

# Efectos de El Niño 1997-1998 sobre las principales pesquerías pelágicas de la zona centro-sur de Chile.

*Effects of El Niño 1997-1998 on main pelagic fisheries of the south-center zone of Chile.*

DAGOBERTO ARCOS  
LUIS CUBILLOS  
SERGIO NÚÑEZ

Instituto de Investigación Pesquera  
Casilla 350, Colón 2780,  
Talcahuano, Chile.  
e-mail: inpesca@inpesca.cl

## RESUMEN

Se analizan los cambios biológicos observados en las poblaciones de los peces pelágicos: sardina común (*Strangomera bentincki*), anchoveta (*Engraulis ringens*) y jurel (*Trachurus symmetricus*), que sostienen la pesquería pelágica de la zona centro-sur de Chile, en relación con la manifestación del evento El Niño 1997-1998. Este evento causó cambios físicos en el hábitat frente a Chile central con efectos negativos sobre la actividad reproductiva y el estado de condición de las hembras de peces pelágicos pequeños durante 1997, determinando el reclutamiento más bajo de sardina durante los años 90 y un incremento en longitud de los individuos de la cohorte de 1997. El crecimiento y reclutamiento parece no haber afectado a la anchoveta, aspecto que verificaría un rol más oportunista de esta especie en la región. Para el caso del jurel, se postula que las condiciones ambientales pre-El Niño y El Niño produjeron una alteración en la distribución espacial del recurso, atrapando a los juveniles de la especie en la

zona centro-sur de Chile. La pesca intensiva en los años previos al El Niño 1997-1998 pudo ser un factor determinante en la intensificación de la alteración del patrón espacial de varias clases anuales, traducándose en efectos negativos para la pesquería. Se plantea que una restauración del patrón espacial de distribución de la población de jurel ocurrirá en la medida en que las nuevas clases anuales (1999 y subsiguientes) logren "re-descubrir" la antigua área de crianza localizada al norte de los 30° S, razón por la cual tal restauración puede tomar varios años con serias consecuencias para la pesquería que se sustenta en este recurso.

## ABSTRACT

Biological changes observed in the pelagic fish populations off central-south Chile: sardine (*Strangomera bentincki*), anchovy (*Engraulis ringens*) and jack mackerel (*Trachurus symmetricus*), are analyzed by considering probable effects of the 1997-98 El Niño event. This event caused physical changes in the coastal and oceanic habitat

**Palabras claves:** Peces pelágicos, evento El Niño, Pacífico Suroriental (Chile), variabilidad ambiental, pesquerías pelágicas.

**Key words:** Pelagic fish, El Niño event, South-eastern Pacific (Chile), Environmental variability, pelagic fisheries.

off central-south Chile, determining negative effects on the reproductive activity and on the condition factor of the females of sardine and anchovy. The 1997 cohort of sardine presented the lowest recruitment in the 1990s, and also the average length-at-age of this cohort was larger than the rest of cohorts. The growth and recruitment of anchovy were not significantly affected by El Niño, a situation that could be explained by the most opportunistic rol of this species in the region. In the case of jack mackerel, the spatial distribution pattern of the population was affected by the pre-Niño and El Niño conditions, by producing an alteration in the migration path of juveniles to the nursery ground located usually into the north of 30° S. Probably, the fishing intensity during the previous years to the 1997-98 El Niño increased the alteration in the spatial pattern of the population. A restoration of the spatial pattern of jack mackerel could take several years because new year classes should "re-discover" the nursery ground located into the norte of 30° S. This hypothesis has serious consequences for the jack mackerel fishery.

## INTRODUCCIÓN

En Chile, el desembarque nacional de recursos hidrobiológicos alcanzó un máximo de 7,8 millones de toneladas en 1994, pero declinó hasta alcanzar a 3,8 millones de toneladas en 1998, aunque en el año 1999 se capturaron 5,6 millones de toneladas. Estas variaciones en el desembarque nacional han sido explicadas por los cambios exhibidos en las capturas de unas pocas especies pelágicas, las cuales en su conjunto aportan con más del 90% del total nacional (Fig. 1).

La fuerte disminución del desembarque en el año 1998 se debió, básicamente, a los problemas que enfrentaron las dos pesquerías más importantes: la anchoveta en la zona norte (Arica-Caldera) y el jurel en la zona centro-sur (Regiones V a X). En el caso de la anchoveta se verificaron problemas de

disponibilidad y accesibilidad, mientras que la pesquería de jurel entró en un período de crisis a partir de 1997 debido a la fuerte incidencia de jureles juveniles, de tamaño inferior a los 26 cm de longitud. Sucesivas vedas y regulaciones fueron implementadas para disminuir el impacto de la pesca sobre la fracción juvenil de jurel desde entonces. A su vez, en 1999, la pesquería de sardina común y anchoveta de la zona centro-sur logró un máximo histórico de desembarque, que llegó a cerca de 1,5 millones de toneladas, lo que se explica en parte por la reorientación del esfuerzo de pesca durante los períodos de veda aplicados a la pesquería de jurel.

A partir del año 1997, se ha observado una serie de cambios en las pesquerías pelágicas de la región centro-sur de Chile, que coincide con la manifestación de uno de los eventos El Niño de mayor magnitud que se haya registrado en el Pacífico Sudeste (CPPS, 1999). Una abundante y bien documentada literatura apoya la tesis que las fluctuaciones en el ambiente físico tienen un notable impacto en las pesquerías pelágicas, en diferentes escalas de tiempo y espacio (Sharp & Csirke, 1983; Pauly & Tsukayama, 1987; Shannon *et al.*, 1988; Cury & Roy, 1989, 1991; Cury *et al.*, 1995; Bakun, 1996; Binet, 1997; Cole & McGlade, 1998; Hutchings, 1998; Durand *et al.*, 1998; Cole, 1999; Yáñez *et al.*, 1992, 2001).

En este trabajo se analizan los cambios biológicos observados en los peces pelágicos que sostienen las pesquerías pelágicas de la zona centro-sur de Chile y su relación con probables efectos del evento El Niño 1997-98. Si bien es cierto en dichos cambios también hay una importante contribución del factor humano a través de la explotación pesquera (Cubillos *et al.*, 2000; Cubillos, 2001), se intentará explicar algunas consecuencias de más largo plazo, asociadas con el evento El Niño 1997-98 sobre las poblaciones de peces pelágicos de la zona centro-sur de Chile y, por ende, para la pesquería que se sustenta en ellas.

## EL NIÑO EN CHILE CENTRO-SUR

La información de temperatura superficial del mar (TSM) utilizadas en este trabajo provienen de la serie de tiempo que registra el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, en la estación de mareas de Talcahuano ( $36^{\circ} 41' S - 73^{\circ} 06' W$ ). Con el propósito de analizar los cambios interanuales se calcularon anomalías mensuales de TSM, las que fueron calculadas sustrayendo el ciclo anual promedio en el período 1966-1999.

Por otra parte, se analizaron imágenes satelitales mensuales de TSM para el período 1995-1999. Estas imágenes del sensor del satélite AVHRR NOAA-14, fueron obtenidas diariamente en la estación satelital del Instituto de Investigación Pesquera en Talcahuano ([www.inpesca.cl](http://www.inpesca.cl)), y se utilizaron en el análisis de la evolución del evento El Niño en el sector costero y oceánico frente a Chile centro sur. Para ello, el área de estudio se dividió en cuatro zonas (Fig. 2), al interior de las cuales se obtuvieron promedios mensuales de TSM y posteriormente se calcularon anomalías mensuales utilizando la distribución climatológica promedio de TSM frente a Chile centro-sur. La zona I correspondió a la región costera conformada por la plataforma continental y el sistema de bahías situados entre los  $35^{\circ} 30' S$  y los  $37^{\circ} 30' S$ . La zona II es el sector oceánico adyacente a la zona I, que cubre desde aproximadamente los  $74^{\circ} W$  hasta los  $76^{\circ} W$ . La zona III correspondió al sector costero situado al sur de punta Lavapié, entre los  $37^{\circ} 30' S$  y  $40^{\circ} S$ , y la zona IV, se ubicó adyacente a ésta, entre aproximadamente los  $75^{\circ}$  y los  $76^{\circ} W$ .

En las anomalías cálidas extremas de TSM en el Pacífico Ecuatorial, Región Niño 3.4 ([www.cpc.ncep.noaa.gov](http://www.cpc.ncep.noaa.gov)), se observaron claramente los eventos El Niño de 1982-83, 1987, 1991-1992 y 1997-98. Aunque estos eventos han sido de diferente intensidad, han podido ser también detectados en los datos locales de

TSM en Talcahuano (Fig. 3). De acuerdo con esta información, la manifestación del evento El Niño 1997-1998 evidenció anomalías cálidas a contar del mes de mayo de 1997, alcanzando valores de  $+1^{\circ} C$  entre julio y noviembre. Entre noviembre y diciembre se verificó una fase de relajación de dichas anomalías térmicas positivas, pero el calentamiento de la zona costera nuevamente se intensifica y persiste hasta julio de 1998 (Fig. 4).

La figura 5 muestra las anomalías de la TSM satelital para las cuatro zonas previamente definidas, observándose que, tanto en el sector costero y oceánico de la región norte como en la región costera del sector sur, las anomalías cálidas se observaron desde la primavera de 1996 y fueron interrumpidas por condiciones comparativamente más frías que se presentaron entre febrero y marzo-abril de 1997. Probablemente, las anomalías positivas registradas en el tercer y cuarto trimestre de 1996 se deban al fuerte ingreso de aguas comparativamente más cálidas desde el océano; en contraste con la probable advección de aguas cálidas desde el norte hacia el sur, vía ondas atrapadas durante El Niño (Hormazábal, 1999). En efecto, la recirculación de las aguas sobre la plataforma continental en la región costera norte (Zona I), podría influir en la detección de anomalías de TSM positivas y máximas en directa asociación con la manifestación de El Niño.

De acuerdo con las anomalías de TSM observadas, la manifestación del evento El Niño 1997-1998 en la región costera de Chile central se habría desarrollado con dos fases máximas: una entre junio y noviembre de 1997 y otra entre mayo y julio de 1998, las que fueron interrumpidas por un ligero debilitamiento entre diciembre de 1997 y marzo de 1998. La declinación de El Niño 1997-98 tuvo lugar a contar de septiembre-octubre de 1998, revelando anomalías frías de  $-1$  y  $-2^{\circ} C$  durante 1999, lo que verificó condiciones asociadas con el evento La Niña que se desarrolló posteriormente.

