas del norte de Chile. Ellas ocasionan, principalmente, variaciones muy importantes de la temperatura del agua, ej. un período «caliente» en 1997/98 (anomalía positiva de +4 °C), seguido de un período frío desde mediados de 1998 y comienzos de 2000 (anomalía negativa -1 °C). La diferencia de temperatura estival entre los últimos eventos del Niño y de la Niña registrados en esta Bahía, ha sido de 8 °C (Figura 3). Por otra parte, existen variaciones intra-diarias fuertes de temperatura del agua de fondo.

La existencia de zonas de surgencias de aguas frías (upwelling) al sur y al norte de La Rinconada, permiten la incorporación regular de sales nutritivas a las aguas de superficie durante gran parte del año. La evolución temporal del contenido de sales nutritivas muestran la existencia de períodos donde los nutrientes son agotados, especialmente los silicatos (Cantilláñez, 2000). Las inyecciones regulares de sales nutritivas en las aguas de superficie permiten el desarrollo de blooms fitoplanctónicos a lo largo de todo el año, con concentraciones en clorofila-*a* <12 ug/l generalmente, pero pueden alcanzar 20 ug/l (Cantilláñez *et al.*, 2005). Hasta el 2003, el estudio de la composición específica de los blooms, muestran que las diatomeas son dominantes sobre los flagelados algunos períodos del año, y que los dinoflagelados tóxicos son poco abundantes (Avendaño *et al.*, 2004). Después de fines del 2003, sin embargo un recrudecimiento de blooms de dinoflagelados (*Prorocentrum*) han sido observados en períodos estivales, con un apogeo en los últimos años, que se extendió desde fines de noviembre de 2005 a febrero de 2006.



### Características poblacional *A. purpuratus* en la reserva

#### *Recursos hidrobiológicos presentes*

La situación ambiental de la reserva La Rinconada es la de una rica y compleja asociación de especies, siendo la más relevante *A. purpuratus*, que conforma uno de los bancos más importantes de Chile. En este ecosistema la presencia de este recurso se da en compleja interacción con otras especies de la fauna – algunas también de valor comercial, como navajuela (*Tagelus dombeii*), almeja fina (*Transennella pannosa*), locate *Thais chocolata*, pulpo (*Octopus mimus*), jaiba (*Cancer polyodon*), y lenguado (*Paralichthys adspersus*) (Avendaño et al., 2004). Recientes estudios realizados en este lugar han permitido caracterizar la existencia de dos subsistemas presentes en el ecosistema bentónico de esta reserva, constituidos por diferentes agregaciones de especies comerciales y no comerciales. En uno de estos sobresale la notable biomasa de ostiones, en cambio, en el segundo dominan otras especies tales como navajuela y la almeja fina (Avendaño et al., 2007c).

*T. pannosa*, junto a *T. dombeii*, son los únicos competidores espacio trófico de importancia de *A. purpuratus*. Otras especies identificadas en el área de distribución de ostiones, son otros Crustáceos Decápodos como *C. porteri*, *C. edwardsii*, *Mursia gaudichaudi* y *Hepatus chilensis*; y también *Paraxanthus barbiger*, *Eurypanopeus crenatus* y *Pilumnoides perlatus*, que depredan activamente a las post-larvas y semilla de ostiones. Otro grupo importante de potenciales predadores del recurso en esta reserva, son Echinodermos como *Heliaster helianthus*; *Luidia magellanica* y *Meyenaster gelatinosus* (Avendaño et al., 2004).

La asociación pélogo-bentos de *A. purpuratus*, demostró que los ostiones ingieren una serie de componentes del fitoplancton, como diatomeas, dinoflagelados y fitoflagelados, y también, otros componentes incluyendo partículas de arena de hasta 255 µm. Dentro de los componentes que se han identificados en las biodeposiciones se encuentra: *Achnanthes longipes*; *Coscinodiscus* sp.; *Cylindrotheca closterium*; *Dactyliosolen fragilissimus*; *Grammatophora marina*; *Leptocylindrus danicus*; *Nitzschia pseudoseriata*; *Navicula ammophila* y *Navicula* sp., mientras que a nivel de dinoflagelados se identificó a *Prorocentrum micans* y *Pyrocystis lunula*. Los otros componentes agrupa además de las partículas de arena a: Cianobacteria (*Oscillatoria*); Espículas de Espongiarios; Foraminífera; Variados estados larvales de poliquetos, incluyendo trozos de ejemplares adultos; Trozos de larvas Zoeas; Protozoos (Tintinnidos); Fragmentos y esporas de algas Rodofíceas; esporas de algas Clorofíceas y trozos de Amphípoda.



### ***Distribución de A. purpuratus***

El banco de La Rinconada, ha variado su superficie de distribución en los últimos años, entre 225 a 275 há, sobre un fondo de arena fina a media, colonizada por alga roja *Rhodymenia* sp. En el sector Nor-Oeste de la bahía, se puede distinguir una zona central de fuerte densidad de ostiones (9–15 individuos/m<sup>2</sup> en promedio), y una zona periférica de baja densidad (1–3 ind/m<sup>2</sup> en promedio; Figura 2, obtenida de Cantilláñez 2000, Avendaño y Cantilláñez, 2005).

Las evaluaciones anuales del tamaño del banco, confirman una conducta sedentaria (Avendaño y Cantilláñez, 1996), encontrándose la mayor parte de los individuos agregados en el centro. Este tipo de distribución agregada es común en pectínidos, señalándose la existencia en bancos explotados comercialmente, de unidades importantes de «stock», que corresponden a áreas con un grado de continuidad espacial y similares densidades internas significativamente más altas que las de las áreas que las rodean (Caddy, 1989).

La abundancia de ejemplares, también ha mostrado una variabilidad interanual, con cifras que han variado entre 10,1 x 10<sup>6</sup> el 2001; 8,2 x 10<sup>6</sup> el 2002; y 12,4 x 10<sup>6</sup> el 2003. Estas evaluaciones también han mostrado, una caída en la talla media de la estructura demográfica del banco entre un año y otro, reduciéndose de 75,8 mm en el 2001, a 62,1 mm en el 2002 y a 51,7 mm el 2003. La disminución, también afectó a los ejemplares mayores o iguales a la talla mínima legal (90 mm), reduciéndose de 2,6 x 10<sup>6</sup> presentes en el 2001, a 3,7 x 10<sup>5</sup> ejemplares en el 2003. Al aplicar parámetros de crecimiento sobre la estructura poblacional, del banco entre el 2002 y el 2003, se observa la integración de una nueva clase anual de 6,5 x 10<sup>6</sup> de ejemplares en el 2002 y de 11,2 x 10<sup>6</sup> individuos en el 2003, sin embargo, el descuento de estas cifras, del total de ejemplares presentes ambos años, demuestra una pérdida cercana a los 8,4 x 10<sup>6</sup> ostiones en el 2002 y de cerca de 7,0 x 10<sup>6</sup> individuos en el 2003, por actividades de pesca clandestina (Avendaño y Cantilláñez, 2005). Actividad que estaría impidiendo que las medidas de regulación impuestas por el Estado chileno sobre la explotación de *A. purpuratus*, tengan los efectos de recuperación deseados, y que la reserva permita explotar racionalmente a este recurso, bajo normas de conservación.

