

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISION DE OCEANOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

**Relación de la abundancia de huevos y larvas de Sardina
(*Sardinops sagax*) con variables ambientales en la Corriente de California**

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS
presenta:

SARITA DE LA CAMPA JEREZ

Ensenada, B.C. Noviembre de 1999

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISION DE OCEANOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

**Relación de la abundancia de huevos y larvas de Sardina
(*Sardinops sagax*) con variables ambientales en la Corriente de California**

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS
presenta:

SARITA DE LA CAMPA JEREZ

Ensenada, B.C. Noviembre de 1999

RESUMEN de la Tesis de **Sarita de la Campa Jerez**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO EN CIENCIAS** en **ECOLOGIA MARINA**. Ensenada, Baja California, México. Noviembre de 1999.

**RELACION DE LA ABUNDANCIA DE HUEVOS Y LARVAS DE SARDINA
(*Sardinops sagax*) CON VARIABLES AMBIENTALES EN LA
CORRIENTE DE CALIFORN**

Resumen aprobado por:

En la Corriente de California las abundancias de las poblaciones de clupeidos caracterizados por *Sardinops sagax*, han fluctuado históricamente. En este trabajo se discuten algunas teorías sobre las causas que las determinan, entre las más importantes están: La explotación pesquera, el régimen que se establece en relación a la variación ambiental a nivel global y las intrincadas relaciones de los estadios primarios de desarrollo con algunas variables ambientales. Se analizan datos obtenidos por el Programa CALCOFI sobre las abundancias de huevos, larvas menores de 6 mm y larvas mayores de 6 mm de sardina, en el área de la Southern California Bight (Líneas 90 y 93 del plan de estaciones, hasta la estación 80) en un periodo que abarca los años de 1978 a 1996 y su relación con variables ambientales: Contenido de clorofila *a* en la superficie (Chl_s), concentración de clorofila en el máximo (Chl_m), profundidad del máximo (Z_m), clorofila integrada en la columna de agua hasta 150 m (Chl_{int}) y temperatura superficial (T_s). Se utilizaron dos análisis, una correlación múltiple paso a paso y un análisis de agrupamiento con el índice de similitud de Gower, y como estrategia de encadenamiento promedios de pares ponderados. Los resultados mostraron que el coeficiente de correlación múltiple (r) entre las variables ambientales y biológicas fue muy bajo. El análisis de agrupamiento presentó mejores resultados. Cuando se probó la clasificación de los sitios con base en las variables biológicas con el modo "q", se separaron en un gran grupo todos los cruceros sin huevos ni larvas (21 de 65 cruceros), entre ellos los correspondientes a "El Niño" 1983. La clasificación de los sitios de muestreo con base en las variables ambientales, mostró que la T_s y la Chl_m tuvieron el mayor peso en la formación de los grupos del dendrograma. Por lo que respecta al modo "r", los dendrogramas resultantes agrupan a la Chl_m , la Chl_s y larvas mayores, larvas menores y huevos de sardina, con un índice de similitud de 0.95. A este grupo se une T_s con una similitud de 0.65; cuando se repite este análisis sin incluir la variable Chl_s , basados en su alta correlación con la Chl_m , se forma el mismo grupo y entonces la T_s se une con una similitud mayor. Se concluye que existe una relación muy cercana entre los huevos y larvas de sardina con la clorofila en el máximo y con la temperatura superficial, sin embargo, no es posible todavía predecir la magnitud de esta relación por la extensión muy limitada (espacio - tiempo) que se usó en el análisis.

PALABRAS CLAVE: Huevos, Larvas, Sardina, Corriente de California, Variables Ambientales

ABSTRACT of the Thesis presented by SARITA DE LA CAMPA JEREZ as partial requirement to obtain the MASTER IN SCIENCES grade in MARINE ECOLOGY. Ensenada, Baja California, México. November 1999.

RELATIONSHIP OF SARDINE (*Sardinops sagax*) EGG AND LARVAE WITH ENVIRONMENTAL VARIABLES IN THE CALIFORNIA CURRENT

ABSTRACT

Fluctuation in the clupeoid population abundance is one of the most interesting subjects of study. In this paper, a brief discussion of some environmental variables related with sardine egg and larvae abundance is presented. CalCOFI data from lines 90 and 93 (to st. 80), and years 1978 - 1996 were used to find out if there exists a correlation with sardine eggs, larvae <6mm, and larvae >6mm with Chlorophyll a content at the surface (Chl_s), the Chlorophyll a concentration at the maximum (Chl_m), depth of Chl_m (Z_m), integrated Chlorophyll a in the water column to 150m (Chl_{int}) and surface Temperature (T_s). The results show that multiple correlation coefficients (r) among variables are very low. A Cluster Analysis was also performed (mode "q" and mode "r") using the Gower similarity index of weighted pair group average as linking strategy. Cluster analysis ("q" mode) separated clearly all cruises with no egg or larvae (21 from 65 cruises) and those corresponding to El Niño 1983. Cluster analysis ("r" mode), showed association (0.90 similarity index) between eggs, larvae <6 and larvae >6 mm, Chl_m and Chl_s ; whereas, T_s , Z_m , and Chl_{int} had little association values. Finally, based on the close relationship between Chl_m and Chl_s we discarded the last one and used only 7 variables, the dendogram showed a very high similarity index value (0.95) among the biological variables and Chl_m ; the T_s joined to the group with a 0.67 similarity index. From this analysis we conclude that a close relationship exists among sardine eggs and larvae and chlorophyll in the maximum; however it is not yet possible to predict the magnitude of this relationship because of the extension in space-time used in this analysis.

KEY WORDS: Egg, Larvae, Pacific Sardine, California Current, Environmental Variables.

DEDICATORIA

**A LA MEMORIA DE MI MADRE
JOSEFA JEREZ COOK**

**A MIS HIJAS
ARELI, ADRIANA, HAYDEE, ALEJANDRA Y DALIA
GUZMAN DE LA CAMPA**

**A MIS NIETAS
MARIANA Y ANDREA GONZALEZ GUZMAN
DANIELA Y NATALIE MYERS GUZMAN
SINTHYA Y KATIA TORRES GUZMAN Y
LLENDI Y MADELIN GILLAM GUZMAN**

**A MI PADRE
GENARO DE LA CAMPA PALACIOS
Y A MIS HERMANOS**

CON TODO MI AMOR

AGRADECIMIENTO

Decidí realizar los estudios de la maestría porque Saúl Alvarez Borrego confió en que mi cerebro de 57 años todavía no estaba lo bastante atrofiado para continuar aprendiendo. Espero no haberlo defraudado.

Cuando acudí al South West Fisheries Center a pedir ayuda para conseguir la información sobre huevos y larvas de sardina, Paul Smith y Geff Moser, mis maestros y amigos desde la década de los 70's, pusieron en mis manos a través de Richard Charter todo lo que requerí para este estudio y más, me reiteraron su confianza. A los tres mi profundo agradecimiento.

Anamaría Escofet me llevó de la mano a través de un maravilloso viaje del análisis multivariado. Gracias Mona, aprendí sobre los secretos de los "clusters" y sobre tu enorme solidaridad de hermana.

Los cálculos de la clorofila en la columna de agua, que cuando empecé con este trabajo me parecía chino antiguo, se resolvieron porque "el Beto Millán" me dedicó su tiempo y su paciencia, que deseo no la pierda nunca y a quien también agradezco de corazón toda la ayuda.

Una de mis hijas adoptivas, Raquel María Hidalgo, estuvo en varias ocasiones a punto de perder la paciencia cuando descubrió con que lentitud aprendía el difícil arte del manejo de los paquetes de computación. Gracias porque lograste que perdiera el miedo. Ahora les tengo terror.

A mi amigo, ex-alumno y ahora sinodal Alberto Amador Buenrostro, que siempre tuvo un momento para escuchar mis necesidades.

A Elena Solana, Marina Mondragón, Elsa Aguirre y Leticia Ramírez, su tiempo y su ayuda fueron muy útiles para brincar los obstáculos de mi ignorancia.

A mi amigo Dr. Jorge Rosales Casián por haber aceptado formar parte de mi comité de tesis ante la partida repentina de uno de los sinodales.

A TODOS mis amigos y compañeros que de lejos o de cerca me apoyaron para que no decayera mi ánimo ante las adversidades y oscuros vericuetos del estudiante en el momento de realizar su trabajo de tesis.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología agradezco el apoyo y la oportunidad de alcanzar esta penúltima meta.

CONTENIDO

	Página
I INTRODUCCION	1
II OBJETIVOS	4
III ANTECEDENTES	5
IV MATERIAL Y METODOS	13
IV.1.- Descripción del área de estudio	13
IV.2.- Procesamiento de la información	14
V RESULTADOS	19
VI DISCUSION	39
VII CONCLUSION	45
LITERATURA CITADA	46



Lista de Figuras

Figura		Página.
1.-	Principales variables que determinan las fluctuaciones en abundancia de pelágicos menores .	3
2.-	Relaciones teóricas entre el reclutamiento y los factores ambientales en zonas de surgencia. (Adaptado de Cury y Roy , 1989).	7
3.-	Abundancia de los principales peces pelágicos en el sur de California, con cada especie escalada a su máxima unidad. (Tomado de MacCall, 1996).	11
4.-	Zona de estudio y localidades que se mencionan en el texto.	15
5.-	Variación de la media anual de concentración de clorofila superficial (Chl_s), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.	24
6.-	Variación de la media anual de la profundidad del máximo de clorofila (Z_m), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.	24
7.-	Variación de la media anual de la concentración de clorofila en el máximo profundo. (Chl_m), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.	25
8.-	Variación de la media anual de la concentración de clorofila integrada(Chl_{int}), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.	25
9.-	Variación de la media anual de la Temperatura superficial (T_s), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.	26
10.-	Variación de la media anual de la densidad de huevos de sardina en el período estudiado, el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.	26
11.-	Variación de la media anual de la densidad de larvas de sardina < 6 mm en el período estudiado, el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar .	27
12.-	Variación de la media anual de la densidad de larvas de sardina > 6 mm en el período estudiado, el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.	27
13.-	Matriz de correlación múltiple entre las 8 variables (promedios por crucero, transformados).	29

Lista de Figuras (Continuación)

Figura		Página.
14.-	Agrupamiento (modo q) de los promedios por crucero con base en las variables biológicas.	32
15.-	Agrupamiento (modo q) de los promedios por crucero con base en las variables ambientales.	33
16.-	Agrupamiento (modo q) de los promedios por crucero con base en todas las variables transformadas.	34
17.-	Análisis de la media (cuadro negro), error (caja) y desviación estándar (barra) de la temperatura superficial (T_s) en cada grupo terminal del dendrograma de la figura 16.	35
18.-	Análisis de la media (cuadro negro), error (caja) y desviación estándar (barra) de la concentración de clorofila en el máximo profundo (Chl_m) en cada grupo terminal del dendrograma de la figura. 16.	34
19.-	Dendrograma (modo "r") de todas las variables consideradas en este estudio (1139 datos).	37
20.-	Dendrograma (modo "r") de siete variables (Chl_s excluída) con los promedios por crucero y transformados.	38
21.-	Variables que determinan las fluctuaciones en abundancia de sardina	44

Tabla	Lista de Tablas	Página.
I.-	Promedios por crucero de todas las variables utilizadas.	19
II.-	Promedio anual de todas las variables utilizadas.	23

RELACION DE LA ABUNDANCIA DE HUEVOS Y LARAVAS DE SARDINA (*Sardinops sagax*) CON VARIABLES AMBIENTALES EN LA CORRIENTE DE CALIFORNIA

I. -INTRODUCCIÓN

Los clupeidos representan en promedio el 25% de la producción pesquera mundial con 22 millones de toneladas al año (FAO, 1997). Sin embargo, sus grandes fluctuaciones en el tamaño poblacional también ocasionan grandes daños económicos y sociales. En México, la sardina se convirtió en un recurso muy importante en los años 1940 a 1968, con el desarrollo de flotas e industrias pesqueras (enlatado y harina) en Ensenada, Isla de Cedros y Bahía Magdalena, en la costa occidental de Baja California, así como en Guaymas, Son., puerto al que se cambió la industria y la flota en 1969, cuando disminuyeron las existencias de sardina en el Pacífico (Cisneros Mata *et al.*, 1995). Actualmente, la sardina junto con la anchoveta que resurgió a mediados de los 1980 en el Golfo de California, conforman una importante pesquería con grandes fluctuaciones en esa área. En el Océano Pacífico la sardina muestra grandes cambios en su distribución geográfica. En sus diferentes periodos de alta biomasa no presenta necesariamente la misma distribución, esto hace que sea difícil interpretar las estimaciones de su biomasa en áreas pequeñas (SCOR, 1998).

Las poblaciones de clupeidos se desarrollan en las grandes áreas de surgencia. Entre las más importantes del mundo están: la Corriente de Benguela, el Sistema de Corrientes de las Canarias, la Corriente de Humboldt y el Sistema de la Corriente de California (Mann y Lazier, 1993). En la Corriente de California, una de las zonas de

surgencia más intensamente estudiadas, se desarrollan grandes poblaciones de *Sardinops sagax* (sardina del Pacífico) y *Engraulis mordax* (anchoveta), las cuales comparten el hábitat con otras especies pelágicas de valor comercial (Bakun y Parrish, 1982) entre las que se establece una sucesión: *Sardinops*, *Trachurus*, *Sarda*, *Engraulis*, *Scomber*, *Sardinops*.

Cuando Lasker (1985a) publicó su trabajo titulado: ¿Qué limita la producción de los Clupeidos? la respuesta parecía ser: casi todo. Sin embargo, cuando buscamos esta respuesta en la literatura sobre los estadios tempranos, encontramos que se centran específicamente en la alimentación, en el tipo de alimento y en su disponibilidad. Aunque se sabe que la temperatura es un disparador de la actividad reproductora en la mayoría de los organismos (Blaxter y Hunter, 1982), no es el único factor ambiental que interviene para disparar los mecanismos de maduración y desove. En organismos adultos, la energía obtenida se distribuye entre la supervivencia, crecimiento y reproducción (Jones, 1980). Si el alimento es reducido se afectará primero al crecimiento, después la reproducción y finalmente la supervivencia. A largo plazo, la falta de alimento se traduce en una limitación de la producción de huevos.

