



**Posgrado del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México**

**Ecodetección de peces pelágicos menores y su relación a la
dinámica oceanográfica. Para la costa oeste de B.C.
de Octubre 1994 - Abril 2001**

T E S I S

que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias
(Ecología de sistemas pelágicos)

Presenta:

Oc. Jesús Antonio Rojas Méndez

Dr. Carlos Robinson Mendoza, director.
Dr. Adolfo Gracia Gasca, presidente del jurado.
Dr. Francois Gerlotto, tutor.
Dr. Miguel Fernando Lavín Peregrina, tutor.
Dr. Xavier Chiappa Carrara, vocal.

México D.F. MARZO 2007.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico esta Tesis:

A mis padres: Manuel Rojas Romero e Isabel Méndez López por su ejemplar, generoso y siempre desinteresado apoyo a mi persona.

A Elvira

A todos mis hermanos y sobrinos.

A esas personas que me han acompañado a lo largo de mi vida brindándome su amistad y cariño: Maribel, Alain, Christian, Inken, Roberto, Laura, Leah, Ramón, Vera, Joyce, Dr. Valentin, Brenda, Brianna, Adriana, Tobias, Rebeca, Nirari, Anajetzy, Erika.

A mis compañeros del posgrado y del laboratorio:

Vicente Anislado Tolentino, Antonio López Serrano, Patricia Ramos Chaparro, Julián Santa Maria, Jacsani Pérez, Rosalina, Aldo, Lupita, Ikebana, por su ayuda y amistad.y tantos otros y otras que no menciono pero que no olvido.

Agradecimientos

Dr. Carlos Robinson Mendoza por dirigir la presente tesis así como por brindar los datos y la infraestructura científica para la realización de la misma en el laboratorio de ecología de pesquerías del ICMYL de la UNAM.

Dr. Adolfo Gracia Gasca, por la revisión del trabajo y su participación como presidente del jurado de examen de grado.

Dr. Xavier Chiappa Carrará por las múltiples revisiones hechas a este trabajo desde su inicio y su participación como vocal en el jurado de examen de grado.

Dr. Francois Gerlotto, por la evaluación del presente trabajo en calidad de tutor y de experto en acústica pesquera.

Dr. Miguel Lavín Peregrina, por las críticas hechas al trabajo en su calidad de tutor y e investigador en física oceanográfica.

Y por sus valiosas aportaciones y críticas a este trabajo como miembros eventuales del comité examinador en los tutorales, a los doctores:

Dr. Javier Carmona Jiménez

Dr. Alfonso Lugo Vázquez

Dr. Roberto Arreguín Espinoza

Dra. Gloria Vilaclara Fatjó

Dra. Carmen Bazúa Durán, por sus clases de bioacústica así como por las revisiones y críticas hechas al presente trabajo durante el segundo año de su realización.

A Elvira Demasi Zavala por la última revisión y crítica al documento final

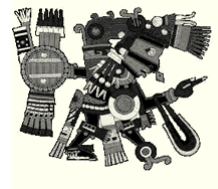
M.C. Margarito Álvarez Rubio por sus clases de análisis multivariado y su ayuda en el análisis estadístico exploratorio de la información de esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al posgrado del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca brindada.

A la Tripulación del B/O El Puma, en especial a los primeros oficiales; Héctor U. Granja; Pascual Barajas; Ezequiel Velázquez y Adrián Cantú por hacer posible día con día la investigación oceanográfica en México.

*¿An tlen nitauhca yez in tlatcipac?
Ma nel xochitl, Ma nel Cuicatl.
O nen tacico
Tonquiazco in tlatcipac*



INDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

2. ANTECEDENTES

2.1 Los peces pelágicos menores

2.2. Breve historia de la hidroacústica

3.OBJETIVOS

4.HIPÓTESIS

5. ÁREA DE ESTUDIO

6. METODOLOGÍA

6.1. DATOS OCEANOGRÁFICOS

6.2. DATOS ACÚSTICOS

6.2.1. Fundamentos teóricos de la hidroacústica

6. 2. 2. Información acústica obtenida en el presente trabajo

6. 2. 3. Determinación de la longitud del pez a partir de valores de FB

6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

6.3.1. Estadística descriptiva de datos acústicos y oceanográficos

6.3.2. Análisis de varianza de una vía (ANOVA)

7. RESULTADOS

7.1. RESULTADOS OCEANOGRÁFICOS

7.1.1. Perfiles de temperatura y salinidad climatológicos

7.1.2. Diagramas Temperatura-Salinidad (DTS)

7.1.3. Series de tiempo de temperatura

7.1.4. Series de tiempo de salinidad

7.1.5. Profundidad de la capa mezclada e intensidad de la termoclina

7.1.6. Profundidad de mezcla

7.2. DATOS ACÚSTICOS

7.2.1. Abundancia

7.2.2 Grado de agrupamiento

7.2.3 Comparación de datos acústicos por zonas y profundidades

7.3 Análisis de conglomerados

8.DISCUSIÓN

8.1.1. Temperatura y salinidad antes de El Niño 97-98

8.1.2. Temperatura y salinidad durante El Niño 97-98

8.1.3. Temperatura y salinidad después de El Niño 97-98

8.1.4. La termoclina y la capa de mezcla

8.2. Validación de los ecos

8.3. Efecto de EN 97-98 en la abundancia y distribución de los peces pelágicos

8.3.1. Distribución de la densidad de peces

8.3.2. La abundancia por niveles de profundidad

8.3.3. Grado de agrupamiento de los cardúmenes de peces

9. CONCLUSIÓN

10. BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE A GLOSARIO DE TÉRMINOS ACÚSTICOS

APÉNDICE B Tablas de Fecha y posición de los lances

APÉNDICE C Algoritmos de Mat-lab 6.5 utilizados

Palabras Clave:

Peces pelágicos menores.

Hidroacústica.

Capa mezclada.

Temperatura y salinidad durante El Niño 97-98.

Efecto de El Niño 97-98 en la abundancia y distribución de los peces pelágicos.

Distribución de la densidad de peces.

Grado de agrupamiento de los cardúmenes de peces.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el cambio climático global y la creciente presión que la población humana ejerce sobre los recursos naturales, en particular sobre los ecosistemas, demandan políticas de manejo de recursos naturales orientadas a responder a las necesidades del hombre manteniendo la salud de los ecosistemas. Se habla incluso de un escenario en el cual se pueda colapsar la diversidad en medio siglo si se continúan los modos de explotación actuales (Worm *et al.*, 2006). Los autores que alertan sobre esta situación concluyen que esto aún es reversible. Para lograrlo es necesario cambiar las políticas de manejo incorporando los últimos conocimientos aportados por la ciencia sobre la dinámica de las variables ambientales, las fluctuaciones de los recursos, y de la interacción existente entre ambas.

En el océano las oscilaciones climáticas afectan sensiblemente la dinámica poblacional de organismos de importancia pesquera que forman parte de los grandes ecosistemas pelágicos como los existentes en zonas de surgencia. Por ser altamente dinámico, el ecosistema pelágico plantea una tarea a la investigación, esto es, conocer detalladamente el conjunto de interrelaciones entre el componente biótico y el abiótico. Los peces pelágicos menores son un componente importante del ecosistema pelágico marino y tienen gran importancia pesquera. Su relación con las variaciones del ambiente constituye uno de los principales ejemplos donde aplicar un enfoque ecosistémico, el cual es un concepto introducido a partir de la segunda convención sobre diversidad biológica en Yakarta (1995) y se basa en la aplicación del método científico a diferentes niveles de organización biológica abarcando funciones e interacciones interespecíficas e interecosistémicas que promueve la conservación y el uso sostenible y equitativo de los recursos (Escobar-Ramírez 2001). El desarrollo de un enfoque ecosistémico requiere de acciones en los ámbitos político, científico e industrial, para llegar a esta aproximación a la ciencia se le demanda, entre otras cosas, identificar medidas efectivas y alcanzables de manejo, crear estrategias de rehabilitación de los recursos, dar credibilidad a factores de riesgo, e integrar a las ciencias sociales (García y Cochrane, 2005); pero fundamentalmente el conocimiento

de las relaciones entre los componentes del ecosistema; las comunidades de organismos vivos y el biotopo (Bertrand *et al.*, 2003).

El tipo de ecosistema en el que se encuentran los grandes stocks de peces pelágicos menores tiene una relación activa con fenómenos climáticos cuyas escalas temporales van desde oscilaciones diurnas hasta multidecadales y espacialmente de cambios de mediana escala hasta de escala planetaria (Figura 1). Así la oceanografía a meso y macro escala será necesaria al abordar el estudio de un recurso de gran abundancia y gran variabilidad como son los peces pelágicos menores, esto se debe a que el ecosistema pelágico está delimitado por las características de las masas de agua y su dinámica. Procesos físicos como la interacción de océano y atmósfera; la acción de sistemas de corrientes y las alteraciones periódicas de variables como la densidad y la temperatura; así como la geomorfología de la plataforma continental, crean las condiciones para muchos y muy importantes procesos biológicos a diferentes escalas.

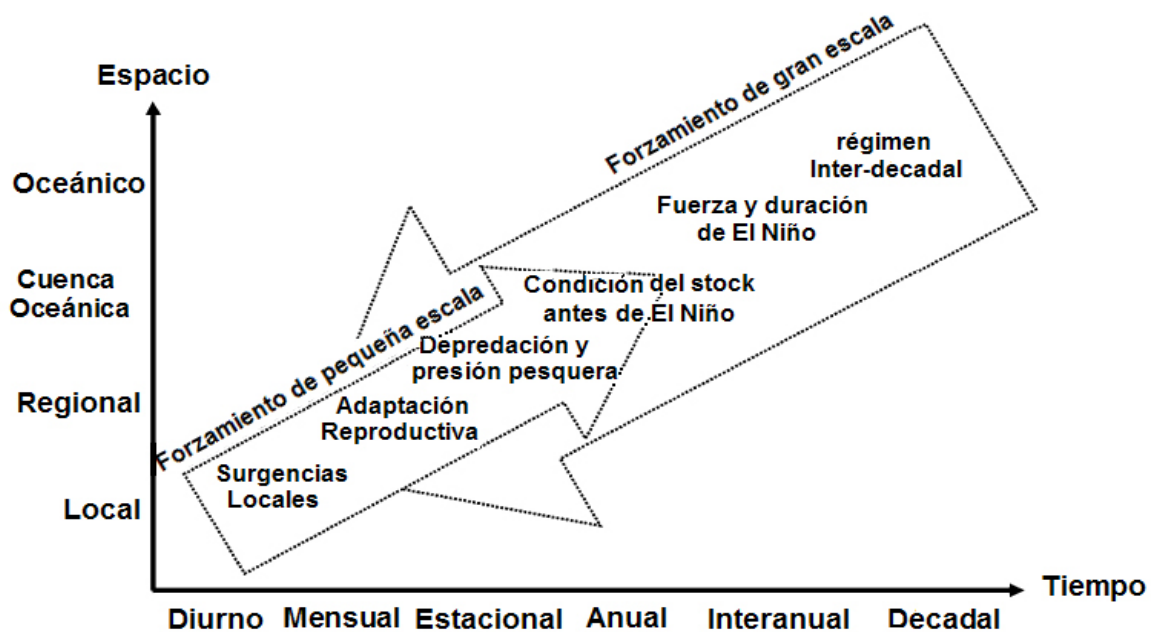


Fig. 1 Síntesis de factores que ocurren a diferentes escalas espaciotemporales que pueden ser considerados en la interpretación del efecto de EN en poblaciones de peces pelágicos tomada de Bertrand *et al.*, 2004.

El manejo apropiado de cualquier recurso implica una estimación de su abundancia y de las variables físicas y biológicas que influyen en ésta. Cuando se puede asegurar la

correlación entre la captura y la densidad, la abundancia relativa de pelágicos menores se puede obtener a partir de la información vertida por la captura comercial (Freon y Misund, 1999). Cuando esto no se asegura o en ausencia de la información de capturas, se debe recurrir a métodos independientes de la pesca como es la hidroacústica. Esta última, empleada en el presente estudio, es una metodología de monitoreo que se basa en la reflexión de ondas ultrasónicas transmitidas a través del agua y sirve como herramienta para conocer los patrones de agregación de las especies pelágicas como método alternativo a la información que se puede obtener por otros métodos tales como las observaciones directas (filmaciones, prospecciones aéreas) o como se mencionó los datos de abundancia relativa de la pesca (MacLennan y Simmons, 1992). Esta técnica es importante para el desarrollo de modelos en los que se maneje la interacción del biotopo y las comunidades, ya que es una herramienta que provee datos cualitativos y cuantitativos de múltiples comunidades, además de permitir el estudio de sus interacciones (Bertrand et al., 2003). Una ventaja de estos métodos directos es también que se puede correlacionar los datos de abundancia con los datos hidrológicos, ya que en general se colectan simultáneamente.

Abstract

Acoustic (single beam echo sounder Simrad EY-200) densities related to small pelagic fishes SPF were correlated to temporary and space changes of temperature, salinity and the mixing upper layer. Data was gathered in the nor-western coast of Baja California during 17 cruises made by the Laboratory of Fishery Ecology of the UNAM between 1994 and 2001. Results show that between September and December of 1997, acoustic density shows a maximum. These maximums are accentuated in the neritic and slope zones. Oceanographic data shows increases in temperatures and mixing upper layer depth in September and December of 1997. Acoustic densities increased during regimes with high temperatures, and deep mixing layers and thermoclines. Nevertheless, during these regimes the great high densities are located in the areas with minor temperatures and with shallow mixing depth and thermocline depth. Results suggest that in the presence of climatic anomalies like ENSO of 1997, the SPF are concentrated in specific areas not influenced directly by these anomalies, for this reason density of SPF is increase in those sites. We found that the fish school are congregate in zones nearest to the coast during heating events. The relation between abundance of trophic levels with target strength related to SPF with increases of superficial temperature and mixing process of upper layer, can generate a hypothesis that it establishes that dynamic conditions presents to end de 1997 and 1998 favored the food availability in nearest to coast zones, and with this the survive of the small pelagic fishes during a heating event.

Keywords:

ENSO 97-98; Acoustic abundance; Small pelagic fishes; Coastal Shoaling; Temperature; Thermocline; Depth mixing layer.

Resumen

Densidades acústicas (obtenidas mediante una ecosonda Simrad EY-200 de haz sencillo) relacionadas peces pelágicos menores PPM, fueron monitoreadas simultáneamente con la temperatura, salinidad y variables asociadas a la capa mezclada en la costa nor-occidental de Baja California durante 17 cruceros hechos por el laboratorio de ecología pesquerías del ICMYL de la UNAM entre 1994 y 2001. Los resultados muestran un máximo en la densidad de PPM entre septiembre y diciembre de 1997. Estos máximos se acentúan en la zona nerítica y de talud. Los datos oceanográficos muestran aumentos de temperatura y profundidad de la capa mezclada en septiembre y diciembre de 1997. Las densidades acústicas aumentaron durante regímenes con altas temperaturas, profundas termoclinas y capas de mezcla, observándose, sin embargo, que las altas densidades de peces se situaron en áreas con las menores temperaturas y con bajas profundidades de mezcla y termoclina respecto a las registradas en el área de estudio durante dichos períodos. Los resultados sugieren que durante la presencia de anomalías climáticas como El Niño de 97-98 los PPM se concentran en las áreas menos influenciadas por estas anomalías, por esta razón la densidad de PPM aumentó en esos sitios. Finalmente llegamos a la formulación de una hipótesis que establece que las condiciones dinámicas de finales 1997 y principios de 1998 favorecieron la disponibilidad del alimento en zonas cercanas a la costa donde se concentraron los PPM para sobrevivir a un evento de calentamiento.

Palabras clave:

El Niño de 97-98; Densidades acústicas; Peces pelágicos menores; Agrupamiento de peces en la costa; Temperatura; Termoclina; Profundidad de Mezcla.

2. ANTECEDENTES

Baumgartner *et al.*, (1992) observó en registros sedimentarios de la cuenca de Santa Bárbara, California, variaciones en proporciones de anchoveta y sardina atribuyéndolas a cambios climáticos de gran escala vinculados con los centros de presión atmosférica. La relación entre fenómenos climáticos y los ecosistemas marinos recae sobre la red trófica, la disponibilidad del alimento y el reclutamiento; el éxito de éste último para altos niveles tróficos depende de entre otros factores, de la sincronización con la producción del plancton (Edward y Richardson, 2004). Estos cambios pueden tener influencia en las fluctuaciones de las abundancias y de la disponibilidad, y por consecuencia de los desembarques de pelágicos menores (Chavez *et al.*, 2003). Se sabe que en zonas de surgencia la productividad primaria tiene una relación ligada a cambios físicos cuya variación a todas las escalas muestra relación con los patrones de corrientes (Lluch-Belda *et al.*, 2003).

Se ha encontrado documentado que para períodos cercanos a cincuenta años, el Océano Pacífico presenta cambios de regímenes que afectan a variables como la temperatura, la concentración de CO₂ atmosférico, así como la productividad de los ecosistemas costeros y de mar abierto. Se han relacionado los regímenes climáticos con el predominio de la sardina y la anchoveta (Figura 2) y de manera general existen una serie de características oceanográficas propias a cada régimen (Chavez *et al.*, 2003). Estas variaciones de gran escala deben considerarse en las investigaciones junto con el cambio climático inducido por el hombre y el manejo de los recursos vivos. Esta alternancia obedece a una característica de los ecosistemas de zonas de surgencia y es conocida como “cintura de avispa”. Consiste en que los primeros niveles tróficos, así como los depredadores mayores, muestran una gran diversidad de especies, mientras que los niveles intermedios se componen por pocas especies o sólo por una, que se alterna con otra (Bakun, 1996). Tal es el caso de la *Sardinops ceruleus* y la *Engraulis mordax* en la zona de la Corriente de California (Lluch-Belda *et al.*, 2003).

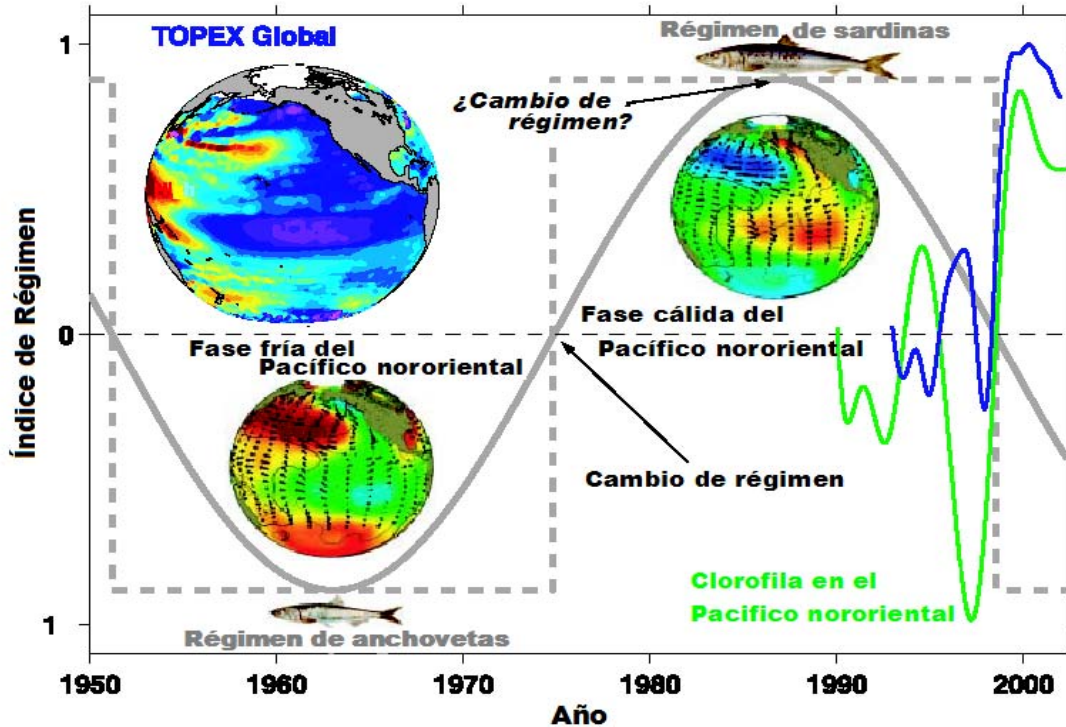


Fig. 2 Oscilación hipotética con un período de 50 años. 1950-1975, Pacífico frío, régimen de anchovetas. 1975-2000, Pacífico caliente régimen de sardinas. Algunos índices sugieren que los cambios son rápidos (rayas), mientras que otros sugieren un cambio más gradual (línea sólida), Tomada de Chavez *et al.*, 2003.

Dicha productividad primaria se refleja en la disponibilidad de alimento para los niveles superiores, incluidos los pelágicos menores. El cambio del régimen de temperaturas que se presentó en el Océano Pacífico a mediados de los años 70 modificó el predominio de las temperaturas bajas caracterizadas por la abundancia de la anchoveta, hacia a un régimen templado en el que predominaron las sardinas. A mediados de los 90 el régimen retornó a las temperaturas frías con predominio de anchovetas (Figura 2). El conjunto de condiciones ambientales favorables para peces pelágicos menores, también conocido como ventana ambiental óptima, es un concepto introducido por Cury y Roy (1989) específicamente sobre el reclutamiento de sardinas y anchovetas a partir de registrar que en surgencias por transporte de Ekman el reclutamiento se incrementa con la intensidad de la surgencia hasta velocidades de 5 a 6 m por segundo y decrece en velocidades más altas; mientras que para surgencias no debidas a transporte de Ekman se encuentra una relación lineal entre el reclutamiento y

la surgencia. En este sentido la disponibilidad de alimento y la turbulencia se consideran como factores importantes que afectan la sobrevivencia de las larvas de peces y por tanto al reclutamiento (Cury y Roy, 1989). Bakun (1996) establece que dicha ventana óptima depende de una tríada de factores físicos: un proceso de enriquecimiento, que permita la producción del zooplancton sobre el cual los estadios juveniles se van a alimentar; un proceso de concentración del alimento favorece el desarrollo de larvas; y un proceso de retención que mantiene a los juveniles en hábitats óptimos para su desarrollo (Bakun, 1996).

2.1 Los peces pelágicos menores

Los peces pelágicos menores (ppm) tienen gran importancia ecológica puesto que ocupan los primeros niveles de la cadena trófica. Comprenden al grupo de los Clupeidos (arenques, sardinas), Scómbridos (macarelas), Carángidos (jurel) y Engráulidos (anchoas o anchovetas), cuya abundancia es tal que la captura total de este grupo reportó 40 millones de toneladas en 1994, es decir, el 36% de la captura mundial de peces marinos (Freon y Misund, 1999).

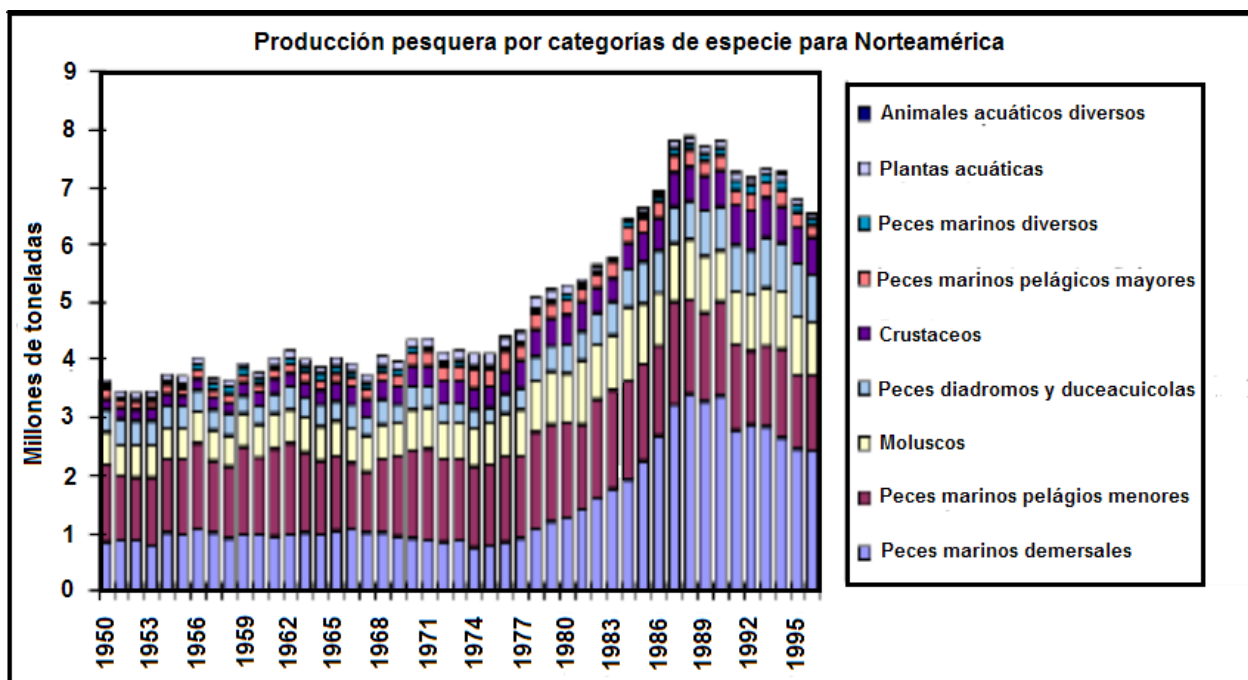


Fig. 3 capturas en millones de toneladas por categorías de especies según los anuarios de la F.A.O. donde se destaca la importancia de los peces pelágicos menores <ftp://ftp.fao.org/FI/STAT/overview/1996/plots.pdf>.

En el caso de los clupeidos y engraulidos se trata de peces pequeños, plateados, cuya longitud en su etapa de madurez sexual va de 10 a 20 centímetros, alcanzada por lo general al año de edad. Su cuerpo es fusiforme y subcilíndrico pero a veces fuertemente comprimido (Whitehead y Rodríguez-Sánchez 1995). Estas dos familias (Clupeidae y Engraulidae) destacan por su importancia como recursos pesqueros. La captura total de clupeidos en el Pacífico Centro Oriental, área 77 de la FAO, durante 1987, fue de 532,881 t. La pesquería más importante fue la de *Sardinops* (398,699 t en 1990 que incluyó también otros clupeidos) y la de *Opisthonema* (75,667 t en 1990 para Ecuador y Panamá) (Whitehead y Rodríguez-Sánchez 1995). La pesquería de engraulidos más importante en el área es la de *Cetengraulis mysticetus* (Günther, 1867) (150,299 t en 1989 y 90,713 t en 1990 por Panamá, Ecuador y Colombia, FAO, 1983). *Engraulis mordax* (Girard, 1856) presenta una pesquería principal (167,099 t para USA y México) en el Pacífico Centro Oriental, así como otra situada en el Golfo de California (2,071 t 1986) (Whitehead y Rodríguez-Sánchez 1995).

Para la zona de la costa oeste de Baja California, Whitehead y Rodríguez-Sánchez (1995) reportan a los clupeidos: *Sardinops caeruleus* (Girard, 1856), *Opisthonema medirastre* (Girard, 1856) y *Etrumeus teres* (De Kay, 1842); así como los engraulidos: *Engraulis mordax* (Girard, 1856), *Anchoa compressa* (Girard, 1858) y *Anchoa delicatissima* (Girard, 1856); y por los scombridos: *Scomber Japonicus* (Figura 4).

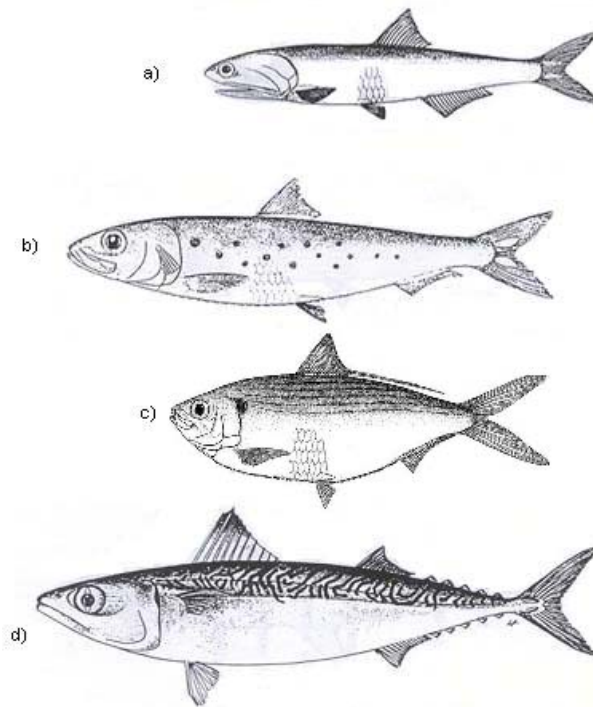


Fig. 4 Algunos de los peces pelágicos menores que habitan la costa oeste de Baja California: a) anchoveta norteña, *Engraulis mordax*, b) sardina del Pacífico, *Sardinops caeruleus*, c) *Opisthonema mediraste* y d) macarela del Pacífico *Scomber japonicus* (Tomado de Whitehead y Rodríguez-Sánchez, 1995).

A continuación se presenta una síntesis de las características de las dos especies con mayor desembarque histórico en la costa oeste de Baja California, la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) y la sardina del Pacífico (*Sardinops caeruleus*).

Estudios merísticos, morfométricos, electroforéticos y de marcaje y recaptura realizados sobre *Engraulis mordax* sugieren que hay tres stocks (MacHugh 1951; Vrooman *et al.*, 1981; Haugen *et al.*, 1969). De acuerdo con Richardson *et al.*, (1980) la zona de desove del stock norteño está concentrada entre los 44° y 46° N en la pluma del río Columbia, ocurre en verano y es altamente concentrado en julio. El stock central desova en el sur de la plataforma de California entre los 30° y 34° N y ocurre durante todo el año con máximos en febrero y abril y mínimos en agosto y octubre (Lasker y Smith 1977). El stock central de California ha sido intensamente explotado. Las capturas de México y EU en los años 80's alcanzó las 300,000 tm, mientras la biomasa

desovante monitoreada en los 60 se calculó entre tres y cuatro millones de toneladas (Richardson *et al.*, 1980).



Fig. 5 Distribución de *Engraulis mordax*. FAO, 2000-2006

Radovich (1981), revisando la información existente para *Sardinops caeruleus* en la región de la Corriente de California (CC), concluyó que hay evidencia para hablar de tres stocks, dos de ellos se presentan compartiendo la misma región que los stocks sureño y central de anchoveta, y otro stock está en el golfo de California sin componente de anchoveta. Durante el pico de la pesquería de sardina los desembarques variaron entre 0.5 y 0.8 millones de toneladas. Los desembarques procedentes del stock central y posiblemente hasta las áreas de Oregon y de Columbia Británica, derivaron de sardinas que usaron la zona de surgencias como campos de alimentación y que migraron del sur de California para desovar (Bakun y Parrish 1982).



Fig. 6 Distribución de *Sardinops caeruleus*. FAO, 2000-2006

Uno de los aspectos más relevantes de estas dos especies es que forman grandes agregaciones llamadas cardúmenes. Reid *et al.*, (2000) mencionan que para hacer estimaciones representativas de la abundancia de los stocks es necesario, como primer paso, el entendimiento del comportamiento gregario de las poblaciones de peces según citan Thomas y Kirsch (2000). Las principales funciones de un cardumen de peces son facilitar la sobrevivencia a los ataques de depredadores, obtener alimento, ganar ventajas hidrodinámicas durante el nado, propiciar migraciones precisas, así como facilitar la reproducción y el aprendizaje. El patrón general de conducta de los cardúmenes de peces es mantener densidades altas durante el día y dispersarse durante la noche extendiéndose en capas y agregaciones (Shaw, 1961; John, 1964; Baxter y Hunter, 1982). Existen excepciones, tales como en el caso del jurel (*Trachurus murphyi*), que se concentra en cardúmenes durante la noche y se dispersa de día en el Pacífico sureste (Bertrand *et al.*, 2004). Una distinción se puede hacer entre cardumen y agregación: un cardumen esta formado por peces que tienen atracción interindividual y ajustan en permanencia su comportamiento espacial (posición, velocidad, dirección) en referencia a sus vecinos. En general un grupo así es mono-específico, y los individuos presentan generalmente las mismas condiciones fisiológicas (por ejemplo: estado de madurez sexual) y anatómicas (longitud). Una agregación resulta de la atracción de los individuos por un factor externo (por ejemplo, fuente de alimentos), y no necesariamente tienen atracción interindividual. En este caso los individuos pueden ser de varias especies, de varios tamaños y conductas. Así se define sobre bases conductuales la diferencia entre el término cardumen asociada al término en inglés 'school' y el de agregación de peces definido en inglés por la palabra 'shoal'; el primero predispone la existencia de una sincronización y orientación de los individuos agrupados y el segundo como lo definiera Pitcher en 1983, es sólo una agrupación de peces.

2.2. Breve historia de la hidroacústica

Con la finalidad de presentar al lector los conceptos acústicos básicos, se han remarcado con **negritas** en el texto y su definición se presenta en un glosario al final de este documento (Apéndice A).

Según lo que se tiene documentado, la hidroacústica tuvo sus inicios con algunos diseños de Leonardo da Vinci, y hacia 1859 Maury realizó los primeros intentos de penetrar el mar con sonido. Sin embargo no fue sino hasta inicios del siglo XX cuando con el desarrollo del llamado “eco-ranging” y la invención del **transductor** por Paul Langevin se inició el desarrollo continuo de la hidroacústica. Inicialmente fue utilizada para localizar los icebergs después del naufragio del Titanic y posteriormente para detectar submarinos durante la Primera Guerra Mundial (Fernandes *et al.*, 2002). La hidroacústica aplicada a la pesca empezó con la aparición de la **ecosonda** que fue inventada en los años 20's una vez que había sido referida la posibilidad de detectar ecos de los cardúmenes de sardinas y arenques (Portier, 1924). Para 1925 el término ecosondeo fue utilizado comúnmente e instrumentos hidroacústicos estuvieron disponibles. Los primeros intentos para detectar peces se registran en la literatura del ICES (International Council for the Exploration of the Sea) desde los años 30's. Las ecosondas con registro de datos fueron desarrolladas por Wood y colaboradores y fueron utilizadas por primera vez a bordo del buque "Glen Kidston" durante un viaje de Hull a Bergen en 1933. En julio de 1934, el primer ecograma publicado fue atribuido al noruego R. Bokn (Fernandes *et al.*, 2002). El **sonar** (acrónimo en inglés de “Sonar and Ranging”) fue utilizado por la primera vez con éxito para localizar clupeidos en el canal de la Mancha en 1946 (Renou y Tchernia, 1947). La proliferación de su uso incitó al comité sobre estudios de arenques del ICES a conducir una investigación que, en 1954, dio lugar al primer simposio sobre ecosondeo como ayuda a la pesca (Hodgson y Fridriksson, 1955). Richardson *et al.*, (1959) trabajaron en mostrar que la abundancia de bacalao podría ser estimada a partir de la sumatoria de la energía por unidad de distancia. Este método pronto fue automatizado mediante el uso del proceso electrónico de señales (Mitson y Wood, 1962; Fernandes *et al.*, 2002).

El desarrollo del ecointegrador, atribuido al noruego Ingvar Hoff (Dragesund y Olsen, 1965), permitió la adición de voltajes recibidos sobre períodos cortos lo cual formó la base de la moderna medición acústica de la abundancia (MacLennan, 1990). Sin embargo, un ajuste importante del principio de la integración no fue observado inmediatamente sino hasta el trabajo de Scherbino y Truskanov en 1966; sus calibraciones demostraron empíricamente que el cuadrado del voltaje del eco es proporcional a la densidad de los peces (Fernandes *et al.*, 2002). De la integración llegamos a la denominada ecointegración, la cual fundamenta buena parte de la teoría acústica pesquera.

La ecointegración se asume proporcional a la cantidad de **blancos acústicos** de características similares (MacLennan y Simmons, 1992). Esto es, que la densidad medida y la densidad real son estrictamente proporcionales. Pruebas realizadas por Foote (1983) condujeron definitivamente a probar el principio de linealidad con peces vivos sentando las bases científicas de la ecointegración.

Para realizar el presente estudio se parte de la información de una serie de cruceros realizados entre 1994 y 2001 a bordo del B/O El Puma, en un área donde se desarrolló intensamente la pesca de la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) entre los años 1978 a 1988 (Rojas-Méndez, 2000). En los que se obtuvo información sobre las variaciones de la presencia de peces pelágicos menores detectados por medio del uso del sonido en el agua (hidroacústica) y de las fluctuaciones de variables ambientales (temperatura y salinidad) y alcanzar los siguientes objetivos:

3. OBJETIVOS

1. Conocer las respuestas de los cardúmenes de peces pelágicos a las fluctuaciones de temperatura en la costa noroeste de Baja California en un periodo de siete años (1994-2001).
2. Describir las fluctuaciones de las variables oceanográficas en la costa noroeste de Baja California en un periodo de siete años (1994-2001).
3. Explorar las relaciones entre las abundancias de peces y las características de las variables oceanográficas con la finalidad de determinar el grado de correlación entre ellas.
4. Aportar información necesaria para el manejo sostenible de recursos pelágicos.

4. HIPÓTESIS

Se presume la existencia de una asociación entre las variables ambientales (temperatura y las características de la capa mezclada) con la agregación y presencia de organismos pelágicos menores. También se presume la existencia de un efecto a largo plazo sobre las poblaciones de peces.

5. ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra en la costa noroccidental del estado mexicano de Baja California entre las latitudes 29° N y 31° N (Figura 7). Esta zona está influenciada por la Corriente de California (CC) y ubicada en la transición entre las influencias subártica y ecuatorial de dicha corriente (Pares-Sierra *et al.*, 1997). En esta región se presentan vientos paralelos a la costa asociados al sistema de la CC, por lo que se originan múltiples surgencias (Cota-Villavicencio, 1972) que propician gran abundancia de peces pelágicos menores; las más intensas ocurren entre marzo y junio (Bakun y Nelson, 1977).

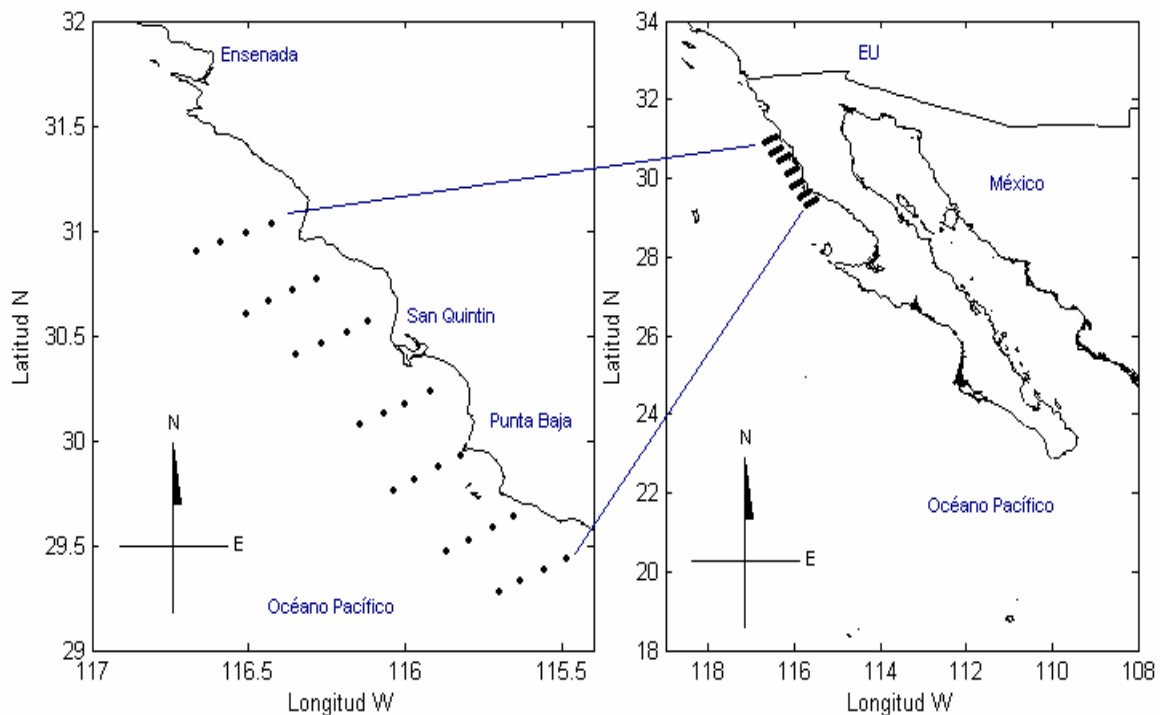


Fig. 7 Área de estudio mostrando una generalización de la red de estaciones.

El área de estudio es también influenciada por cambios en las condiciones oceanográficas a escala planetaria como la oscilación térmica de EN, que ocasiona variaciones en la dinámica de las poblaciones de pelágicos menores (Fiedler *et al.*,

1986). Las fluctuaciones en la abundancia de peces pelágicos son tan intensas que se presenta una alternancia de especies (Luch-Belda *et al.*, 2003).

Así la dinámica poblacional de los pelágicos menores, en la costa noroccidental de Baja California y occidental de California ha sido históricamente importante desde el punto de vista pesquero. En este sentido las capturas en aguas mexicanas de sardina Monterrey se han mantenido en ascenso (FAO, 2003) como se observa en la Figura 8 y representan la especie más importante. Sin embargo hay que destacar que la captura de anchoveta norteña supero a la de sardina en 1981 (FAO, 1981).

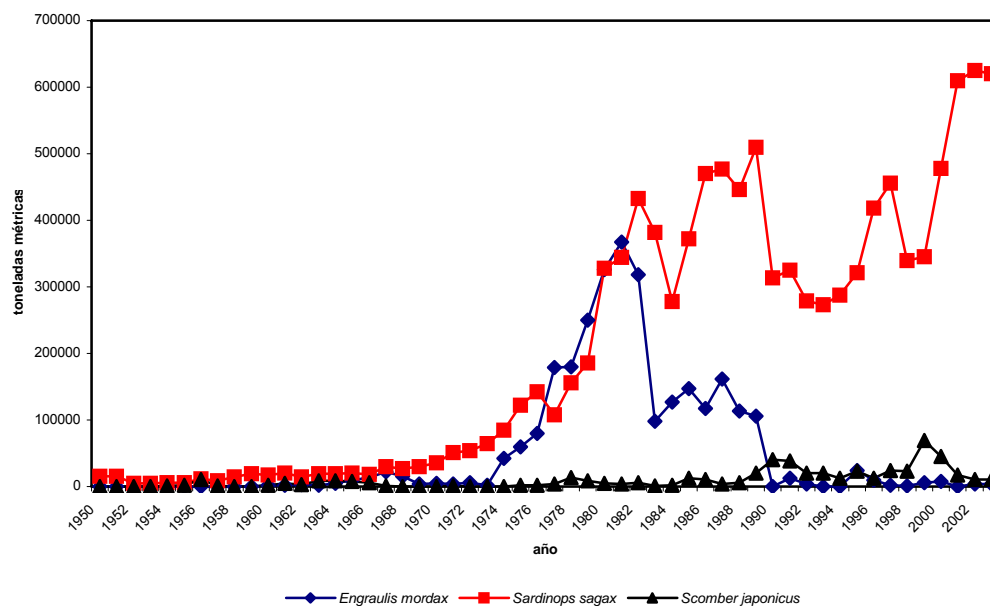


Fig. 8 Capturas nominales de *Engraulis mordax* (♦), *Sardinops ceruleus* (■) y *Scomber japonicus* realizadas por la flota mexicana de 1950 a 2003, en el Pacífico centro oriental, Tomado de Fishstat Plus 2.3 (FAO, 2003).

6. METODOLOGÍA

6.1. DATOS OCEANOGRÁFICOS

Los datos oceanográficos e hidroacústicos provienen de 17 campañas oceanográficas realizadas a bordo del B/O 'El Puma' de la serie SIMSUP (Sistemas Marinos de Surgencia y su relación con Pelágicos Menores) realizadas por el Laboratorio de Ecología de Pesquerías del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

Las campañas oceanográficas fueron realizadas entre octubre de 1994 y abril de 2001. En ellas se realizaron prospecciones acústicas y calas hidrográficas sobre una red de estaciones localizadas en transectos perpendiculares a la costa de aproximadamente 15 millas náuticas. Cada transecto fue diseñado para que cubriera la zona nerítica, la pendiente o talud y la región oceánica (Figura 9).

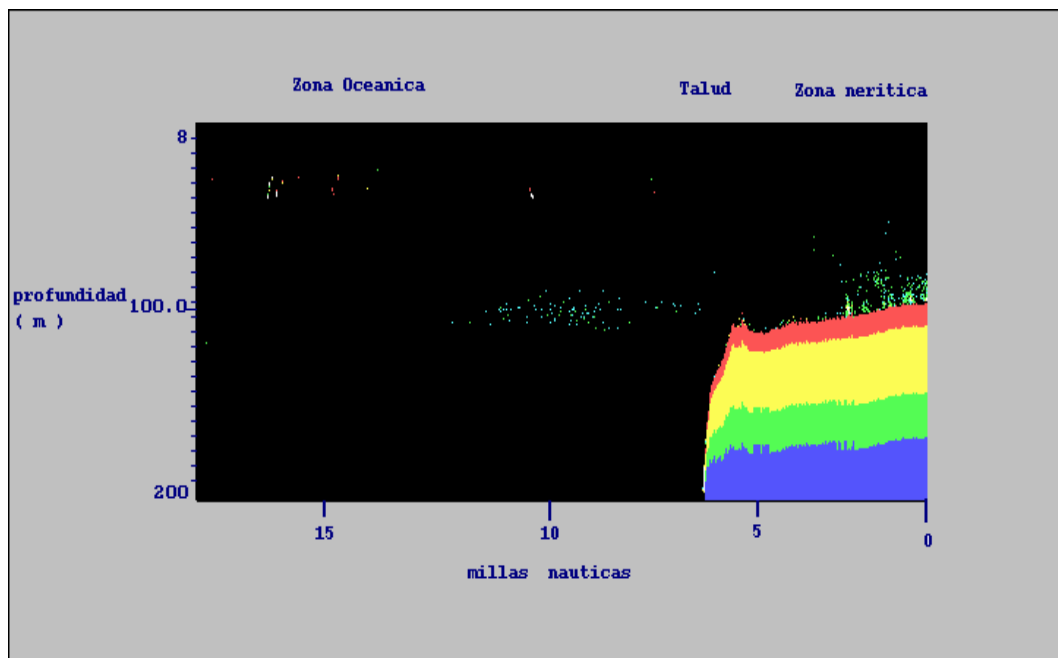


Fig. 9 Perfil batimétrico típico obtenido con la ecosonda Simrad EY-200 en el que se muestran la zona nerítica con un fondo a cerca de los 100 m, el talud de la plataforma continental, así como la zona oceánica con una profundidad mayor a 200 m.

Las estaciones oceanográficas se situaron dentro de los transectos y fueron separadas en promedio cada siete millas náuticas. Las estaciones se posicionaron por zonas coincidentes con las zonas nerítica, talud y oceánica según a las características del

perfil batimétrico (Figura 9). La información sobre la posición y fecha de las estaciones oceanográficas aparece en el Apéndice B, Tablas 8 y 9.

Los valores de conductividad, temperatura y presión a lo largo de la columna de agua se determinaron utilizando un CTD (del inglés Conductivity, Temperature, and Depth) General Oceanics Mark III. La mayoría de los lances se realizaron hasta una profundidad de 200 metros con el fin de registrar la termoclina estacional. Así también, se realizaron lances de 1000 metros de profundidad en estaciones oceánicas fuera de la red de muestreo.

A partir de los datos de temperatura y profundidad se determinó la posición de la termoclina y la profundidad de la capa de mezcla. Definiendo como termoclina la profundidad a la que se presenta un cambio abrupto de temperatura (Amador, 2003). La profundidad de la capa mezclada fue definida como la profundidad hasta la cual las características de la capa superficial como temperatura, salinidad y densidad se presentan homogéneas (Amador, 2003).

Operativamente y para la realización de los cálculos correspondientes en el presente estudio se consideró como:

Profundidad de mezcla: profundidad en la que se reduce en un grado centígrado la temperatura registrada a cinco metros de profundidad.

Intensidad de termoclina: La máxima diferencia entre los promedios de temperaturas calculados en intervalos de cinco metros.

Profundidad de termoclina: Profundidad a la que se registra la máxima diferencia entre los promedios de temperaturas calculados para intervalos de cinco metros.

Los cálculos de dichos parámetros se realizaron con el programa Matlab ver. 6.5, y los algoritmos correspondientes se presentan en el Apéndice B.

6.2. DATOS ACÚSTICOS

6.2.1. Fundamentos teóricos de la hidroacústica

Un elemento esencial de los equipos hidroacústicos es el **transductor**, el cual convierte voltaje eléctrico en pulsos acústicos, llamados onomatopéyicamente en inglés "pings". Así mismo el transductor es capaz de captar los ecos de los pings emitidos y transformarlos de nueva cuenta en voltaje. El transductor más común está hecho de **cerámica piezoeléctrica** (MacLennan y Simmons, 1992). El transductor se monta comúnmente en el casco del buque de modo que el pulso acústico producido se dirige verticalmente (MacLennan y Simmons, 1992) (Figura 10)

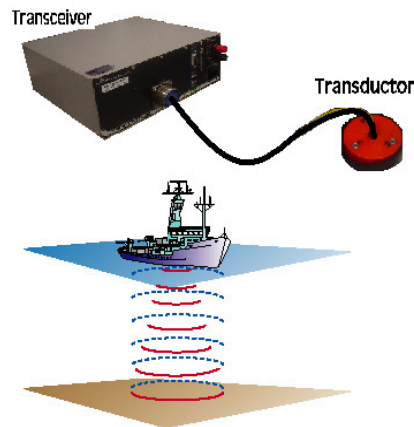


Fig. 10 Esquema básico de un sistema acústico donde se muestra el transceiver, el transductor así como la forma en que las ondas sonoras del son reflejadas por el fondo.

Otro elemento importante es el emisor-transmisor (en Inglés "transceiver"), el cual se encarga de emitir una señal eléctrica al transductor y también de recibir las señales eléctricas del transductor. La **ganancia** es el nivel de energía de los ecos que se reciben y su variación de acuerdo a las pérdidas por transmisión (**Ecuación del Sonar** en el Apéndice A). Respecto al tiempo es también definida como ganancia crono variable (Forbes y Naken 1972), la cual es un factor muy importante a considerar y es conocida por su acrónimo en inglés TVG (Time-varied gain); la cual se resume como función TVG y expresa las variaciones de la ganancia en tiempo debidas a la distancia que cubren los pulsos en un tiempo dado. La utilidad de dicha función es para determinar cuánto debe ser compensada la intensidad de eco de acuerdo a la distancia

(Balk y Lindem 2003) (Figura 11). La función TVG para el ecoconteo es: $TVG = 40 \log R$, donde; R es la distancia entre el transductor y el blanco (MacLennan y Simmons, 1992).

