

Universidad de Valparaíso  
Instituto de Oceanología  
Carrera de Biología Marina

M  
AC 174a  
1996

**ABUNDANCIA DE HUEVOS Y LARVAS DE SARDINA (*Sardinops sagax*) EN  
VALPARAÍSO Y SU VARIACIÓN TEMPORAL EN RELACIÓN A FACTORES  
AMBIENTALES ASOCIADOS .**

**TESIS**

**Presentada al  
Instituto de Oceanología  
Universidad de Valparaíso**



Para optar al grado de Licenciado en Biología Marina

por

MARIO FRANCISCO ACEVEDO GYLLEN

Director de Tesis:

FERNANDO BALBONTÍN CAVADA

1996

## TABLA DE CONTENIDOS

	pág.
LISTA DE TABLAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	5
HIPÓTESIS.....	6
MATERIALES y MÉTODOS.....	7
Sistema de muestreo.....	7
Desarrollo embrionario.....	8
Estandarización de los datos.....	15
Factores ambientales.....	16
Procedimiento estadístico.....	18
RESULTADOS.....	21
Epoca de desove y variaciones en la abundancia.....	21
Componente estacional y variaciones en la abundancia.....	26
Relación entre la abundancia de huevos y larvas, y los factores ambientales.....	28
DISCUSIÓN.....	46
CONCLUSIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
AGRADECIMIENTOS.....	73

## LISTA DE TABLAS

pág.

1. Frecuencia de ocurrencia promedio de huevos y larvas de sardina durante el período 1975-1994.....22
2. Promedio anual de meses con presencia de huevos de sardina y porcentaje de muestras positivas en los muestreos realizados entre 1987-1994.....25

## LISTA DE FIGURAS

pág.

1. Fases del desarrollo embrionario de *Sardinops sagax musica*; a) fase I; b) fase I avanzada; c) fase II avanzada; d) fase III avanzada; e) fase V inicial en vista dorsal; f) fase V inicial en vista lateral; g) fase V avanzada. La escala superior corresponde a la figura (a) la escala inferior corresponde al resto de las figuras (de Balbontín y Garretón 1977).....11
2. Desarrollo larval de *Sardinops sagax musica*; a) cría, b) prelarva, c) larva, d) postlarva (de Balbontín y Garretón 1977).....14
3. Abundancia promedio de huevos de sardina expresada en logaritmo natural del número por 10 m<sup>2</sup> de superficie, para el período 1986-1994.....21
4. Abundancia relativa de huevos de sardina expresada en ln del número por 10 m<sup>2</sup> de superficie para el período 1987-1994.....24
5. Índice anual de abundancia de huevos para el período 1987-1994.....26
6. Serie de tiempo corregida de huevos de sardina expresada en Unidades Estándar, para el período 1986-1994.....27

7.	Serie de promedios mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) para el período 1987-1994.....	28
8.	Serie de promedios anuales de la temperatura superficial del mar (TSM) para el período 1975-1994.....	29
9.	Variación en la abundancia de huevos de sardina durante agosto (1987-1994). .....	30
10.	Variación en la abundancia de larvas de sardina durante agosto (1987-1994). .....	31
11.	Variación en la abundancia de huevos de sardina durante septiembre (1987-1994). .....	32
12.	Variación en la abundancia de larvas de sardina durante septiembre (1987-1994). .....	33
13.	Variación en la abundancia del número de huevos respecto a la temperatura superficial del mar (TSM) durante los muestreos realizados durante agosto y septiembre en el año 1987.....	34
14.	Variación en la abundancia del número de huevos respecto a la temperatura superficial del mar (TSM) durante los muestreos realizados durante agosto y septiembre en el año 1988.....	35

15.	Variación en la abundancia del número de huevos respecto a la temperatura superficial del mar (TSM) durante los muestreos realizados durante agosto y septiembre en el periodo 1989-1994.....	36
16.	Variación en la abundancia del número de larvas respecto al promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) 10 días previos al muestreo, realizado durante agosto y septiembre en el periodo 1987-1994.....	37
17.	Variación en la abundancia del número de larvas respecto al promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) 10 días previos al muestreo, realizado durante agosto y septiembre en 1987.....	38
18.	Variación en la abundancia del número de larvas respecto al promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) 10 días previos al muestreo, realizado durante agosto y septiembre en 1988.....	39
19.	Variación en la abundancia del número de larvas respecto al promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) 10 días previos al muestreo, realizado durante agosto y septiembre en el periodo 1989-1994.....	40

20.	Relación entre la abundancia de huevos, expresada en unidades de desviación estándar, y la temperatura superficial del mar (TSM) para agosto- septiembre (1987-1994).....	41
21.	Señal anual del índice de surgencia entre el período 1987-1994.....	42
22.	Variaciones del IS para agosto durante el período 1974-1994.....	43
23.	Variaciones en la abundancia del número de larvas respecto al promedio del índice de surgencia (IS) 10 días previos al muestreo realizado durante agosto y septiembre en el período 1987-1994.....	44
24.	Relación entre la abundancia de huevos, expresada en unidades estándar, y el índice de surgencia para agosto y septiembre (1987-1994).....	45
25.	Relación entre la abundancia de huevos, expresada en unidades estándar, y el índice de surgencia para noviembre-diciembre (1987-1994).....	45

## RESUMEN

Se estima que las respuestas biológicas de las especies que componen el ecosistema pelágico frente a la costa de Chile están moduladas por cambios que se producen en una escala de tiempo larga. Al mismo tiempo, el hábitat de desove de la sardina *Sardinops sagax*, estaría condicionado principalmente por la temperatura superficial del mar (TSM) y algún factor relacionado con la surgencia.

En el presente estudio se investigó la relación entre las variaciones en la abundancia de huevos y larvas de sardina en la bahía de Valparaíso durante el período 1986-1994 para determinar su patrón de variabilidad temporal y de desove, y se analizó su relación con la TSM y el índice de surgencia (IS).

Se analizaron 241 muestras verticales de ictioplancton provenientes de tres estaciones ubicadas en la bahía de Valparaíso. Se elaboraron series de la TSM y del IS sobre la base de observaciones diarias realizadas en Montemar y en Punta Ángeles, Valparaíso, respectivamente.

La componente estacional explicó sólo un 19 % de la variación en la abundancia de huevos de sardina durante el período de estudio. Las series anuales mostraron la existencia de un máximo de actividad reproductiva entre agosto y septiembre, con un extenso período de desove durante 1987 el cual fue disminuyendo en su amplitud en los años siguientes.

El porcentaje de meses con muestras planctónicas positivas mostró una constante disminución, desde 100% en 1987 a 9% en 1994. Al relacionar la abundancia de huevos en los meses de máximo desove con la TSM, se obtuvo una relación directamente proporcional entre estos parámetros ( $r^2= 47\%$ ). La misma relación con el IS mostró una relación inversamente proporcional ( $r^2= 69\%$ ).

Se ha puesto en evidencia en otras especies de peces como por ejemplo en la anchoveta, que la abundancia de huevos y larvas es afectada por los factores ambientales imperantes, entre los que se incluyen la temperatura del mar y el régimen de vientos. La intensificación de estos factores han afectado negativamente el desove de la sardina y confirman nuestro planteamiento inicial, en el sentido de considerar a la componente ambiental física como un importante factor responsable de las variaciones en la abundancia de huevos y larvas de sardina en el área de Valparaíso. La fuerte presión de pesca ejercida sobre la población adulta aceleró el proceso descrito.

Financiado parcialmente por el proyecto FONDEF 2-41.

## INTRODUCCIÓN

Considerando que la reproducción es uno de los procesos más relevantes en la historia de vida de los peces, cobra notable importancia la estrategia del desove frente a las condiciones del océano. Así, por ejemplo, se reconoce a *Sardinops sagax* (Jenyns 1842) como una especie de desoves múltiples presentando un período reproductivo con 2 máximos estacionales en la bahía de Valparaíso, siendo el que ocurre a fines de invierno (agosto-septiembre) el de mayor importancia, y el de fines del verano (marzo-abril) de carácter secundario (Balbontín y Garretón 1977, Herrera *et al.* 1994, Claramunt *et al.* 1994).

En Chile durante el último decenio y particularmente con posterioridad al evento de El Niño ocurrido durante 1972, han ocurrido importantes cambios en el ecosistema marino, los cuales se han caracterizado por variaciones en la composición específica y en la distribución geográfica de la fauna íctica pelágica. Después del fenómeno El Niño 1972 (ENOS) que marcó el colapso de la pesquería de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el Perú y en el norte de Chile, la sardina (*Sardinops sagax*) extendió su rango geográfico desde dos áreas de refugio entre Cabo Blanco-Salaverry en Perú y Arica - Mejillones en Chile (Bernal *et al.* 1982). En la zona norte de Chile se consideraba abundante únicamente frente a Antofagasta (23° 38' S), y en sus proximidades (De Buen 1960), sin embargo, su abundancia ha aumentado últimamente más al sur, siendo capturada en forma regular en Valparaíso (32° 57' S), y hasta la isla Chiloé (42° S).

Entre las diversas hipótesis que se formulan para explicar las variaciones en la magnitud de las clases anuales, la principal establece que éstas estarían condicionadas por la tasa de sobrevivencia durante las primeras fases del desarrollo de los peces, considerándose especialmente importante la etapa de transición desde la fase de cría a larva, la cual constituye el comienzo de la dependencia del individuo de su medio externo para satisfacer sus requerimientos nutricionales (Hjort 1914).

Históricamente el principal mecanismo propuesto para explicar los cambios en la abundancia de las poblaciones de sardina fue la sobreexplotación del stock, o el llamado "problema de la pesquería", ya que cuando esta presión es eliminada, la población tiende a incrementarse, particularmente después de períodos de intensa explotación (Lluch-Belda *et al.* 1992). Sin embargo, la magnitud de los cambios en la abundancia de las poblaciones de sardina va más allá del efecto de la pesquería (Clark & Marr 1955, Radovich 1982), ya que se conoce por los depósitos de escamas en sedimentos marinos, que el aumento y disminución en la abundancia puede existir incluso en ausencia de la pesquería (Soutar & Isaacs 1969).

Existe evidencia de cambios en la abundancia en las principales áreas de pesquerías en el mundo; los datos indican que en el área de Japón y en la costa oeste del Norte y Sud América las poblaciones de sardina están fluctuando en fases, es decir, en forma sincrónica, las cuales se relacionan con algunas variaciones ambientales a larga escala como la temperatura superficial del mar.

Esta hipótesis de coherencia entre la abundancia de sardina y variables ambientales ha sido llamada el "problema de régimen" (Lluch-Belda *et al.* 1989). Los períodos de variación térmica interanual se clasifican en términos de duración: secular (un siglo de duración), variación interdecadal y cambios interanuales de alta frecuencia incluyendo a El Niño (ENOS) (Lluch-Belda *et al.* 1992). La hipótesis del "problema de régimen" se ha enmarcado en el segundo componente (interdecadal).

Algunos Clupeiformes característicamente expanden y contraen sus rangos de distribución asociado con los cambios en la abundancia total del stock. Este comportamiento se demostró claramente por la distribución y la abundancia de las larvas de anchoveta (*Engraulis mordax*) del sur de California (Murphy 1977). Además, se plantea que el crecimiento de las poblaciones de sardina (reclutamiento) y la competencia intraespecífica son los principales factores que fuerzan la expansión de las poblaciones (MacCall 1986).

En las costas de California se han realizado estudios de las variaciones estacionales de largo período en el ecosistema pelágico (Bernal 1979,1981; Chelton 1981; Chelton *et al.* 1982) planteándose que en el ecosistema de margen oriental correspondiente a la corriente de California, las respuestas biológicas de las poblaciones son afectadas por cambios que se producen en una larga escala de tiempo y que el rango geográfico de distribución de varias especies, incluyendo la sardina de California, se relacionan a períodos cálidos y fríos (Hubbs 1948).

Cuando un stock de peces presenta baja abundancia se concentra en los lugares más favorables incluidos en su área de distribución. En condiciones de alta abundancia, la densidad aumenta en estas áreas favorables, pero debido a factores denso-dependientes (ejemplo, canibalismo) decrece la calidad de estos hábitats; entonces, el stock también se expande en áreas periféricas previamente no ocupadas (Lasker & MacCall 1983). Así, en términos de estrategia de extensión del desove, la reproducción en estas áreas periféricas consideradas en un principio pobres, son ahora igualmente atractivas que el área central. Algunos autores (Lluch-Belda *et al.* 1991a, 1991b) proponen agregar a lo anterior factores ambientales como la temperatura y la surgencia, de tal forma que la población de sardina extendería sus hábitat donde quiera que exista una temperatura superficial adecuada y una surgencia moderada.

En Chile se han realizado algunos estudios sobre la relación de la abundancia de huevos y larvas de sardina con la temperatura superficial del mar (TSM), índices de surgencia (IS) y captura por unidad de esfuerzo (C.P.U.E.) (Yáñez 1991, Yáñez *et al.* 1992), y además, se ha determinado que la variabilidad temporal de huevos y larvas de sardina de la zona norte, estaría asociada a fluctuaciones interanuales de largo período, atribuibles a factores oceanográficos que explicarían un 65% de la varianza total calculada para la serie de datos (Bernal *et al.* 1983).

Sobre la base de estos antecedentes, los objetivos planteados en esta investigación se enuncian a continuación:

## **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **Objetivo general**

Estudiar la variabilidad temporal en la abundancia de huevos y larvas de sardina (*Sardinops sagax*) en la bahía de Valparaíso.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la época de desove de la sardina y su variación en el tiempo.
- Determinar las variaciones en la abundancia de huevos y larvas de sardina a lo largo del tiempo.
- Reconocer qué componente (estacional v/s interanual) afecta mayormente la abundancia de huevos de sardina.
- Determinar la relación entre la temperatura superficial del mar y el índice de surgencia con la abundancia de huevos y larvas de sardina.