La hipótesis que aquí se maneja, considera la posibilidad de una relación estrecha entre la abundancia de huevos y larvas de sardina con las concentraciones de clorofila en el máximo profundo. Las principales variables que determinan las fluctuaciones en abundancia de las poblaciones de pelágicos menores son descritas en la figura 1. Ocupa un lugar muy importante la variación ambiental porque actúa a nivel global, sobre adultos y estadios larvarios. Las surgencias influyen tanto en la disponibilidad de

alimento para adultos como para larvas. El transporte y la dispersión, con el componente extra de la disponibilidad de alimento, determinan la abundancia de huevos y larvas. La explotación del recurso por su parte, también juega un papel preponderante ya que de ella dependerá el tamaño de la población desovadora.

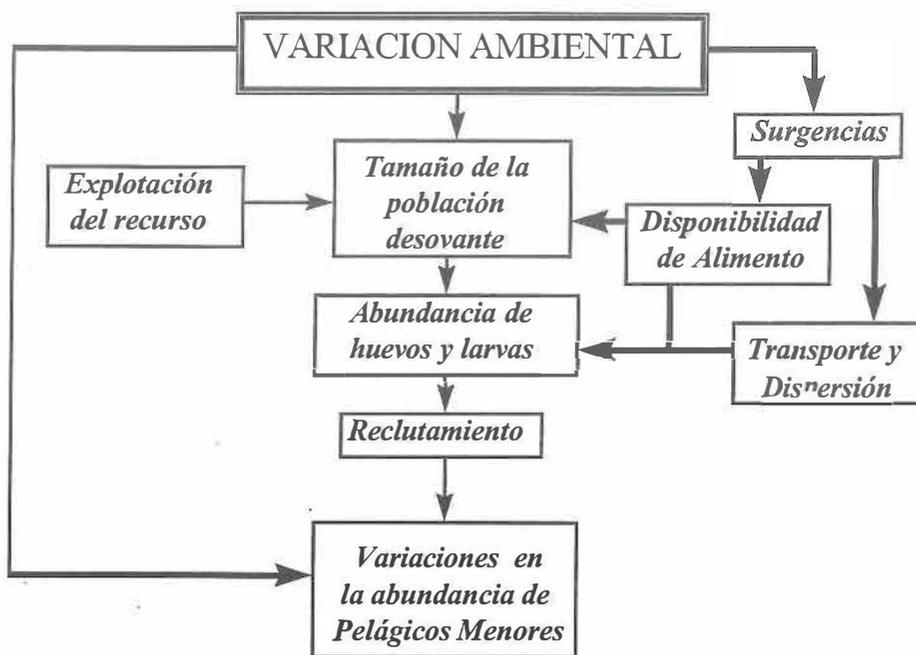


Figura 1.- Principales variables que determinan las fluctuaciones en abundancia de pelágicos menores.

II.-OBJETIVO

Utilizar la información histórica descriptiva del ambiente de la Corriente de California (concentración de clorofila y temperatura), en una área que se encuentra entre la línea de costa y los 160 millas mar afuera en la Southern California Bight, E.U.A., para un análisis comparativo de los cambios en las últimas dos décadas (1978 -1996) y su posible relación con las abundancias de huevos y larvas de sardina.

Probar, mediante un análisis estadístico multivariado, la posible relación entre la concentración superficial de clorofila (Chl_s) ($mg\ m^{-3}$), la concentración en el máximo profundo (Chl_m) ($mg\ m^{-3}$), la clorofila integrada en la columna de agua (Chl_{int}) ($mg\ m^{-2}$), la profundidad a la que se encuentra la concentración máxima (Z_m) (m) así como la temperatura superficial (T_s) ($^{\circ}C$), con las abundancias de huevos, de larvas menores de 6 mm y de larvas mayores de 6 mm de sardina.

III. ANTECEDENTES

Históricamente las abundancias de las poblaciones de pelágicos menores han sufrido fluctuaciones amplias. Basados en el análisis de escamas en sedimentos laminados recientes en la porción anóxica de la cuenca de Santa Barbara y la cuenca de Guaymas. Soutar y Isaacs (1969), Baumgartner *et al.* (1992) y Holmgren-Urba y Baumgartner (1993), lograron reconstruir los cambios en las abundancias relativas de poblaciones de peces en la Corriente de California en el último milenio y en el Golfo de California durante los últimos 250 años. Esta información hizo evidente que aún en ausencia de pesquerías, ha existido una alternancia en las abundancias de sardina, anchoveta, merluza y mictófidios, con periodos de 50-60 años en la Corriente de California y de 100 a 140 años en el Golfo de California.

En las últimas décadas se han manejado diversas opiniones sobre las posibles causas de las variaciones en abundancia de los pelágicos menores. Una fuerte corriente supone que la explotación pesquera es la causa principal. El análisis realizado por Myers y Barrowman (1996) con 364 series de tiempo de biomasa desovadora y reclutamiento, es conclusivo sobre el hecho de que solamente poblaciones grandes de desovadores pueden dar como resultado un alto reclutamiento y una clase anual fuerte.

Existe otro enfoque que trata de explicar las variaciones de la abundancia de sardinas a nivel mundial en función del "régimen climático". Según Luch-Belda *et al.*, (1992a) el régimen climático es la variabilidad interanual de la temperatura del aire y de la superficie del mar, que abarca de lustros a décadas. Se establece con el cambio global del clima en este siglo y sincroniza las variaciones de las abundancias de sardinas y

anchovetas (Lluch *et al.*, 1992b). Estas dos especies varían de una manera alternada. A mayor anomalía positiva en la temperatura del aire, las abundancias de las sardinas se incrementan y las de las anchovetas disminuyen.

Otra corriente de opinión no menos importante, ligada a la anterior, menciona las intrincadas relaciones entre las variables ambientales y la supervivencia de huevos y larvas como las principales causas que determinan el tamaño de la población desovadora. Estos aspectos han sido abordados por gran número de autores (Hjort, 1914 y otros citados por Lasker, 1985 a) casi desde que se iniciaron los estudios del plancton, buscando conocer la manera en que se dan las relaciones entre factores ambientales (temperatura, surgencias, transporte, disponibilidad de alimento, etc.) y lo que se denomina “la etapa crítica”, que pueden inducir cambios en el reclutamiento y en la abundancia.

Sherman (1994) en relación a la variabilidad de los rendimientos en biomasa en los grandes ecosistemas marinos y para la Corriente de California en particular, señala que las variables predominantes son las perturbaciones ambientales naturales densoindependientes y presenta como hipótesis, que los grandes incrementos en la productividad en la columna de agua, resultante de los cambios en la dirección y flujo de las velocidades de las corrientes y de los cambios en las surgencias dentro del ecosistema, se reflejarán en un incremento en las poblaciones de clupeidos.

Algunos autores han estudiado el efecto que tiene el transporte de Ekman en la supervivencia de las larvas. Cury y Roy (1989) presentaron una hipótesis que denominan “ventana ambiental óptima” con la cual demuestran que la relación entre el

reclutamiento y el índice de surgencia tipo Ekman tiene forma de domo (Fig. 2). Cuando los vientos son débiles, la surgencia tiene bajos niveles de productividad y no favorece al reclutamiento. Cuando las velocidades del viento son muy altas generan turbulencia fuerte, con efectos negativos para la supervivencia de larvas y para el reclutamiento, porque disgrega los parches de alimento y de larvas. Intensidades moderadas de las surgencias tienen un efecto positivo en el reclutamiento porque la turbulencia es débil y la disponibilidad de alimento es mayor para las larvas de primera edad de alimentación.

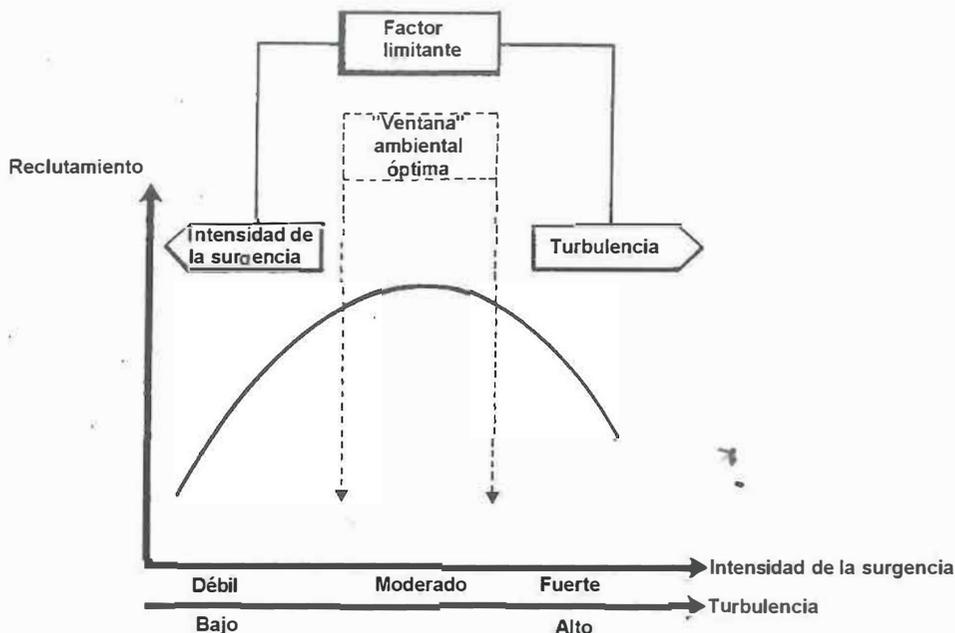


Figura 2.- Relaciones teóricas entre el reclutamiento y los factores ambientales en zonas de surgencia. (Adaptado de Cury y Roy , 1989).

En relación al índice de Bakun, de acuerdo con la literatura, la masa de agua en la Southern California Bight, presenta los más débiles valores de este índice en toda la Corriente de California. Resulta interesante comentar aquí el último trabajo de Bakun

(1999), quien afirma que aunque las áreas de surgencia parecen ser lugares difíciles para el éxito reproductivo de los peces, la intensidad del enriquecimiento las hace tan productivas, que los peces que las utilizan como área de alimentación, conforman las más grandes poblaciones que existen en los océanos. Los peces de mayor tamaño acuden también a esas zonas a alimentarse, pero evitan reproducirse en ellas. En cambio los peces de pequeño tamaño, hacen uso de diferentes aspectos del hábitat para reducir el impacto del efecto de transporte hacia afuera de la costa. Recientemente se han aplicado a la ecología marina, métodos efectivos de análisis empírico no lineales, que han resultado consistentemente en una relación en forma de domo, o “ventana ambiental”, hipótesis que resulta del análisis de varias pesquerías de sardina de diferentes zonas de surgencia, donde el éxito reproductivo es más alto en intensidades medias de viento (figura 2). Por lo tanto, en los casos en que la mayoría de los datos caen en el lado izquierdo del domo (valores bajos de viento y/o surgencia), la correlación que se obtiene será positiva, si esto se hace con datos que corresponden al lado derecho del domo (altos valores de viento y/o surgencia), la correlación será negativa; pero si los datos están homogéneos a lo largo del eje de viento y/o surgencia, no se encontrará ninguna relación lineal.

En la Southern California Bight el desove masivo de la sardina ocurre normalmente en el invierno y la primavera, coincidiendo con parte de la temporada de surgencias, aunque en realidad presenta múltiples desoves en el año. La duración de éstos y su frecuencia dependen de la disponibilidad de alimento para los desovadores (Blaxter y Hunter, 1982). Se sabe que el tamaño de los huevecillos desovados durante el

otoño es menor, lo que hace que su reclutamiento no sea tan efectivo como el de invierno-primavera (Bagenal, 1971). No existe duda de que los huevos con mayor cantidad de vitelo (de mayor tamaño) confieren un mayor potencial a las larvas que emergen de ellos, ya que sobreviven más tiempo mientras encuentran el alimento adecuado.

El concepto de “etapa crítica” de Hjort (op. cit.), 60 años más tarde condujo a algunos investigadores a buscar las causas que la producían. Entre los que más activamente trabajaron tratando de probarla estuvo Lasker (1975 y 1978). Sus trabajos con la anchoveta (*Engraulis mordax*) corroboraron que aún en presencia de alimento algunas larvas llegan a la inanición, y que no sobreviven durante el periodo entre el consumo total del vitelo y el desarrollo completo y funcionamiento de la boca y la visión. Algunas características del alimento, como son el tamaño de las células del fitoplancton y su densidad son también determinantes para la supervivencia, esto es, si la calidad y densidad del fitoplancton no son las adecuadas, la larva no tendrá éxito para alimentarse. Lasker (1978) asentó que fue precisamente en la zona cercana a la costa de California, en la Southern California Bight, en las capas adyacentes al máximo profundo de clorofila, donde se detectaron las cantidades suficientemente altas de *Gymnodinium splendens*. Sin embargo, la presencia de tormentas fue un factor que eliminó la capa del máximo de clorofila produciendo con ello la dilución de los organismos que constituían el alimento potencial para la anchoveta. Algunos autores han llegado a conclusiones semejantes haciendo experimentos controlados en los cuales se proporciona el alimento adecuado, pero aunque no se pueden extrapolar a condiciones naturales, nos ayudan a

explicamos las altas mortalidades de las poblaciones larvarias pelágicas. Finalmente, Lasker (1984) ponderó el papel que juegan en la sobrevivencia y reclutamiento de larvas la estabilidad del océano y la disponibilidad de alimento.

Hayward y Venrick (1982) encontraron que en la Corriente de California la clorofila superficial está correlacionada con la clorofila integrada de la columna eufótica y con la producción primaria integrada, aunque es una relación bastante dispersa, y recomendaron que el uso de la clorofila superficial como indicador del estado biológico de los ecosistemas pelágicos debe ser aplicado con cautela. Por otra parte, usando datos de la Corriente de California, Millán-Núñez *et al.* (1996 y 1997) encontraron una relación muy alta entre la clorofila superficial y el máximo profundo de clorofila en la Corriente de California y posteriormente desarrollaron modelos de regresión lineal simple de Chl_m y Z_m en función de la clorofila superficial, con valores altos de coeficiente de determinación ($r^2 = 0.9$).

Hayward (1996) dice en un reporte que resume los trabajos de una reunión, en el que hace algunas consideraciones importantes acerca de los cambios a largo plazo en el océano Pacífico Norte. No hay duda que están ocurriendo cambios importantes en las fuerzas atmosféricas, y en la estructura física y biológica en las capas superiores del Pacífico Norte en las últimas décadas, en la Corriente de California se ha incrementado el nivel del mar en parte debido al calentamiento global y se ha observado un descenso en la biomasa del macrozooplancton en los primeros 300 m de profundidad, también asociado al calentamiento y estratificación de la masa de agua superficial. La termoclina

se ha hecho más profunda pero hay poco cambio a largo plazo en el transporte de la Corriente de California.