La fuerza de blanco (FB) es una medida logarítmica de la proporción de la energía incidente que es reflejada por el blanco (MacLennan y Simmons, 1992). Este principio establece una relación entre la superficie reflectora del blanco y la intensidad del eco que produce. La fuerza de blanco o TS (por sus siglas en Inglés de Target Strength) se considera análoga al tamaño de los blancos; en particular al tipo de organismo marino sonificado.

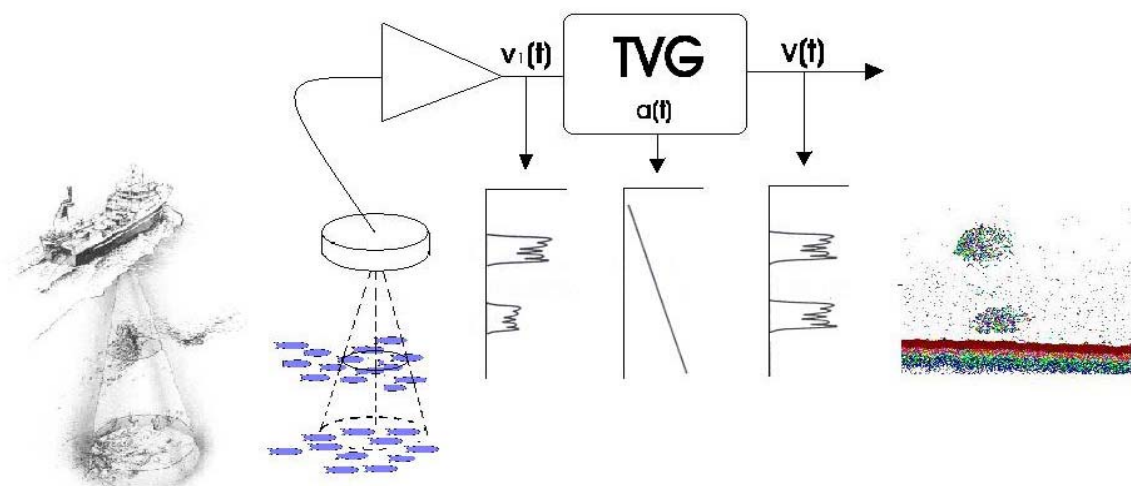


Fig 11. Diagrama que muestra la compensación por distancia de los ecos de dos cardúmenes de igual tamaño a diferente profundidad. Muestra al transductor y el voltaje mostrando señales asociadas a dos cardúmenes hipotéticamente iguales. Se ejemplifica cómo una de las señales es menor debido a las pérdidas por transmisión y radiación; muestra también la función TVG después de la cual la señal muestra las señales corregidas; y finalmente se muestra un ecograma.

En términos prácticos la FB es un indicador de la reflectividad del blanco. Muchos factores biológicos y físicos afectan potencialmente a la fuerza del blanco. Hazen y Horne (2004) utilizaron fuerzas de blanco modeladas y medidas para comparar los efectos de la longitud, la inclinación y la profundidad de peces así como la frecuencia acústica, sobre la intensidad del eco. Estos autores encontraron que la longitud tiene el efecto más grande en la intensidad del eco, seguida por la inclinación (tilt), frecuencia, y profundidad. Así se han propuesto múltiples funciones para definir la relación entre la

fuerza de blanco y la longitud de los peces, entre las que podemos mencionar a Love (1971), Foote y Traynor (1988) y Ona (2003). Por muchos años se han realizado experimentos entorno a la fuerza de blanco de peces en tanques para investigar el efecto acústico de la presión y los cambios estacionales de la fisiología de los peces en este sentido.

El primer autor en estudiar la FB para poder evaluar los recursos por eco conteo fue Love (1971). Para estimar la longitud de un pez por medio del cálculo de FB Love obtuvo un conjunto de relaciones empíricas en función del tamaño del organismo y la frecuencia de la onda incidente. Las ecuaciones proporcionadas por Love sirven de referencia cuando no existe para el pez estudiado datos más específicos. Existe un extenso número de valores de FB de peces de diferentes especies reportados tanto de su sonificación dorsal como en cualquier aspecto. Los resultados muestran una fuerte dependencia de la FB con el tamaño del pez (Urick, 1983) (Figura 12).

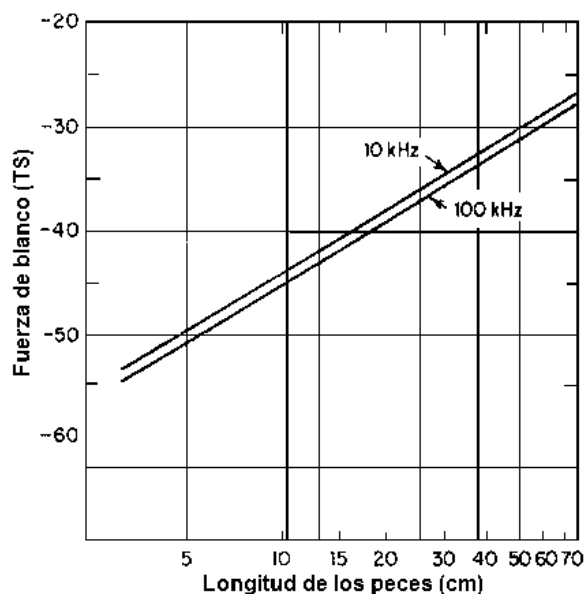


Fig. 12 Relación de FB (TS de target strength en Inglés) con la longitud de peces en pies y cm (tomado de Urick 1983).

Foote en 1980 publicó que la fuerza de blanco en peces varía de acuerdo a la longitud, la presencia de la vejiga natatoria y la posición del organismo; siendo la vejiga natatoria la mayor causa del retorno del eco. En organismos con vejiga natatoria el gas contenido en ella genera una impedancia tal que su contribución a la fuerza de blanco va del 90 al

95 %. Peces sin vejiga natatoria como la macarelas *Scomber scombrus* tienen una FB de unos 10 decibeles (dB) más baja que algunos peces con vejiga natatoria como el bacalao (Urlick, 1983).

Foote publicó la relación más utilizada para el cálculo de fuerza de blanco; $TS = 20 \log L + b_{20}$, donde b_{20} es un valor expresado en decibeles variable según la especie o familia de peces (Foote, 1987). Finalmente Ona (2003) publicó los resultados de experimentos realizados con un transductor de haz dividido de 38 kHz sobre capas densas de arenques y encontró que la media de la fuerza de blanco fue significativamente dependiente de la profundidad (la presión) y del índice gonodostomático. Estos parámetros se incluyeron en una nueva relación de FB basada en la ecuación de Foote de 1987 (Ona, 2003).

Para entender finalmente la naturaleza de la FB, es necesario primero explicar el concepto de sección retro-difusiva o bien sección transversal de dispersión (back scattering cross section de un pez, en Inglés), la cual puede concebirse como el área, medida en metros cuadrados, que intercepta parte de la energía de la señal incidente, y es retransmitida a su vez como una onda dispersa (MacLennan y Simmons, 1992). Es designada por la letra griega σ , y está definida como:

$$\sigma_{bs} = \sigma_a + \sigma_s$$

Donde σ_a es el área correspondiente a la sección absorbente y σ_s el área de la sección difusiva. Como la sección absorbente es mucho menor que la sección difusiva para el intervalo de frecuencias y de tamaño de blanco sobre el cual trabajamos, podemos considerar σ_a como despreciable. De esta manera la sección difusora o difusiva es la que nos interesa y queda definida en términos de las intensidades de las ondas incidentes y reflejadas, y también se puede expresar como:

$$\sigma_{bs} = R^2 \left(\frac{I_r}{I_i} \right)$$

Donde I_r es la intensidad reflejada y I_i es la intensidad incidente. Considerando radiación esférica existe un caso particular donde podemos expresar σ como:

$$\sigma_{sp} = 4 \pi R^2 \left(\frac{I_r}{I_i} \right)$$

Donde $4 \pi R^2$ es la superficie de una esfera de radio R , la sección es esférica, aquí es omnidireccional. Este caso se considera que representa bien la realidad cuando el blanco puede ser simplificado a un punto (muy pequeño comparado a R y a la longitud de onda, sin embargo dicha expresión no se utiliza, dejando paso a la expresión de la fuerza de blanco en función de σ_{bs} como sigue:

$$FB = 10 \text{ Log } (\sigma_{bs}) = 10 \text{ Log } \left(\frac{\sigma_{sp}}{4\pi} \right)$$

O bien despejando σ_{bs} :

$$\sigma_{bs} = 10^{\left(\frac{FB}{10} \right)}$$

Donde FB es la fuerza de blanco al despejarla obtenemos:

$$FB = 10 \text{ Log } (\sigma_{bs})$$

O bien para el caso de un R unitario (Urick, 1983):

$$FB = 10 \text{ Log } \left(\frac{I_r}{I_i} \right)$$

Donde: I_r = Intensidad reflejada e I_i = Intensidad incidente. Así la fuerza de blanco es calculada a partir del logaritmo de σ . Y es una medida logarítmica de la proporción de la energía incidente con respecto a la energía devuelta por el reflector. Su unidad es el decibel (dB) (MacLennan y Simmons, 1992).

6.2.2. Información acústica obtenida en el presente trabajo

La información acústica se obtuvo por medio de una ecosonda científica Simrad EY-200 de 200 kHz de frecuencia de haz sencillo (single beam). La duración del pulso fue de 0.3 ms, emitidos a un ritmo de tres pulsos por segundo. La información proveniente de la ecosonda EY-200 fue procesada usando el programa "Hydro-Acoustic Data Acquisition System" (HADAS ver. 4.0). La información básica que provee HADAS son ecogramas (Figura 9). A partir de los ecogramas se obtiene información numérica que incluye el número de ecos individuales por FB, y grado de agrupamiento de los blancos acústicos. Un blanco acústico se considera individual cuando se encuentra separado al menos la mitad de la longitud del pulso de otro blanco (en este caso la longitud del pulso fue de 45 cm). HADAS expresa el grado de agrupamiento en porcentaje e indica la proporción de blancos identificados como individuales. Los valores de agrupamiento pueden ir de 0 a 100 %, siendo cero el valor de mayor agrupamiento. Por ejemplo, si en una serie de transmisiones se registraron un total de 100 blancos y de ellos 20 se registraron como individuales, entonces se considera que el 80% de los datos estuvieron agrupados. El programa HADAS también proporciona información sobre la abundancia de los organismos sonificados. Esta se expresa como individuos por unidad de área o volumen. En el presente trabajo la abundancia se expresa por unidad de área, específicamente en hectáreas. Los resultados se presentan como individuos por hectárea (ind/ha).

La estrategia usada para el análisis de datos acústicos fue el eco-conteo, mediante el cual se obtiene el registro del número de ecos individuales y la distribución de tamaño de los blancos. Finalmente, el análisis de los ecogramas se hizo para dos profundidades de 5 a 25 m y de 25 a 50 m de profundidad.

6.2.3. Determinación de la longitud del pez a partir de valores de FB

Para determinar el tamaño de pez, basados en datos de FB generados por el programa HADAS, se utilizó la ecuación de aspecto dorsal de Love (1971). Este autor utilizó valores de fuerza de blanco obtenidos de peces colocados longitudinalmente para varias especies usando pulsos de varias frecuencias obteniendo la ecuación:

$$FB = 19.1 [\text{Log}(L)] + 0.9 \text{Log} \lambda - 23.9 \text{ dB} \quad \text{eq. 1}$$

donde λ es la Longitud de onda en metros y L es la longitud del pez también en metros (Gunderson, 1993). λ , a su vez, está en función de la frecuencia de emisión; en este caso 200 kHz, y la **velocidad del sonido en agua de mar**. Por lo tanto en este estudio, con una frecuencia de 120,000 ciclos s^{-1} , el valor de λ es 0.0075 metros. Con estos datos y resolviendo la ecuación 1 para longitud tenemos que:

$$L = 10^{[(FB - 0.9 \log(0.0075)) + 23.9] / 19.1} \quad \text{eq. 2}$$

Resolviendo para diversas longitudes tenemos el comportamiento de la ecuación 2 en la Figura 13.

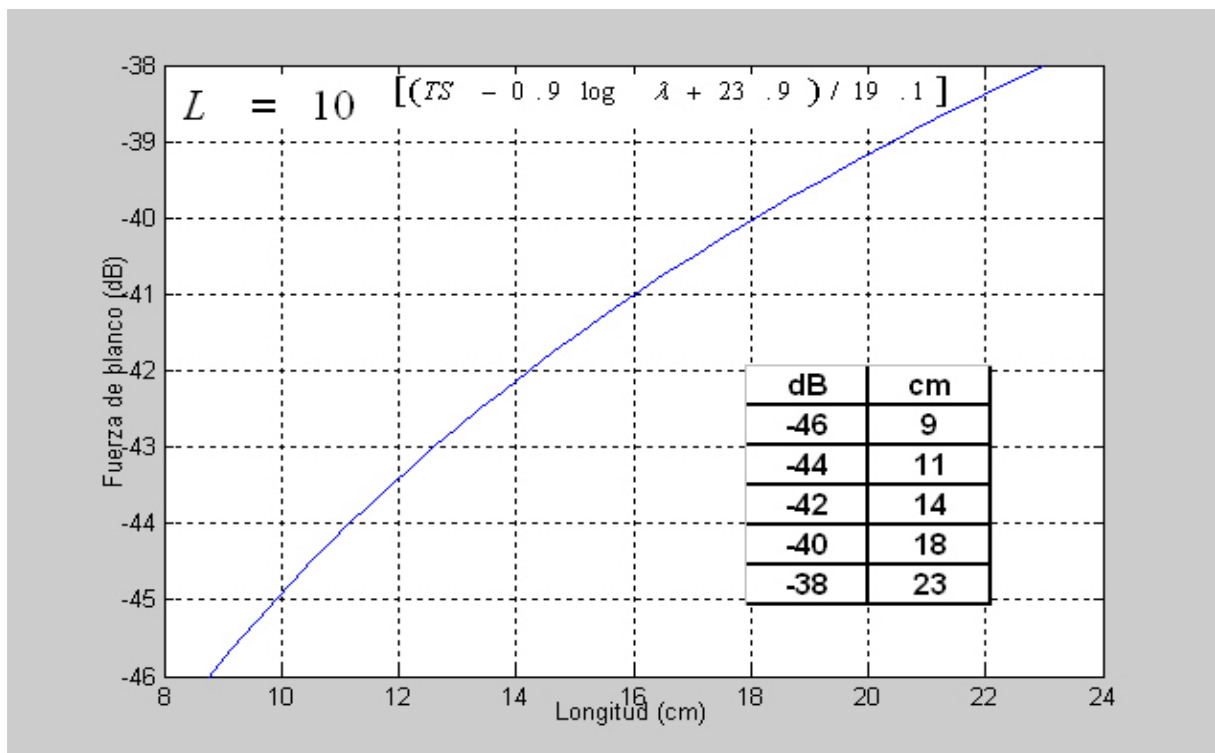


Fig. 13 Curva de longitud de peces (cm) contra FB (dB) obtenida con la ecuación de Love (1971), utilizando una frecuencia de emisión de 200 kHz.

De acuerdo con la ecuación de Love (1971), un intervalo de 9 a 23 cm de longitud de un pez correspondería a un rango de FB de -46 a -38 dB. Este intervalo de longitud contempla los rangos de tallas obtenidos de las sardinas y la anchovetas según los trabajos de García-Franco y Sánchez-Ruiz (1995) que determinaron a partir de muestras provenientes de la captura comercial realizada en las costas de Baja California una longitud patrón promedio para *Sardinops caeruleus* de 17.4 cm con intervalos entre 14.5 cm y 24.5 cm. Para *Engraulis mordax* se obtuvo una longitud patrón promedio de 12.9 cm, e intervalos de 9.6 a 14.6 cm (García-Franco y Sánchez-Ruiz, 1996). Asimismo, Whitehead y Rodríguez-Sánchez (1995) sitúan a los peces pelágicos menores entre 10 y 20 cm de longitud, para peces sexualmente maduros generalmente mayores a un año de edad.

Los datos de la fuerza de blanco obtenidos con los pulsos de 0.3 ms son dependientes del número de muestras disponibles para el cómputo de desviación de fase y pueden ser influenciados por el umbral de fuerza de blanco seleccionado (Soule *et al.*, 1997). La importancia de la duración del pulso reside en que por un lado los pulsos largos pueden sobreponer señales de ecos individuales; y por otro lado pulsos con una duración corta tienen un número de ondas limitado, por lo regular se requieren dos o tres ciclos para obtener una señal estable y para poder cortar dicha señal. Esto explica porqué las frecuencias bajas no pueden tener pulsos muy cortos. Debido a la complejidad implicada en la determinación de los efectos de estos factores, datos de fuerza de blanco obtenidos con pulsos cortos producirán resultados con un factor de incertidumbre (Soule *et al.*, 1997). Por ello se requiere de muchos ecos para validar los tamaños, y a la vez que estén dispersos los blancos.

6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

6.3.1. Estadística descriptiva de datos acústicos y oceanográficos

Partiendo de que las campañas oceanográficas constituyen un proceso observacional y no un experimento controlado, los datos oceanográficos y acústicos se analizan a

manera de una serie de tiempo de 1994 a 2001. Una exploración estadística descriptiva y un análisis de la varianza determinarán diferencias por períodos y por zonas. El análisis de la varianza es un método mediante el cual se compararán las medias por períodos y por zonas, de las variables ambientales y biológicas, para encontrar si hay o no diferencias significativas entre ellas.

6.3.2. Análisis de varianza de una vía (ANOVA)

Para analizar la información por zonas, niveles de profundidad y períodos específicos (tratamientos) se plantea un análisis de la varianza de una vía cuyo propósito es encontrar grupos de media común. Esto es para determinar si las medias características de los grupos son diferentes. El ANOVA de una vía es un caso especial del modelo lineal y proviene del modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}.$$

Donde:

y_{ij} es una matriz de observaciones en la cual se representa a un grupo diferente en cada columna.

τ_i = Tratamiento por zonas, niveles de profundidad y períodos

μ = media poblacional teórica.

ϵ_{ij} es una matriz de distribución aleatoria relacionada con el error experimental.

El análisis se realizó en MATLAB mediante la función `anova1` (de una vía) la cual compara las medias de dos o más columnas de datos en una matriz X de m -por- n , donde cada columna representa una muestra independiente que contiene observaciones mutuamente independientes de m . La función proporciona el valor p para probar la hipótesis nula de que todas las muestras en X están enmarcadas dentro de la misma población (o en diversas poblaciones con la misma media).

Como prueba de hipótesis se plantea:

Ho: no hay diferencia significativa de las variables entre tratamientos (zonas, niveles de profundidad, épocas del año).

Hi: Existe diferencia significativa de las variables entre tratamientos (zonas, niveles de profundidad, épocas del año).

En el área de la ciencia que nos compete se declara un resultado significativo si el p-valor es menor que 0.05 (Hogg y Ledolter, 1987). Finalmente, de la exploración de los datos con métodos multivariados se realizó un análisis de conglomerados para clasificar los casos (variables, muestreos, etc) para establecer la interacción entre las variables físicas y biológicas. Dicho análisis es una herramienta que puede revelar asociaciones y estructuras en los datos, los resultados se presentan a manera de gráficas llamadas dendrogramas y pueden contribuir a la definición de un esquema formal de la clasificación.

7. RESULTADOS

7.1. Oceanografía

El número de transectos analizados y las fechas de crucero se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de crucero, fecha y número de transectos analizados.

Crucero	Mes	Año	Transectos
5	Octubre	1994	4
6	Marzo	1995	4
7	Junio	1995	4
8	Octubre	1995	8
9	Marzo	1996	6
10	Junio	1996	9
12	Septiembre	1997	4
13	Diciembre	1997	3
14	Marzo	1998	4
15	Julio	1998	6
16	Diciembre	1998	8
17	Marzo	1999	7
18	Diciembre	1999	7
19	Marzo	2000	7
20	Julio	2000	7
21	Diciembre	2000	7
22	Marzo	2001	7

La gran mayoría de los lances con el CTD se hicieron hasta 250 metros, sin embargo se obtuvieron lances de mayor profundidad. Nueve de mil metros, de los cuales tres fueron en diciembre de 1997, tres en marzo y tres en junio de 1998. Además, se hizo un lance de 500 metros en marzo de 1999.

7.1.1. Perfiles de temperatura y salinidad climatológicos

Los datos climatológicos o climatología de una región son los datos promedio de cualquier variable (oleaje, temperatura superficial, salinidad, concentración de oxígeno, etc) que representan el clima de una región y varían en la misma escala de tiempo en que varía el clima, es decir miles de años. En otras palabras, que para un período de tiempo de digamos un siglo, los datos climatológicos de esa región deberían ser constantes. Para asegurar esto el promedio debe ser el de mayor número de años posible, para que en ese promedio se consideren todas las anomalías transitorias y que no refleje el efecto de variaciones diurnas, estacionales, anuales, años Niño, años Niña, años neutros, etc. y así el resultado sea representativo de la climatología de esa región.

De un conjunto de perfiles promedio de salinidad y temperatura en los que no se incluyen los cruceros de octubre de 1994, junio de 1996 y diciembre de 1998 por tener

demasiado ruido aún después de editarse (debido a fallas instrumentales) y de información promediada de dos de las estaciones (30.5 N, 116.5 W y 29.5 N, 116.29 W) de la red climatológica “Levitus98 World Atlas” se obtuvieron los perfiles de temperatura y salinidad climatológicos.

Los resultados demuestran que en marzo de 1995 para los primeros 25 metros existieron temperaturas más elevadas y salinidades menores que las indicadas por los perfiles climatológicos (Figura 14).

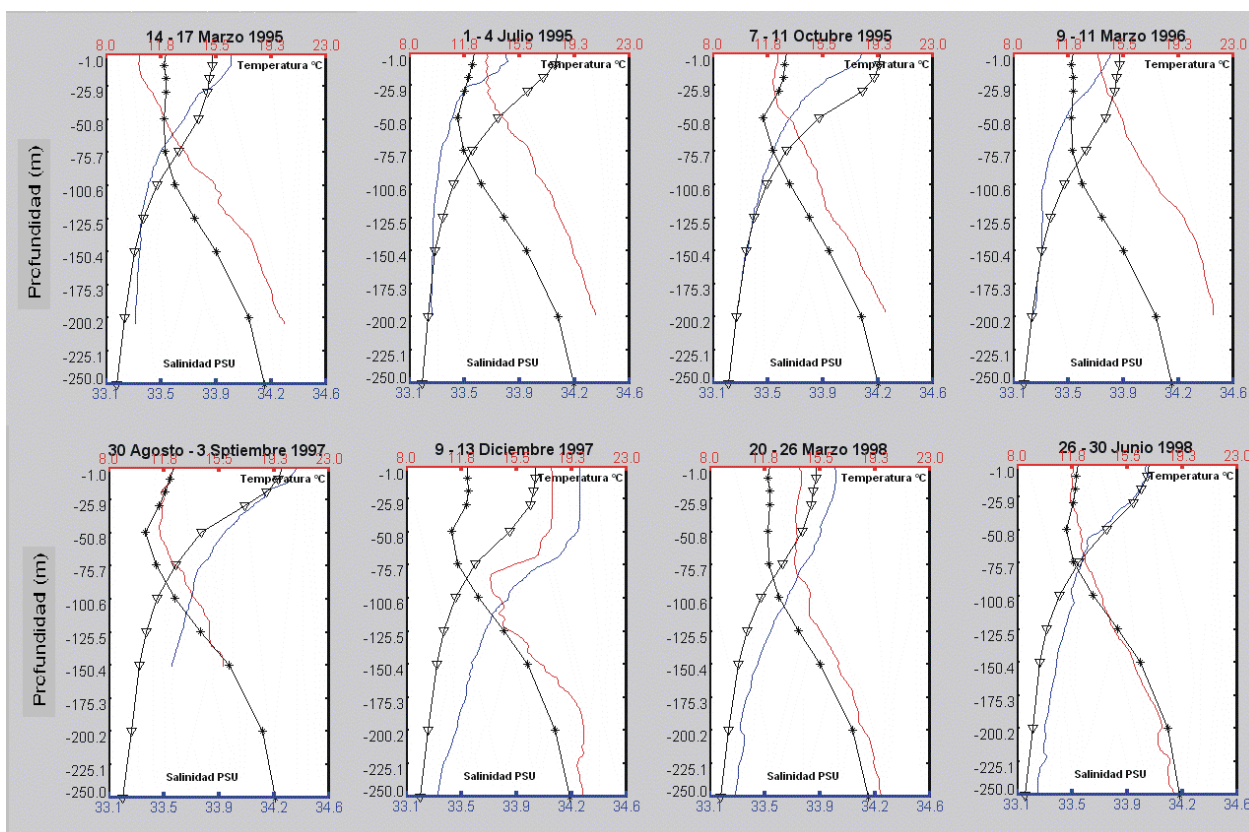


Fig. 14 Perfiles de temperatura °C (líneas rojas) y perfiles de salinidad (líneas azules) promedio obtenidos durante las campañas de marzo, julio y octubre 1995; marzo, agosto-septiembre, y diciembre de 1997; y marzo y junio de 1998; en negro aparecen los perfiles de temperatura () y los de salinidad (∇) climatológicos.

En julio de 1995 no existe una concordancia con los perfiles climatológicos. Asimismo se registraron temperaturas superficiales menores a 15.5 °C a principios de julio de 1995 y marzo de 1996. En general los perfiles de temperatura fueron de menor magnitud que los climatológicos entre julio de 1995 y marzo de 1996.

La temperatura máxima superficial la encontramos en septiembre de 1997. En este año existe una concordancia de los perfiles muestreados con los climatológicos, el perfil de temperatura aumenta sobrepasando el climatológico entre septiembre de 1997 y marzo de 1998.

Para diciembre de 1997 encontramos el segundo máximo de temperatura superficial, y una capa homogénea en salinidad y temperatura en los primeros 30 metros de profundidad. Asimismo existe una discordancia notable entre los perfiles climatológicos y los muestreados, denotando la existencia de una anomalía.

Para marzo de 1998 también se observaron condiciones de homogeneidad en los primeros 25 metros de profundidad y de nuevo una concordancia con la climatología.

Para Junio de 1998 las condiciones muestreadas se asemejan en mucho a los perfiles climatológicos, lo que marca el fin de la oscilación iniciada en 1997.

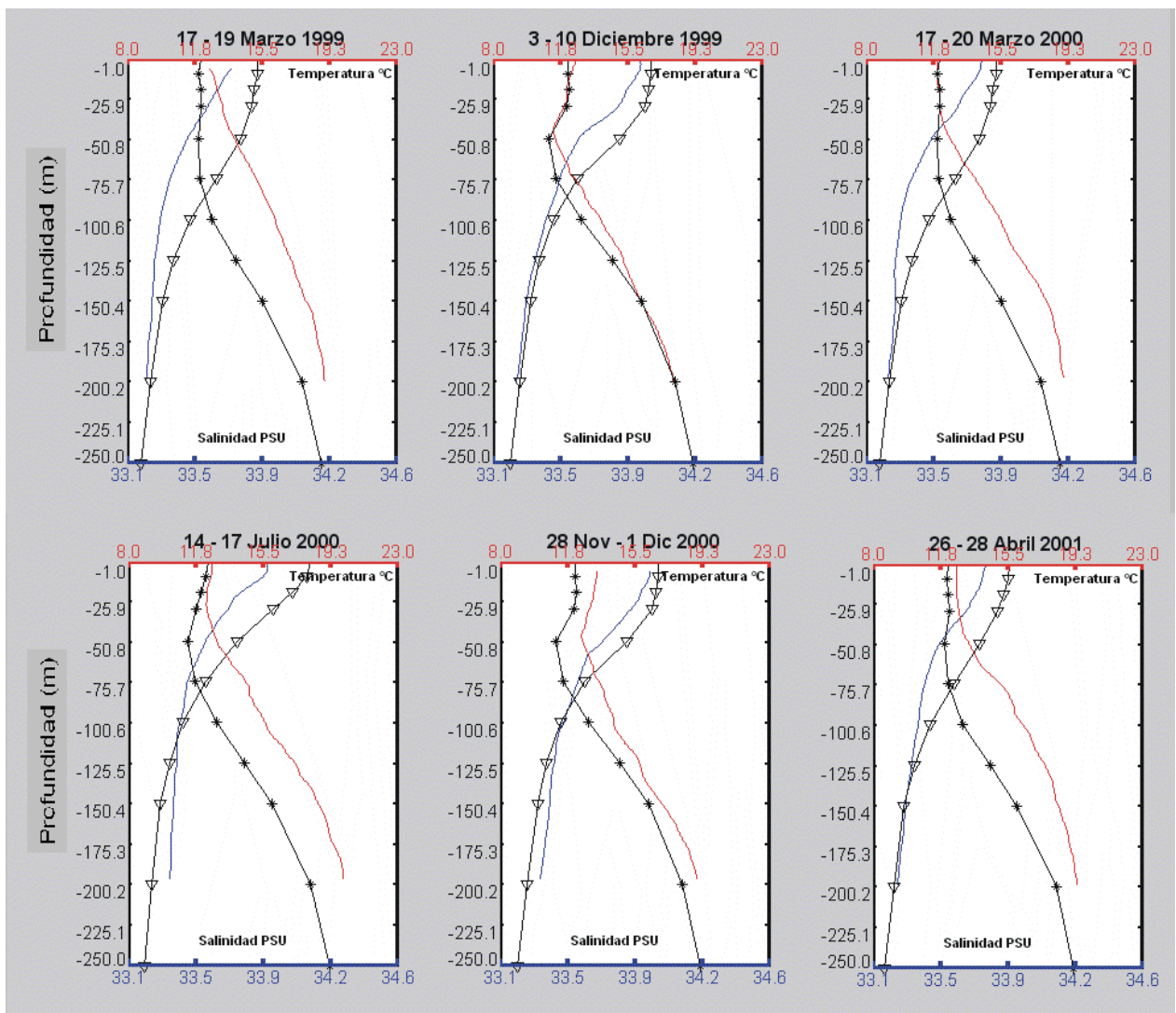


Fig. 15 Perfiles de temperatura °C (líneas rojas) y de salinidad (líneas azules) promedio obtenidos durante las campañas de marzo, diciembre de 1999; marzo, julio, diciembre de 2000; y abril de 2001; en negro aparecen los perfiles de temperatura () y de salinidad (∇) climatológicos.

De marzo de 1999 a abril de 2001, los perfiles de temperatura muestran magnitudes menores a los climatológicos. La salinidad, con excepción de diciembre de 1999 y los primeros 25 metros en marzo de 2000, muestra valores mayores para los perfiles muestreados respecto a los climatológicos. Esto nos habla de la existencia de un período anómalamente frío contrario al evidenciado entre septiembre de 1997 y marzo de 1998. En general encontramos que los perfiles de temperatura muestran un patrón de decaimiento inverso a los de salinidad hasta aproximadamente 50 metros, con excepción de: diciembre de 1999, período en el que encontramos la más grande

concordancia con los perfiles climatológicos; ahí tanto el perfil de salinidad como el de temperatura promedio presentaron una disminución sus valores hasta 40 metros; así como también del período comprendido entre noviembre y diciembre de 2000 donde se repitió este esquema hasta casi 50 metros. Cabe mencionar que el crucero de julio de 2000 tiene una gran dispersión de datos, tanto de temperatura como de salinidad. Asimismo se registró una temperatura superficial menor a 15.5 °C en abril de 1998.

7.1.2. Diagramas Temperatura-Salinidad (DTS) .

Los DTS correspondientes a octubre de 1994, marzo de 1995, julio de 1995, octubre de 1995, marzo de 1996 y septiembre de 1997, muestran un predominio de la masa de Agua Subártica (ASA) caracterizada por un intervalo de temperatura entre los 8 y 21 °C y de salinidad entre 33.0 y 34.0 (Durazo y Baumgartner, 2002); particularmente en octubre de 1994 donde los valores apuntan más hacia esta masa de agua, incluso que los climatológicos.

Existe también una influencia de la masa de Agua Ecuatorial Sub-superficial (AESs), caracterizada por un intervalo entre 8 y 15 °C de temperatura, y de salinidad entre 34.3 y 35.0 (Durazo y Baumgartner, 2002) la cual se observó entre marzo de 1995 y marzo de 1996, período en el que los valores obtenidos quedan dentro de la caja que define a la AESs, mientras que los DTS climatológicos se mantienen fuera de ella. Sin embargo, hay que considerar que estos lances no excedieron los 250 metros de profundidad por lo que es difícil tener registrada la influencia de masas de agua como la profunda del Pacífico.

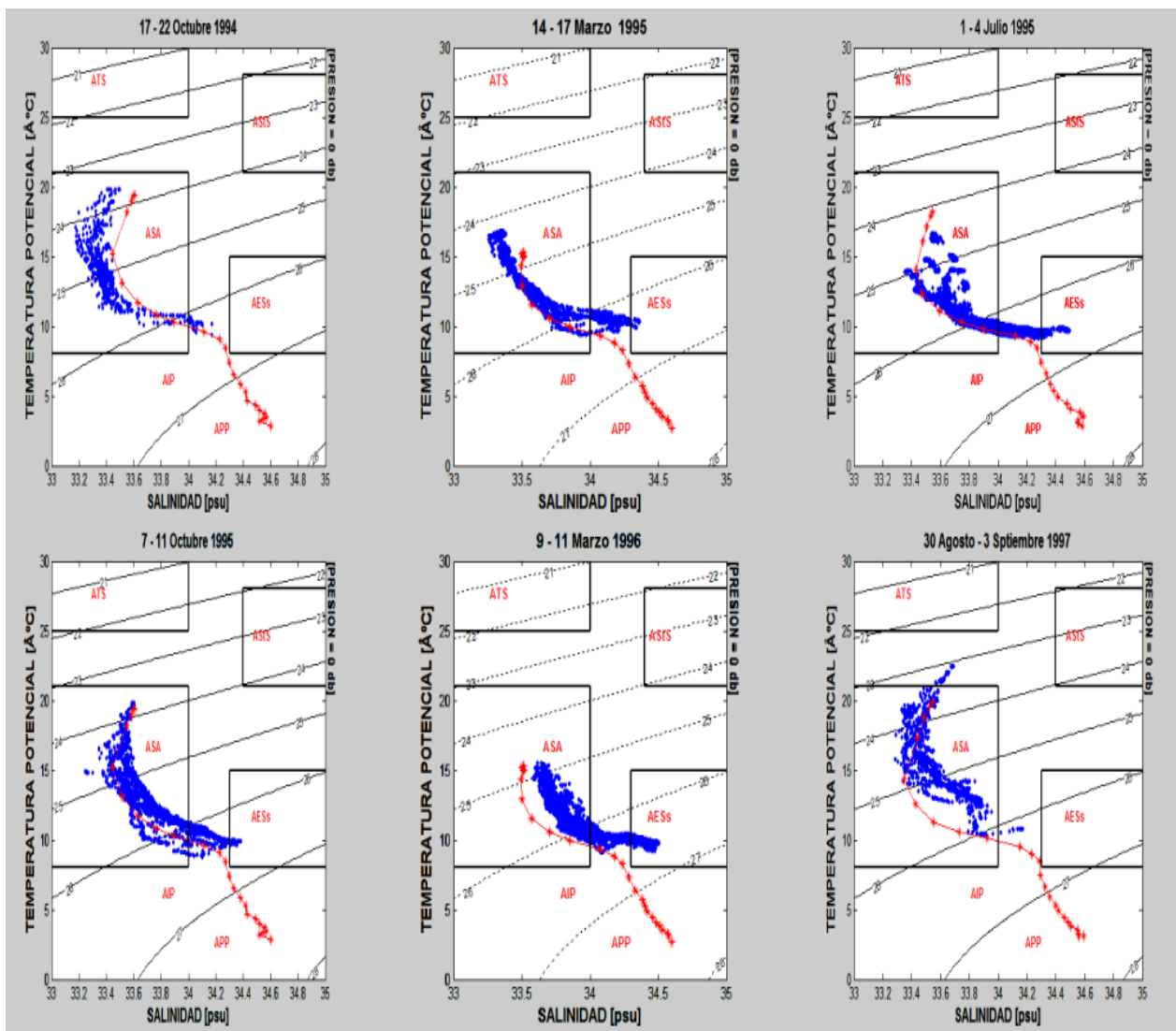


Fig.16 Diagramas T-S. Puntos azules corresponden a valores de muestreos; La línea que une los asteriscos rojos corresponde al TS climatológico. Los rectángulos corresponden a: Agua Tropical Superficial (ATS), Agua Subtropical Superficial (ASSts), Agua Subártica (ASA), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs) y Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Profunda del Pacífico (APP), según los rangos tomados de Durazo y Baumgartner (2002);

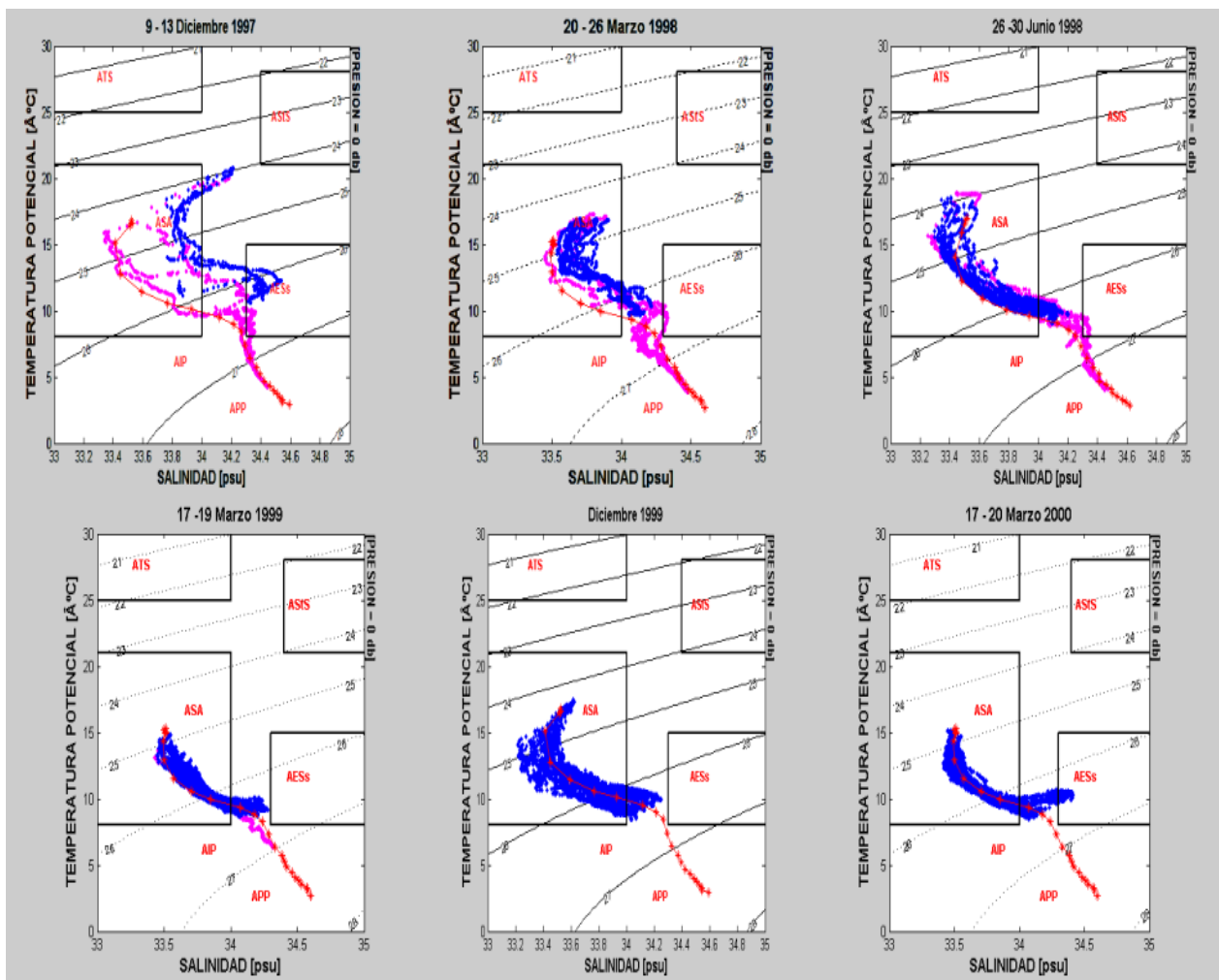


Fig. 17 Diagramas T-S. Puntos azules corresponden a valores de muestreos; la línea que une los asteriscos rojos corresponde al TS climatológico; en color rosa, datos precedentes de lances de más de 1000 metros. Los rectángulos corresponden a: Agua Tropical Superficial (ATS), Agua Subtropical Superficial (ASIS), Agua Subártica (ASA), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs), Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y Agua Profunda del Pacífico (APP), según los rangos tomados de Durazo y Baumgartner (2002);

Los DTS muestran un predominio de la masa de ASA. Hay una influencia de la masa de AESs más acentuada durante el período de diciembre de 1997, a marzo y junio de 1998 (El Niño), y en marzo de 2000. En el caso de diciembre de 1997, marzo y junio de 1998 y marzo de 1999, se registra la influencia del agua intermedia del Pacífico AIP y el agua profunda del Pacífico APP. El registro de estas masas de agua fue posible debido a los lances de más de 1000 metros realizados en este período.

El DTS de diciembre de 1997 muestra que los lances más profundos, provenientes de la estación situada más al sur y al oeste fuera de la zona de estudio definida en la

metodología se ajustan al DTS climatológico, mientras que los datos provenientes de la zona de estudio muestran un corrimiento hacia los rangos del AESs y el Agua Subtropical Superficial (ASStS)

Los valores de los muestreos más profundos concuerdan con los DTS climatológicos, esto debido a que los perfiles climatológicos llegan a profundidades de 1500 metros y que las estaciones en que fueron realizados los lances de 1000 metros son más cercanas a las de la red climatológica consultada.

7.1.3. Series de tiempo de temperatura

De los registros del CTD se obtuvieron mediciones puntuales de temperatura a 10, 25 y 50 metros de profundidad. Con estos datos se graficaron series de tiempo para cada zona y nivel de profundidad.

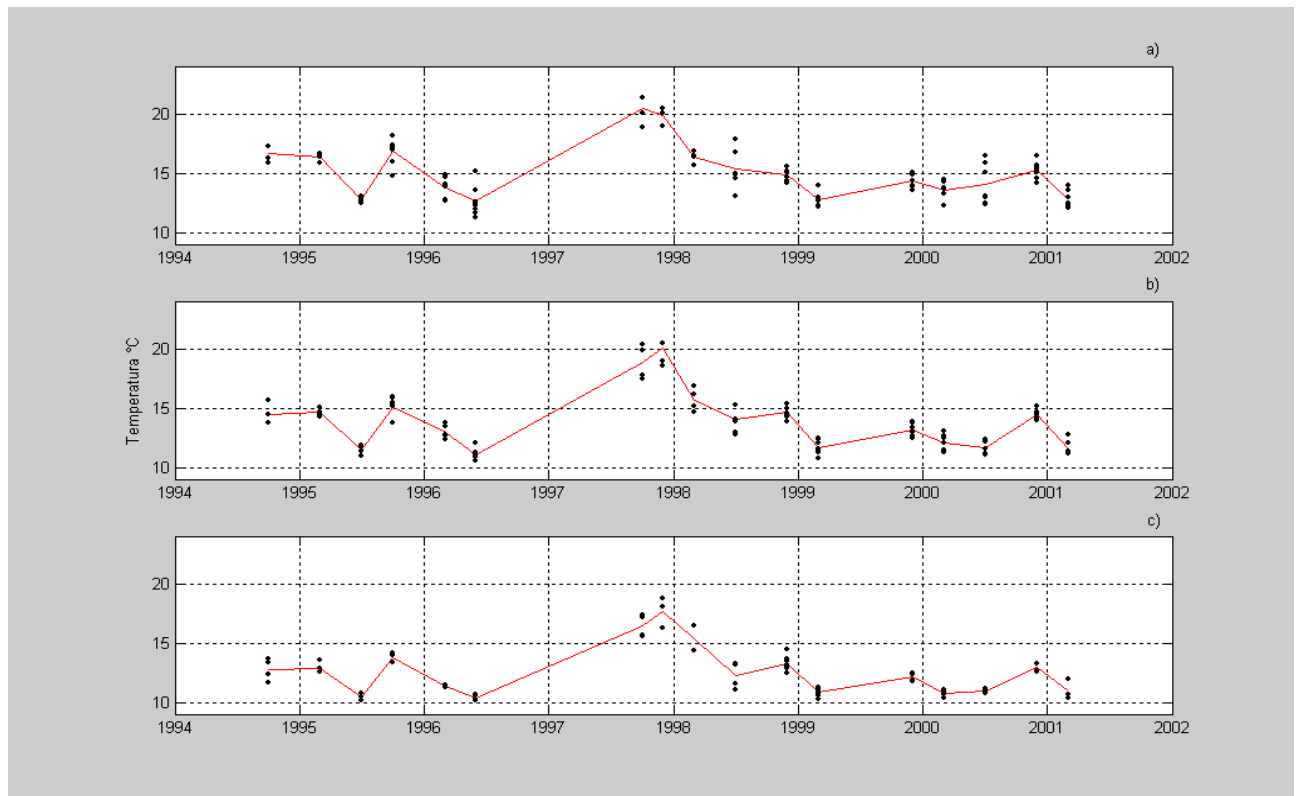


Fig. 18 Temperatura media a 10 (a), 25 (b) y 50 (c) metros de profundidad correspondientes a la zona nerítica durante los cruceros realizados entre 1994 y 2001. Los puntos representan el valor de temperatura obtenido para cada estación. La línea continua une los promedios por crucero.

La Figura 18 muestra la variación de la temperatura a los tres niveles de profundidad para la zona nerítica. La máxima temperatura en los tres niveles de profundidad se registró durante 1997 con un promedio máximo en septiembre a 10 metros de profundidad que fue de 20.4 °C (desviación estándar (DE) = 1.2), y disminuyendo para diciembre del mismo año a 19.8°C (DE = 0.8). Se observó que después de 1998 la temperatura a los tres niveles muestra una tendencia similar. Mínimos notables de temperatura de registraron a principios de julio de 1995 junio de 1996 y en marzo de 1999.

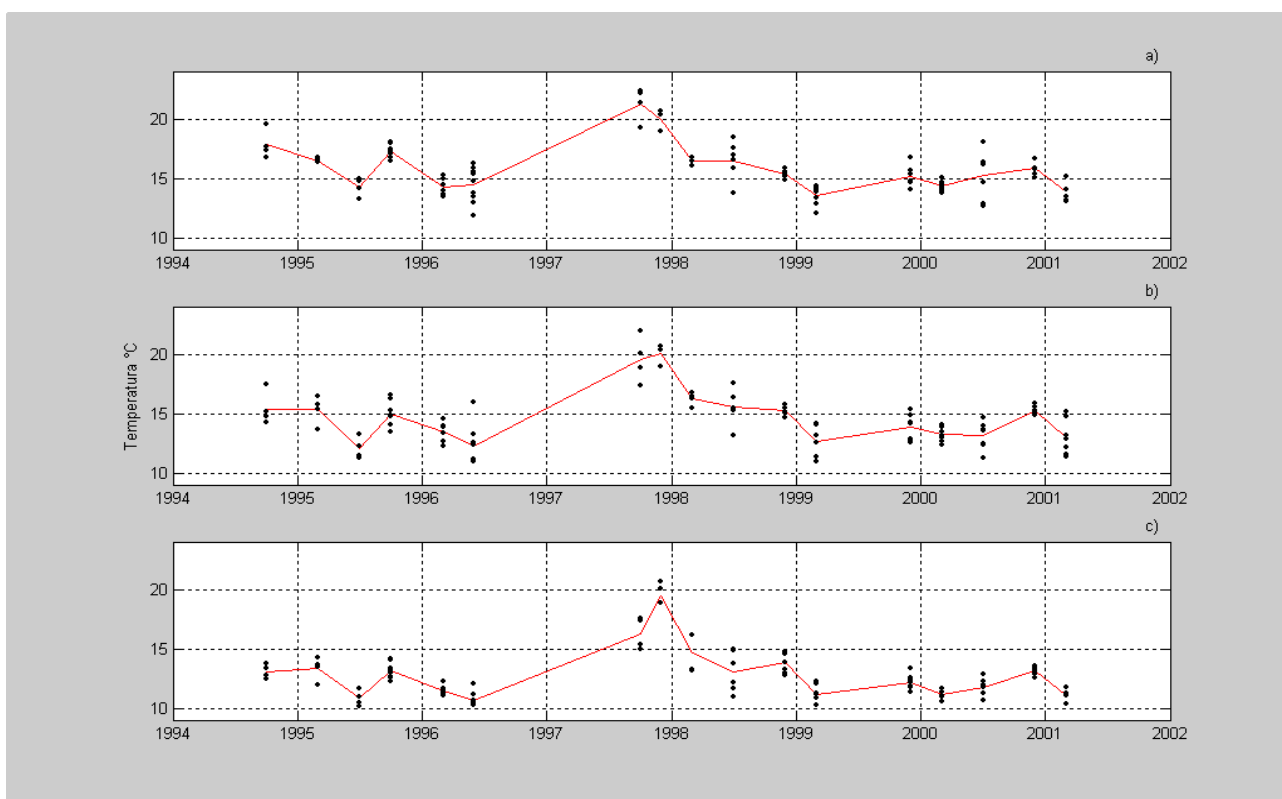


Fig. 19 Temperatura a 10 (a), 25 (b) y 50 (c) metros de profundidad correspondientes a la zona de talud durante los cruceros realizados entre 1994 y 2001. Los puntos representan el valor de temperatura obtenido para cada estación. La línea continua une los promedios por crucero.

En la Figura 19 se puede observar que la temperatura promedio en la zona del talud muestra a los tres niveles de profundidad una oscilación consistente con un mínimo en julio de 1995, un incremento para octubre del mismo año, seguido por una disminución registrada en el año 1996. El año 1997 muestra incrementos de temperatura a los tres niveles de profundidad, presentando a 10 metros la máxima temperatura registrada. Posterior a 1998 la tendencia es hacia una menor temperatura promedio en los tres

niveles de profundidad; la disminución de temperatura se ve acentuada en marzo de 1999. Finalmente se presenta un incremento registrado a finales del año 2000.