## PESQUERÍAS PELÁGICAS Y EL NIÑO 1997-1998

### PESQUERÍA DE SARDINA COMÚN Y DE ANCHOVETA

La sardina común (*Strangomera bentincki*) y la anchoveta (*Engraulis ringens*) son recursos importantes para la actividad pesquera que se desarrolla en la zona centro-sur (Cubillos *et al.*, 1998). La información biológico-pesquera analizada en este trabajo ha sido documentada por Cubillos *et al.* (1999), en relación con los aspectos reproductivos; por Cubillos *et al.* (2000, 2001), sobre el crecimiento en longitud; y por Cubillos *et al.* (2000) y Cubillos & Arcos (2002) sobre las variaciones del reclutamiento en la década de los años 90.

#### Aspectos Reproductivos

Se utilizó el índice gonadosomático (IGS) y el factor de condición (FC) mensual de hembras para analizar la influencia de las condiciones ambientales sobre la actividad reproductiva de ambas especies. Para analizar los cambios interanuales, se calcularon anomalías mensuales, sustrayendo el ciclo anual promedio del período 1993-1999.

La época reproductiva de sardina común y anchoveta se verifica entre los meses de julio y septiembre, con una máxima actividad en el mes de agosto para sardina común y en septiembre para el caso de la anchoveta (Cubillos *et al.*, 1999). No obstante lo anterior, los IGS y FC de ambas especies han presentado cambios interanuales muy similares durante el período 1993-1999 (Fig. 6). El cambio más notable tanto en el IGS como en el FC ocurrió entre fines de 1996 y 1997 cuando se registraron persistentes anomalías negativas, las que a su vez cambiaron a anomalías positivas hacia fines de 1998. Estas fluctuaciones en la anomalía de los índices IGS y FC es coincidente temporalmente con la manifestación de la fase cálida del evento El Niño 1997-1998 en la región centro-sur de Chile.

La sardina y anchoveta son especies pelágicas de tamaño similar, de rápido crecimiento corporal que comparten el mismo hábitat costero, de tal manera que la similitud observada en los cambios interanuales del IGS y FC debe ser una consecuencia de su estrategia reproductiva frente a las variaciones interanuales en las condiciones ambientales. Cubillos *et al.* (2001) indican que la estrategia reproductiva de estas especies es desovar al término del invierno (agosto) cuando ocurren condiciones oceanográficas que favorecen la retención de huevos en la costa (*e.g.* transporte hacia la costa, y convergencia debido a la dominancia de vientos norte). Esas condiciones cambian en menos de un mes a un régimen de surgencias moderadas (Arcos & Navarro, 1986), que favorecen tanto la producción de alimento como su concentración en zonas costeras, y tal vez la sobrevivencia de larvas y juveniles (Castro *et al.*, 2000). A su vez, esta estrategia reproductiva es combinada con una "estrategia de almacenamiento de energía" durante el período estival (octubre-marzo), la que es destinada a la reproducción (producción de gametos) durante el próxima estación reproductiva (Cubillos *et al.*, 2001).

De acuerdo con dicha estrategia, se podría postular que los cambios observados en el IGS de ambas especies son consecuencia tanto de los cambios en la condición de las hembras durante la época estival, como en las condiciones ambientales que se presentan en esa época. Esta hipótesis se fortalece cuando se analizan las anomalías promedio del IGS entre julio y septiembre (máxima actividad reproductiva) en relación con las anomalías promedio de la TSM y del factor de condición entre los meses de septiembre a marzo, período en que se verifica la engorda de ambas especies (Fig. 7). Las relaciones fueron estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) con excepción de la relación en fase entre las anomalías del FC y la TSM ( $P > 0,05$ ) (Fig. 7c). Se debe considerar que las relaciones significativas estuvieron sustentadas por las condiciones extremas que impuso el evento El Niño de 1997-1998, como por las condiciones más frías que se presen-

taron en el período estival de 1995-1996 (ver Fig. 3). Estos resultados revelan que condiciones cálidas determinarían una baja condición en las hembras durante el período de engorda; pero estas condiciones más cálidas se relacionan con anomalías positivas del IGS durante la próxima estación reproductiva (julio-septiembre).

### Crecimiento

El crecimiento en longitud de estas especies presenta oscilaciones estacionales en la tasa de crecimiento, lo que es consecuencia de la estrategia reproductiva adoptada por las especies (Cubillos *et al.*, 2001). El crecimiento en longitud de las cohortes de 1990 a 1998 de estas especies se muestra en la figura 8, observándose un patrón bastante regular año tras año; no obstante, también es posible observar algunas desviaciones importantes de la curva de crecimiento promedio de las cohortes. En particular, las cohortes de sardina común de 1997 y 1998 presentan desviaciones positivas, sugiriendo que los ejemplares de dichas cohorte son en promedio de mayor tamaño corporal.

Un análisis de los residuos de la longitud por cohortes, verifica que efectivamente las desviaciones de la longitud promedio de las cohortes de sardina común dependen de las condiciones ambientales de TSM durante el primer período de crecimiento rápido, entre septiembre y marzo (Fig. 9a). En el caso de la anchoveta, la relación no fue significativa debido a que la longitud media de las cohortes no es estadísticamente diferente (ANOVA,  $P > 0,05$ ). A pesar de que en términos cualitativos podamos observar cierta correspondencia con los cambios en la TSM (Fig. 9b).

### Reclutamiento

El reclutamiento de sardina común ocurre en noviembre de cada año a una longitud modal de 5-6 cm; mientras que el reclutamiento de anchoveta tiende a presentarse en enero, a una longitud modal de 7-8 cm, es decir entre 4 y 6 meses después del comienzo del

desove en julio (Cubillos *et al.*, 2001). Se destaca que el reclutamiento de ambas especies ocurre en forma de un pulso que domina la dinámica de la abundancia poblacional (Cubillos *et al.*, 2000).

Las fluctuaciones del reclutamiento de sardina común y anchoveta se presentan en la figura 10, observándose que el reclutamiento de la cohorte de 1997 de sardina común fue el más bajo de la década de los años 90. A su vez, el reclutamiento más alto se debe a la cohorte de 1995. En el caso de la anchoveta ha ocurrido lo contrario, mientras la cohorte de 1995 reclutó con una abundancia baja, las cohortes de 1996 a 1998 fueron muy abundantes.

Cubillos & Arcos (2002) han analizado los cambios en el reclutamiento de estas especies bajo la hipótesis que el reclutamiento de ambas especies es dependiente de las condiciones ambientales que se presentan durante la época de desove (julio-septiembre) y durante la fase prerrecluta que se extiende entre agosto y diciembre. Se encontró que dicha hipótesis solamente parece ser correcta para la sardina, ya que las relaciones entre el reclutamiento de anchoveta y las condiciones ambientales (temperatura e índice de surgencia) no fueron significativas ( $p < 0,05$ ) (Fig. 11).

## PESQUERÍA DE JUREL

### Patrón espacial

La contribución por tallas a la captura del período 1982-96, de las zonas norte y centro-sur del país, se muestra en la figura 12. Se observa que, en promedio, el aporte en número en función de la talla tiene tendencias opuestas por zonas. En la zona norte domina en las capturas una fracción juvenil de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla (LH), la que ha aportado con más del 50% de las capturas promedio del período 1982-96. Por el contrario, en la zona centro-sur las capturas promedio del período han sido debidas a la fracción mayor a 25 cm LH.

Grechina (1998) analizó la distribución espacial de los lances de pesca con jurel juvenil de hasta 20 cm LH capturados entre 1980 y 1990 por la pesquería rusa en el Pacífico suroriental. Al considerar estratos de 5 cm LH se observó que los juveniles menores de 20 cm se registraron en el margen oriental del Pacífico-sur, frente a las costas de Perú y norte de Chile. Entre los 90° y 120° W, solamente se registraron lances con juveniles de hasta 15 cm de LH, estando virtualmente ausente los juveniles de entre 15 y 20 cm; mientras que los juveniles de hasta 10 cm de LH, sólo se presentaron al oeste de los 120° W. A su vez, Bailey (1989) registró la presencia de juveniles de jurel de 4,5 a 8,5 cm en estómagos de atún al oeste de los 166° W. De acuerdo con estos antecedentes, solamente en el borde oriental existe una mayor probabilidad de encontrar juveniles menores de 20 cm, mientras que la probabilidad de encontrar juveniles de entre 15 y 20 cm es menor al oeste de los 90° W, lo que en conjunto con la incidencia de juveniles en las capturas demuestra el efecto acumulativo de la abundancia de juveniles en el margen oriental del Océano Pacífico Sur y principalmente al norte de los 30° S, en promedio.

Por el contrario, en el borde oriental al sur de los 30° S, tanto en el sector costero como oceánico, predominan ejemplares de jurel mayores de 25 cm de LH. Se destaca que el jurel alcanza la madurez sexual cerca de los 25 cm de LH, razón por la cual los ejemplares de jurel que se distribuyen al sur de Coquimbo, tanto en el sector oceánico como costero, son adultos. Serra (1991) indica que la conexión entre el sector costero y el oceánico está regulado por los procesos de alimentación (engorda) y reproducción (desove), pero la conexión entre la fracción juvenil y adulta debe estar regulada por un proceso migracional ontogenético que determina un desplazamiento neto hacia el sur de la fracción juvenil.

El área frente a Chile centro-sur se reconoce como la principal zona de alimentación del jurel en invierno (Quiñones *et al.*, 1997; Miranda *et al.*, 1998), de tal

manera que la fracción juvenil que se incorporaría a esta zona y que está próxima a la primera madurez, pasaría por la zona de alimentación para engordar y acumular energía que posteriormente será canalizada a la producción de gametos en primavera. El desove de jurel se verifica a lo largo del margen oriental del Pacífico Sur, tanto en aguas oceánicas como costeras (Evseenko, 1987; Grechina, 1998; Grechina *et al.*, 1998). Sin embargo, al sur de los 30° S, el desove se verifica hasta los 100° W aproximadamente. No obstante, Grechina (1998) y Elizarov *et al.* (1993) comunican focos importantes de abundancia de huevos y larvas hasta los 160° W, según información de más de 10 investigaciones ictioplanctónicas realizadas entre 1980 y 1989. De acuerdo con estos autores el borde sur de la distribución de huevos y larvas pasa cerca de los 40° S, con densidades de más de 50 huevos por metro cuadrado; mientras que el borde septentrional pasa entre los 34° y 36° S. El foco oriental de desove, localizado entre los 78° y 90° W y entre los 35° y 42° S es el que registra la mayor abundancia de huevos y larvas de jurel (Grechina, 1998; Grechina *et al.*, 1998).