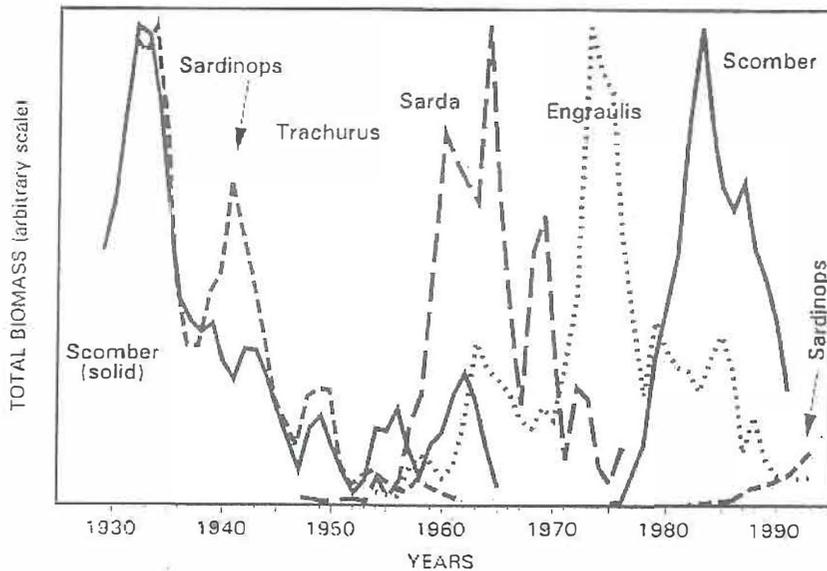


Figura 3.- Abundancia de los principales peces pelágicos en el sur de California, con cada especie escalada a su máxima unidad. (Tomado de MacCall, 1996).

Los trabajos de Lluch (1999), Hayward (1996) y McGowan *et al.*, (1999), coinciden en mencionar que la Corriente de California muestra desde los inicios de la década de los 1970s, condiciones ambientales más adecuadas para el crecimiento de los pelágicos menores, es decir, que se espera un cambio favorable. En relación con esto, MacCall (1996) afirma que el mayor pico de abundancia de la sardina del Pacífico ocurrió en 1934, declinó bruscamente y un pico secundario se observó en 1941, la declinación posterior duró 30 años y su recuperación reciente ha venido dándose desde

el inicio de 1980 y hasta 1992 seguía creciendo (Fig.3). Smith (1990) también presenta en sus estimaciones de la población de sardina por medio del método de población virtual (VPM), un ligero incremento en la biomasa desovadora (2+) desde 0 en 1972 hasta 260 toneladas en 1989. McGowan *et al.*(1999), al analizar las formas en las que la abundancia del macrozooplancton puede afectar a las poblaciones de larvas de peces, definen como una correlación positiva el papel del plancton como suplemento alimenticio de adultos y también de larvas a través de sus nauplios; pero puede igualmente convertirse en un competidor por alimento con las larvas de peces o puede depredarlas.

Hernández-Vázquez (1994 y 1995) realizó un análisis histórico de las fluctuaciones en la distribución y abundancia de larvas de sardina y anchoveta. Describe dos patrones estacionales de desove, uno asociado con la Southern California Bight que denomina “el patrón norteño” y otro ubicado en Punta Eugenia, B.C. El desove norteño lo ubica temporalmente entre febrero y junio-julio. También analizó la proporción de abundancias huevo/larvâ en toda el área de distribución de la población, y sugiere que Punta Baja, en Bahía del Rosario, B.C., es la zona de transición entre el patrón norteño y Punta Eugenia (Ver Fig. 4).

IV.-MATERIAL Y METODOS

IV.1. Descripción del Area de estudio

La Corriente de California es la porción oriental del giro anticiclónico a macroescala del Océano Pacífico norte. Se aplica al flujo que abarca las latitudes entre 48°N y 23°N , esta última es donde el agua subártica converge con la ecuatorial. Es un amplio cuerpo de agua que se mueve lentamente hacia el sureste a lo largo de todo el año; transporta agua de origen subártico relativamente fría y de baja salinidad, hacia latitudes inferiores. Excepto por las regiones cercanas a la costa, se encuentra entre la superficie y unos 300 m de profundidad con una anchura de 700 Km aproximadamente.

El Sistema de la Corriente de California comprende: la Corriente de California, la Contracorriente subsuperficial y la Corriente de Davidson (denominada por Lynn y Simpson 1987, como contracorriente costera). De primavera a otoño, los vientos (que presentan una componente del norte) tienden a impulsar la columna de agua hacia el sur con mayor velocidad. También en esta temporada las surgencias se intensifican gracias a los vientos del nor-noroeste y se prolongan hasta julio. En agosto hay una estratificación mayor y las surgencias vuelven a ser intensas en septiembre (Hemingway, 1979).

Los datos históricos aquí utilizados provienen de las líneas 90 y 93 hasta la estación 80, del plan de estaciones CalCOFI (Fig. 4), se localizan dentro de la Southern California Bight (SCB), la cual constituye un ambiente físico único dentro del Sistema de la Corriente de California (Valdez-Holguín *et al.*,1998). Su fisiografía y topografía costera combinada con las corrientes dominantes y la contracorriente, generan durante el

verano patrones de circulación significativamente diferentes del resto del Sistema, dando como resultado la formación de un remolino de aguas oligotróficas.

En las imágenes de satélite, la parte interna de la SCB aparece como una región de aguas tibias poco pigmentadas con baja clorofila superficial, limitadas al norte y oeste por aguas más frías y más ricas en clorofila (Eppley, 1992). En imágenes de color del satélite Coastal Zone Color Scanner (CZCS) aparece una discontinuidad zonal de clorofila en la frontera sur de la SCB que ha sido denominado “frente Ensenada” (Pelaez y McGowan, 1986). El viento y el transporte de Ekman en la Corriente de California presentan valores mínimos en la SCB mientras que la estratificación es mayor en el invierno y verano que en el resto del año.

IV.2. Procesamiento de la información

La información hidrográfica, incluyendo la temperatura y la clorofila, procede de los datos que CalCOFI (California Cooperative Fisheries Investigations) produce y publica en la red de “Internet” y corresponde a los años 1978-1996.

La información sobre abundancia de huevos, larvas < de 6 mm y larvas > de 6 mm, así como temperatura superficial fueron proporcionadas por los Drs. Paul Smith, Geoffrey Mosser y Richard Charter del SWFC-NOAA de La Jolla, California.

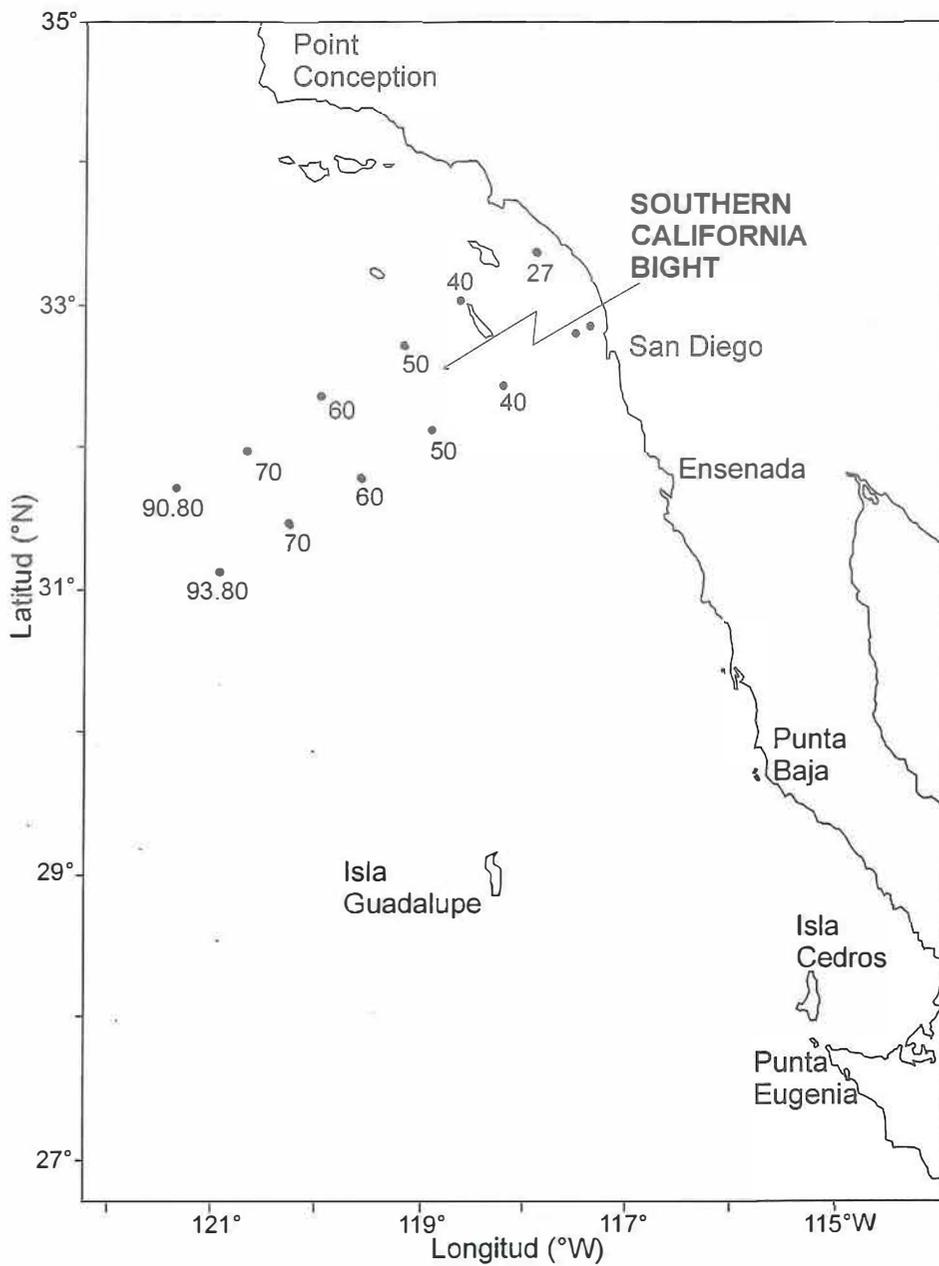


Figura 4.- Zona de estudio y localidades que se mencionan en el texto.

Las tablas con datos de clorofila se depuraron para usar solamente los correspondientes a las líneas y estaciones seleccionadas. Se obtuvieron directamente los correspondientes a: Chl_s , Z_m , Chl_m y T_s . Para cada estación se calculó además el valor de Chl_{int} . En este trabajo se consideró de manera general la profundidad de 150m (zona fótica), como la profundidad límite de nuestro análisis y se utilizó solamente la temperatura superficial en las correlaciones y en los análisis de agrupamiento.

La información sobre huevos (la eclosión ocurre en 47 horas a $17^{\circ}C$, según Lo *et al.*, 1996) y larvas, contienen los números de larvas identificadas en cada muestra (estación), separadas por tamaño, $<$ de 6 mm, talla en la que quedan incluidas las larvas con vitelo que todavía no se alimentan por si mismas (1 semana de edad aprox.) y $>$ de 6 mm que ya son capaces de alimentarse (hasta 2 meses de edad). Para cada una se estimó su abundancia en la columna de agua, por estación que se expresa en Número $10\ m^{-2}$.

El número total de estaciones hidrográficas fue de 1139, obtenidas en 65 cruceros, con 3 variables biológicas y 5 variables ambientales. El año 1983 es el único que está representado por once cruceros, el de 1978 por 6 y el resto por 4, uno en cada trimestre del año. Se manejaron dos tablas, una con la información de cada estación de muestreo y otra conteniendo los promedios por crucero. Esta última se requirió para uno de los tipos de análisis de agrupamiento, debido a que el programa comercial de computadora disponible solamente soporta 300 columnas como máximo.

En este trabajo se utilizaron técnicas de Análisis Multivariado, dado que la información posee ciertas características especiales, con muchos valores de cero en las

variables biológicas, que producen correlaciones muy bajas. Se usaron técnicas estadísticas con las que se elaboraron gráficos con las medias y el error estándar para cada variable, así como para el cálculo de la matriz de correlación.

Dentro del análisis multivariado se utilizó el Análisis de Clasificación (Análisis de conglomerados) que agrupa entidades semejantes en una clasificación jerárquica en forma de árbol denominada dendrograma, que indica las relaciones entre ellas (Gauch, 1982). Se analizaron en primer término los cruceros con base en los atributos ambientales y en las abundancias de los grupos funcionales de la sardina (huevos, larvas <de 6 mm y larvas >de 6 mm).

Los grupos que se formaron en los dendrogramas se analizaron tanto con base en el nivel de similitud como independientemente de él. Para este análisis se probaron diferentes métodos: la distancia Euclidiana, la correlación de Pearsons, y el método de Gower (1971). Este último se eligió describir los resultados ya que no establece ningún supuesto sobre la naturaleza de los datos, es decir, las observaciones pueden ser nominales, ordinales o de un rango mayor. La estrategia de encadenamiento que se usó es la de promedio de pares ponderados. El algoritmo para la distancia de Gower es:

$$T_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (1 - \frac{|X_{ik} - X_{jk}|}{R a n g o k})}{m}$$

El análisis modo “q” permite agrupar los sitios, en este caso estaciones de colecta o los promedios por crucero, con base en las variables ambientales y/o biológicas. También se usó el modo “r”, o análisis inverso (Field *et al.*, 1982), con objeto de agrupar

las variables ambientales y biológicas, siguiendo el mismo procedimiento que con el modo "q", sólo que en este caso se hizo usando los atributos de cada muestra (1139 datos) y también con los promedios por crucero (65). Field *et al.*(op. Cit.), sugiere la posibilidad de utilizar datos transformados cuando las distancias entre ellos son muy grandes, como es el caso de las abundancias de huevos y larvas de sardina, de manera que se probó hacer los mismos análisis transformando los datos con el método de doble raíz cuadrada ($Y = X^{0.25}$).

VI.-RESULTADOS

Los datos que se analizaron corresponden a 65 cruceros (Tabla I) y cubren un periodo de 14 años (Tabla II). En 1978 se hicieron 6 cruceros de los cuales sólo 3 fueron positivos para huevos y larvas de sardina; en 1983, año con fenómeno El Niño, aunque se realizaron 11 cruceros, todos resultaron negativos; los años restantes, desde 1985 hasta 1996 (12 años), se realizaron 4 cruceros por año que cubren en general las cuatro estaciones del año.

Tabla I.- Promedios por crucero de cada variable analizada. Nota: Ef significa episodio frío.