## **Hipótesis.**

- 1.- “La mayor parte de la variabilidad temporal en la abundancia de huevos y larvas de sardina, es atribuible a factores ambientales; de ser así, las fluctuaciones en la abundancia de huevos y larvas de sardina española obtenidas de muestreos planctónicos, estaría determinada por variaciones interanuales frente a variaciones estacionales”.
- 2.- “La extensión del período de desove es un proceso dinámico que puede experimentar variaciones en el tiempo; de ser así, al analizar la ocurrencia mensual de desoves durante el período de estudio, se espera encontrar variaciones interanuales en la extensión del período reproductivo”.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.- Sistema de muestreo

El muestreo cuantitativo del zooplancton utilizado para determinar la abundancia relativa de huevos y larvas de sardina (*Sardinops sagax*), se realizó mediante muestreos verticales y horizontales. El primero, con el uso de una red de aro cónica de 45 cm de diámetro de boca y 500  $\mu\text{m}$  de abertura de malla, desde los 50 ó 100 m de profundidad hasta la superficie. El segundo, se realizó con una red CalCofi y una red de aro cónica, de 66 cm de diámetro de boca y 333  $\mu\text{m}$  de abertura de malla, a una velocidad de 2 nudos durante 10 ó 15 minutos, pescando entre la superficie y los 5 m de profundidad.

Las pescas de zooplancton correspondieron en su mayoría a muestras obtenidas en el punto de pescas periódicas realizadas a 1,6 milla de la costa, además de pescas realizadas a 4 y 7 millas frente a Montemar, Valparaíso (32° 57' S, 71° 33' W). Los muestreos horizontales comenzaron en 1974 y finalizaron en 1990, con ciertos años sin información y fueron utilizados para determinar la presencia o ausencia de huevos en el plancton en conjunto con los muestreos verticales. Los muestreos verticales se obtuvieron durante el período 1986-94 con una o más pescas mensuales (total 241) y fueron utilizados para determinar las variaciones mensuales e interanuales en la abundancia de sardina en la bahía de Valparaíso.

Una vez llegadas las muestras a bordo, éstas eran fijadas en una solución de formalina al 5% en agua de mar, y neutralizadas con tetraborato de sodio (Bórax). El proceso de fijación se realizó tan pronto estas fueron extraídas del colector para evitar de esta manera un posible deterioro del material.

Posteriormente, en laboratorio se procedió a la separación de la totalidad de los huevos y larvas, empleando para ello un microscopio estereoscópico. La identificación de la especie objetivo del estudio en sus distintas fases, se realizó mediante la ayuda de descripciones de desarrollo embrionario y larval de la sardina en Valparaíso (Balbontín & Garretón 1977, Orellana & Balbontín 1983) que se describen a continuación.

## **2.- Desarrollo embrionario**

Los huevos de sardina se caracterizan por ser pelágicos. Su forma es esférica, la membrana capsular es muy delgada y frágil, con reflejos azulados o verdosos en el material observado; poseen una gota oleosa, y el vitelo es segmentado y está rodeado por un amplio espacio perivitelino (Balbontín & Garretón 1977, Santander & de Castillo 1977).

El diámetro promedio calculado en base a muestras obtenidas frente a Valparaíso, (32° 57' S), fue de 1,83 mm siendo 1,52 y 2,23 mm los valores extremos; la gota oleosa tuvo un diámetro de 0,17mm (Balbontín & Garretón 1977).

Sobre la base de muestras obtenidas a lo largo de la costa de Perú, las medidas extremas del diámetro de las cápsulas fueron 1,12 y 1,94 mm, con un promedio de 1,60 mm; el diámetro del vitelo fue de 0,86 a 1,50 mm, con un promedio de 1,09 mm; y el de la gota oleosa, de 0,15 a 0,31 mm, con promedio de 0,19 mm (Santander & de Castillo 1977).

### Fase embrionaria

Según Balbontín y Garretón (1977) se distinguen las siguientes fases en el desarrollo embrionario:

Fase I: Se observan grandes cambios en el tamaño del espacio perivitelino en los huevos durante la fase inicial del desarrollo. Los huevos menos evolucionados obtenidos en pescas planctónicas, se encuentran en una fase en la cual no es aparente la división celular en el polo animal. En esta etapa, el espacio perivitelino es todavía pequeño y, en consecuencia, el diámetro del huevo es menor que en la fase más avanzada (Figura 1a). Los huevos en fase I avanzada tienen el espacio perivitelino formado, y los blastómeros constituyen una mórula prominente (Figura 1b). Al término de esta fase se comienza a formar el anillo germinal.

Fase II: Al comenzar la envoltura del vitelo por el blastodermo, se observa un engrosamiento de una parte del anillo germinal; sin embargo, el embrión aún no se esboza (Figura 1c). La fase termina al llegar el anillo blastopórico a nivel del ecuador del huevo.

Fase III: Se observa en el huevo la formación del escudo embrionario. Poco antes del cierre del blastoporo, se cuentan 9 miómeros en el esbozo del embrión, el que abarca casi los 2/3 del perímetro del vitelo. El tubo neural es claramente visible. Se distinguen las vesículas ópticas primarias, quedando la parte posterior del embrión indefinida (Figura 1d).

Fase IV: Una vez completada la envoltura del vitelo por el blastodermo, se distinguen con más claridad algunas estructuras en la región cefálica, entre ellas las pupilas. Aumenta el número de miómeros y el grosor del embrión se hace más homogéneo.

Fase V: El comienzo de esta fase la marca el desprendimiento de la cola del embrión del saco vitelino (Figura 1e, f). En una etapa más avanzada, se observa la aparición de pigmento puntiforme en la región dorsal del embrión. El saco vitelino es de menor tamaño debido al proceso de reabsorción. El intestino está diferenciado y su extremo terminal hace eminencia en el borde de la aleta embrionaria media. Esta última es visible principalmente en el cuerpo del embrión, detrás del saco vitelino (Figura 1g) el corazón ya ha comenzado a latir.

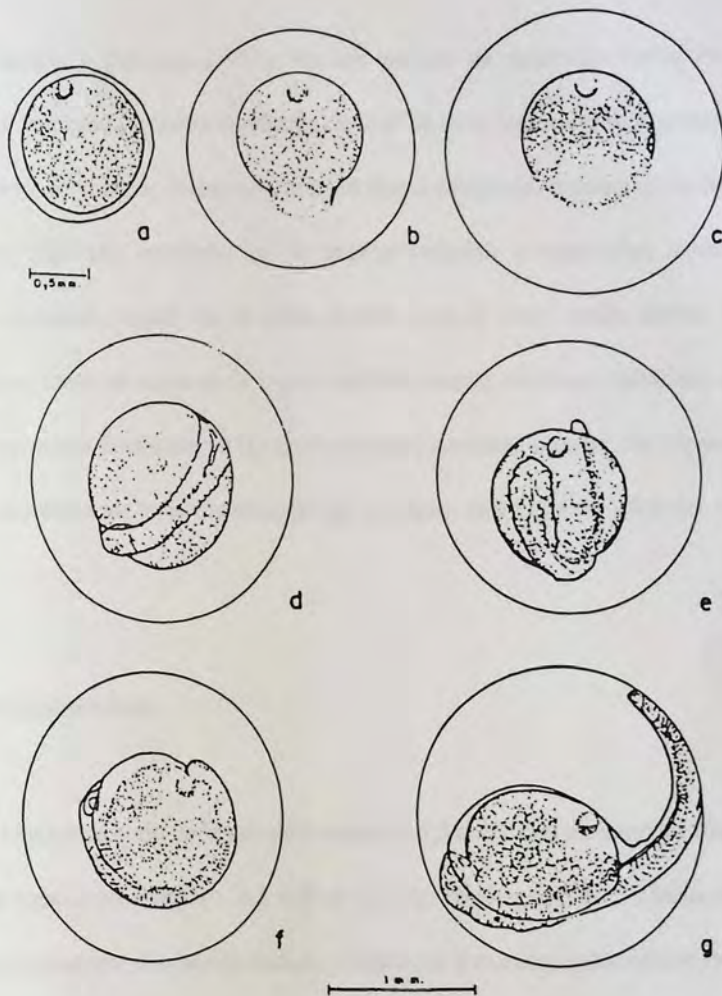


Figura 1. Fases del desarrollo embrionario de *Sardinops sagax musica*; a) fase I; b) fase I avanzada; c) fase II avanzada; d) fase III avanzada; e) fase V inicial en vista dorsal; f) fase V inicial en vista lateral; g) fase V avanzada. La escala superior corresponde a la figura (a) la escala inferior corresponde al resto de las figuras ( de Balbontin y Garretón 1977).

### Fase larval

Según Balbontín y Garretón (1977), en los estados de desarrollo larval de la sardina española, el pigmento ventral se distribuye en una fila en la región cefálica ventral y en doble fila en el resto del cuerpo. Puede aparecer en forma estrellada, o como rayas finas y husos; se observó pigmento estrellado en la región occipital, preopercular, opercular, anal, postanal, precaudal, caudal, en la aleta dorsal y en la línea media lateral del cuerpo; pigmentos en forma de rayas en la región cefálica ventral, cardíaca, intestinal, precaudal y caudal y pigmentos fusiformes en la región cardíaca y ventral anterior. En algunos casos, se constataron diferencias en la distribución del pigmento entre ambos lados del cuerpo de la larva.

### Crías recién eclosionadas

Las crías a las pocas horas de la eclosión miden de 3,5 a 4,2 mm de longitud total. El saco vitelino es todavía prominente (28,8 a 38,0 % long. total) y con gota oleosa visible. El pigmento se encuentra en posición dorsal, excepto por 3 manchas precaudales ventrales. La boca no está formada. Las cápsulas ópticas carecen de pigmentos. En las cápsulas ópticas se distinguen dos pequeños huesos, se cuentan 41 miómeros preanales y los postanales no están claramente definidos. Las aletas aún no se diferencian. La posición del ano está muy atrás en el cuerpo, tal como ocurre en otros Clupeiformes (Figura 2a).

### Prelarvas de 4,9 a 5,3 mm de longitud total.

En las prelarvas se esboza la boca y comienza la pigmentación de las cápsulas ópticas. En algunos individuos quedan restos de vitelo. Se ha esbozado la aleta pectoral (Figura 2b). Un cambio importante se observa en la distribución del pigmento de las prelarvas. Hay un desplazamiento hacia la región ventral del pigmento dorsal descrito en las crías recién eclosionadas, a excepción de 3 manchas ubicadas en la región occipital. En algunas se observa una mancha de pigmento en un costado del cuerpo en la región postanal. Las manchas del pigmento ventral son: 1 cefálica ventral, 1 cardíaca, 6-9 ventrales anteriores, 1 línea casi continua de pigmento intestinal, 1 anal, 1 precaudal ventral y varias sobre el lóbulo ventral de la aleta caudal.

### Larvas de 6,3 a 9,1 mm de longitud total

Poseen boca funcional, ojo completamente pigmentado, y aleta pectoral. A los 7,9 mm de longitud total se esboza la aleta dorsal, la que se inicia, según la larva, después de los miómeros 28-31. El pigmento se nota más definido, cubriendo solamente la región ventral. Al mismo tiempo, aparece pigmento interno en la región ventral posterior.

Las manchas que se observan son: 1-2 cefálicas ventrales, 1-2 cardíacas, 10-11 ventrales anteriores (excepcionalmente 8-12), 5-8 ventrales posteriores internas, 1 anal (Excepcionalmente 2), 3-4 precaudales, 2-3 sobre el lóbulo ventral de la aleta caudal.

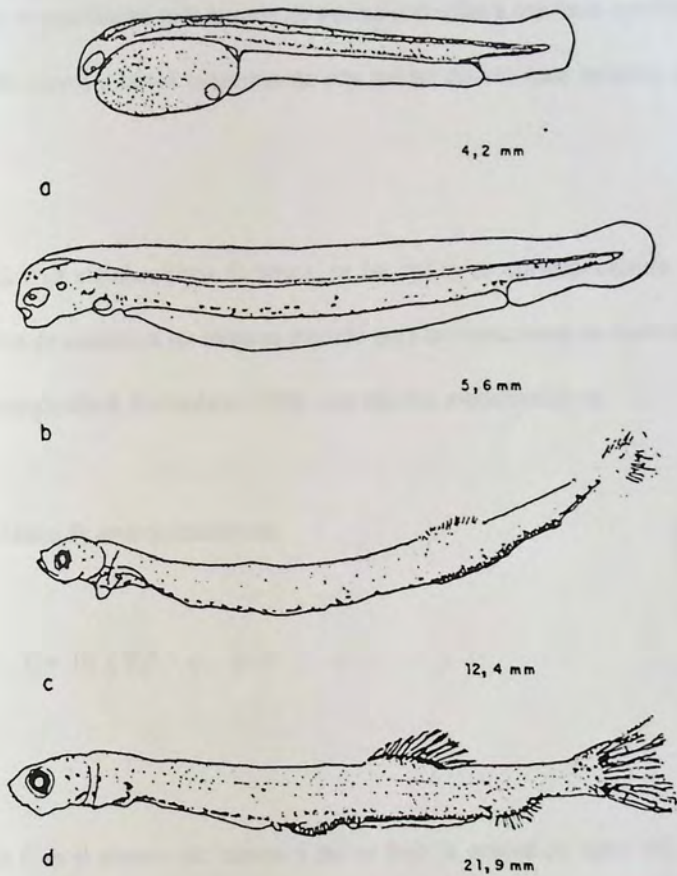


Figura 2. Desarrollo larval de *Sardinops sagax musica*; a) cría, b) prelarva, c) larva, d) postlarva (de Balbontín y Garretón 1977).

## 2.- Estandarización de los datos

Con el propósito de hacer comparables el número de huevos y larvas obtenidas de los tipos de muestreos, se estandarizó toda la serie de pescas verticales a una base común, en término del número de huevos o larvas existentes en una unidad de volumen estándar de  $10 \text{ m}^3$  de superficie.