Estudios recientes confirman que el área de desove de jurel no ha cambiado entre 1998 al 2000, extendiéndose al oeste de los 80° W, y al norte de los 38° S (Sepúlveda *et al.*, 2000). Los indicadores de actividad reproductiva permiten señalar que el desove de jurel ocurre en primavera, principalmente entre octubre y diciembre, aunque la actividad reproductiva podría extenderse desde septiembre hasta marzo (Grechina *et al.*, 1998; Oyarzún *et al.*, 1998; Aracena *et al.*, 1998).

De acuerdo con los antecedentes disponibles, se reconoce (Fig. 13):

- un hábitat oceánico de reproducción, que abarca el borde oriental del Pacífico sur con un foco principal de desove que se extiende entre los 35 y 40° S hasta los 90° W;
- un hábitat costero de alimentación (engorda) de los ejemplares adultos de ju-

rel, principalmente frente a la zona centro-sur de Chile; y

- un hábitat de crianza de juveniles, que se ubicaría al norte de los 30° S.

Los patrones de movimiento involucran una fracción significativa de la población y ocurren con una periodicidad regular como resultado de una alternancia entre dos o más hábitat separados (Wootton, 1992). Así, los movimientos de un hábitat al otro determinan el comportamiento estacional de la pesquería en la zona centro-sur, con capturas mayores en la época invernal (abril-agosto), cuando el jurel está más disponible en la zona costera por razones de engorda, y menores en primavera cuando ocurre la migración hacia aguas oceánicas para desovar (septiembre-marzo). Otros patrones de migración podrían ocurrir en escalas espacio-temporales distintas a la estacional, y deberían estar relacionados con el uso del espacio así como con los cambios en el balance entre los beneficios y los costos de residencia en cada hábitat. A su vez, este balance cambia marcadamente entre los diferentes estados del ciclo de vida, razón por la cual es necesario asociar los tres tipos básicos de hábitat a lo largo del ciclo de vida del jurel frente a Chile.

### **ALTERACIÓN DEL PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL**

Debe tenerse presente que la secuencia de eventos que se describe a continuación ocurrió en presencia de la explotación pesquera. Cubillos (2001) señala que la tasa de explotación pesquera fue intensa entre 1993 y 1998, siendo un factor gravitante en provocar una disminución importante de la fracción adulta del stock de jurel. En este contexto, la intensidad de pesca fue un factor importante que pudo incrementar los cambios espaciales y de abundancia ocurridos en el stock de jurel.

Tal como se observa en la figura 5, las aguas oceánicas adyacentes a la zona centro-sur de Chile comenzaron a exhibir anomalías positivas de TSM desde octubre de 1996, en circunstancias que la región ecuatorial presentaba características frías asociadas a un evento La Niña. Por lo tanto, el calentamiento observado en Chile centro-sur, durante la primavera de 1996 y enero de 1997, se debió a la intrusión de aguas cálidas provenientes del océano, las que alcanzaron incluso los 40° S. En cambio, el calentamiento de las aguas costeras y adyacentes asociadas al evento El Niño que se desarrolló a contar de mayo de 1997 se debería a una onda atrapada con dirección al polo; es decir, una advección de aguas cálidas desde el norte hacia el sur como en otros eventos (Hormazábal, 1999).

En concomitancia con estos cambios físicos en el ambiente, se observó una incidencia creciente de jurel juvenil menor a 26 cm de longitud en las capturas de la flota de cerco de la zona centro-sur. ¿Pudo esta situación haber ocurrido debido a una alteración del patrón normal de migración de juveniles de jurel? El proceso deductivo nos invita a señalar que tal vez las condiciones cálidas iniciales desarrolladas durante la primavera de 1996 posibilitaron un acercamiento de juveniles hacia la costa y hacia el sur, mientras que las condiciones impuestas por El Niño 1997-1998 determinaron un "atrapamiento" de jureles juveniles en las zonas de pesca situadas al sur de los 30° S.

Arcos *et al.* (2001) analizan la posición de la isoterma de 15 °C como un indicador de cambios en la estructura térmica promedio frente a Chile central, durante enero-agosto de cada año en el período 1982-1999, observando que el límite más austral de dicha isoterma ocurrió en 1997 y 1998, mientras que el límite más septentrional ocurrió en 1999 (Fig. 14). Estos años fueron extremos, pero la intrusión de agua cálida hacia el sur durante años El Niño se ha repetido, y explica significativamente ( $P < 0,05$ ) los cambios en la proporción de jureles juveniles menores a

26 cm en las capturas de la flota (Fig. 15). De acuerdo con la intensidad del evento El Niño 1997-1998, se podría postular que el "atrapamiento" de juveniles en el sur por tres años consecutivos determinó un nuevo patrón espacial, bajo el cual pudo estar funcionando la población de jurel (Fig. 16).

## DISCUSIÓN

El Niño es un evento climático global que involucra varios grados de intensidad en su desarrollo. En Chile centro-sur, la presencia de los eventos El Niño de 1982-83, 1987, 1992 y 1997-98, ha sido detectada en la TSM costera (ver Fig. 3). En esta área y bajo condiciones no-El Niño, la TSM se caracteriza por la presencia de aguas frías ( $< 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dentro de las primeras 50 millas náuticas de la costa y de aguas subtropicales superficiales con TSM mayores a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  en aguas oceánicas lejos de la costa. Cuando un evento El Niño fuerte se presenta, aguas con TSM mayores a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  penetran hacia el sur, mientras que la surgencia se debilita. En 1997-98, la isoterma de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  permaneció a 70 m de profundidad a 50 millas náuticas de la costa y en superficie alcanzó su límite más austral durante 1998, sugiriendo efectos físicos de El Niño en el centro-sur de Chile (Arcos *et al.*, 2001).

Una fracción significativa de la variabilidad en las poblaciones de peces ocurre en un amplio rango de escalas y como respuesta a la variabilidad climática-oceanográfica (Spencer & Collie, 1997). La variabilidad física en el océano se caracteriza por un espectro de varianza conocido como "ruido rojo" (Steele, 1985), cuya propiedad es que la amplitud de la variabilidad tiende a incrementarse fuertemente en frecuencias más y más bajas de variación (períodos largos). Una consecuencia inmediata para los organismos vivos que enfrentan un ambiente físico con estas características es que éstos deben ser capaces de manejar una gran variedad de estrategias para ajustarse continuamente a los componentes de variación de baja frecuencia o correr el riesgo de

encontrarse, en algún momento, muy mal adaptados a las condiciones locales (Bakun, 2001).

De esta manera, los cambios físicos, meteorológicos y oceanográficos asociados con eventos como El Niño, deben necesariamente afectar a las poblaciones de peces pelágicos de alguna forma, pues es este hábitat el que recibe los impactos físicos más inmediatos. Por otra parte, debido a que ningún evento El Niño es igual a otro, ni en magnitud, ni en estacionalidad, ni en los efectos que puede producir en los ecosistemas marinos, se debería esperar que las poblaciones de peces desarrollen estrategias diferentes para enfrentar tal variabilidad. La estrategia más exitosa de los pelágicos se encuentra en su primitiva forma de reproducción y su habilidad para formar cardúmenes que pueden explorar continuamente las cambiantes condiciones ambientales en un determinado hábitat (Bakun, 2001). De esta manera, las estrategias para enfrentar la variabilidad dice relación con procesos poblacionales e individuales que permiten conservar la adaptación y la organización como elementos básicos constitutivos de su existencia.

En el caso de los pelágicos pequeños, cobra importancia la estrategia reproductiva que tiene implicancias directas en los procesos de crecimiento y reclutamiento (Cubillos *et al.*, 2001; Cubillos & Arcos, 2002). Desde un punto de vista evolutivo la sardina común y anchoveta se han adaptado al ecosistema estacional de surgencia de la zona centro-sur de Chile, aprovechando la época de surgencias estivales para crecer y almacenar energía y la época de convergencias costeras invernales para llevar a cabo la reproducción. Las consecuencias de esta estrategia son varias: i) desovar en agosto-septiembre favorece la concentración de huevos en la costa; ii) las larvas enfrentan un ambiente de surgencias moderadas que favorece la producción y la concentración de alimento en septiembre, y más tarde el crecimiento y la engorda de los juveniles, los cuales deben "almacenar energía" que será utilizada du-

rante su primera reproducción, al momento de cumplir un año el próximo invierno. La estrategia reproductiva de estos pelágicos está de acuerdo con la "triada" propuesta por Bakun (1996), *i.e.* procesos oceanográficos que promueven la concentración, el enriquecimiento y la retención determinan la estrategia reproductiva y el éxito del reclutamiento. Se suma a ello una "estrategia de almacenamiento de energía" (Cubillos *et al.*, 2001), que permite "internar" —por así decirlo—, las condiciones ambientales que se presentan durante la fase de engorda y que podrían tener algún efecto en la actividad reproductiva durante julio-septiembre. Se desconoce cuál es el mecanismo que hay detrás de dichos cambios, pero es probable que el tipo de alimento en años cálidos asociados con El Niño sea diferente de aquel de años fríos (González *et al.*, 2000) y los cambios en el IGS podrían estar relacionados con cambios en el tamaño de los huevos, tal y como se ha observado en otras especies (Kjesbu, 1989; Chambers & Waiwood, 1996; Tripel, 1998).

Una consecuencia de la manifestación de El Niño 1997-1998 se verificó sobre el crecimiento de la cohorte de 1997 de sardina común. Los ejemplares de esta cohorte fueron significativamente de mayor tamaño corporal que los ejemplares de una cohorte promedio, situación que se relacionó directamente con las condiciones ambientales del primer período de crecimiento rápido. Se reconoce así la importancia que tienen las condiciones ambientales durante el primer período de crecimiento rápido, que no sólo determina cambios en la longitud media de los peces de una cohorte sino que también tiene una incidencia directa sobre actividad reproductiva venidera.