### ***Estimación de parámetros de crecimiento***

A partir de experimentos de marcaje y recaptura de ostiones (Avendaño y Cantilláñez, 2005), se estimaron los parámetros de crecimiento para *A. purpuratus* en la Reserva, mediante métodos gráficos de acuerdo a Gulland y Holt (1959).

Los resultados señalaron una longitud infinita para *A. purpuratus* en la reserva de 120,38 mm, con un coeficiente K de 0,9668, indicando que un individuo pueda alcanzar los 90 mm de talla en 17,2 meses.

### ***Relación longitud peso***

A través del ajuste a la función potencial mediante el método de los mínimos cuadrados, se obtuvo la relación longitud peso de los ostiones de La Rinconada, la que se ajusta a la siguiente función (Avendaño *et al.*, 2004):

$$W_t = 0.0001 * L_t^{3,0416} \quad (r^2 = 0,9912)$$

### ***Ajuste del modelo logístico de madurez sexual***

La estimación de la talla de madurez sexual ( $I_{50}$ ) a través de la regresión no lineal para estimar la bondad de ajuste del modelo logístico, permiten señalar que la talla en que el 50 por ciento de los individuos de la población de ostiones de La Rinconada están sexualmente maduros ( $I_{50\%}$ ) es de 58,6 mm (Avendaño *et al.*, 2004).

### Características biológicas de *A. purpuratus* en la reserva

#### *Análisis de la estructura genética de la población*

En los moluscos se ha demostrado que el grado de heterocigocidad puede estar asociado con el metabolismo de base de los organismos, y que los individuos heterocigotos son capaces de reducir sus costos energéticos de manera significativa respecto a los individuos homocigotos. Esta reducción de las necesidades energéticas, son el resultado de un mejor funcionamiento de aloenzimas codificadas por los genotipos heterocigotos. De esta manera la tasa de proteínas necesarias en el metabolismo de base, son disminuidas, y en consecuencia una economía de energía, en términos de moléculas de ATP se realiza.

Esta forma de operar en los individuos heterocigotos, les permite disponer de una reserva de energía que puede ser utilizada en otros procesos fisiológicos, como son el crecimiento somático, la resistencia al ayuno, y el crecimiento germinal (reproducción). En los Pectínidos las reservas energéticas se acumulan preferentemente en el músculo durante el crecimiento ponderal y de esta manera crecen; esto es de sumo interés sobre el plano biológico respecto a la movilidad de los individuos y una gametogénesis rápida, como la que presenta la población de *A. purpuratus* de esta reserva marina (Avendaño y Le Pennec, 1996, 1997; Cantilláñez *et al.*, 2005), cuyo análisis por electrofóresis enzimática, sobre muestras de músculo y glándula digestiva (Avendaño, 1993; Moraga *et al.*, 2001), permitió caracterizar que esta población presenta una tasa de polimorfismo del 80 por ciento. Esta tasa junto a su biometría (Moraga *et al.*, 2001), permite considerar que los individuos de La Rinconada por su heterocigocidad y el mayor rendimiento del músculo a una talla comercial de 90 mm, son sumamente importantes para el desarrollo de la acuicultura y el repoblamiento de otras áreas, que permitiría no solamente mejorar los organismos presentes en ellas por efecto de heterosis, sino que además deberían presentar una mejor adaptación, al presentar un mejor vigor híbrido.

#### *Ciclo reproductivo de A. purpuratus (Rinconada)*

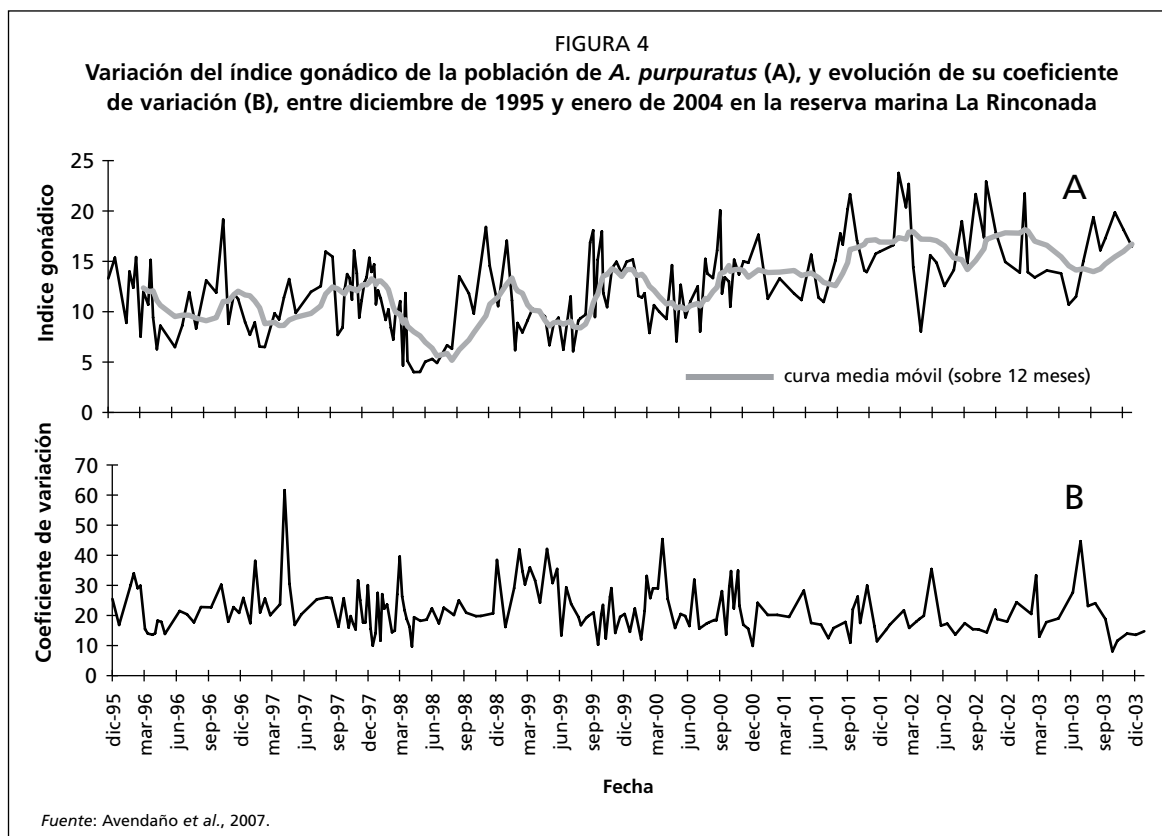
Índice gonadosomático – Las variaciones de índice gonadosomático (IG) de *A. purpuratus*, registrado entre diciembre de 1995 y enero de 2004 (Cantilláñez, 2000; Cantilláñez *et al.*, 2005; Avendaño *et al.*, 2008), muestra evacuaciones de gametos a lo largo de todo el año (Figura 4), y la ausencia de períodos prolongados de reposo sexual.

Anualmente un período de alta actividad reproductiva, acontece entre septiembre y abril de cada año, con descensos bruscos del índice seguidos por una rápida recuperación. Un desove significativo ocurre en el transcurso de octubre, pero los de mayor importancia acontecen en noviembre-diciembre. Un período de menor actividad reproductiva caracteriza a la población durante los meses de otoño e invierno (junio-agosto), en la que se producen pequeñas variaciones del IG.