<i>Crucero</i>	<i>Chl_s</i>	<i>Z_m</i>	<i>Chl_m</i>	<i>Chl_{int}</i>	<i>T_s</i>	<i>Huevos</i>	<i>L < 6mm</i>	<i>L > 6mm</i>	<i>El Niño</i>
7801	0.67	44.06	1.69	78.91	16.38	-	-	-	-
7803	1.65	45.00	93.94	293.49	16.22	-	-	-	-
7804	3.05	56.45	10.44	390.79	15.88	-	0.43	-	-
7805	0.20	44.69	0.42	24.82	16.31	-	-	-	-
7806	0.48	51.50	1.86	46.53	16.99	-	0.62	-	-
7808	0.47	37.45	1.90	31.64	18.60	0.35	-	-	-
8301	0.20	62.75	0.43	31.27	15.71	-	-	-	+
8303	0.26	46.13	0.71	29.30	15.98	-	-	-	+
8304	1.58	36.82	2.37	95.33	15.06	-	-	-	+
8305	0.30	32.00	1.74	52.09	16.27	-	-	-	+
8306	0.38	31.29	0.80	35.30	17.67	-	-	-	+
8307	0.15	51.67	0.50	28.66	21.17	-	-	-	+
8308	0.19	57.00	0.72	27.64	19.45	-	-	-	+
8309	0.12	53.18	0.63	30.34	21.99	-	-	-	+
8310	0.12	59.83	0.42	24.04	20.67	-	-	-	+
8311	0.13	61.00	0.48	24.90	19.97	-	-	-	+
8312	0.27	54.85	0.65	34.97	16.73	-	-	-	+
8502	0.32	39.79	0.75	39.25	14.22	-	0.43	0.43	-
8505	0.50	38.65	1.05	43.27	14.96	0.43	-	-	-
8508	0.14	43.33	4.35	33.37	19.42	-	-	-	-
8511	0.23	42.95	0.77	32.01	17.94	0.56	2.23	56.18	-

Tabla I Continuación

<i>Crucero</i>	<i>Chl_s</i>	<i>Z_m</i>	<i>Chl_m</i>	<i>Chl_{int}</i>	<i>T_s</i>	<i>Huevos</i>	<i>L < 6mm</i>	<i>L > 6mm</i>	<i>El Niño</i>
8602	0.39	38.95	0.72	34.94	14.87	-	-	-	-
8603	0.41	39.50	0.71	36.44	15.17	-	-	-	-
8605	0.55	41.79	1.63	59.54	16.11	6.38	16.14	4.42	-
8609	0.37	45.50	0.89	39.06	18.37	1.62	5.17	-	-
8611	0.22	42.95	0.61	32.70	17.72	-	0.22	0.89	-
8703	0.28	54.00	1.20	52.58	15.03	-	0.51	-	+
8705	0.24	46.00	0.92	40.63	16.36	0.92	-	-	+
8709	0.22	49.95	0.86	38.45	19.36	-	-	-	+
8801	0.80	30.18	1.01	51.20	14.37	0.44	-	0.95	<i>Ef</i>
8805	0.49	44.05	1.12	50.20	15.75	9.83	5.36	1.79	<i>Ef</i>
8808	0.35	31.60	0.98	44.49	19.00	-	9.04	0.54	<i>Ep</i>
8810	0.36	44.00	0.93	41.73	19.00	-	0.76	0.38	<i>Ef</i>
8901	0.63	25.85	0.77	43.24	13.33	-	-	-	-
8904	0.35	34.80	1.04	42.72	16.08	25.94	8.05	3.61	-
8907	0.18	41.10	1.20	45.22	19.05	10.83	41.90	12.10	-
8911	0.30	44.05	0.97	44.41	17.82	-	-	-	-
9003	1.24	34.84	1.66	136.06	14.12	-	0.25	-	-
9004	0.46	21.00	1.07	36.50	16.96	-	-	-	-
9008	0.56	38.45	1.00	38.34	19.40	1.41	-	1.17	-
9011	0.24	45.05	0.87	39.12	18.04	0.80	1.74	0.43	-
9101	0.38	40.26	0.73	36.91	14.31	0.74	0.77	-	-
9103	0.22	54.40	1.53	42.87	15.33	100.48	28.60	3.72	-
9108	0.65	24.80	0.91	39.51	17.22	-	4.33	0.81	+
9110	0.23	42.37	0.64	34.24	18.66	8.58	2.03	0.72	+
9202	0.30	40.70	0.55	30.30	14.90	0.26	1.90	1.95	+
9204	0.91	39.05	1.61	54.41	17.22	38.24	7.05	0.49	+
9207	0.36	44.05	1.76	52.07	18.72	78.47	20.43	11.73	-
9210	0.52	37.33	1.17	43.45	21.14	-	-	-	-
9301	0.37	36.36	0.51	27.51	15.10	0.00	0.00	0.00	-
9304	0.28	50.90	0.88	32.61	15.79	189.63	65.64	14.16	-
9308	0.17	52.65	0.74	24.55	19.07	3.33	33.34	1.12	-
9310	0.24	46.22	0.66	30.46	18.89	-	0.51	-	-
9401	0.19	54.53	0.64	29.85	15.59	4.65	0.55	-	-
9403	0.23	54.16	0.85	38.62	15.39	38.25	72.16	14.64	-
9408	0.26	35.90	0.87	35.82	19.22	4.80	6.34	1.06	-
9410	0.30	39.70	0.65	31.82	19.36	-	-	-	-
9501	0.82	23.05	1.40	41.79	14.65	-	-	-	<i>Ef</i>
9504	1.11	49.15	2.01	55.82	15.92	135.72	55.54	17.64	<i>Ef</i>
9507	0.57	40.35	1.17	39.36	17.29	0.92	-	-	<i>Ef</i>
9510	0.67	39.25	1.27	35.32	19.27	-	-	-	<i>Ef</i>

Tabla I Continuación

<i>Crucero</i>	<i>Chl_s</i>	<i>Z_m</i>	<i>Chl_m</i>	<i>Chl_{int}</i>	<i>T_s</i>	<i>Huevos</i>	<i>L < 6mm</i>	<i>L > 6mm</i>	<i>El Niño</i>
9602	0.64	36.40	1.37	44.25	15.06	236.17	33.71	1.88	-
9604	0.39	43.28	1.34	45.90	16.12	168.70	333.77	118.06	-
9608	0.36	37.14	1.16	43.48	20.09	0.76	-	-	-
9610	0.28	37.09	0.71	28.27	18.55	-	-	-	-

Mediante el uso del índice multivariado, el Centro de diagnóstico del clima de la NOAA señala a los años 82/83, 86/87 y 91/92 entre los eventos ENSO más fuertes, que se extienden desde marzo-abril de un año hasta septiembre-octubre del siguiente año. En 1988 se hizo presente un evento frío, en cambio entre 1991-1992 se presentó un evento El Niño, sin embargo, cabe destacar de la Tabla I que los años 1988, 1990 y 1991 presentaron huevos y larvas en todos los cruceros, aún en aquellos que se realizaron en la temporada cálida del año y que en general corresponden a los meses de agosto, octubre o noviembre. Respecto a las fluctuaciones temporales de las variables ambientales. La Chl_s (Fig. 5) presentó valores muy altos en 1978 hasta de 2.50 mg m^{-3} en el mes de abril con un promedio anual cercano a 1.0 mg m^{-3} . La media anual estuvo por debajo de 0.5 mg m^{-3} y solamente en 1990, 1992 y 1995 se observan valores por encima de éste, el periodo más prolongado con valores promedio por crucero de 0.1 mg m^{-3} fue en los cruceros de 1983, desde julio hasta noviembre. Los valores promedio por crucero de Z_m , (Fig. 6) fluctuaron desde 21 hasta 63 m, aunque las medias anuales se mantuvieron entre 35 y 50 m. En algunas estaciones hidrográficas la máxima concentración de clorofila se encontraba en la superficie, o muy cerca de ella, esto en general se detectó en las estaciones más alejadas de la costa. La concentración máxima de clorofila en la columna

agua (Chl_m) observa en la figura 7, presentó muy poca variación, los valores promedio oscilaron entre de 0.7 y 1.7 $mg\ m^{-3}$, nuevamente a excepción del año 1978 cuyo promedio fue 3.6 $mg\ m^{-3}$ sin embargo, los promedios por crucero más bajos corresponden a los últimos meses del año 1983, en octubre y noviembre y el único repunte se observa en 1985. Con relación a la clorofila integrada en la columna de agua (Chl_{int}), los valores promedio anuales oscilaron entre 29 y 62 $mg.m^{-2}$ (Fig. 8), a excepción de 1978, año en el que alcanzó un valor de 119.8 $mg.m^{-2}$; los valores promedio por crucero en ese año (Tabla I) variaron entre 17 $mg.m^{-2}$ en enero y 482 $mg.m^{-2}$ en abril; en marzo de 1990 se presentó otro crucero que tuvo un promedio alto con 136.06 $mg.m^{-2}$, de manera general se puede observar tendencia cíclica en la figura de los promedios anuales. La temperatura superficial (Fig. 9) presentó medias anuales entre los 16.4 °C y los 18.2 °C en todo el periodo de estudio, con excepción de la media de 1983, que fue 18.3 °C. Cabe mencionar aquí que en los promedios por crucero se registraron temperaturas superficiales de hasta 13.3 en enero de 1989 y de 21.9 °C en septiembre de 1983.

Tabla II.- Promedios anuales de todas las variables.

<i>Crucero</i>	<i>Chl_s</i>	<i>Z_m</i>	<i>Chl_m</i>	<i>Chl_{int}</i>	<i>T_s</i>	<i>Huevos</i>	<i>L < 6mm</i>	<i>L > 6mm</i>
1978	0.923	46.880	3.642	119.780	16.880	0.180	0.000	0.000
1983	0.337	49.682	0.859	37.622	18.243	0.000	0.000	0.000
1985	0.299	41.180	1.729	36.975	16.635	0.247	0.663	14.152
1986	0.387	41.738	0.912	40.536	16.448	1.600	4.308	1.063
1987	0.248	49.983	0.993	43.889	16.920	0.308	0.169	0.000
1988	0.496	37.458	1.009	46.903	17.030	2.568	3.792	0.913
1989	0.365	36.450	0.994	43.898	16.567	9.193	12.488	3.926
1990	0.627	34.836	1.152	62.505	17.129	0.553	0.496	0.401
1991	0.367	40.458	0.951	38.383	16.378	27.449	8.933	1.314
1992	0.523	41.268	1.308	45.592	16.944	38.987	9.790	4.722
1993	0.265	46.534	0.699	28.784	17.210	48.240	24.872	3.821
1994	0.246	46.071	0.751	34.027	17.388	11.926	19.763	3.924
1995	0.864	37.150	1.561	44.306	16.615	45.242	18.513	5.880
1996	0.419	38.478	1.146	40.475	17.453	101.404	91.871	29.26

Las variaciones que se observan en las tres variables biológicas utilizadas en este análisis en el periodo estudiado presentan en general un leve y continuo incremento para los grupos de huevo, larva < de 6 mm y larva > de 6 mm (Figs. 10, 11 y 12). En 1978 se colectaron huevos en baja densidad solamente en el crucero correspondiente a agosto, pero en el resto de los cruceros de ese año no se presentaron ninguno de los grupos funcionales. El año de 1987, cuando se presentó otro evento El Niño también estuvieron muy pobremente representadas estas variables o estuvieron ausentes, pero entre 1991 y 1992 en que se registró otro Niño, si estuvieron presentes tanto huevos como larvas. En el periodo y estaciones analizadas aquí, fue hasta el año 1986 empezaron a aparecer en densidades muy bajas, en 1990 vuelven a disminuir para incrementarse otra vez hasta que en 1996 se registran las más altas densidades de los tres grupos incluidos.

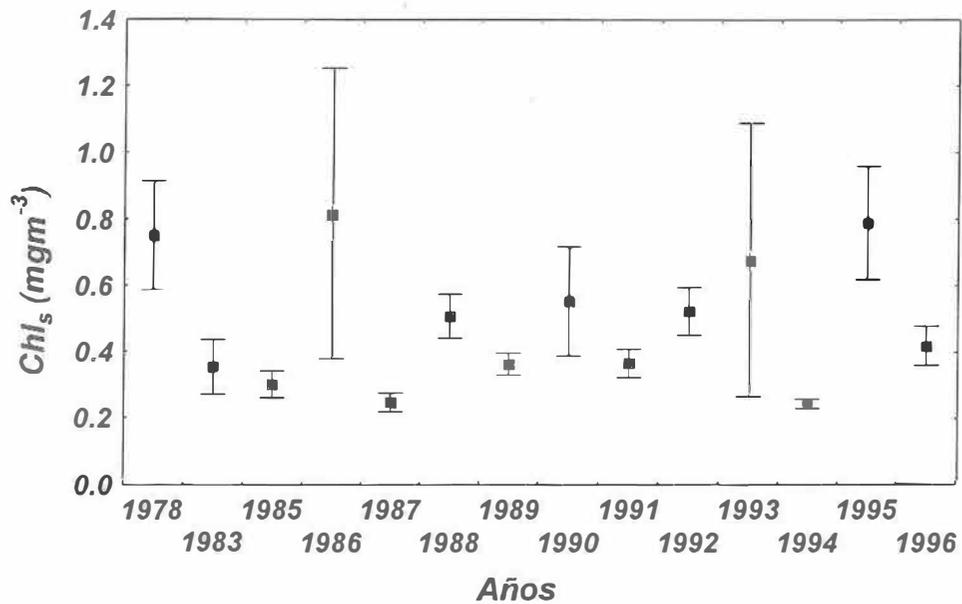


Figura 5.- Variación de la media anual de la concentración de clorofila superficial (Chl_s), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.