Sin embargo, el reclutamiento de la cohorte de 1997 de sardina común fue afectado negativamente por El Niño de 1997-98. De acuerdo con Cubillos & Arcos (2002), las condiciones cálidas en que se desarrolló el desove, el debilitamiento de los vientos norte durante agosto y el posterior debilitamiento de vientos sur en primavera (septiembre-

diciembre), pudieron haber determinado que el reclutamiento de dicha cohorte haya sido bajo, tal vez a través de la calidad y composición del alimento. Sin embargo, el reclutamiento de anchoveta no fue afectado por esas condiciones, sugiriendo una respuesta diferencial de estas especies en la sobrevivencia de huevos, larvas y juveniles ante cambios en el ambiente físico.

Los efectos sobre el reclutamiento de sardina común confirman los resultados exploratorios de Fonseca *et al.* (1986), quienes señalan que condiciones cálidas durante la primavera de un año dado, producen un incremento en el índice de abundancia relativa conjunto de sardina y anchoveta al año siguiente. Sin embargo, primaveras excesivamente cálidas asociadas con El Niño se relacionaron con una abundancia relativa muy baja al año siguiente. La cohorte de 1997 de sardina común reclutó con una baja abundancia en noviembre de 1997 y afectó a la pesquería en 1998.

El caso de la pesquería de jurel contrasta notablemente con los pelágicos pequeños, tanto en la estrategia como en la escala temporal y espacial involucrada en los procesos poblacionales. Desde una perspectiva evolutiva, y considerando el período reciente, consideramos al jurel como una especie adaptada a la variabilidad ambiental frente a las costas chilenas, identificándose un patrón espacial que implica la utilización de hábitat claramente diferenciables a lo largo de su ciclo de vida.

La acumulación de juveniles en el borde nororiental del sistema de corrientes de Humboldt, el proceso de reclutamiento continuo hacia el área de engorda localizada frente al centro-sur de Chile, y la migración estacional masiva de adultos hacia aguas oceánicas para llevar a cabo la reproducción en primavera, determinan un patrón espacial con alto poder explicatorio de la situación que pudo ocurrir a contar de 1997, cuando se impusieron condiciones oceanográficas anómalas relacionadas con el Niño de 1997-98 y asi-

mismo una intensa explotación pesquera sobre la fracción adulta del stock.

Si la incidencia de jurel juvenil en las capturas de la flota se explica por las condiciones anómalas más cálidas debido a una alteración del patrón espacial de la población de jurel ¿cómo es posible que una vez que las condiciones ambientales han cambiado a una condición fría extrema como las que han ocurrido entre 1999 y 2000, aún persista una alta incidencia de jurel juvenil en las capturas de la flota? Para responder a esta pregunta se debe considerar la magnitud de las perturbaciones, tanto las naturales como las asociadas con la explotación pesquera.

Las condiciones de El Niño 1996-97, afectaron el patrón de distribución de la fracción de juveniles de los grupos de edad de 1, 2 y 3 años (15, 22 y 25 cm, respectivamente) por tres años consecutivos (1996 a 1998). De esta manera el "atrapamiento" de juveniles en el sur ha impactado más fuertemente a las clases anuales de 1994 a 1997, configurándose con ello un nuevo patrón espacial bajo el cual la población pudo estar operando (Fig. 16). A su vez, se debe considerar que la fracción más adulta fue también fuertemente deprimida por la explotación pesquera durante este período de cambios, de tal manera que la restauración del patrón espacial como de la abundancia podría demorar varios años.

Arcos *et al.* (2001) señalaron que una restauración del patrón espacial como el observado previo al año 1997 requiere que las clases anuales más recientes (1998-2000, y subsiguiente) logren "re-descubrir" las condiciones de hábitat que configuraban el área de crianza al norte de los 30° S. Se debe considerar la posibilidad de que las condiciones asociadas con el evento La Niña de 1999, hayan determinado que una fracción significativa de las clases anuales de 1998 y 1999 se distribuyera más hacia el norte durante 1999 y 2000. Precisamente, en 1999 y 2000 se ha observado una mayor incidencia de jurel juvenil del grupo de edad 0 ó 1 (10-18 cm) en las capturas de anchoveta de la zona

norte. En este contexto, la restauración del patrón "normal" de la población será un proceso lento que podría demorar varios años en la medida en que las nuevas clases anuales sean capaces de re-descubrir la antigua zona de crianza. A su vez, la fracción adulta del stock podría incrementar en su abundancia minimizando el impacto de la presión pesquera o definiendo algún nivel de escape significativo de juveniles de la pesquería.

Por otra parte, el éxito de restauración podría verse amenazado si las nuevas clases anuales se han adaptado al nuevo funcionamiento de la población impuesto por las condiciones asociadas al evento El Niño de 1997. Si la restauración del patrón espacial previo de la población puede tomar años, las consecuencias para la pesquería de jurel son, sin duda, tremendas. Considerando la hipótesis de "naturaleza obstinada" y los mecanismos propuestos por Cury (1994), Bakun & Cury (1999) y Bakun (2001), este nuevo patrón espacial de la población de jurel puede explicarse desde el punto de vista de la conservación de la adaptación y la organización de la población de jurel. En otras palabras, los "rasgos" de los individuos que han sido exitosos, desde el punto de vista de la sobrevivencia frente a las condiciones ambientales adversas, podrían ser traspasados de generación en generación a través de la reproducción y a través de la mezcla de cardúmenes. De esta manera las nuevas clases anuales podrían "memorizar" los patrones impuestos durante el período 1996-1998, y podrían haber ajustado su modo de vida a este patrón, entendiéndose por modo de vida a la trayectoria espacio-temporal determinada, en el tiempo, por el ciclo de vida, y en el espacio, por las rutas de migración o dispersión (Bernal, 1990).

Aunque se ha tratado de evitar explicar lo observado a través del patrón espacio-temporal de distribución, se debe tener en cuenta que entre 1993 y 1996 se desarrolló una intensa explotación pesquera sobre la fracción de jurel mayor a 30 cm, lo que implica que la juvenilización observada a con-

tar de 1997 podría ser una consecuencia directa de ello (Cubillos, 2001), pero tal vez intensificada por las condiciones ambientales impuestas entre 1996 y 1998.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo de Trabajo El Niño y la Variabilidad Climática del Comité Oceanográfico Nacional por invitarnos a presentar este trabajo, así como al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada por facilitar los datos de temperatura superficial del mar. Los autores también agradecen a Carlos González (IIP) por el procesamiento de imágenes satelitales de TSM y el cálculo de las anomalías.

## REFERENCIAS

- Aracena, O., R. Alarcón, S. Collado, I. Lpez, & D. Arriagada. 1998. Aspectos reproductivos del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) de la pesquería de cerco de la Octava Región, Chile, 1994-1995. In: Arcos, D. (ed.). Biología y Ecología del jurel en aguas chilenas. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile: 101-114.
- Arcos, D. F. & N. Navarro. 1986. Análisis de un índice de surgencia para Talcahuano, Chile (Lat. 37° S). Investigación Pesquera (Chile), 33: 91-98.
- Arcos, D. F., L. A. Cubillos & S. Núñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño effects off Chile. En: McKinnell, S. M., R. D. Brodeur, K. Hanawa, A. B. Hollowed, J. J. Polovina & C. I. Zhang (eds.). Pacific climate variability and marine ecosystem impacts from the tropics to the Arctic. Progress in Oceanography, 49: 597-617.
- Bailey, K. 1989. Description and surface distribution of juvenile Peruvian jack mackerel, *Trachurus murphyi*, Nichols from the Subtropical Convergence Zone of Central South Pacific. Fishery Bulletin, U.S. 87: 273-278.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics. University of California Sea Grant, San Diego, California, USA, and Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, México, 323 p.
- Bakun, A. & P. Cury. 1999. The "school-trap": a mechanism promoting large-amplitude out-of-phase population oscillations of small pelagic fish species. Ecology Letters, 2 (6): 49-366.
- Bakun, A. 2001. "School-mix feedback": a different way to think about low frequency variability in large mobile fish populations. In: McKinnell, S. M., R. D. Brodeur, K. Hanawa, A. B. Hollowed, J. J. Polovina, & C. I. Zhang (eds.), Pacific climate variability and marine ecosystem impacts from the tropics to the Arctic. Progress in Oceanography. 49: 485-511.
- Bernal, P. 1990. La oceanografía del sistema de corrientes de Chile-Perú en relación a las pesquerías pelágicas: una revisión. En: M. A. Barbieri (ed.). Perspectivas de la actividad pesquera en Chile. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso: 35-48.
- Binet, D. 1997. Climate and pelagic fisheries in the Canary and Guinea currents 1964-1993: the role of trade winds and the southern oscillation. Oceanologica acta, 20: 177-190.
- Castro, L. R., G. R. Salinas & E. H. Hernández. 2000. Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. Mar. Ecol. Progr. Ser., 197: 247-258.
- Chambers, R. C. & K. G. Waiwood. 1996. Maternal and seasonal differences in egg size

and spawning characteristics of captive Atlantic cod, *Gadus morhua*. Can. J. Fish Aquat. Sci., 53: 1986-2003.