*Sincronía del proceso reproductivo* – El valor promedio del coeficiente de variación del IG durante el período 95/04 (Avendaño *et al.*, 2008), fue de un 21,8 por ciento, lo que indica un alto sincronismo en los eventos reproductivos que ocurren en esta población. Sin embargo, gráficamente es posible observar que el grado de sincronismo interindividual presenta variaciones estacionales fuertes y rápidas: generalmente el otoño (marzo a mayo) constituye un período de desincronización mayor seguido de un sincronismo invernal rápido (Figura 4).

La asincronía observada en los desoves registrados en esta población de *A. purpuratus*, permite apoyar la hipótesis de que la emisión de gametos de grupos de individuos dentro de la población total, forman parte de la estrategia reproductiva de esta especie, en respuesta al ambiente variable en el que se encuentran, asegurando así, que al menos parte de los grupos larvales generados logren sobrevivir y alcanzar el asentamiento. Ambientes que presentan altas temperaturas pueden contribuir a una mayor sincronía en los desoves intensos de *Placopecten magellanicus*, pero si las condiciones del medio





no son ideales para un desove sincrónico, los ejemplares adoptan una estrategia “gota a gota” (desove asincrónico), aumentando la posibilidad de que al menos algunas larvas puedan sobrevivir (Barber y Blake, 1991). Este tipo de estrategia, ha sido corroborada por medio de análisis histológicos, por Avendaño y Le Pennec (1997), y Cantilláñez et al., (2005), donde un mismo individuo de *A. purpuratus*, puede presentar a un mismo tiempo, diferentes estados de madurez ovocitaria, que de acuerdo a Barber y Blake (1991), permitiría como ocurre en otras poblaciones de pectínidos, que luego de iniciado el desove, se continué la liberación de gametos como pulsos, que pueden extenderse por períodos de hasta ocho semanas.

La inestabilidad del medio ambiente, y netamente las variaciones intra-diarias de temperatura del agua de fondo en esta bahía, actuarían como un factor desencadenante de las puestas. Otro factor gatillante podría ser la disponibilidad de alimento, dada la relación estadística negativa encontrada entre los valores del IG y el contenido en feopigmentos del agua de fondo, y el número de células/ml (Avendaño et al., 2004; Cantilláñez et al., 2005).

#### **Histología de la gónada de *A. purpuratus* en la reserva**

Sobre la base de estudios histológicos de la porción femenina de la gónada (Cantilláñez et al., 2005), se puede indicar que, durante el calentamiento del agua, al comenzar el evento de “El Niño” (97–98), la actividad reproductiva se hizo mucho más intensa y sostenida que la registrada en años sin la presencia de este evento, generando que los individuos evacuaran totalmente sus gametos. Durante este fenómeno, los ostiones de la reserva no presentaron los períodos de menor actividad reproductiva, que acontecen en años normales entre mayo y agosto, siendo reemplazados por una actividad más intensa y continúa que se extendió desde marzo de 1997 hasta abril de 1998.

La presencia en gónadas en estado de madurez avanzada, del fenómeno de atresia y/o lisis ovocitaria, es una característica que han presentado la totalidad de las muestras histológicas revisadas (Avendaño y Le Pennec, 1997; Cantilláñez et al., 2005). Dicho

proceso de degeneración ovocitaria ha sido corrientemente observado en algunos moluscos bivalvos, y entre ellos en Pectínidos como *Chlamys varia* (Lucas, 1965); *Chlamys opercularis* (Allarakh, 1979); *Pecten ziczac* (Peres, 1981); *Mizuhopecten yessoensis* (Motavkine y Varaksine, 1983), *P. magellanicus* (Beninger, 1987), *Argopecten irradians* (Epp *et al.*, 1988), *P. maximus* (Dorange y Le Pennec, 1989) y *Pecten jacobaeus* (Mestre, 1992). Cantilláñez *et al.*, (2005), lograron establecer que el 100 por ciento de los individuos con valores de IG sobre 21, y que a nivel histológico presentaban un estado de maduración final, mostraban en mayor o menor grado el fenómeno de atresia ovocitaria. Dichas alteraciones, asociadas a una sobremaduración de los ovocitos, tienen una gran influencia en la viabilidad de los estados larvales, los que determinarán finalmente el éxito del reclutamiento en los bancos naturales y que por lo demás, han sido frecuentemente citadas para explicar ciertos fracasos encontrados en los «Hatcheries» comerciales de Pectínidos, pudiendo ser la causa de las dificultades en la producción artificial de semilla de *A. purpuratus* que presentan actualmente los Hatcheries chilenos (Avendaño *et al.*, 2001a).

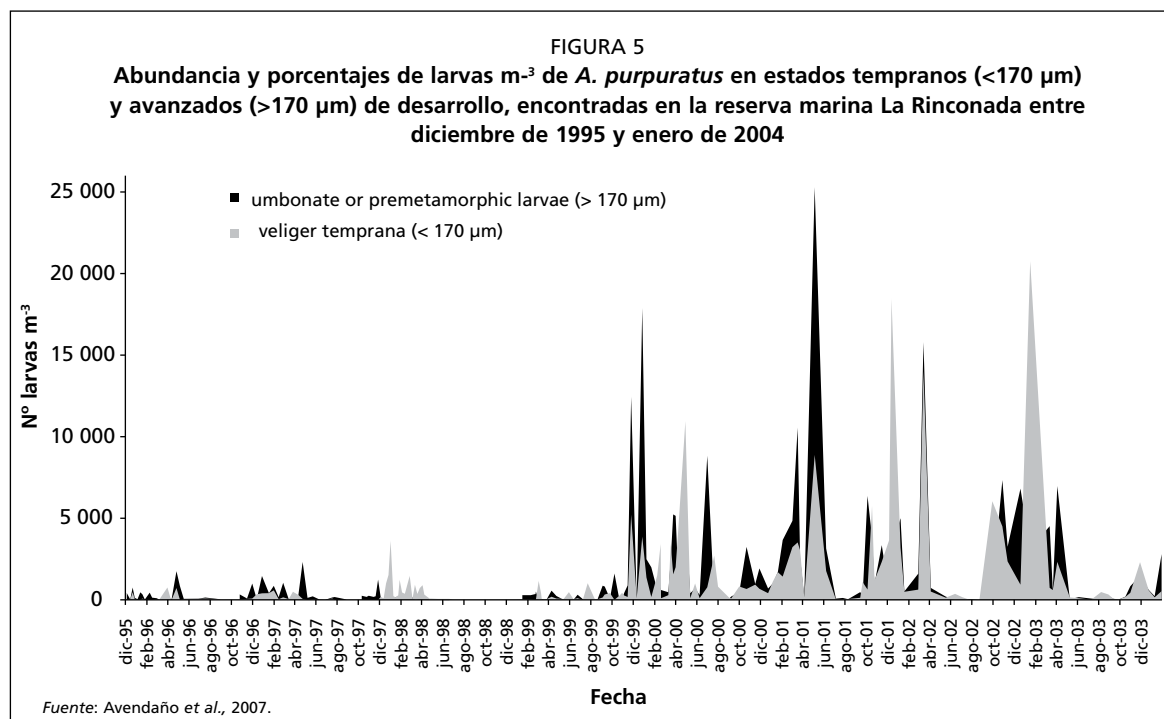
#### *Patrones anuales de abundancia larval*

La abundancia poblacional ha sido reconocida por numerosos autores, en muchos de los modelos deterministas utilizados actualmente en las teorías desarrolladas sobre regulación del reclutamiento (ver Avendaño *et al.*, 2008). Es así, como trabajos recientes realizados en especies como *P. magellanicus* y *P. maximus* han permitido comprender aspectos de su dinámica larval (Sinclair *et al.*, 1985; Thouzeau, 1991a; Salaün, 1994).