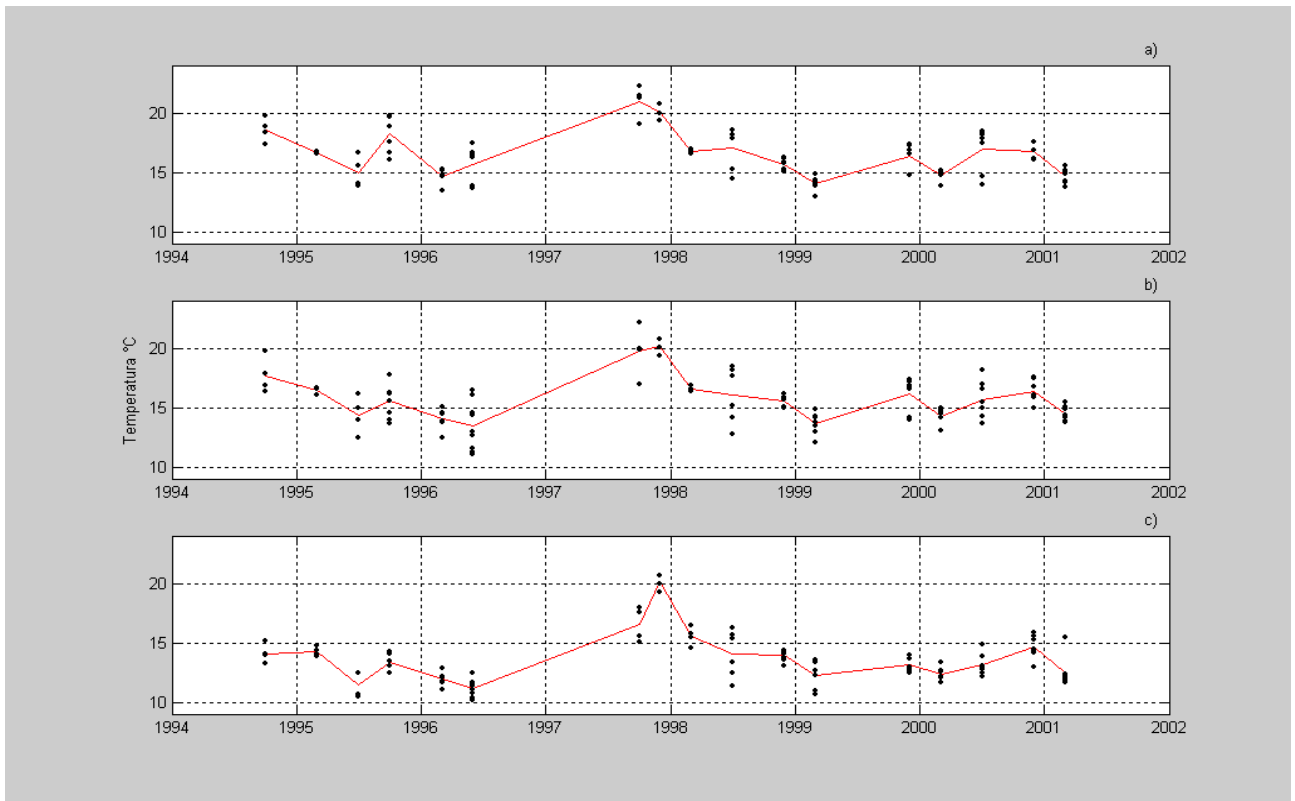


Fig. 20 Temperatura a 10 (a), 25 (b) y 50 (c) metros de profundidad correspondientes a la zona oceánica durante los cruces realizados entre 1994 y 2001. Los puntos representan el valor de temperatura obtenido para cada estación. La línea continua une los promedios por cruce.

En la Figura 20 es posible apreciar que la temperatura promedio obtenida en la zona oceánica muestra, al igual que las zonas más cercanas a la costa, una oscilación en 1995, un incremento en 1997 y una tendencia a disminuir después de 1997, en los tres niveles de profundidad. Entre diciembre de 1999 y marzo de 2000 la temperatura muestra una oscilación acentuada a los 10 metros de profundidad, seguida por un incremento a partir de julio del año 2000.

Para poder realizar una comparación entre zonas, los promedios y desviaciones de temperatura para las tres zonas y los tres niveles de profundidad fueron graficados conjuntamente. En general durante la serie de tiempo pueden observarse menores temperaturas en la zona nerítica corroborando el esquema típico de zona de surgencias (Figura 21, 22 y 23)

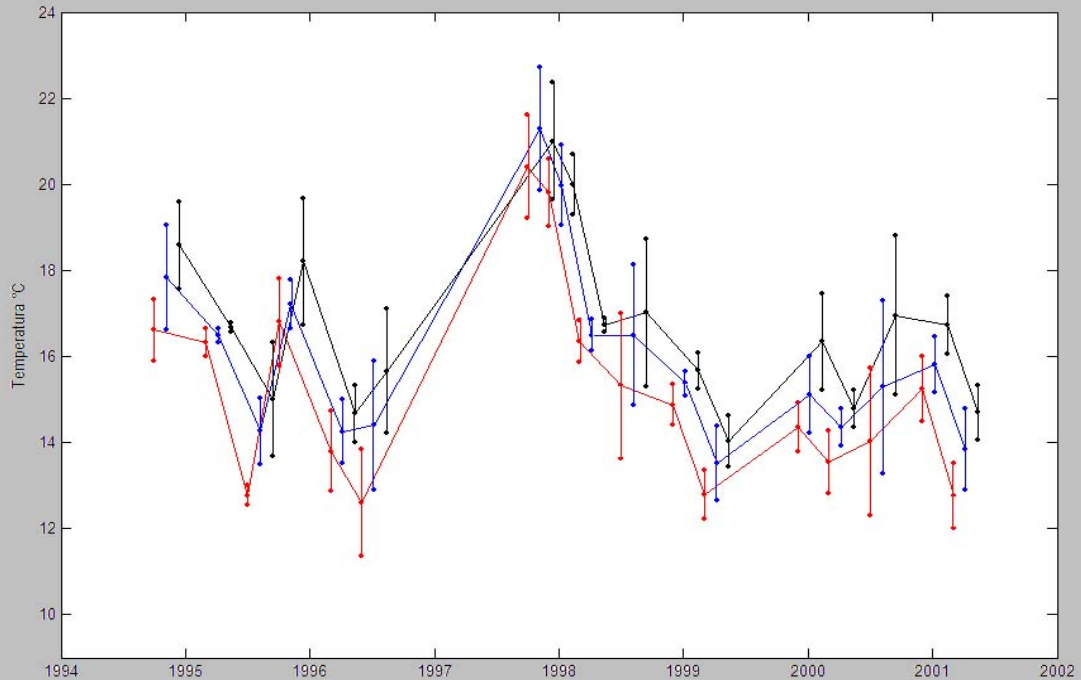


Fig. 21 Temperatura promedio y desviaciones estándar (barras) a 10 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

La Figura 21 indica que a 10 metros de profundidad el promedio de la temperatura en la zona oceánica es mayor respecto a las zonas de talud y nerítica. El promedio de la temperatura en la zona nerítica siempre fue menor respecto a las otras dos zonas durante toda la serie de tiempo.

La mayor temperatura promedio de la serie se encuentra a 10 metros de profundidad en septiembre de 1997 en la zona de talud y fue de 21.3 °C (DE = 1.4). A 10 metros de profundidad, el promedio de las tres zonas presentó su máximo en septiembre de 1997, el cual fue de 20.9 °C (DE = 1.3), que contrasta con los 15.1 °C (DE = 2.0), promedio de temperatura para las tres zonas, obtenido de los seis cruceros realizados entre el otoño de 1994 y el verano de 1996 a la misma profundidad.

En la zona nerítica también se observó un promedio máximo de temperatura en septiembre 1997 de 20.4 °C (DE = 1.2), disminuyendo para diciembre de ese año a 19.8°C (DE = 0.8). A esta profundidad se pueden observar, para la zona nerítica,

mínimos de temperatura en julio de 1995, junio de 1996, marzo de 1999 y diciembre de 2000. Y para las zonas de talud y oceánica en julio de 1995, marzo de 1996, marzo de 1999 y diciembre de 2000.

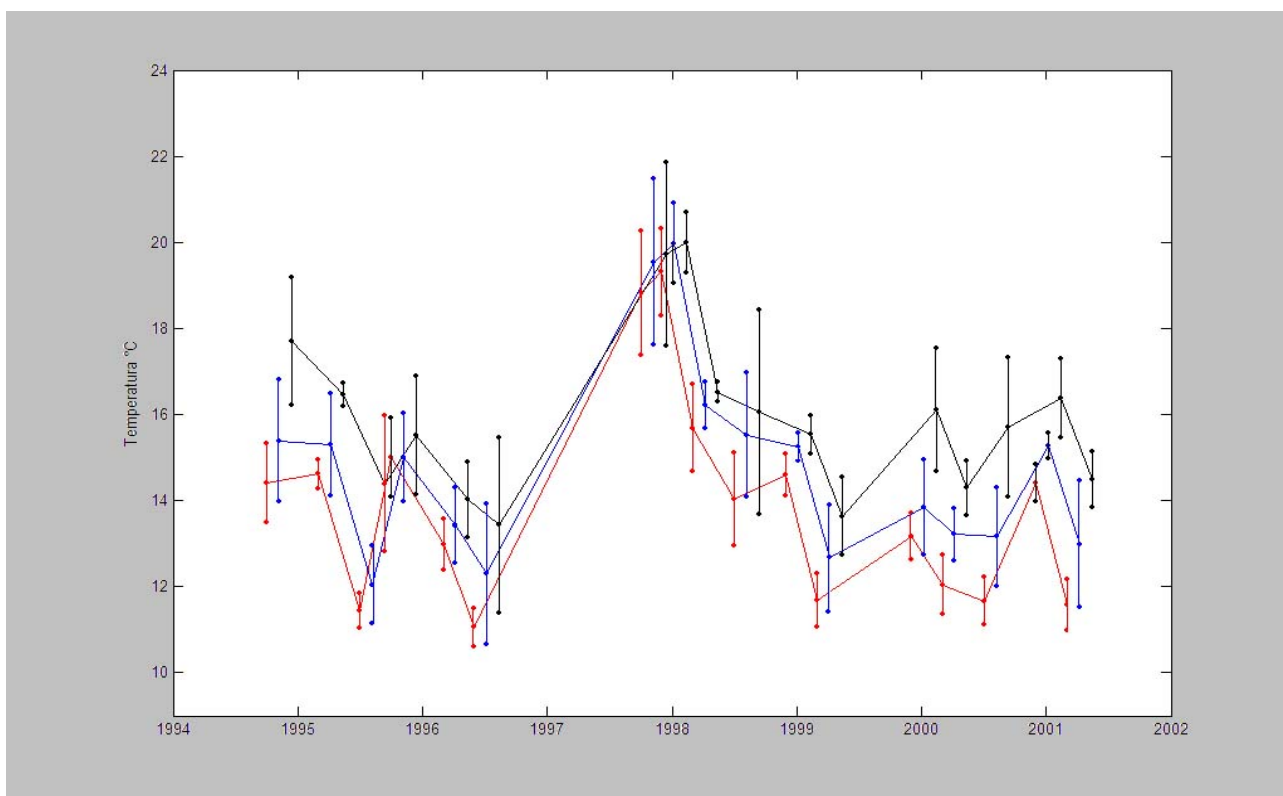


Fig. 22 Temperatura promedio y desviaciones estándar (barras) a 25 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

En la Figura 22 se presentan los promedios y las desviaciones estándar de la temperatura a 25 metros de profundidad registrados por zonas. Se nota que el promedio de la temperatura en la zona oceánica es durante toda la serie de tiempo mayor respecto a las zonas de talud y nerítica.

El promedio de la temperatura en la zona nerítica es menor respecto a las otras dos zonas con excepción del promedio de 15.0 °C (DE = 0.9) registrado en el crucero de octubre de 1995. A 25 metros de profundidad se registran mínimos de temperatura para las tres zonas en julio de 1995, junio de 1996, marzo de 1999 y de 2000. En septiembre de 1997 se observa el promedio máximo en las tres zonas.

El período de marzo a julio de 2000 es interesante pues presenta una disminución en la zona nerítica de 12.05 (DE = 0.7) a 11.66 (DE = 0.5); en la zona de talud se mantiene constante de 13.22 (DE = 0.6) a 13.15 (DE = 1.1); registra un incremento en la zona oceánica de 14.29 (DE = 0.6) a 15.7 (DE = 1.6), de marzo a julio, respectivamente.

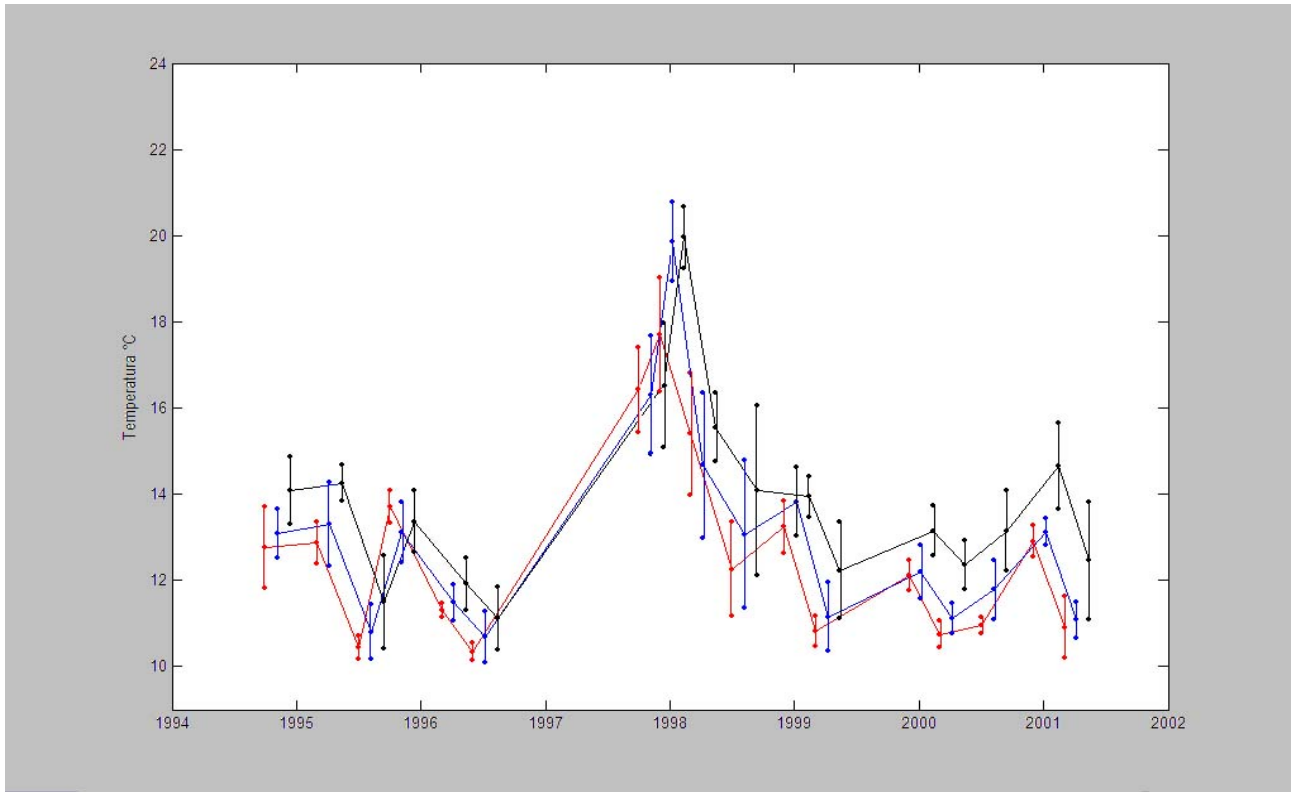


Fig. 23 Temperatura promedio y desviaciones estándar (barras) a 50 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

A 50 metros de profundidad se encuentra que en octubre de 1995 y en septiembre de 1997 el promedio de la temperatura en la zona nerítica fue mayor a los de las otras dos zonas siendo de 13.71 °C (DE = 0.4) y de 10.3 °C (DE = 0.2) respectivamente. Esto modifica el esquema que situaba la temperatura nerítica debajo de la temperatura de zonas más alejadas de la costa. Para diciembre de 1997 el promedio de las tres zonas fue de 19.2°C (DE = 1.4) y para marzo de 1998 descendió hasta 15.17°C (DE = 1.2). En marzo de 1998 el promedio de la zona nerítica fue de 15.4 °C (DE = 1.4); mayor que el obtenido en el talud 14.7° (DE =1.7).

La capa de 50 metros es la que se aleja más del esquema de temperaturas más frías cercanas a la costa. De acuerdo con lo observado en 1997, encontramos un proceso de

calentamiento asociado a la presencia de el fenómeno de EN, confirmado para esa zona por Durazo y Baumgartner (2002). Como consecuencia de la observación de los mayores incrementos de la temperatura promedio en las tres zonas consideraremos a los cruceros 12, 13 y 14, como muestreos en condición de EN.

Conociendo que durante EN la temperatura en las tres zonas se incrementa significativamente (Figuras 21, 22 y 23), el siguiente paso fue comparar las temperaturas en los tres niveles de profundidad por zona antes (del crucero 5 al 10) y después de EN (del crucero 15 al 22). Ver Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de ANOVA para temperaturas por profundidades antes y después de EN:

Antes y después de El Niño			
Ho: La temperatura fue igual antes y después de El Niño			
Nerítica	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	3.06	0.0836	V
Temperatura a 25 m	0.24	0.6289	V
Temperatura a 50 m	0.04	0.8453	V
Ho: La temperatura fue igual antes y después de El Niño			
Talud	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	4.28	0.0414	V
Temperatura a 25 m	0.37	0.547	V
Temperatura a 50 m	0.6	0.4413	V
Ho: La temperatura fue igual antes y después de El Niño			
Oceánica	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	3.9	0.0513	V
Temperatura a 25 m	0.74	0.3926	V
Temperatura a 50 m	6.56	0.0121	F

Estadísticamente sólo se encontró un cambio de la temperatura antes y después de EN y fue en la zona oceánica a 50 metros de profundidad. Posteriormente se hacen algunos otros análisis de varianza pero se presentan en el conjunto de las variables ambientales.

7.1.4. Series de tiempo de salinidad

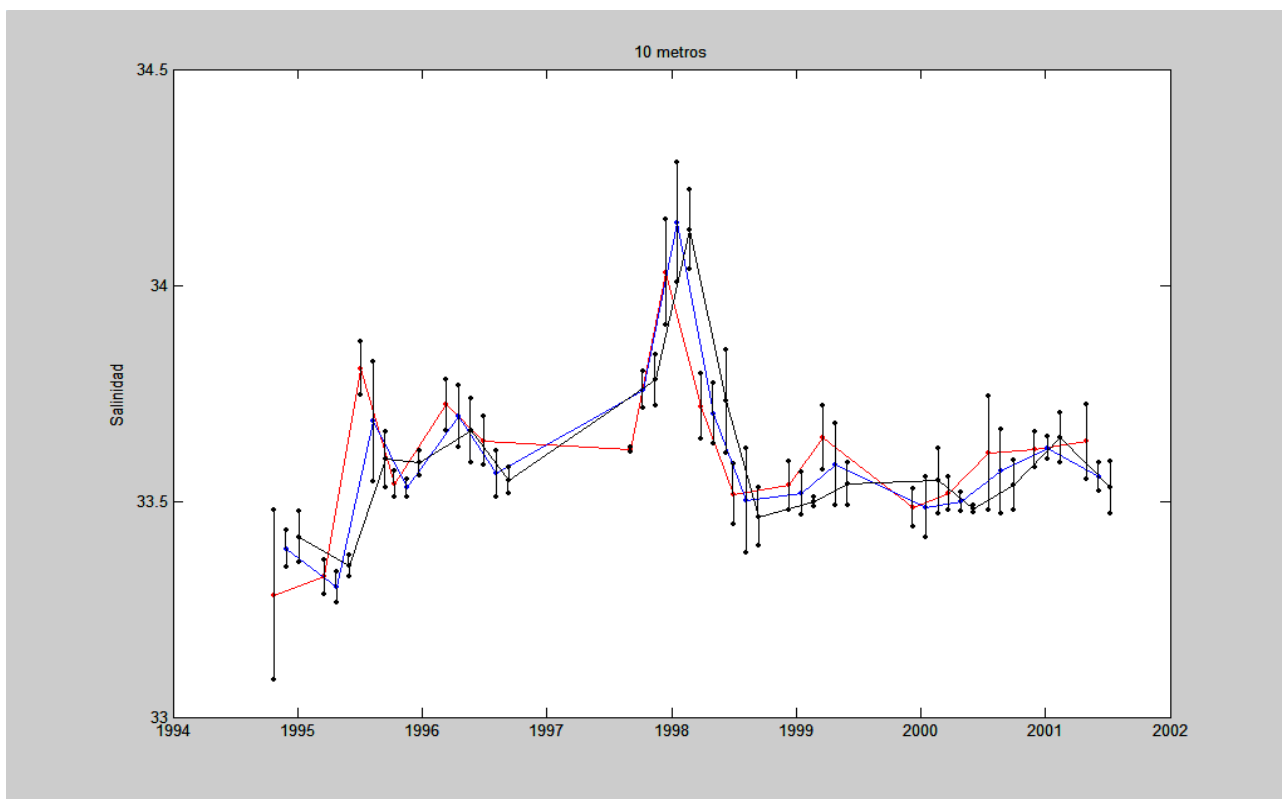


Fig. 24 Promedio de la salinidad y desviaciones estándar (barras) a 10 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

La salinidad a 10 metros presenta tres máximos: julio de 1995, marzo de 1996 y diciembre de 1997. Este último máximo es el mayor de la serie de tiempo y acentuado en la zona oceánica 34.13 (DE = 0.09) y en la de talud 34.14 (DE = 0.14), así como un mínimo en octubre de 1995 en la zona nerítica 33.28 (DE = 0.2).

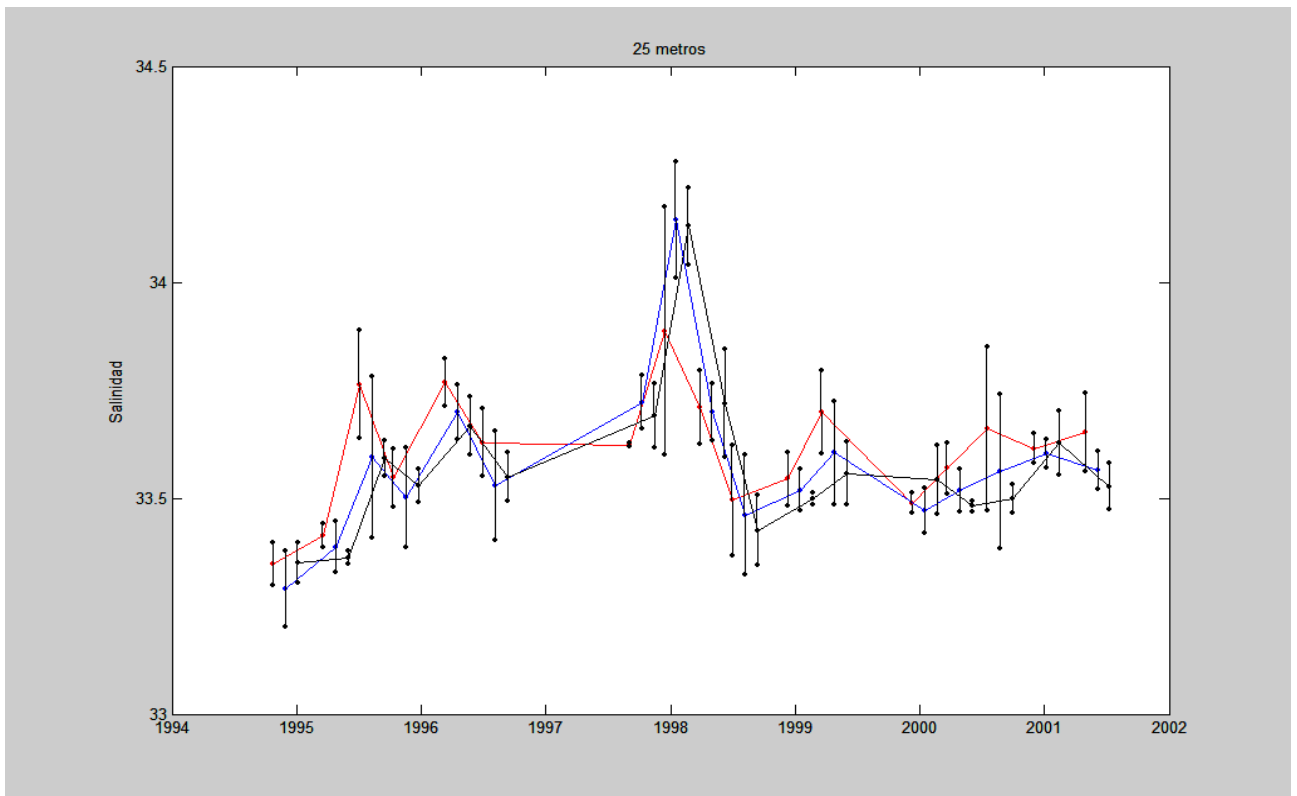


Fig. 25 Promedio de la salinidad y sus desviaciones estándar (barras) a 25 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

La salinidad a 25 m presentó tres máximos: en julio de 1995 33.76 (DE = 0.12); en marzo de 1996 33.77 (DE = 0.05) ambos en la zona nerítica; y un máximo mayor en diciembre de 1997 acentuado en las zonas de talud 34.14 (DE = 0.13) y oceánica 34.13 (DE = 0.09). Encontramos también un mínimo en octubre de 1994 acentuado en la zona de talud 33.29 (DE = 0.09).

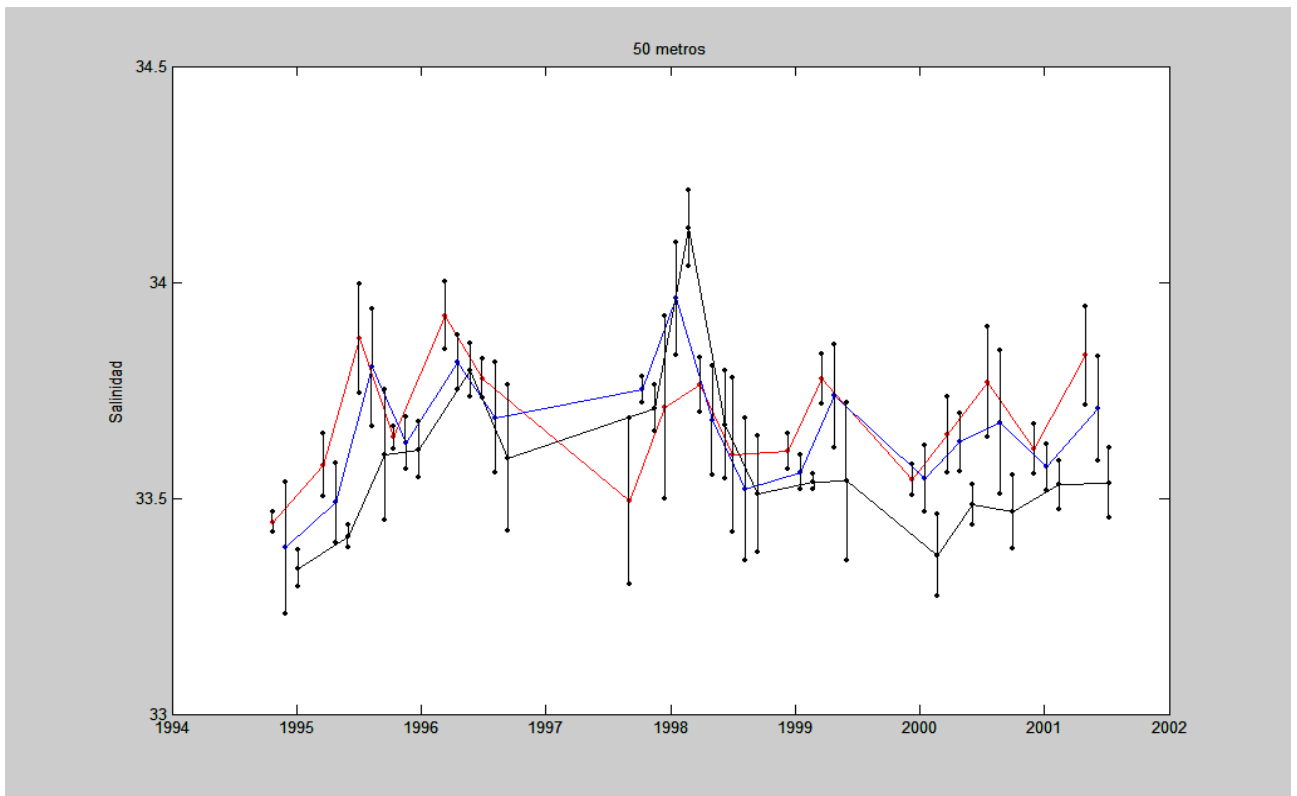


Fig. 26 Promedio de la salinidad y sus desviaciones estándar (barras) a 50 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

El promedio de la salinidad a 50 metros presentó tres máximos; dos en los que la salinidad es mayor en la zona nerítica en julio de 1995 33.87 (DE = 0.12) y marzo de 1996 33.92 (DE = 0.077); y un tercer máximo, el mayor de la serie, se presentó en diciembre de 1997, con la variante de que la salinidad mayor se presentó en la zona oceánica 34.13 (DE = 0.09). En septiembre como en diciembre de 1997 las salinidades son mayores en las zonas más alejadas de la costa. La salinidad en la zona nerítica en este período es menor y presenta mayores desviaciones estándar (septiembre de 1997 33.49, DE = 0.19 y diciembre de 1997 33.71, DE = 0.21). En general, las gráficas 29, 30 y 31, muestran que a los tres niveles de profundidad se presenta un incremento de la salinidad en 1997 y una disminución posterior a 1998. Asimismo, el esquema que ubica a la zona nerítica como la zona con mayor salinidad se invierte para el año 1997. A continuación se presentan los resultados de análisis de varianza de una vía realizados sobre las temperaturas y salinidades por zonas y niveles en relación a la presencia de EN.

Tabla 3. Resultados de ANOVA para temperatura y salinidad por profundidades comparando por zonas, así como para salinidad por zona comparando por profundidad; antes durante después de EN.

Antes de El Niño			
Ho : Las temperaturas son iguales en las diferentes zonas			
POR ZONAS	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	7.09	0.0013	F
Temperatura a 25 m	8.94	< 0.001	F
Temperatura a 50 m	1.92	0.1529	V
salinidad a 10 m	0.39	0.6758	V
salinidad a 25 m	2.5	0.087	V
salinidad a 50 m	2.93	0.0588	V
Ho : Las salinidades son iguales en los diferentes niveles de profundidad			
POR NIVELES DE PROF.	F	P	Ho
salinidad zona nerítica	3.48	0.0351	V
salinidad zona talud	7.3	0.0011	F
salinidad zona oceánica	1.69	0.19	V

Durante El Niño			
Ho : Las temperaturas son iguales en las diferentes zonas			
POR ZONAS	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	0.13	0.8803	V
Temperatura a 25 m	0.47	0.6272	V
Temperatura a 50 m	0.17	0.8454	V
salinidad a 10 m	0.33	0.7233	V
salinidad a 25 m	0.61	0.5489	V
salinidad a 50 m	2.7	0.0845	V
Ho : Las salinidades son iguales en los diferentes niveles de profundidad			
POR NIVELES DE PROF.	F	P	Ho
salinidad zona nerítica	1.68	0.02053	V
salinidad zona talud	0.03	0.9748	V
salinidad zona oceánica	0.18	0.8342	V

Después de El Niño			
Ho : Las temperaturas son iguales en las diferentes zonas			
POR ZONAS	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	19.84	< 0.001	F
Temperatura a 25 m	37.42	< 0.001	F
Temperatura a 50 m	17.58	< 0.001	F
salinidad a 10 m	3.67	0.0277	V
salinidad a 25 m	7.48	0.0008	F
salinidad a 50 m	28.19	< 0.001	F
Ho : Las salinidades son iguales en los diferentes niveles de profundidad			
POR NIVELES DE PROF.	F	P	Ho
salinidad zona nerítica	10.59	< 0.001	F
salinidad zona talud	10.47	< 0.001	F
salinidad zona oceánica	2.24	0.1097	V

Debido a que el El Niño (EN) de 1997-1998 se produjo durante el período de estudio, pareció útil aprovechar este evento para realizar estudios comparativos. Por esto se

hicieron comparaciones entre los muestreos antes de los cruceros 12, 13 y 14 realizados en septiembre y diciembre de 1997 y marzo de 1998 durante los mismos y después de ellos, en virtud que durante dichos cruceros se observa el evento de calentamiento asociado a EN. Se realizaron también comparaciones entre las zonas en que se dividió el área de estudio.

Antes de EN 1997-1998

Sintetizando, con base a las pruebas de hipótesis, las temperaturas presentaban diferencias significativas por zonas a 10 y 25 metros. La salinidad antes de EN se encontraba homogénea a lo largo de capas que cubrían las diferentes zonas (nerítica, de talud y oceánica), asimismo la salinidad se presentó homogénea en sentido vertical en la zona nerítica y la oceánica. Sin embargo mostró diferencias significativas entre niveles de profundidad en la zona de talud.

Durante EN 1997-1998

Durante EN no hubo diferencias significativas en temperatura o salinidad entre zonas a ningún nivel de profundidad. Tampoco de salinidad por zonas a los diferentes niveles de profundidad, todo fue homogéneo, cálido y salado.

Después de EN 1997-1998

Después de EN encontramos más heterogeneidad en cuanto a las características del agua de cada zona, así la temperatura y la salinidad presentaron diferencias significativas entre zonas para los diferentes niveles de profundidad (a los niveles de 25 y 50 metros), con excepción de la salinidad a 10 metros que se presentó homogénea en las distintas zonas. Así la temperatura a 10 metros fue significativamente más fría en la zona nerítica que en las zonas talud y oceánica. A 25 metros la temperatura fue más fría en la zona nerítica que en las zonas talud y oceánica. A 50 metros la temperatura fue más fría para la zona nerítica. Por niveles de profundidad, la zona oceánica no

presentó variación significativa de la salinidad, mientras que si se presentaron tales diferencias en el talud (como antes de EN) así como en la zona nerítica.

7.1.5. Profundidad de la capa mezclada e intensidad de la termoclina.

Las variaciones de la profundidad de la termoclina registran los cambios en los vientos superficiales que aportan información la cual puede ser crítica en torno al sistema de acoplamiento océano atmósfera (Wang *et al.*, 1999), reflejan la dinámica oceánica presente en la zona de estudio y su variación es una señal importante en la determinación de la existencia de la presencia del evento de EN. El comportamiento de la profundidad e intensidad de la termoclina para la zona nerítica, de talud y oceánica se presentan en las Figuras 27, 28 y 29 respectivamente.

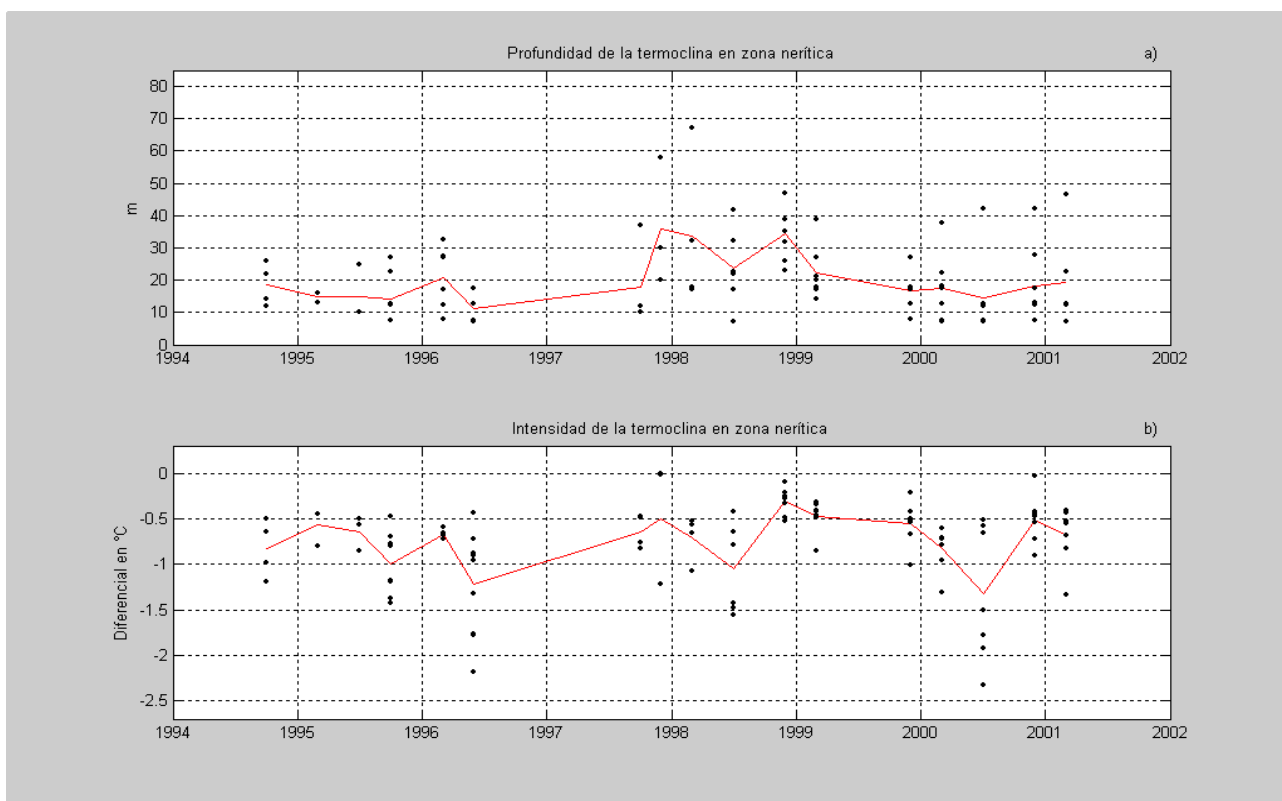


Fig. 27 Profundidad m (a) e intensidad $\Delta^{\circ}\text{C}$ de la termoclina (b) para la zona nerítica entre 1994 y 2001, la línea continua indica la media aritmética de cada crucero, los puntos son los valores para cada estación.

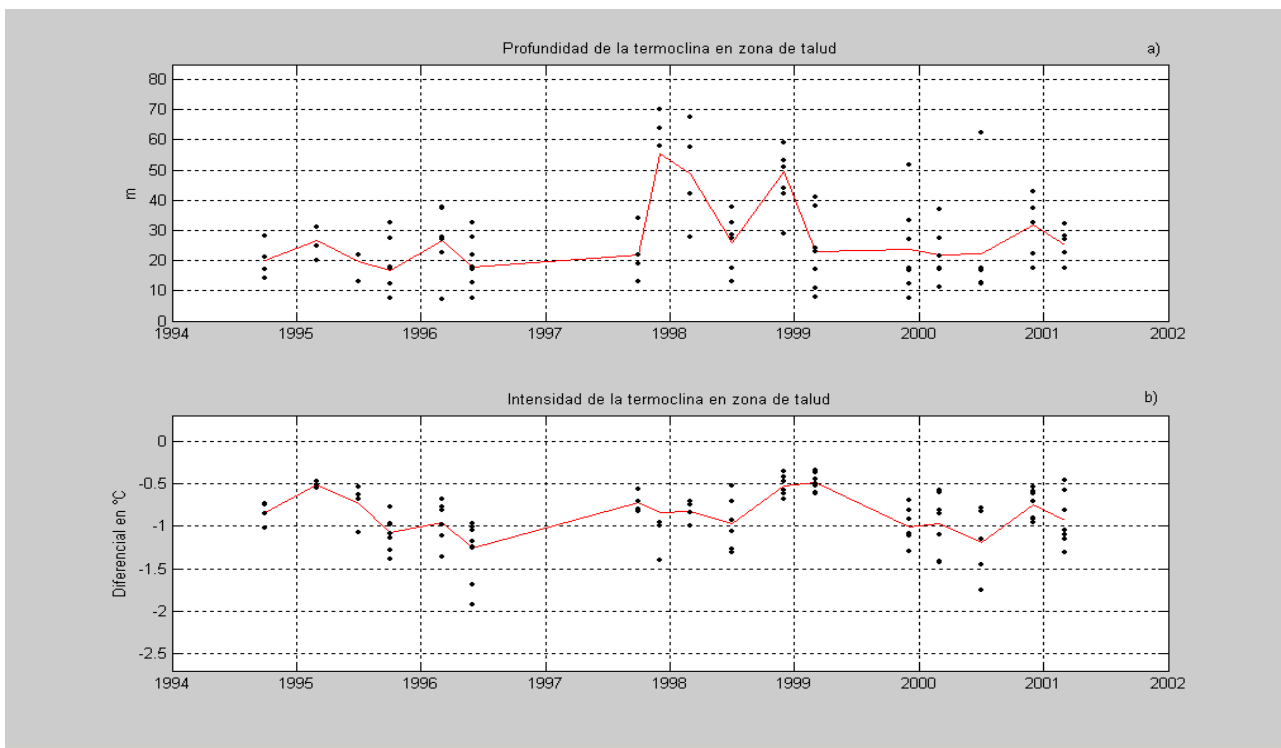


Fig. 28 Profundidad m (a) e intensidad $\Delta^{\circ}\text{C}$ de la termoclina (b) para la zona de talud entre 1994 y 2001, la línea continua pasa por el valor representando la media aritmética de cada crucero, los puntos son los valores para cada estación.

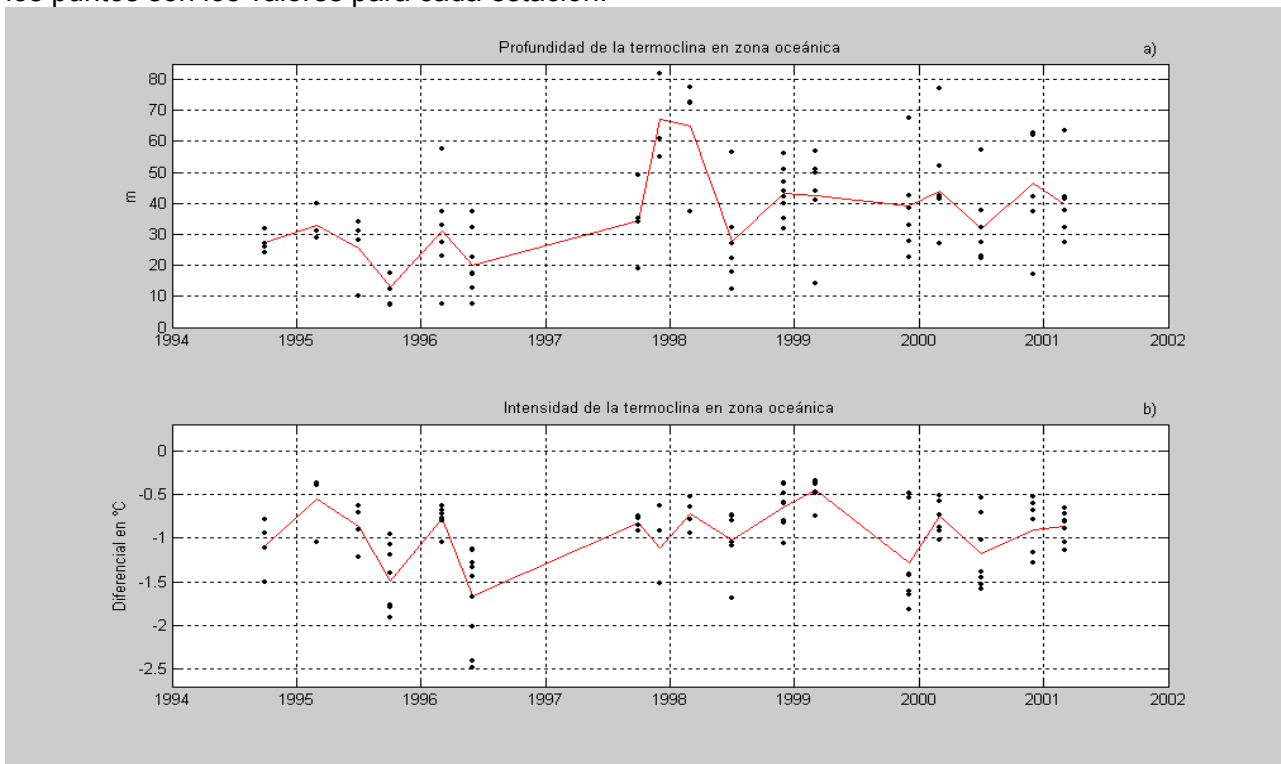


Fig. 29 Profundidad m (a) e intensidad $\Delta^{\circ}\text{C}$ de la termoclina (b) para la zona oceánica entre 1994 y 2001, la línea continua indica la media aritmética de cada crucero. Los puntos son los valores para cada estación.

Las mayores variaciones de la profundidad de la termoclina se dieron en la zona oceánica. En la tabla 4 se presentan los resultados del análisis de varianza correspondiente. La profundidad de la termoclina cambió significativamente antes, durante y después de EN, tanto en la zona nerítica como en el talud y en la zona oceánica.

Mientras que la Intensidad de la termoclina no tuvo cambios significativos antes durante y después de EN en las zonas cercanas a la costa (nerítica y talud). Mientras que en la zona oceánica la Intensidad de la termoclina cambió significativamente antes, durante y después de EN.

Tabla 4 Resultados de ANOVA para la profundidad e intensidad de la termoclina en las diferentes zonas comparando por periodos; antes, durante y después de EN.

Profundidad de la termoclina			
Ho : La profundidad de la termoclina es igual antes, durante y después de El Niño			
ANOVA de una vía	F	P	Ho
NERITICA	5.92	0.0038	F
TALUD	11.85	< 0.001	F
OCEANICA	19.17	< 0.001	F

La Intensidad de la termoclina			
Ho : La intensidad de la termoclina es igual antes, durante y después de El Niño			
ANOVA de una vía	F	P	Ho
NERITICA	2.82	0.0642	V
TALUD	1.91	0.154	V
OCEANICA	5.81	0.004	F

7.1.6. Profundidad de mezcla

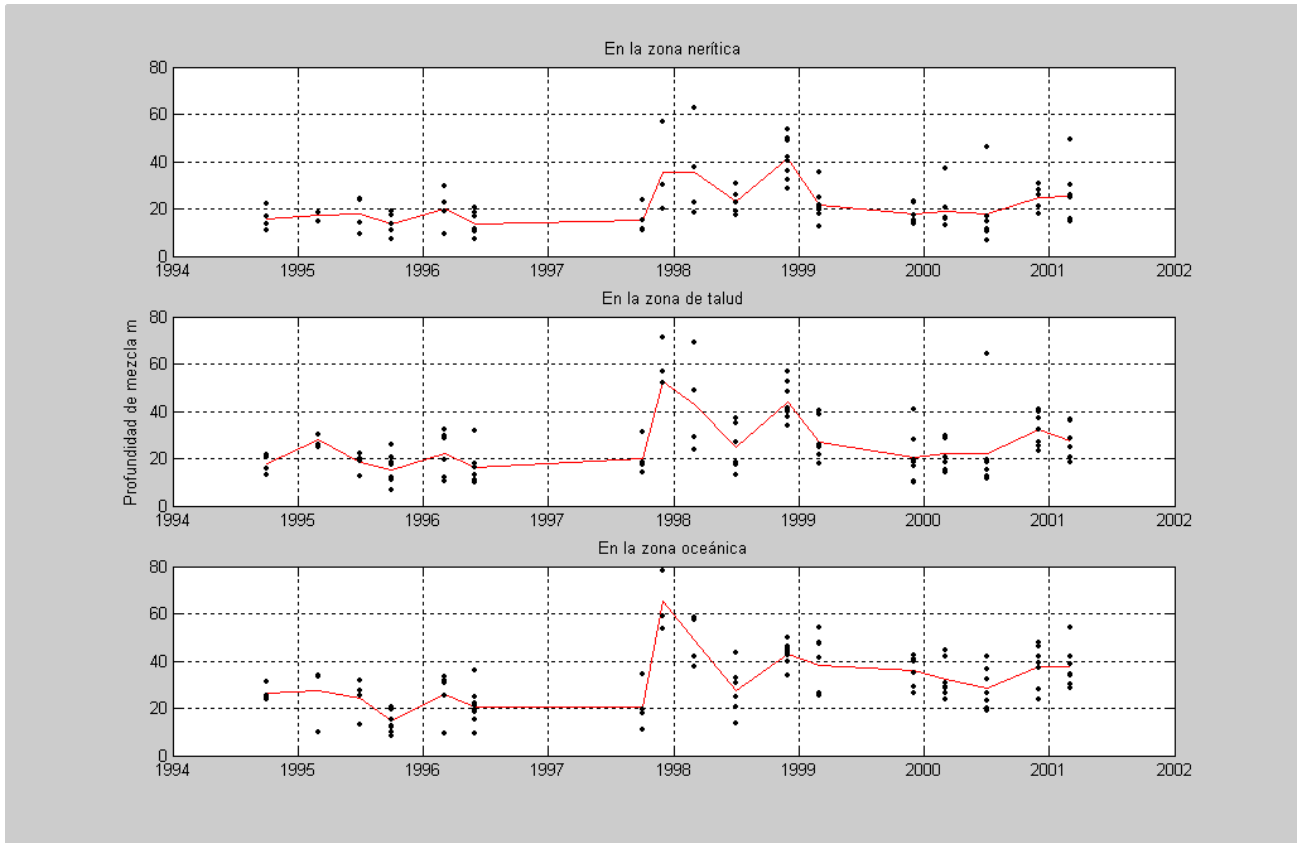


Fig. 30 Profundidad de mezcla para las zonas: nerítica, de talud y oceánica, entre 1994 y 2001, la línea continua indica la media aritmética de cada crucero. Los puntos son los valores para cada estación.