- Cole, J. 1999. Environmental conditions, satellite imagery, and clupeoid recruitment in the northern Benguela upwelling system. Fishery Oceanography, 8 (1): 25-38.
- Cole, J. & J. McGlade. 1998. Clupeoid population variability, the environment and satellite imagery in coastal upwelling systems. Rev. Fish Biol. and Fish. 8, 445-471.
- CPPS. 1999. Informe final XIII Reunión del comité científico del programa ERFEN, Guayaquil, Ecuador, 2-4 de noviembre de 1998. Comisión Permanente del Pacífico Sur, 151 p.
- Cubillos, L., M. Canales, A. Hernández. D. Bucarey, L. Vilugrón & L. Miranda, 1998. Poder de pesca, esfuerzo de pesca y cambios estacionales e interanuales en la abundancia relativa de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el área frente a Talcahuano, Chile (1990-97). Invest. Mar. Valparaíso, 26: 3-14.
- Cubillos, L., M. Canales, D. Bucarey, A. Rojas & R. Alarcón. 1999. Época reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en la zona centro-sur de Chile en el período 1993-1997. Invest. Mar. Valparaíso, 27: 73-86.
- Cubillos, L. 2001. Situación del stock de jurel y perspectivas de su explotación en el 2002. Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq., Talcahuano, 10 (1): 1-35.
- Cubillos, L. A., D. A. Bucarey & M. Canales. 2000. Evaluación de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile (1990-2000). Doc. Téc., Inst. Invest. Pesq., Talcahuano, 9 (1): 1-19.
- Cubillos, L. A., D. F. Arcos. M. Canales & D. Bucarey. 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano (37° S-73° W): A consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? Aquatic Living Resources, 14: 115-124.
- Cubillos, L. A. & D. F. Arcos. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central-south Chile in the 1990s: There were effects of the 1997-98 El Niño event? Aquatic Living Resources 15.
- Cury, P. & C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46: 670-680.
- Cury, P. & C. Roy. (eds.). 1991. Pêcheries Ouest Africaines. Variabilité, Instabilité et Changement. Orstom, Paris, 525 p.
- Cury, P., C. Roy, R. Mendelssohn, A. Bakun, D. M. Husby & R. H. Parrish. 1995. "Moderate is better": exploring nonlinear climatic effect on Californian anchovy (*Engraulis mordax*). En: Beamish, R. J. (ed.). Climate change and fish populations. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 127: 417-424.
- Cury, P. 1994. Obstinate nature: an ecology of individuals: thoughts on reproductive behavior and biodiversity. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 51: 1.664-1.673.
- Durand, H. M., P. Cury, R. Mendelssohn, C. Roy, A. Bakun, & D. Pauly (eds.). 1998. From local to global changes in upwelling systems. Orstom, Paris, 593 p.
- Elizarov, A. A., A. S. Grechina, B. N. Kotenev & A. N. Kuzetsov. 1993. Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the South Pacific. Journal of Ichthyology, 33 (3): 86-104.
- Evseenko, S. A. 1987. On the reproduction of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), in the southern part of the Pacific Ocean. Voprosy Ikhtiologii, 27 (2): 264-273.

- Fonseca, T. R., E. Yáñez & O. Barra. 1986. Relación entre la temperatura superficial del mar y capturas comerciales en el área de Talcahuano entre 1965 y 1976. En: Arana, P. (ed.). La Pesca en Chile. Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 243-248.
- Grechina, A. S. 1998. Historia de investigaciones y aspectos básicos de la ecología del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en alta mar del Pacífico Sur. En: Arcos, D. (ed.), Biología y ecología del jurel en aguas chilenas. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, 11-34.
- Grechina, A. S. S. Núñez & D. Arcos. 1998. Biología reproductiva del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el Pacífico sur. En: Arcos, D. (ed.) Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, 77-99.
- González, H. E., Sobarzo, M., Figueroa, D. & Nöthig, E-M. 2000. Composition, biomass and potential grazing impact of the crustacean and pelagic tunicates in the northern Humboldt current area off Chile: differences between El Niño and non-El Niño years. Mar. Ecol. Prog. Ser., 195: 201-220.
- Hormazábal, S. 1999. Propagación de ondas de baja frecuencia a lo largo de la costa norte de Chile: modulación de las propiedades físicas del océano costero. Tesis Magíster en Ciencias (Oceanografía), Universidad de Concepción, 79 p.
- Hutchings, L. 1998. Fish harvesting in a variable reproductive environment—searching for rules or searching for exceptions? En: Benguela trophic functioning, Payne, A. I. L., Brink, K. H., Mann, K. H., Hilborn, R. (eds.). S. Afr. J. Mar. Sci., 12: 297-318.
- Kjesbu, O. S. 1989. The spawning activity of cod, *Gadus morhua* L. Journal of Fish Biology, 34: 195-206.
- Miranda, L., A. Hernández, A. Sepúlveda & M. Landaeta. 1998. Alimentación de jurel y análisis de la selectividad en la zona centro-sur de Chile. En: Arcos, D. (ed.), Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, 173-187.
- Oyarzún, C., J. Chong & M. Malagueño. 1998. Fenología reproductiva en el jurel, *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) (Perciformes, Carangidae) en el área de Talcahuano-Chile: 1982-1984. En: Arcos, D. (ed.), Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, 67-75.
- Pauly, D. & I. Tsukayama (eds.). 1987. The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM Stud. Rev., 15: 351 p.
- Quiñones, R., R. Serra, P. Núñez, H. Arancibia, J. Córdova & F. Bustos. 1997. Relación espacial entre el jurel y sus presas en la zona centro-sur de Chile. En: Tarifeño, E. (ed.). Gestión de sistemas oceanográficos del Pacífico oriental, UNESCO COI/INF-1046, 187-202.
- Sepúlveda, A., Cubillos, L., Núñez, S., Canales, T., Bucarey, D., Barbieri, M. A., Córdova, J. & Espejo, M. 2001. Condiciones biológicas del jurel. Informe Final FIP99-14, Fondo de Investigación Pesquera, 245 p.
- Serra, J. R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Investigación Pesquera (Chile), 36: 67-83.
- Shannon, L. V., R. J. M. Crawford, G. B. Brundrit & L. G. Underhill. 1988. Response of fish populations in the Benguela ecosystem to environmental change. J. Cons. Int. Explor. Mer., 45: 5-12.

- Sharp, G. D. & J. Csirke (eds.). 1983. Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, San José, Costa Rica, April 1983. *FAO Fish. Rep.*, 291 (2): 1-553; (3): 557-273.
- Spencer, P. D. & J. M. Collie. 1997. Patterns of population variability in marine fish stocks. *Fish. Oceanogr.*, 6 (3): 188-204.
- Steele, J. H. 1985. A comparison of terrestrial and marine ecological systems. *Nature*, 313: 355-358.
- Trippel, E. A. 1998. Egg size and viability and seasonal offspring production of young Atlantic cod. *Transactions of the American Fisheries Society*. 127, 339-359.
- Yáñez, E., Barbieri, M. A., Santillán, L. 1992. Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. En: Payne, A. I., Brink, L. Mann, K. H., Hilborn, R. (Eds.), *Benguela Trophic Functioning*. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 12: 175-188.
- Yáñez, E., M. A. Barbieri, C. Silva, K. Nieto & F. Espíndola. 2001. Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. En: McKinnell, S. M., R. D. Brodeur, K. Hanawa, A. B. Hollowed, J. J. Polovina, & C. I. Zhang (eds.). *Pacific climate variability and marine ecosystem impacts from the tropics to the Arctic*. *Progress in Oceanography*, 49: 581-596.
- Wootton, R. J. 1992. *Ecology of teleost fishes*. 2<sup>nd</sup> edn. Chapman & Hall, London.

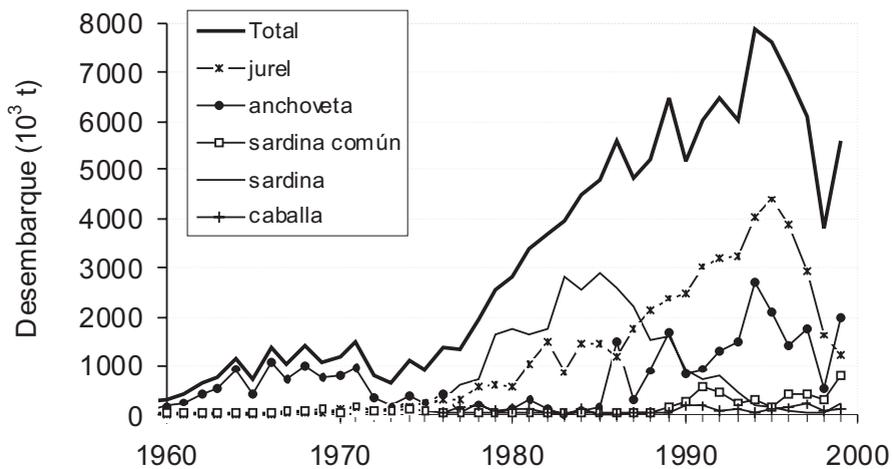


Fig. 1: Desembarque Nacional y de los principales peces pelágicos en el período 1960-1999. Fuentes: Servicio Agrícola y Ganadero, División de Pesca y Caza (1960-1977) y Servicio Nacional de Pesca (1978-1999).

Fig. 1: Chilean landings of the main pelagic fishes from 1960 to 1999 Source: Agricultural and Livestock Service; Fishing and Hunting Branch (1960-1977) and Fisheries National Service (1978-1999).

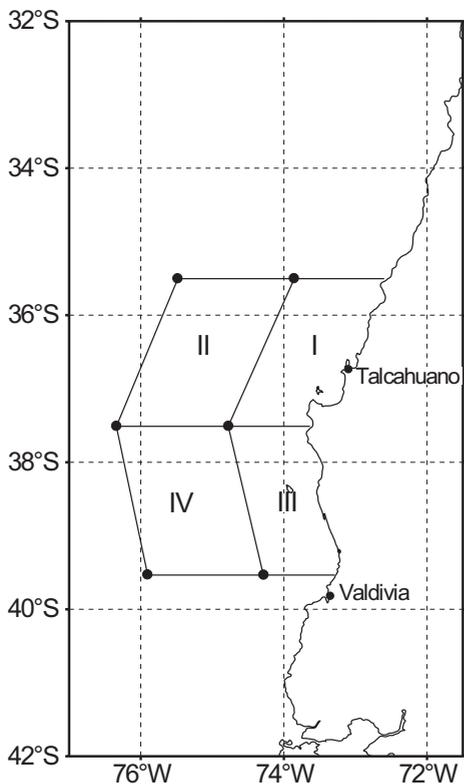


Fig. 2: Esquema de la partición del área de estudio para analizar la evolución de las anomalías de temperatura frente a Chile centro-sur.

Fig. 2: Partition scheme of the study area to analyze the anomalies of temperature evolution off central-south Chile.