Previamente a ambos tipos de pesca, se les aplicó su correspondiente ecuación de estandarización de acuerdo a las técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos (Smith & Richardson 1979), con algunas modificaciones.

La ecuación básica de estandarización es:

$$C = 10 ( V_f^{-1} \cdot c \cdot p )$$

donde C es el número de huevos y larvas bajo la unidad de agua del mar (en este caso,  $10 \text{ m}^3$ ),  $V_f$  es el volumen de agua filtrada por una red de diámetro 0,45 m, c es el número de huevos y larvas en la muestra, y p es la profundidad de muestreo.

El valor  $V_f$  se deriva de la fórmula:

$$V_f = \pi \cdot r^2 \cdot p \cdot F$$

donde  $r$  es el radio de la red (0,225 m), y  $F$  es la eficiencia de filtración de la red que corresponde a 0,9 (UNESCO 1968)

Estas modificaciones a la ecuación general de estandarización propuesta por Smith & Richardson (1979) se realizaron debido a que los valores que se obtuvieron con el flujómetro durante los arrastres verticales, no siempre fueron confiables durante el período de muestreo.

En el presente estudio, las pescas horizontales no se cuantificaron, ya que sólo se utilizaron para determinar presencia o ausencia de huevos.

### 3.- Factores ambientales

Se elaboraron series de datos para el período 1987-1994, de la temperatura superficial del mar (TSM), sobre la base de observaciones diarias realizadas en Montemar , y del índice de surgencia (IS), calculado en base a datos de la dirección e intensidad del viento obtenidos en Punta Ángeles (Rosales & Balbontín, datos sin publicar).

Para estudiar la surgencia costera, se analizaron los datos de magnitud y dirección del viento medidos en la estación meteorológica de Punta Ángeles (33° 03' S, 71° 38' W), observados a las 12, 18 y 24 GTM, durante el periodo de estudio. Los resultados se expresaron como índices diarios y mensuales de surgencia (Bakun 1973, 1975). El índice fue calculado utilizando la siguiente expresión:

$$M_x = \frac{\tau_y}{f \cdot \delta_0} \cdot 1000$$

donde  $M_x$  es el transporte de volumen perpendicular a la costa en  $m^3/seg$  por 1000 m de costa, (los valores positivos indican un transporte hacia afuera de la costa);  $f$  es el parámetro de Coriolis;  $\delta_0$  es la densidad del mar, considerada constante e igual a  $1025 \text{ kg/m}^3$  y  $\tau_y$  es la componente del esfuerzo del viento paralelo a la costa que actúa sobre la superficie del mar, estimada sobre la base de la relación:

$$\tau_y = \delta_a \cdot C_d \cdot |\vec{W}| \cdot \vec{W}$$

donde  $\delta_a$  es la densidad del aire, considerada constante e igual a 1,22 kg/ m<sup>3</sup>;  $C_d$  es el coeficiente de arrastre (0,0013) y  $W$  es la velocidad del viento.

Se calcularon los promedios de la TSM y del IS con desfase de 10 días previos a la fecha del muestreo de las larvas realizados durante el período de estudio, considerando que el lapso de 10 días era suficiente para considerar un crecimiento larval similar al crecimiento en otras áreas geográficas (Balbontín & Cannobbio 1992).

#### **4.- Procedimiento estadístico**

Para determinar la época de desove y la abundancia relativa de huevos y larvas a lo largo de la serie de tiempo, se computaron los parámetros de presencia y ausencia en los muestreos durante el período 1975-1994 y se determinó el promedio mensual de las abundancias para el período 1987-1994.

Para determinar las variaciones estacionales e interanuales que afectan la abundancia de huevos y larvas, se eliminó la componente estacional restando a los valores mensuales de abundancia, el promedio mensual. Con estos datos, se obtuvo la variabilidad total durante el

período de estudio, calculando la varianza de las muestras mensuales y de los residuos. La diferencia entre ambas se atribuyó a la componente estacional.

Se determinó un índice anual de abundancia de huevos para el período 1987-1994 considerando el número de huevos en todas las estaciones donde fueron encontrados (estaciones positivas), para determinar si existían variaciones interanuales en la abundancia de huevos durante el período de estudio.

Se utilizó además la transformación a unidades de desviación estándar que corresponden a la cantidad de unidades de desviación que separan el valor de abundancia promedio de huevos poblacional, para graficar las variaciones en la abundancia, la cual esta representada por la ecuación:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma}$$

donde  $X_i$  representa la variable en consideración que en este caso representa la abundancia de huevos, la letra  $\mu$  representa el promedio mensual de huevos durante el período 1987-1994, la letra  $\sigma$  es la desviación estándar mensual de huevos para el mismo período.

Para observar la posible relación entre la abundancia de huevos y larvas y la TSM, se utilizó el promedio anual de la temperatura superficial y el promedio del mes de septiembre para el mismo período (1975-1994), considerando que este es uno de los meses donde se presentan los mayores desoves de sardina (ver resultados).

Los análisis de la abundancia de larvas versus el promedio de 10 días previos al muestreo de la TSM e IS fueron realizados para determinar las condiciones oceanográficas en que ocurrió (Balbontín & Cannobbio 1992).

Las abundancias de huevos y larvas de sardina durante el periodo 1987-1994 se expresó como el promedio mensual para los distintos años. Primeramente se expresó el promedio para los meses de desove principal (agosto y septiembre) para todo el periodo de estudio, luego los resultados fueron expresados separadamente por años para determinar la existencia o no de alguna diferencia entre las abundancias durante periodos anómalos de altas temperaturas (El Niño). El mismo procedimiento se realizó con la abundancia de larvas y el promedio de la TSM e IS de 10 días previos al muestreo.

Las relaciones de la abundancia de huevos y larvas de sardina expresada en número por  $10\text{ m}^2$  de superficie, con las variables ambientales (TSM e IS), sólo permiten hacer una descripción de su variación durante el periodo, sin intentar hacer una relación estadística entre estos factores, debido a que el número de muestreos para los distintos años es muy variable. Para solucionar esta deficiencia, se utilizó la abundancia expresada en unidades estándar, lo que hizo posible una relación estadística concreta, ya que así se elimina el factor de variación en el número de los muestreos.

## RESULTADOS

### Época de desove y variaciones en la abundancia

#### 1.- Época de desove

Utilizando solamente la serie de tiempo correspondiente a las pescas verticales realizadas entre los años 1986 y 1994, se encontró en la señal anual del período reproductivo, que la sardina presentaba desoves durante todos los meses del año con un máximo entre agosto y septiembre y un mínimo durante diciembre y enero (Figura 3).

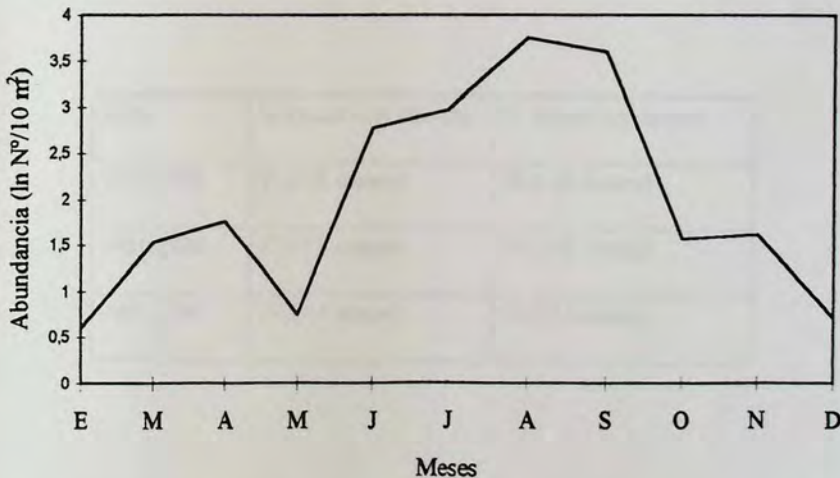


Figura 3. Abundancia promedio de huevos de sardina expresada en logaritmo natural del número de huevos por 10 m<sup>2</sup> de superficie para el período 1986-1994.

## 2.- Variaciones en la ocurrencia promedio mensual de huevos y larvas en el plancton

Se calculó la ocurrencia promedio mensual de huevos y larvas de sardina durante el período (1975-1994), tanto en las pescas verticales como horizontales. Comparando los primeros 6 años de muestreos (1975-1980), con los 6 últimos (1989-1994), se puede apreciar que durante el primer período es posible encontrar en las muestras de ictioplancton, huevos y larvas de sardina 9 y 8 meses al año como promedio respectivamente. En cambio, durante el último período, tanto para huevos como para larvas, sólo fue posible encontrarlos 4 meses al año (Tabla 1)

Tabla 1. Frecuencia de ocurrencia promedio de huevos y larvas de sardina durante el período 1975-1994.

Años	% meses con huevos	% meses con larvas
1975-1980	81,8 (9 meses)	78,8 (8 meses)
1981-1988	77,2 (8 meses)	76,1 (8 meses)
1989-1994	39,1 (4 meses)	34,5 (4 meses)

La abundancia relativa de huevos de sardina expresada en logaritmo natural del número por 10 m<sup>2</sup> de superficie para el período 1987-1994 (Figura 4), muestra valores de abundancia positivos todos los meses durante el año 1987. En 1988 la abundancia

presentó una disminución durante enero y diciembre, presentando el máximo durante septiembre.

En 1989, la tendencia decreciente continúa, acortando el número de meses con presencia de huevos, correspondiendo el máximo de abundancia nuevamente a septiembre. Para 1990, sólo en tres meses se presentó abundancia de huevos, la principal durante agosto-septiembre y una secundaria durante marzo. En 1991, las mayores abundancias se vieron reflejadas en los muestreos realizados durante agosto con un receso durante los meses de septiembre a noviembre. En 1992, los mayores valores de abundancia se presentaron durante marzo y abril, con menores valores durante junio y septiembre. En 1993, la mayor abundancia se observó durante julio, con valores menores durante octubre y noviembre. Finalmente, en 1994, sólo durante el mes de agosto se presentó abundancia de huevos de sardina para ese año.

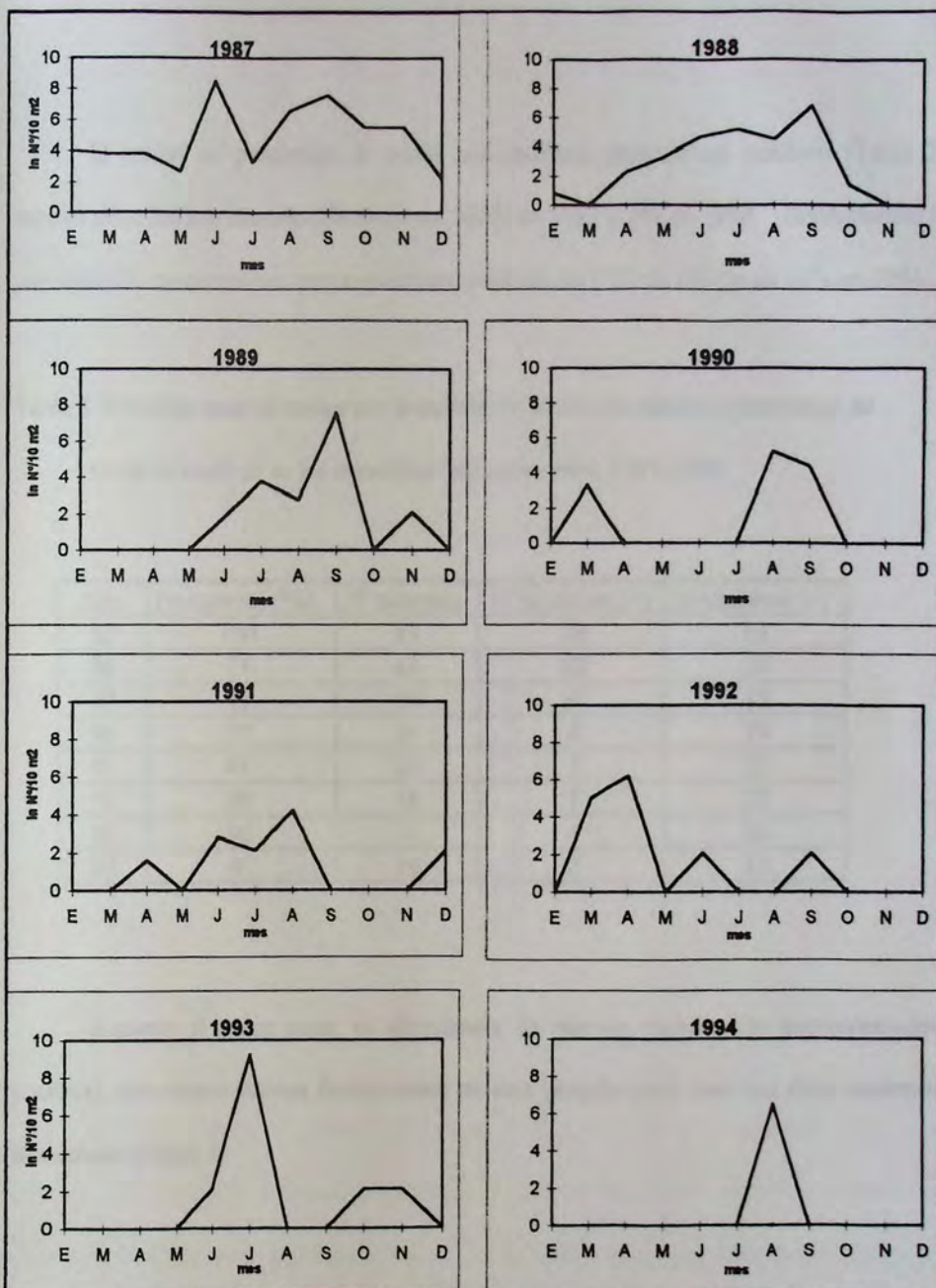


Figura. 4. Abundancia relativa de huevos de sardina expresada en logaritmo natural del número por 10 m<sup>2</sup> de superficie para el periodo 1987-1994.