En la reserva, el reconocimiento de las larvas de *A. purpuratus*, ha permitido conocer su variabilidad en el tiempo, donde densidades de hasta 34 175 larvas m<sup>-3</sup> han sido registradas (Avendaño *et al.*, 2008), unas de las más altas en aguas chilenas, considerando los reportes bibliográficos (Hojas, 1982; Akaboshi y Illanes, 1983; Navarro *et al.*, 1991). Las altas densidades de veliger de *A. purpuratus* que ocurren en La Rinconada, y su facilidad de reconocimiento han permitido seguir sin dificultades su fase pelágica, en respuesta a las emisiones gaméticas (Cantilláñez, 2000; Cantilláñez *et al.*, 2001; 2007; Avendaño *et al.*, 2004, 2007b), dados los tiempos de residencia y la baja probabilidad de ocurrencia de alejamiento de material particulado del sector, principalmente donde la corriente origina zonas de inercia (Cantilláñez, 2000; Cantilláñez *et al.*, 2001, 2007; Avendaño *et al.*, 2004, 2006, 2007, 2008).

La presencia continua de larvas de *A. purpuratus* en este lugar, corroboran los antecedentes entregados a través del IG, que evidencia desoves permanentes, sin embargo, estos resultados no siempre permiten señalar una relación clara entre la intensidad del desove con el número de larvas presentes. Sin embargo, es posible observar una relación entre períodos de mayor actividad reproductiva, con períodos de mayor abundancia de larvas (Cantilláñez *et al.*, 2007; Avendaño *et al.*, 2007b).

Una muy fuerte dispersión en la relación que existe entre la amplitud del desove y la abundancia de larvas plantónicas resultantes en *P. maximus*, ha sido atribuido a diferencias en el contenido lipídico de los ovocitos emitidos, y también, a las alteraciones causadas por los procesos de atresia ovocitaria, indicándose además, que estas dos fuentes de variación son responsables de las fluctuaciones en el reclutamiento de este recurso (Paulet, 1990). Le Pennec *et al.* (1998), también han indicado que la alta variabilidad en la tasa de fertilización en Pectínidos como *P. maximus* y *A. purpuratus*, a nivel de Hatchery, dependen de la calidad de los gametos emitidos. En este punto debemos detenernos, para volver a señalar, que la presencia de atresia ovocitaria en las gónadas de *A. purpuratus*, es un proceso corrientemente observado en el banco de La Rinconada (Avendaño, 1993; Avendaño y Le Pennec, 1996, 1997; Cantilláñez, 2000; Cantilláñez *et al.*, 2005). Estos últimos autores señalan además, una relación entre valores altos del IG con la mayor incidencia del fenómeno de atresia ovocitaria en la gónada, lo que permite plantear la hipótesis de que la ausencia de correlación entre



la intensidad de la puesta, con el número de larvas totales aparecidas posteriormente, estaría asociada a la calidad de los huevos emitidos.

Las densidades larvales encontradas en La Rinconada a través de todos los estudios realizados, se presentan en la figura 5 (extraída de Avendaño *et al.*, 2008). A través de ella se pueden apreciar fuertes incrementos de su abundancia, entre diciembre de 1999 y abril de 2003. A partir de junio de 2003, las cifras descienden a valores históricos registrados entre diciembre de 1995 y octubre de 1999, donde el máximo fue de 4 840 larvas  $m^{-3}$ . La figura, también permite inferir, la existencia de períodos de mayor abundancia larval, que se presentan regularmente a partir de noviembre–diciembre y se prolongan hasta abril del año siguiente. El mes de mayo marca el comienzo de la declinación de la abundancia con tendencia a mantenerse estable entre junio–agosto.

Las larvas umbonadas y pediveliger (170 y 244  $\mu m$ ) constituyen generalmente el 60 por ciento del total de larvas en las muestras (Cantillán *et al.*, 2007), mientras que las de pequeñas tallas ( $<170 \mu m$ ) son particularmente abundantes, y de manera repetida, durante los períodos de enfriamiento asociados a comienzos de la Niña. Estos resultados indicarían crecimientos muy débiles durante esos períodos, y una probabilidad de sobrevivencia menor de los individuos, que confirman los rendimientos de captación de semillas. El rol de la disponibilidad en alimento parece igualmente mostrar la existencia de una relación positiva entre abundancia larvaria y la concentración de clorofila *a* en el agua (Cantillán *et al.*, 2007). De hecho, el crecimiento larvario, y de paso, la duración de la fase larvaria, están fuertemente influenciadas por los eventos ENSO. La duración de la fase larvaria, puede variar de un factor 2 entre un año caliente (ca. 20 a 26 días) y un año frío (ca. de 38 a 42 días), lo que va a influir sobre la probabilidad de mantener las larvas dentro de la Bahía. Estos resultados traducen la existencia de una relación denso dependiente entre abundancia de larvas en la columna de agua y abundancia de semilla captada en los colectores en períodos de El Niño, contrario con los episodios que acontecen con La Niña (Cantillán *et al.*, 2007).

Incrementos de las densidades larvales registrados entre fines de 1999 y comienzos del 2003, en contraste con los obtenidos entre 1995 y octubre de 1999, obedecerían principalmente a un aumento en el número de reproductores de tallas mayores, registrados durante esos años (Avendaño *et al.*, 2008). Los ejemplares sobre la talla mínima legal, establecida en Chile en 90 mm de longitud antero-posterior, y que de

CUADRO 1

**Rango de tallas; tallas medias y porcentajes de ejemplares de talla mínima legal, de *Argopecten purpuratus* en la reserva marina La Rinconada**

Fecha	Rango de longitud total (mm)	Talla media (mm)	+D.S. (mm)	Nº ejemplares con talla mínima legal*
10/1993	10,0–114,9	51,8	21,52	1.9*10 <sup>5</sup>
5/1996	5,0–110,0	50,2	19,96	5.3*10 <sup>4</sup>
5/1997	5,0–100,0	61,5	27,61	1.3*10 <sup>5</sup>
3/1999	6,3–125,0	65,5	25,99	1.4*10 <sup>6</sup>
3/2000	5,7–132,5	57,8	37,01	2.3*10 <sup>6</sup>
3/2001	10,2–137,2	75,8	19,82	2.6*10 <sup>6</sup>
5/2002	10,0–135,2	62,1	24,47	9.3*10 <sup>5</sup>
5/2003	10,3–123,0	51,7	19,32	3.7*10 <sup>5</sup>

D.S. = desviación estandar (\*) = 90 mm o más

Fuente: Extraída de Avendaño *et al.*, 2008.

acuerdo a Avendaño *et al.* (2001a), son los que hacen el mayor aporte de gametos, se encontraban fuertemente disminuidos entre 1995 y 1998, producto de la pesca ilegal ejercida en ese período (Avendaño y Cantilláñez, 1996; 1997). Sin embargo, la creación de la reserva en 1997, dotada con un cuerpo de vigilancia a comienzos de 1999, permitió que el número de estos ejemplares, se incrementara entre fines de 1999 y el 2002, decayendo nuevamente durante el 2003 (Avendaño *et al.*, 2004; Avendaño y Cantilláñez, 2005) (Cuadro 1 extraído de Avendaño *et al.*, 2008). La estimación de la biomasa total desovante, para los años 1999, 2000 y 2001, muestra que las tallas que hicieron el mayor aporte a la producción larval durante esos tres años, fueron las de 82,5; 92,7 y 92,4 mm, respectivamente, traduciendo nuevamente la existencia de una relación denso dependiente entre la abundancia de larvas en la columna de agua y la abundancia de reproductores sobre la talla mínima legal presente en este banco (Avendaño *et al.*, 2008).