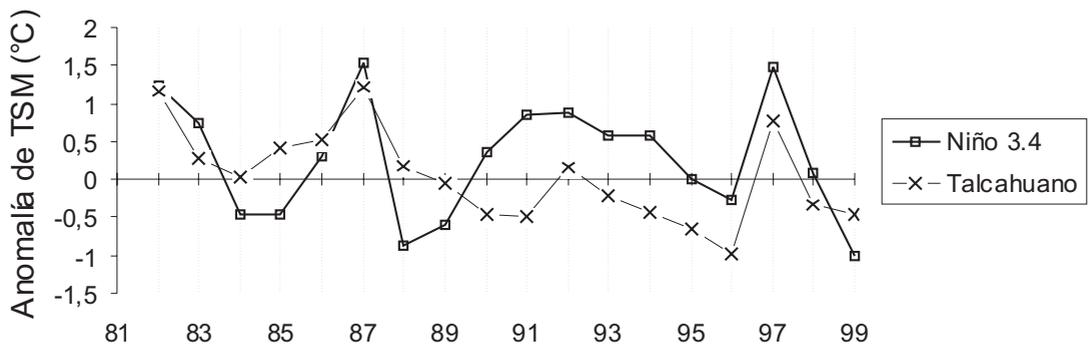


Fig. 3: Anomalías anuales de TSM en la región Niño 3.4 en el Pacífico ecuatorial y en Talcahuano.

Fig. 3: Yearly sea surface temperature anomaly (SST) at El Niño 3.4 region Equatorial Pacific, and Talcahuano.

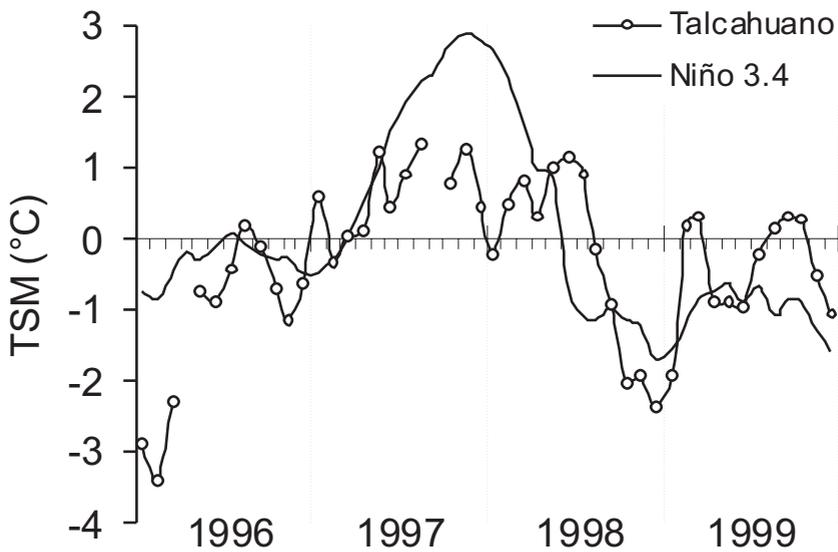


Fig. 4: Anomalías mensuales de TSM en el Pacífico ecuatorial (región Niño 3.4) y en Talcahuano (1996-1999).

Fig. 4: Monthly sea surface temperature (SST) anomaly evolution, at the Equatorial Pacific (El Niño 3.4 region) and Talcahuano (1996-1999).

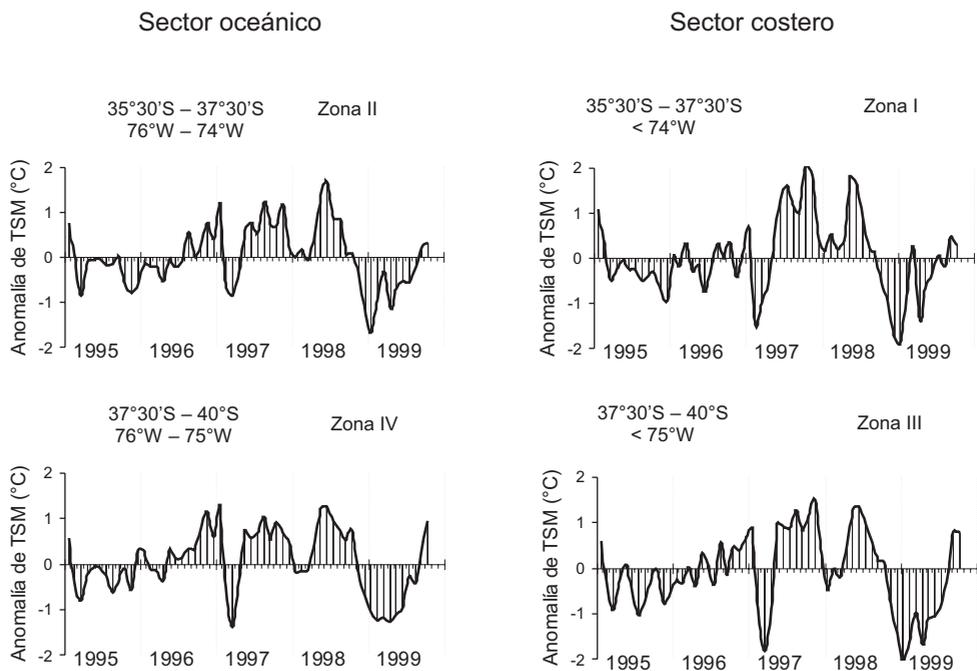


Fig. 5: Anomalías mensuales de TSM en cuatro sectores localizados frente a Chile centro-sur (ver Fig. 2).

Fig. 5: Monthly anomalies in four sites located off central-south Chile (see Fig. 2).

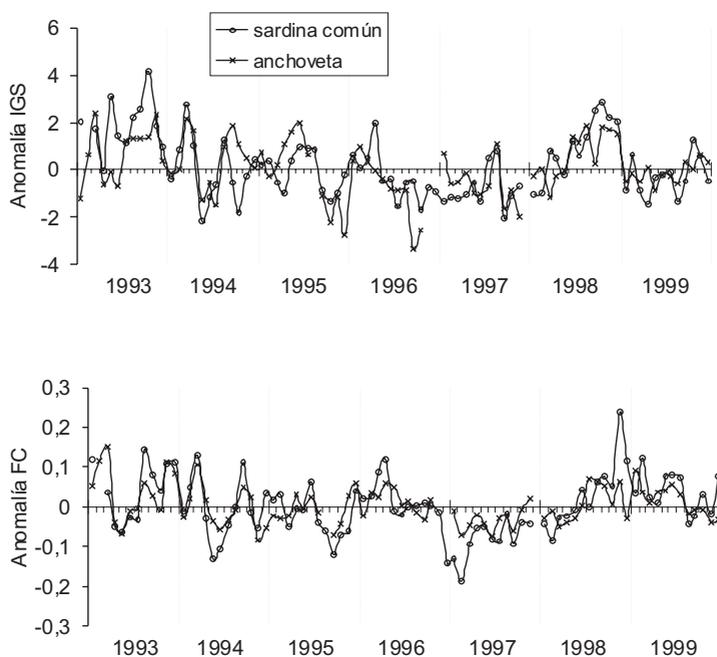


Fig. 6: Anomalías del IGS y FC de las hembras de sardina común y anchoveta en el período 1993-1999.

Fig. 6: Both GSI and CF anomalies of common sardine and anchovy females during 1993-1999.

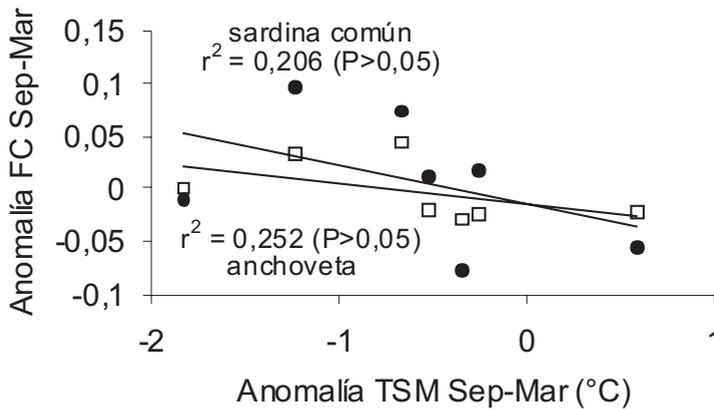
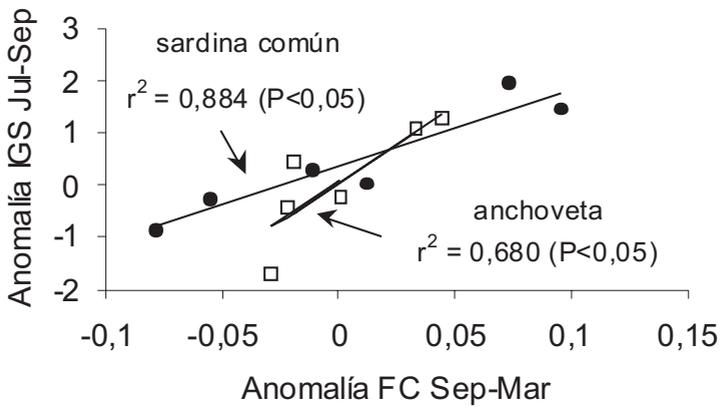
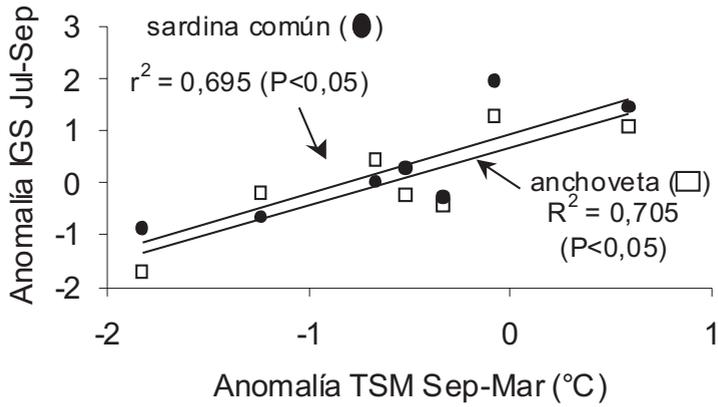


Fig. 7: Anomalías promedio del IGS durante el período de máxima reproducción (julio-septiembre) de sardina común y anchoveta y su relación con las anomalías promedio de TSM y del FC en el período estival (septiembre-marzo).

Fig. 7: GSI mean anomalies during the maximum reproduction period (July - September) for common sardine and anchovy and their relation to the SST anomalies and to the CF during summer season (September - March).