La profundidad de mezcla presenta gráficamente una gran oscilación cercana al evento de EN 97-98, el análisis de varianza muestra que existieron variaciones significativas para las tres zonas (acentuados en las zonas de talud y oceánica) antes, durante y después del evento de EN ver la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de ANOVA para la profundidad de la capa mezclada en las diferentes zonas comparando por períodos; antes, durante y después de EN:

Profundidad de la capa mezclada			
Ho : La profundidad de la capa mezclada es igual antes, durante y después de El Niño			
ANOVA de una vía	F	P	Ho
NERITICA	7.29	0.0012	F
TALUD	13.55	< 0.001	F
OCEANICA	22.41	< 0.001	F

7.2. DATOS ACÚSTICOS

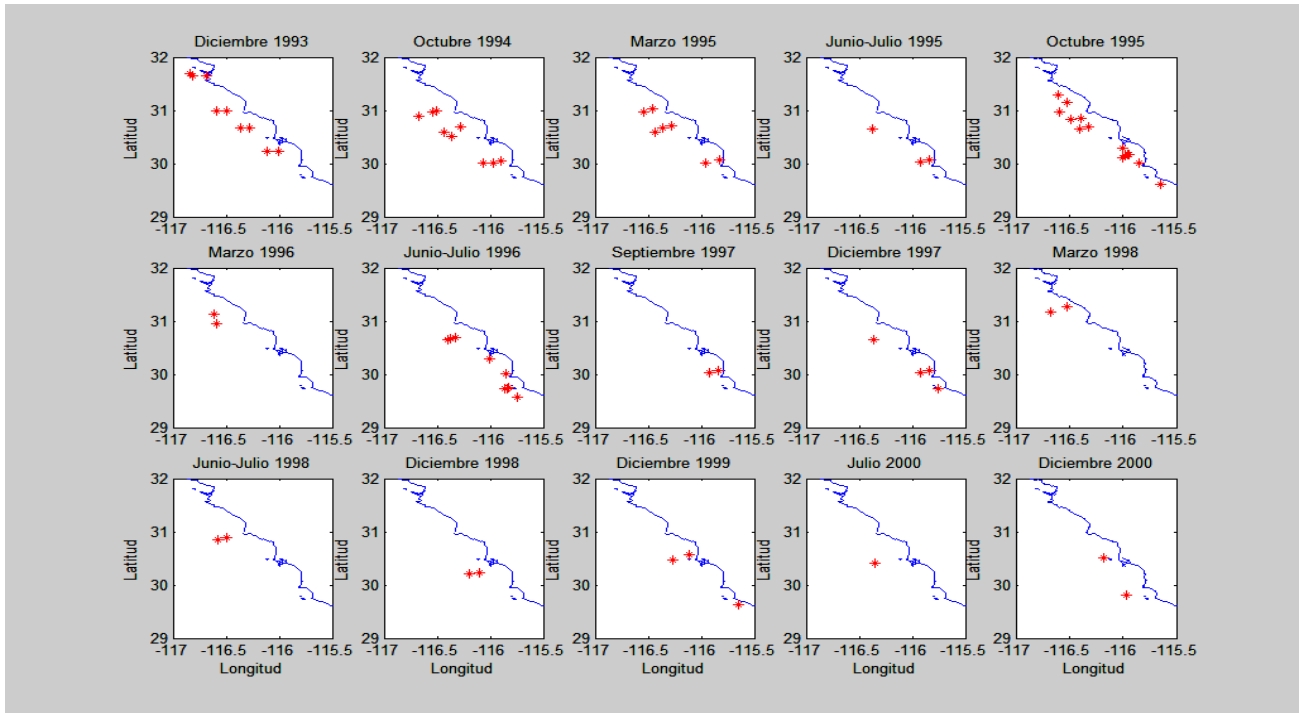


Fig. 31 Localización de los muestreos acústicos en los que se encontraron intensidades de ecos correspondientes a peces pelágicos menores, FB de -46 a -38 dB.

7.2.1. Abundancia

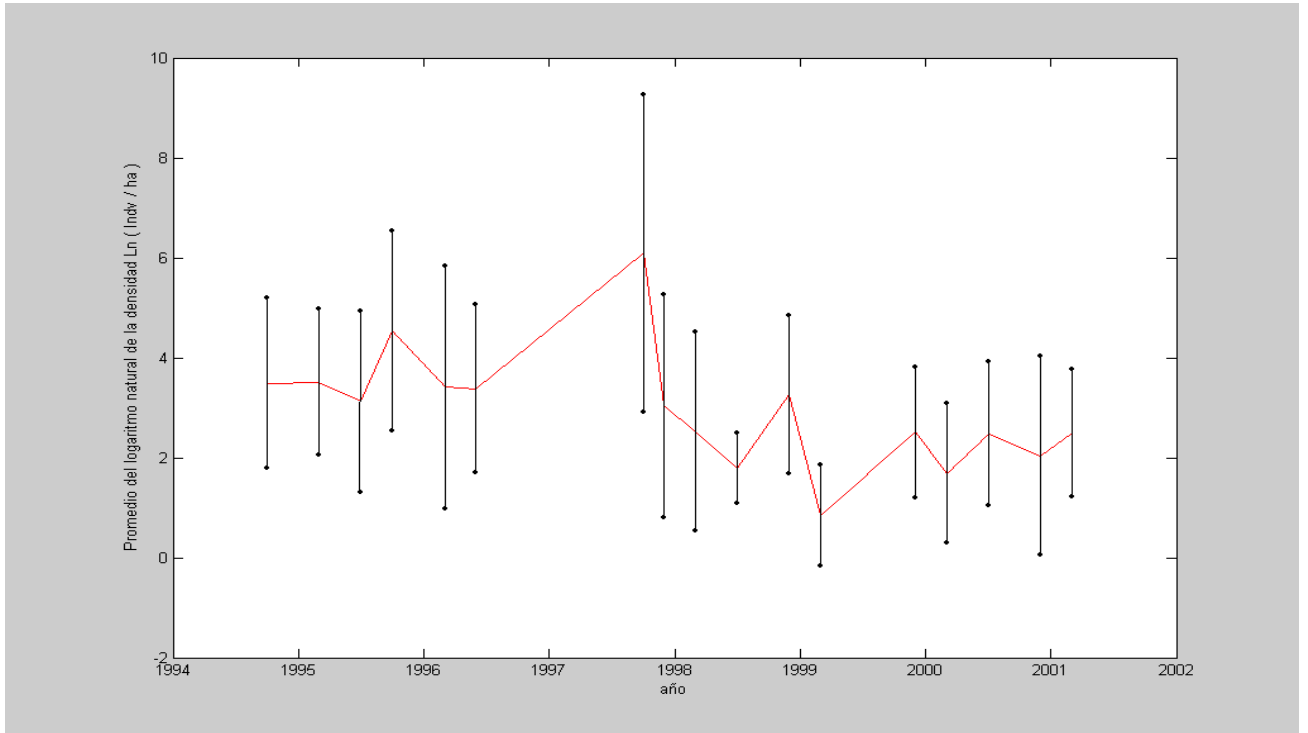


Fig. 32 Promedio y desviación estándar (barras) del logaritmo de la abundancia acústica de 5 a 50 m de profundidad para el rango de fuerza de blanco de -46 dB a -38 dB.

En la Figura 32 se presentan los promedios del logaritmo de la abundancia para el rango de FB de -46 a -38 dB para la profundidad de 5 a 50 m. La abundancia registró dos máximos, el primero en octubre de 1995 y el segundo de mayor amplitud en septiembre de 1997. De 1994 a 1996 los niveles de abundancia oscilaron. Posterior a ello, se presenta el incremento mayor en septiembre 1997. Después de los cruceros considerados como condición EN de septiembre 1997 a marzo de 1998 se registró otro aumento de la abundancia para diciembre de 1998 y así la abundancia osciló hasta el final de la serie de datos pero en niveles inferiores a los registrados antes de 1997 (Figura 32). El máximo registrado en septiembre de 1997 fue debido a una alta densidad obtenida en la zona nerítica y la zona del talud.

El máximo de octubre de 1995 presenta una media del logaritmo de la densidad de 5.0 (DE = 1.9) para la zona nerítica; 3.7 (DE = 1.7) para la zona del talud; y 4.6 (DE = 2.2) para la zona oceánica. Durante septiembre y diciembre de 1997, condición El Niño, la abundancia se concentró en las zonas más cercanas a la costa. Así la abundancia en la zona nerítica en septiembre fue la mayor registrada, 7.3 con 2.5 de desviación estándar (análogo a 4605 ind/ha) y cercana a la observada en la zona de talud de 6.9 con una desviación de 2.6 (correspondiente con 3781 ind/ha). Consecuentemente la zona oceánica presentó niveles mínimos 1.8 con desviación de 2.3 (correspondiente a 19 ind/ha) para septiembre. En diciembre de 1998, se registró un incremento del promedio del logaritmo de la densidad con valores de 2.8 (DE = 1.4) para la zona nerítica, 3.6 (DE = 2.6) para la zona del talud y 3.2 (DE = 0.8) para la zona oceánica (Figura 33).

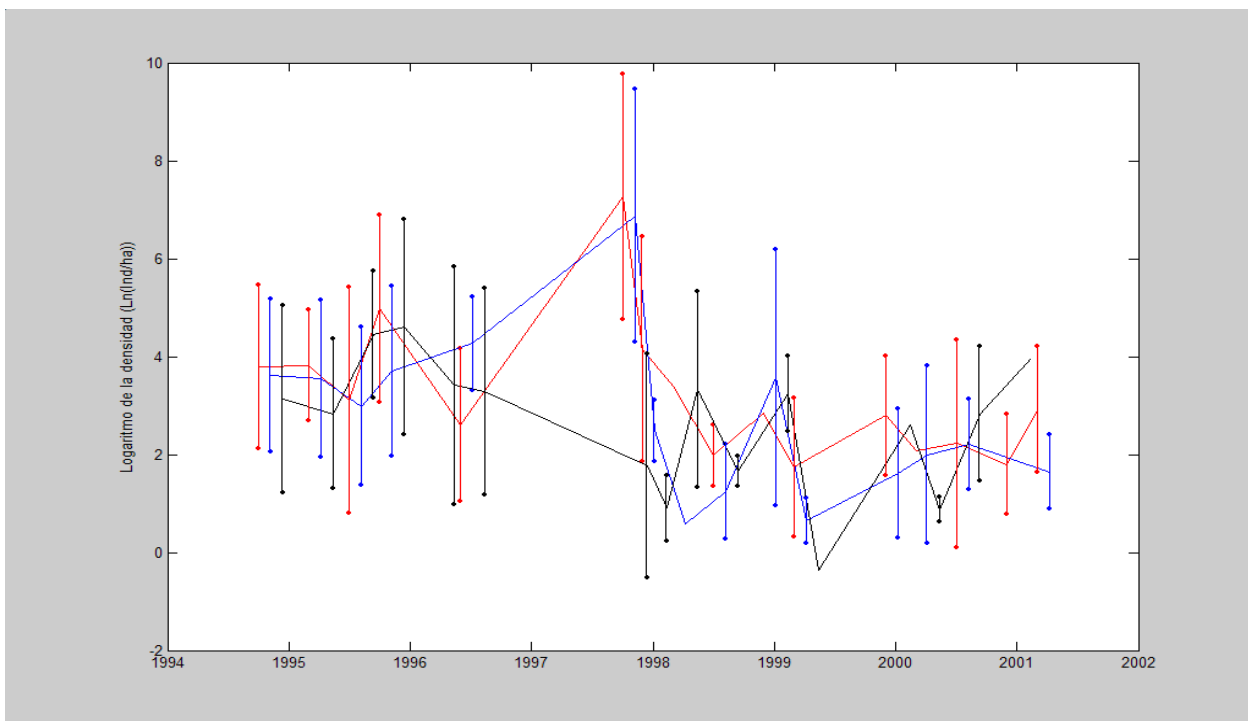


Fig. 33 Promedio y desviaciones estándar (líneas verticales) del logaritmo de la abundancia en la zona nerítica (línea roja), la zona de talud (línea azul) y la zona oceánica (línea negra). Los datos corresponden al análisis de 5 a 50 m de profundidad.

7.2.2 Grado de agrupamiento.

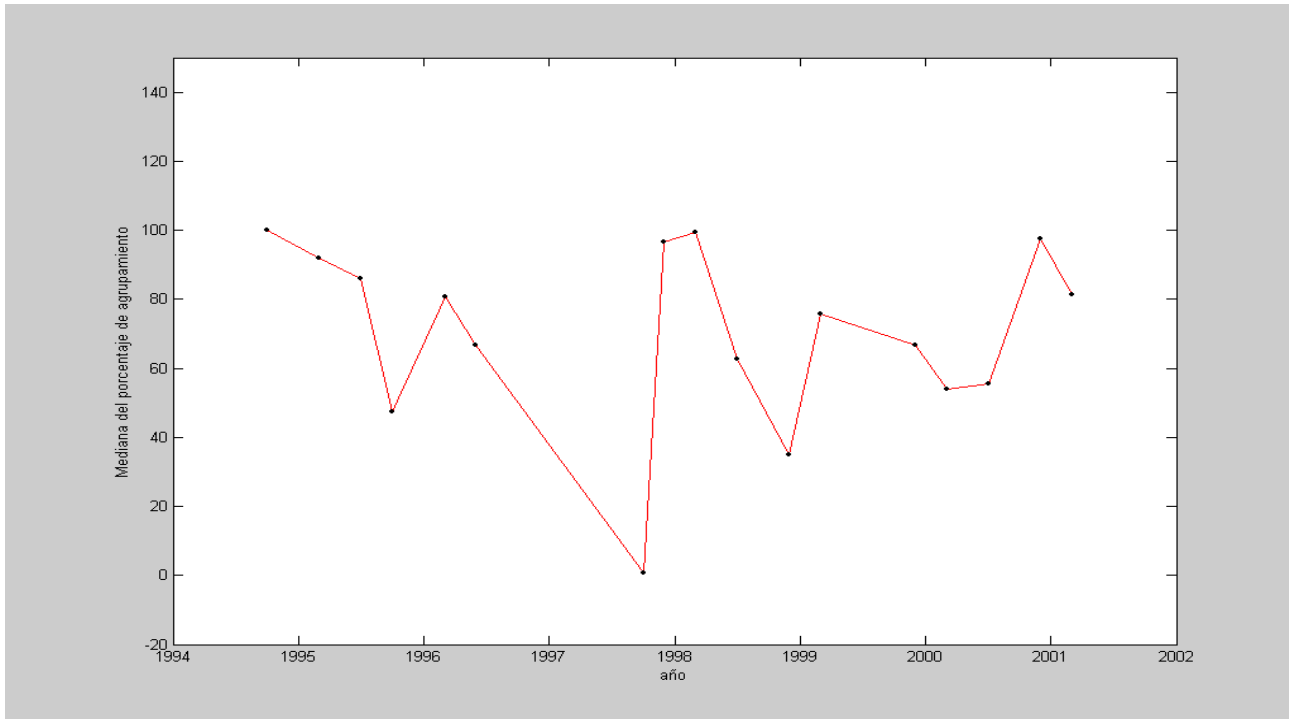


Fig. 34 Mediana del porcentaje de agrupamiento obtenido de las tres zonas para el estrato de 5 a 50 m.

La Figura 34 muestra que los niveles más bajos del porcentaje de agrupamiento (cuando los peces tuvieron menor separación entre ellos) se encontraron en octubre de 1995 (0.5), septiembre de 1997 (0.1), diciembre de 1998 (0.4) y marzo de 2000 (0.5). Es de destacarse la coincidencia en octubre de 1995 y septiembre de 1997 de los promedios más altos de abundancia con los menores porcentajes de agrupamiento.

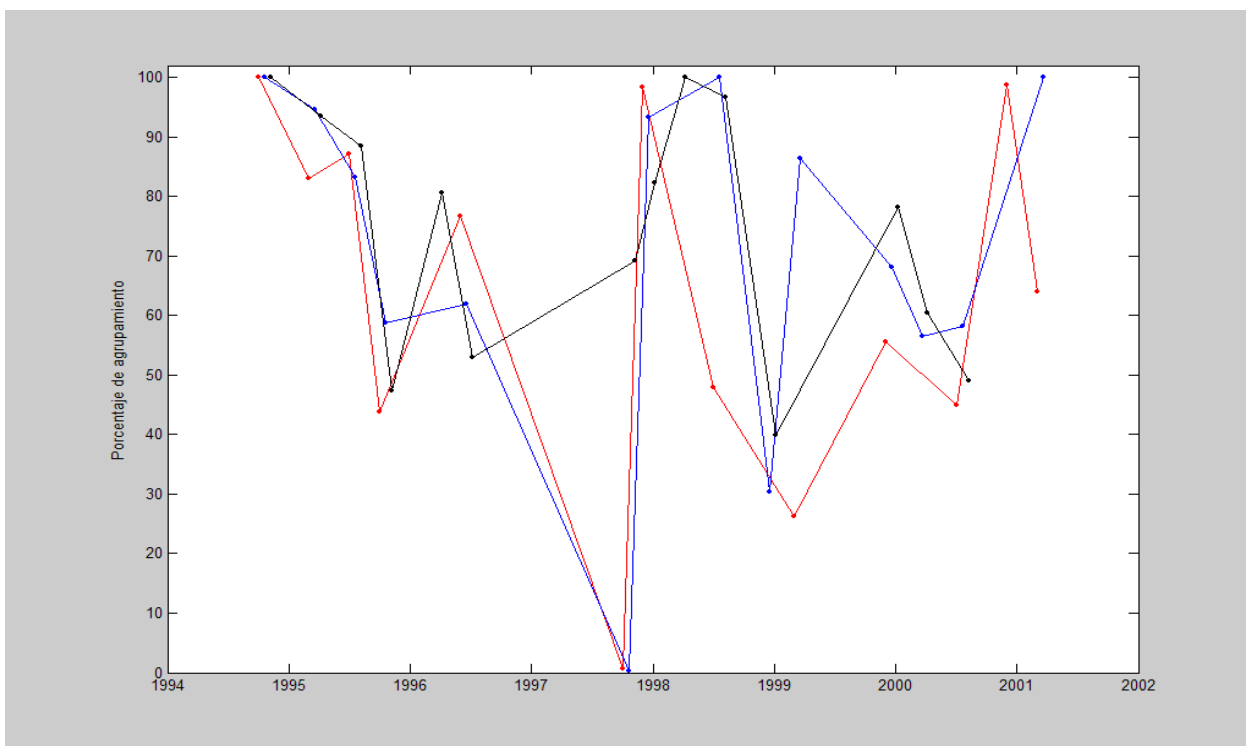


Fig. 35 Mediana del porcentaje de agrupamiento para la zona nerítica (línea roja), el talud (línea azul) y la zona oceánica (línea negra). Los datos corresponden al análisis de 5 a 50 m de profundidad.

La mediana del agrupamiento por zonas presentó durante septiembre de 1997 valores de 0.6 y 0.2 (peces a poca distancia entre ellos); mientras que en la zona oceánica la mediana del agrupamiento fue de 69.2 (Figura 35). Esto nos hace suponer que mientras persistía la influencia de calentamiento de EN, los peces se concentraban altamente agrupados en las zonas nerítica y de talud incrementando sensiblemente su abundancia acústica.

7.2.3 Comparación de datos acústicos por zonas y profundidades.

Como la distribución de los datos acústicos no se ha ajustado a un esquema de normalidad, se ha empleado la alternativa no paramétrica del análisis de varianza,

mediante el uso de una prueba Kruskal-Wallis en la que la hipótesis nula establece que las muestras provienen de la misma población o de poblaciones idénticas con la misma mediana (Siegel 1995). El agrupamiento de los peces muestra diferencias significativas antes, durante y después de EN de 1997-1998 para todas las zonas. Antes de EN la densidad de peces no muestra diferencias significativas entre zonas pero sí por niveles de profundidad. Durante EN la densidad acústica de los peces muestra diferencias significativas entre zonas pero no entre niveles de profundidad (comparando la abundancia obtenida en el estrato de 5 a 25 m, con el estrato de 25 a 50 m). Después del evento de EN la densidad de peces muestra diferencias significativas entre zonas y entre niveles de profundidad (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza no paramétrico (prueba de Kruskal Wallis) para el agrupamiento y la densidad de los peces.

Ho : El agrupamiento de peces es igual antes, durante y después de EN			
Con la prueba de Kruskal-Wallis	H	P	Ho
Agrupamiento de los peces	29.2	<0.0001	F

ANTES de EN			
Ho : La densidad acústica de peces es igual			
VARIABLES ACUSTICAS	H	P	Ho
Abundancia peces por zonas	4.7	0.097	Verdadera
Abundancia de peces por niveles de profundidad (5-25 comparado con 25-50 m)	82.7	< 0.001	Falsa
DURANTE de EN			
Ho : La densidad acústica de peces es igual			
VARIABLES ACUSTICAS	H	P	Ho
abundancia peces por zonas zonas	12.2	0.002	Falsa
abundancia de peces por niveles de profundidad (5-25 comparado con 25-50 m)	0.05	0.81	V
DESPUES de EN			
Ho : La densidad acústica de peces es igual			
VARIABLES ACUSTICAS	H	P	Ho
abundancia peces entre zonas	12.09	0.002	Falsa
abundancia de peces por niveles de profundidad (5-25 comparado con 25-50 m)	7.9	0.005	Falsa

7.3. Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados es una herramienta exploratoria del análisis de datos para clasificar variables en grupos. Al agrupar los muestreos, conjuntado la información biológica con los datos ambientales, asignándoles la categoría según la estación y el año en que fueron realizados se obtuvo el dendrograma de la Figura 36.

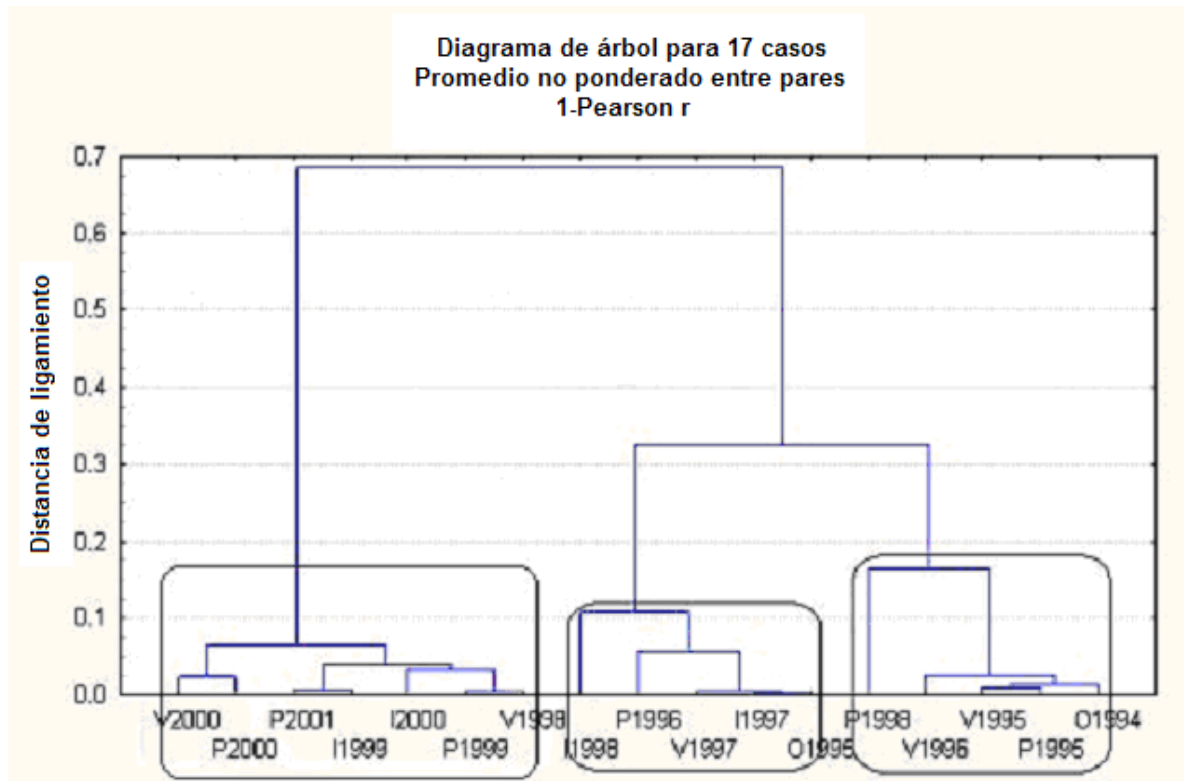


Fig. 36 Dendrograma de asociación entre los muestreos, realizado mediante el método de r de Pearson, y distancia no ponderada (unweighted pair group average).

En la Figura 36 podemos identificar tres grupos con un umbral ajustado a una distancia de 0.3: a) Primaveras de 1999, 2000 y 2001; Veranos de 1998 y 2000; e Invierno 1999 y 2000. b) Primavera 1996; Otoño 1995; Inviernos de 1998 y 1997; y el Verano de 1997, estos dos últimos en condiciones de EN. Y c) Primaveras de 1995 y 1998; veranos de 1995 y 1996; y Otoño 1994.

8. DISCUSIÓN

La presencia de El Niño 97-98, constituyó un hecho que orientó el sentido del presente trabajo. Se ha reportado que este evento produjo uno de los mayores incrementos de la temperatura del Océano Pacífico en los últimos 100 años (Changnon y Bell, 2000). Se reportó durante este evento que las anomalías de temperatura superficial del Pacífico Este se distribuyeron a lo largo del Ecuador geográfico afectando a la costa oeste de Baja California antes de julio de 1997, alcanzando su nivel máximo antes de enero de 1998; con persistencia de anomalías positivas hasta julio de 1998 y retornando a las condiciones casi normales para octubre de 1998 (Durazo y Baumgartner 2002).

Para verificar la extensión de la oscilación de EN y definir cuáles son los cruceros que abarcó en la presente tesis, se tomó en cuenta que los mayores incrementos de la temperatura promedio en las zonas nerítica, de talud y oceánica se presentaron en los cruceros correspondientes a septiembre y diciembre de 1997, así como marzo de 1998.

Existen diversos índices que se han desarrollado para cuantificar la magnitud y duración de eventos climáticos como EN. Este es el caso del Índice multivariado de EN (MEI, Multivariate ENSO Index, Wolter y Timlin, 1998), así como el Índice de la oscilación extratropical septentrional (NOI, Extratropical Northern Oscillation Index, Schwing *et al.*, 2002 a). La oscilación de temperatura encontrada en este trabajo entre septiembre de 1997 y junio de 1998 coincide con la madurez de la oscilación de EN según estos índices (Figura 37).

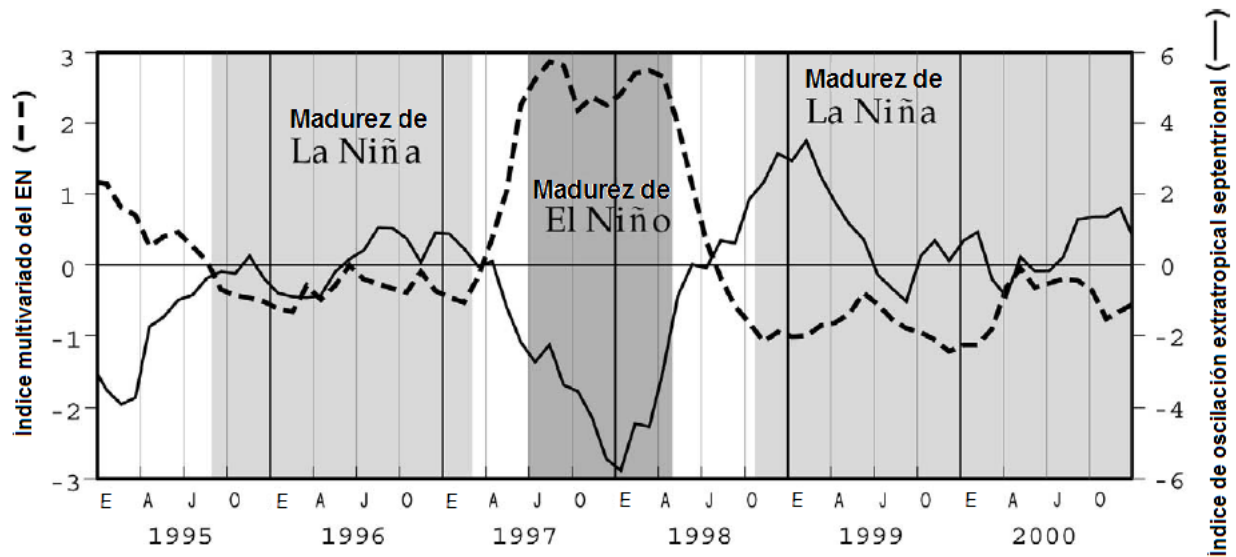


Fig. 37. Índice multivariado del EN e índice de oscilación extratropical septentrional de enero de 2005 a enero de 2001. Se muestran sombreadas las etapas de madurez de los eventos de EN y la Niña (Tomado de Schwing *et al.*, 2002 b).

Los efectos de EN dentro del sistema de la Corriente de California implican características que incluyen el calentamiento de aguas locales, cambio de la salinidad, disminución de surgencias costeras y una anomalía del nivel del mar, así como un incremento en el flujo superficial costero con dirección hacia el norte, presentándose aguas con anomalías positivas de temperatura y salinidad en el sistema de la CC (Bograd *et al.*, 2001; Chelton *et al.*, 1982; Huyer y Smith, 1985; Lynn *et al.*, 1998). Para el caso de las condiciones de la costa de Chile el evento de EN 97-98 se evidenció mostrando una perturbación en todas las variables y a todos los niveles. Las anomalías de temperatura y salinidad destacan el evento de calentamiento, con una significativa anomalía positiva de salinidad, y registrándose un pequeño evento de calentamiento en 2001 y anomalías negativas durante los eventos de 1999 y 2000. La profundidad de la isoterma de 15 °C se mostró particularmente grande durante 1997-98, pero sin cambios para el año 2001 (Blanco-García 2004).

EN iniciado en 1997 mostró diferencias notables respecto a los eventos anteriores. Comenzó con las usuales anomalías positivas del nivel del mar en la región ecuatorial occidental observadas desde febrero de 1997, y terminó precipitadamente a principios de 1998 (Durazo y Baumgartner 2002).

El efecto de las variables físicas sobre los ecosistemas durante los evento de EN se ha registrado múltiples veces. Así durante EN 82-83 cuando el promedio de la temperatura del océano aumentó, se registraron cambios en la distribución de peces e invertebrados en la zona costera (Pearcy y Shoener, 1987). En el hemisferio sur, la biomasa de la anchoveta peruana presentó una rápida recuperación de la biomasa al final de 1998 después del fenómeno de EN más intenso del siglo, la cual pudo ser resultado de: el crecimiento de la población reclutada recientemente; de una mejora de la condición, y de un aumento de la detectabilidad de la anchoveta por medio de acústica cuando se esparcieron fuera de la costa durante el inicio de La Niña (LN) (Bertrand *et al.*, 2004). A causa de EN 97-98, las costas de Ecuador, Perú y Chile experimentaron modificaciones en sus patrones de circulación, y en las propiedades del agua, presentando incrementos del nivel del mar y las profundidades de las isothermas (Bertrand *et al.*, 2004; Blanco-Garcia 2004). En las costas peruanas al final del fenómeno de EN se registró una pérdida en la productividad primaria pero mayor diversidad del ecosistema pelágico (Ñiquen y Bouchon, 2004). En particular, para EN 97-98, el índice de diversidad de Shannon pasó de 0.87 a 1.23 - 1.70 (Ñiquen y Bouchon 2004). El presente trabajo acorde a los resultados anteriormente citados reporto lo siguiente:

8.1.1. Temperatura y salinidad antes de El Niño 97-98

Temperaturas superficiales menores a 15.5 °C, se registraron a principios de julio de 1995 y marzo de 1996. Este último período coincidente con la etapa de madurez del período denominado La Niña 95-97 (LN 95-97) según los índices MEI y NOI (Schwing *et al.*, 2002 a). En junio de 1996, dentro del período de madurez de LN 95-97 (Schwing *et al.*, 2002 b), se presentaron mínimos de temperatura en la zona nerítica para los tres niveles de profundidad.

Un aspecto importante que ocurre anterior a la aparición de EN 97-98 es una oscilación a los tres niveles de profundidad y en las tres zonas durante el año 1995. La temperatura disminuyó de marzo a junio para después registrarse un incremento en octubre. Durante ese último mes (octubre de 1995), se tiene registrado un promedio de la temperatura en la zona nerítica mayor a los de las otras dos zonas a 50 metros de

profundidad, seguida por una disminución registrada en el año 1996.

La salinidad presentó máximos a los tres niveles de profundidad en julio de 1995 y marzo de 1996. Se puede verificar una tendencia a que la salinidad sea mayor en la zona nerítica. Los mínimos de salinidad se presentaron en octubre de 1995 en la zona nerítica (33.28°C , $\text{DE} = 0.2$) a 10 metros de profundidad; y en los octubres de 1994 y 1995 acentuándose en la zona de talud (33.29°C , $\text{DE} = 0.09$) y oceánica también a 25 metros.

Según los análisis de varianza, antes de EN existía una estratificación en cuanto a la temperatura entre los 10 y 25 metros de profundidad, mientras que la salinidad era homogénea tanto vertical como horizontalmente.

8.1.2. Temperatura y salinidad durante El Niño 97-98

Durante septiembre y diciembre de 1997, se pudo observar como la principal señal de la presencia del fenómeno de EN el incremento de la temperatura del agua de mar y la aparición de las máximas temperaturas superficiales, así como la existencia de una capa homogénea en salinidad y temperatura de más de 30 metros de profundidad durante diciembre de 1997; y la homogeneidad en los primeros 25 metros también se observa hasta marzo de 1998.

Los resultados del análisis de varianza para los tres cruceros considerados como condición Niño indican que no hubo diferencias significativas en temperatura o salinidad entre zonas a ningún nivel de profundidad, todo fue homogéneo y con temperaturas y salinidades altas.

Se observaron valores promedio de temperatura a 50 m de 16.4°C para el período de septiembre de 1997. Este promedio es 4.2°C mayor que el promedio obtenido para los seis cruceros realizados entre el otoño de 1994 y el verano de 1996 lo que concuerda con la presencia de anomalías de temperatura y de salinidad reportada por Durazo y

Baumgartner (2002) a una profundidad de 50 metros. Las anomalías positivas encontradas por estos autores fueron de 8.7 °C para temperatura; y de hasta 0.8 para la salinidad en octubre de 1997 (Durazo y Baumgartner 2002).

El perfil de temperatura de septiembre de 1997 muestra los mayores valores superficiales de temperatura de la serie, mismos que concuerdan con el máximo de temperatura de julio de 1997 (un máximo histórico para los últimos 50 años) reportado por Lynn y Bograd (2002).

A 10 metros de profundidad, el promedio de la temperatura para septiembre de 1997 fue de 20.9 °C, que contrasta con el promedio de la temperatura de 15.7 °C, obtenido de los seis cruceros realizados entre el otoño de 1994 y el verano de 1996. La distribución de los mayores niveles de temperatura en septiembre y diciembre de 1997 tuvo una tendencia hacia el sur y hacia la zona oceánica, lo cual se confirma con la gráfica de isolíneas de temperatura muestra temperaturas de hasta 22°C en septiembre de 1997, mostrando una tendencia a ser mayor en las regiones situadas al sur. Esto concuerda con el patrón de calentamiento de las aguas del océano Pacífico, el cual se encuentra determinado por la dinámica de las ondas de Kelvin, las cuales una vez que comienzan a hacer su arribo a la costa sudamericana, continúan su tránsito en dirección polar en ambos hemisferios como ondas costeras atrapadas, produciendo entonces un hundimiento de la termoclina con déficit de nutrientes y su correspondiente impacto en el ecosistema.

Se observó en toda la serie de tiempo que el promedio de la temperatura en la zona nerítica siempre fue menor respecto a las otras dos zonas. Durante el fenómeno de EN este esquema no cambió, se registró una temperatura promedio en la zona nerítica de 17.7°C (DE = 1.07) menor al promedio obtenido en la zona oceánica de 18.3°C (DE = 1.07), y del promedio de la zona de talud de 18.118.3°C (DE = 1.29), lo cual establece que las condiciones más frías se conservaron cerca de la costa.

El diagrama TS de diciembre de 1997 muestra una interacción de la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial AESs, y hay una correspondencia con lo reportado por Pérez-Brunius *et al.*, (2006) para agosto de 1997 y por Durazo y Baumgartner respecto a enero de 1998. La presencia de la masa de agua AESs también es evidente en marzo, junio de 1998, y en marzo de 2000, este último coincidente con La Niña según los índices MEI y NOI (Schwing *et al.*, 2002 a). Los diagramas TS muestran, en general, la influencia del agua subártica (ASA) y en el caso de los muestreos más profundos, es claro observar la tendencia que genera la presencia del agua profunda del Pacífico APP y del agua intermedia del Pacífico AIP en el área de estudio. El diagrama TS de diciembre de 1997 muestra una interacción con la masa de AESs y la AstS, a diferencia del perfil climatológico que no muestra tales características.

Con respecto a la salinidad los resultados señalan que el promedio a 50 metros de profundidad entre octubre de 1994 y junio de 1996 para las tres zonas, fue de 33.6 mientras que el promedio para el año 97 fue de 33.8, lo cual representa una anomalía positiva de 0.2. Durazo y Baumgartner (2002) registraron una de 0.8 para la costa oeste de Baja California durante este mismo período. En septiembre y diciembre de 1997 las salinidades fueron mayores en las zonas más alejadas de la costa, esquema que es contrario al que prevalece por lo general en el resto de la serie de tiempo analizada. Una distribución y aumento de salinidad ocurrió en las costas Chilenas cuando en 1997-1998 se observó con una significativa anomalía positiva de salinidad (Blanco-García 2004).

8.1.3. Temperatura y salinidad después de El Niño 97-98

De acuerdo con el EN MEI (Wolter y Timlin, 1998) y con el NOI (Schwing *et al.*, 2002 a), los años 1999 y 2000 estuvieron marcados por la presencia de la oscilación fría conocida como La Niña. Los resultados de la presente tesis confirman una disminución de la temperatura, con valores menores a 15.5 °C en abril de 1998 y mínimos de temperatura en la zona nerítica para marzo de 1999. En la zona del talud posterior a 1998 la tendencia es hacia una menor temperatura promedio en los tres niveles de profundidad, la disminución de temperatura se ve acentuada en marzo de 1999, al igual

que en la zona nerítica. Finalmente se presenta un incremento registrado a finales del año 2000. La zona oceánica muestra una oscilación térmica entre diciembre de 1999 y marzo de 2000 acentuada a los 10 metros de profundidad, seguida por un incremento a partir de julio del año 2000. Similarmente, para la costa chilena se registró un pequeño evento de calentamiento en 2001 y eventos de enfriamiento en 1999 y 2000 (Blanco-García 2004).

En los diciembres de 1999 y de 2000, los perfiles de salinidad y temperatura presentaron una disminución simultánea de sus valores hasta 40 metros en 1999 y casi 50 metros en 2000. Esto fue contrario al patrón generalizado en el que la temperatura disminuye mientras la salinidad aumenta de los primeros metros. En las capas más profundas encontramos algunos fenómenos interesantes como es el caso del período de marzo a julio de 2000 ya que presenta una disminución en la zona nerítica mientras la zona de talud se mantiene constante y la zona oceánica registra un incremento. También se registra una disminución de la salinidad posterior a 1998, cuando las mayores salinidades se presentaron en la zona nerítica. De acuerdo con el EN MEI (Wolter y Timlin, 1998) y con el NOI (Schwing et al 2002 a) 1999 y 2000 los datos estuvieron marcados por la presencia de la oscilación fría de la Niña.

Después de EN se encontró estratificación en cuanto a salinidad y temperatura en cada zona, principalmente en los estratos más profundos, 25 y 50 metros. Zonalmente el predominio de las temperaturas frías se encontró en la zona nerítica. La zona de talud presentó variación significativa de la salinidad en niveles de profundidad, como lo existía antes de EN. Finalmente además de las observaciones de 1997 relativas al fenómeno de EN, la serie de cruceros analizados hace posible observar algunas particularidades como son: analizando por años, el promedio de la temperatura en la zona oceánica a 10 metros de profundidad fue casi siempre mayor respecto al obtenido en esa misma profundidad en las zonas de talud y nerítica, en la totalidad de los muestreos, excepto durante septiembre de 1997 cuando el promedio estuvo por debajo del obtenido para la zona de talud, la cual tuvo el mayor valor de temperatura. Finalmente también se observó una oscilación de la temperatura entre diciembre de

1999 y marzo de 2000 seguida por un incremento a partir de julio del año 2000 y una disminución registrada en el 2001.

8.1.4. La termoclina y la capa de mezcla

Durante 1997 se observó un marcado incremento de la profundidad e intensidad de la termoclina. Sobre todo, fue interesante la existencia de una capa homogénea de más de 30 metros en diciembre de 1997 así como la homogeneidad en los primeros 25 metros registrada en marzo de 1998. Dicha homogeneidad no aparece en los perfiles climatológicos de diciembre y en marzo. Asimismo existe una discordancia notable entre los perfiles climatológicos. Para marzo de 1998 es notable el hecho de que la tendencia de los perfiles muestreados y los climatológicos es la misma y sólo es la magnitud de las muestras mayor. Con esto se evidencia la parte final de la oscilación de EN 97-98.

Las mayores variaciones de la profundidad de la termoclina se dieron en la zona oceánica. Estadísticamente la profundidad de la termoclina cambio significativamente antes, durante y después de EN 97-98, tanto en la zona nerítica como en el talud y el la zona oceánica; mientras que la intensidad de la termoclina tuvo cambios significativos antes, durante y después de EN en las zonas cercanas a la costa (nerítica y talud).

Tabla 7. Promedios de las profundidades de mezcla; termoclina, e intensidad de termoclina para las tres zonas antes durante y después de EN:

Nerítica			Talud			Oceánica		
Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc	Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc	Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc
15.82	15.31	-0.90	18.77	20.64	-0.97	20.65	23.26	-1.19
28.15	28.48	-0.60	39.19	43.19	-0.87	42.54	54.06	-0.85
24.37	21.06	-0.70	27.87	28.51	-0.84	35.36	40.89	-0.88

En la zona nerítica el promedio de la profundidad de la termoclina varió significativamente con la presencia de EN, pasando de 15.3 metros a 28.5 de profundidad durante EN y a 21.05 metros después de junio de 1998 (Tabla 7). Este incremento de la profundidad de termoclina durante la presencia de EN se explica

debido a la acción del calentamiento, el cual homogeniza la temperatura a mayores profundidades.

Los datos indican que las temperaturas más altas se presentan conforme aumenta la distancia respecto a la costa. Así en la zona de talud el promedio de la profundidad de la termoclina se incrementó más del doble, pasando de 20 m a 43 durante EN 97-98, y siendo de 28 m después del fenómeno. Se puede mencionar que hubo un aumento del tamaño de mezcla que se conservó después de EN. En la zona oceánica fue donde se registró el cambio más drástico del promedio de la profundidad de la termoclina pues antes de EN era de 23 m y aumentó a 54 m durante EN para estabilizarse en 41 m después de EN.

El comportamiento de la profundidad de la capa mezclada es similar al de la profundidad de termoclina. El análisis de varianza muestra que existieron variaciones significativas de la profundidad de mezcla para las tres zonas antes, durante y después del evento de EN 97-98 principalmente en las zonas más alejadas a la costa.

Al igual que en el caso de la profundidad de termoclina, los más grandes cambios se presentan entre los promedios de la profundidad de la mezcla entre el período anterior al EN 97-98 y dicho fenómeno. El mayor incremento de la profundidad de la capa mezclada lo tenemos en la zona de talud al ocurrir el fenómeno, pues dicha profundidad pasó de 19 a 40 m. Aquí hay que citar el trabajo de Blanco-García (2004) quien encontró para la costa chilena, que la profundidad de la capa de Ekman aumentó de la costa (< 30 m) hacia afuera (> 40 m). La máxima profundidad (> 60 m) se observa en el sur a los 28°S durante el invierno (Blanco-García 2004). Otros autores (como Meyers 1979 y Kessler 1990) han relacionado las variaciones de la termoclina con la propagación hacia el oeste de las ondas de Rossby pero en latitudes no mayores a los 18° N.

8.2. Validación de los ecos

Para la validación del método citaremos los trabajos de Ramos-Chaparro (2003), quien realizó una identificación de organismos a partir de arrastres de media agua durante los

cruceros SIMSUP 8, 9 y 10 (Tabla 1) sobre agrupamiento de ecos en los que predominaron las fuerzas de blanco de -44 a -32 dB encontrando la presencia de *Engraulis mordax* y *Sardinops caeruleus* (Ramos-Chaparro 2003); y el trabajo de López-Serrano (2003), quien durante los cruceros SIMSUP; 19, 20 y 21 analizó contenidos de arrastres de media agua realizados con una red Isaacs-Kid con malla de 300 micras encontrando, además de crustáceos como *Pleuroncodes planipes* (Stimpson, 1860) y varias especies de eufausidos, peces de las familias Porichtidae y Myctophiidae, así como ejemplares de las especies *Engraulis mordax* y *Sardinops caeruleus* (López 2003).

Hay que mencionar que para la determinación de la fuerza de blanco se utilizó la ecuación de Love (1971) y no la de Foote (1987) o las nuevas aportaciones de Ona (2003) debido a que son más de una especie las que estamos considerando. Los trabajos de Foote y de Ona se concentran en especies con b_{20} específico. En este caso particular hay una variedad relativa de pelágicos menores con diferentes características reflectivas y morfométricas. Según la ecuación de Love (1971) es la única ecuación que no introduce hipótesis morfométricas, al contrario de la de Foote ($20 \log L + b_{20}$), donde el elemento $20 \log L$ determina que la sección del pez sea el punto clave en la determinación de la fuerza de blanco. Asimismo al considerar un factor 2, es decir, en valores no logarítmicos.

8.3. Efecto de EN 97-98 en la abundancia y distribución de los peces pelágicos

Este fenómeno de calentamiento y de perturbación ocurrida entre 1997 y 1998 permitió conocer respuestas interesantes de los cardúmenes de peces. Por ejemplo, durante esos años, la presencia de ecos asociados a peces se incrementó considerablemente hacia la costa. Esta respuesta de los cardúmenes también fue reportada en las costas del Perú por Ñiquen y Bouchon (2004), durante los eventos de EN de 1972-1973, 1982-1983 y 1997-1998. Estos autores reportan cambios en la distribución espacial de los recursos pelágicos, en su concentración y en el tamaño de su estructura. Asimismo, estos autores encontraron que los peces pelágicos como la sardina (*Sardinops*

caeruleus), la anchoveta (*Engraulis ringens*) y la macarela (*Scomber japonicus*) migran hacia el sur durante los períodos de EN, aproximándose a la costa y presentándose en mayores profundidades (Ñiquen y Bouchon, 2004). Se ha reportado que los eventos de EN pueden afectar la distribución y abundancia de las poblaciones de peces pelágicos como se ha observado en el ecosistema de la Corriente de Humboldt. Sin embargo, se ha encontrado que EN causa perturbaciones sólo a corto plazo en la dinámica de la anchoveta (*Engraulis ringens*). Esta especie parece recuperarse relativamente rápido, en un plazo de uno o dos años, durante las fases siguientes de La Niña (Blanco-García 2004).

El trabajo de Blanco-García (2004), señala que la temperatura superficial del mar (SST), la profundidad de la capa mezclada, la profundidad de la termoclina, la intensidad de la surgencia, y los campos de corrientes superficiales están entre las más importantes variables oceanográficas físicas que pueden influenciar a poblaciones marinas. Si bien las variables asociadas con la abundancia de los peces fueron la temperatura y las características de la mezcla superficial, las correlaciones entre estas variables físicas y cambios a largo plazo en ecosistemas se han identificado frecuentemente, pero los mecanismos específicos implicados son generalmente difíciles de aclarar (Blanco-García 2004).

Para aproximarnos al mecanismo en que estas variables se relacionan es útil citar aquí los trabajos realizados por Bakun y Parrish (1982) sobre la turbulencia y el transporte superficiales relacionados con la sobrevivencia de peces pelágicos. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten suponer que las condiciones dinámicas presentes a finales de 1997 y principios de 1998 favorecieron la disponibilidad de alimento y en general, la sobrevivencia de los peces pelágicos en sectores muy puntuales, particularmente frente a Punta Baja, sitio de donde provienen la mayoría de los registros acústicos del año 1997. Ello se refuerza al considerar que según Bakun y Parrish (1982), tres procesos ambientales relacionados con la turbulencia son reguladores del éxito reproductivo de peces pelágicos: en primer lugar que la dispersión de concentraciones de alimento particulado causado por la mezcla turbulenta, generada

por el viento, que tiene como resultado una disminución en la sobrevivencia larval de anchovetas (Lasker 1975, 1978; Lasker y Smith, 1977); la pérdida de productos reproductivos se acentúa fuera de la costa según estudios comparativos de estacionalidad, transporte oceánico y estrategias reproductivas en el sistema de la CC (Parrish *et al.*, 1981); y la relación con las surgencias (Cushing, 1969).

Asimismo otros autores han señalado que períodos con vientos moderados y una capa mezclada somera dan lugar a la concentración de alimento, tasas de mortalidad y de crecimiento a la edad que son más favorables a la supervivencia larval que durante los períodos con vientos fuertes y asociados a una capa mezclada profunda (Bailey *et al.*, 1995).

8.3.1. Distribución de la densidad de peces

Los niveles de abundancia de peces pelágicos comparados por zonas antes de EN de 1997 no presentan diferencias significativas. Sin embargo, durante el evento de calentamiento y el aumento de la capa mezclada se observa que la abundancia de peces presentó diferencias significativas. La mayoría de los registros acústicos durante EN 97-98 se presentaron cerca de la costa. Existe una respuesta similar en la costa chilena, donde la abundancia de la anchoveta (*Engraulis ringens*), medida por métodos acústicos es mayor hacia la costa en eventos de calentamiento (Blanco-García 2004). Después del EN 97-98 la abundancia en todas las zonas disminuyó para ya no recuperar los niveles que presentaba antes de EN. Sin embargo hay que mencionar que posterior a EN de 1997 el esquema de concentración de la abundancia cerca de la costa se mantuvo (la zona nerítica = 8.9 ind / ha, comparado con zona oceánica = 3.0 ind / ha), mostrando diferencias significativas por zonas para la mediana de abundancia calculada para el resto de los cruceros. Por lo anterior se puede establecer la hipótesis de la existencia de un efecto a largo plazo que disminuye la abundancia de las poblaciones pelágicas y un efecto remanente que las mantuvo concentradas cerca de la costa como empezó a ocurrir al presentarse el fenómeno de calentamiento. Davis *et al.*, (1991) a partir de estudios de modelación sugirieron que los procesos de la capa de

mezcla pueden ser favorables o desfavorables a la supervivencia larval dependiendo de la intensidad de la turbulencia.

8.3.2. La abundancia por niveles de profundidad

Verticalmente la distribución de los peces también presentó una alteración con la presencia del fenómeno de EN 97-98. Antes del fenómeno, la abundancia fue mayor en el nivel más somero. Sin embargo, durante el calentamiento, el análisis de varianza no paramétrico y la prueba de hipótesis correspondiente mostraron que aunque la abundancia se presentaba ahora mayor en la zona más profunda (de 25 a 50 metros) la diferencia no fue significativa. Después del fenómeno de EN 97-98, las diferencias de la abundancia por niveles de profundidad vuelven a ser estadísticamente significativas. La mediana de la abundancia de los peces por niveles de profundidad volvió a presentar mayores valores en la capa más superficial. El hecho de que durante EN 97-98 la abundancia de los peces tienda a ser mayor entre los 25 y 50 metros indica que de alguna manera los peces presentaron un hundimiento durante los períodos de ocurrencia del EN 97-98. Similarmente, el trabajo de Blanco-García (2004) indica que EN 97-98 en Chile, produjo cambios en la densidad, la distribución, y la profundidad de los cardúmenes de anchoveta (*Engraulis ringens*), demostrado el hundimiento de algunos cardúmenes en el área costera, hundimiento que los lleva a sitios más profundos que las redes de pesca, lo cual explicaría la recuperación de las poblaciones tan rápidamente después de la desaparición de la anomalía. El citado autor considera el mecanismo de hundimiento de los cardúmenes como un mecanismo adaptativo más importante que las migraciones, las cuales son consideradas por Alheit y Ñiquen (2004) como el factor más importante para explicar la recuperación rápida de los pelágicos menores después de la disminución de un fenómeno de calentamiento.

Con la presencia de EN 97-98 los peces no necesariamente se hunden desapareciendo de los estratos superiores, sino más bien su distribución vertical abarca estratos más profundos.