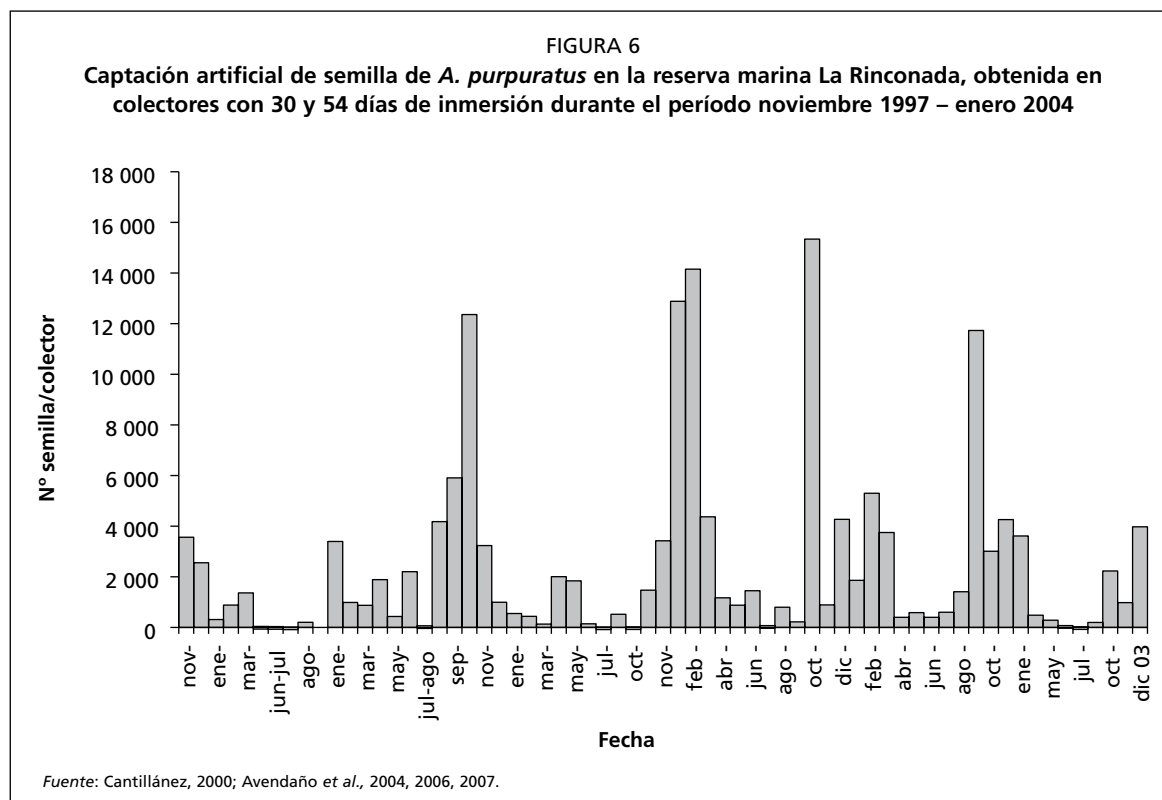
#### *Variación temporal del asentamiento larval sobre colectores*

Los principales resultados sobre post-larvas y juveniles, han sido obtenidos con la ayuda de experimentos de captación sobre colectores japoneses suspendidos en la columna de agua (Cantilláñez, 2000; Cantilláñez *et al.*, 2007; Avendaño *et al.*, 2006, 2007 y en prensa), con un protocolo de muestreo de acuerdo a Thouzeau (1991 a, b). Inmersiones de corta duración (11 días a 4 semanas), han servido para identificar a través del programa MIX 3.1.a. (MacDonald y Pitcher, 1979), diferentes cohortes post-larvares fijados en los colectores, mientras que una segunda serie, con tiempos de inmersión crecientes, han permitido calcular el crecimiento de los ostiones suspendido.

El análisis estacional de la abundancia de semilla fijada en colectores en cortos períodos, permiten a gran escala, establecer una relación directa entre las épocas de mayor captación y los peak de abundancia de larvas en el banco. Así, captaciones importantes registradas en el verano de 1998 (con presencia de El Niño), y en el invierno y la primavera de 1999 (con presencia de La Niña), son explicadas por el gran número de larvas presentes en esos períodos (Cantilláñez, 2000; Avendaño *et al.*, 2004, 2006, 2007, 2008; Avendaño y Cantilláñez, 2005). A menor escala, al contrastar las fijaciones, con el número de larvas totales presentes durante el tiempo en que el colector permaneció sumergido, se aprecia una variabilidad importante, en términos de rendimientos en la captación (Cantilláñez, 2000; Cantilláñez *et al.*, 2007; Avendaño *et al.*, 2006, 2007).

Las post-larvas de *A. purpuratus* muestran preferencia por fijarse en los niveles más profundos, en el 86 por ciento de los casos analizados las larvas se fijaron a 1 y 2 m del fondo (Cantilláñez, 2000).

Los altos niveles de fijación de *A. purpuratus* registrados durante El Niño, es producto del calentamiento de las aguas que ocurren durante dicho evento, generando el acortamiento del período larval y reduciendo la tasa de mortalidad (Navarro *et al.*,



1991). Sin embargo, altas captaciones registradas en la reserva, durante la presencia del fenómeno de La Niña, la cual debiera generar un efecto adverso, debido a las bajas temperaturas del agua (Figura 6), son explicadas por la capacidad de retención que posee el sector, y por la pérdida del sustrato natural de asentamiento, que permitió a los colectores actuar como el único sustrato disponible para su fijación (Cantilláñez et al., 2007).

Los estudios también han permitido detectar, fijaciones sucesivas de cohortes post-larvales de *A. purpuratus* (Cuadro 2), siendo la aparición de nuevas cohortes fijadas, más representativas en colectores con tiempos prolongados de inmersión (Cantilláñez, 2000; Cantilláñez et al., 2007; Avendaño et al., 2006, 2007 y en prensa). Cantilláñez (2000), discriminó hasta 7 cohortes fijadas en colectores con 98 días de inmersión. Aumento creciente en la captación de Pectínidos también han sido señaladas por Roman y Cano (1987), indicando que los colectores requieren de una inmersión mínima de 15 días para hacerlos atractivos a las larvas. En contraste a estos resultados, diversos otros autores han señalado para pectínidos como *P. magellanicus*, *P. maximus* y *P. yessoensis*, que el grado de colmatación de materia orgánica que ocurre sobre colectores con inmersiones prolongadas, afecta la fijación y la tasa de sobrevivencia de las post-larvas (ver Thouzeau, 1989, 1991a, b).