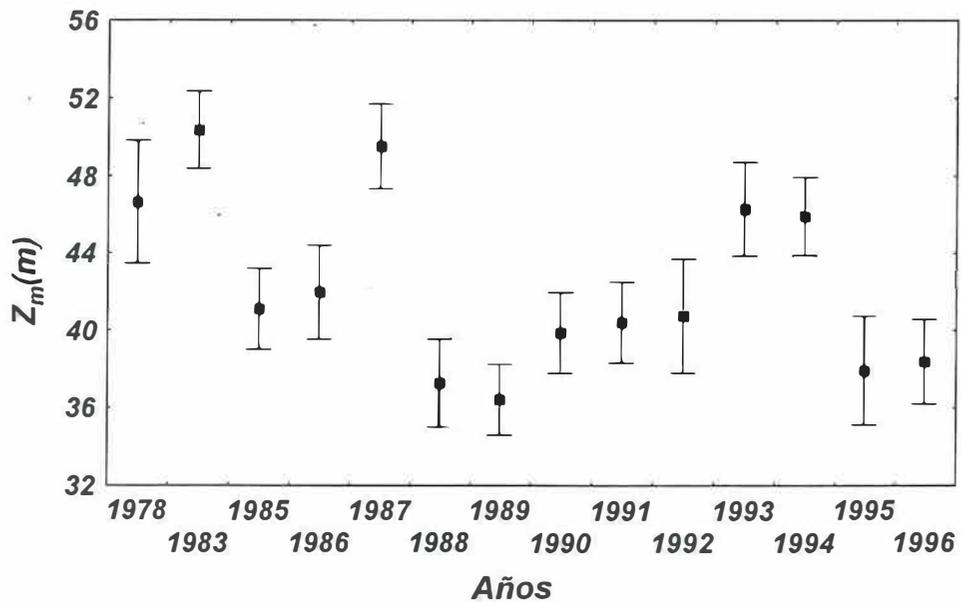


Figura 6.- Variación de la media anual de la profundidad del máximo de clorofila (Z_m), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.

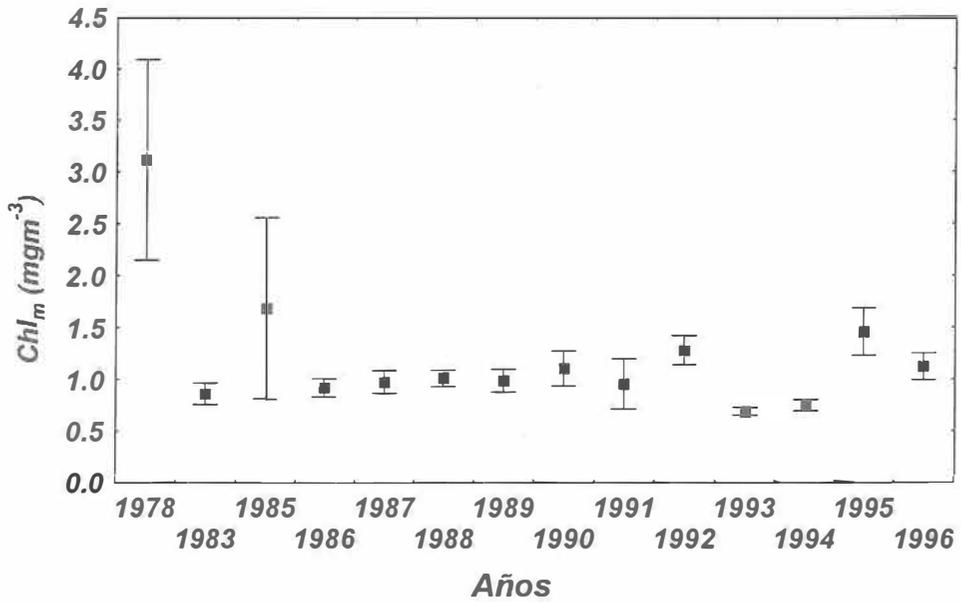


Figura 7.- Variación de la media anual de la concentración de clorofila en el máximo profundo (Chl_m), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.

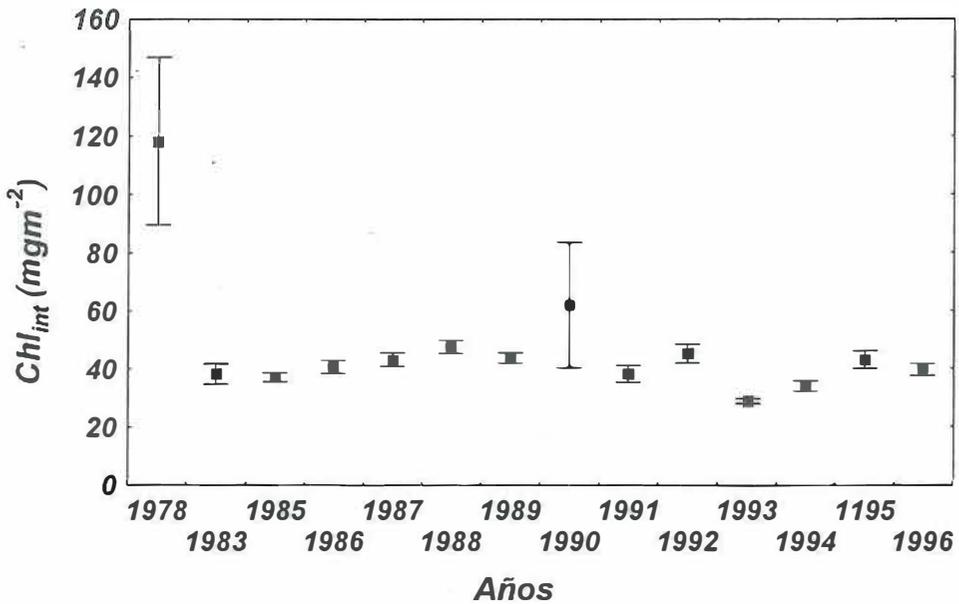


Figura 8.- Variación de la media anual de la concentración de clorofila integrada (Chl_{int}), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.

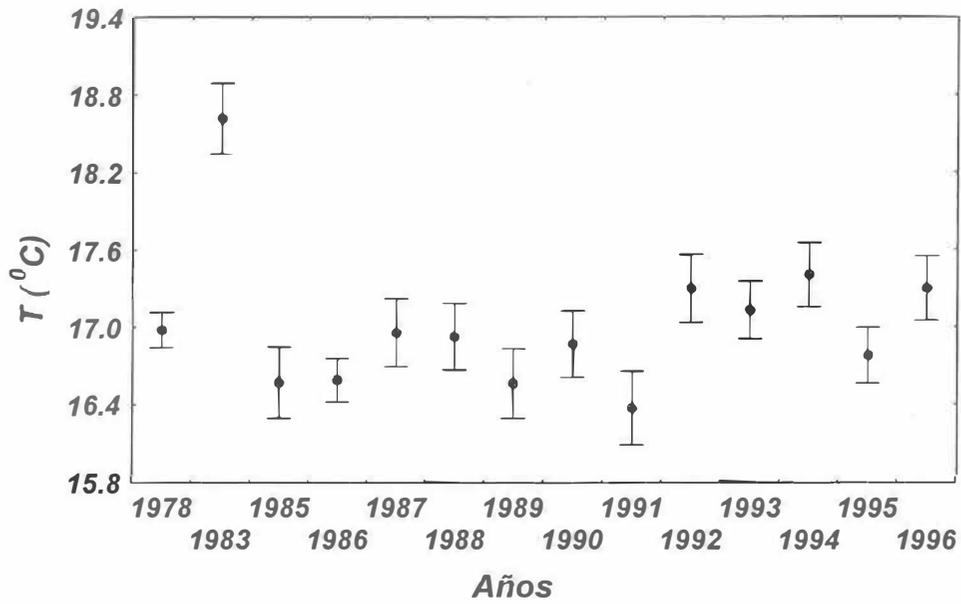


Figura 9.- Variación de la media anual de la Temperatura superficial (T_s), el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.

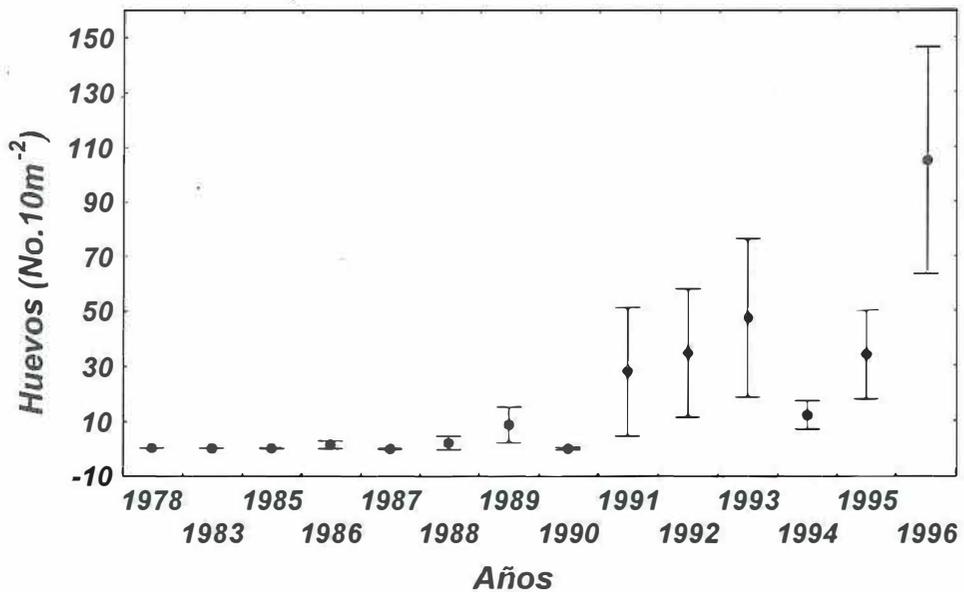


Figura 10.- Variación de la media anual de la densidad de huevos de sardina en el período estudiado, el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.

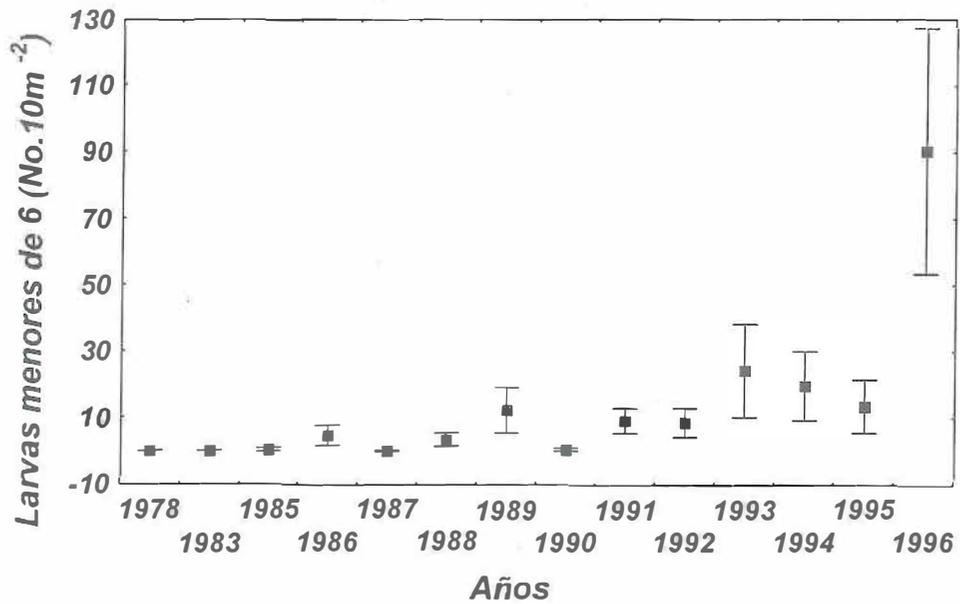


Figura 11.- Variación de la media anual de la densidad de larvas de sardina menores de 6 mm, el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar.

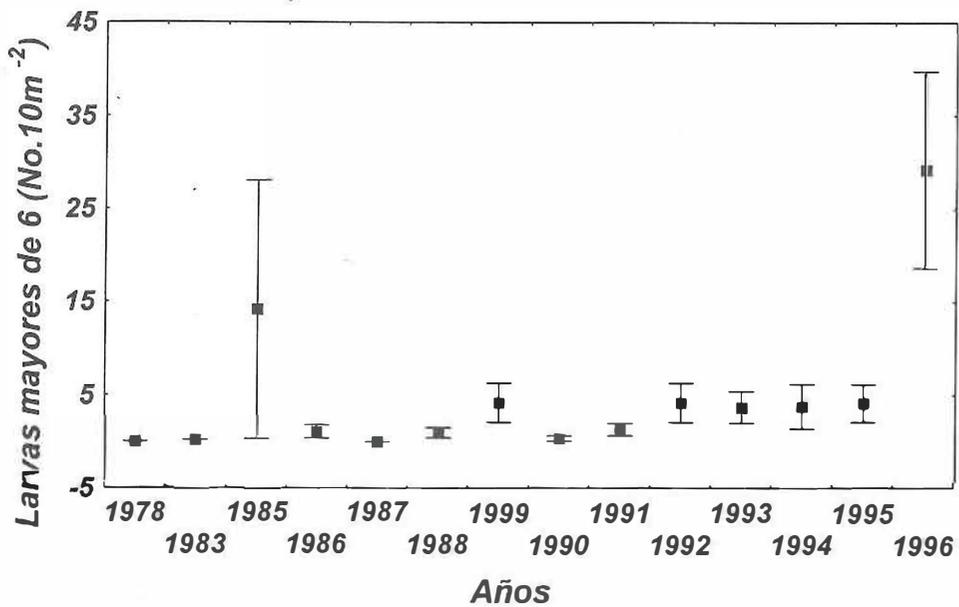


Figura 12.- Variación de la media anual de la densidad de larvas de sardina mayores de 6 mm, el cuadrado representa el valor promedio y la barra el error estándar..

Para la matriz de correlación se usaron los datos de cada estación de muestreo (1139 juegos de datos), como variables dependientes las tres variables biológicas: huevos, larvas <de 6 mm y larvas >de 6 mm; y como variables independientes: Chl_m , Z_m , Chl_s , Chl_{int} y T_s . Como los resultados no fueron los esperados, se intentó hacer la matriz de correlación con los datos de los promedios por crucero. Es importante señalar que de los 65 cruceros analizados, en 26 no se presentaron huevos ni larvas de sardina, 11 de los cuales corresponden al año 1983. En todos los casos los coeficientes de correlación resultaron bajos, el coeficiente más alto se dio entre la clorofila integrada y la clorofila en el máximo ($r = 0.92$), le sigue la clorofila superficial con la clorofila integrada ($r = 0.83$) y también la clorofila superficial y la clorofila en el máximo dieron un coeficiente alto ($r=0.79$). Las correlaciones entre las variables biológicas fueron positivas entre huevos y larvas menores con valores de $r = 0.72$, entre larvas mayores y larvas menores con una $r = 0.77$ y entre larvas mayores y huevos con una $r = 0.65$. Los casos más interesantes de la matriz de correlación se dan entre la T_s y larvas mayores, con una $r = 0$; y el caso de la Chl_{int} cuyas relaciones con todas las variables biológicas y con la T_s son negativas.

Se intentó hacer la correlación excluyendo los datos con ceros en las variables biológicas con resultados muy semejantes. También se recurrió a normalizarlos, a transformarlos mediante el uso de logaritmos y finalmente con la raíz cuarta, pero en ningún caso se obtuvieron mejores resultados. La figura 13 muestra la matriz de correlación donde se pueden observar las correlaciones obtenidas.