Los resultados indican que ante la presencia de un fenómeno que incrementa la temperatura los peces se distribuyen en un rango mayor de profundidad. Sin embargo hay que destacar que la mayor abundancia se presentó en la zona nerítica, en la cual la profundidad de la capa de mezcla cambió significativamente durante este evento. Esto sugiere que los peces se refugian en la zona menos afectada por la perturbación.

Esto coincide con el caso registrado en Perú (Ñiquen y Bouchon, 2004) donde se encontró un cambio en la distribución: las anchovetas, en vez de estar distribuidas extensamente sobre el conjunto de la plataforma continental peruana, llegaron a ser más costeras, a 30 kilómetros con una distribución más asimétrica y en parches hacia la costa sur del Perú, mientras que los cardúmenes de sardina fueron desplazados del área centro norte al área centro sur. Ambas especies exhibieron una tendencia a presentarse debajo de 20 m de profundidad. Para el caso de la costa chilena las migraciones de los stocks de anchoveta (*Engraulis ringens*) del norte y del sur fueron hacia regiones más septentrionales, haciéndolos más vulnerables a la captura (Blanco-García 2004). En el caso de la presente tesis, los peces pelágicos podrían tener alta vulnerabilidad durante el evento de EN 97-98, pues los peces estuvieron disponibles en zonas costeras. Es importante notar que durante EN 82-83 las poblaciones de anchoveta *Engraulis mordax* fueron sobreexplotadas por esta razón en la misma zona de estudio (Rojas-Méndez, 2000).

8.3.3. Grado de agrupamiento de los cardúmenes de peces

Recordando que el agrupamiento es una medida porcentual inversa a la distancia que guardan los blancos acústicos individuales, sus niveles más bajos corresponden a cuando los peces tuvieron menor separación entre ellos, o sea que estuvieron aglutinados en bloques compactos. Así el porcentaje de agrupamiento de los peces muestra diferencias significativas antes, durante y después de EN 97-98 para todas las zonas.

El efecto del proceso de calentamiento sobre el agrupamiento de peces pelágicos indica que para septiembre de 1997 el porcentaje de agrupamiento fue de 0.07. Esto es, fue el momento en que los peces formaron agregaciones más compactas y que se presentaron cuando se observaron las mayores abundancias. Un hecho real que pudiéramos tomar en cuenta para reforzar esto fue el registro de una abundancia de 17, 000 ind/ha en septiembre de 1997, así como 7400 y 6500 Ind/ha obtenidos en barridos en la zona nerítica y de 14500 ind/ha en la zona del talud. Los más bajos porcentajes de agrupamiento se encontraron en octubre de 1995 (0.474 % y período en el que se registró una alta abundancia), septiembre de 1997 (0.07 también con alta abundancia), diciembre de 1998 (0.35 %) y marzo de 2000 (0.54 %) conviene señalar aquí la correspondencia con los ciclos de oscilaciones descritos por los índices MEI (Wolter y Timlin, 1998) y NOI (Schwing *et al* 2002 a).

Esta distribución parece ser una respuesta adaptativa de los peces los cuales podrían estar buscando aguas más frías y ricas en alimento, diferente de las aguas dominantes por EN las cuales son calientes y pobres en alimento. Así también, la respuesta de los cardúmenes indica que los grupos fueron más dispersos o menos dispersos. El evento de EN no sólo afectaba peces pelágicos, se ha visto también su efecto en macroalgas (Ladah, 2002), en peces demersales, aves y mamíferos.

7. RESULTADOS

7.1. Oceanografía

El número de transectos analizados y las fechas de crucero se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de crucero, fecha y número de transectos analizados.

Crucero	Mes	Año	Transectos
5	Octubre	1994	4
6	Marzo	1995	4
7	Junio	1995	4
8	Octubre	1995	8
9	Marzo	1996	6
10	Junio	1996	9
12	Septiembre	1997	4
13	Diciembre	1997	3
14	Marzo	1998	4
15	Julio	1998	6
16	Diciembre	1998	8
17	Marzo	1999	7
18	Diciembre	1999	7
19	Marzo	2000	7
20	Julio	2000	7
21	Diciembre	2000	7
22	Marzo	2001	7

La gran mayoría de los lances con el CTD se hicieron hasta 250 metros, sin embargo se obtuvieron lances de mayor profundidad. Nueve de mil metros, de los cuales tres fueron en diciembre de 1997, tres en marzo y tres en junio de 1998. Además, se hizo un lance de 500 metros en marzo de 1999.

7.1.1. Perfiles de temperatura y salinidad climatológicos

Los datos climatológicos o climatología de una región son los datos promedio de cualquier variable (oleaje, temperatura superficial, salinidad, concentración de oxígeno, etc) que representan el clima de una región y varían en la misma escala de tiempo en que varía el clima, es decir miles de años. En otras palabras, que para un período de tiempo de digamos un siglo, los datos climatológicos de esa región deberían ser constantes. Para asegurar esto el promedio debe ser el de mayor número de años posible, para que en ese promedio se consideren todas las anomalías transitorias y que

no refleje el efecto de variaciones diurnas, estacionales, anuales, años Niño, años Niña, años neutros, etc. y así el resultado sea representativo de la climatología de esa región.

De un conjunto de perfiles promedio de salinidad y temperatura en los que no se incluyen los cruceros de octubre de 1994, junio de 1996 y diciembre de 1998 por tener demasiado ruido aún después de editarse (debido a fallas instrumentales) y de información promediada de dos de las estaciones (30.5 N, 116.5 W y 29.5 N, 116.29 W) de la red climatológica "Levitus98 World Atlas" se obtuvieron los perfiles de temperatura y salinidad climatológicos.

Los resultados demuestran que en marzo de 1995 para los primeros 25 metros existieron temperaturas más elevadas y salinidades menores que las indicadas por los perfiles climatológicos (Figura 14).

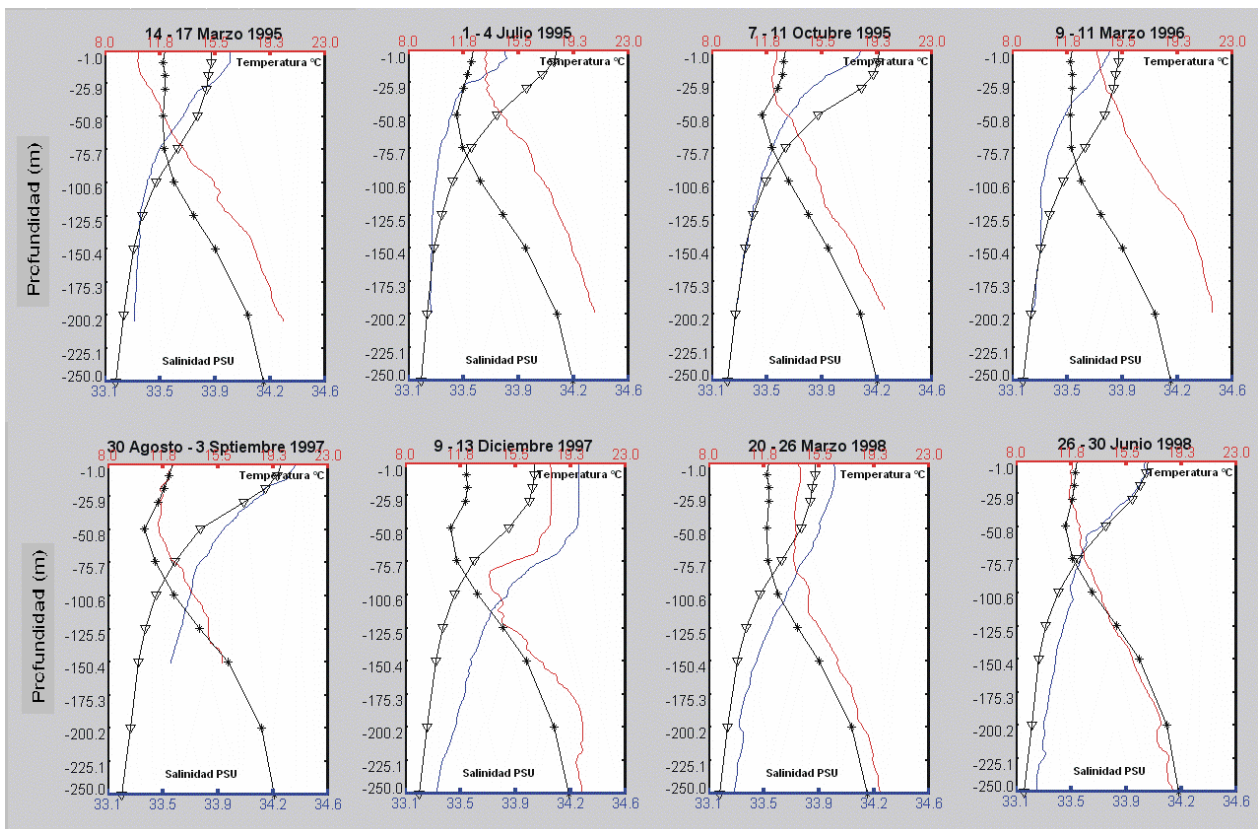


Fig. 14 Perfiles de temperatura °C (líneas rojas) y perfiles de salinidad (líneas azules) promedio obtenidos durante las campañas de marzo, julio y octubre 1995; marzo, agosto-septiembre, y diciembre de 1997; y marzo y junio de 1998; en negro aparecen los perfiles de temperatura (*) y los de salinidad (▽) climatológicos.

En julio de 1995 no existe una concordancia con los perfiles climatológicos. Asimismo se registraron temperaturas superficiales menores a 15.5 °C a principios de julio de 1995 y marzo de 1996. En general los perfiles de temperatura fueron de menor magnitud que los climatológicos entre julio de 1995 y marzo de 1996.

La temperatura máxima superficial la encontramos en septiembre de 1997. En este año existe una concordancia de los perfiles muestreados con los climatológicos, el perfil de temperatura aumenta sobrepasando el climatológico entre septiembre de 1997 y marzo de 1998.

Para diciembre de 1997 encontramos el segundo máximo de temperatura superficial, y una capa homogénea en salinidad y temperatura en los primeros 30 metros de profundidad. Asimismo existe una discordancia notable entre los perfiles climatológicos y los muestreados, denotando la existencia de una anomalía.

Para marzo de 1998 también se observaron condiciones de homogeneidad en los primeros 25 metros de profundidad y de nuevo una concordancia con la climatología. Para Junio de 1998 las condiciones muestreadas se asemejan en mucho a los perfiles climatológicos, lo que marca el fin de la oscilación iniciada en 1997.

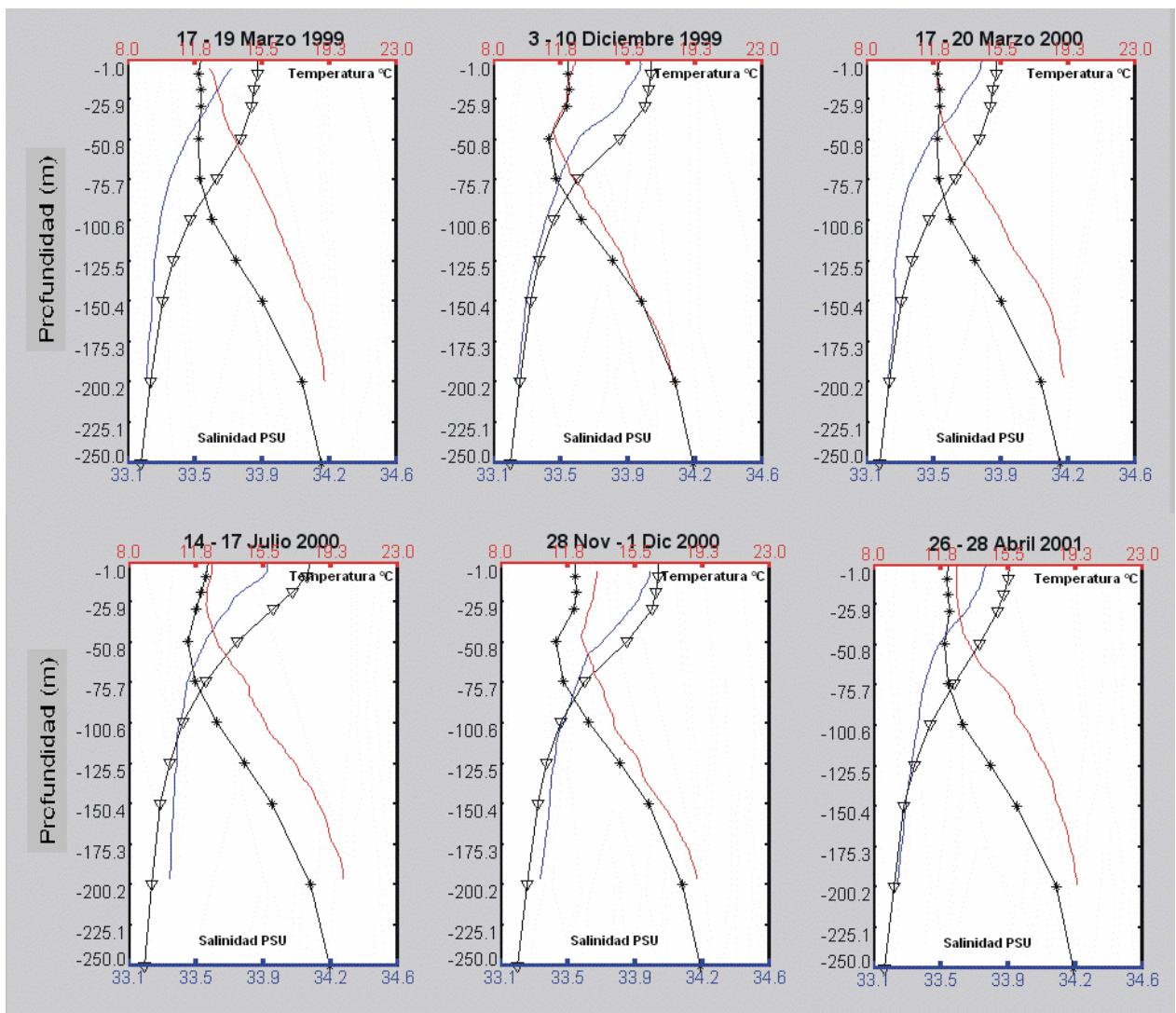


Fig. 15 Perfiles de temperatura °C (líneas rojas) y de salinidad (líneas azules) promedio obtenidos durante las campañas de marzo, diciembre de 1999; marzo, julio, diciembre de 2000; y abril de 2001; en negro aparecen los perfiles de temperatura (*) y de salinidad (▽) climatológicos.

De marzo de 1999 a abril de 2001, los perfiles de temperatura muestran magnitudes menores a los climatológicos. La salinidad, con excepción de diciembre de 1999 y los primeros 25 metros en marzo de 2000, muestra valores mayores para los perfiles muestreados respecto a los climatológicos. Esto nos habla de la existencia de un período anómalamente frío contrario al evidenciado entre septiembre de 1997 y marzo de 1998. En general encontramos que los perfiles de temperatura muestran un patrón de decaimiento inverso a los de salinidad hasta aproximadamente 50 metros, con excepción de: diciembre de 1999, período en el que encontramos la más grande

concordancia con los perfiles climatológicos; ahí tanto el perfil de salinidad como el de temperatura promedio presentaron una disminución sus valores hasta 40 metros; así como también del período comprendido entre noviembre y diciembre de 2000 donde se repitió este esquema hasta casi 50 metros. Cabe mencionar que el crucero de julio de 2000 tiene una gran dispersión de datos, tanto de temperatura como de salinidad. Asimismo se registró una temperatura superficial menor a 15.5 °C en abril de 1998.

7.1.2. Diagramas Temperatura-Salinidad (DTS) .

Los DTS correspondientes a octubre de 1994, marzo de 1995, julio de 1995, octubre de 1995, marzo de 1996 y septiembre de 1997, muestran un predominio de la masa de Agua Subártica (ASA) caracterizada por un intervalo de temperatura entre los 8 y 21 °C y de salinidad entre 33.0 y 34.0 (Durazo y Baumgartner, 2002); particularmente en octubre de 1994 donde los valores apuntan más hacia esta masa de agua, incluso que los climatológicos.

Existe también una influencia de la masa de Agua Ecuatorial Sub-superficial (AESs), caracterizada por un intervalo entre 8 y 15 °C de temperatura, y de salinidad entre 34.3 y 35.0 (Durazo y Baumgartner, 2002) la cual se observó entre marzo de 1995 y marzo de 1996, período en el que los valores obtenidos quedan dentro de la caja que define a la AESs, mientras que los DTS climatológicos se mantienen fuera de ella. Sin embargo, hay que considerar que estos lances no excedieron los 250 metros de profundidad por lo que es difícil tener registrada la influencia de masas de agua como la profunda del Pacífico.

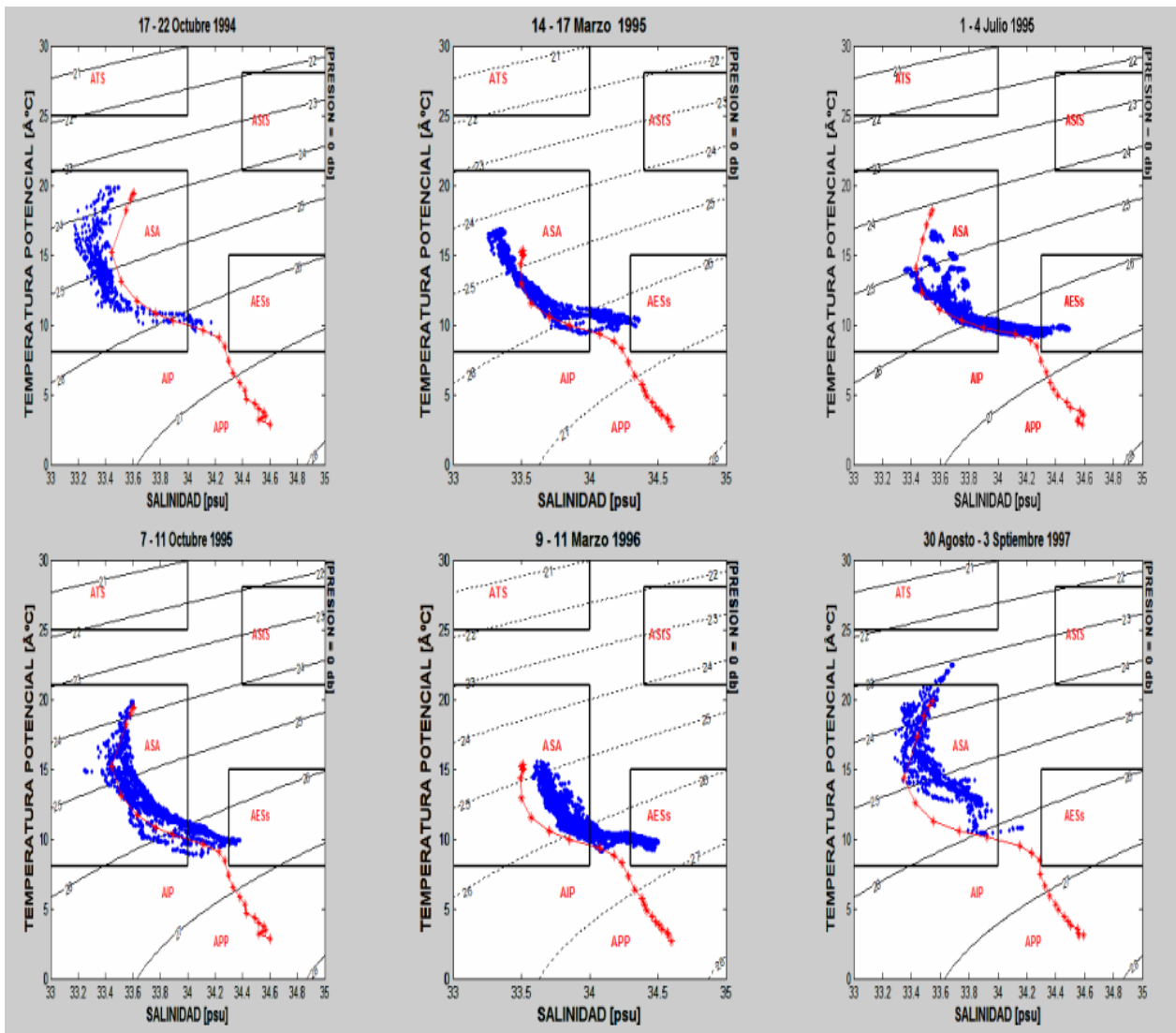


Fig.16 Diagramas T-S. Puntos azules corresponden a valores de muestreos; La línea que une los asteriscos rojos corresponde al TS climatológico. Los rectángulos corresponden a: Agua Tropical Superficial (ATS), Agua Subtropical Superficial (ASSt), Agua Subártica (ASA), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs) y Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Profunda del Pacífico (APP), según los rangos tomados de Durazo y Baumgartner (2002);

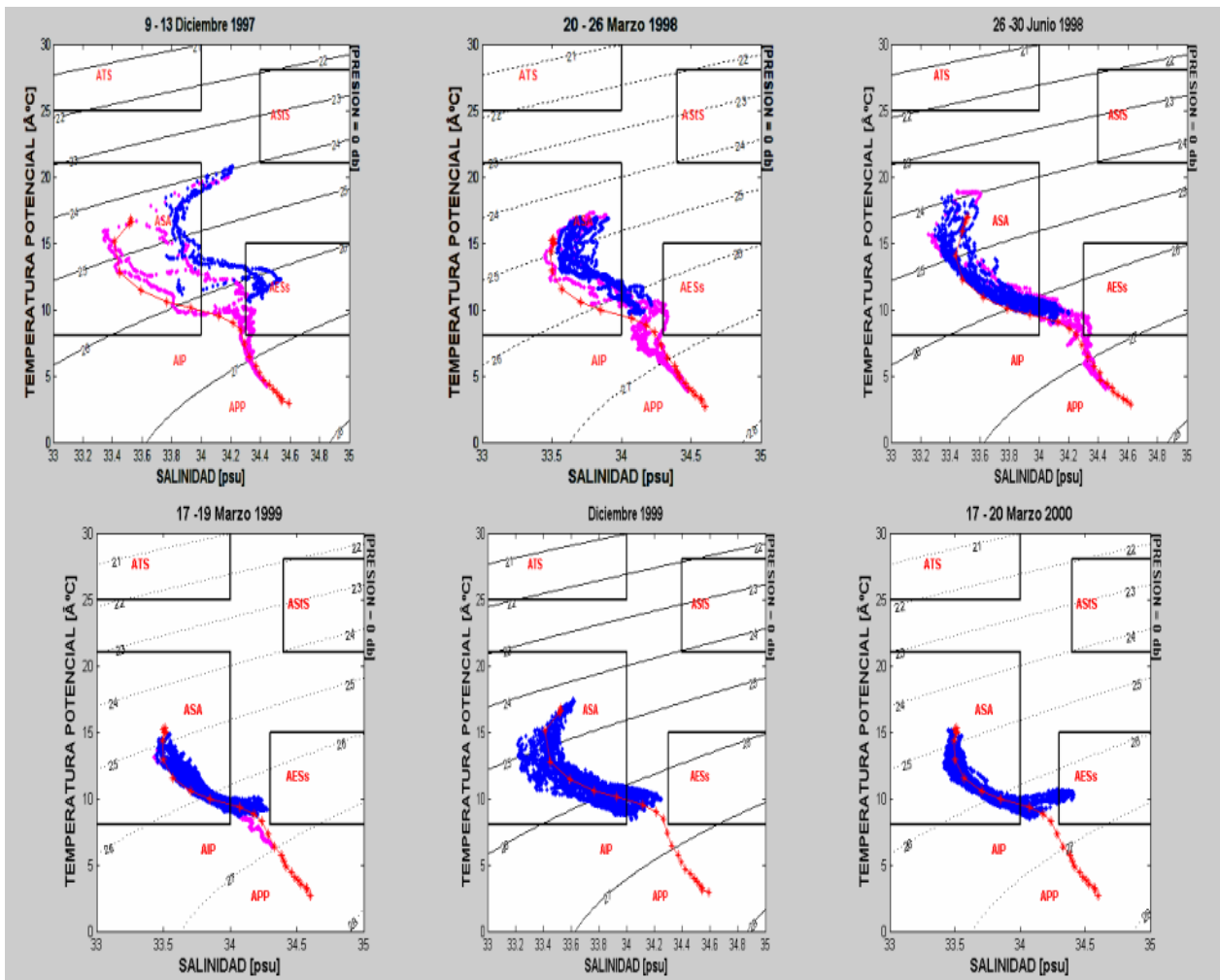


Fig. 17 Diagramas T-S. Puntos azules corresponden a valores de muestreos; la línea que une los asteriscos rojos corresponde al TS climatológico; en color rosa, datos precedentes de lances de más de 1000 metros. Los rectángulos corresponden a: Agua Tropical Superficial (ATS), Agua Subtropical Superficial (ASIS), Agua Subártica (ASA), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs), Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y Agua Profunda del Pacífico (APP), según los rangos tomados de Durazo y Baumgartner (2002);

Los DTS muestran un predominio de la masa de ASA. Hay una influencia de la masa de AESs más acentuada durante el período de diciembre de 1997, a marzo y junio de 1998 (El Niño), y en marzo de 2000. En el caso de diciembre de 1997, marzo y junio de 1998 y marzo de 1999, se registra la influencia del agua intermedia del Pacífico AIP y el agua profunda del Pacífico APP. El registro de estas masas de agua fue posible debido a los lances de más de 1000 metros realizados en este período.

El DTS de diciembre de 1997 muestra que los lances más profundos, provenientes de la estación situada más al sur y al oeste fuera de la zona de estudio definida en la

metodología se ajustan al DTS climatológico, mientras que los datos provenientes de la zona de estudio muestran un corrimiento hacia los rangos del AESs y el Agua Subtropical Superficial (ASStS)

Los valores de los muestreos más profundos concuerdan con los DTS climatológicos, esto debido a que los perfiles climatológicos llegan a profundidades de 1500 metros y que las estaciones en que fueron realizados los lances de 1000 metros son más cercanas a las de la red climatológica consultada.

7.1.3. Series de tiempo de temperatura

De los registros del CTD se obtuvieron mediciones puntuales de temperatura a 10, 25 y 50 metros de profundidad. Con estos datos se graficaron series de tiempo para cada zona y nivel de profundidad.

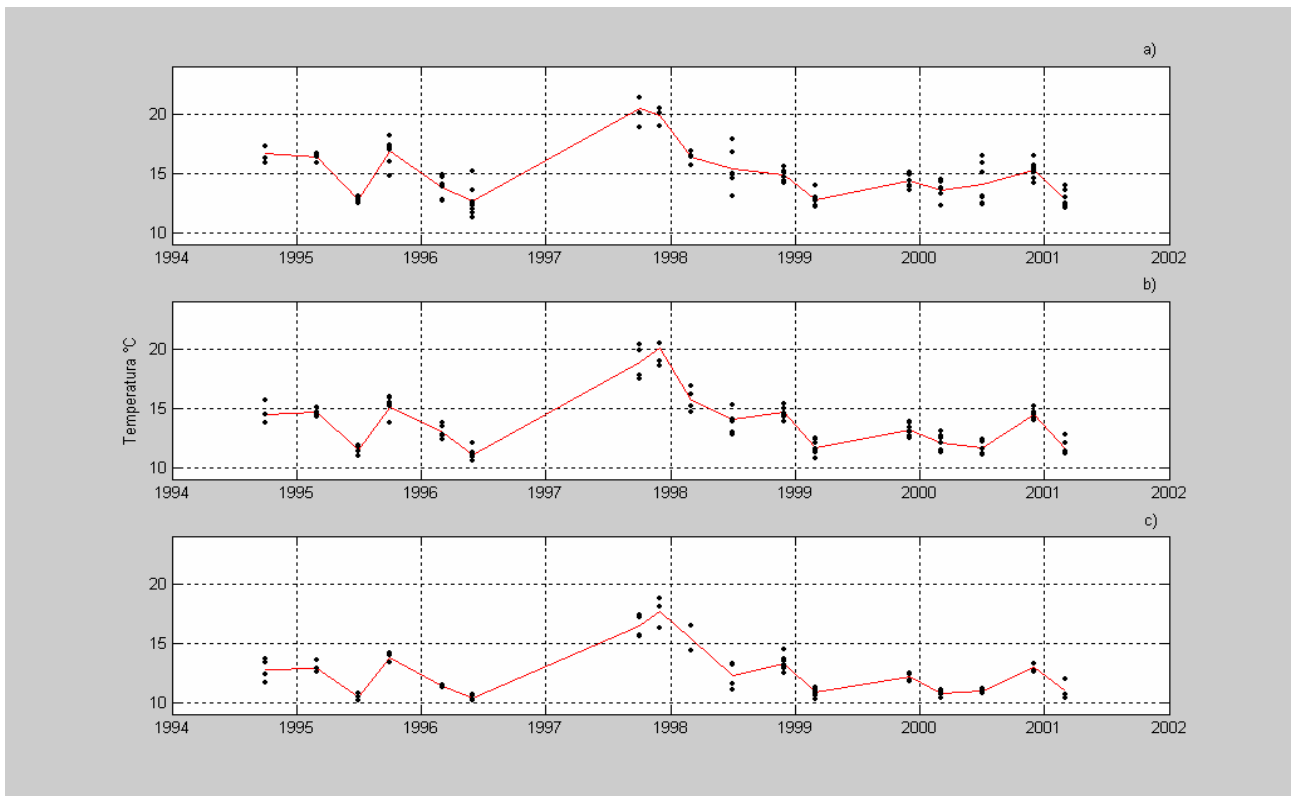


Fig. 18 Temperatura media a 10 (a), 25 (b) y 50 (c) metros de profundidad correspondientes a la zona nerítica durante los cruceros realizados entre 1994 y 2001. Los puntos representan el valor de temperatura obtenido para cada estación. La línea continua une los promedios por crucero.

La Figura 18 muestra la variación de la temperatura a los tres niveles de profundidad para la zona nerítica. La máxima temperatura en los tres niveles de profundidad se registró durante 1997 con un promedio máximo en septiembre a 10 metros de profundidad que fue de 20.4 °C (desviación estándar (DE) = 1.2), y disminuyendo para diciembre del mismo año a 19.8°C (DE = 0.8). Se observó que después de 1998 la temperatura a los tres niveles muestra una tendencia similar. Mínimos notables de temperatura de registraron a principios de julio de 1995 junio de 1996 y en marzo de 1999.

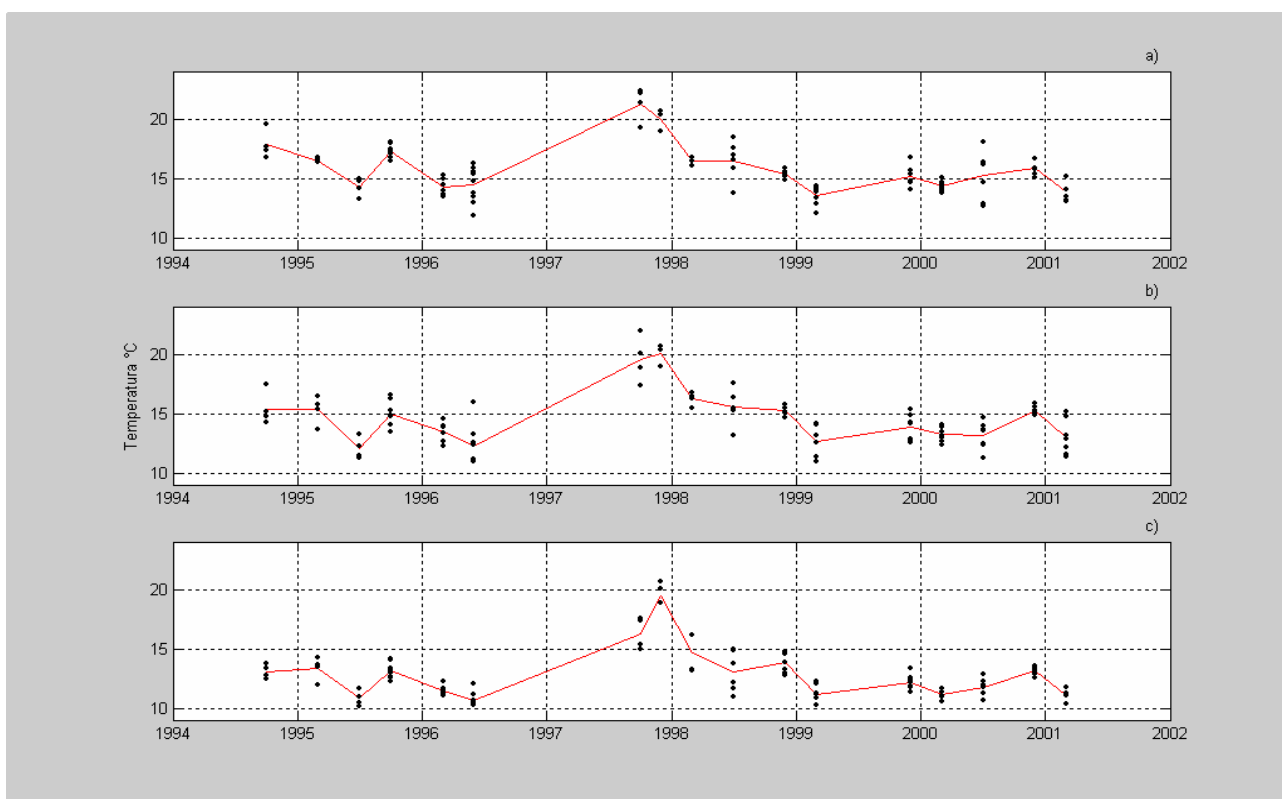


Fig. 19 Temperatura a 10 (a), 25 (b) y 50 (c) metros de profundidad correspondientes a la zona de talud durante los cruceros realizados entre 1994 y 2001. Los puntos representan el valor de temperatura obtenido para cada estación. La línea continua une los promedios por crucero.

En la Figura 19 se puede observar que la temperatura promedio en la zona del talud muestra a los tres niveles de profundidad una oscilación consistente con un mínimo en julio de 1995, un incremento para octubre del mismo año, seguido por una disminución registrada en el año 1996. El año 1997 muestra incrementos de temperatura a los tres niveles de profundidad, presentando a 10 metros la máxima temperatura registrada. Posterior a 1998 la tendencia es hacia una menor temperatura promedio en los tres

niveles de profundidad; la disminución de temperatura se ve acentuada en marzo de 1999. Finalmente se presenta un incremento registrado a finales del año 2000.

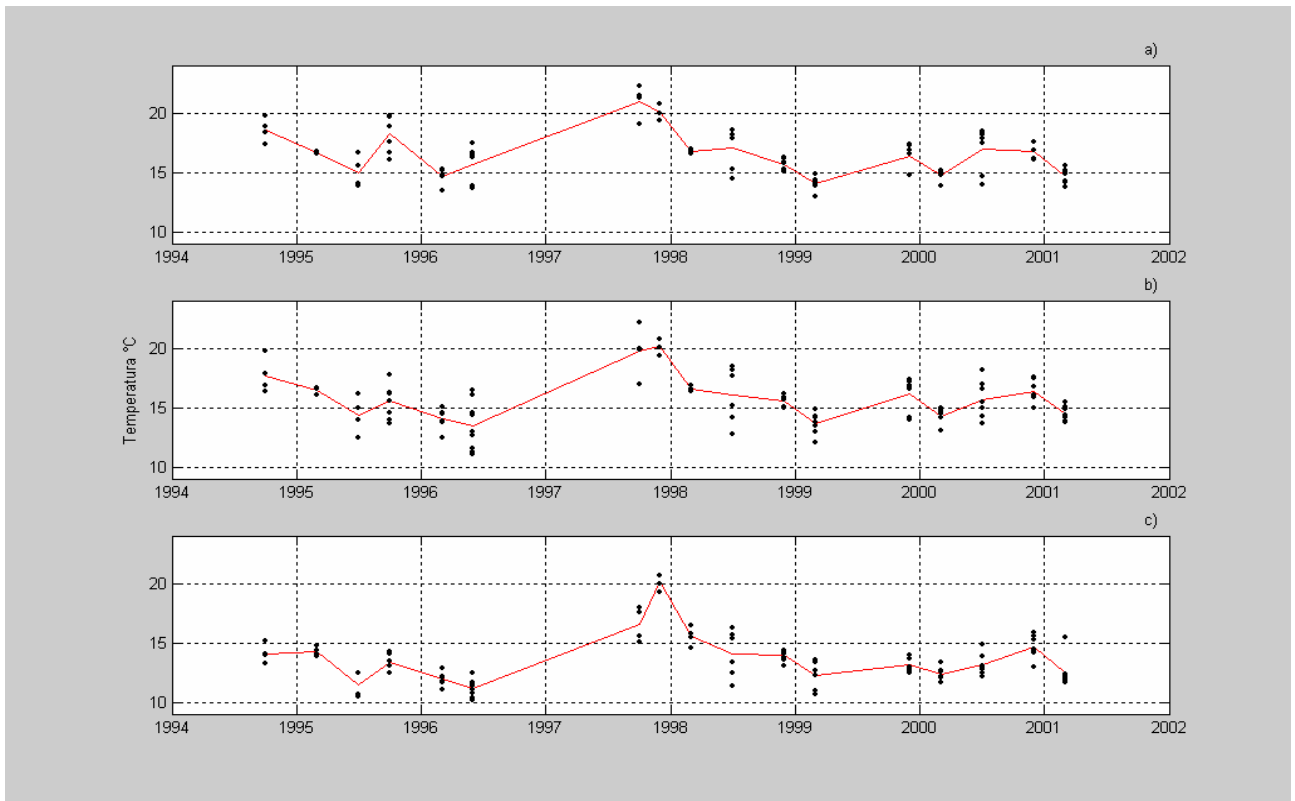


Fig. 20 Temperatura a 10 (a), 25 (b) y 50 (c) metros de profundidad correspondientes a la zona oceánica durante los cruces realizados entre 1994 y 2001. Los puntos representan el valor de temperatura obtenido para cada estación. La línea continua une los promedios por cruce.

En la Figura 20 es posible apreciar que la temperatura promedio obtenida en la zona oceánica muestra, al igual que las zonas más cercanas a la costa, una oscilación en 1995, un incremento en 1997 y una tendencia a disminuir después de 1997, en los tres niveles de profundidad. Entre diciembre de 1999 y marzo de 2000 la temperatura muestra una oscilación acentuada a los 10 metros de profundidad, seguida por un incremento a partir de julio del año 2000.

Para poder realizar una comparación entre zonas, los promedios y desviaciones de temperatura para las tres zonas y los tres niveles de profundidad fueron graficados conjuntamente. En general durante la serie de tiempo pueden observarse menores temperaturas en la zona nerítica corroborando el esquema típico de zona de surgencias (Figura 21, 22 y 23)

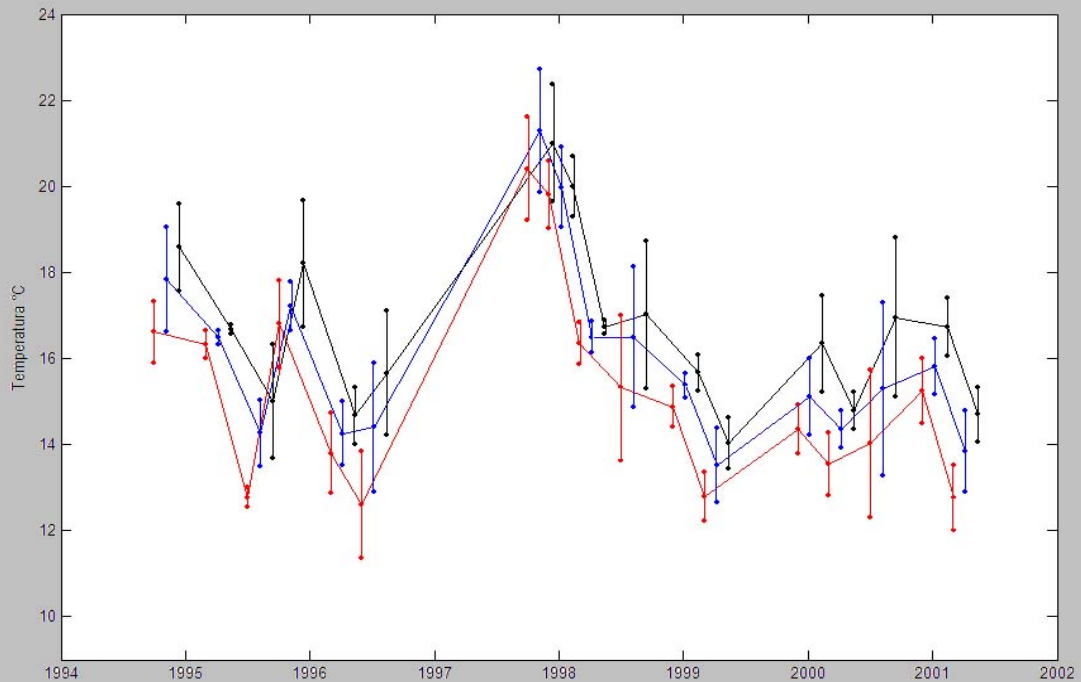


Fig. 21 Temperatura promedio y desviaciones estándar (barras) a 10 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

La Figura 21 indica que a 10 metros de profundidad el promedio de la temperatura en la zona oceánica es mayor respecto a las zonas de talud y nerítica. El promedio de la temperatura en la zona nerítica siempre fue menor respecto a las otras dos zonas durante toda la serie de tiempo.

La mayor temperatura promedio de la serie se encuentra a 10 metros de profundidad en septiembre de 1997 en la zona de talud y fue de 21.3 °C (DE = 1.4). A 10 metros de profundidad, el promedio de las tres zonas presentó su máximo en septiembre de 1997, el cual fue de 20.9 °C (DE = 1.3), que contrasta con los 15.1 °C (DE = 2.0), promedio de temperatura para las tres zonas, obtenido de los seis cruceros realizados entre el otoño de 1994 y el verano de 1996 a la misma profundidad.

En la zona nerítica también se observó un promedio máximo de temperatura en septiembre 1997 de 20.4 °C (DE = 1.2), disminuyendo para diciembre de ese año a 19.8°C (DE = 0.8). A esta profundidad se pueden observar, para la zona nerítica,

mínimos de temperatura en julio de 1995, junio de 1996, marzo de 1999 y diciembre de 2000. Y para las zonas de talud y oceánica en julio de 1995, marzo de 1996, marzo de 1999 y diciembre de 2000.

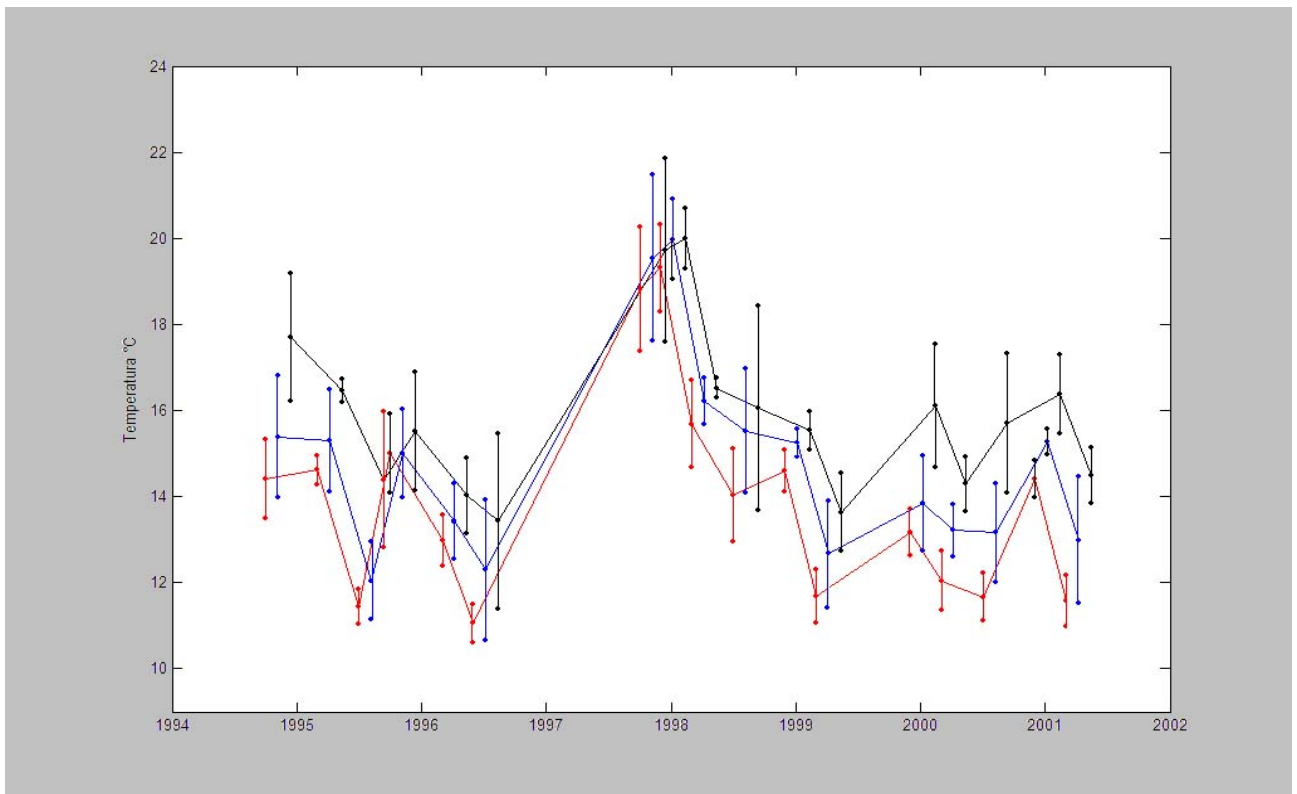


Fig. 22 Temperatura promedio y desviaciones estándar (barras) a 25 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

En la Figura 22 se presentan los promedios y las desviaciones estándar de la temperatura a 25 metros de profundidad registrados por zonas. Se nota que el promedio de la temperatura en la zona oceánica es durante toda la serie de tiempo mayor respecto a las zonas de talud y nerítica.

El promedio de la temperatura en la zona nerítica es menor respecto a las otras dos zonas con excepción del promedio de 15.0 °C (DE = 0.9) registrado en el crucero de octubre de 1995. A 25 metros de profundidad se registran mínimos de temperatura para las tres zonas en julio de 1995, junio de 1996, marzo de 1999 y de 2000. En septiembre de 1997 se observa el promedio máximo en las tres zonas.

El período de marzo a julio de 2000 es interesante pues presenta una disminución en la zona nerítica de 12.05 (DE = 0.7) a 11.66 (DE = 0.5); en la zona de talud se mantiene constante de 13.22 (DE = 0.6) a 13.15 (DE = 1.1); registra un incremento en la zona oceánica de 14.29 (DE = 0.6) a 15.7 (DE = 1.6), de marzo a julio, respectivamente.

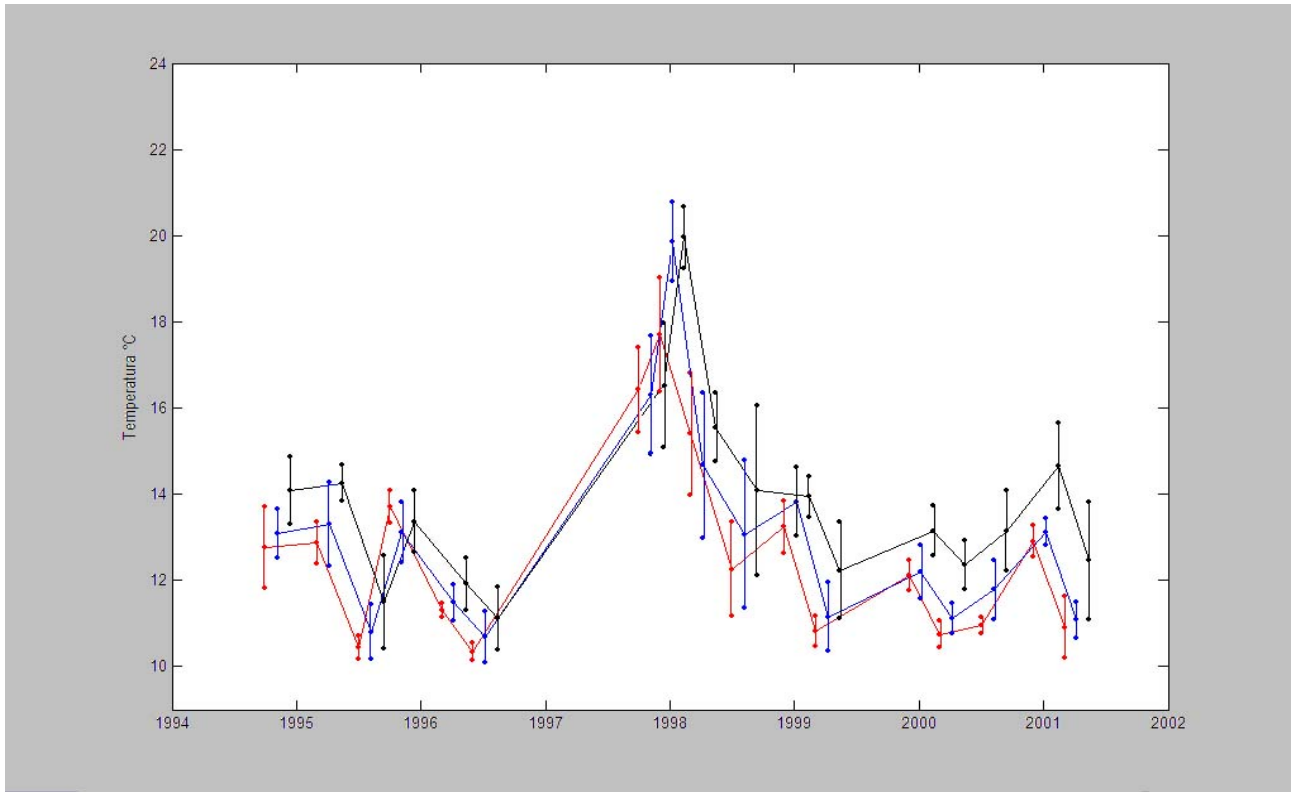


Fig. 23 Temperatura promedio y desviaciones estándar (barras) a 50 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

A 50 metros de profundidad se encuentra que en octubre de 1995 y en septiembre de 1997 el promedio de la temperatura en la zona nerítica fue mayor a los de las otras dos zonas siendo de 13.71 °C (DE = 0.4) y de 10.3 °C (DE = 0.2) respectivamente. Esto modifica el esquema que situaba la temperatura nerítica debajo de la temperatura de zonas más alejadas de la costa. Para diciembre de 1997 el promedio de las tres zonas fue de 19.2°C (DE = 1.4) y para marzo de 1998 descendió hasta 15.17°C (DE = 1.2). En marzo de 1998 el promedio de la zona nerítica fue de 15.4 °C (DE = 1.4); mayor que el obtenido en el talud 14.7° (DE =1.7).