Variaciones débiles en las tasas de crecimiento se han encontrado en el seno de un mismo período, no así entre un período caliente y un período frío. Durante el calentamiento de las aguas asociadas al El Niño, un crecimiento post-larvario promedio de 175  $\mu\text{m}/\text{día}$  (entre la fijación y 14,4 mm) fué calculado, para una temperatura promedio de 20,3 °C (Cantilláñez et al., 2007). Durante un año de apariencia normal, el crecimiento promedio fué de 143  $\mu\text{m}/\text{día}$  (entre fijación y 14,1 mm), para una temperatura promedio del agua de 15,3 °C. Durante un verano frío asociado a La Niña, el crecimiento post-larvario promedio, fué de 82  $\mu\text{m}/\text{día}$  (entre fijación y 7,4 mm), para una temperatura promedio de 14,7 °C.

Estos resultados demostrarían, al igual que sus larvas, que uno de los factores responsables de las variaciones interanuales en el crecimiento post-larval de

CUADRO 2

Fijación de semilla de *A. purpuratus* sobre colectores artificiales en La Rinconada, entre 2001 y 2003. Se indican tiempos de inmersión número de semilla y talla media de cohortes fijadas en los colectores

Período de inmersión	Nº semilla ds	Cohorte 1 talla µm ds	Cohorte 2 talla µm ds	Cohorte 3 talla µm ds
06/01/01–03/02/01	12 883±896	940±290	530±110	
03/02/01–03/03/01	14 153±2 725	633±138		
03/03/01–06/04/01	4 370±466	877±173		
06/04/01–06/05/01	1 170±197	702±160		
06/05/01–08/06/01	878±137	1 618±272	841±223	
08/06/01–06/07/01	1 450±473	1 125±158	532±112	
06/07/01–09/08/01	72±31	502±116		
09/08/01–14/09/01	798±101	458±166		
14/09/01–05/10/01	200±28	1 067±133		
06/10/01–15/11/01	15 340±2 786	3 200±290	1740±280	700±170
15/11/01–08/12/01	890±71	880±250		
08/12/01–08/01/02	4 270±622	863±242	410±78	
10/01/02–28/02/02	1 860±339	1 670±290	360±130	
28/02/02–13/04/02	5 300±481	1 879±1 213	819±135	468±45
02/03/02–04/04/02	3 750±764	2 850±560	1 070±310	
07/04/02–14/05/02	400±35	1 680±360		
14/05/02–14/06/02	585±77	1 991±307		
14/06/02–05/07/02	400±138	1 687±554		
05/07/02–23/08/02	600±39	1 762±434		
23/08/02–29/09/02	1 410±212	883±267		
29/09/02–25/10/02	11 730±1 151	1 022±381	434±56	
25/10/02–22/11/02	3 009±495	399±64		
22/11/02–16/01/03	4 260±529	2 698±289	1 366±423	
16/01/03–13/03/03	3 613±445	457±113		
13/03/03–10/05/03	483±65	2 943±1 049		

Fuente: Avendaño *et al.*, 2004, 2006, 2007 y en prensa.

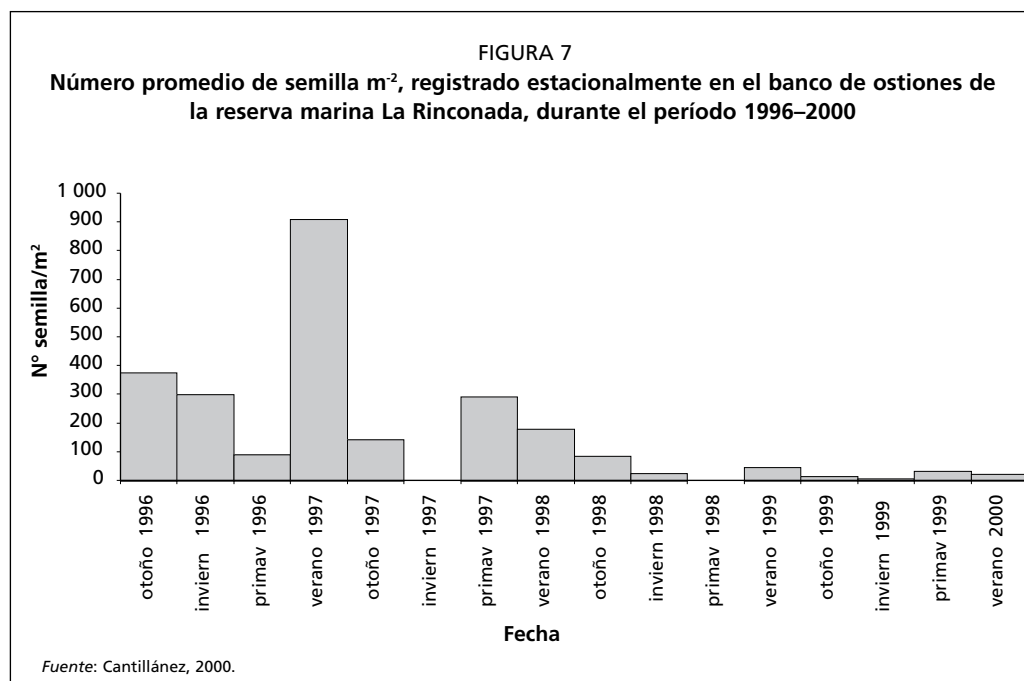
*A. purpuratus*, es la temperatura del agua, como también ha sido señalado para otros pectínidos (Avendaño *et al.*, 2008). La densidad de la semilla en los colectores, sería otro de los factores que incidiría sobre sus tasas de crecimiento y sobrevivencia, sobreponiéndose incluso a los tiempos de inmersión (Avendaño *et al.*, 2006, 2007).

Competencia intraespecífica por espacio y alimento, provocando altas mortalidades, han sido sugeridas por Mason (1983), mientras que Ventilla (1982), indica que altas fijaciones de *P. yessoensis* superando las 10 000 semillas por colector, generan un pobre crecimiento y una baja sobrevivencia de ellas, tal como muestran los resultados obtenidos en La Rinconada.

#### Pre-reclutamiento béntico

Sobre el fondo de la reserva, la semilla de *A. purpuratus* se fija sobre la fronda de *Rhodymenia* sp., y únicamente sobre esta alga, ya que ella constituye el único sustrato disponible sobre el fondo de arena del banco (Cantillánez, 2000). Variaciones estacionales e interanuales importantes de la abundancia de semillas fijadas sobre *Rhodymenia*, se han encontrado dentro de la zona de pre-reclutamiento (Figura 7, obtenida de Cantillánez, 2000). La desaparición progresiva de *Rhodymenia* durante el calentamiento de las aguas provocada por El Niño, y la persistencia de esta ausencia durante La Niña 98/2000, explican la falta de relación denso-dependiente entre la semilla captada en los colectores y el pre-reclutamiento béntico a partir de abril de 1998 (Cantillánez, 2000; Cantillánez *et al.*, 2007). Las larvas listas a su metamorfosis se fijaron sobre los colectores suspendidos, al no encontrar un sustrato disponible sobre los fondos de arena de la bahía.





## CONCLUSIONES

El conocimiento generado en la reserva, sobre la biología del Ostión del Norte, su dinámica poblacional, su respuesta a las fuerzas medioambientales, conjuntamente con la caracterización físico-geoquímica y biológica del área protegida, permiten reconocer en ella sus particulares condiciones para albergar y sostener en el tiempo este importante recurso. La abundancia larval está en directa relación con la presencia del stock de reproductores cuyo aporte de gametos acontece durante todo el año, con períodos intensos entre septiembre y abril del año siguiente. Una relación denso-dependiente se ha establecido entre la abundancia de larvas y número de semillas colectadas, aunque esta relación puede aparecer altamente variable durante la presencia de eventos fríos como La Niña. Hasta ahora, existen importantes evidencias, que las altas densidades larvales son denso dependientes del número de reproductores (>90 mm) presentes. La relación stock reclutamiento, pone en evidencia la urgencia de implementar fuertes medidas de protección para el banco.