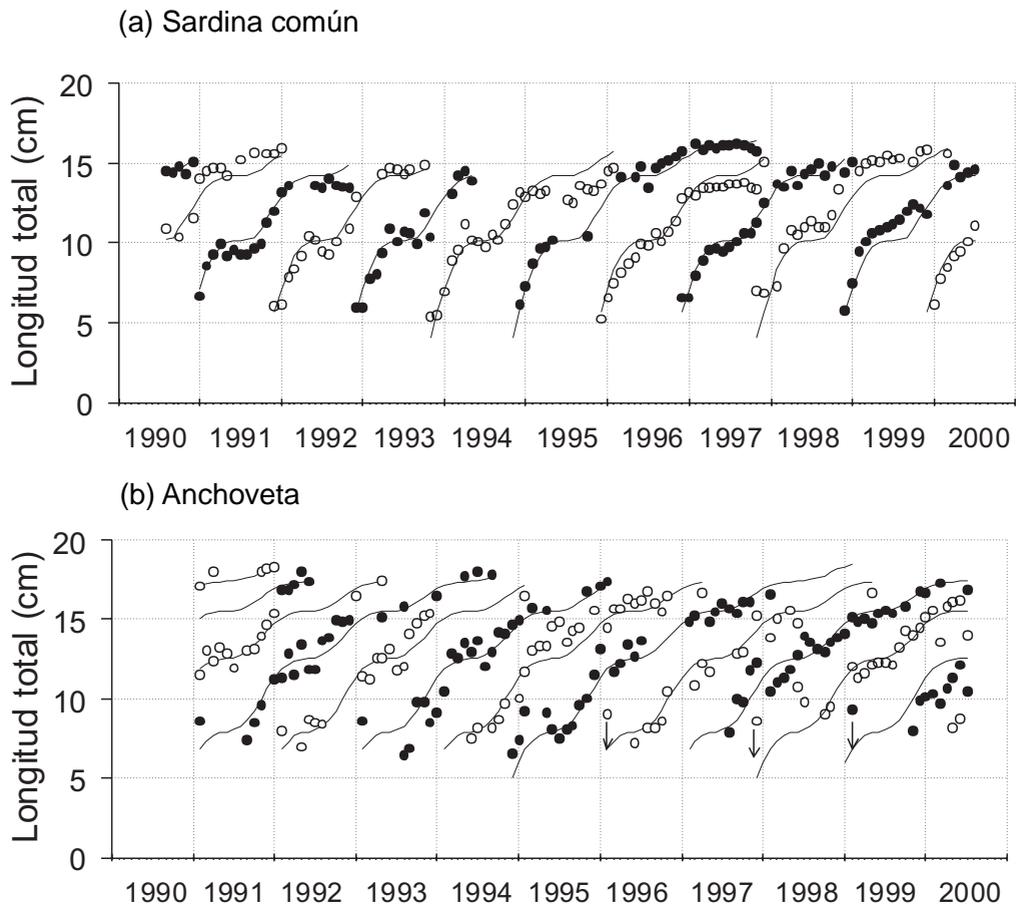


Fig. 8: Crecimiento en longitud de las cohortes de sardina común y anchoveta en el período 1990-junio de 2000. La longitud media de cohortes consecutivas se indica con círculos vacíos y llenos para una mejor interpretación del crecimiento. Las flechas en la figura (b) indican que la longitud observada podría ser más baja en la población debido a la selectividad (tomado de Cubillos *et al.*, 2000).

Fig. 8: Length growing of common sardine and anchovy cohorts during 1990 - June 2000. The mean length of consecutive cohorts is indicated by empty and filled circles for a better interpretation of growing. The arrows in (b) show that the observed length could be lower in the population due to the selectivity (taken from Cubillos *et al.*, 2000).

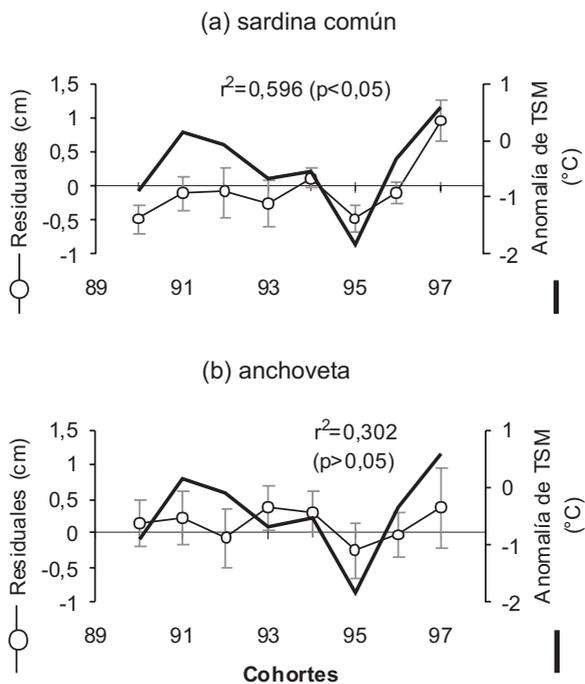


Fig. 9: Residuales promedio de la longitud por cohortes y su relación con los cambios en la TSM durante el primer período de crecimiento rápido de las cohortes de sardina común y anchoveta.

Fig. 9: Average residuals of length by cohorts and its relation to changes in SST during the first rapid growing of cohorts of common sardine and anchovy.

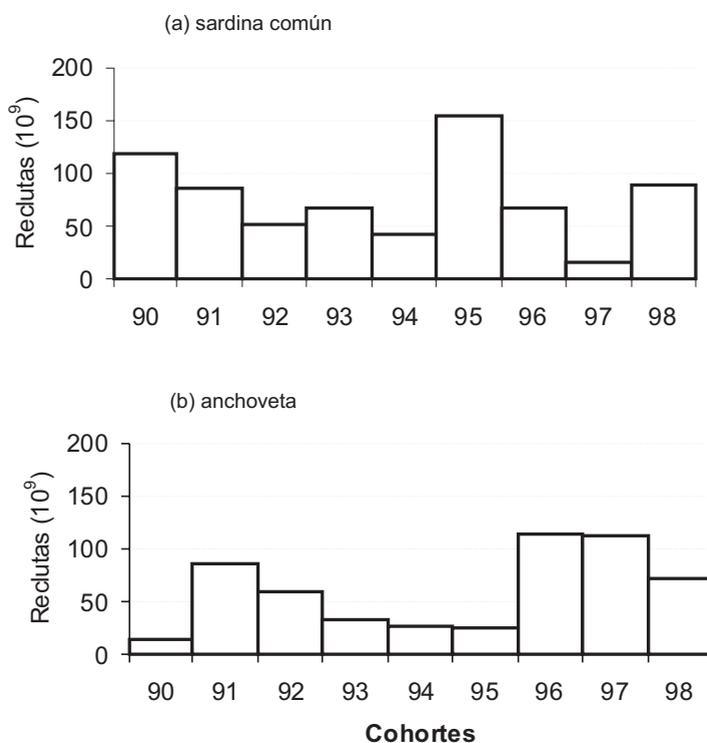


Fig. 10: Fluctuaciones en el reclutamiento de las cohortes de sardina común y anchoveta durante la década de los 90 (Cubillos *et al.*, 2000).

Fig. 10: Recruitment fluctuations of common sardine and anchovy cohorts during the decade of '90s. (Cubillos *et al.*, 2000).

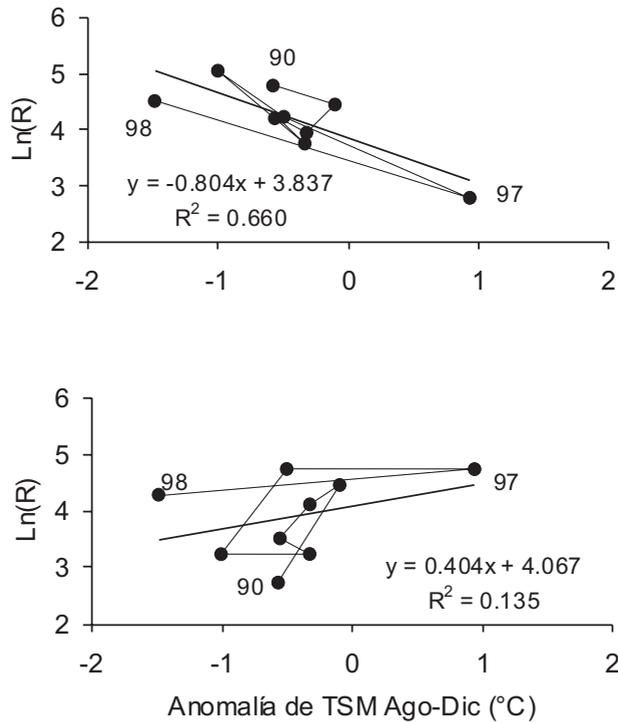


Fig. 11: Reclutamiento de sardina común y anchoveta (logaritmo) y su relación con la TSM durante la fase de prerreclutamiento (agosto-diciembre) (Cubillos & Arcos, 2002).

Fig. 11: Common sardine and anchovy (logarithm) and its relation to SST during the pre-recruitment phase (August-December) (Cubillos & Arcos, 2000).

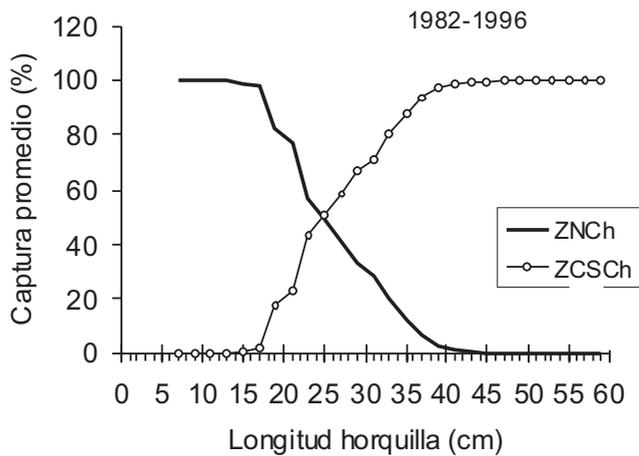


Fig. 12: Captura en número promedio por talla (%) de jurel en Chile para el período 1982-1996 (ZN = zona norte, Arica-Coquimbo; ZCS = zona centro-sur, San Antonio-Valdivia).

Fig. 12: Mean catch by size (%) of jack mackerel for the 1982-1996 period (ZN = north zone, Arica-Coquimbo; ZCS = central-south zone, San Antonio-Valdivia).