El análisis del porcentaje de meses con muestras planctónicas positivas (Tabla 2) mostró una constante disminución desde un 100% en 1987 a 9% en 1994. Similarmente el porcentaje de muestreos con pescas positivas, varió de un 83% en 1987 a un 11% en 1994.

Tabla 2. Promedio anual de meses con presencia de huevos de sardina y porcentaje de muestras positivas en los muestreos realizados entre 1987-1994.

Año	Prom.meses (%)	Nº muestras	Nº muestras (+)	% muestras (+)
87	100	47	39	83
88	73	61	22	36
89	45	39	6	15
90	27	21	4	19
91	45	20	5	25
92	36	18	5	27
93	36	16	4	25
94	9	19	2	11

Respecto al índice anual de abundancia de huevos (número de huevos/estación positiva), éste mostró fuertes fluctuaciones en este período pero con una clara tendencia decreciente (Figura 5).

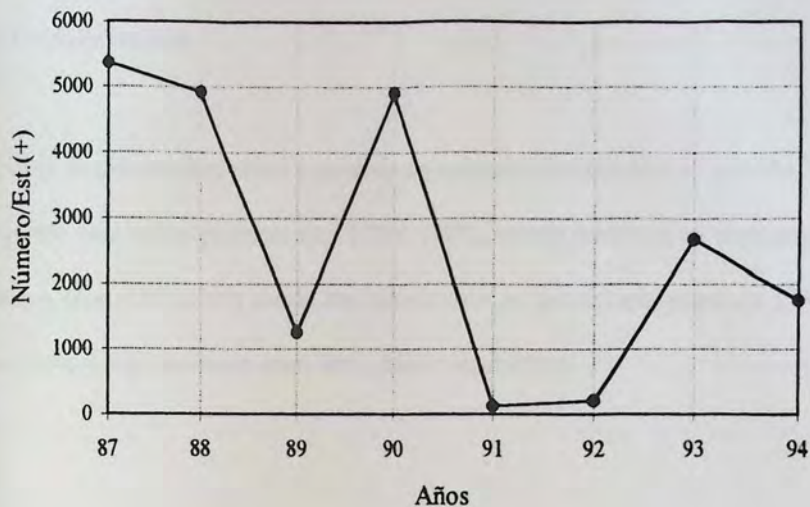


Figura 5. Índice anual de abundancia de huevos para el período 1987-1994.

### Componente estacional y variaciones en la abundancia

#### 3.- Componente estacional

Al estandarizar los datos de abundancia de huevos y larvas a  $10 \text{ m}^2$  de superficie, para el período 1987-1994 y al comparar la varianza promedio para el período y su residual, se determinó que la componente estacional para este caso, sólo explicaba el 19,1% de la variación en la abundancia, mientras que para las larvas durante el mismo período, esta fue de 30,5%.

#### 4.- Unidades estándar

El valor de abundancia mensual expresado en unidades estándar para el período 1987-1994, se puede notar en los primeros años (1986-1989), valores positivos, en contraposición a los últimos años (1991-1994) donde los valores son en su mayoría negativos (Figura 6), a excepción de algunos meses como abril, julio y septiembre.

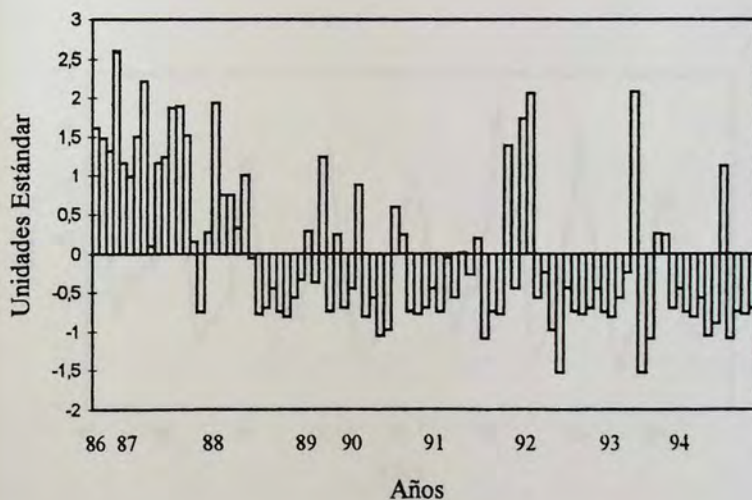


Figura 6. Serie de tiempo corregida de huevos de sardina expresada en unidades estándar, para el período 1986-1994.

## Relación entre la abundancia de huevos y larvas, y los factores ambientales

### 1.- Abundancia de huevos y larvas versus temperatura superficial

La temperatura superficial del mar presentó una estacionalidad bien marcada, con valores mínimos de 11 a 12,5°C en los meses de invierno y máximos de 15 a 16°C en los meses de verano (Figura 7), presentando variaciones para el período con una clara tendencia decreciente llegando a valores promedios de 13,4 °C en 1994 (Figura 8).

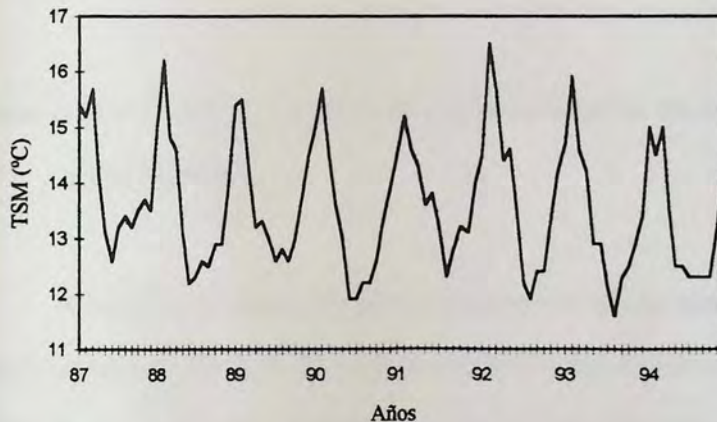


Figura 7. Serie de promedios mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) para el período 1987-1994.

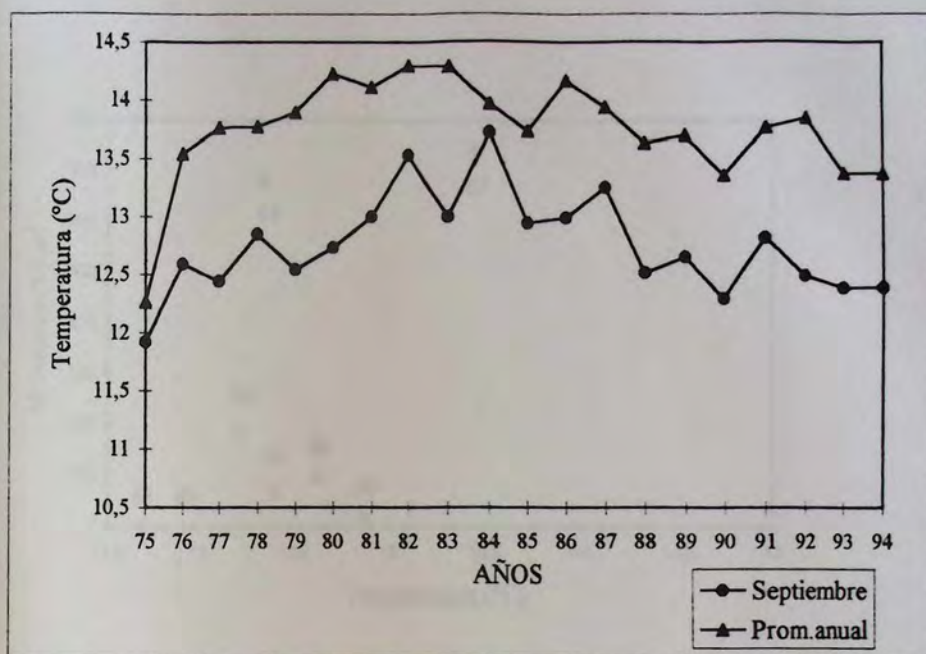


Figura 8. Serie de promedios anuales de la temperatura superficial del mar (TSM) para el período 1975-1994.

Al relacionar el número de huevos y larvas por 10 metros cuadrados de superficie, con la temperatura superficial del mar de la localidad en estudio, durante el período 1987-1994 en los meses correspondientes al desove principal (agosto-septiembre), las temperaturas variaron durante agosto entre 11,5 y 13,5 °C, y los años con mayores números de huevos, fueron 1987, 1994, 1990 y 1988, no encontrándose huevos en las muestras de agosto correspondientes a 1992 y 1993 (Figura 9).

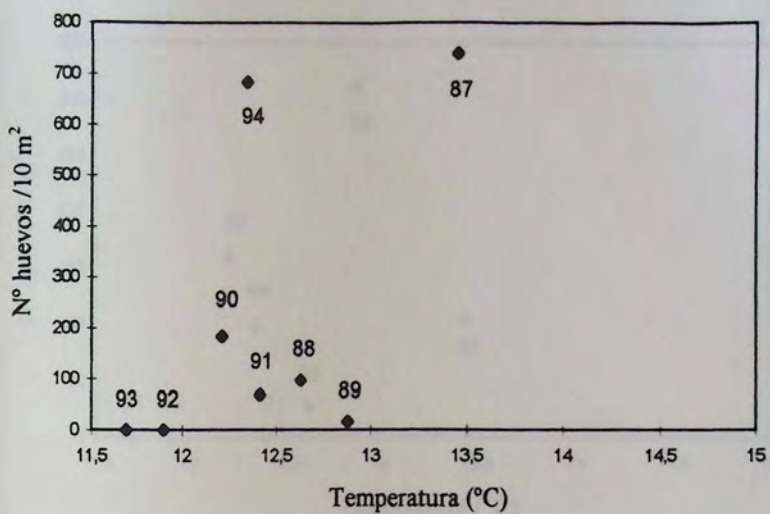


Figura 9. Promedio de abundancia de huevos de sardina para los meses de agosto durante el período 1987-1994, en relación al promedio, para el mismo mes, de la temperatura superficial del mar.

Las larvas estuvieron presentes en agosto durante los muestreos realizados en 1989, 1990, 1987 y 1994, no encontrándose en los muestreos de 1991, 1992 y 1993 (Figura 10).

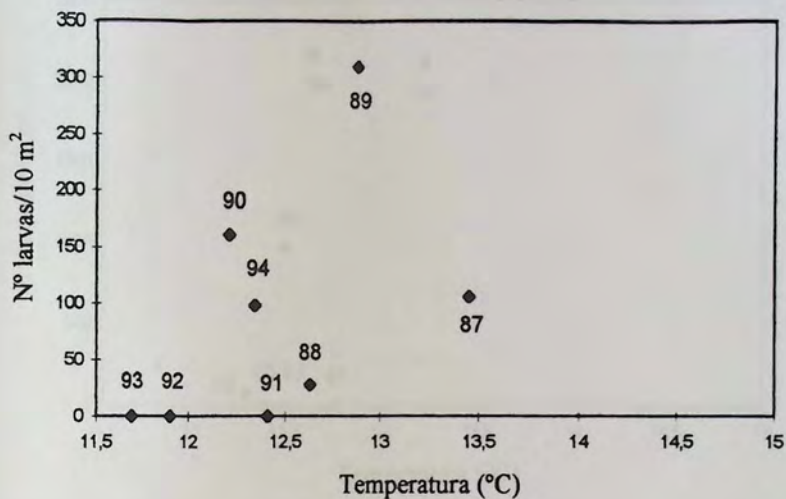


Figura 10. Promedio de abundancia de larvas de sardina para los meses de agosto durante el período 1987-1994, en relación al promedio, para el mismo mes, de la temperatura superficial del mar.

Para septiembre, las temperaturas variaron entre los 12,0 y 13,5 °C, donde los principales valores de abundancia de huevos estuvieron representados por los años 1989, 1987, 1988 y 1990, no encontrándose los mismos durante 1991, 1993 y 1994 (Figura 11).

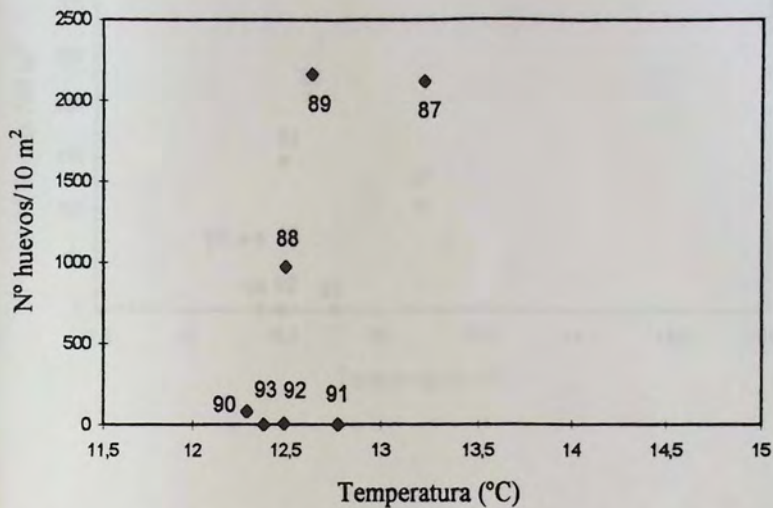


Figura 11. Promedio de abundancia de huevos de sardina para los meses de septiembre durante el período 1987-1994, en relación al promedio, para el mismo mes, de la temperatura superficial del mar.

Para las larvas en cambio, los años con las mayores abundancias fueron 1989, 1988, 1987, 1990 y 1993, ausentándose de los muestreos de 1991, 1992, y 1994 (Figura 12).