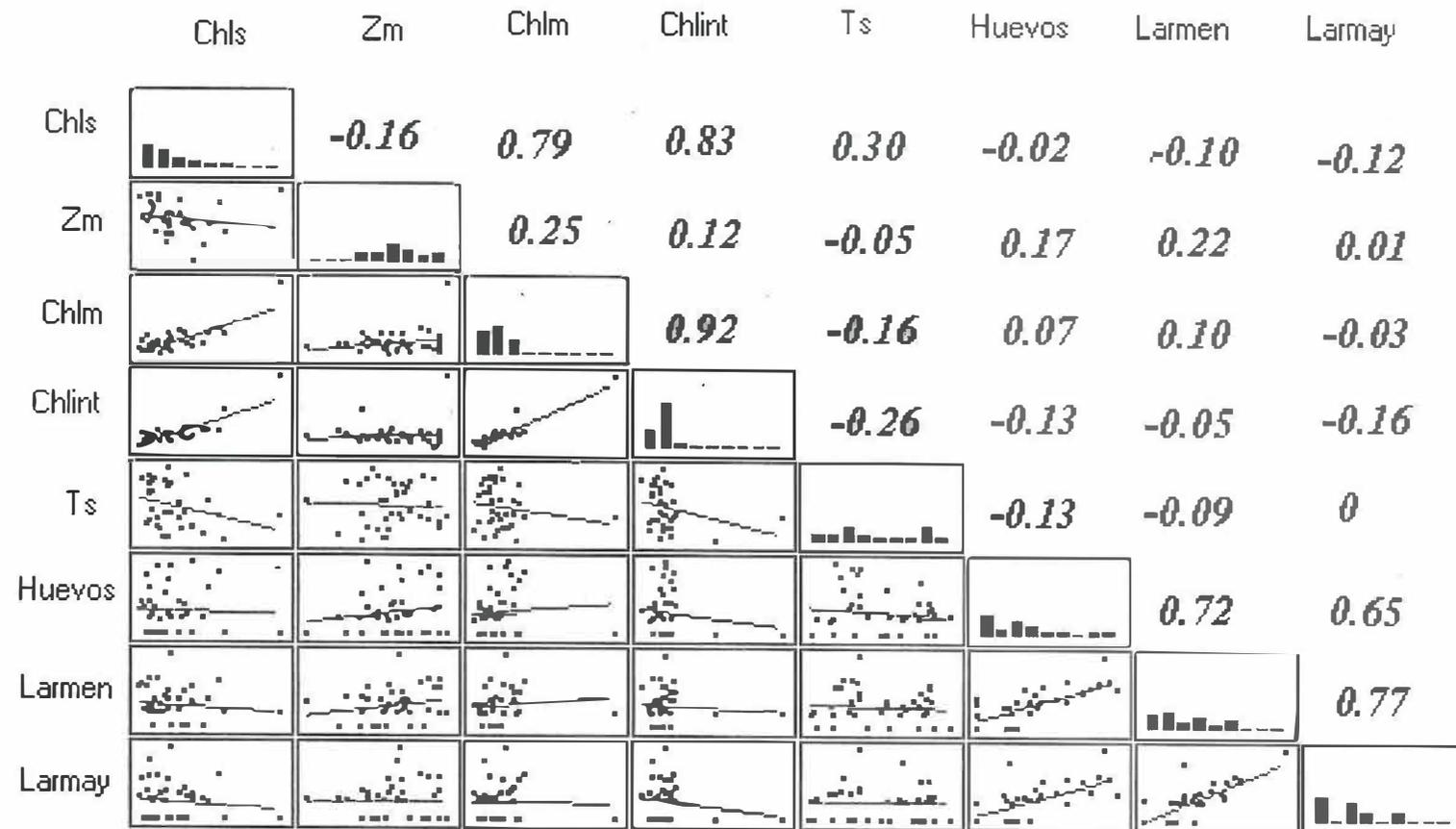


Figura 13.- Matriz de correlación múltiple entre las 8 variables. Promedios por crucero. Datos transformados.

El método de agrupamiento y estrategia de encadenamiento que dieron los resultados más interpretables de los que se probaron, fue el método de Gower, tanto para el modo "q" como para el modo "r", con la estrategia de encadenamiento de promedios de pares ponderados. Con el agrupamiento modo "q", se probó una clasificación de los sitios de muestreo con base en las variables biológicas exclusivamente y se obtuvo un agrupamiento terminal que separa a los 26 cruceros con ceros en las variables biológicas. El resto de los sitios contienen, al analizarse con una similitud de 0.85: un crucero independiente, el 9604 que en varios análisis aparece separado, caracterizado por presentar las más altas densidades de huevos y larvas y el segundo por ser el único que presenta un patrón de abundancias invertido, esto es, una menor abundancia de huevos, abundancias mayores para larvas menores de 6mm y aún mayores para las larvas > de 6 mm (Fig. 14), el resto de los cruceros se agrupan de acuerdo a las diferentes niveles de abundancia. Se realizó un segundo análisis modo "q", clasificando los cruceros con base en las variables ambientales, sin considerar las formas biológicas. En este caso se formaron grupos cuyo mayor peso reside en la T_s y la Chl_m . En este análisis se puede observar que un grupo está compuesto por cruceros que corresponden al semestre frío del año (grupo I), otro que contiene a los cruceros realizados en los meses cálidos (grupo II) y un tercero que contiene cruceros cuya Z_m se ubica entre 50 y 60 m (grupo III), un cuarto grupo (grupo IV) con las temperaturas más bajas del periodo analizado (entre 13 °C y 15 °C) y finalmente un quinto grupo con 7 cruceros cuyas temperaturas fluctuaron entre 19 °C y 22 °C, y que corresponden a eventos de El Niño (grupo V), cuatro cruceros son del año 1983 uno del 93 y otro del 87 (Fig. 15). El último análisis tipo "q" que se realizó, incluyó a las 8

variables, con los datos transformados con raíz cuarta (Fig. 16) y los resultados se interpretaron con un nivel de similitud de 0.80, con lo que se obtuvieron 4 grupos y dos cruceros independientes. A la izquierda del dendrograma se separa el crucero 9604, cuyas características se describen líneas arriba. Se forma además un grupo con densidades medias y altas de huevos y larvas. Como se ha observado en otros análisis, se separa en forma independiente el crucero 8511, que es el único con un patrón de abundancias invertido, esto es una menor abundancia de huevos, abundancias mayores para larvas menores de 6 mm y aún más altas para las larvas mayores de 6 mm. El siguiente grupo esta formado por 7 cruceros, dos de los cuales tienen solamente huevos y larvas >6mm y el resto tiene tanto larvas > de 6mm como larvas < de 6mm, en bajas densidades. El último grupo a este nivel de similitud, visualmente mostraba 4 subgrupos interpretables a una similitud de 0.90. El grupo mayor estuvo compuesto por los 26 cruceros que carecieron de huevos y larvas, otro subgrupo formado por 6 cruceros que solamente contenía larvas <6mm en densidades $\cong 0.50/10 \text{ m}^2$, el tercer grupo esta conformado por 5 cruceros que presentan únicamente huevos con densidades en promedio $< 1.0/10 \text{ m}^2$ y el cuarto subgrupo compuesto por tres cruceros con huevos y larvas < 6mm. A los grupos, que se caracterizaron principalmente por las variables biológicas, se les hizo un análisis estadístico para comparar las medias, error estándar y desviación estándar de T_s y CHL_m , con objeto de identificar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos pero los resultados fueron negativos (Figs. 17 y 18).

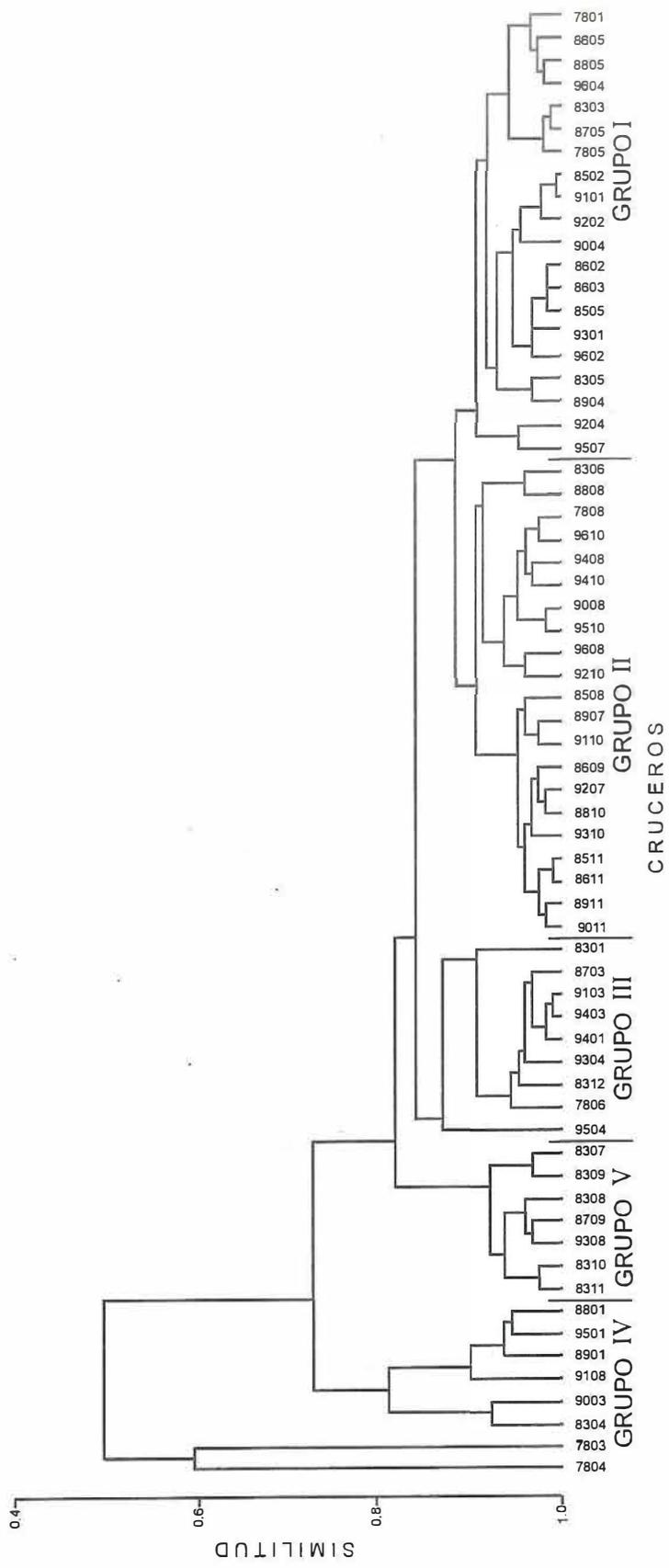


Figura 15. - Agrupamiento modo "q" de los promedios por crucero, con base en las variables ambientales.

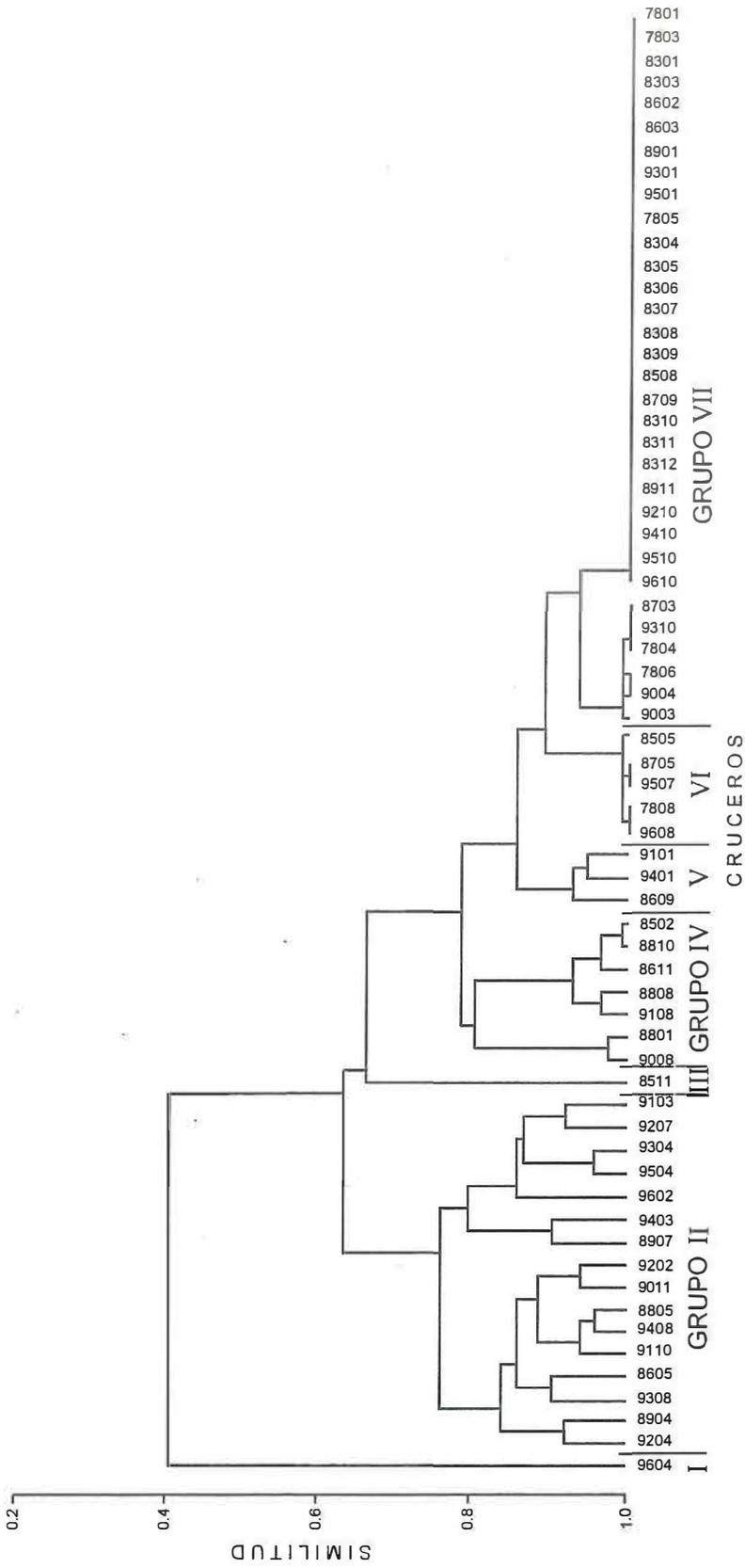


Figura 16. - Agrupamiento modo "q" de los promedios por crucero, con base en todas las variables transformadas.