Es necesario implementar medidas que permitan una participación efectiva y con equidad para los pescadores artesanales respecto a la utilización de este recurso, considerando que a más de 20 años de mantenerse en veda, estas medidas regulatorias impuestas por el Estado, no han tenido los resultados esperados.

## AGRADECIMIENTOS

La información entregada ha sido generada a través de los proyectos FNDP Código BIP N° 20124810 y N°20127869-0 y del programa ECOS-CONICYT C98B02.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, A. 2001. Scallop Hatcheries of *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) in Chile: A survey of the present situation. 13th International Pectinid Workshop, Coquimbo Chile, April 18–24, 2001. pp. 74–75.
- Akaboshi, S. y Illanes, J.E. 1983. Estudio experimental sobre la captación, pre-cultivo y cultivo, en ambiente natural de *Chlamys* (*Argopecten*) *purpurata*, Lamarck 1819, en Bahía Tongoy, IV Región, Coquimbo. *Symposium Internacional de Acuicultura*. Septiembre 1983, Coquimbo-Chile. pp. 233–254.

- Allarakh, C. 1979. Recherches histologiques et expérimentales de la différenciation sexuelle et du cycle de reproduction de *Chlamys opercularis*. Universidad de Caen, Francia (Tesis de doctorado).
- Avendaño, M. 1993. Données sur la biologie de *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819), Mollusque Bivalve du Chili. Universidad de Bretaña Occidental, Francia. (Tesis de doctorado).
- Avendaño, M. y Cantillán, M. 1996. Efecto de la pesca clandestina sobre *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) en el banco de La Rinconada, II Región. *Cienc. Tec. Mar.*, (19): 57–65.
- Avendaño, M. y Le Pennec, M. 1996. Contribución al conocimiento reproductivo de *Argopecten purpuratus* en dos poblaciones de la II Región - Chile. *Estud. Oceanol.*, (15): 1–10.
- Avendaño, M. y Le Pennec, M. 1997. Intraspecific variation in gametogenesis in two populations of the Chilean mollusc bivalve, *Argopecten purpuratus* (Lamarck). *Aquacul. Res.*, (28): 175–183.
- Avendaño, M. y Cantillán, M. 1997a. Necesidad de crear una reserva marina en el banco de ostiones de La Rinconada – II Región. *Estud. Oceanol.*, (16): 109–113.
- Avendaño, M. y Cantillán, M. 1997b. Análisis para la recuperación del banco de ostiones de La Rinconada, Antofagasta – II Región. Informe Final Proyecto FNDR Cód. BIP N° 20100479-0. 62 p.
- Avendaño M., Le Pennec M. y Cantillán, M. 2001a. Anormalidades en larvas de *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) (Mollusca, Pectinidae); una causal de los problemas en la producción artificial de semilla. *Estud. Oceanol.*, (20): 33–42.
- Avendaño, M., Cantillán, M., Le Pennec, M., Lodeiros, C. y Freitas, L. 2001b. Cultivo de pectínidos Iberoamericanos en suspensión. En: A. N. Maeda-Martínez, ed. *Los Moluscos Pectínidos de Iberoamerica: Ciencia y Acuicultura*, pp 193–211 Editorial Limusa, México.
- Avendaño, M. y Cantillán, M. 2003. Population estimates, extraction, and translocation of the pectinid *Argopecten purpuratus* within Mejillones bay, Chile. *Sci. Mar.*, 67(3): 285–292.
- Avendaño, M., Cantillán, M., Rodríguez, L., Zuñiga, O., Escribano, R. y Oliva, M. 2004. Conservación y protección Reserva Marina La Rinconada Antofagasta-Chile. Informe Final Proyecto FNDR Cód. BIP N° 20127869-0. 215 pp.
- Avendaño, M. y Cantillán, M. 2005. Growth and population structure of *Argopecten purpuratus* at La Rinconada marine reserve, Antofagasta, Chile. *Cienc. Mar.*, 31(3): 491–503.
- Avendaño, M., Cantillán, M. y Peña, J. 2006. Effect of immersion time of cultch on spatfall of the scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819) in the Marine Reserve at La Rinconada, Antofagaste, Chile. *Aquacul. Int.*, (14): 267–283.
- Avendaño, M., Cantillán, M., Thouzeau, G. y Peña, J. 2007. Artificial collection and early growth of spat of the scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819), in La Rinconada Marine Reserve, Antofagasta, Chile. *Sci. Mar.*, 71(1): 197–2005.
- Avendaño, M., Cantillán, M., Le Pennec, M. y Thouzeau, G. 2008. Reproductive and larval cycle of the scallop *Argopecten purpuratus* (Ostreida: Pectinidae), during El Niño-La Niña events and normal condition in Antofasta, Northern Chile. *Rev. Biol. Trop.*, 56(1): 121–132.
- Avendaño, M., Ortiz, M. y Cantillán, M. 2007c. Determinación de escenarios para la explotación sustentable de la reserva marina La Rinconada. Informe de Avance, Etapa 2 Consumo y Relaciones Tróficas, Proyecto Innova CORFO Cód. 04CR7IPM-01. Facultad de Recursos del Mar U. de Antofagasta. 99 pp.
- Avendaño, M., Cantillán, M. y Thouzeau, G. Effects of culture depth on survival and growth of *Argopecten purpuratus* spat (Lamarck, 1819) in artificial collectors in northern Chile. *Aquacul. Int.* (En prensa).
- Barber, B. y Blake, N. 1991. Reproductive Physiology, p. 377–428. En S.E. Shumway, ed. *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Elsevier, New York.