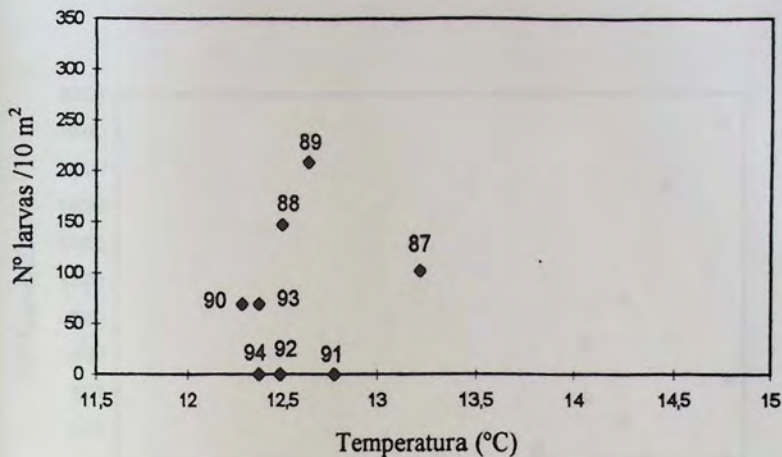


Figura 12. Promedio de abundancia de larvas de sardina para los meses de septiembre durante el período 1987-1994, en relación al promedio, para el mismo mes, de la temperatura superficial del mar.

Al unir las observaciones de agosto y septiembre (desove principal) y separarlas por años, la relación entre la variación de abundancia de huevos y la TSM presentó para el año 1987 valores que fluctuaron entre los 13,0 y 14,0 °C (Figura 13).

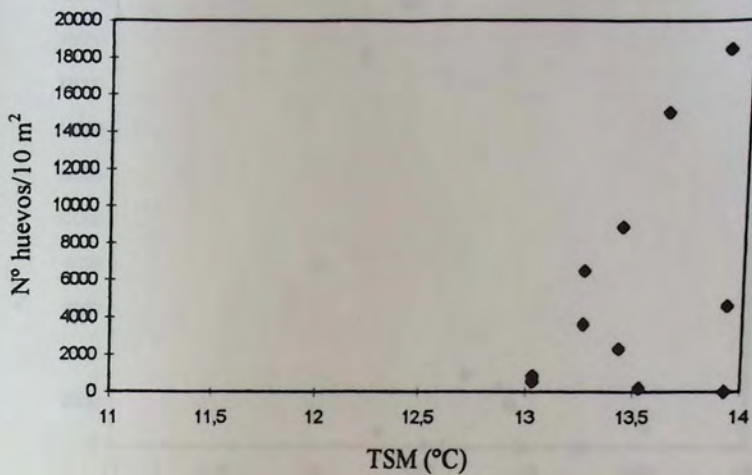


Figura 13. Variación en la abundancia del número de huevos respecto a la temperatura superficial del mar (TSM) en los muestreos realizados entre agosto y septiembre en el año 1987.

Para el año 1988 los valores de abundancia se distribuyeron casi  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  menos que el año anterior, entre  $12,0\text{-}13,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por la ausencia de El Niño (Figura 14). Y para el resto del periodo, su distribución fluctuó entre los  $11,5$  y  $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no presentando tendencias claras con los fenómenos de El Niño (Figura 15).

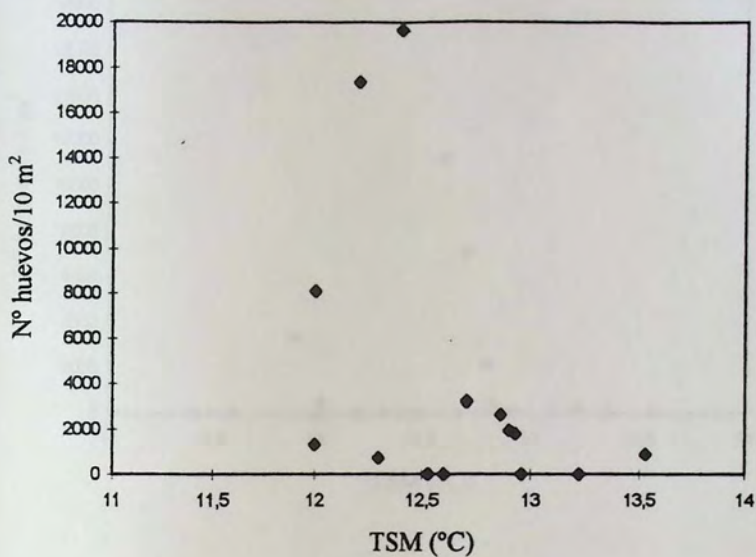


Figura 14. Variación en la abundancia del número de huevos respecto a la temperatura superficial del mar (TSM) en los muestreos realizados entre agosto y septiembre en el año 1988.

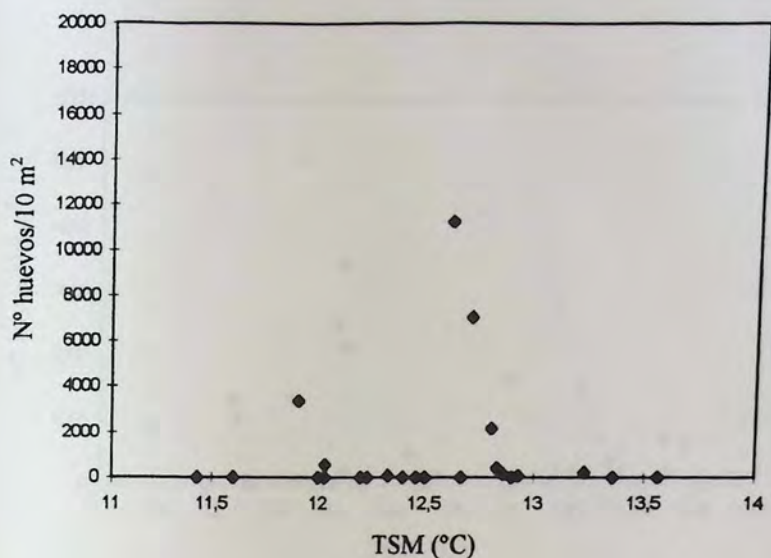


Figura 15. Variación en la abundancia del número de huevos respecto a la temperatura superficial del mar (TSM) en los muestreos realizados entre agosto y septiembre en el período 1989-1994.

Al utilizar el número de larvas por 10 m<sup>2</sup> de superficie de todos los muestreos realizados durante agosto y septiembre entre 1987 y 1994, y relacionándolos con el promedio de TSM 10 días antes de realizado el muestreo, se pudo apreciar que los mayores valores de abundancia de larvas se registraron cuando las temperaturas estuvieron en el rango de 12,2-12,6 °C (Figura 16).

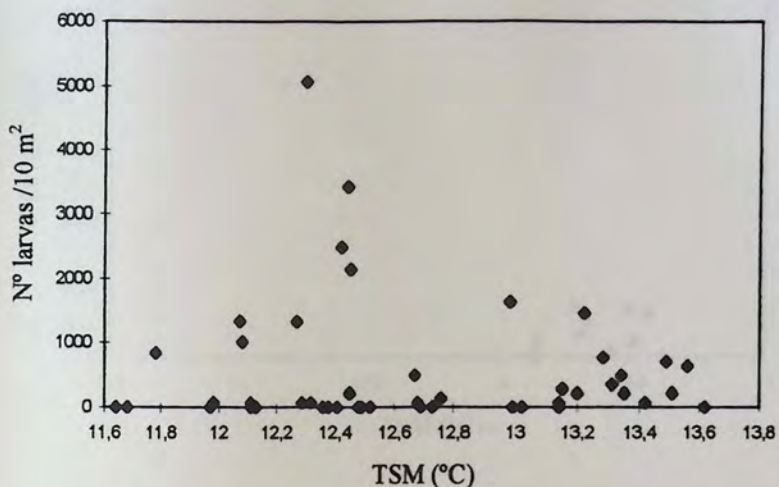


Figura 16. Variación en la abundancia del número de larvas respecto al promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) 10 días previos al muestreo, realizado entre agosto y septiembre en el período 1987-1994.

Al separar por años las observaciones, destaca en 1987, valores de abundancia agrupados entre los 13,2-13,6°C (Figura 17). Para 1988 las larvas se distribuyeron en temperaturas más bajas (12-13°C) (Figura 18) y en el resto de los años (1989-1994), estuvieron distribuidas en forma dispersa entre los 11,5 y 13,5°C (Figura 19).

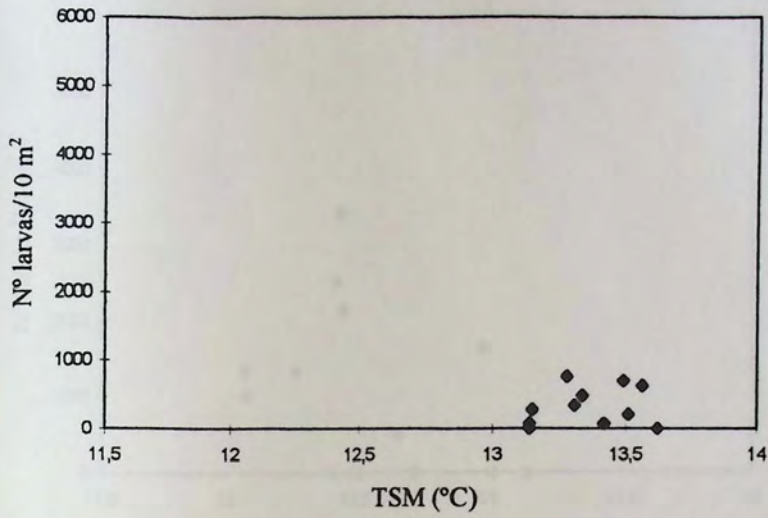


Figura 17. Variación en la abundancia del número de larvas respecto al promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) 10 días previos al muestreo, realizado entre agosto y septiembre en 1987.

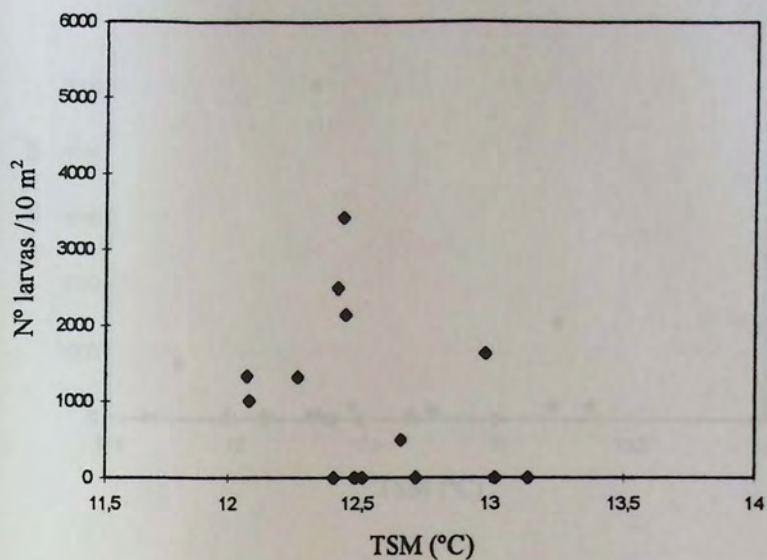


Figura 18. Variación en la abundancia del número de larvas respecto al promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) 10 días previos al muestreo, realizado entre agosto y septiembre en 1988.

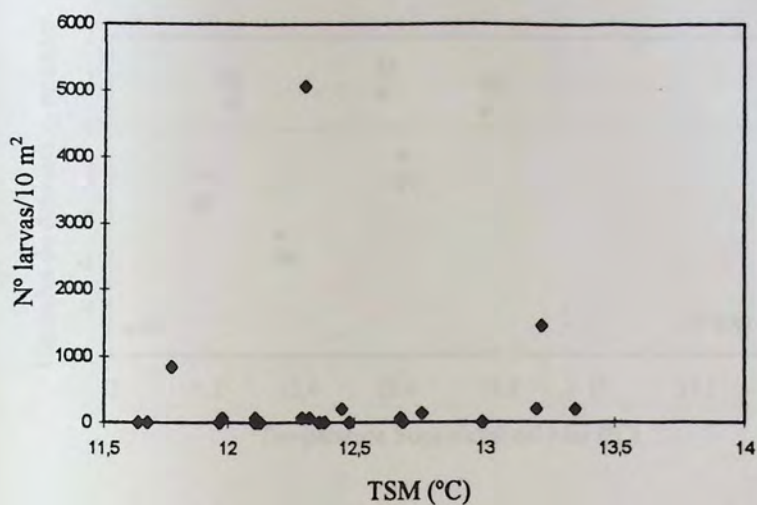


Figura 19. Variación en la abundancia del número de larvas respecto al promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) 10 días previos al muestreo, realizado entre agosto y septiembre en el período 1989-1994.

Al relacionar la abundancia de huevos expresada en unidades de desviación estándar en los meses de máximo desove (agosto-septiembre) con la TSM, se obtuvo una relación lineal directamente proporcional entre estos parámetros ( $r^2= 47\%$ ) (Figura 20).

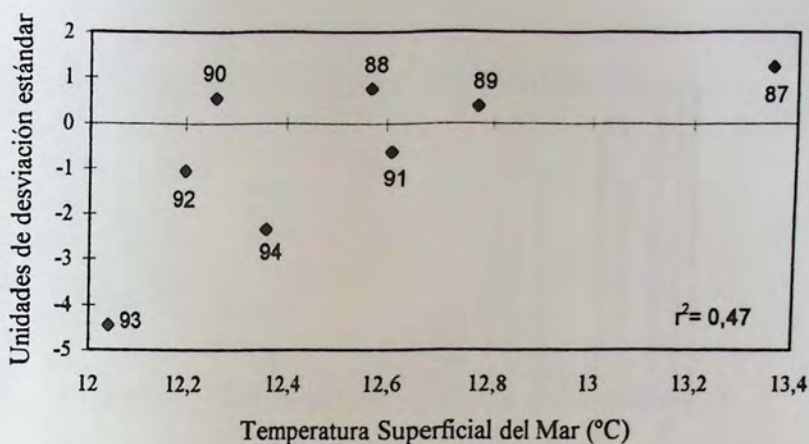


Figura 20. Relación entre la abundancia de huevos, expresada en unidades de desviación estándar, y la temperatura superficial del mar (TSM) para agosto- septiembre (1987-1994).