La capa de 50 metros es la que se aleja más del esquema de temperaturas más frías cercanas a la costa. De acuerdo con lo observado en 1997, encontramos un proceso de

calentamiento asociado a la presencia de el fenómeno de EN, confirmado para esa zona por Durazo y Baumgartner (2002). Como consecuencia de la observación de los mayores incrementos de la temperatura promedio en las tres zonas consideraremos a los cruceros 12, 13 y 14, como muestreos en condición de EN.

Conociendo que durante EN la temperatura en las tres zonas se incrementa significativamente (Figuras 21, 22 y 23), el siguiente paso fue comparar las temperaturas en los tres niveles de profundidad por zona antes (del crucero 5 al 10) y después de EN (del crucero 15 al 22). Ver Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de ANOVA para temperaturas por profundidades antes y después de EN:

Antes y después de El Niño			
Ho: La temperatura fue igual antes y después de El Niño			
Nerítica	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	3.06	0.0836	V
Temperatura a 25 m	0.24	0.6289	V
Temperatura a 50 m	0.04	0.8453	V
Ho: La temperatura fue igual antes y después de El Niño			
Talud	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	4.28	0.0414	V
Temperatura a 25 m	0.37	0.547	V
Temperatura a 50 m	0.6	0.4413	V
Ho: La temperatura fue igual antes y después de El Niño			
Oceánica	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	3.9	0.0513	V
Temperatura a 25 m	0.74	0.3926	V
Temperatura a 50 m	6.56	0.0121	F

Estadísticamente sólo se encontró un cambio de la temperatura antes y después de EN y fue en la zona oceánica a 50 metros de profundidad. Posteriormente se hacen algunos otros análisis de varianza pero se presentan en el conjunto de las variables ambientales.

7.1.4. Series de tiempo de salinidad

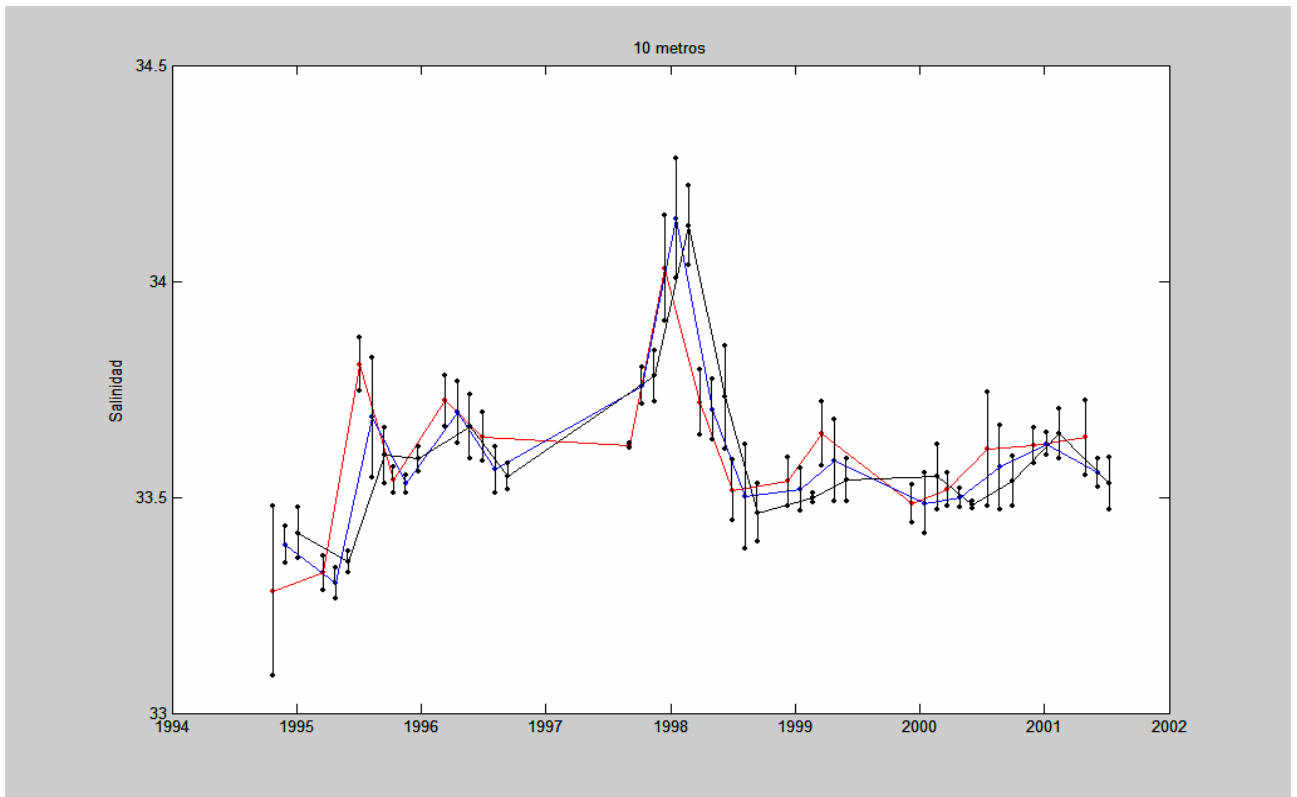


Fig. 24 Promedio de la salinidad y desviaciones estándar (barras) a 10 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

La salinidad a 10 metros presenta tres máximos: julio de 1995, marzo de 1996 y diciembre de 1997. Este último máximo es el mayor de la serie de tiempo y acentuado en la zona oceánica 34.13 (DE = 0.09) y en la de talud 34.14 (DE = 0.14), así como un mínimo en octubre de 1995 en la zona nerítica 33.28 (DE = 0.2).

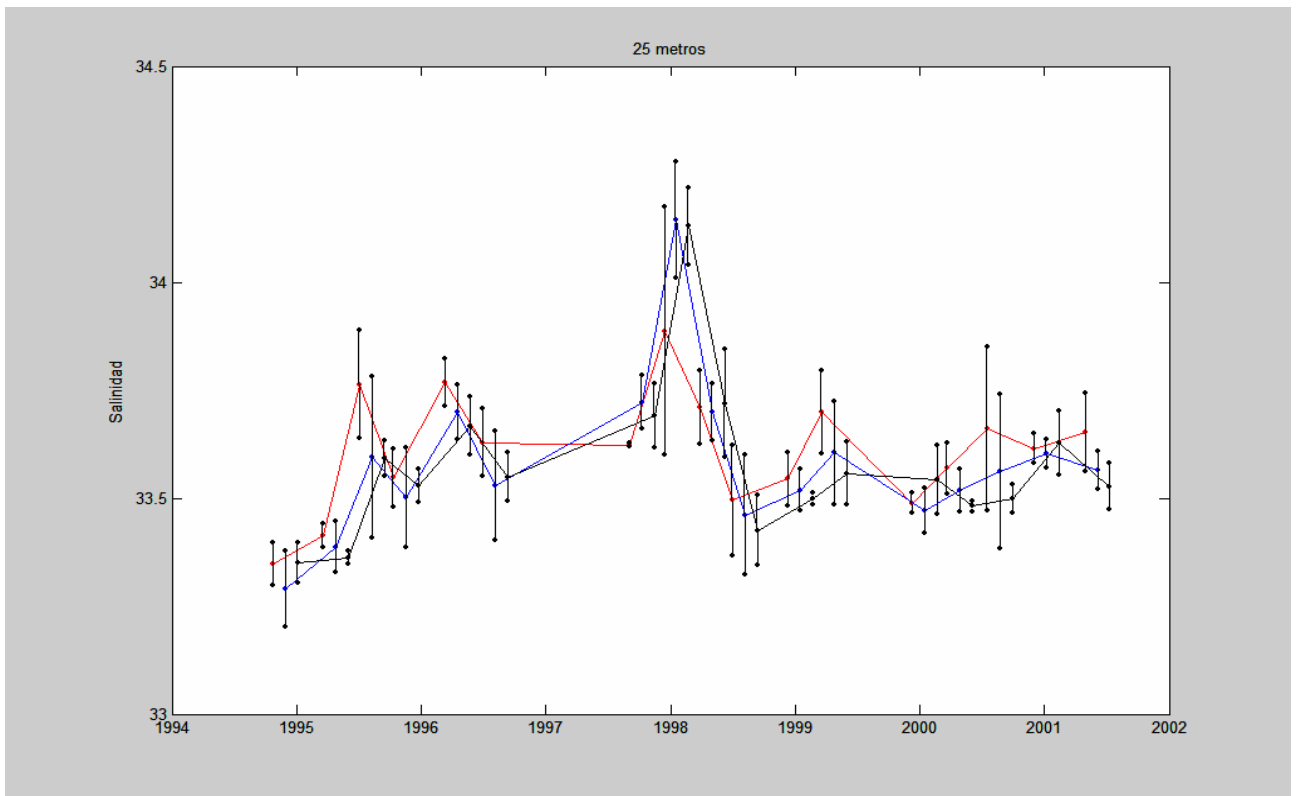


Fig. 25 Promedio de la salinidad y sus desviaciones estándar (barras) a 25 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

La salinidad a 25 m presentó tres máximos: en julio de 1995 33.76 (DE = 0.12); en marzo de 1996 33.77 (DE = 0.05) ambos en la zona nerítica; y un máximo mayor en diciembre de 1997 acentuado en las zonas de talud 34.14 (DE = 0.13) y oceánica 34.13 (DE = 0.09). Encontramos también un mínimo en octubre de 1994 acentuado en la zona de talud 33.29 (DE = 0.09).

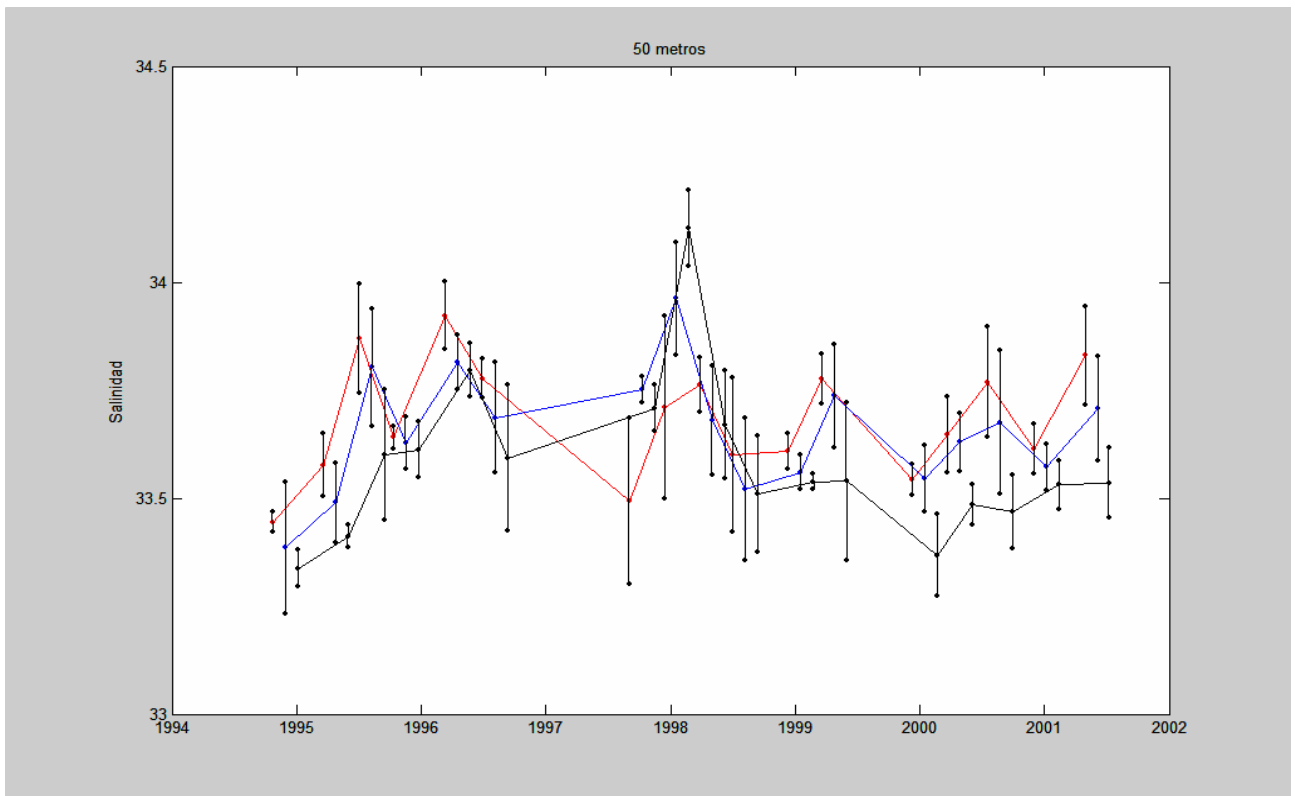


Fig. 26 Promedio de la salinidad y sus desviaciones estándar (barras) a 50 metros de profundidad para; la zona nerítica (línea roja), zona de talud (línea azul) y zona oceánica (línea negra).

El promedio de la salinidad a 50 metros presentó tres máximos; dos en los que la salinidad es mayor en la zona nerítica en julio de 1995 33.87 (DE = 0.12) y marzo de 1996 33.92 (DE = 0.077); y un tercer máximo, el mayor de la serie, se presentó en diciembre de 1997, con la variante de que la salinidad mayor se presentó en la zona oceánica 34.13 (DE = 0.09). En septiembre como en diciembre de 1997 las salinidades son mayores en las zonas más alejadas de la costa. La salinidad en la zona nerítica en este período es menor y presenta mayores desviaciones estándar (septiembre de 1997 33.49, DE = 0.19 y diciembre de 1997 33.71, DE = 0.21). En general, las gráficas 29, 30 y 31, muestran que a los tres niveles de profundidad se presenta un incremento de la salinidad en 1997 y una disminución posterior a 1998. Asimismo, el esquema que ubica a la zona nerítica como la zona con mayor salinidad se invierte para el año 1997. A continuación se presentan los resultados de análisis de varianza de una vía realizados sobre las temperaturas y salinidades por zonas y niveles en relación a la presencia de EN.

Tabla 3. Resultados de ANOVA para temperatura y salinidad por profundidades comparando por zonas, así como para salinidad por zona comparando por profundidad; antes durante después de EN.

Antes de El Niño			
Ho : Las temperaturas son iguales en las diferentes zonas			
POR ZONAS	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	7.09	0.0013	F
Temperatura a 25 m	8.94	< 0.001	F
Temperatura a 50 m	1.92	0.1529	V
salinidad a 10 m	0.39	0.6758	V
salinidad a 25 m	2.5	0.087	V
salinidad a 50 m	2.93	0.0588	V
Ho : Las salinidades son iguales en los diferentes niveles de profundidad			
POR NIVELES DE PROF.	F	P	Ho
salinidad zona nerítica	3.48	0.0351	V
salinidad zona talud	7.3	0.0011	F
salinidad zona oceánica	1.69	0.19	V

Durante El Niño			
Ho : Las temperaturas son iguales en las diferentes zonas			
POR ZONAS	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	0.13	0.8803	V
Temperatura a 25 m	0.47	0.6272	V
Temperatura a 50 m	0.17	0.8454	V
salinidad a 10 m	0.33	0.7233	V
salinidad a 25 m	0.61	0.5489	V
salinidad a 50 m	2.7	0.0845	V
Ho : Las salinidades son iguales en los diferentes niveles de profundidad			
POR NIVELES DE PROF.	F	P	Ho
salinidad zona nerítica	1.68	0.02053	V
salinidad zona talud	0.03	0.9748	V
salinidad zona oceánica	0.18	0.8342	V

Después de El Niño			
Ho : Las temperaturas son iguales en las diferentes zonas			
POR ZONAS	F	P	Ho
Temperatura a 10 m	19.84	< 0.001	F
Temperatura a 25 m	37.42	< 0.001	F
Temperatura a 50 m	17.58	< 0.001	F
salinidad a 10 m	3.67	0.0277	V
salinidad a 25 m	7.48	0.0008	F
salinidad a 50 m	28.19	< 0.001	F
Ho : Las salinidades son iguales en los diferentes niveles de profundidad			
POR NIVELES DE PROF.	F	P	Ho
salinidad zona nerítica	10.59	< 0.001	F
salinidad zona talud	10.47	< 0.001	F
salinidad zona oceánica	2.24	0.1097	V

Debido a que el El Niño (EN) de 1997-1998 se produjo durante el período de estudio, pareció útil aprovechar este evento para realizar estudios comparativos. Por esto se

hicieron comparaciones entre los muestreos antes de los cruceros 12, 13 y 14 realizados en septiembre y diciembre de 1997 y marzo de 1998 durante los mismos y después de ellos, en virtud que durante dichos cruceros se observa el evento de calentamiento asociado a EN. Se realizaron también comparaciones entre las zonas en que se dividió el área de estudio.

Antes de EN 1997-1998

Sintetizando, con base a las pruebas de hipótesis, las temperaturas presentaban diferencias significativas por zonas a 10 y 25 metros. La salinidad antes de EN se encontraba homogénea a lo largo de capas que cubrían las diferentes zonas (nerítica, de talud y oceánica), asimismo la salinidad se presentó homogénea en sentido vertical en la zona nerítica y la oceánica. Sin embargo mostró diferencias significativas entre niveles de profundidad en la zona de talud.

Durante EN 1997-1998

Durante EN no hubo diferencias significativas en temperatura o salinidad entre zonas a ningún nivel de profundidad. Tampoco de salinidad por zonas a los diferentes niveles de profundidad, todo fue homogéneo, cálido y salado.

Después de EN 1997-1998

Después de EN encontramos más heterogeneidad en cuanto a las características del agua de cada zona, así la temperatura y la salinidad presentaron diferencias significativas entre zonas para los diferentes niveles de profundidad (a los niveles de 25 y 50 metros), con excepción de la salinidad a 10 metros que se presentó homogénea en las distintas zonas. Así la temperatura a 10 metros fue significativamente más fría en la zona nerítica que en las zonas talud y oceánica. A 25 metros la temperatura fue más fría en la zona nerítica que en las zonas talud y oceánica. A 50 metros la temperatura fue más fría para la zona nerítica. Por niveles de profundidad, la zona oceánica no

presentó variación significativa de la salinidad, mientras que si se presentaron tales diferencias en el talud (como antes de EN) así como en la zona nerítica.

7.1.5. Profundidad de la capa mezclada e intensidad de la termoclina.

Las variaciones de la profundidad de la termoclina registran los cambios en los vientos superficiales que aportan información la cual puede ser crítica en torno al sistema de acoplamiento océano atmósfera (Wang *et al.*, 1999), reflejan la dinámica oceánica presente en la zona de estudio y su variación es una señal importante en la determinación de la existencia de la presencia del evento de EN. El comportamiento de la profundidad e intensidad de la termoclina para la zona nerítica, de talud y oceánica se presentan en las Figuras 27, 28 y 29 respectivamente.

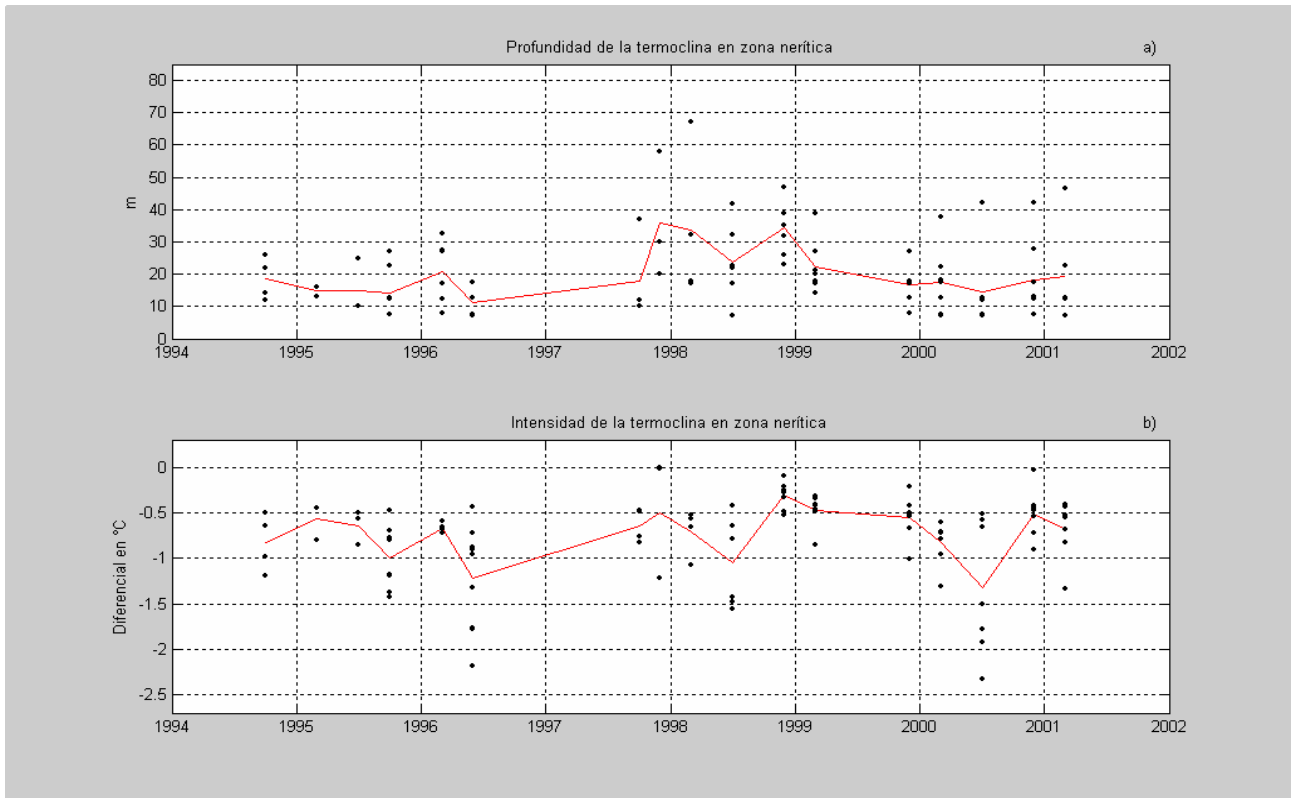


Fig. 27 Profundidad m (a) e intensidad $\Delta^{\circ}\text{C}$ de la termoclina (b) para la zona nerítica entre 1994 y 2001, la línea continua indica la media aritmética de cada crucero, los puntos son los valores para cada estación.

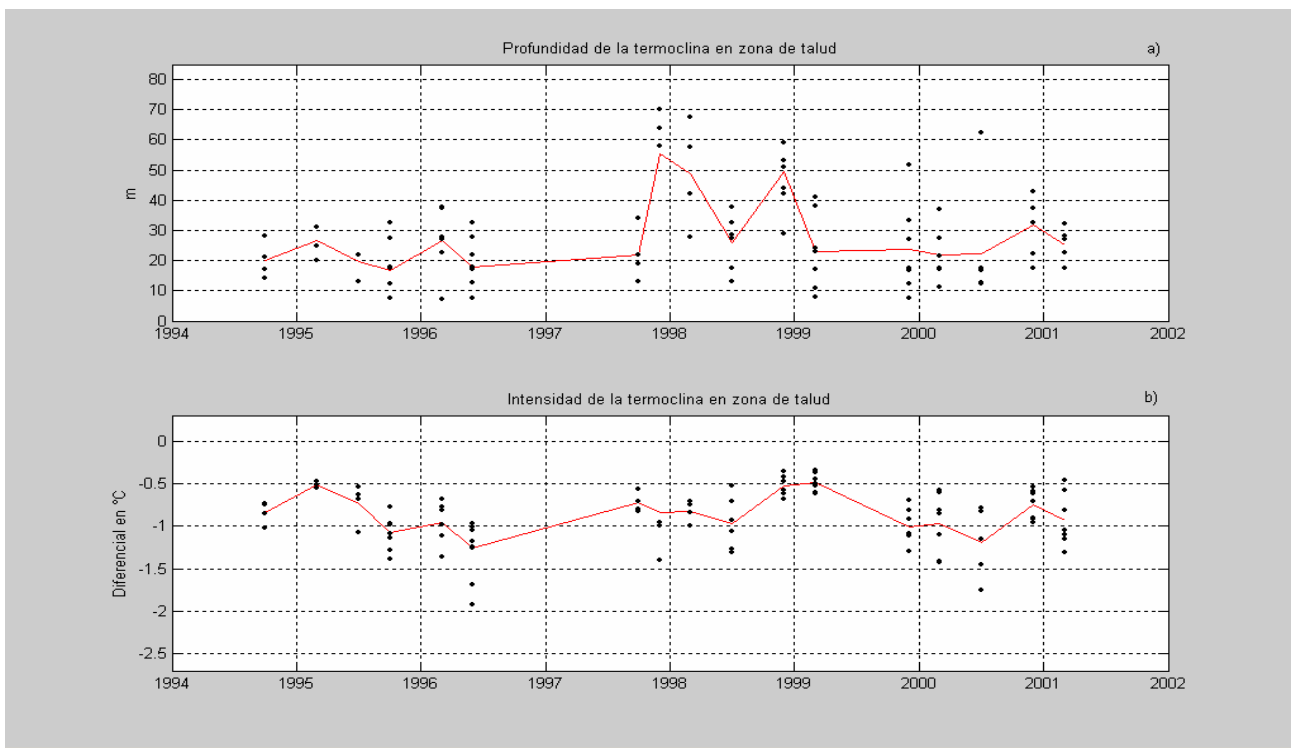


Fig. 28 Profundidad m (a) e intensidad $\Delta^{\circ}\text{C}$ de la termoclina (b) para la zona de talud entre 1994 y 2001, la línea continua pasa por el valor representando la media aritmética de cada crucero, los puntos son los valores para cada estación.

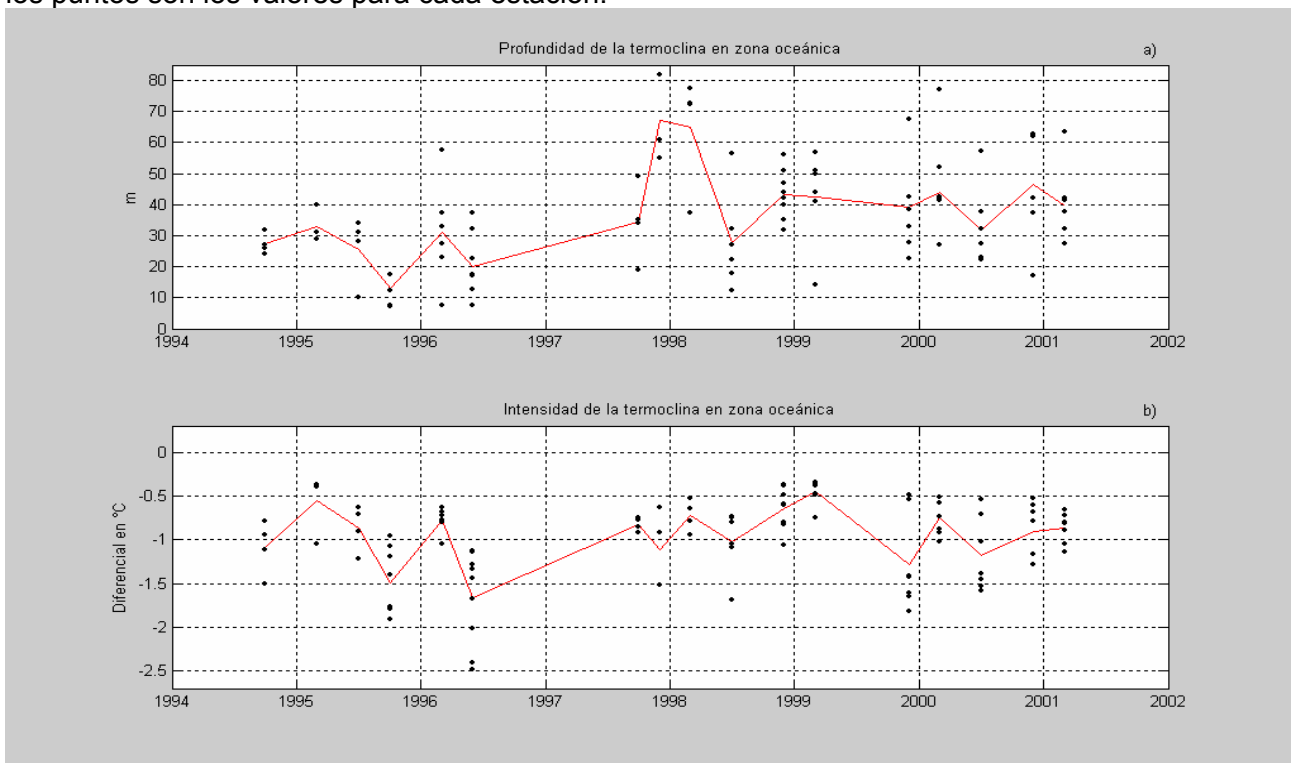


Fig. 29 Profundidad m (a) e intensidad $\Delta^{\circ}\text{C}$ de la termoclina (b) para la zona oceánica entre 1994 y 2001, la línea continua indica la media aritmética de cada crucero. Los puntos son los valores para cada estación.

Las mayores variaciones de la profundidad de la termoclina se dieron en la zona oceánica. En la tabla 4 se presentan los resultados del análisis de varianza correspondiente. La profundidad de la termoclina cambió significativamente antes, durante y después de EN, tanto en la zona nerítica como en el talud y en la zona oceánica.

Mientras que la Intensidad de la termoclina no tuvo cambios significativos antes durante y después de EN en las zonas cercanas a la costa (nerítica y talud). Mientras que en la zona oceánica la Intensidad de la termoclina cambió significativamente antes, durante y después de EN.

Tabla 4 Resultados de ANOVA para la profundidad e intensidad de la termoclina en las diferentes zonas comparando por periodos; antes, durante y después de EN.

Profundidad de la termoclina			
Ho : La profundidad de la termoclina es igual antes, durante y después de El Niño			
ANOVA de una vía	F	P	Ho
NERITICA	5.92	0.0038	F
TALUD	11.85	< 0.001	F
OCEANICA	19.17	< 0.001	F

La Intensidad de la termoclina			
Ho : La intensidad de la termoclina es igual antes, durante y después de El Niño			
ANOVA de una vía	F	P	Ho
NERITICA	2.82	0.0642	V
TALUD	1.91	0.154	V
OCEANICA	5.81	0.004	F

7.1.6. Profundidad de mezcla

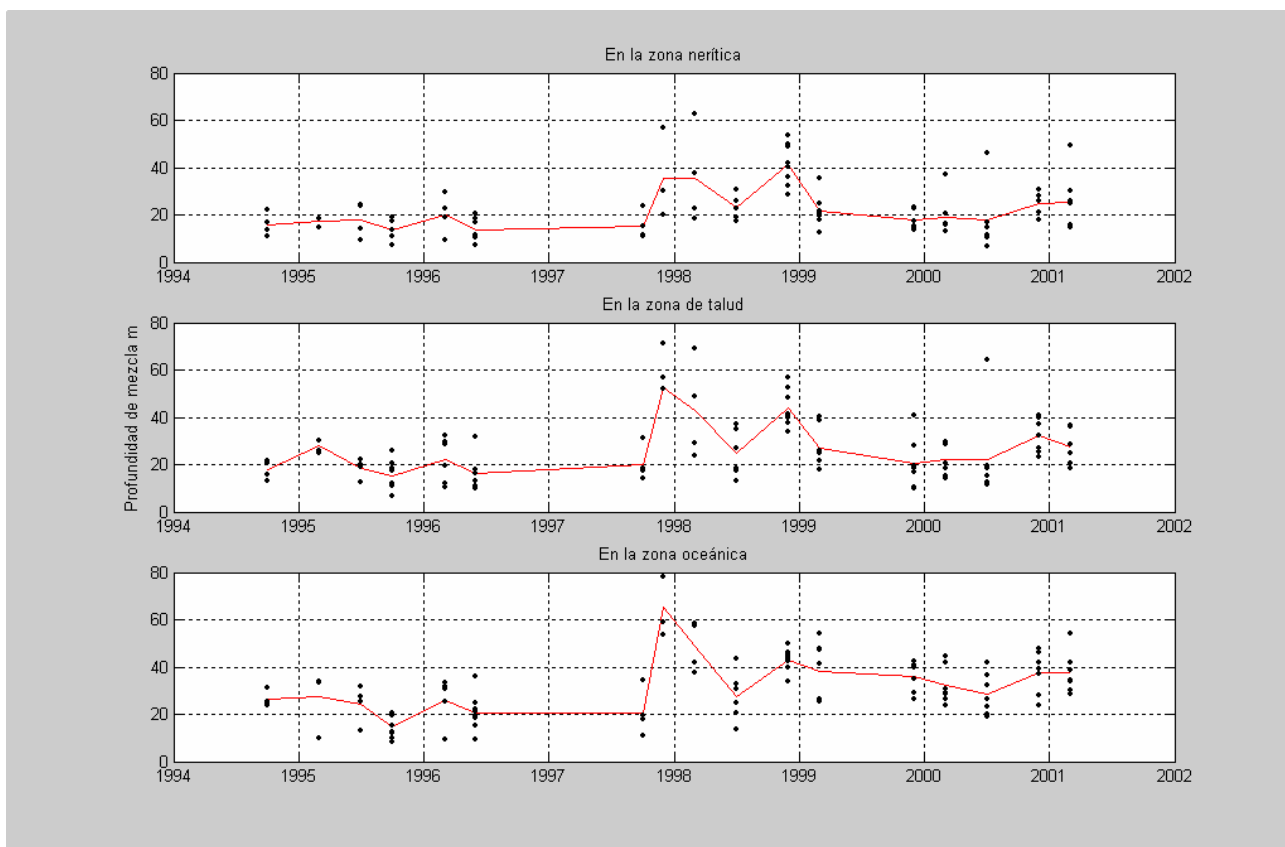


Fig. 30 Profundidad de mezcla para las zonas: nerítica, de talud y oceánica, entre 1994 y 2001, la línea continua indica la media aritmética de cada crucero. Los puntos son los valores para cada estación.

La profundidad de mezcla presenta gráficamente una gran oscilación cercana al evento de EN 97-98, el análisis de varianza muestra que existieron variaciones significativas para las tres zonas (acentuados en las zonas de talud y oceánica) antes, durante y después del evento de EN ver la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de ANOVA para la profundidad de la capa mezclada en las diferentes zonas comparando por períodos; antes, durante y después de EN:

Profundidad de la capa mezclada			
Ho : La profundidad de la capa mezclada es igual antes, durante y después de El Niño			
ANOVA de una vía	F	P	Ho
NERITICA	7.29	0.0012	F
TALUD	13.55	< 0.001	F
OCEANICA	22.41	< 0.001	F

7.2. DATOS ACÚSTICOS

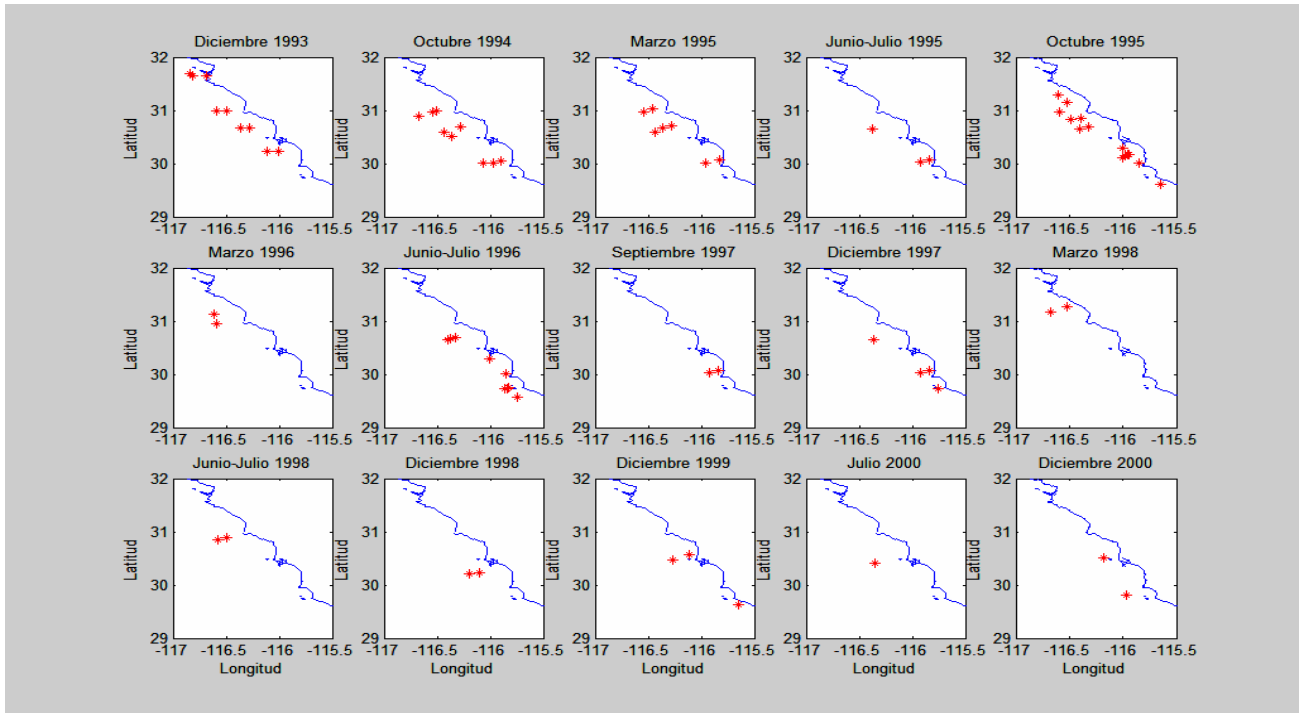


Fig. 31 Localización de los muestreos acústicos en los que se encontraron intensidades de ecos correspondientes a peces pelágicos menores, FB de -46 a -38 dB.

7.2.1. Abundancia

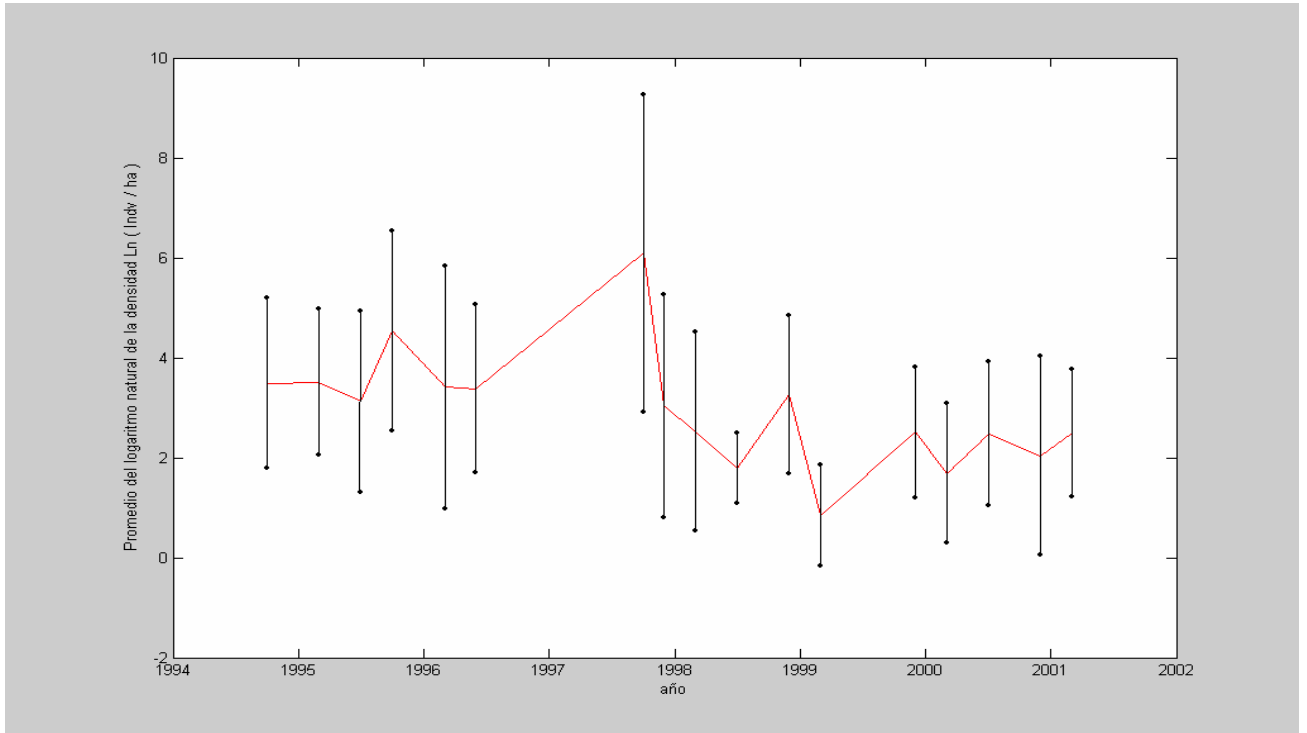


Fig. 32 Promedio y desviación estándar (barras) del logaritmo de la abundancia acústica de 5 a 50 m de profundidad para el rango de fuerza de blanco de -46 dB a -38 dB.

En la Figura 32 se presentan los promedios del logaritmo de la abundancia para el rango de FB de -46 a -38 dB para la profundidad de 5 a 50 m. La abundancia registró dos máximos, el primero en octubre de 1995 y el segundo de mayor amplitud en septiembre de 1997. De 1994 a 1996 los niveles de abundancia oscilaron. Posterior a ello, se presenta el incremento mayor en septiembre 1997. Después de los cruceros considerados como condición EN de septiembre 1997 a marzo de 1998 se registró otro aumento de la abundancia para diciembre de 1998 y así la abundancia osciló hasta el final de la serie de datos pero en niveles inferiores a los registrados antes de 1997 (Figura 32). El máximo registrado en septiembre de 1997 fue debido a una alta densidad obtenida en la zona nerítica y la zona del talud.

El máximo de octubre de 1995 presenta una media del logaritmo de la densidad de 5.0 (DE = 1.9) para la zona nerítica; 3.7 (DE = 1.7) para la zona del talud; y 4.6 (DE = 2.2) para la zona oceánica. Durante septiembre y diciembre de 1997, condición El Niño, la abundancia se concentró en las zonas más cercanas a la costa. Así la abundancia en la zona nerítica en septiembre fue la mayor registrada, 7.3 con 2.5 de desviación estándar (análogo a 4605 ind/ha) y cercana a la observada en la zona de talud de 6.9 con una desviación de 2.6 (correspondiente con 3781 ind/ha). Consecuentemente la zona oceánica presentó niveles mínimos 1.8 con desviación de 2.3 (correspondiente a 19 ind/ha) para septiembre. En diciembre de 1998, se registró un incremento del promedio del logaritmo de la densidad con valores de 2.8 (DE = 1.4) para la zona nerítica, 3.6 (DE = 2.6) para la zona del talud y 3.2 (DE = 0.8) para la zona oceánica (Figura 33).

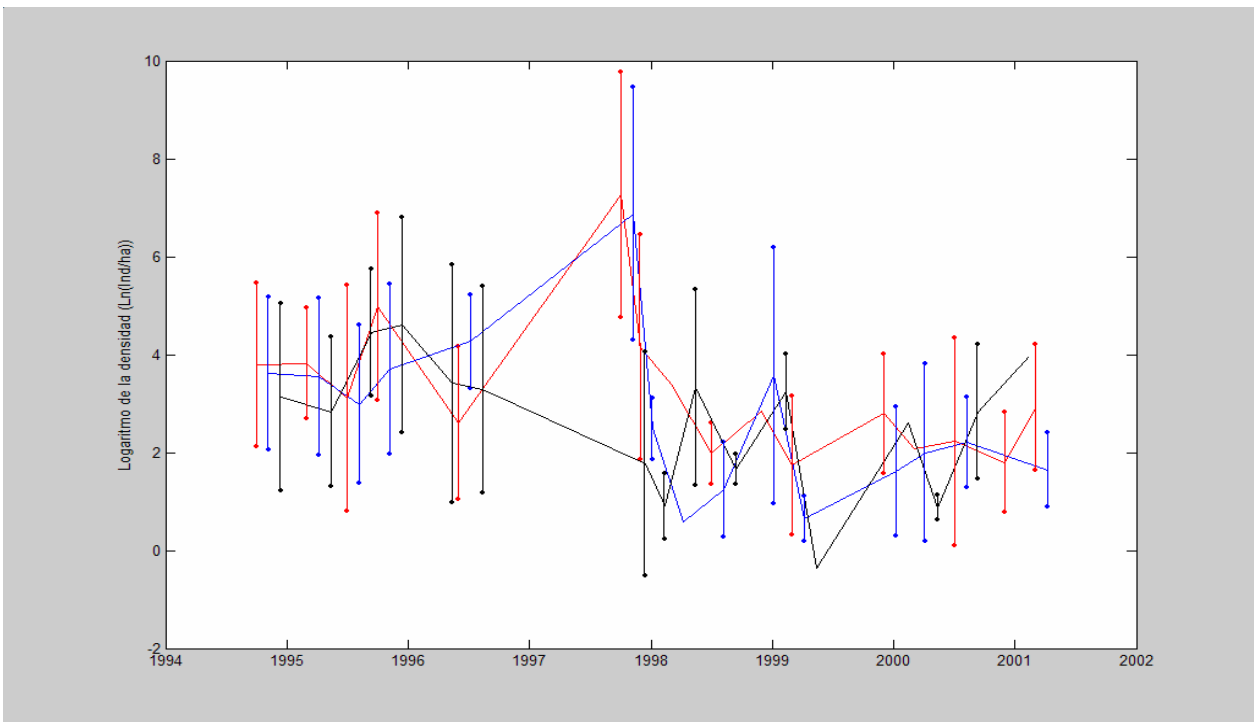


Fig. 33 Promedio y desviaciones estándar (líneas verticales) del logaritmo de la abundancia en la zona nerítica (línea roja), la zona de talud (línea azul) y la zona oceánica (línea negra). Los datos corresponden al análisis de 5 a 50 m de profundidad.

7.2.2 Grado de agrupamiento.

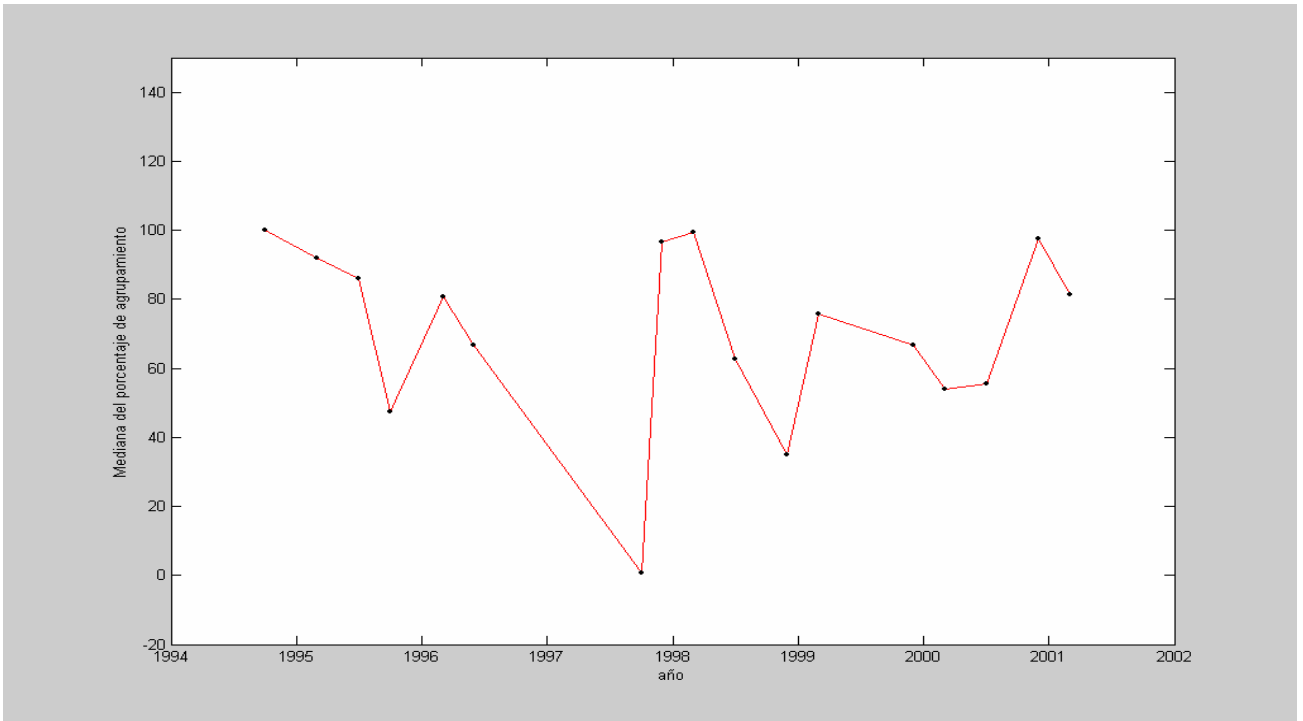


Fig. 34 Mediana del porcentaje de agrupamiento obtenido de las tres zonas para el estrato de 5 a 50 m.

La Figura 34 muestra que los niveles más bajos del porcentaje de agrupamiento (cuando los peces tuvieron menor separación entre ellos) se encontraron en octubre de 1995 (0.5), septiembre de 1997 (0.1), diciembre de 1998 (0.4) y marzo de 2000 (0.5). Es de destacarse la coincidencia en octubre de 1995 y septiembre de 1997 de los promedios más altos de abundancia con los menores porcentajes de agrupamiento.

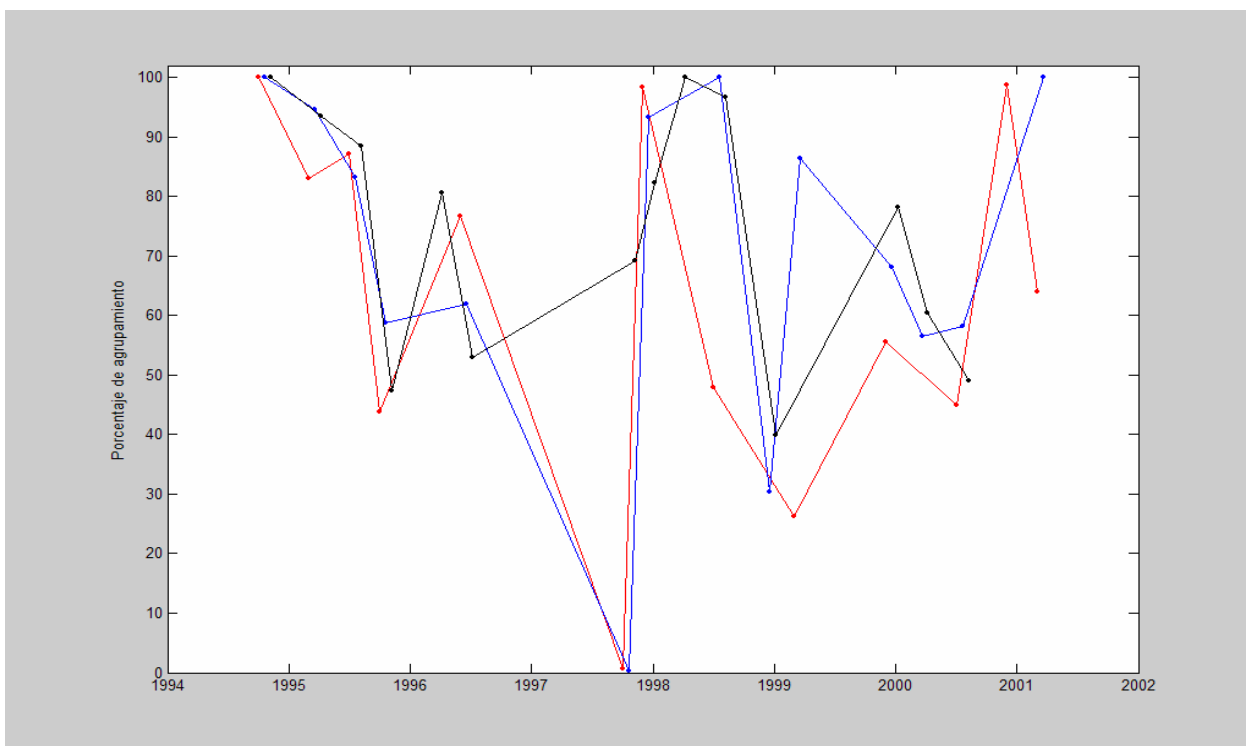


Fig. 35 Mediana del porcentaje de agrupamiento para la zona nerítica (línea roja), el talud (línea azul) y la zona oceánica (línea negra). Los datos corresponden al análisis de 5 a 50 m de profundidad.