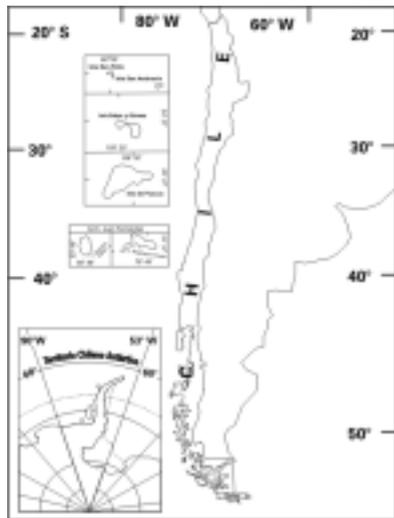


Fig. 13: Modelo conceptual de la estructura espacial del stock de jurel frente a las costas de Chile, previo a la ocurrencia de El Niño 1997-98 (Arcos *et al.*, 2001).

Fig. 13: Conceptual model of jack mackerel spatial structure off Chile, previous to El Niño 1997-98 occurrence (Arcos *et al.*, 2001).

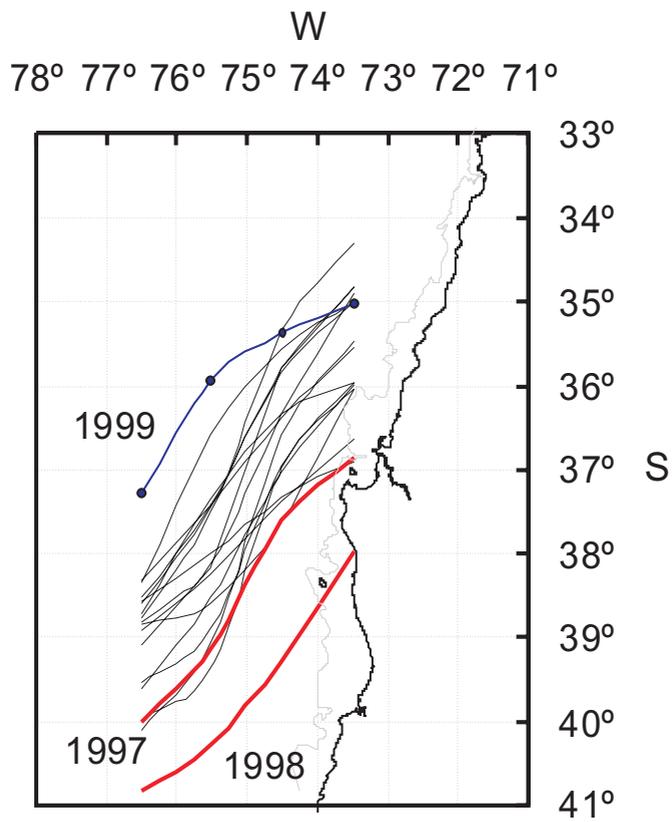


Fig. 14: Localización promedio de las isotermas de 15°C (enero-agosto) entre 1982 y 1999 frente a Chile centro-sur (tomado de Arcos *et al.*, 2001).

Fig. 14: Average position of isotherm of 15° (January-August) between 1982 and 1999 off central-south Chile (taken from Arcos *et al.*, 2001).

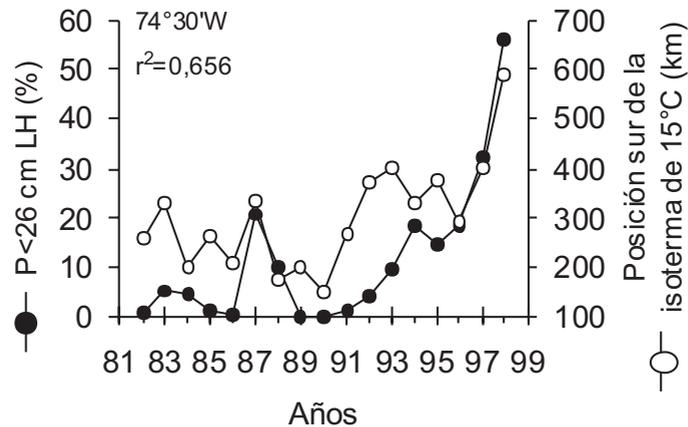
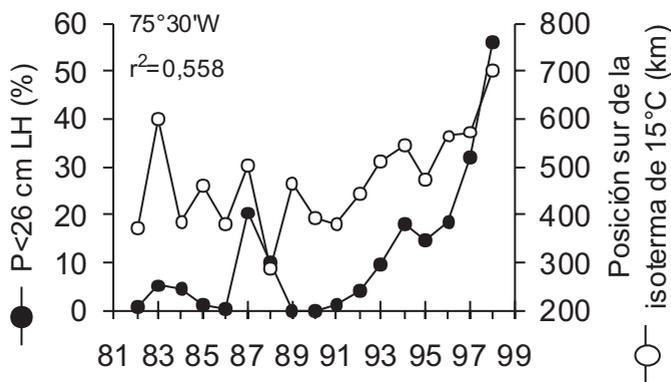
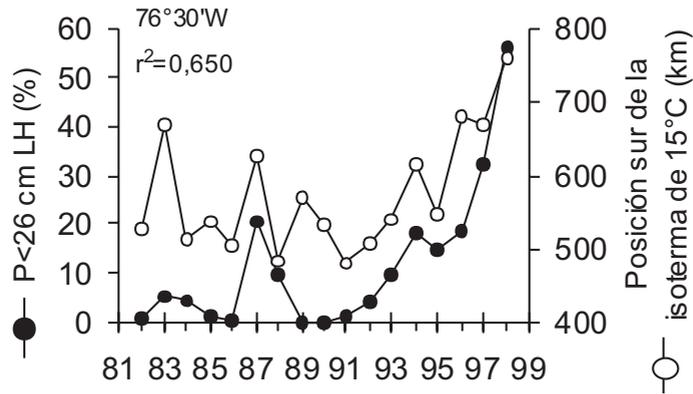


Fig. 15: Relaciones entre la presencia de jurel menor a 26 cm de longitud horquilla (P<26 cm LH) y la posición de la isoterma de 15 °C a diferentes longitudes de la costa (la posición fue medida tomando los 34° S como referencia) (Arcos *et al.*, 2001).

Fig. 15: Relations between the presence of jack mackerel less of 26 cm length (P<26 cm LH) and the position of the isotherm of 15 °C at different longitudes off the coast (the position was measured taking 34° S as reference) (Arcos *et al.*, 2001).

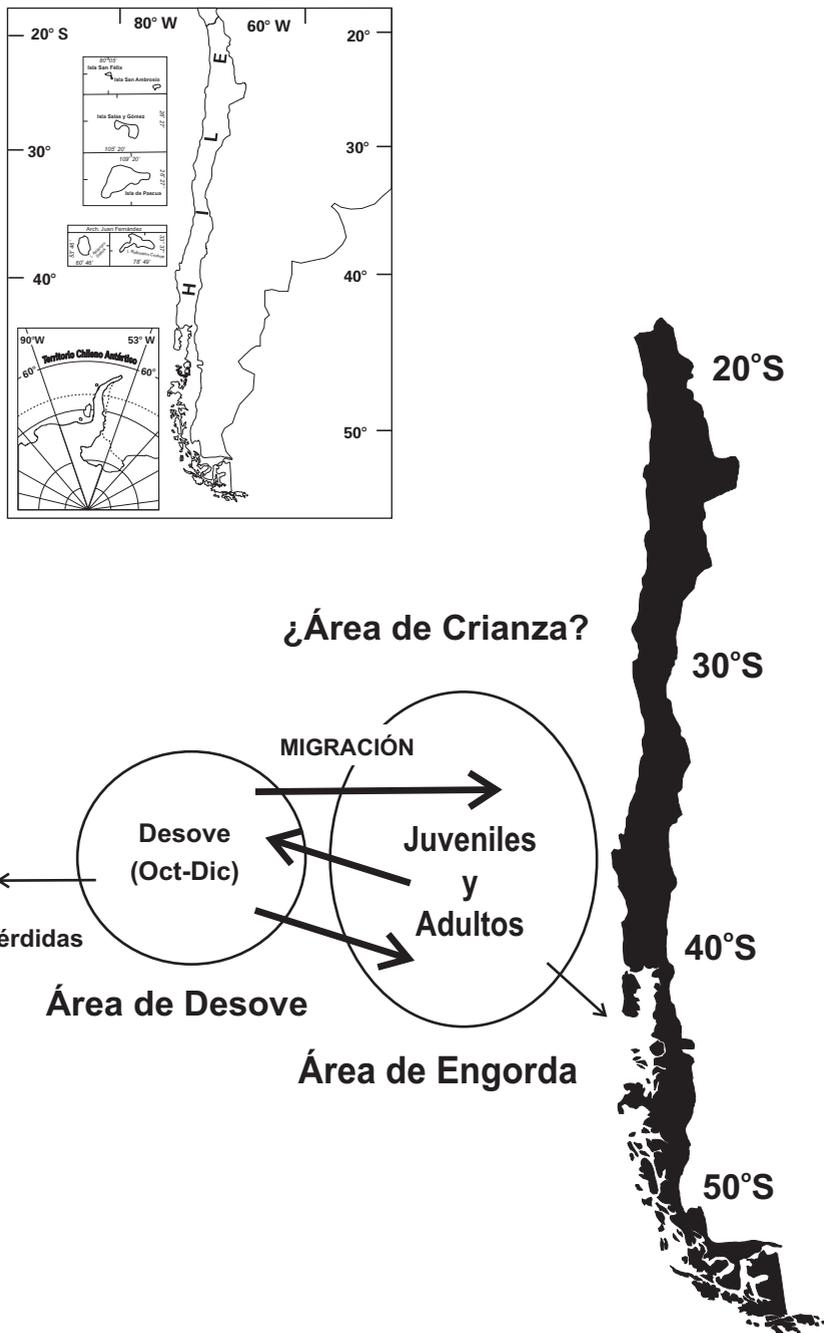


Fig. 16: Modelo conceptual de la estructura espacial del stock de jurel frente a las costas de Chile, durante y después de El Niño 1997-98 (Arcos *et al.*, 2001).

Fig. 16: Conceptual model of jack mackerel spatial structure off Chile, during and after El Niño 1997-98 (Arcos *et al.*, 2001).