## 2.- Abundancia de huevos y larvas versus IS

La señal anual del índice de surgencia expresada como promedios mensuales para el período 1987-1994, presentó valores máximos entre octubre y diciembre, y mínimos entre junio y julio (Figura 21).

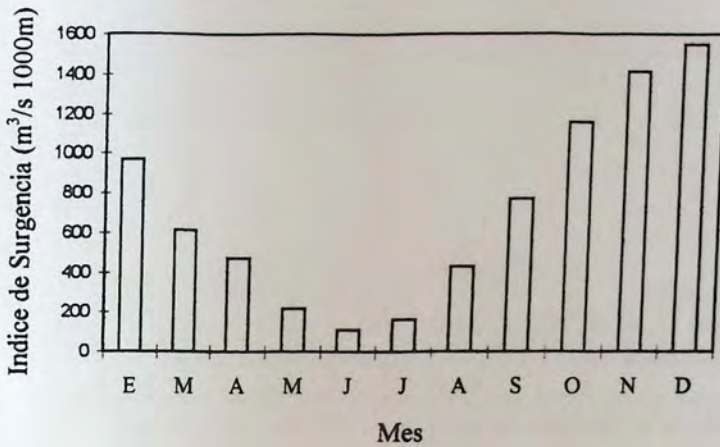


Figura 21. Señal anual del índice de surgencia entre el período 1987-1994.

Los valores del IS durante agosto entre 1974-1994 (Figura 22), se aprecian en un principio moderados (ca. 200 m<sup>3</sup>/s 1000 m), para luego aumentar en 1978 y comenzar a descender paulatinamente hasta 1983, donde se presentan por única vez valores negativos del IS, posteriormente, los valores se mantienen moderados hasta 1990, donde nuevamente se registran valores bajos, y finalmente los valores de IS comienzan a incrementarse para alcanzar el máximo del período hacia 1994.

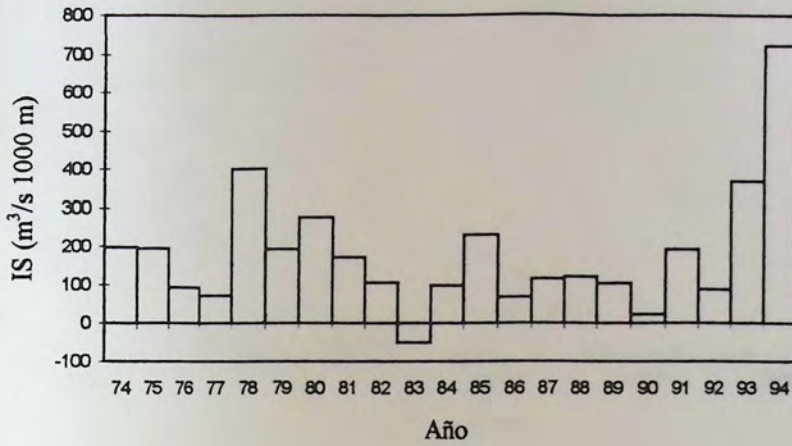


Figura 22. Variaciones del IS para agosto durante el período comprendido entre los años 1974-1994.

Al relacionar el número de larvas con el IS en igual período que el caso anterior, con promedios de IS de 10 días previos a la realización del muestreo, se observó que las mayores abundancias ocurrían en IS moderados (120-180 m<sup>3</sup>/s 1000m) (Figura 23).

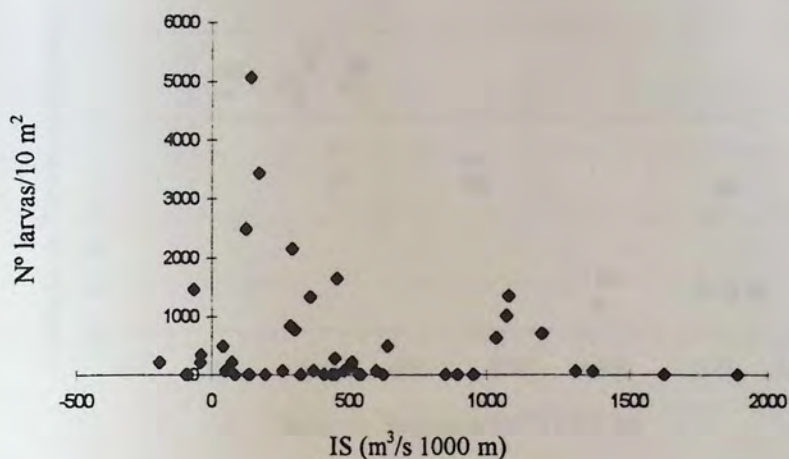


Figura 23. Variaciones en la abundancia del número de larvas respecto al promedio del índice de surgencia (IS) 10 días previos al muestreo realizado entre agosto y septiembre en el período 1987-1994.

Al relacionar la abundancia de huevos expresada en unidades de desviación estándar en los meses de máximo desove (agosto-septiembre) con el IS, se obtuvo una relación lineal inversamente proporcional ( $r^2= 69\%$ ) entre los parámetros (Figura 24).

Para comparar estos resultados, la misma relación (abundancia v/s IS) se realizó durante los meses de noviembre-diciembre (Figura 25), en los cuales el IS es máximo, obteniéndose nuevamente una relación lineal inversamente proporcional ( $r^2= 30\%$ ).

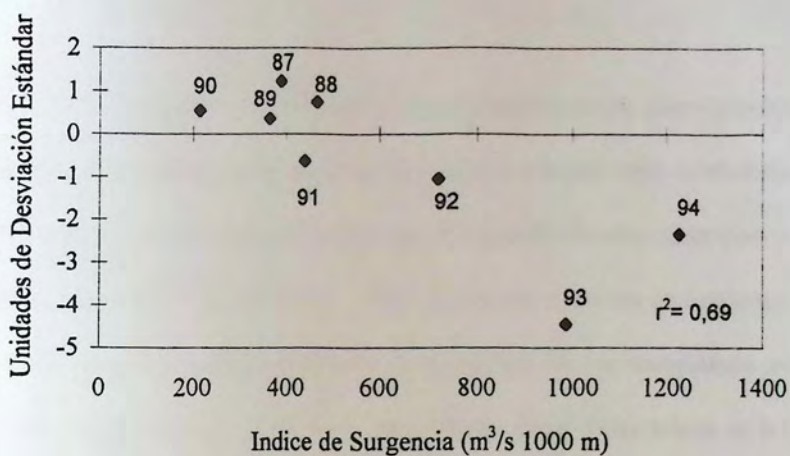


Figura 24. Relación entre la abundancia de huevos, expresada en Unidades Estándar, y el índice de surgencia para agosto y septiembre (1987-1994).

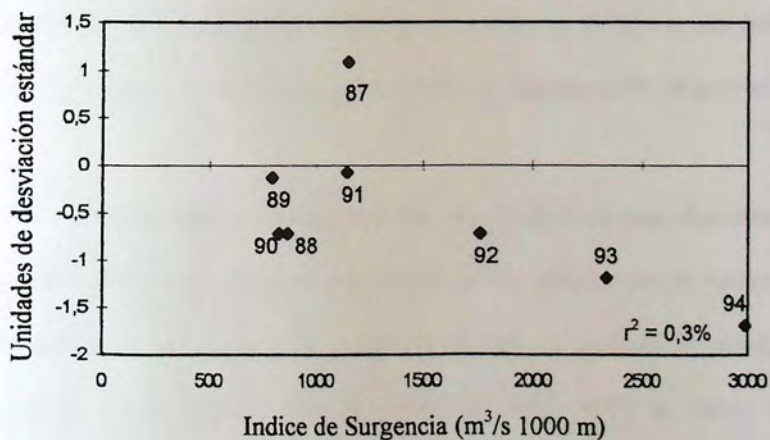


Figura 25. Relación entre la abundancia de huevos, expresada en Unidades Estándar, y el índice de surgencia para noviembre-diciembre (1987-1994).

## DISCUSIÓN

La importancia económica de los stock de peces pelágicos en los cuatro principales sistemas de corrientes orientales, y su aparente tendencia a colapsar bajo condiciones de intensa explotación, crea un gran interés en conocer el desarrollo de estas variaciones y su similitud en todos los sistemas de corrientes. Por ejemplo, en el sistema de corrientes del Perú, el dominio masivo de la anchoveta durante la década del 70, fue reemplazado por la sardina, situación muy similar a lo que ocurrió con el stock central de anchoveta en la Corriente de California (Bakun & Parrish 1982).

Muchos estudios del desarrollo y mortalidad de huevos, larvas y post-larvas se han realizado basados en los resultados de la hipótesis de Hjort (1914), donde se expresa que la variabilidad en el reclutamiento está ligado a eventos o factores que influyen durante los primeros estados de vida de los peces (Lasker & Sherman 1981, Blaxter *et al.* 1989).

Un gran número de hipótesis han sido propuestas para descubrir el efecto de los cambios ambientales sobre la abundancia de las poblaciones de sardina. En estudios realizados en la Corriente de California durante un período de debilitamiento de esta corriente y una reducción de la surgencia (1950-1986), se dedujo bajos niveles de productividad con la consecuente reducción del alimento para las larvas de sardina (Langer *et al.* 1990).

Por otro lado, la sobrevivencia larval, puede ser favorecida a través de la estratificación termal (Lasker 1981) y la reducción en la turbulencia y la deriva mar afuera por advección (Parrish *et al.* 1981).

El análisis de los datos de huevos y larvas de sardina durante el período 1986-1994, en la bahía de Valparaíso, hacen posible afirmar que existe una mayor proporción de huevos en el plancton durante agosto y septiembre, con una disminución de los mismos durante diciembre y enero, y que un segundo máximo durante abril podría atribuirse a condiciones fortuitas de ciertos años, que al ser promediados asignarían a este mes un desove secundario, descartando con este sólo tipo de muestreo, la posibilidad de que esto ocurra; el complementar los datos con análisis histológico de gónadas, índice gonosomático e índice de condición aportarían mayor información para determinar la época de desove y la existencia o no de 2 máximos en el período reproductivo de la sardina en Valparaíso.

Los resultados del análisis de la componente estacional, indican que la variabilidad total del número de huevos y larvas no está distribuida en forma equitativa entre la componente estacional y el de largo período (o de baja frecuencia) porque la componente estacional sólo explicó el 19% de la variación de la abundancia de huevos de sardina. Este valor, coincide notoriamente con la situación existente en la corriente de California, donde en promedio sólo el 18% de la varianza total está asociada a la señal estacional (Bernal 1981).

La coincidencia en los resultados con este estudio, son importantes teniendo en cuenta que en el primero se utilizó información recolectada en transectas desde la costa hasta 550 km mar afuera, y en el presente estudio, se utilizó estaciones de muestreo localizadas al interior de la bahía de Valparaíso. Ambas respuestas considerando que los estudios realizados en California consideraron todo el zooplancton, indicarían que los stocks de sardina podrían ser afectados en forma directa por las alteraciones del régimen oceanográfico asociados a los período fríos y cálidos, lo que sugiere que los procesos interactivos clásicos tales como la competencia y la predación, serían solamente mecanismos secundarios en la regulación de la abundancia de huevos en el plancton (Bernal 1981).

Bernal *et al.* (1983), con un análisis similar en la faja costera entre los 18° y 24° Lat.S del norte de Chile, durante los años 1964-1973, mostró que cerca del 40% de la variabilidad en la abundancia de sardina está determinada por la componente estacional y concluye que los stock de peces pelágicos, a diferencia del zooplancton, podrían ser afectados directamente por las alteraciones producidas por períodos anómalos fríos y cálidos. Además, encontró en su estudio la ausencia de una gradiente latitudinal de biomasa zooplanctónica, lo cual sería la característica global más sobresaliente en el sistema de corrientes de California, con valores altos en latitudes mayores. La presencia de huevos de sardina durante el período de estudio (1964-1973) en el trabajo citado, fue notablemente menor que los de anchoveta, limitando su centro de desove sólo a las localidades geográficas correspondientes a las regiones I y II, reflejando el dominio del stock de anchoveta durante el estudio.

El análisis de las series de tiempo de los residuales de la abundancia de huevos de sardina en Valparaíso, presenta anomalías positivas en los primeros años de estudio (1986-88) en gran parte de los meses examinados, para luego presentar en forma persistente anomalías negativas el resto de los años (1989-1994) a excepción de los meses donde se detectó mayor desove, (agosto-septiembre). Estos resultados se correlacionan en forma positiva con el promedio anual de la TSM, es decir, la declinación de los residuales coincidió con la declinación progresiva de los promedios mensuales de temperatura superficial del mar, y se correlaciona negativamente con el índice de surgencia, que aumenta en magnitud a lo largo de los años. Además, al analizar la serie de tiempo de los residuales, es posible observar que las anomalías positivas durante los años 1990-1994, que corresponden a los períodos de máximo desove, se presentan desfasados en el tiempo, adelantándose el desove principal a julio.

Según Bernal *et al.* (1983), las series residuales representan la variación del desove, es decir, sólo la primera etapa del desarrollo de una nueva clase anual en la población y por lo tanto sólo serviría para estimar el tamaño del stock desovante pero en ningún caso es un buen índice del éxito de la clase anual siguiente; por otra parte, la variación en las capturas reflejan bien la abundancia del recurso sardina para la zona norte (Serra, comn.pers.).