- Beninger, P. 1987. A qualitative and quantitative study of reproductive cycle of the giant scallop *Placopecten magellanicus*, in the Bay of Fundy (New Brunswick, Canada). *Can J. Zool.*, (65): 495–498.
- Bore, D. y Martínez, C. 1980. Catálogo de recursos pesqueros de Chile-Santiago. Chile, Instituto de Fomento Pesquero, Corfo, 83 pp.
- Caddy, J.F. 1989. A perspective on the population dynamics and assessment of scallop, *Placopecten magellanicus* Gmelin. En J.F. Caddy, ed. *Marine Invertebrate Fisheries; Their Assessment and Management*. FAO Roma, pp 559–589.
- Cantilláñez, M. 2000. Reproduction, vie larvaire et pré-recrutement du Pectinidae *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) dans la baie d'Antofagasta (Chili). Universidad de Bretaña Occidental, Francia, (Tesis de doctorado).
- Cantilláñez, M., Thouzeau, G. y Avendaño, M. 2001. Reproductive cycle in *Argopecten purpuratus* during El Niño and la Niña conditions: a case study in the Rinconada Bay (Chile). En: *Book of Abstracts 13<sup>th</sup> International Pectinid Workshop*, 18–24 Abril 2001, Coquimbo, Chile. pp. 86–88.
- Cantilláñez, M., Avendaño, M. y Thouzeau, G. 2005. Reproductive cycle of *Argopecten purpuratus* (Bivalvia: Pectinidae) in La Rinconada marine reserve (Antofagasta, Chile): response to environmental effects of El Niño and La Niña. *Aquaculture*, (246): 181–195.
- Cantilláñez, M., Thouzeau, G. y Avendaño, M. 2007. Improving *Argopecten purpuratus* (Bivalvia: Pectinidae) culture in La Rinconada marine reserve (Antofagasta, Chile): Results from the study of larval and post-larval stages in relation to environmental forcing. *Aquaculture* (272): 423–443.
- DiSalvo, L.H., Alarcón, E., Martínez, E. y Uribe, E. 1984. Progress in mass culture of *Argopecten purpuratus* with notes on its natural history. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, (57): 33–45.
- Dorange, G. y Le Pennec, M. 1989. Ultrastructural study of oogenesis and oocytic degeneration in *Pecten maximus* from the Bay of Saint-Brieuc. *Mar. Biol.*, (103): 339–348.
- Epp, J., Bricelj, M.V. y Malouf, R.E. 1988. Seasonal partitioning and utilization of energy reserves in two age classes of the bay scallop *Argopecten irradians irradians* (Lamarck). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, (121): 113–136.
- Gajardo, G., Coutteau, P., Curé, K., Sorgeloos, P. y Beardmore, J.A. 1996. Nutritional improvement of the commercial production of marine aquaculture species through application of innovative biotechniques. EN *Proceedings of a workshop on Fish and Mollusc Larviculture* Improvement of the Commercial Production of Marine Aquaculture Species pp 7–12. G., Gajardo y P., Coutteau ed., Santiago Chile.
- Gulland, J.A. y Holt, S.J. 1959. Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. *J. Cons. CIEM*, 25 (1): 47–49.
- Hojas, F. 1982. Antecedentes Sobre El Cultivo Del Ostión del Norte, En Antofagasta, Chile. *Chile Pesq.* Marzo 1982. pp 10–12.
- Illanes, J.E. 1988. Experiencias de captación de larvas de ostión (*Argopecten purpuratus*) en Chile, IV Región. En Producción de larvas y juveniles de especies marinas pp 53–59. E. Uribe ed. Universidad del Norte, Coquimbo, Chile.
- Le Pennec, M. 1997. Les écloséries de Mollusques Bivalves: mode d'emploi. *Bull Aquacul. Assoc. Canada*, 97(3): 31–37.
- Le Pennec, M., Robert, R. y Avendaño, M. 1998. The importance of gonadal development on larval production in Pectinids. *J. Shellfish Res.*, 17(1): 97–101.
- Lucas, A. 1965. Recherche sur la sexualité des Mollusques Bivalves. Universidad de Rennes, Francia (Tesis de doctorado).
- MacDonald, P.D.M. y Pitcher, T.J. 1979. Age-groups from size-frequency data: a versatile and efficient method of analyzing distribution mixtures. *J. Fish. Res. Bd. of Can.*, (36): 987–1001.
- Mason, J. 1983. Scallop and queen fisheries in the British Isles. *Fishing News Books Ltd.*, England. 147 pp.

- Mestre, S.** 1992. Ciclo gametogénico y de almacenamiento de Reservas en una población natural de *Pecten jacobaeus* (L) (Bivalvia: Pectinidae) en las costas de Castellón. Universidad de Valencia, España (Tesis de doctorado).
- Moraga D., Avendaño, M., Le Pennec, M., Peña, J., Tanguy A. y Baron, J.** 2001. Genetic and morphological differentiation between two pectinid populations of *Argopecten purpuratus* from the Chilean North Pacific coast. *Est. Oceanol.*, (20): 51–60.
- Motavkine, P.A. y Varaksine, A.A.** 1983. Histophysiology du système nerveux et régulation de la reproduction chez les Mollusques bivalves. En IFREMER ed. Brest, 208 pp.
- Navarro, R., Sturla, L., Cordero, L. y Avendaño, M.** 1991. Chile. En *Scallops: biology, ecology and aquaculture*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science Vol. 21, pp 1001–1014. S. Shumway ed. Elsevier Science Publishers, N.Y., 1095 pp.
- Paulet, Y.M.** 1990. Rôle de la reproduction dans le déterminisme du recrutement chez *Pecten maximus* (L) de la baie de Saint-Brieuc. Universidad de Brest Francia (Tesis de doctorado).
- Peres, S.** 1981. Estudio do ciclo reproductivo de *Pecten ziczac*. Universidad de Sao Paulo, Brasil (Tesis de doctorado).
- Román, G. y Cano, J.** 1987. Pectinid settlement on collectors in Malaga, S.E. Spain, in 1985. En *Book of Abstracts 6<sup>th</sup> International Pectinid Workshop*. 9–14 April 1987, Menai-Bridge, Wales.
- Salaün, M.** 1994. La Larve de *Pecten maximus*, genese et nutrition. Universidad de Bretaña Occidental, Francia (Tesis de doctorado).
- Sinclair, M., Mohn, R., Probert, G. y Roddick, D.** 1985. Considerations for the effective management of Atlantic scallops. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1382: 97 p.
- Stotz, W.B.** 2000. When aquaculture restores and replaces a overfished stock: is the conservation of the species assured? The case of the scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) in northern Chile. *Aquacul. Inter.*, (8): 237–247.
- Stotz, W.B. y Mendo, J.** 2001. Pesquería, repoblamiento y manejo de bancos naturales de pectínidos en Iberoamérica: su interacción con la acuicultura. En A. N. Maeda-Martínez (Ed.) *Los Moluscos Pectínidos de Iberoamerica: Ciencia y Acuicultura*. Editorial Limusa, México. pp 357–374.
- SUBPESCA.** 1995. Informe Técnico: Regulación del Recurso Ostión del Norte. Subsecretaría de Pesca-Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. 31 pp. (No publicado).
- Thouzeau, G.** 1989. Déterminisme du pré-recrutement de *Pecten maximus* (L.) en baie de Saint-Brieuc. Universidad de Bretaña Occidental, Francia (Tesis de doctorado).
- Thouzeau, G.** 1991a. Experimental collection of postlarvae of *Pecten maximus* (L.) and other benthic macrofaunal species in the Bay of Saint-Brieuc, France. I- Settlement patterns and biotic interaction among the species collected. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, (148): 159–179.
- Thouzeau, G.** 1991b. Experimental collection of postlarvae of *Pecten maximus* (L.) and other benthic macrofaunal species in the Bay of Saint-Brieuc, France. II- Reproduction patterns and postlarval growth of five mollusk species. *J. Exp. Mar Biol. Ecol.*, (148): 181–200.
- Ventilla, R.F.** 1982. The scallop Industry in Japan. *Adv. Mar. Biol.*, (20): 310–380.
- Wallace, J.C. y Reinsnes, T.G.** 1985. The significance of various environmental parameters for growth of the Iceland scallop *Chlamys islandica* (Pectinidae), in hanging culture. *Aquaculture*, (44): 229–242.
- Wolff, M.** 1987. Population Dynamics of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* during the El Niño Phenomenon of 1983. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, (44): 1684–1691.
- Wolff, M. y Alarcón, E.** 1993. Structure of scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) dominated subtidal macro-invertebrate assemblage in Northern Chile. *J. Shellfish Res.*, (2): 295–304.
- Wolff, M. y Mendo, J.** 2000. Management of the Peruvian bay scallop (*Argopecten purpuratus*) metapopulation with regard to environmental change. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* (10): 117–126.