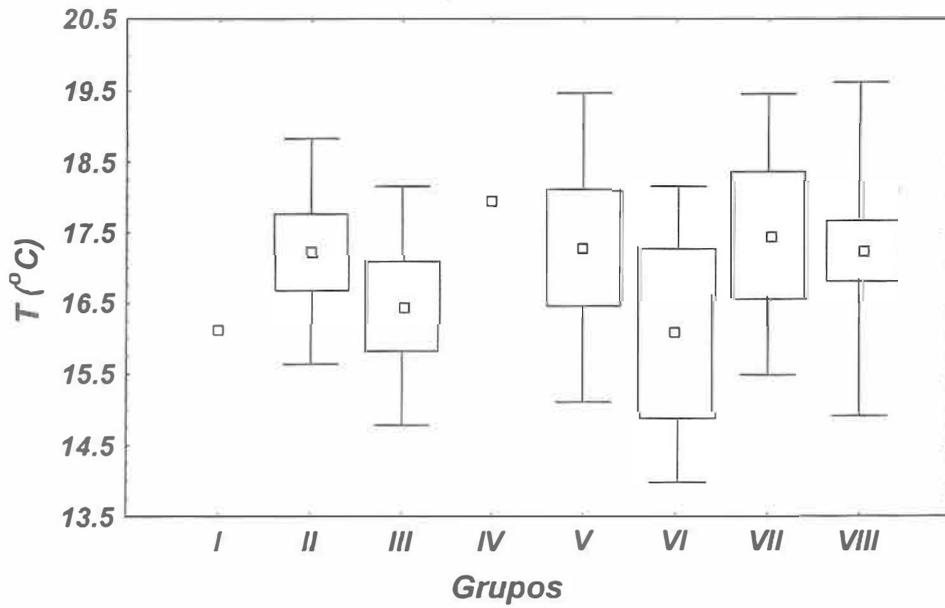


Figura 17. Análisis de la media (cuadro negro), error (caja) y desviación estándar (barra) de la temperatura superficial (T_s), en cada grupo terminal de la figura 16.

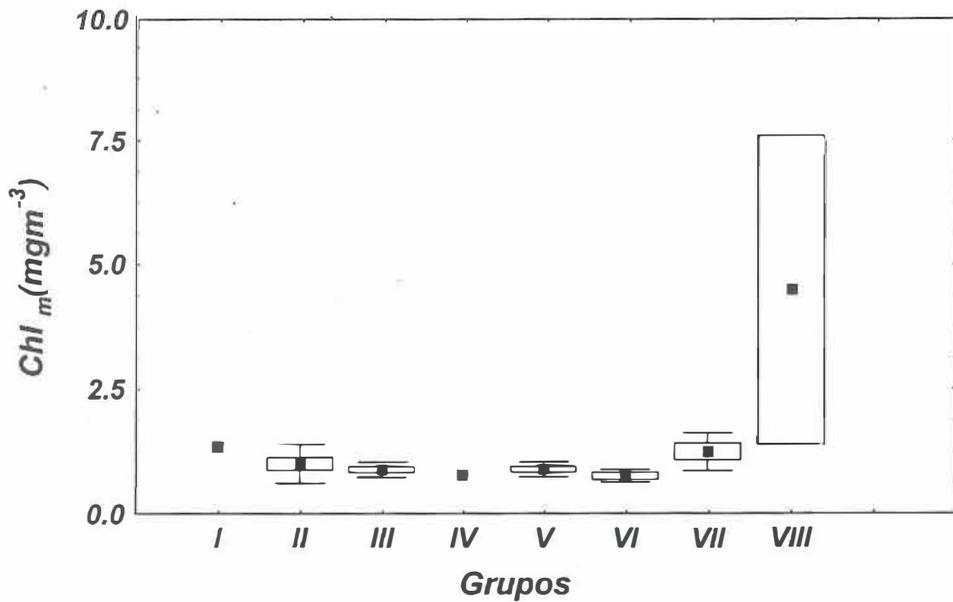


Figura 18. Análisis de la media (cuadro negro), error (caja) y desviación estándar (barra) de la clorofila en el máximo profundo (Chl_m), en cada grupo terminal de la figura 16.

También para el modo "r" de clasificación se probaron diferentes formatos para los datos, el primero que se realizó contenía los datos por estación de muestreo (1139 juegos de datos con 8 variables). Los resultados se presentan en la figura 19, donde se puede observar un agrupamiento terminal a 0.98 de similitud, que contiene a la Chl_s , Chl_m , huevos y larvas. A este grupo se le une la temperatura superficial con 0.67 de similitud,. El otro grupo que se formó contiene a la Chl_{int} junto con la Z_m a una similitud de 0.56. Estos dos grupos se unen a una similitud muy baja de 0.39.

Finalmente, se hizo un último análisis eliminando la Chl_s basados en la relación alta entre ésta y la Chl_m (Millán *et al.*,1996) usando los promedios por crucero con los resultados siguientes: un grupo con 0.95 de similitud que contiene solamente a larvas mayores y Chl_m , éste se une con 0.90 de similitud a larvas menores, los cuales se agrupan con los huevos con similitud de 0.87. A todo este grupo se incorpora la T_s con 0.64 de similitud. El otro grupo lo conforman la Z_m y la Chl_{int} (Fig. 20).

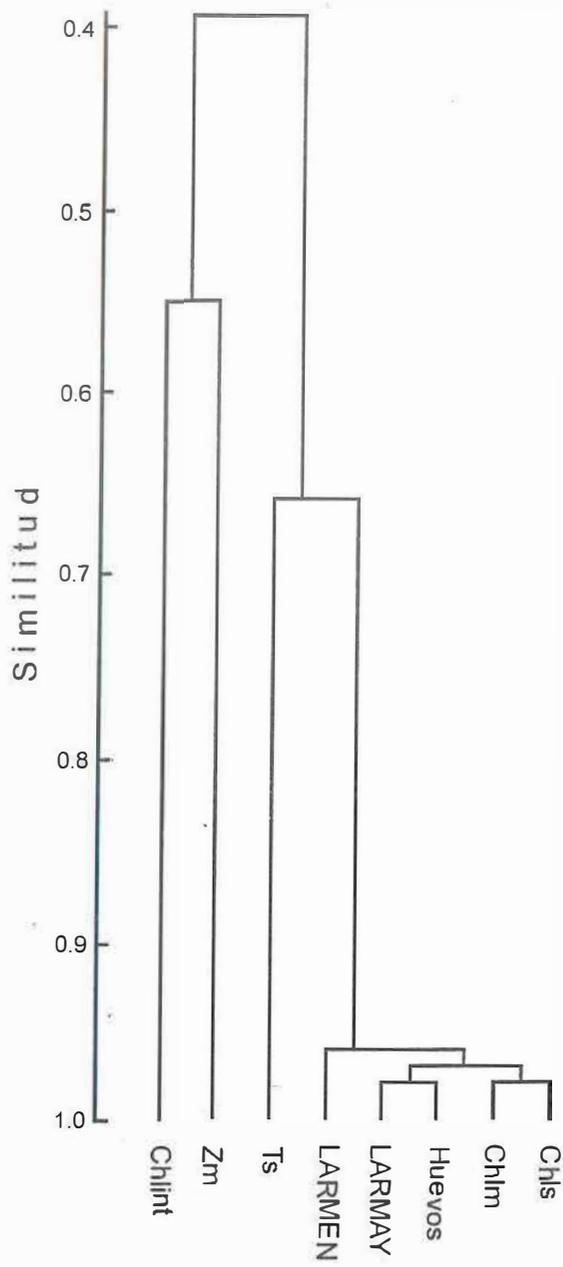


Figura 19 Dendrograma modo "r" de todas las variables consideradas en este estudio (1139 datos).

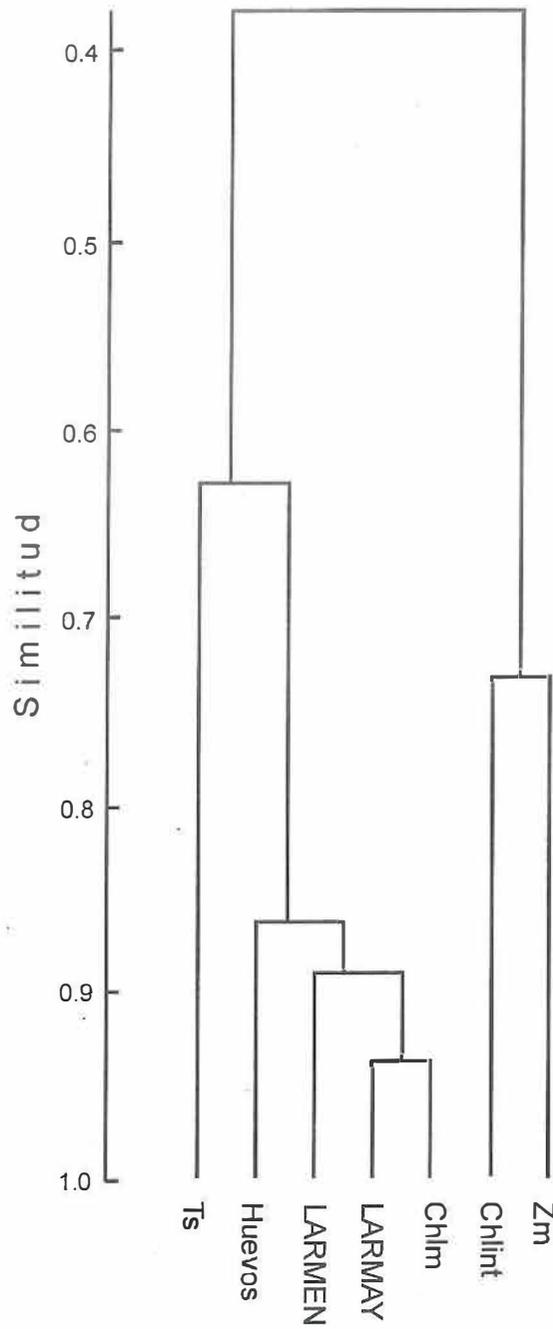


Figura. 20.- Dendrograma (modo r) de siete variables (Chl_s excluida) promedios por crucero y transformados.

VI. DISCUSION

A lo largo del texto se ha denominado como “grupos funcionales” o “variables biológicas” de la sardina a diferentes estadios de desarrollo de la larva por razones que deben aclararse. Los métodos modernos de estimación de las existencias de pelágicos menores se basan en colecciones de huevos y estudios histológicos de las gónadas (Lasker , 1985b y Lo *et al.*, 1996). Cuando los cardúmenes de sardina desovan, no lo hacen en cualquier sitio, ni en cualquier momento del día; como tampoco lo hace todo el cardumen simultáneamente, ni cada hembra desova totalmente en una sola oviposición. Por lo tanto la inclusión de los huevos de sardina en las correlaciones tiene como primer objetivo conocer si existe alguna relación entre la presencia de adultos desovadores con las variables ambientales pero también nos da una idea general de las condiciones ambientales en las que los huevos se están desarrollando.

Un segundo grupo funcional es el estadio de “larvas menores de 6 milímetros”. En realidad se trata de larvas con vitelo, que al principio no utilizan el alimento disponible en el ambiente. Es el período en el que se presenta la llamada “etapa crítica” porque al terminarse el vitelo debe estar totalmente desarrollada la visión y el aparato mandibular. Esta es la etapa en la que se presenta alta mortalidad por inanición, y es además cuando es necesario que la turbulencia no disgregue los parches de alimento, porque el gasto energético para realizar su búsqueda no debe ser excesivo, ya que el debilitamiento por el tiempo sin recibir energía externa las conduce a un punto llamado de “no retorno” en el que aunque se detectara alimento no hay suficientes reservas energéticas para intentar capturarlo.

El tercer grupo funcional es el de “larva mayor de 6 milímetros”, es la larva que ya se alimenta, del fitoplancton al principio y posteriormente de zooplancton, hasta alcanzar el estadio de juvenil aproximadamente en dos meses.

En los trabajos clásicos de Ahlstrom (1959 y 1965) que muestran los resultados de las abundancias de larvas de varias especies típicas de la Corriente de California, menciona que el 80% de las larvas de sardina mayores de 6mm, que ya se alimentan, se encuentran alrededor de los 30 m de profundidad, mientras que, están más cerca de la superficie las que aún presentan vitelo. Sin embargo su distribución general abarca desde la superficie hasta los 110 m; y los huevos pueden estar desde la superficie hasta antes de los 50 m o en algunos casos hasta los 110 m. En ambos casos su mayor abundancia esta ligada al inicio de parte superior de la termoclina.

A la vista de la información histórica analizada en este trabajo (periodo de 18 años), apoyándonos además en las consideraciones que hace Bakun (1999) sobre las surgencias y la hipótesis de la ventana ambiental óptima, y dado que los valores del índice de Bakun en la SCB son en general bajos, se entiende que no se haya incluido dicho índice.

En relación a las variables consideradas en este análisis, algunas mostraron cambios que vale la pena discutir; la clorofila en el año 1978 mostró valores altos, que a lo largo del periodo estudiado no se vuelven a presentar, sin embargo, en esa temporada las larvas y huevos de sardina estuvieron ausentes en la SCB, pero si se observa como las densidades de huevos y larvas de sardina aumentan hacia finales de la década de los 80. La ausencia de larvas y huevos de sardina se confirma por Brewer *et al.*, (1981) en su reporte sobre la abundancia vertical de huevos y larvas de peces para los meses de junio y octubre de 1978

en esa localidad. En los registros del Southwest Fisheries Center de la NOAA, correspondientes a las líneas 90 y 93 del Plan de estaciones CalCOFI, raramente se encontraron huevos y larvas de sardina en las muestras de plancton desde los años 1970's. De acuerdo con los datos aquí obtenidos, con respecto a huevos y larvas de sardina, ese incremento no parece haberse sostenido de igual forma en los 1990s en la SCB. Esto nos coloca ante la duda de si el cambio favorable de las condiciones ambientales fue solamente temporal, local o si se trata de un cambio de mayor dimensión en espacio-tiempo. MacCall (1996) concluye que la alternancia de regímenes de baja temperatura con épocas de calentamiento en periodos de 50 a 60 años, producen a su vez fluctuaciones en las poblaciones de peces pelágicos; algunos indicadores biológicos le permiten especular un poco sobre una posible transición a un régimen más frío en aproximadamente una década; afirma además, que afortunadamente parece haber un patrón sustancial y predicción estadística en la variabilidad a largo plazo, física y biológica, del ecosistema de la Corriente de California. Por lo anterior se ve que una de las principales limitaciones de los alcances de este estudio estriba precisamente en lo reducido del área analizada y en el periodo que escasamente abarca dos décadas, cuando los cambios que se registran en el área ocurren en periodos de 50 o 60 años.