En el ecosistema de corrientes de Chile-Perú, el fenómeno de El Niño representa la expresión más clara y de mayor importancia de la variabilidad asociada a fluctuaciones de

largo período, estudiada tanto en la dinámica física como en la biológica, para los ecosistemas de la Corriente de California (Bernal 1979, 1981; Chelton 1981) y de la corriente de Chile-Perú. En términos oceanográficos, El Niño es una invasión marina de aguas cálidas al sistema de corrientes Chile-Perú, alterando la dinámica de sus flujos y la distribución de sus masas de agua. Los eventos El Niño, son la expresión de fenómenos de interacción océano-atmósfera a escala de toda la cuenca del Pacífico, mediados a través de mecanismos que se desarrollan a nivel del Pacífico ecuatorial (Bernal *et al.* 1983). El fenómeno El Niño, se caracteriza por un debilitamiento o cese de la surgencia costera y una penetración de aguas oceánicas de alta temperatura y alta salinidad a la costa como producto del debilitamiento de la divergencia costera. Estos efectos son característicos de la región meridional del Pacífico suroriental.

El efecto del fenómeno El Niño sobre las condiciones oceanográficas frente a las costas de Valparaíso, fue observado por primera vez por Silva y Ramírez (1983) sobre la base de datos registrados entre 1982 y 1983. En esta información se pudo observar el hundimiento de la isoterma de 12°C sobrepasando en más del triple la profundidad media histórica, además, se vio el efecto sobre la composición de las masas de agua ecuatorial subsuperficial, mostrando un mayor espesor y un aumento de su temperatura en alrededor de 1°C.

Esta intensificación en la presencia de agua subtropical se vio confirmada también por indicadores biológicos, tanto fitoplanctónicos como zooplanctónicos, los cuales no habían sido detectados anteriormente en la región y que son propios de aguas tropicales y subtropicales (Campos & Ramorino 1984, Avaria & Muñoz 1984, Avaria *et al.* 1988).

Con respecto a los períodos cálidos, se aprecian anomalías positivas de la temperatura para los eventos de El Niño/Oscilación del Sur 1986-87, 1991-92 (Rutllant *et al.* 1992) y el calentamiento producido a fines de 1994 principios de 1995 (ERFEN 1994), lo que coincide con trabajos previos realizados en la zona norte (Bernal *et al.* 1983, Yáñez 1989). Estas anomalías positivas se ven más acentuadas en la serie de tiempo de los residuales de abundancia para el período El Niño 1986-87, ya que posteriormente las mayores abundancias de huevos sólo ocurrieron en los meses de desove principal (agosto-septiembre).

El análisis de la relación entre la variación en la abundancia de huevos y la temperatura superficial del mar, durante agosto y septiembre (desove principal) entre los años 1987-94, muestra una distribución con dos máximos para tal período, sin una relación significativa con los valores de temperatura. Al separar por años estos datos, los máximos valores de abundancia de huevos corresponden a 1987 y 1988. Para el primero de estos años, la abundancia de huevos se encontró en temperaturas que fluctuaron entre los 13,0-14,0 °C, coincidiendo con los valores más altos de temperatura correspondientes a El Niño 1986-87 y con valores del IS para agosto de ca. 120 m<sup>3</sup>/s 1000 m.

Para 1988, la abundancia de huevos se presentó entre valores de temperatura de 12,0-13,0 °C, que en general estuvieron en promedio 1,0 °C bajo lo que ocurrió en 1987, lo que correspondería a un período frío o Anti-Niño, donde se estimaron valores de IS muy similares a 1987 (ca. 125 m<sup>3</sup>/s 1000 m).

Lo descrito anteriormente contrasta con lo ocurrido durante el período 1989-94 donde los valores promedios mensuales de temperatura superficial del mar oscilaron entre los 11,5-13,5 °C, sin una tendencia al aumento de temperatura como se esperaría para El Niño 1991 y 1994, lo cual, sólo se refleja en el IS el cual durante el período de El Niño 1991-92 presentó valores moderados (90-180 m<sup>3</sup>/s 1000 m). Para El Niño 1994 el IS no alcanzó valores de las bajas magnitudes esperadas como el resto de los años donde hubo Niño, ya que en ese año se presentaron los valores más altos del período (ca. 700 m<sup>3</sup>/s 1000 m).

El análisis de las variaciones de huevos y larvas con la TSM y el IS, fueron afectadas por fluctuaciones de baja frecuencia, como es el caso del calentamiento de las aguas producto del fenómeno El Niño, el cual altera notoriamente las condiciones medioambientales. Aunque el análisis de huevos y larvas presenta similares comportamientos o tendencias en abundancia durante el período, cabe pensar que el análisis de las condiciones ambientales para eventos de 10 días previos al muestreo de las larvas, que permitiría caracterizar las condiciones que existieron en el momento del desove, y como influyeron en el desarrollo del huevo hasta llegar al estado larval. Así podemos conocer

retrospectivamente cuáles fueron las condiciones óptimas de TSM e IS, que permitieron el desarrollo de las larvas.

Sin embargo, este análisis no nos permite extrapolar lo que sucederá con las etapas posteriores hasta llegar a recluta y adultos, ya que entre estos períodos, las larvas pueden ser afectadas por otros factores tales como predación, competencia, hambruna, advección, enfermedades etc. El análisis de las abundancias larvales sólo refleja las condiciones óptimas para el desarrollo de las mismas, y las condiciones en las cuales ocurrió el desove.

La ocurrencia de El Niño durante el período de muestreo, se ve reflejado en el aumento de la temperatura superficial promedio de septiembre, en los años 1987 y 1991, pero este aumento sólo se vio reflejado en las mayores abundancias en los años 1987-88, que además coinciden para esos años con IS bajos (ca.  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  1000 m). Para los años 1991-92 la abundancia de huevos fue muy baja aunque se dieron las condiciones de IS y TSM como en 1987, pero posiblemente las bajas abundancias se debieron a otros factores tales como sobrepesca del stock adulto que repercutió en el desove.

El análisis de las series de TSM desde 1975-1994, muestra que la temperatura superficial alcanza su máximo durante El Niño 1982-83 para luego descender. El período de estudio sólo utiliza la zona de la curva en su fase descendiente, por lo tanto, cualquier análisis del efecto de la TSM sobre el desove será afectada por este descenso promedio de las temperaturas durante los últimos 10 años.

La surgencia costera es otro factor importante en las variaciones de abundancia de la sardina. Montecinos y Balbontín (1993) al comparar los valores de IS de 4 puntos de muestreo durante el período 1987-89, concluyeron que la magnitud de este índice fue mayor en Punta Ángeles y Los Vilos y menor en Montemar y Quintero, pero los promedios mensuales del IS para las cuatro estaciones durante el período en estudio, mostraron concordancia en la variabilidad temporal en las estaciones, donde alcanzó valores negativos en julio y valores máximos entre octubre y febrero.

Diversos autores (Brandhorst 1963, Sievers & Silva 1973, Silva 1973), han indicado que debido al régimen de viento frente a la bahía de Valparaíso y la orientación de la costa, la surgencia costera está favorecida en esta zona durante el período primavera-verano con la mayor intensificación y frecuencia de los vientos de SW. Si bien el viento es el agente responsable de la surgencia, existen otros factores que influyen en las características de este fenómeno, tales como la topografía, la forma de la costa y la estratificación de la columna de agua. En este sentido, el IS calculado a partir del esfuerzo del viento, indica si existen o no condiciones favorables para la surgencia pero no da cuenta cabalmente de sus características.

La estrategia presente en peces de "evitar" el desove en condiciones de fuertes afloramientos y fuertes mezclas turbulentas inducidas por el viento y transporte dirigido hacia afuera, ha sido reportado por Parrish *et al.*(1983).

Se encontró un patrón general en los hábitat de desove de la anchoveta y sardina cuando existe una minimización simultánea de la mezcla turbulenta y el transporte mar afuera, sugiriendo que la selección del hábitat de desove para cualquier temperatura óptima, es menos importante que la mezcla turbulenta o la advección. Así, cuando los afloramientos se prolongan o se acortan en meses de durabilidad, el período reproductivo también se alarga o se acorta, presentando un comportamiento que responde a las condiciones ambientales, ya sea favorables o desfavorables (De Anda *et al.* 1994).

Así, por ejemplo, los dos períodos en que se adelantó la época de desove (1987 y 1993) a junio y julio, correspondieron exactamente a meses donde los IS eran moderados y aptos para el desove. La intensidad del viento (eventos Lasker), que permite la óptima sobrevivencia de las larvas, con valores de 5 m/s (Peterman & Bradford 1987), estaría dentro de los rangos de IS más favorables para el desarrollo de las larvas (ca. 500 m<sup>3</sup>/s 1000 m). Estas magnitudes de vientos caen dentro de la denominada ventana ambiental óptima para ecosistemas de surgencia del tipo Ekman (Cury & Roy 1989), el cual correspondería a la zona de estudio.

Los huevos y larvas de sardina y anchoveta, se ubican preferentemente sobre los 25 m de profundidad y el mecanismo de transporte que afectaría a estas especies ubicadas en la capa superficial sería la circulación horizontal (Montecinos & Balbontín 1993). En estos términos, para obtener un reclutamiento exitoso, el desove debiera darse cuando el

transporte mar afuera no fuera máximo, ni tampoco durante los meses en que no hay surgencia (Montecinos & Balbontín 1993).

El análisis de la señal anual del IS para el período (1987-1994), destaca que el IS es máximo durante octubre, noviembre y diciembre, y que el IS es menor durante junio, lo que indica que se darían las condiciones favorables para el desarrollo de una surgencia moderada desde enero a mayo, y de agosto a septiembre. Esto concuerda con trabajos de otros investigadores (Balbontín & Garretón 1977, Claramunt *et al.* 1994, Herrera *et al.* 1994) donde los mayores desoves de sardina, se observan entre agosto y septiembre. En tal caso, los desoves costeros que presenta la sardina en la bahía de Valparaíso permitirían mantener los huevos para su potencial desarrollo, en áreas donde el viento favorable a la surgencia costera fuera de menor magnitud, debido a un transporte superficial de las masas de agua hacia el norte durante los meses de agosto y septiembre, lo que permitiría tener una advección y una surgencia costera moderada. Efectivamente, se dan durante estos meses las condiciones óptimas para un reclutamiento exitoso, donde no sólo se observan los mayores desoves de sardina, sino que además los de sardina común (*Strangomera bentincki*), anchoveta (*Engraulis ringens*), merluza (*Merluccius gayi gayi*) y otras (Montecinos & Balbontín 1993).

En un estudio realizado en el Golfo de California con *Sardinops sagax*, se observó que las variaciones en el número de reclutas estarían dadas por variaciones en las condiciones ambientales, encontrando una correlación negativa entre el índice de surgencia y

el reclutamiento. Al incorporar el IS a los modelos de reclutamiento, éste explicó el 72% de la variación en el número de reclutas. Además se encontró una correlación positiva entre TSM y reclutamiento, concluyendo que la disminución del reclutamiento está asociada con el incremento de los IS durante la época de desove (De Anda *et al.* 1994). Según nuestros resultados, el IS tendría una mejor relación con la abundancia de huevos ( $r^2= 69\%$ ) que respecto a la TSM ( $r^2= 47\%$ ) coincidiendo con lo expresado por De Anda *et al.* (1994) respecto a la mayor relevancia del IS frente a la TSM.

Según Jacobson & MacCall (1995), la TSM no es el factor ambiental más importante que afecta la variación del reclutamiento pero puede expresar en parte esta variación, y otras variables tales como la surgencia y el nivel del mar, tendrían una mayor importancia en estas variaciones.

Tanto la TSM como el IS presentan fluctuaciones a escala de días, meses y años; variaciones a nivel interdecadal del IS se presentan con una mayor frecuencia que las de la TSM. La frecuencia de las variaciones del IS a gran escala son cada 3 ó 4 años, presentando sus mínimos justamente en los períodos donde ocurre fenómeno El Niño, en comparación a la baja frecuencia que presenta la variación de la temperatura superficial del mar. Así, si el fenómeno aperiódico El Niño se considera en términos de ocurrencia interanual, el IS correspondería también a una fluctuación de duración menor a 10 años.

Al hacer el análisis de correlación de la abundancia de huevos de sardina y las variables ambientales, los mayores valores se obtuvieron con el IS frente a la TSM, pero eso no quiere decir que el IS sea el más importante, ya que ambos se miden y afectan a escalas de tiempo distintas. El IS es muy variable y puede cambiar en el lapso de pocas horas (Silva 1973), en cambio la TSM presenta una variación más lenta y sostenida en el tiempo. Por lo tanto si consideramos la escala de tiempo de los huevos y las larvas como un período de días, la relación a este nivel sería mayor con el IS, pero a largo plazo la TSM afectará no solo a nivel de huevos y larvas, sino que también a las etapas posteriores.

Un factor importante de considerar que ha afectado la abundancia de huevos de sardina, es la sobreexplotación del stock parental, el cual presenta su máximo desembarque durante El Niño 82-83, el más fuerte del que se tenga registro, que provocó en esos años que los cardúmenes de sardina fueran limitados a bolsas de agua fría muy cercanas a la costa, lo que los hizo de fácil acceso a la pesca industrial, la cual, incrementó el esfuerzo sobre las capturas que como resultado produjo el máximo desembarque de los últimos 20 años de este recurso en Perú (Flores 1989).

Desde ese período hasta el presente, la sobreexplotación ha sido un factor muy importante que sumado a la paulatina disminución de la TSM, ha provocado clases anuales débiles con abundancias bajas y disminución de los reclutamientos (IFOP-IMARPE 1993).

Si bien el área de Valparaíso no se caracteriza por ser una zona importante de desembarque de sardina, se encuentra dentro del área de distribución de la especie, con características de zona marginal respecto al área de desove principal, y que según lo observado en otras regiones, los cambios en las variables ambientales, como la temperatura superficial, la surgencia costera, el nivel del mar, etc., se verían reflejados de forma anticipada dentro de esta zona (MacCall 1986).