La mediana del agrupamiento por zonas presentó durante septiembre de 1997 valores de 0.6 y 0.2 (peces a poca distancia entre ellos); mientras que en la zona oceánica la mediana del agrupamiento fue de 69.2 (Figura 35). Esto nos hace suponer que mientras persistía la influencia de calentamiento de EN, los peces se concentraban altamente agrupados en las zonas nerítica y de talud incrementando sensiblemente su abundancia acústica.

7.2.3 Comparación de datos acústicos por zonas y profundidades.

Como la distribución de los datos acústicos no se ha ajustado a un esquema de normalidad, se ha empleado la alternativa no paramétrica del análisis de varianza,

mediante el uso de una prueba Kruskal-Wallis en la que la hipótesis nula establece que las muestras provienen de la misma población o de poblaciones idénticas con la misma mediana (Siegel 1995). El agrupamiento de los peces muestra diferencias significativas antes, durante y después de EN de 1997-1998 para todas las zonas. Antes de EN la densidad de peces no muestra diferencias significativas entre zonas pero sí por niveles de profundidad. Durante EN la densidad acústica de los peces muestra diferencias significativas entre zonas pero no entre niveles de profundidad (comparando la abundancia obtenida en el estrato de 5 a 25 m, con el estrato de 25 a 50 m). Después del evento de EN la densidad de peces muestra diferencias significativas entre zonas y entre niveles de profundidad (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza no paramétrico (prueba de Kruskal Wallis) para el agrupamiento y la densidad de los peces.

Ho : El agrupamiento de peces es igual antes, durante y después de EN			
Con la prueba de Kruskal-Wallis	H	P	Ho
Agrupamiento de los peces	29.2	<0.0001	F

ANTES de EN			
Ho : La densidad acústica de peces es igual			
VARIABLES ACUSTICAS	H	P	Ho
Abundancia peces por zonas	4.7	0.097	Verdadera
Abundancia de peces por niveles de profundidad (5-25 comparado con 25-50 m)	82.7	< 0.001	Falsa
DURANTE de EN			
Ho : La densidad acústica de peces es igual			
VARIABLES ACUSTICAS	H	P	Ho
abundancia peces por zonas zonas	12.2	0.002	Falsa
abundancia de peces por niveles de profundidad (5-25 comparado con 25-50 m)	0.05	0.81	V
DESPUES de EN			
Ho : La densidad acústica de peces es igual			
VARIABLES ACUSTICAS	H	P	Ho
abundancia peces entre zonas	12.09	0.002	Falsa
abundancia de peces por niveles de profundidad (5-25 comparado con 25-50 m)	7.9	0.005	Falsa

7.3. Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados es una herramienta exploratoria del análisis de datos para clasificar variables en grupos. Al agrupar los muestreos, conjuntado la información biológica con los datos ambientales, asignándoles la categoría según la estación y el año en que fueron realizados se obtuvo el dendrograma de la Figura 36.

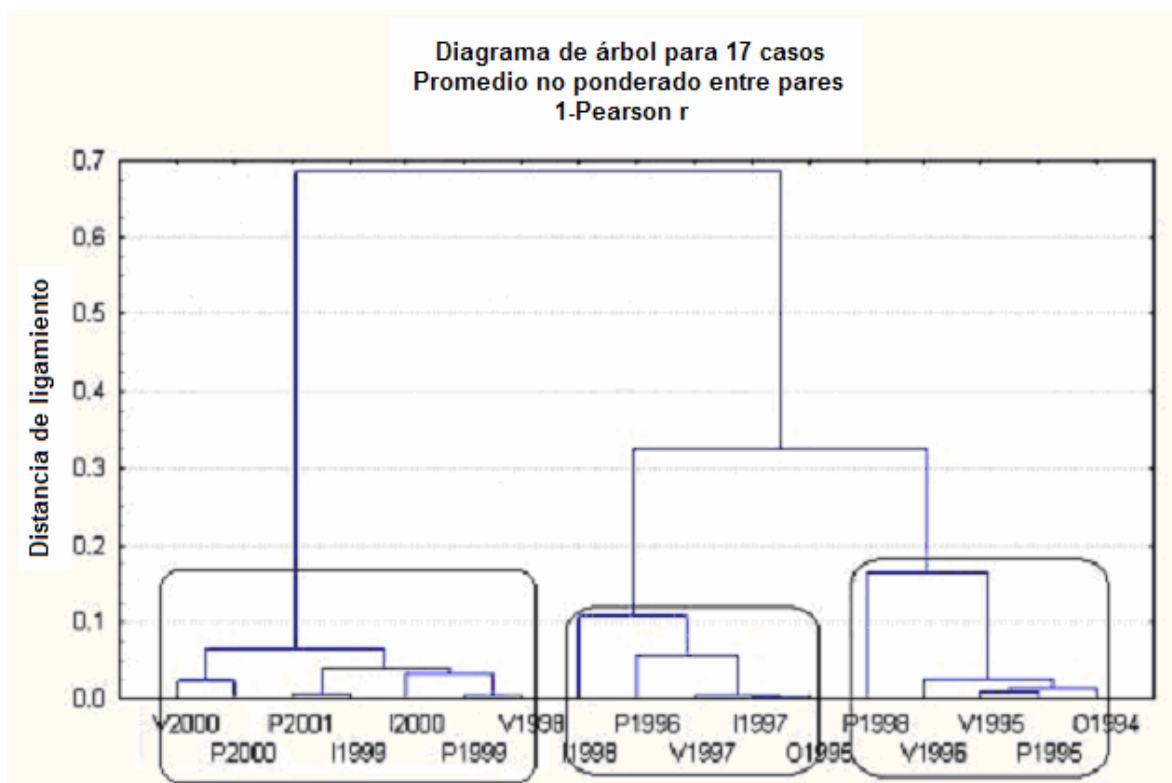


Fig. 36 Dendrograma de asociación entre los muestreos, realizado mediante el método de r de Pearson, y distancia no ponderada (unweighted pair group average).

En la Figura 36 podemos identificar tres grupos con un umbral ajustado a una distancia de 0.3: a) Primaveras de 1999, 2000 y 2001; Veranos de 1998 y 2000; e Invierno 1999 y 2000. b) Primavera 1996; Otoño 1995; Inviernos de 1998 y 1997; y el Verano de 1997, estos dos últimos en condiciones de EN. Y c) Primaveras de 1995 y 1998; veranos de 1995 y 1996; y Otoño 1994.

8. DISCUSIÓN

La presencia de El Niño 97-98, constituyó un hecho que orientó el sentido del presente trabajo. Se ha reportado que este evento produjo uno de los mayores incrementos de la temperatura del Océano Pacífico en los últimos 100 años (Changnon y Bell, 2000). Se reportó durante este evento que las anomalías de temperatura superficial del Pacífico Este se distribuyeron a lo largo del Ecuador geográfico afectando a la costa oeste de Baja California antes de julio de 1997, alcanzando su nivel máximo antes de enero de 1998; con persistencia de anomalías positivas hasta julio de 1998 y retornando a las condiciones casi normales para octubre de 1998 (Durazo y Baumgartner 2002).

Para verificar la extensión de la oscilación de EN y definir cuáles son los cruceros que abarcó en la presente tesis, se tomó en cuenta que los mayores incrementos de la temperatura promedio en las zonas nerítica, de talud y oceánica se presentaron en los cruceros correspondientes a septiembre y diciembre de 1997, así como marzo de 1998.

Existen diversos índices que se han desarrollado para cuantificar la magnitud y duración de eventos climáticos como EN. Este es el caso del Índice multivariado de EN (MEI, Multivariate ENSO Index, Wolter y Timlin, 1998), así como el Índice de la oscilación extratropical septentrional (NOI, Extratropical Northern Oscillation Index, Schwing *et al.*, 2002 a). La oscilación de temperatura encontrada en este trabajo entre septiembre de 1997 y junio de 1998 coincide con la madurez de la oscilación de EN según estos índices (Figura 37).

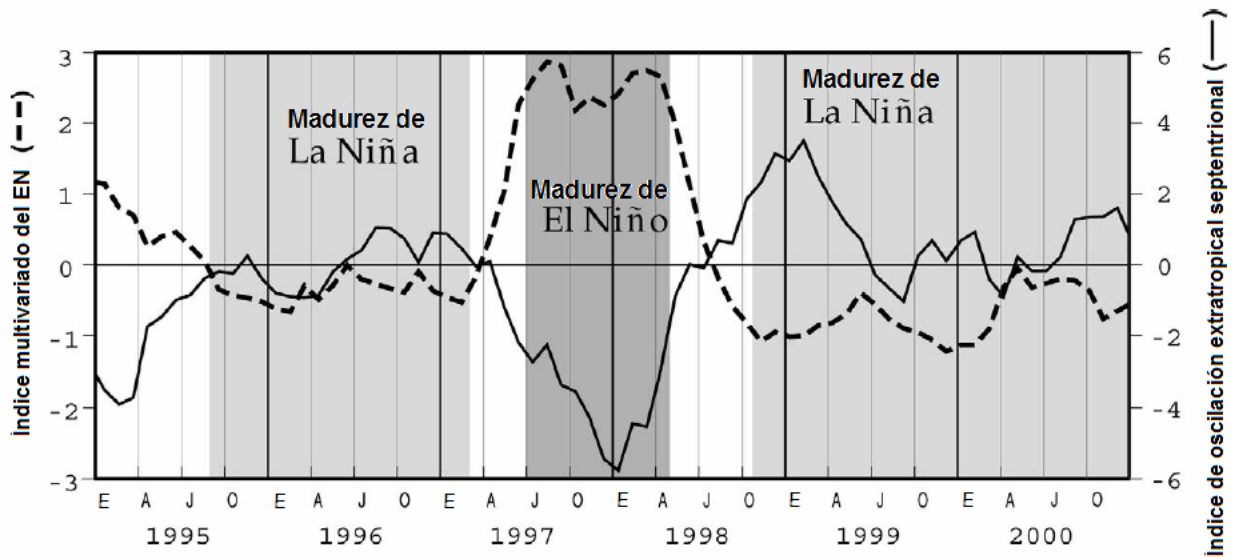


Fig. 37. Índice multivariado del EN e índice de oscilación extratropical septentrional de enero de 2005 a enero de 2001. Se muestran sombreadas las etapas de madurez de los eventos de EN y la Niña (Tomado de Schwing *et al.*, 2002 b).

Los efectos de EN dentro del sistema de la Corriente de California implican características que incluyen el calentamiento de aguas locales, cambio de la salinidad, disminución de surgencias costeras y una anomalía del nivel del mar, así como un incremento en el flujo superficial costero con dirección hacia el norte, presentándose aguas con anomalías positivas de temperatura y salinidad en el sistema de la CC (Bograd *et al.*, 2001; Chelton *et al.*, 1982; Huyer y Smith, 1985; Lynn *et al.*, 1998). Para el caso de las condiciones de la costa de Chile el evento de EN 97-98 se evidenció mostrando una perturbación en todas las variables y a todos los niveles. Las anomalías de temperatura y salinidad destacan el evento de calentamiento, con una significativa anomalía positiva de salinidad, y registrándose un pequeño evento de calentamiento en 2001 y anomalías negativas durante los eventos de 1999 y 2000. La profundidad de la isoterma de 15 °C se mostró particularmente grande durante 1997-98, pero sin cambios para el año 2001 (Blanco-García 2004).

EN iniciado en 1997 mostró diferencias notables respecto a los eventos anteriores. Comenzó con las usuales anomalías positivas del nivel del mar en la región ecuatorial occidental observadas desde febrero de 1997, y terminó precipitadamente a principios de 1998 (Durazo y Baumgartner 2002).

El efecto de las variables físicas sobre los ecosistemas durante los evento de EN se ha registrado múltiples veces. Así durante EN 82-83 cuando el promedio de la temperatura del océano aumentó, se registraron cambios en la distribución de peces e invertebrados en la zona costera (Pearcy y Shoener, 1987). En el hemisferio sur, la biomasa de la anchoveta peruana presentó una rápida recuperación de la biomasa al final de 1998 después del fenómeno de EN más intenso del siglo, la cual pudo ser resultado de: el crecimiento de la población reclutada recientemente; de una mejora de la condición, y de un aumento de la detectabilidad de la anchoveta por medio de acústica cuando se esparcieron fuera de la costa durante el inicio de La Niña (LN) (Bertrand *et al.*, 2004). A causa de EN 97-98, las costas de Ecuador, Perú y Chile experimentaron modificaciones en sus patrones de circulación, y en las propiedades del agua, presentando incrementos del nivel del mar y las profundidades de las isotermas (Bertrand *et al.*, 2004; Blanco-Garcia 2004). En las costas peruanas al final del fenómeno de EN se registró una pérdida en la productividad primaria pero mayor diversidad del ecosistema pelágico (Ñiquen y Bouchon, 2004). En particular, para EN 97-98, el índice de diversidad de Shannon pasó de 0.87 a 1.23 - 1.70 (Ñiquen y Bouchon 2004). El presente trabajo acorde a los resultados anteriormente citados reporto lo siguiente:

8.1.1. Temperatura y salinidad antes de El Niño 97-98

Temperaturas superficiales menores a 15.5 °C, se registraron a principios de julio de 1995 y marzo de 1996. Este último período coincidente con la etapa de madurez del período denominado La Niña 95-97 (LN 95-97) según los índices MEI y NOI (Schwing *et al.*, 2002 a). En junio de 1996, dentro del período de madurez de LN 95-97 (Schwing *et al.*, 2002 b), se presentaron mínimos de temperatura en la zona nerítica para los tres niveles de profundidad.

Un aspecto importante que ocurre anterior a la aparición de EN 97-98 es una oscilación a los tres niveles de profundidad y en las tres zonas durante el año 1995. La temperatura disminuyó de marzo a junio para después registrarse un incremento en octubre. Durante ese último mes (octubre de 1995), se tiene registrado un promedio de la temperatura en la zona nerítica mayor a los de las otras dos zonas a 50 metros de

profundidad, seguida por una disminución registrada en el año 1996.

La salinidad presentó máximos a los tres niveles de profundidad en julio de 1995 y marzo de 1996. Se puede verificar una tendencia a que la salinidad sea mayor en la zona nerítica. Los mínimos de salinidad se presentaron en octubre de 1995 en la zona nerítica (33.28°C , $\text{DE} = 0.2$) a 10 metros de profundidad; y en los octubres de 1994 y 1995 acentuándose en la zona de talud (33.29°C , $\text{DE} = 0.09$) y oceánica también a 25 metros.

Según los análisis de varianza, antes de EN existía una estratificación en cuanto a la temperatura entre los 10 y 25 metros de profundidad, mientras que la salinidad era homogénea tanto vertical como horizontalmente.

8.1.2. Temperatura y salinidad durante El Niño 97-98

Durante septiembre y diciembre de 1997, se pudo observar como la principal señal de la presencia del fenómeno de EN el incremento de la temperatura del agua de mar y la aparición de las máximas temperaturas superficiales, así como la existencia de una capa homogénea en salinidad y temperatura de más de 30 metros de profundidad durante diciembre de 1997; y la homogeneidad en los primeros 25 metros también se observa hasta marzo de 1998.

Los resultados del análisis de varianza para los tres cruceros considerados como condición Niño indican que no hubo diferencias significativas en temperatura o salinidad entre zonas a ningún nivel de profundidad, todo fue homogéneo y con temperaturas y salinidades altas.

Se observaron valores promedio de temperatura a 50 m de 16.4°C para el período de septiembre de 1997. Este promedio es 4.2°C mayor que el promedio obtenido para los seis cruceros realizados entre el otoño de 1994 y el verano de 1996 lo que concuerda con la presencia de anomalías de temperatura y de salinidad reportada por Durazo y

Baumgartner (2002) a una profundidad de 50 metros. Las anomalías positivas encontradas por estos autores fueron de 8.7 °C para temperatura; y de hasta 0.8 para la salinidad en octubre de 1997 (Durazo y Baumgartner 2002).

El perfil de temperatura de septiembre de 1997 muestra los mayores valores superficiales de temperatura de la serie, mismos que concuerdan con el máximo de temperatura de julio de 1997 (un máximo histórico para los últimos 50 años) reportado por Lynn y Bograd (2002).

A 10 metros de profundidad, el promedio de la temperatura para septiembre de 1997 fue de 20.9 °C, que contrasta con el promedio de la temperatura de 15.7 °C, obtenido de los seis cruceros realizados entre el otoño de 1994 y el verano de 1996. La distribución de los mayores niveles de temperatura en septiembre y diciembre de 1997 tuvo una tendencia hacia el sur y hacia la zona oceánica, lo cual se confirma con la gráfica de isolíneas de temperatura muestra temperaturas de hasta 22°C en septiembre de 1997, mostrando una tendencia a ser mayor en las regiones situadas al sur. Esto concuerda con el patrón de calentamiento de las aguas del océano Pacífico, el cual se encuentra determinado por la dinámica de las ondas de Kelvin, las cuales una vez que comienzan a hacer su arribo a la costa sudamericana, continúan su tránsito en dirección polar en ambos hemisferios como ondas costeras atrapadas, produciendo entonces un hundimiento de la termoclina con déficit de nutrientes y su correspondiente impacto en el ecosistema.

Se observó en toda la serie de tiempo que el promedio de la temperatura en la zona nerítica siempre fue menor respecto a las otras dos zonas. Durante el fenómeno de EN este esquema no cambió, se registró una temperatura promedio en la zona nerítica de 17.7°C (DE = 1.07) menor al promedio obtenido en la zona oceánica de 18.3°C (DE = 1.07), y del promedio de la zona de talud de 18.118.3°C (DE = 1.29), lo cual establece que las condiciones más frías se conservaron cerca de la costa.

El diagrama TS de diciembre de 1997 muestra una interacción de la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial AESs, y hay una correspondencia con lo reportado por Pérez-Brunius *et al.*, (2006) para agosto de 1997 y por Durazo y Baumgartner respecto a enero de 1998. La presencia de la masa de agua AESs también es evidente en marzo, junio de 1998, y en marzo de 2000, este último coincidente con La Niña según los índices MEI y NOI (Schwing *et al.*, 2002 a). Los diagramas TS muestran, en general, la influencia del agua subártica (ASA) y en el caso de los muestreos más profundos, es claro observar la tendencia que genera la presencia del agua profunda del Pacífico APP y del agua intermedia del Pacífico AIP en el área de estudio. El diagrama TS de diciembre de 1997 muestra una interacción con la masa de AESs y la AstS, a diferencia del perfil climatológico que no muestra tales características.

Con respecto a la salinidad los resultados señalan que el promedio a 50 metros de profundidad entre octubre de 1994 y junio de 1996 para las tres zonas, fue de 33.6 mientras que el promedio para el año 97 fue de 33.8, lo cual representa una anomalía positiva de 0.2. Durazo y Baumgartner (2002) registraron una de 0.8 para la costa oeste de Baja California durante este mismo período. En septiembre y diciembre de 1997 las salinidades fueron mayores en las zonas más alejadas de la costa, esquema que es contrario al que prevalece por lo general en el resto de la serie de tiempo analizada. Una distribución y aumento de salinidad ocurrió en las costas Chilenas cuando en 1997-1998 se observó con una significativa anomalía positiva de salinidad (Blanco-García 2004).

8.1.3. Temperatura y salinidad después de El Niño 97-98

De acuerdo con el EN MEI (Wolter y Timlin, 1998) y con el NOI (Schwing *et al.*, 2002 a), los años 1999 y 2000 estuvieron marcados por la presencia de la oscilación fría conocida como La Niña. Los resultados de la presente tesis confirman una disminución de la temperatura, con valores menores a 15.5 °C en abril de 1998 y mínimos de temperatura en la zona nerítica para marzo de 1999. En la zona del talud posterior a 1998 la tendencia es hacia una menor temperatura promedio en los tres niveles de profundidad, la disminución de temperatura se ve acentuada en marzo de 1999, al igual

que en la zona nerítica. Finalmente se presenta un incremento registrado a finales del año 2000. La zona oceánica muestra una oscilación térmica entre diciembre de 1999 y marzo de 2000 acentuada a los 10 metros de profundidad, seguida por un incremento a partir de julio del año 2000. Similarmente, para la costa chilena se registró un pequeño evento de calentamiento en 2001 y eventos de enfriamiento en 1999 y 2000 (Blanco-García 2004).

En los diciembres de 1999 y de 2000, los perfiles de salinidad y temperatura presentaron una disminución simultánea de sus valores hasta 40 metros en 1999 y casi 50 metros en 2000. Esto fue contrario al patrón generalizado en el que la temperatura disminuye mientras la salinidad aumenta de los primeros metros. En las capas más profundas encontramos algunos fenómenos interesantes como es el caso del período de marzo a julio de 2000 ya que presenta una disminución en la zona nerítica mientras la zona de talud se mantiene constante y la zona oceánica registra un incremento. También se registra una disminución de la salinidad posterior a 1998, cuando las mayores salinidades se presentaron en la zona nerítica. De acuerdo con el EN MEI (Wolter y Timlin, 1998) y con el NOI (Schwing et al 2002 a) 1999 y 2000 los datos estuvieron marcados por la presencia de la oscilación fría de la Niña.

Después de EN se encontró estratificación en cuanto a salinidad y temperatura en cada zona, principalmente en los estratos más profundos, 25 y 50 metros. Zonalmente el predominio de las temperaturas frías se encontró en la zona nerítica. La zona de talud presentó variación significativa de la salinidad en niveles de profundidad, como lo existía antes de EN. Finalmente además de las observaciones de 1997 relativas al fenómeno de EN, la serie de cruceros analizados hace posible observar algunas particularidades como son: analizando por años, el promedio de la temperatura en la zona oceánica a 10 metros de profundidad fue casi siempre mayor respecto al obtenido en esa misma profundidad en las zonas de talud y nerítica, en la totalidad de los muestreos, excepto durante septiembre de 1997 cuando el promedio estuvo por debajo del obtenido para la zona de talud, la cual tuvo el mayor valor de temperatura. Finalmente también se observó una oscilación de la temperatura entre diciembre de

1999 y marzo de 2000 seguida por un incremento a partir de julio del año 2000 y una disminución registrada en el 2001.

8.1.4. La termoclina y la capa de mezcla

Durante 1997 se observó un marcado incremento de la profundidad e intensidad de la termoclina. Sobre todo, fue interesante la existencia de una capa homogénea de más de 30 metros en diciembre de 1997 así como la homogeneidad en los primeros 25 metros registrada en marzo de 1998. Dicha homogeneidad no aparece en los perfiles climatológicos de diciembre y en marzo. Asimismo existe una discordancia notable entre los perfiles climatológicos. Para marzo de 1998 es notable el hecho de que la tendencia de los perfiles muestreados y los climatológicos es la misma y sólo es la magnitud de las muestras mayor. Con esto se evidencia la parte final de la oscilación de EN 97-98.

Las mayores variaciones de la profundidad de la termoclina se dieron en la zona oceánica. Estadísticamente la profundidad de la termoclina cambio significativamente antes, durante y después de EN 97-98, tanto en la zona nerítica como en el talud y el la zona oceánica; mientras que la intensidad de la termoclina tuvo cambios significativos antes, durante y después de EN en las zonas cercanas a la costa (nerítica y talud).

Tabla 7. Promedios de las profundidades de mezcla; termoclina, e intensidad de termoclina para las tres zonas antes durante y después de EN:

Nerítica			Talud			Oceánica		
Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc	Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc	Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc
15.82	15.31	-0.90	18.77	20.64	-0.97	20.65	23.26	-1.19
28.15	28.48	-0.60	39.19	43.19	-0.87	42.54	54.06	-0.85
24.37	21.06	-0.70	27.87	28.51	-0.84	35.36	40.89	-0.88

En la zona nerítica el promedio de la profundidad de la termoclina varió significativamente con la presencia de EN, pasando de 15.3 metros a 28.5 de profundidad durante EN y a 21.05 metros después de junio de 1998 (Tabla 7). Este incremento de la profundidad de termoclina durante la presencia de EN se explica

debido a la acción del calentamiento, el cual homogeniza la temperatura a mayores profundidades.

Los datos indican que las temperaturas más altas se presentan conforme aumenta la distancia respecto a la costa. Así en la zona de talud el promedio de la profundidad de la termoclina se incrementó más del doble, pasando de 20 m a 43 durante EN 97-98, y siendo de 28 m después del fenómeno. Se puede mencionar que hubo un aumento del tamaño de mezcla que se conservó después de EN. En la zona oceánica fue donde se registró el cambio más drástico del promedio de la profundidad de la termoclina pues antes de EN era de 23 m y aumentó a 54 m durante EN para estabilizarse en 41 m después de EN.

El comportamiento de la profundidad de la capa mezclada es similar al de la profundidad de termoclina. El análisis de varianza muestra que existieron variaciones significativas de la profundidad de mezcla para las tres zonas antes, durante y después del evento de EN 97-98 principalmente en las zonas más alejadas a la costa.

Al igual que en el caso de la profundidad de termoclina, los más grandes cambios se presentan entre los promedios de la profundidad de la mezcla entre el período anterior al EN 97-98 y dicho fenómeno. El mayor incremento de la profundidad de la capa mezclada lo tenemos en la zona de talud al ocurrir el fenómeno, pues dicha profundidad pasó de 19 a 40 m. Aquí hay que citar el trabajo de Blanco-García (2004) quien encontró para la costa chilena, que la profundidad de la capa de Ekman aumentó de la costa (< 30 m) hacia afuera (> 40 m). La máxima profundidad (> 60 m) se observa en el sur a los 28°S durante el invierno (Blanco-García 2004). Otros autores (como Meyers 1979 y Kessler 1990) han relacionado las variaciones de la termoclina con la propagación hacia el oeste de las ondas de Rossby pero en latitudes no mayores a los 18° N.

8.2. Validación de los ecos

Para la validación del método citaremos los trabajos de Ramos-Chaparro (2003), quien realizó una identificación de organismos a partir de arrastres de media agua durante los

cruceros SIMSUP 8, 9 y 10 (Tabla 1) sobre agrupamiento de ecos en los que predominaron las fuerzas de blanco de -44 a -32 dB encontrando la presencia de *Engraulis mordax* y *Sardinops caeruleus* (Ramos-Chaparro 2003); y el trabajo de López-Serrano (2003), quien durante los cruceros SIMSUP; 19, 20 y 21 analizó contenidos de arrastres de media agua realizados con una red Isaacs-Kid con malla de 300 micras encontrando, además de crustáceos como *Pleuroncodes planipes* (Stimpson, 1860) y varias especies de eufausidos, peces de las familias Porichtidae y Myctophiidae, así como ejemplares de las especies *Engraulis mordax* y *Sardinops caeruleus* (López 2003).

Hay que mencionar que para la determinación de la fuerza de blanco se utilizó la ecuación de Love (1971) y no la de Foote (1987) o las nuevas aportaciones de Ona (2003) debido a que son más de una especie las que estamos considerando. Los trabajos de Foote y de Ona se concentran en especies con b_{20} específico. En este caso particular hay una variedad relativa de pelágicos menores con diferentes características reflectivas y morfométricas. Según la ecuación de Love (1971) es la única ecuación que no introduce hipótesis morfométricas, al contrario de la de Foote ($20 \log L + b_{20}$), donde el elemento $20 \log L$ determina que la sección del pez sea el punto clave en la determinación de la fuerza de blanco. Asimismo al considerar un factor 2, es decir, en valores no logarítmicos.

8.3. Efecto de EN 97-98 en la abundancia y distribución de los peces pelágicos

Este fenómeno de calentamiento y de perturbación ocurrida entre 1997 y 1998 permitió conocer respuestas interesantes de los cardúmenes de peces. Por ejemplo, durante esos años, la presencia de ecos asociados a peces se incrementó considerablemente hacia la costa. Esta respuesta de los cardúmenes también fue reportada en las costas del Perú por Ñiquen y Bouchon (2004), durante los eventos de EN de 1972-1973, 1982-1983 y 1997-1998. Estos autores reportan cambios en la distribución espacial de los recursos pelágicos, en su concentración y en el tamaño de su estructura. Asimismo, estos autores encontraron que los peces pelágicos como la sardina (*Sardinops*

caeruleus), la anchoveta (*Engraulis ringens*) y la macarela (*Scomber japonicus*) migran hacia el sur durante los períodos de EN, aproximándose a la costa y presentándose en mayores profundidades (Ñiquen y Bouchon, 2004). Se ha reportado que los eventos de EN pueden afectar la distribución y abundancia de las poblaciones de peces pelágicos como se ha observado en el ecosistema de la Corriente de Humboldt. Sin embargo, se ha encontrado que EN causa perturbaciones sólo a corto plazo en la dinámica de la anchoveta (*Engraulis ringens*). Esta especie parece recuperarse relativamente rápido, en un plazo de uno o dos años, durante las fases siguientes de La Niña (Blanco-García 2004).

El trabajo de Blanco-García (2004), señala que la temperatura superficial del mar (SST), la profundidad de la capa mezclada, la profundidad de la termoclina, la intensidad de la surgencia, y los campos de corrientes superficiales están entre las más importantes variables oceanográficas físicas que pueden influenciar a poblaciones marinas. Si bien las variables asociadas con la abundancia de los peces fueron la temperatura y las características de la mezcla superficial, las correlaciones entre estas variables físicas y cambios a largo plazo en ecosistemas se han identificado frecuentemente, pero los mecanismos específicos implicados son generalmente difíciles de aclarar (Blanco-García 2004).

Para aproximarnos al mecanismo en que estas variables se relacionan es útil citar aquí los trabajos realizados por Bakun y Parrish (1982) sobre la turbulencia y el transporte superficiales relacionados con la sobrevivencia de peces pelágicos. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten suponer que las condiciones dinámicas presentes a finales de 1997 y principios de 1998 favorecieron la disponibilidad de alimento y en general, la sobrevivencia de los peces pelágicos en sectores muy puntuales, particularmente frente a Punta Baja, sitio de donde provienen la mayoría de los registros acústicos del año 1997. Ello se refuerza al considerar que según Bakun y Parrish (1982), tres procesos ambientales relacionados con la turbulencia son reguladores del éxito reproductivo de peces pelágicos: en primer lugar que la dispersión de concentraciones de alimento particulado causado por la mezcla turbulenta, generada

por el viento, que tiene como resultado una disminución en la sobrevivencia larval de anchovetas (Lasker 1975, 1978; Lasker y Smith, 1977); la pérdida de productos reproductivos se acentúa fuera de la costa según estudios comparativos de estacionalidad, transporte oceánico y estrategias reproductivas en el sistema de la CC (Parrish *et al.*, 1981); y la relación con las surgencias (Cushing, 1969).

Asimismo otros autores han señalado que períodos con vientos moderados y una capa mezclada somera dan lugar a la concentración de alimento, tasas de mortalidad y de crecimiento a la edad que son más favorables a la supervivencia larval que durante los períodos con vientos fuertes y asociados a una capa mezclada profunda (Bailey *et al.*, 1995).

8.3.1. Distribución de la densidad de peces

Los niveles de abundancia de peces pelágicos comparados por zonas antes de EN de 1997 no presentan diferencias significativas. Sin embargo, durante el evento de calentamiento y el aumento de la capa mezclada se observa que la abundancia de peces presentó diferencias significativas. La mayoría de los registros acústicos durante EN 97-98 se presentaron cerca de la costa. Existe una respuesta similar en la costa chilena, donde la abundancia de la anchoveta (*Engraulis ringens*), medida por métodos acústicos es mayor hacia la costa en eventos de calentamiento (Blanco-García 2004). Después del EN 97-98 la abundancia en todas las zonas disminuyó para ya no recuperar los niveles que presentaba antes de EN. Sin embargo hay que mencionar que posterior a EN de 1997 el esquema de concentración de la abundancia cerca de la costa se mantuvo (la zona nerítica = 8.9 ind / ha, comparado con zona oceánica = 3.0 ind / ha), mostrando diferencias significativas por zonas para la mediana de abundancia calculada para el resto de los cruceros. Por lo anterior se puede establecer la hipótesis de la existencia de un efecto a largo plazo que disminuye la abundancia de las poblaciones pelágicas y un efecto remanente que las mantuvo concentradas cerca de la costa como empezó a ocurrir al presentarse el fenómeno de calentamiento. Davis *et al.*, (1991) a partir de estudios de modelación sugirieron que los procesos de la capa de

mezcla pueden ser favorables o desfavorables a la supervivencia larval dependiendo de la intensidad de la turbulencia.

8.3.2. La abundancia por niveles de profundidad

Verticalmente la distribución de los peces también presentó una alteración con la presencia del fenómeno de EN 97-98. Antes del fenómeno, la abundancia fue mayor en el nivel más somero. Sin embargo, durante el calentamiento, el análisis de varianza no paramétrico y la prueba de hipótesis correspondiente mostraron que aunque la abundancia se presentaba ahora mayor en la zona más profunda (de 25 a 50 metros) la diferencia no fue significativa. Después del fenómeno de EN 97-98, las diferencias de la abundancia por niveles de profundidad vuelven a ser estadísticamente significativas. La mediana de la abundancia de los peces por niveles de profundidad volvió a presentar mayores valores en la capa más superficial. El hecho de que durante EN 97-98 la abundancia de los peces tienda a ser mayor entre los 25 y 50 metros indica que de alguna manera los peces presentaron un hundimiento durante los períodos de ocurrencia del EN 97-98. Similarmente, el trabajo de Blanco-García (2004) indica que EN 97-98 en Chile, produjo cambios en la densidad, la distribución, y la profundidad de los cardúmenes de anchoveta (*Engraulis ringens*), demostrado el hundimiento de algunos cardúmenes en el área costera, hundimiento que los lleva a sitios más profundos que las redes de pesca, lo cual explicaría la recuperación de las poblaciones tan rápidamente después de la desaparición de la anomalía. El citado autor considera el mecanismo de hundimiento de los cardúmenes como un mecanismo adaptativo más importante que las migraciones, las cuales son consideradas por Alheit y Ñiquen (2004) como el factor más importante para explicar la recuperación rápida de los pelágicos menores después de la disminución de un fenómeno de calentamiento.

Con la presencia de EN 97-98 los peces no necesariamente se hunden desapareciendo de los estratos superiores, sino más bien su distribución vertical abarca estratos más profundos.

Los resultados indican que ante la presencia de un fenómeno que incrementa la temperatura los peces se distribuyen en un rango mayor de profundidad. Sin embargo hay que destacar que la mayor abundancia se presentó en la zona nerítica, en la cual la profundidad de la capa de mezcla cambió significativamente durante este evento. Esto sugiere que los peces se refugian en la zona menos afectada por la perturbación.

Esto coincide con el caso registrado en Perú (Ñiquen y Bouchon, 2004) donde se encontró un cambio en la distribución: las anchovetas, en vez de estar distribuidas extensamente sobre el conjunto de la plataforma continental peruana, llegaron a ser más costeras, a 30 kilómetros con una distribución más asimétrica y en parches hacia la costa sur del Perú, mientras que los cardúmenes de sardina fueron desplazados del área centro norte al área centro sur. Ambas especies exhibieron una tendencia a presentarse debajo de 20 m de profundidad. Para el caso de la costa chilena las migraciones de los stocks de anchoveta (*Engraulis ringens*) del norte y del sur fueron hacia regiones más septentrionales, haciéndolos más vulnerables a la captura (Blanco-García 2004). En el caso de la presente tesis, los peces pelágicos podrían tener alta vulnerabilidad durante el evento de EN 97-98, pues los peces estuvieron disponibles en zonas costeras. Es importante notar que durante EN 82-83 las poblaciones de anchoveta *Engraulis mordax* fueron sobreexplotadas por esta razón en la misma zona de estudio (Rojas-Méndez, 2000).

8.3.3. Grado de agrupamiento de los cardúmenes de peces

Recordando que el agrupamiento es una medida porcentual inversa a la distancia que guardan los blancos acústicos individuales, sus niveles más bajos corresponden a cuando los peces tuvieron menor separación entre ellos, o sea que estuvieron aglutinados en bloques compactos. Así el porcentaje de agrupamiento de los peces muestra diferencias significativas antes, durante y después de EN 97-98 para todas las zonas.

El efecto del proceso de calentamiento sobre el agrupamiento de peces pelágicos indica que para septiembre de 1997 el porcentaje de agrupamiento fue de 0.07. Esto es, fue el momento en que los peces formaron agregaciones más compactas y que se presentaron cuando se observaron las mayores abundancias. Un hecho real que pudiéramos tomar en cuenta para reforzar esto fue el registro de una abundancia de 17, 000 ind/ha en septiembre de 1997, así como 7400 y 6500 Ind/ha obtenidos en barridos en la zona nerítica y de 14500 ind/ha en la zona del talud. Los más bajos porcentajes de agrupamiento se encontraron en octubre de 1995 (0.474 % y período en el que se registró una alta abundancia), septiembre de 1997 (0.07 también con alta abundancia), diciembre de 1998 (0.35 %) y marzo de 2000 (0.54 %) conviene señalar aquí la correspondencia con los ciclos de oscilaciones descritos por los índices MEI (Wolter y Timlin, 1998) y NOI (Schwing *et al* 2002 a).

Esta distribución parece ser una respuesta adaptativa de los peces los cuales podrían estar buscando aguas más frías y ricas en alimento, diferente de las aguas dominantes por EN las cuales son calientes y pobres en alimento. Así también, la respuesta de los cardúmenes indica que los grupos fueron más dispersos o menos dispersos. El evento de EN no sólo afectaba peces pelágicos, se ha visto también su efecto en macroalgas (Ladah, 2002), en peces demersales, aves y mamíferos.

8. DISCUSIÓN

La presencia de El Niño 97-98, constituyó un hecho que orientó el sentido del presente trabajo. Se ha reportado que este evento produjo uno de los mayores incrementos de la temperatura del Océano Pacífico en los últimos 100 años (Changnon y Bell, 2000). Se reportó durante este evento que las anomalías de temperatura superficial del Pacífico Este se distribuyeron a lo largo del Ecuador geográfico afectando a la costa oeste de Baja California antes de julio de 1997, alcanzando su nivel máximo antes de enero de 1998; con persistencia de anomalías positivas hasta julio de 1998 y retornando a las condiciones casi normales para octubre de 1998 (Durazo y Baumgartner 2002).

Para verificar la extensión de la oscilación de EN y definir cuáles son los cruceros que abarcó en la presente tesis, se tomó en cuenta que los mayores incrementos de la temperatura promedio en las zonas nerítica, de talud y oceánica se presentaron en los cruceros correspondientes a septiembre y diciembre de 1997, así como marzo de 1998.

Existen diversos índices que se han desarrollado para cuantificar la magnitud y duración de eventos climáticos como EN. Este es el caso del Índice multivariado de EN (MEI, Multivariate ENSO Index, Wolter y Timlin, 1998), así como el Índice de la oscilación extratropical septentrional (NOI, Extratropical Northern Oscillation Index, Schwing *et al.*, 2002 a). La oscilación de temperatura encontrada en este trabajo entre septiembre de 1997 y junio de 1998 coincide con la madurez de la oscilación de EN según estos índices (Figura 37).

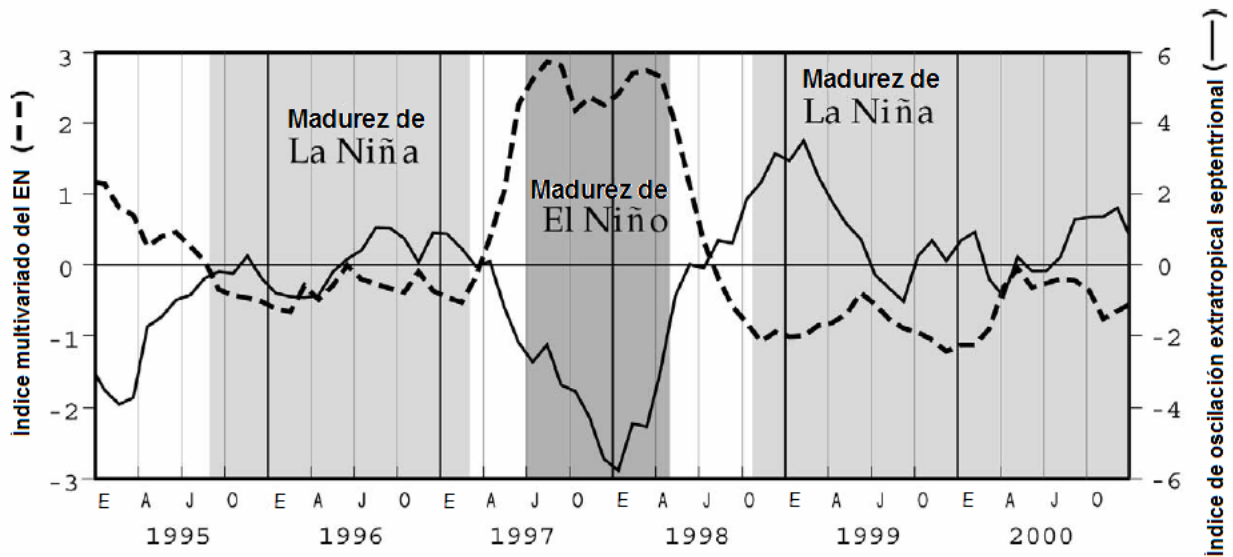


Fig. 37. Índice multivariado del EN e índice de oscilación extratropical septentrional de enero de 2005 a enero de 2001. Se muestran sombreadas las etapas de madurez de los eventos de EN y la Niña (Tomado de Schwing *et al.*, 2002 b).

Los efectos de EN dentro del sistema de la Corriente de California implican características que incluyen el calentamiento de aguas locales, cambio de la salinidad, disminución de surgencias costeras y una anomalía del nivel del mar, así como un incremento en el flujo superficial costero con dirección hacia el norte, presentándose aguas con anomalías positivas de temperatura y salinidad en el sistema de la CC (Bograd *et al.*, 2001; Chelton *et al.*, 1982; Huyer y Smith, 1985; Lynn *et al.*, 1998). Para el caso de las condiciones de la costa de Chile el evento de EN 97-98 se evidenció mostrando una perturbación en todas las variables y a todos los niveles. Las anomalías de temperatura y salinidad destacan el evento de calentamiento, con una significativa anomalía positiva de salinidad, y registrándose un pequeño evento de calentamiento en 2001 y anomalías negativas durante los eventos de 1999 y 2000. La profundidad de la isoterma de 15 °C se mostró particularmente grande durante 1997-98, pero sin cambios para el año 2001 (Blanco-García 2004).

EN iniciado en 1997 mostró diferencias notables respecto a los eventos anteriores. Comenzó con las usuales anomalías positivas del nivel del mar en la región ecuatorial occidental observadas desde febrero de 1997, y terminó precipitadamente a principios de 1998 (Durazo y Baumgartner 2002).

El efecto de las variables físicas sobre los ecosistemas durante los evento de EN se ha registrado múltiples veces. Así durante EN 82-83 cuando el promedio de la temperatura del océano aumentó, se registraron cambios en la distribución de peces e invertebrados en la zona costera (Pearcy y Shoener, 1987). En el hemisferio sur, la biomasa de la anchoveta peruana presentó una rápida recuperación de la biomasa al final de 1998 después del fenómeno de EN más intenso del siglo, la cual pudo ser resultado de: el crecimiento de la población reclutada recientemente; de una mejora de la condición, y de un aumento de la detectabilidad de la anchoveta por medio de acústica cuando se esparcieron fuera de la costa durante el inicio de La Niña (LN) (Bertrand *et al.*, 2004). A causa de EN 97-98, las costas de Ecuador, Perú y Chile experimentaron modificaciones en sus patrones de circulación, y en las propiedades del agua, presentando incrementos del nivel del mar y las profundidades de las isotermas (Bertrand *et al.*, 2004; Blanco-Garcia 2004). En las costas peruanas al final del fenómeno de EN se registró una pérdida en la productividad primaria pero mayor diversidad del ecosistema pelágico (Ñiquen y Bouchon, 2004). En particular, para EN 97-98, el índice de diversidad de Shannon pasó de 0.87 a 1.23 - 1.70 (Ñiquen y Bouchon 2004). El presente trabajo acorde a los resultados anteriormente citados reporto lo siguiente:

8.1.1. Temperatura y salinidad antes de El Niño 97-98

Temperaturas superficiales menores a 15.5 °C, se registraron a principios de julio de 1995 y marzo de 1996. Este último período coincidente con la etapa de madurez del período denominado La Niña 95-97 (LN 95-97) según los índices MEI y NOI (Schwing *et al.*, 2002 a). En junio de 1996, dentro del período de madurez de LN 95-97 (Schwing *et al.*, 2002 b), se presentaron mínimos de temperatura en la zona nerítica para los tres niveles de profundidad.

Un aspecto importante que ocurre anterior a la aparición de EN 97-98 es una oscilación a los tres niveles de profundidad y en las tres zonas durante el año 1995. La temperatura disminuyó de marzo a junio para después registrarse un incremento en octubre. Durante ese último mes (octubre de 1995), se tiene registrado un promedio de la temperatura en la zona nerítica mayor a los de las otras dos zonas a 50 metros de

profundidad, seguida por una disminución registrada en el año 1996.

La salinidad presentó máximos a los tres niveles de profundidad en julio de 1995 y marzo de 1996. Se puede verificar una tendencia a que la salinidad sea mayor en la zona nerítica. Los mínimos de salinidad se presentaron en octubre de 1995 en la zona nerítica (33.28°C , $DE = 0.2$) a 10 metros de profundidad; y en los octubres de 1994 y 1995 acentuándose en la zona de talud (33.29°C , $DE = 0.09$) y oceánica también a 25 metros.

Según los análisis de varianza, antes de EN existía una estratificación en cuanto a la temperatura entre los 10 y 25 metros de profundidad, mientras que la salinidad era homogénea tanto vertical como horizontalmente.

8.1.2. Temperatura y salinidad durante El Niño 97-98

Durante septiembre y diciembre de 1997, se pudo observar como la principal señal de la presencia del fenómeno de EN el incremento de la temperatura del agua de mar y la aparición de las máximas temperaturas superficiales, así como la existencia de una capa homogénea en salinidad y temperatura de más de 30 metros de profundidad durante diciembre de 1997; y la homogeneidad en los primeros 25 metros también se observa hasta marzo de 1998.

Los resultados del análisis de varianza para los tres cruceros considerados como condición Niño indican que no hubo diferencias significativas en temperatura o salinidad entre zonas a ningún nivel de profundidad, todo fue homogéneo y con temperaturas y salinidades altas.

Se observaron valores promedio de temperatura a 50 m de 16.4°C para el período de septiembre de 1997. Este promedio es 4.2°C mayor que el promedio obtenido para los seis cruceros realizados entre el otoño de 1994 y el verano de 1996 lo que concuerda con la presencia de anomalías de temperatura y de salinidad reportada por Durazo y

Baumgartner (2002) a una profundidad de 50 metros. Las anomalías positivas encontradas por estos autores fueron de 8.7 °C para temperatura; y de hasta 0.8 para la salinidad en octubre de 1997 (Durazo y Baumgartner 2002).

El perfil de temperatura de septiembre de 1997 muestra los mayores valores superficiales de temperatura de la serie, mismos que concuerdan con el máximo de temperatura de julio de 1997 (un máximo histórico para los últimos 50 años) reportado por Lynn y Bograd (2002).

A 10 metros de profundidad, el promedio de la temperatura para septiembre de 1997 fue de 20.9 °C, que contrasta con el promedio de la temperatura de 15.7 °C, obtenido de los seis cruceros realizados entre el otoño de 1994 y el verano de 1996. La distribución de los mayores niveles de temperatura en septiembre y diciembre de 1997 tuvo una tendencia hacia el sur y hacia la zona oceánica, lo cual se confirma con la gráfica de isolíneas de temperatura muestra temperaturas de hasta 22°C en septiembre de 1997, mostrando una tendencia a ser mayor en las regiones situadas al sur. Esto concuerda con el patrón de calentamiento de las aguas del océano Pacífico, el cual se encuentra determinado por la dinámica de las ondas de Kelvin, las cuales una vez que comienzan a hacer su arribo a la costa sudamericana, continúan su tránsito en dirección polar en ambos hemisferios como ondas costeras atrapadas, produciendo entonces un hundimiento de la termoclina con déficit de nutrientes y su correspondiente impacto en el ecosistema.

Se observó en toda la serie de tiempo que el promedio de la temperatura en la zona nerítica siempre fue menor respecto a las otras dos zonas. Durante el fenómeno de EN este esquema no cambió, se registró una temperatura promedio en la zona nerítica de 17.7°C (DE = 1.07) menor al promedio obtenido en la zona oceánica de 18.3°C (DE = 1.07), y del promedio de la zona de talud de 18.118.3°C (DE = 1.29), lo cual establece que las condiciones más frías se conservaron cerca de la costa.

El diagrama TS de diciembre de 1997 muestra una interacción de la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial AESs, y hay una correspondencia con lo reportado por Pérez-Brunius *et al.*, (2006) para agosto de 1997 y por Durazo y Baumgartner respecto a enero de 1998. La presencia de la masa de agua AESs también es evidente en marzo, junio de 1998, y en marzo de 2000, este último coincidente con La Niña según los índices MEI y NOI (Schwing *et al.*, 2002 a). Los diagramas TS muestran, en general, la influencia del agua subártica (ASA) y en el caso de los muestreos más profundos, es claro observar la tendencia que genera la presencia del agua profunda del Pacífico APP y del agua intermedia del Pacífico AIP en el área de estudio. El diagrama TS de diciembre de 1997 muestra una interacción con la masa de AESs y la AstS, a diferencia del perfil climatológico que no muestra tales características.