Sobre la variación anual de la Z_m que se muestra en los resultados (Fig. 5), se observa que la profundidad de la máxima concentración de clorofila se ha mantenido entre 35 y 55 m en el periodo analizado aunque entre 1988 y 1993 se observa una tendencia a incrementar su profundidad, en 1995 y 1996 se vuelve a hacer más superficial, por lo tanto, usando la Z_m como referencia de la profundidad de la termoclina, no hay una evidencia en

el área de trabajo de que haya cambiado esta variable de manera sensible. En este sentido, la variación de la profundidad de la máxima concentración de clorofila en la SCB no se comportó como lo mencionó Hayward (1996).

A partir de los 1970s se ha duplicado la clorofila integrada en el Pacífico Norte subtropical, asociado con un enfriamiento en la temperatura y un incremento en los vientos invernales, lo que no se hace evidente en nuestro análisis ya que a excepción de 1978 en que alcanzó valores muy altos, la Chl_{int} mostró una tendencia a oscilar alrededor de los 40 mg m^{-2} y el único año que se sale de este patrón es el año de 1990. Aunque el incremento del viento a lo largo de la costa es consistente, las consecuencias predichas sobre el enfriamiento de la temperatura superficial del mar y el incremento en la producción son opuestas al incremento observado de la temperatura (0.8°C en el periodo 1950-1991) y al decremento de la biomasa zooplanctónica (McGowan *et al.*, 1996). En este estudio se observa también una ligera tendencia al incremento en la temperatura superficial dentro de la SCB con excepción del año 1991, en que la T_s bajó hasta 14.5°C en promedio desde enero hasta marzo, con un promedio anual de 16.4°C .

Aunque la relación de las larvas mayores con la Chl_m que se observa en el último dendrograma (Fig. 20) puede no ser directa, ya que éstas se alimentan principalmente de larvas nauplio y ellas a su vez de fitoplancton, la relación existe con valores de similitud de 97%. McGowan (1996) menciona acerca del tipo de relación entre los huevos y larvas de sardina y el zooplancton, que al parecer no resulta sencillo decidir en que nivel trófico se coloca a las larvas de peces, pero si es resulta importante mencionar que las larvas mal

alimentadas tendrán pocas probabilidades de reclutarse a la población adulta. Esto nos hace pensar que aunque no esta definida claramente, alguna relación de variación debe establecerse entre la biomasa de zooplancton y las abundancias de larvas de peces, y también entre las abundancias de macrozooplancton y la de adultos, ya que de ello dependerá que el desove sea también exitoso.

Es del conocimiento general que las surgencias transportan nutrientes a la zona fótica, incrementando con ello la producción en toda la cadena alimentaria. De ello resultan beneficiados tanto adultos como larvas de sardina, siempre que los vientos y las surgencias no sean muy fuertes (McGowan, 1996). Por lo tanto, la producción de una clase anual fuerte de sardina estará regulada en gran medida por la sobrevivencia de los estadios larvarios. Esto es, las grandes variaciones en abundancia larvaria resultarán en variaciones en el reclutamiento, pero estas no muestran una relación directa con la biomasa zooplanctónica. En la SCB, se presentaron valores altos de clorofila en 1978 y 1990, en el primer año la población adulta estaba muy deprimida, pero es evidente que hubo éxito en el reclutamiento dado el incremento tanto de la población desovadora de sardina (Smith, 1990) como de huevos y larvas en general, como se observa en la tendencia al incremento en los resultados (Figs. 10, 11 y 12) de este análisis, que variaron desde cero en 1978 hasta 101.4 por 10 m² en 1996; coincidentemente, el año de 1985 cuando empiezan a aparecer en las colectas de plancton los huevos y las larvas, la Chl_m muestra un ligero repunte en sus valores promedio.

En el dendrograma modo r que se presenta en la figura 19 se eliminó a la clorofila superficial apoyados en dos razones importantes: Hayward y Venrick (1982) recomiendan

cautela con el uso de la clorofila superficial como indicador del estado biológico de los ecosistemas, a pesar de que está correlacionada con la productividad y con la clorofila integrada, y por otra parte Millan *et al.* (1996), encuentran una correlación muy alta entre la clorofila superficial y la clorofila en el máximo. En este análisis, los promedios anuales de la Chl_s no muestran variaciones importantes, pero se une con similitud muy alta a la Chl_m en el agrupamiento modo r de la figura 18, algo que no se observa con la Chl_{int} por ejemplo. El resultado del análisis de agrupamiento permitió encontrar una alta similitud entre las densidades de larvas mayores y la concentración de clorofila en el máximo.

Retomando el marco teórico conceptual que se presenta en la figura 1 y a la luz de los resultados encontrados en los dendrogramas podemos ahora agregar una conexión directa desde la disponibilidad de alimento hacia la abundancia de huevos y larvas como se muestra en la figura 21.

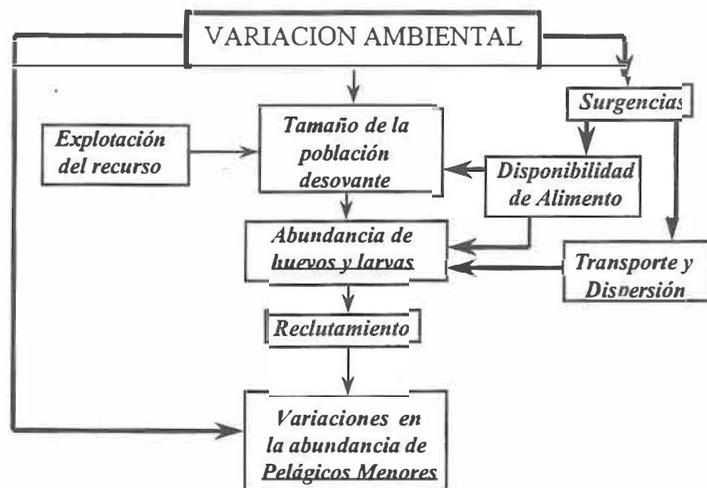


Figura 21.- Variables que determinan las fluctuaciones en abundancia de sardina.

VII. CONCLUSION

En virtud de la gran cantidad de variables ecológicas y oceanográficas que determinan las variaciones de las densidades de huevos y larvas de sardina, lo que se puede decir como corolario de este análisis, es que se ha detectado un agrupamiento entre las abundancias de huevos y larvas de sardina con el máximo profundo de clorofila y con la temperatura superficial en la SCB, pero no es posible, considerando los alcances espacio temporales del análisis, predecir esta relación.

LITERATURA CITADA

- Ahlstrom, E.H.** 1959. Vertical distribution of pelagic fish eggs and larvae off California and Baja California. Fishery Bull. 161, Vol. 60: 146 pp.
- Ahlstrom, E.H.** 1965. A Review of the effects of the environment on the Pacific Sardine. Inter. Com. for the Northwest Atlantic Fisheries. Spe. Publ. No. 6: 53-74.
- Bagenal, T.B.** 1971. The Inter-relation of the size of fish eggs, the date of spawning and the production cycle. J. Fish. Biol. 3:207-219.
- Bakun, A.** 1999. A Dynamic Scenario for Simultaneous Regime-Scale Marine Population Shifts in Widely Separated Large Marine Ecosystems of the Pacific. En: K. Sherman and Q. Tang. (Eds.) Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim. Assessment, Sustainability, and Management Blackwell Science. : 2-26.
- Bakun, A. and R.H. Parrish.** 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current Systems. CalCOFI Rept. 23: 99-112.
- Baumgartner, T.R., A. Soutar, and V. Ferreira-Batrina.** 1992. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy population over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, Calif. CalCOFI Rep. 33: 24 - 40.
- Blaxter, J.H.S and J.R. Hunter.** 1982. The Biology of the Clupeoid Fishes. Advances in Marine Biology. 20: 1-223.

- Brewer, G.D., R.J.Lavenberg, and G.E. McGowan.** 1981. Abundance and Vertical Distribution of Fish Eggs and Larvae in the Southern California Bight: June and October, 1978. Rapp. P.-v. Reun. Cons.int. Explor. Mer. 178:165-167.
- Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevarez-Martínez y M.G.Hammann.** 1995. The rise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, Mexico. CalCOFI Rep.36: 136-143.
- Cury, P and C.Roy.** 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment succeeds in upwelling areas. J.Can.Fish.Aquat. Sci. 46(4):670-680.
- Eppley, R.W.** 1992. Chlorophyll, photosynthesis and new production in the Southern California Bight. Prog. Oceanog. Vol. 30: 117-150.
- FAO.** 1997. Aquacult-PC. Time series of production from aquaculture (quantity and values) and capture fisheries (quantities). Release 8495/97.
- Field, J.G., K.R. Clarke, and R.M. Warwick.** 1982. A Practical Strategy for Analysing Multispecies Distribution Patterns. Marine Ecology Progress Series 8: 37-52.
- Gauch, H.G.** 1982. Multivariate Analysis in Community Ecology. Cambridge Univ. Press. New York. 356 pp.
- Gower, J.C.** 1971. A General Coeficient of Similarity an Some of its properties. Biometrics 27:857-874.

- Hayward, T.L.** 1996. Long Term Change in the North Pacific Ocean: A Consideration of Some Important Issues. CalCOFI Rep. Vol. 37:
- Hayward, T.L. and E.L. Venrick.** 1982. Relation Between Surface Chlorophyll, Integrated Chlorophyll, and Integrated Primary Production. Marine Biology 69: 247-252.
- Heminway, G.T.** 1979. A description of the California Current ecosystem by factor analysis. CalCOFI Rep. 20:164-183.
- Hernández-Vázquez, S.** 1994. Spawning patterns for sardine and anchovy. CalCOFI Rep 35:94-107.
- Hernández-Vázquez, S.** 1995. Distribución y abundancia de huevos y laravs de sardina y anchoveta en las costas de California y Baja California y su relación con factores ambientales: 1951-89. Tesis Doctoral, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México. 178 pp.
- Hjort, J.** 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research . Rapp. P.-v Rèun. Cons perm. Int. Exp'lor. Mer, 20:1-228
- Holmgren-Urba, D. and T. Baumgartner.** 1993. A 250 year History of Pelagic Fish Abundances from the Anaerobic Sediments of the Central Gulf of California. CalCOFI Rep.34:60-68

- Jones, R.** 1979. Stock and Reclutamiento. En: Modelos para la evaluación de poblaciones de peces . FAO. Fisheries Circular (701): 135-145.
- Lasker, R.** 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fish. Bull. 73 (3): 453-462.
- Lasker, R.** 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: identification of factors contributing to recruitment failure. Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer,173:212-230.
- Lasker, R.** 1984. Marine Fish Larvae. Morphology, ecology, and relation to fisheries. Univ. Wash. Press. 131 pp.
- Lasker, R.** 1985^a. What limits clupeoid production? Can. Jour. Fish. Aquat. Sci. Vol. 42 (Suppl. 1): 31 -38.
- Lasker, R., ed.** 1985b. An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic fish: application to the Northern Anchovy (*Engraulis mordax*). U.S. Department of Commerce NOAA Technical Report NMFS 36, 99pp.
- Lo, N.C.H., Y.A. Green, R., M.J. Cervantes, H.G. Moser, and R.J.Lynn.** 1996. Egg Production and Spawning Biomass of Pacific Sardine (*Sardinops sagax*) in 1994 Determined by the Daily Egg Production Method. CalCOFI Rep. 37: 160-174.

- Lluch-Belda, D.** 1999. The Interdecadal Climatic Change Signal in the Temperate Large Marine Ecosystems of the Pacific. En: K. Sherman and Q. Tang. (Eds.) Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim. Assessment, Sustainability, and Management. Blackwell Science. : 42-47.
- Lluch-Belda, D., R.A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. Hedgecock, and R.J.M. Crawford.** 1992a. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. Fish. Oceanogr. 1:4, 339-347.
- Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vazquez, D.B. Lluch-Cota y C.A. Salinas-Zavala.** 1992b. La variación oceánica interanual en el marco del cambio global. Ciencia 43, No. Especial: 139-144.
- Lynn, R.J. and J.J. Simpson.** 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. J.Geophys. Res. 92(12): 12947- 12966.
- McGowan, J.A. D.B. Chelton, and A. Conversi.** 1999. Plankton Patterns, Climate, and Change in the California Current. En: K. Sherman and Q. Tang. (Eds.) Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim. Assessment, Sustainability, and Management. Blackwell Science: 63-105.
- MacCall, A.D.** 1996. Patterns of Low-Frequency Variability in Fish Populations of the California Current . CalCOFI Rep. 37: 100-110.

- Mann, K.H. and Lazier, J.R.N.** 1993. Dynamics of marine Ecosystems. Biological-Physical Interactions in the Oceans. Blackwell Sci. Publ.
- Millán-Nuñez, R., S. Alvarez-Borrego and Ch.C. Trees.** 1996. Relationship between deep Chlorophyll maximum and surface Chlorophyll concentration in the California Current. CalCOFI Rep. Vol 37: 241-250
- Millán-Nuñez, R., S. Alvarez-Borrego and Ch.C. Trees .** 1997. Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. J.Geoph. Res Vol. 102:.8587-8595.
- Myers, R.A. and N.J. Barrowman** 1996. Is fish recruitment related to spawner abundance? Fish. Bull. 94: 707 - 724.
- Pelaez, J. and J.A. McGowan.** 1986. Phytoplankton Pigment Patterns in the California Current as determined by Satellite. Limnol. Oceanogr. 31: 927-950.
- SCOR.** 1998. Proceedings of the Scientific Committee on Oceanic Research. Final Report- Worldwide Large-scale Fluctuations of Sardine and Anchovy Populations. SCOR Working Group 98. Annex 4: 53-56.
- Sherman, K.** 1994. Sustainability, Biomass Yields, and Health of Coastal Ecosystems: an ecological Perspective. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol112: 277-301.
- Smith, P.** 1990. Monitoring Interannual Changes Spawning Area of Pacific Sardine (*Sardinops Sagax*). CalCOFI Rep. 31:145-151.

Soutar, A. and J.D. Isaacs. 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. CalCOFI Rep. 13: 63-70.

Valdez-Holguín, E., S. Alvarez-Borrego and B.G. Mitchell. 1998. Photosynthetic parameters of phytoplankton in the California Current System. CalCOFI Rep. 39: 148-158.