Este tipo de cambio se pudo reflejar en el colapso de la pesquería de sardina de California que se redujo de norte a sur en las décadas de los 40 y 50. La reducción de la captura comenzó en British Columbia (50° N) y siguió hacia el sur de California (30° N) (Murphy 1966, Radovich 1982). Similarmente en Chile, este cambio ocurrió con la pesquería de sardina en Talcahuano (36° 40' S), la cual fue declinando mientras las capturas en Arica (18° 30' S) se mantuvieron estables en altos niveles (Lluch-Belda *et al.* 1992).

Estudios periódicos de las condiciones ambientales y biológicas como las de este trabajo tanto a nivel de huevos y larvas como de adultos, realizados en áreas marginales a los centros de desembarques, podrían servir como una forma de percepción anticipada de los cambios de largo período que puede sufrir el sistema pelágico, por lo cual, es importante su continuidad para poder a futuro, ampliar el conocimiento acerca de estos cambios y conocer un poco más las implicancias que estos tienen en el reclutamiento de las poblaciones de peces.

## CONCLUSIONES

- La sardina española en la bahía de Valparaíso presenta desoves durante todo el año con un máximo estacional durante agosto-septiembre, y un mínimo durante diciembre-enero.
- La variabilidad total del número de huevos y larvas, no está distribuida en forma equitativa entre las escalas de largo período y la componente estacional, explicando ésta última sólo el 19,1% de la variación de la abundancia de huevos, y un 30,5% de la variación de la abundancia de larvas.
- El índice anual de abundancia de huevos presentó fuertes fluctuaciones con una tendencia decreciente en el tiempo.
- El porcentaje de meses con muestras planctónicas positivas disminuyó desde un 100% en 1987 a 9% en 1994.
- La abundancia de huevos en los meses de máximo desove (agosto-septiembre) se relacionó positivamente con la TSM ( $r^2 = 0,47$ ) y negativamente con el IS ( $r^2 = 0,69$ ).

- La disminución del desove durante el período de estudio, reflejado en el índice anual de abundancia de huevos y en el porcentaje de meses con muestras positivas, son posiblemente el resultado de condiciones ambientales adversas a la población de sardina, con un incremento notable en los valores de IS y una disminución paulatina de los valores de TSM.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avaria, S. y P. Muñoz. 1984. Fitoplancton. **En:** Vigilancia de variaciones climatológicas y biooceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32° 45' S), en relación al fenómeno de "El Niño". Informe final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.
- Avaria, S., S. Palma, H. Sievers y N. Silva. 1989. Revisión sobre los aspectos oceanográficos físicos, químicos y planctológicos de la bahía de Valparaíso y áreas adyacentes. *Biología Pesquera* 18:67-96.
- Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices, west coast of north America, 1946-71. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report, NMFS-SSRS-671, 103 p.
- Bakun, A. 1975. Daily and weekly upwelling indices, west coast of north America, 1967-73. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report, NMFS-SSRS-693, 113 p.
- Bakun, A. & R.H. Parrish. 1982. Turbulence, transport and pelagic fish in the California and Peru current system. *CalCOFI Report*, Vol XXIII: 99-112.

- Balbontín, F. y M. Garretón. 1977. Desove y primeras fases de desarrollo de la sardina española, *Sardinops sagax musica*, en Valparaíso. Revista de Biología Marina. 16 (2):171-181.
- Balbontín, F. & A. Cannobbio. 1992. Growth and survival of Chilean sardine, *Sardinops sagax*, larvae reared at different densities of food. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 27(1):101-112.
- Bernal, P.A. 1979. Large-scale biological events in the California Current. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report. (20):89-101.
- Bernal, P.A. 1981. A review of the low-frequency response of the pelagic ecosystem in the California Current. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report (22): 49-62.
- Bernal, P. A., Robles, F. L. y O. Rojas. 1982. Variabilidad física y biológica en la región meridional del sistema de corrientes Chile-Perú. En: J. C. Castilla (ed.), Bases biológicas para el uso y manejo de recursos naturales renovables. Monografías Biológicas (2): 75-102. Universidad Católica de Chile.

Bernal, P.A., F. Robles y O. Rojas. 1983. Variabilidad física y biológica en la región meridional del sistema de corrientes Chile-Perú. En: "Actas de la consulta de expertos para examinar los cambios en la abundancia y composición por especie de recursos de peces neríticos", G.D. Sharp y J. Csirke (Ed.). Fao, Inf. Pesca 291(3):683-711.

Blaxter, J.H.S., J.C. Gamble, & H.V. Westernhagen. 1989. The early life history of fish. *Rapports et Peces-Vertaux des Réunions Consul International four L'Exploratum de la Mer* 191: 1-497.

Brandhorst, W. 1963. Descripción de las condiciones oceanográficas en las aguas costeras entre Valparaíso y el golfo de Arauco, con especial referencia al contenido de oxígeno y su relación con la pesca (resultados de la expedición AGRIMAR). Ministerio de Agricultura, Dirección de Agricultura y Pesca, Santiago, Chile, 55 pp.

Campos, B. & L. Ramorino. 1984. Moluscos. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y biooceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32° 45' S), en relación al fenómeno de "El Niño". Informe final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.

- Chelton, D.B. 1981. Interannual variability of the California Current: physical factors. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report. (22):34-48.
- Chelton, D.B., P.A. Bernal & J.A. McGowan. 1982. Large-scale interannual physical and biological interaction in the California Current. Journal Marine Research. 40(4):1095-1125.
- Claramunt, G., G. Herrera & P. Pizarro. 1994. Producción potencial anual de huevos por tallas en *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) del norte de Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso 29(2): 211-233.
- Clark, F. N., & J. C. Marr. 1955. Population dynamics of the Pacific sardine. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Progress Rep. 4:11-48.
- Cury, P. & C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment succes in upwelling areas. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 46: 670-680.
- De Anda, J.A., J.C. Seijo y S. Martínez. 1994. Reclutamiento y variabilidad ambiental en la pesquería de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) del Golfo de California, México. Investigación Pesquera. (Chile) 38: 23-36.

- De Buen, F. 1960. La sardina y la sardina española (*Sardinops sagax*) en la costa de América del Océano Pacífico (Chile, Perú e Islas Galápagos) FAO Fishery Biology Synopsis. 13:265-286.
- ERFEN 1994. Boletín de Alerta Climático. Comisión permanente del Pacífico Sur (CCPS).  
Diciembre.
- Flores, M. 1989. Incidencia de los fenómenos "El Niño" en la extracción de recursos pesqueros marinos de la pesquería peruana en el período 1959-1987. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), Rev. Pacífico Sur (Número Especial) p 467-476.
- Herrera, G., G. Claramunt y P. Pizarro. 1994. Dinámica ovárica de la sardina española (*Sardinops sagax*) del norte de Chile, período abril 1992- marzo 1993. Análisis por estrato de talla. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 29(2): 147-166.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of the North Europe viewed in the light of the biological research. Rapports et Peces-Vertaux des Réunions Consul International four L'Exploratum de la Mer and Proc. Verb. 20, 228 pp.
- Hubbs, C. L. 1948. Changes in the fish fauna of western North America correlated with change in ocean temperature. Journal Marine Research. 7(3):459-482.

IFOP-IMARPE 1993. Informe Técnico. Evaluación conjunta de los stocks de sardina y anchoveta del sur del Perú y norte de Chile. Segundo taller del grupo de trabajo IFOP-IMARPE, sobre pesquerías de pequeños pelágicos. Valparaíso, Chile. 43 p.

Jacobson, D.L. & A.D. MacCall. 1995. Stock-recruitment models for Pacific sardine (*Sardinops sagax*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 52: 566-577.

Langer, B.C., S.K. Burke, & W.H. Berger. 1990. Biological reproduction off southern California is linked to climatic change. Clim. Change 16(3): 319-330.

Lasker, R. 1981. Factor contributing to variable recruitment of the northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the California current: contrasting years 1975 through 1978. Rapports et Procès-verbaux des réunions, Conseil international pour l'Exploration de la Mer, 178: 375-388.

Lasker, R., & K. Sherman. 1981. The early life history of fish: recent studies. Rapports et Peces-Vertaux des Réunions Consul International four L'Exploratum de la Mer . 178: 1-607.

- Lasker, R., & A. MacCall. 1983. New ideas on the fluctuations of the clupeoid stocks off California. In: C. N. C. /SCOR proc. of the Joint Oceanographic Assembly 1982 - general symposia. Ottawa, Can. pp. 110-120.
- Lluch-Belda, D., R. J. M. Crawford, T. Kawasaki, A. D. MacCall, R. H. Parrish, R. A. Schwartzlose, & P.E. Smith. 1989. World wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. South African Journal Marine Science. 8:195-205.
- Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez, & R.A. Schwartzlose. 1991a. A Hypothetical model for fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*). In: Long-term variability of pelagic fish populations and their environment, T. Kawasaki et al., eds. Pergamon Press, pp. 293-300.
- Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C. A. Salinas-Zavala, & R. A. Schwartzlose. 1991b. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California Current system. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report . 32:105-111.
- Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez, D. Lluch-Cota, C. Salinas-Zavala, & R. A. Schwartzlose. 1992. The recovery of the California sardine as related to global change. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report. 33:50-59.

- MacCall, A. D. 1986. Change in the biomass of the California Current ecosystem. **In:** Variability and management of large marine ecosystems, K. Sherman & L. M. Alexander, (eds.) A.A.A.S. Select. Symp. Ser. No. 99, pp. 33-54.
- Montecinos, A. y F. Balbontín. 1993. Indices de surgencia y circulación superficial el mar: implicancias biológicas en un área de desove de peces entre Los Vilos y Valparaíso, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 28(1): 133-150.
- Murphy, R.A. 1966. Population biology of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*). *Proceeding of the academic of Sciences*. 34: 1-84.
- Murphy, G. I. 1977. Clupeoids.. **In:** J.A. Gulland (ed.) *Fish population dynamics*. John Wiley and Sons. New York, p. 283-308 N.Y. 372 p.
- Orellana, M. y F. Balbontín. 1983. Estudio comparativo de las larvas de Clupeiformes de la costa de Chile. *Revista de Biología Marina*, 19(1):57-71.
- Parrish, R.H., Nelson, C.S. & A. Bakun. 1981. Transport mechanism and reproductive success of fishes in the California current. *Biological Oceanography* 1(2): 175-203.

- Parrish, R.H., A. Bakun, D.M. Husby & C.S. Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental factors in relation to eastern boundary pelagic fish reproduction. In: G.D. Sharp y J. Csirke (eds.). Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and especies composition of neritic fish resources, San José, Costa Rica, April 1983. FAO Fisheries Report. 291(3): 731-777.
- Peterman, M.R. & M.J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the north anchovy (*Engraulis mordax*). Science (Wash., D.C.) 235: 354-356.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery: What have we learned? California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report. 23:56-78.
- Rutllant, J., P. Aceituno y A. Montecinos. 1992. Análisis comparativo de aspectos atmosféricos para los eventos de El Niño/Oscilación del Sur de 1982-83, 1986-87 y 1991-92. Investigación. Pesquera. (Chile) 37: 45-54.
- Santander, H. y O.S. de Castillo. 1977. Variaciones en la intensidad del desove de la sardina *Sardinops sagax sagax* (J.) en la costa peruana en los años 1966-1973. Boletín del Instituto del Mar Perú. 3(3):73-94.

- Sievers, H.A. y N. Silva. 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno frente a la bahía de Valparaíso (mayo de 1968-abril de 1969). *Investigaciones Marinas*, Valparaíso, 4(1): 1-16.
- Silva, N. 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso (septiembre de 1969- agosto de 1970). *Investigaciones Marinas*, Valparaíso, 4(3): 89-112.
- Silva, N. y B. Ramírez. 1983. Vigilancia de la variación espacio-temporal de las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas frente a la bahía de Valparaíso. *Estudios y Documentos*, Universidad Católica de Valparaíso. 10/83, 175 pp.
- Smith, P. E. & S. L. Richardson. 1979. Técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO, Documentos Técnicos de Pesca N°. 115.
- Soutar, A. & D. Isaacs. 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*. 13:63-70.
- UNESCO. 1968. Zooplankton sampling. UNESCO Monogr. Oceanogr. Methodol., (2): 174 p.

- Yáñez, E. 1989. Fluctuaciones de las principales recursos pelágicos explotados en la zona norte de Chile y variaciones ambientales asociadas. Comisión permanente del Pacífico Sur (CCPS), Rev. Pacífico Sur (Número especial).509-520.
- Yáñez, E. 1991. Relationships between environmental changes and fluctuating mayor pelagic resources exploited in Chile (1950-1988). In: Long-Term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment. Kawasaki, T., Tanaka, S., Toba, Y. and A. Taniguchi (Eds). Oxford; Pergamon: 301-309 (Proceedings of an International Symposium in Sendai, Japan, November 1989).
- Yáñez, E., M. Barbieri & L. Santillán. 1992. Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. In: Benguela Tropkic Functioning. Payne, A. I. L., Brink, K. H., Mann, K.H. & R. Hilborn (Eds). . South African Journal Marine Science. 12: 175-188.

## AGRADECIMIENTOS

Existen muchas personas que de una u otra forma han estado presentes y han colaborado en la realización de éste trabajo.

Agradezco a Dios la posibilidad que me ha dado de estar aquí.

Agradezco a mi familia por todo el amor y el apoyo que siempre me han brindado.

Agradezco a mis profesores por guiarme y colaborar en mi formación en estos años de universidad.

Un especial agradecimiento al profesor Sr. Fernando Balbontín, Director de Tesis, y a la Srta. Alejandra Llanos, por el tiempo y la paciencia en corregir los borradores preliminares de ésta tesis.

Finalmente mis más sinceros agradecimientos a la señorita Patricia Espejo, y a todas las personas que en forma anónima estuvieron presentes apoyando el desarrollo de éste trabajo.

Gracias a todos.