Con respecto a la salinidad los resultados señalan que el promedio a 50 metros de profundidad entre octubre de 1994 y junio de 1996 para las tres zonas, fue de 33.6 mientras que el promedio para el año 97 fue de 33.8, lo cual representa una anomalía positiva de 0.2. Durazo y Baumgartner (2002) registraron una de 0.8 para la costa oeste de Baja California durante este mismo período. En septiembre y diciembre de 1997 las salinidades fueron mayores en las zonas más alejadas de la costa, esquema que es contrario al que prevalece por lo general en el resto de la serie de tiempo analizada. Una distribución y aumento de salinidad ocurrió en las costas Chilenas cuando en 1997-1998 se observó con una significativa anomalía positiva de salinidad (Blanco-García 2004).

8.1.3. Temperatura y salinidad después de El Niño 97-98

De acuerdo con el EN MEI (Wolter y Timlin, 1998) y con el NOI (Schwing *et al.*, 2002 a), los años 1999 y 2000 estuvieron marcados por la presencia de la oscilación fría conocida como La Niña. Los resultados de la presente tesis confirman una disminución de la temperatura, con valores menores a 15.5 °C en abril de 1998 y mínimos de temperatura en la zona nerítica para marzo de 1999. En la zona del talud posterior a 1998 la tendencia es hacia una menor temperatura promedio en los tres niveles de profundidad, la disminución de temperatura se ve acentuada en marzo de 1999, al igual

que en la zona nerítica. Finalmente se presenta un incremento registrado a finales del año 2000. La zona oceánica muestra una oscilación térmica entre diciembre de 1999 y marzo de 2000 acentuada a los 10 metros de profundidad, seguida por un incremento a partir de julio del año 2000. Similarmente, para la costa chilena se registró un pequeño evento de calentamiento en 2001 y eventos de enfriamiento en 1999 y 2000 (Blanco-García 2004).

En los diciembres de 1999 y de 2000, los perfiles de salinidad y temperatura presentaron una disminución simultánea de sus valores hasta 40 metros en 1999 y casi 50 metros en 2000. Esto fue contrario al patrón generalizado en el que la temperatura disminuye mientras la salinidad aumenta de los primeros metros. En las capas más profundas encontramos algunos fenómenos interesantes como es el caso del período de marzo a julio de 2000 ya que presenta una disminución en la zona nerítica mientras la zona de talud se mantiene constante y la zona oceánica registra un incremento. También se registra una disminución de la salinidad posterior a 1998, cuando las mayores salinidades se presentaron en la zona nerítica. De acuerdo con el EN MEI (Wolter y Timlin, 1998) y con el NOI (Schwing et al 2002 a) 1999 y 2000 los datos estuvieron marcados por la presencia de la oscilación fría de la Niña.

Después de EN se encontró estratificación en cuanto a salinidad y temperatura en cada zona, principalmente en los estratos más profundos, 25 y 50 metros. Zonalmente el predominio de las temperaturas frías se encontró en la zona nerítica. La zona de talud presentó variación significativa de la salinidad en niveles de profundidad, como lo existía antes de EN. Finalmente además de las observaciones de 1997 relativas al fenómeno de EN, la serie de cruceros analizados hace posible observar algunas particularidades como son: analizando por años, el promedio de la temperatura en la zona oceánica a 10 metros de profundidad fue casi siempre mayor respecto al obtenido en esa misma profundidad en las zonas de talud y nerítica, en la totalidad de los muestreos, excepto durante septiembre de 1997 cuando el promedio estuvo por debajo del obtenido para la zona de talud, la cual tuvo el mayor valor de temperatura. Finalmente también se observó una oscilación de la temperatura entre diciembre de

1999 y marzo de 2000 seguida por un incremento a partir de julio del año 2000 y una disminución registrada en el 2001.

8.1.4. La termoclina y la capa de mezcla

Durante 1997 se observó un marcado incremento de la profundidad e intensidad de la termoclina. Sobre todo, fue interesante la existencia de una capa homogénea de más de 30 metros en diciembre de 1997 así como la homogeneidad en los primeros 25 metros registrada en marzo de 1998. Dicha homogeneidad no aparece en los perfiles climatológicos de diciembre y en marzo. Asimismo existe una discordancia notable entre los perfiles climatológicos. Para marzo de 1998 es notable el hecho de que la tendencia de los perfiles muestreados y los climatológicos es la misma y sólo es la magnitud de las muestras mayor. Con esto se evidencia la parte final de la oscilación de EN 97-98.

Las mayores variaciones de la profundidad de la termoclina se dieron en la zona oceánica. Estadísticamente la profundidad de la termoclina cambio significativamente antes, durante y después de EN 97-98, tanto en la zona nerítica como en el talud y el la zona oceánica; mientras que la intensidad de la termoclina tuvo cambios significativos antes, durante y después de EN en las zonas cercanas a la costa (nerítica y talud).

Tabla 7. Promedios de las profundidades de mezcla; termoclina, e intensidad de termoclina para las tres zonas antes durante y después de EN:

Nerítica			Talud			Oceánica		
Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc	Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc	Porf. Mezc.	Prof. Term.	Int. termoc
15.82	15.31	-0.90	18.77	20.64	-0.97	20.65	23.26	-1.19
28.15	28.48	-0.60	39.19	43.19	-0.87	42.54	54.06	-0.85
24.37	21.06	-0.70	27.87	28.51	-0.84	35.36	40.89	-0.88

En la zona nerítica el promedio de la profundidad de la termoclina varió significativamente con la presencia de EN, pasando de 15.3 metros a 28.5 de profundidad durante EN y a 21.05 metros después de junio de 1998 (Tabla 7). Este incremento de la profundidad de termoclina durante la presencia de EN se explica

debido a la acción del calentamiento, el cual homogeniza la temperatura a mayores profundidades.

Los datos indican que las temperaturas más altas se presentan conforme aumenta la distancia respecto a la costa. Así en la zona de talud el promedio de la profundidad de la termoclina se incrementó más del doble, pasando de 20 m a 43 durante EN 97-98, y siendo de 28 m después del fenómeno. Se puede mencionar que hubo un aumento del tamaño de mezcla que se conservó después de EN. En la zona oceánica fue donde se registró el cambio más drástico del promedio de la profundidad de la termoclina pues antes de EN era de 23 m y aumentó a 54 m durante EN para estabilizarse en 41 m después de EN.

El comportamiento de la profundidad de la capa mezclada es similar al de la profundidad de termoclina. El análisis de varianza muestra que existieron variaciones significativas de la profundidad de mezcla para las tres zonas antes, durante y después del evento de EN 97-98 principalmente en las zonas más alejadas a la costa.

Al igual que en el caso de la profundidad de termoclina, los más grandes cambios se presentan entre los promedios de la profundidad de la mezcla entre el período anterior al EN 97-98 y dicho fenómeno. El mayor incremento de la profundidad de la capa mezclada lo tenemos en la zona de talud al ocurrir el fenómeno, pues dicha profundidad pasó de 19 a 40 m. Aquí hay que citar el trabajo de Blanco-García (2004) quien encontró para la costa chilena, que la profundidad de la capa de Ekman aumentó de la costa (< 30 m) hacia afuera (> 40 m). La máxima profundidad (> 60 m) se observa en el sur a los 28°S durante el invierno (Blanco-García 2004). Otros autores (como Meyers 1979 y Kessler 1990) han relacionado las variaciones de la termoclina con la propagación hacia el oeste de las ondas de Rossby pero en latitudes no mayores a los 18° N.

8.2. Validación de los ecos

Para la validación del método citaremos los trabajos de Ramos-Chaparro (2003), quien realizó una identificación de organismos a partir de arrastres de media agua durante los

cruceros SIMSUP 8, 9 y 10 (Tabla 1) sobre agrupamiento de ecos en los que predominaron las fuerzas de blanco de -44 a -32 dB encontrando la presencia de *Engraulis mordax* y *Sardinops caeruleus* (Ramos-Chaparro 2003); y el trabajo de López-Serrano (2003), quien durante los cruceros SIMSUP; 19, 20 y 21 analizó contenidos de arrastres de media agua realizados con una red Isaacs-Kid con malla de 300 micras encontrando, además de crustáceos como *Pleuroncodes planipes* (Stimpson, 1860) y varias especies de eufausidos, peces de las familias Porichtidae y Myctophiidae, así como ejemplares de las especies *Engraulis mordax* y *Sardinops caeruleus* (López 2003).

Hay que mencionar que para la determinación de la fuerza de blanco se utilizó la ecuación de Love (1971) y no la de Foote (1987) o las nuevas aportaciones de Ona (2003) debido a que son más de una especie las que estamos considerando. Los trabajos de Foote y de Ona se concentran en especies con b_{20} específico. En este caso particular hay una variedad relativa de pelágicos menores con diferentes características reflectivas y morfométricas. Según la ecuación de Love (1971) es la única ecuación que no introduce hipótesis morfométricas, al contrario de la de Foote ($20 \log L + b_{20}$), donde el elemento $20 \log L$ determina que la sección del pez sea el punto clave en la determinación de la fuerza de blanco. Asimismo al considerar un factor 2, es decir, en valores no logarítmicos.

8.3. Efecto de EN 97-98 en la abundancia y distribución de los peces pelágicos

Este fenómeno de calentamiento y de perturbación ocurrida entre 1997 y 1998 permitió conocer respuestas interesantes de los cardúmenes de peces. Por ejemplo, durante esos años, la presencia de ecos asociados a peces se incrementó considerablemente hacia la costa. Esta respuesta de los cardúmenes también fue reportada en las costas del Perú por Ñiquen y Bouchon (2004), durante los eventos de EN de 1972-1973, 1982-1983 y 1997-1998. Estos autores reportan cambios en la distribución espacial de los recursos pelágicos, en su concentración y en el tamaño de su estructura. Asimismo, estos autores encontraron que los peces pelágicos como la sardina (*Sardinops*

caeruleus), la anchoveta (*Engraulis ringens*) y la macarela (*Scomber japonicus*) migran hacia el sur durante los períodos de EN, aproximándose a la costa y presentándose en mayores profundidades (Ñiquen y Bouchon, 2004). Se ha reportado que los eventos de EN pueden afectar la distribución y abundancia de las poblaciones de peces pelágicos como se ha observado en el ecosistema de la Corriente de Humboldt. Sin embargo, se ha encontrado que EN causa perturbaciones sólo a corto plazo en la dinámica de la anchoveta (*Engraulis ringens*). Esta especie parece recuperarse relativamente rápido, en un plazo de uno o dos años, durante las fases siguientes de La Niña (Blanco-García 2004).

El trabajo de Blanco-García (2004), señala que la temperatura superficial del mar (SST), la profundidad de la capa mezclada, la profundidad de la termoclina, la intensidad de la surgencia, y los campos de corrientes superficiales están entre las más importantes variables oceanográficas físicas que pueden influenciar a poblaciones marinas. Si bien las variables asociadas con la abundancia de los peces fueron la temperatura y las características de la mezcla superficial, las correlaciones entre estas variables físicas y cambios a largo plazo en ecosistemas se han identificado frecuentemente, pero los mecanismos específicos implicados son generalmente difíciles de aclarar (Blanco-García 2004).

Para aproximarnos al mecanismo en que estas variables se relacionan es útil citar aquí los trabajos realizados por Bakun y Parrish (1982) sobre la turbulencia y el transporte superficiales relacionados con la sobrevivencia de peces pelágicos. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten suponer que las condiciones dinámicas presentes a finales de 1997 y principios de 1998 favorecieron la disponibilidad de alimento y en general, la sobrevivencia de los peces pelágicos en sectores muy puntuales, particularmente frente a Punta Baja, sitio de donde provienen la mayoría de los registros acústicos del año 1997. Ello se refuerza al considerar que según Bakun y Parrish (1982), tres procesos ambientales relacionados con la turbulencia son reguladores del éxito reproductivo de peces pelágicos: en primer lugar que la dispersión de concentraciones de alimento particulado causado por la mezcla turbulenta, generada

por el viento, que tiene como resultado una disminución en la sobrevivencia larval de anchovetas (Lasker 1975, 1978; Lasker y Smith, 1977); la pérdida de productos reproductivos se acentúa fuera de la costa según estudios comparativos de estacionalidad, transporte oceánico y estrategias reproductivas en el sistema de la CC (Parrish *et al.*, 1981); y la relación con las surgencias (Cushing, 1969).

Asimismo otros autores han señalado que períodos con vientos moderados y una capa mezclada somera dan lugar a la concentración de alimento, tasas de mortalidad y de crecimiento a la edad que son más favorables a la supervivencia larval que durante los períodos con vientos fuertes y asociados a una capa mezclada profunda (Bailey *et al.*, 1995).

8.3.1. Distribución de la densidad de peces

Los niveles de abundancia de peces pelágicos comparados por zonas antes de EN de 1997 no presentan diferencias significativas. Sin embargo, durante el evento de calentamiento y el aumento de la capa mezclada se observa que la abundancia de peces presentó diferencias significativas. La mayoría de los registros acústicos durante EN 97-98 se presentaron cerca de la costa. Existe una respuesta similar en la costa chilena, donde la abundancia de la anchoveta (*Engraulis ringens*), medida por métodos acústicos es mayor hacia la costa en eventos de calentamiento (Blanco-García 2004). Después del EN 97-98 la abundancia en todas las zonas disminuyó para ya no recuperar los niveles que presentaba antes de EN. Sin embargo hay que mencionar que posterior a EN de 1997 el esquema de concentración de la abundancia cerca de la costa se mantuvo (la zona nerítica = 8.9 ind / ha, comparado con zona oceánica = 3.0 ind / ha), mostrando diferencias significativas por zonas para la mediana de abundancia calculada para el resto de los cruceros. Por lo anterior se puede establecer la hipótesis de la existencia de un efecto a largo plazo que disminuye la abundancia de las poblaciones pelágicas y un efecto remanente que las mantuvo concentradas cerca de la costa como empezó a ocurrir al presentarse el fenómeno de calentamiento. Davis *et al.*, (1991) a partir de estudios de modelación sugirieron que los procesos de la capa de

mezcla pueden ser favorables o desfavorables a la supervivencia larval dependiendo de la intensidad de la turbulencia.

8.3.2. La abundancia por niveles de profundidad

Verticalmente la distribución de los peces también presentó una alteración con la presencia del fenómeno de EN 97-98. Antes del fenómeno, la abundancia fue mayor en el nivel más somero. Sin embargo, durante el calentamiento, el análisis de varianza no paramétrico y la prueba de hipótesis correspondiente mostraron que aunque la abundancia se presentaba ahora mayor en la zona más profunda (de 25 a 50 metros) la diferencia no fue significativa. Después del fenómeno de EN 97-98, las diferencias de la abundancia por niveles de profundidad vuelven a ser estadísticamente significativas. La mediana de la abundancia de los peces por niveles de profundidad volvió a presentar mayores valores en la capa más superficial. El hecho de que durante EN 97-98 la abundancia de los peces tienda a ser mayor entre los 25 y 50 metros indica que de alguna manera los peces presentaron un hundimiento durante los períodos de ocurrencia del EN 97-98. Similarmente, el trabajo de Blanco-García (2004) indica que EN 97-98 en Chile, produjo cambios en la densidad, la distribución, y la profundidad de los cardúmenes de anchoveta (*Engraulis ringens*), demostrado el hundimiento de algunos cardúmenes en el área costera, hundimiento que los lleva a sitios más profundos que las redes de pesca, lo cual explicaría la recuperación de las poblaciones tan rápidamente después de la desaparición de la anomalía. El citado autor considera el mecanismo de hundimiento de los cardúmenes como un mecanismo adaptativo más importante que las migraciones, las cuales son consideradas por Alheit y Ñiquen (2004) como el factor más importante para explicar la recuperación rápida de los pelágicos menores después de la disminución de un fenómeno de calentamiento.

Con la presencia de EN 97-98 los peces no necesariamente se hunden desapareciendo de los estratos superiores, sino más bien su distribución vertical abarca estratos más profundos.

Los resultados indican que ante la presencia de un fenómeno que incrementa la temperatura los peces se distribuyen en un rango mayor de profundidad. Sin embargo hay que destacar que la mayor abundancia se presentó en la zona nerítica, en la cual la profundidad de la capa de mezcla cambió significativamente durante este evento. Esto sugiere que los peces se refugian en la zona menos afectada por la perturbación.

Esto coincide con el caso registrado en Perú (Ñiquen y Bouchon, 2004) donde se encontró un cambio en la distribución: las anchovetas, en vez de estar distribuidas extensamente sobre el conjunto de la plataforma continental peruana, llegaron a ser más costeras, a 30 kilómetros con una distribución más asimétrica y en parches hacia la costa sur del Perú, mientras que los cardúmenes de sardina fueron desplazados del área centro norte al área centro sur. Ambas especies exhibieron una tendencia a presentarse debajo de 20 m de profundidad. Para el caso de la costa chilena las migraciones de los stocks de anchoveta (*Engraulis ringens*) del norte y del sur fueron hacia regiones más septentrionales, haciéndolos más vulnerables a la captura (Blanco-García 2004). En el caso de la presente tesis, los peces pelágicos podrían tener alta vulnerabilidad durante el evento de EN 97-98, pues los peces estuvieron disponibles en zonas costeras. Es importante notar que durante EN 82-83 las poblaciones de anchoveta *Engraulis mordax* fueron sobreexplotadas por esta razón en la misma zona de estudio (Rojas-Méndez, 2000).

8.3.3. Grado de agrupamiento de los cardúmenes de peces

Recordando que el agrupamiento es una medida porcentual inversa a la distancia que guardan los blancos acústicos individuales, sus niveles más bajos corresponden a cuando los peces tuvieron menor separación entre ellos, o sea que estuvieron aglutinados en bloques compactos. Así el porcentaje de agrupamiento de los peces muestra diferencias significativas antes, durante y después de EN 97-98 para todas las zonas.

El efecto del proceso de calentamiento sobre el agrupamiento de peces pelágicos indica que para septiembre de 1997 el porcentaje de agrupamiento fue de 0.07. Esto es, fue el momento en que los peces formaron agregaciones más compactas y que se presentaron cuando se observaron las mayores abundancias. Un hecho real que pudiéramos tomar en cuenta para reforzar esto fue el registro de una abundancia de 17, 000 ind/ha en septiembre de 1997, así como 7400 y 6500 Ind/ha obtenidos en barridos en la zona nerítica y de 14500 ind/ha en la zona del talud. Los más bajos porcentajes de agrupamiento se encontraron en octubre de 1995 (0.474 % y período en el que se registró una alta abundancia), septiembre de 1997 (0.07 también con alta abundancia), diciembre de 1998 (0.35 %) y marzo de 2000 (0.54 %) conviene señalar aquí la correspondencia con los ciclos de oscilaciones descritos por los índices MEI (Wolter y Timlin, 1998) y NOI (Schwing *et al* 2002 a).

Esta distribución parece ser una respuesta adaptativa de los peces los cuales podrían estar buscando aguas más frías y ricas en alimento, diferente de las aguas dominantes por EN las cuales son calientes y pobres en alimento. Así también, la respuesta de los cardúmenes indica que los grupos fueron más dispersos o menos dispersos. El evento de EN no sólo afectaba peces pelágicos, se ha visto también su efecto en macroalgas (Ladah, 2002), en peces demersales, aves y mamíferos.

9. CONCLUSIÓN

Un cambio en la distribución y abundancia de pelágicos menores se presentó durante el fenómeno de calentamiento de la oscilación del Pacífico sur ENSO 1997-1998.

Las variables oceanográficas mostraron durante 1997 alteraciones significativas que se mantuvieron hasta finales de 1998 en concordancia con la presencia del ENSO 1997-1998.

La temperatura antes de EN 97-98 presentó una estratificación en cuanto a la temperatura entre los 10 y 25 metros de profundidad, durante EN 97-98 dicha estratificación se perdió pues no hubo diferencias significativas en temperatura entre zonas a ningún nivel de profundidad, todo fue homogéneo generalmente cálido. Después de EN 97-98 se encontró de nueva mente una estratificación de temperatura en cada zona principalmente en los estratos más profundos, 25 y 50 metros. Zonalmente el predominio de las temperaturas frías se encontró en la zona nerítica.

En cuanto a la salinidad, antes de EN 97-98 no presentó estratificación con excepción de la zona del talud, tampoco diferencias por zonas; durante EN, a la homogeneidad térmica se sumó la homogeneidad de salinidad por zonas y profundidades. Todo fue homogéneo, más cálido y más salado. Sin embargo, después de EN se encontró estratificación en cuanto a salinidad en cada zona principalmente en los estratos más profundos, 25 y 50 metros, con excepción de la zona oceánica.

La temperatura y las variables asociadas a los procesos de mezcla superficiales tuvieron un impacto sobre el comportamiento de las poblaciones de pelágicos.

Los ecos del intervalo de 46 a 38 dB se concentran en áreas más reducidas y cercanas a la costa durante 1997, año en que el promedio de la temperatura registró un incremento superior a los cinco grados centígrados, para las mediciones a 10, 25 y 50 m de profundidad en las tres zonas, respecto al muestreo realizado el año anterior.

Las poblaciones de pelágicos son altamente sensibles a perturbaciones durante eventos de calentamiento y su vulnerabilidad a las artes de pesca se incrementa al concentrarse en zonas costeras, por ello es importante establecer estrategias de manejo más restrictivo de estos recursos durante períodos de calentamiento de carácter interanual.

La recomendación para el manejo de pesquerías de pelágicos menores es regular la pesca considerando que durante períodos anómalamente cálidos, como EN 97-98 estudiado en este caso, los peces se concentraron en la costa y ampliaron su distribución verticalmente hasta profundidades mayores, sin dejar de estar presentes en zonas someras. Lo cual los haría disponibles a la pesca en abundancias considerables dados los grados de agrupamiento registrados. Haciéndolos vulnerables a una pesca del esquema hiper-estable definido por Hilborn y Walters (1992).

Es importante investigar más acerca de los escenarios de pesca durante anomalías climáticas, para conocer las respuestas de los ecosistemas y aportar esto al manejo de pesquerías y así llegar a un mejorado esquema de sostenibilidad.

10. BIBLIOGRAFÍA

Alheit, J. y Ñiquen, M. (2004). Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Progress In Oceanography*, 60, 201-222.

Amador, B. (2003). Glosario de Términos Oceanográficos (Oceanografía Física). Departamento de Oceanografía Física CICESE UNIDAD LA PAZ Copyright CICESE Oceanografía Física. <http://bcs.cicese.mx/glosario-OceFis/>.

Au (2000). *Fundamentals of Marine Bioacoustics*. Honolulu University of Hawaii. (en prensa).

Bailey, K. M.; Canino, M. F.; Napp, J. M.; Spring, S. M. y Brown, A. L. (1995). Contrasting years of prey levels, feeding conditions, and mortality of larval walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the western Gulf of Alaska. *Marine Ecology Progress Series*, 119, 11-23.

Bakun, A. (1996). *Patterns in the ocean, Ocean processes and marine population dynamics*. California Sea Grant College System, NOAA & CIBNOR. E.U.

Bakun, A. y Nelson, C.S. (1977). Climatology of upwelling related processes off Baja California. *CalCOFi Investigation Reports*, 19, 107-127.

Bakun, A. y Parrish, R.H. (1982). Turbulence, Transport and fish in California and Perú Currents. *CalCOFi Investigation Reports*, 13, 99-112.

Balk y Lindem (2003). Sonar4 and Sonar5 post processing system, Operator manual V5.9.1. Lindem Data Acquisition. Norway.

Baumgartner, T. R.; Soutar, A. y Ferreira, V. (1992). Reconstruction of the history of the Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. *CalCOFi Investigation Reports*. 33.

Baxter, J. H. S., y Hunter, J. R. (1982). The biology of the clupeoid fishes. In *Advances in marine biology*. 223 pp New York: Academic Press.

Bertrand, A.; E. Josse; P. Bach y L. Dagorn (2003). Acoustics for ecosystem research: lessons and perspectives from a scientific programme focusing on tuna-environment relationships. *Aquatic Living Resources*, 16, 197–203.

Bertrand, A.; Segura, M.; Gutiérrez, M. y Vásquez, L. (2004). From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish and Fisheries*, 5, 296-316.

Blanco-Garcia, J. L. (2004). Inter-annual to Inter-decadal variability of upwelling and anchovy population off northern Chile. Dissertation for the Ph. D. Degree, 65 pp. Old Dominion University.

Bograd, S. J., Chereskin, T. K., y Roemmich, D. (2001). Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California current system: annual cycle and interannual variability. *Journal of Geophysical Research*, 106, 9255–9275.

Changnon, S. A. y Bell, G. D. (2000). El Niño, 1997-1998: The Climate Event of the Century. 215 pp Oxford: University Press.

Chavez, F. P.; Ryan, J; Lluch-Cota, S.E. y Hinquen, M. (2003). Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. *Science*, 299(5604), 217-221.

Chelton, D. B., Bernal, P. A., y McGowan, J. A. (1982). Large-scale interannual physical and biological interaction in the California current. *Journal of Marine Research*, 40, 1095–1125.

Cota-Villavicencio, A. (1972). Estudio oceanográfico químico de la surgencia localizada en la zona de Punta Banda, Baja California. Tesis de licenciatura, 63 pp. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC.

Craig, R. E., y Forbes, S.T., 1969. Design of a sonar for fish counting. Marine Laboratory, Aberdeen, Scotland, UK Fiskeridirektoratets Skrifter. Serie Havundersøekelser, V15, no.1-5; 210-219.

Cushing, D. H. (1969). Upwelling and fish production. FAO Fisheries Technical Paper No. 84, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 40 pp Rome.

Cury, P. y Roy, C. (1989). Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46, 670-680.

Davis, C. S.; Flierl, G. R.; Wiebe, P. H. y Franks, P. J. S. (1991). Micro-patchiness, turbulence and recruitment in plankton. *Journal of Marine Research*, 49, 109-151.

Dragesund, O., y Olsen, S. (1965). On the possibility of estimating year-class strength by measuring echo-abundance of 0-group fish. *Report on Norwegian Fishery and Marine Investigations*, 13, 47–75.

Durazo, R., y Baumgartner, T.R. (2002). Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997–1999. *Progress in Oceanography*, 54, 7–31

Edward, M. y Richardn, A.J. (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, 430, 881-884.

Escobar-Ramírez, J. J. (2001) Aporte del enfoque ecosistémico a la sostenibilidad pesquera. Serie: recursos naturales e infraestructura, ONU CEPAL. Santiago de Chile.

F.A.O. (1981). Yearbook of fishery statistics. Catches and landings, 1981 Year book of Fishery Statistics, 52pp Rome.

F.A.O. (2000-2006) The FAO Fisheries Global Information System is a network of integrated fisheries information. <http://www.fao.org/figis/servlet/species?fid=2309>

Fernandes, P; Gerlotto, F.; D. Holliday; Nakken O. y SimmonDE, E. (2002). Acoustic applications in fisheries science: the ICES Contribution. *ICES Marine Science Symposia*, 215, 483–492.

Fiedler, P.C; Methot, R.D. y Hewitt, R.P. (1986). Effects of California EN 1982-1984 on the northern anchovy. *Journal of Marine Research*, 44, 317-338.

Foote, K. G. (1980). Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strength. *Journal of Acoustic Society of America*, 67(6), 2084-2088.

Foote, K. G. (1983). Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems. *Journal of Acoustic Society of America*, 78, 688-700.

Foote, K. G. (1987). Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 981-987.

Foote, K. G., y Traynor, J (1988). Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from in situ measurements and calculations based on swimbladder. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83(1), 9-17.

Forbes, S.T., y Nakken, O., (1972). Manual of methoDE for fisheries resource survey and appraisal. Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. FAO Manual of Fisherie Science V5, 138 pp.

Freon, P. y Misund, O. (1999). Dynamics of pelagic fish, Distribution and Behaviour: Effects on fisheries and stock assesment. UK: Fishing News Books.

Garcia, S. M. y Cochrane, K. L. (2005). Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines *ICES Journal of Marine Science*, 62(3) 311-318, Mayo 2005.

García-Franco, W. y Sánchez-Ruiz, F. J. (1996). Boletín anual temporada 1995, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Instituto Nacional de la Pesca. CRIP Ensenada.

Gunderson, D. R. (1993). Survey of Fisheries resources. New York: John Wiley & Sons.

Haugen, C. W.; Messersmith, J. D., y Wickwire, R.H. (1969). Progress report on anchovy tagging off California, March 1966 through May 1969. In The northern anchovy (*Engraulis mordax*) and its fishery 1965-1968. California Fish and Game. *Fisheries Bulletin*, 147, 75-89.

Hazen, E. L. y Horne, J. K. (2004). Comparing the modelled and measured target-strength variability of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*. *ICES Journal of Marine Science*, 61(3), 363-377

Hilborn, R. y Walters, C. (1992). Quantitative fisheries stock assesment. 570 pp. London: Chapman and Hall,

Hodgson, W. C., y Fridriksson, A. (1955). Report on echosounding and Asdic for fishing purposes. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 139, 1–49.

Hogg, R. V., y Ledolter ,J. (1987). Engineering Statistics. MacMillan Publishing Company.

Huyer, A., y Smith, R. L. (1985). The signature of El Niño off Oregon in 1982–83. *Journal of Geophysical Research*, 90, 7133–7142.

John, K. R. (1964). Illumination, vision and schooling of *Astyanax mexicanus* Fillipi. *Fisheries Research. Board Canadian Bulletin*, 21, 1453-73.

Ladah, L. B. y Scrosati, R. (2002). Predicting the effects of El Niño on seaweedE. *Investigaciones Marinas*, 30,149-150.

Lasker, R. (1975). Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fish Bulletin*, 73(3), 453-462.

Lasker, R., y Smith, P.E. (1977). Estimation of the effects of environmental variations on the eggs and larvae of the northern anchovy. *CalCOFi Investigation Reports*, 19, 128-137.

Lasker, R. (1978). The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: identification of factors leading to recruitment failure. *Rapp. P.-v. Rem. Cons. Int. Explor. Mer*, 173, 212-277,

Levitus, S., y Coautores, 1998: Introduction. Vol. 1, World Ocean Database 1998, NOAA Atlas NESDIS 18, U.S. Government Printing Office, 346 pp.

Lindem, T. (1982). Successes with conventional in situ determinations of fish target strength. International council for the exploration of the sea. (ICES). No53 Symposium on Fisheries Acoustics. Bergen, Norway.

Lindem, T. y Houari (1988). Hydro Acoustic Data Acquisition System HADAS. Norway: Departement of Physics, University of Oslo.

Lluch-Belda, D.; Lluch-Cota, D.B.; y Luch-Cota, S. (2003). Interannual Variability Impacts on the California Current Large Marine Ecosystem. Large Marine Ecosystems of the World. Elsevier.

López-Serrano, A. (2003). Variación espacio temporal de eufáusidos, langostillas y peces pelágicos menores caracterizada mediante prospecciones acústicas en la costa noroccidental de baja California. Tesis de maestría, 91 pp, Posgrado en ciencias del mar y limnología UNAM.

Love, R. H. (1971). Dorsal-Aspect Target Strength of an Individual Fish. *Journal of Acoustic Society of America.*, 49(3), 816-822.

Love, R. H. (1977). Target strength of an individual fish at any aspect. *Journal of Acoustic Society of America*, 62(6), 1397-1403.

Lynn, R. J., Baumgartner, T., Collins, C. A., Garcia, J., Hayward, T. L., Hyrenbach, K. D., Mantyla, A. W., y Murphree, T. (1998). The state of the California current, 1997–98: transition to El Niño conditions. *CalCOFi Investigation Reports*, 39, 29–49.

Lynn, R. J. y S.J. Bograd. (2002). Dynamic evolution of the 1997-1999 El Niño- La Niña cycle in the southern California Current System. *Progress in Oceanography*, 54, 59-75.

MacLennan, D. N. (1990). Acoustical measurement of fish abundance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 1–15.

MacLennan y SimmonDE (1992). Fisheries Acoustics. 325 pp. Chapman and may, Fish and Fisheries Series 5, first edition.

MacHugh, J. L. (1951). Meristic variations and populations of northern anchovy (*Engruulis mordax*). *Bulletin Scripps Instution of Oceanography*, 6(3),123- 160.

Meyers, G., (1979). On the annual Rossby wave in the tropical North Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography.*, 9, 663–674.

Mitson, R. B., y Wood, R. J. (1962). An automatic method of counting fish echoes. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 26, 281–291.

Ñiquen, M. y Bouchon, M. (2004). Impact of EN events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep-Sea Research*, 51, 563-574.

Kessler, W. S., (1990). Observations of long Rossby waves in the northern tropical Pacific. *Journal Geophysics Research*, 95, 5183–5217.

Ona, E. (2003). An expanded target-strength relationship for herring. – *ICES Journal of Marine Science*, 60, 493–499.

Pares-Sierra, A; López, M. y Pavía, E. (1997). Oceanografía física del Océano Pacífico Nororiental. Contribuciones a la Oc. Física en México, Monografía 3. Unión Geofísica Mexicana.

Parrish, R. H., C.S. Nelson, y Bakun, A. (1981). Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. *Biol. Oceanog.*, 2, 175-203.

Pearcy, W. G. y Schoener (1987). Changes in the marine biota coincident with the 1982-1983 EN in the northeastern subarctic Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 92, 14417-14428.

Pérez-Brunius, P.; López, M.; Pineda, J. (2006). Hydrographic conditions near the coast of northwestern Baja California: 1997–2004. *Continental Shelf Research*, 26, 885–901.

Pitcher (1983). Heuristic definitions of shoalind behaviour. *Animal Behaviour*, 31, 611-13.

Portier (1924). Sur l'application des ondes ultra-sonores aux recherches d'océanographie biologique. C. R. Société Biologique, Paris, 91.

Radovich, J. (1981). The collapse of the California sardine fishery: what have we learned? In M.H. Glantz and J.D. Thompson (eDE.), Resource management and environmental uncertainty: lessons from coastal upwelling fisheries, 107-136. New York: John Wiley and Sons.

Ramos-Chaparro, P. (2003). Determinación hidroacústica de la distribución de los pelágicos menores en la costa oeste de Baja California, México. Tesis de maestría, 75 pp, Posgrado en ciencias del mar y limnología UNAM.

Reid, D.; Scalabrin, C.; Petitgas, P.; Masse, J.; Aukland, R.; Carrera, P. y Georgakarakos, S. (2000). Standard protocols for the analysis of school based data from echo sounder surveys. *Fisheries Research*, 47, 125-136.

Renou, J., y Tchernia, P. (1947). Détection des bancs de poissons par ultrasons. Comité d'Océanographie des Côtes, *Ministère de la Marine*, Paris 1947, 21–29.

Richardson, I. D., Cushing, D. H., Harden Jones, F. R., Beverton, R. J. H., and Blacker, R. W. (1959). Echo sounding experiments in the Barents Sea. *Fishery Investigations*, 22, 55 pp.

Richardson, S. L., J. L. Laroche, and M. D. RicharDson. (1980). Larval fish assemblages and associations in the North-east Pacific Ocean along the Oregon coast, Winter-Spring 1972-1975. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11, 671-699.

Rojas-Méndez, J. A. (2000). Cambios en la disponibilidad de anchoveta nortena en la costa occidental de Baja California, Tesis profesional, Facultad de Ciencias Marinas Universidad Autónoma de Baja California.

Scherbino, M., y Truskanov, M. D. (1966). Determination of fish concentration by means of hydroacoustic apparatus. ICES CM 1966/F:3. 6 pp.

Schwing, F. B.; Murphree, T., y Green, P. M. (2002 a). The Northern Oscillation Index: a new climate index for the northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, 53, 115–139.

Schwing, F. B.; Murphree, T., L. deWitt y Green, P. M. (2002 b). The evolution of oceanic and atmospheric anomalies in the northeast Pacific during the EN and la Niña events of 1995-2001. *Progress in Oceanography*, 54, 459–491.

Shaw, E. (1961). The development of schooling behaviour in fishes II. *Physiol. Zool.*, 34, 263–272.

Soule, M.; Barange, M.; Solli H. y Hampton, I. (1997). Performance of a new phase algorithm for discriminating between single and overlapping echoes in a split-beam echosounder. *ICES Journal of Marine Science*, 54(5), 934-938.

Thomas, G.L. y Kirsch, J. (2000). Advances in plankton and nekton acoustics: A review. *Fisheries Research*, 47(2-3), 107-114.

Urick, R. J. (1983). Principles of Under Water Sound, 3rd Edition, McGraw Hill, N.Y.

Vrooman, A. M.; Paloma, P.A., y Zweifel, J.R. (1981). Electrophoretic, morphometric, and meristic studies of subpopulations of northern anchovy, *Engraulis mordax*, *Calif. Fish. Game*, 67(1), 39-51.

Wang, B.; Wu, R. y Lukas R. (1999). Annual Adjustment of the Thermocline in the Tropical Pacific Ocean. *Journal of Climate*, 13, 596-616.

Whitehead y Rodríguez-Sánchez (1995). en: Fischer, W., W., Krupp, F., Schneider, W., Somer, C., Carpenter K. and Niem, V. Guía FAO para la identificación de especies para fines de la pesca en el Pacífico Centro oriental. Vertebrados, 2 (1) 1015-1025. Roma.

Wolter, K., y Timlin, M. S. (1998). Measuring the strength of ENSO—how does 1997/98 rank? *Weather*, 53, 315–324.

Worm B.; Barbier E.B.; Beaumont N.; Duffy J.E.; Folke C.; Halpern B.S.; Jackson J.B.C.; Lotze H.K.; Micheli F.; Palumbi S.R.; Sala E.; Selkoe K.; Stachowicz J.J. y Watson R. (2006) Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* (314), 787-790.

Paginas de Internet consultadas:

<http://elnino.cicese.mx/impactos/pesqueras.htm>

APÉNDICE A

GLOSARIO DE TÉRMINOS ACÚSTICOS

Blancos acústicos Son objetos que reflejan el sonido a manera de eco, en inglés son llamados 'targets'.

Decibel (dB) Es la unidad de la escala relativa con la que se expresa la intensidad del sonido. Consiste en el logaritmo del cociente de la intensidad o presión acústica medida y un nivel de referencia, por ejemplo 1 μ Pa. (MacLennan y Simmonds, 1992).

$$\# \text{ dB} = 20 \log (P/P_0).$$

Donde: P= presión acústica medida y P_0 = nivel de referencia 1 μ Pa

Ecosonda es un tipo de sonar cuyo patrón de haz está diseñado para una dirección específica. Esto lo hace útil para detectar fondos o bien reflectores que se encuentren entre el transductor y el fondo (MacLennan y Simmonds, 1992).

Ecuación del sonar se utiliza para calcular el desempeño del sonar en cuanto a su alcance (considerando las pérdidas por transmisión) y nos proporciona una expresión para el cálculo del nivel de eco (EL):

$$EL = SL - 2TL + TS \quad (\text{expresado en dB referidos a } 1 \mu \text{ Pa})$$

Donde: TL son las pérdidas de transmisión y TS es la fuerza de blanco. Dicha ecuación es una aproximación de lo que sucede con la energía acústica al transmitirse en el medio acuoso (Urlick, 1983; Au, 2003).

Ganancia aumento de energía o voltaje de la señal expresada como el cociente del nivel de salida entre el de entrada de la señal.

Piezoeléctrica sustancia cuya estructura cristalina es susceptible de crear corriente eléctrica a partir de presión mecánica.

SL Nivel de presión acústica de la fuente por sus siglas en inglés (Source level) es una medida de la intensidad del sonido y se cuantifica en una escala logarítmica (decibeles) considerando una presión de referencia (Un micro pascal en acústica marina) (Urick, 1983)

Sonar es el acrónimo del término **sound navigation and ranging** que se acuñó en la etapa final de la 2ª guerra mundial como contraparte del término radar (Fernandes *et al.*, 2002). Consiste en un sistema de detección basado en la reflexión de las ondas sonoras submarinas. Su operación se basa en la diferencia entre el tiempo en que se generó la onda incidente y el tiempo de arribo de la onda reflejada, considerando también la cantidad de energía de ambas ondas para determinar la posición y las características del objeto reflector.

Transductor Un transductor es un dispositivo electrónico capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente de salida, de ahí su nombre. Generalmente son de cerámica y en electroacústica se encargan de transmitir pulsos sonoros de una frecuencia dada y de registrar las señales que llegan hasta ellos (Urick, 1983). El número de transductores utilizados y la forma de estos determinan lo que se conoce como patrón de haz o direccionalidad del sonar. Dicho patrón indica la distribución espacial de la intensidad acústica de los pulsos transmitidos por el transductor (Au, 2000).

Velocidad del sonido en agua de mar. La velocidad de propagación de las ondas de presión longitudinales que constituyen el sonido varía dependiendo del medio a través del cual viajan las ondas sonoras. Aparte del interés del estudio del propio sonido su propagación en un medio puede servir para estudiar algunas propiedades de dicho medio de transmisión. En agua salada, el sonido viaja a aproximadamente 1500 m/s y en agua dulce a 1435 m/s. Estas velocidades varían debido a la presión, profundidad, temperatura, salinidad y otros factores.

APÉNDICE B

Tabla 8: Fecha y posición en que se realizaron los lances del CDT durante los cruceros.

CRUCERO	AÑO	MES	DIA	ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	CRUCERO	AÑO	MES	DIA	ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD
5	1994	10	17	N1-E7	31.01	116.45	9	1996	3	11	Est. 41	31.13021667	116.6103833
5	1994	10	18	N2-E7	30.69	116.28	10	1996	6	28	Est. 3	29.57173333	115.7465
5	1994	10	21	N3-E7	30.4	116.05	10	1996	6	28	Est. 4	29.7459	115.8216167
5	1994	10	22	N4-E1	30.06	115.89	10	1996	6	29	Est. 9	30.02173333	115.8528167
5	1994	10	17	N1-E9	30.99	116.49	10	1996	6	29	Est. 10	30.15951667	115.9462667
5	1994	10	18	N2-E9	30.65	116.36	10	1996	6	29	Est. 15	30.2981	116.0076833
5	1994	10	21	N3-E9	30.35	116.13	10	1996	6	29	Est. 16	30.71786667	116.2171333
5	1994	10	22	N4-E3	30.01	115.96	10	1996	6	29	Est. 21	30.87066667	116.3160167
5	1994	10	17	N1-E8	30.92	116.61	10	1996	6	29	Est. 22	30.98876667	116.402
5	1994	10	18	N2-E8	30.59	116.43	10	1996	6	30	Est. 27	31.1681	116.4314167
5	1994	10	21	N3-E8	30.31	116.21	10	1996	6	28	Est. 2	29.47878333	115.8605167
5	1994	10	22	N4-E2	30	116.06	10	1996	6	28	Est. 5	29.72511667	115.8688167
6	1995	3	14	N1-E7	31.02765	116.462833	10	1996	6	28	Est. 8	29.93181667	115.9361167
6	1995	3	15	N2-E7	30.7002333	116.283433	10	1996	6	29	Est. 11	30.11371667	116.00895
6	1995	3	16	N3-E7	30.4029	116.048883	10	1996	6	29	Est. 14	30.25361667	116.0813167
6	1995	3	17	N4-E7	30.03	115.9	10	1996	6	29	Est. 17	30.68831667	116.3104167
6	1995	3	14	N1-E9	30.9687	116.544783	10	1996	6	29	Est. 20	30.84965	116.3923333
6	1995	3	15	N2-E12	30.6666333	116.366717	10	1996	6	29	Est. 23	30.98941667	116.5006333
6	1995	3	16	N3-E9	30.3500833	116.134483	10	1996	6	30	Est. 26	31.15305	116.5205333
6	1995	3	17	N4-E6	30	115.95	10	1996	6	28	Est. 1	29.45923333	115.8817833
6	1995	3	14	N1-E8	30.9240333	116.619317	10	1996	6	28	Est. 6	29.71338333	115.9692167
6	1995	3	15	N2-E8	30.5971667	116.436783	10	1996	6	28	Est. 7	29.88105	116.0022667
6	1995	3	16	N3-E8	30.31025	116.206767	10	1996	6	29	Est. 12	30.11341667	116.0726267
6	1995	3	17	N4-E8	29.96	116.01	10	1996	6	29	Est. 13	30.20296667	116.1583833
7	1995	7	1	N1-E7	31.0284333	116.461283	10	1996	6	29	Est. 18	30.652	116.3840833
7	1995	7	2	N2-E7	30.7077	116.282417	10	1996	6	29	Est. 19	30.82546667	116.4943
7	1995	7	3	N3-E7	30.4026167	116.047033	10	1996	6	30	Est. 24	30.96931667	116.5944
7	1995	7	4	N4-E7	30.06	115.83	10	1996	6	30	Est. 25	31.12118333	116.6008333
7	1995	7	1	N1-E9	30.9713833	116.546317	12	1997	8	30	N1Est. 1	31.02041667	116.4639
7	1995	7	2	N2-E3	30.6505833	116.371717	12	1997	8	31	N2 Est. 1	30.71593333	116.2814667
7	1995	7	3	N3-E9	30.3352167	116.137167	12	1997	9	1	N3 Est. 1	30.07216667	115.8343
7	1995	7	4	N4-E9	30.03	115.91	12	1997	9	2	N4 Est. 1	29.5732	115.7460167
7	1995	7	1	N1-E8	30.9240833	116.6185	12	1997	8	30	N1Est. 2	30.96806667	116.5458667
7	1995	7	2	N2-E5	30.5997167	116.436017	12	1997	8	31	N2 Est. 2	30.65056667	116.3588667
7	1995	7	3	N3-E8	30.3104167	116.208667	12	1997	9	1	N3 Est. 2	30.03526667	115.9240167
7	1995	7	4	N4-E8	30	116	12	1997	9	2	N4 Est. 2	29.47958333	115.8587
8	1995	10	11	Est. 3	29.6146667	115.649167	12	1997	8	30	N1Est. 3	30.92261667	116.6177667
8	1995	10	11	Est. 4	29.7536667	115.8195	12	1997	8	31	N2 Est. 3	30.601	116.4363333
8	1995	10	10	Est. 9	30.0159667	115.850883	12	1997	9	1	N3 Est. 3	30.00253333	116.0143333
8	1995	10	10	Est. 10	30.1637	115.9488	12	1997	9	2	N4 Est. 3	29.45638333	115.8831
8	1995	10	8	Est. 15	30.2991167	116.007833	13	1997	12	12	N2 Est. 1	30.68966667	116.2871667
8	1995	10	8	Est. 16	30.7226667	116.219167	13	1997	12	10	N3 Est. 1	30.06816667	115.8358333
8	1995	10	9	Est. 27	31.16865	116.434467	13	1997	12	9	N4 Est. 1	29.72483333	115.7515
8	1995	10	9	Est. 28	31.3109833	116.517983	13	1997	12	12	N2 Est. 3	30.659	116.3638333
8	1995	10	11	Est. 2	29.5810667	115.750983	13	1997	12	10	N3 Est. 3	30.03766667	115.9238333
8	1995	10	11	Est. 5	29.7333333	115.8665	13	1997	12	9	N4 Est. 3	29.62516667	115.682
8	1995	10	11	Est. 8	29.9344	115.934117	13	1997	12	12	N2 Est. 2	30.59783333	116.4375
8	1995	10	7	Est. 11	30.1118333	116.007833	13	1997	12	10	N3 Est. 2	30.0005	116.0146667
8	1995	10	8	Est. 14	30.2539167	116.080933	13	1997	12	9	N4 Est. 2	29.51016667	115.815
8	1995	10	8	Est. 17	30.6866667	116.315	14	1998	3	23	Est. 1	31.265	116.5191667
8	1995	10	9	Est. 26	31.1546667	116.516	14	1998	3	24	Est. 1	30.66666667	116.1743333
8	1995	10	9	Est. 29	31.2876667	116.604083	14	1998	3	21	Est. 1	30.18983333	115.9438333
8	1995	10	11	Est. 1	29.5128667	115.834	14	1998	3	20	Est. 1	29.41546667	115.5162167
8	1995	10	11	Est. 6	29.7168333	115.933	14	1998	3	23	Est. 3	31.21535	116.5996
8	1995	10	11	Est. 7	29.8836333	116.001233	14	1998	3	24	Est. 3	30.6204	116.2521167
8	1995	10	8	Est. 12	30.1143333	116.07385	14	1998	3	21	Est. 3	30.15183333	116.0299167
8	1995	10	8	Est. 13	30.20265	116.157483	14	1998	3	20	Est. 3	29.34401667	115.58755
8	1995	10	8	Est. 18	30.6593333	116.315	14	1998	3	23	Est. 2	31.16516667	116.6801667
8	1995	10	9	Est. 25	31.1306667	116.594	14	1998	3	24	Est. 2	30.57383333	116.33
8	1995	10	9	Est. 30	31.2626667	116.686167	14	1998	3	21	Est. 2	30.10433333	116.1075
9	1996	3	9	Est. 9	30.0160333	115.851783	14	1998	3	20	Est. 2	29.28815	115.6487667
9	1996	3	10	Est. 15	30.2988	116.007683	15	1998	6	26	Est. 1	30.93233333	116.4003333
9	1996	3	10	Est. 16	30.7192333	116.21665	15	1998	6	27	Est. 1	30.65291667	116.1718333
9	1996	3	10	Est. 22	30.9889	116.402733	15	1998	6	28	Est. 1	30.38311667	116.13695
9	1996	3	11	Est. 27	31.1673833	116.434733	15	1998	6	28	Est. 1	30.14633333	115.9801667
9	1996	3	11	Est. 28	31.3108333	116.518617	15	1998	6	29	Est. 1	29.8998	115.8649833
9	1996	3	9	Est. 8	29.934	115.9356	15	1998	6	29	Est. 1	29.59916667	115.6841667
9	1996	3	10	Est. 14	30.2547333	116.080967	15	1998	6	26	Est. 3	30.89216667	116.4896667
9	1996	3	10	Est. 17	30.6878333	116.311733	15	1998	6	27	Est. 3	30.5925	116.2443333
9	1996	3	10	Est. 23	30.9892167	116.4993	15	1998	6	28	Est. 3	30.326	116.2183333
9	1996	3	11	Est. 29	31.28755	116.603567	15	1998	6	28	Est. 3	30.0975	116.054
9	1996	3	11	Est. 40	31.1507833	116.51785	15	1998	6	29	Est. 3	29.8365	115.9486667
9	1996	3	9	Est. 7	29.8835167	116.002633	15	1998	6	29	Est. 3	29.53483333	115.751
9	1996	3	9	Est. 13	30.2025	116.158667	15	1998	6	26	Est. 2	30.8495	116.5758333
9	1996	3	10	Est. 18	30.6514333	116.402417	15	1998	6	27	Est. 2	30.53716667	116.3156667
9	1996	3	10	Est. 24	30.9690667	116.593333	15	1998	6	28	Est. 2	30.28646667	116.2928167
9	1996	3	11	Est. 30	31.2606833	116.66765	15	1998	6	28	Est. 2	30.03616667	116.1251667

Tabla 9: Fecha y posición en que se realizaron los lances del CDT durante los cruceros

CRUCERO	AÑO	MES	DIA	ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	CRUCERO	AÑO	MES	DIA	ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD
15	1998	6	29	Est. 2	29.7767	116.019583	19	2000	3	18	N2	30.66316667	116.432
15	1998	6	29	Est. 2	29.4825	115.833167	19	2000	3	18	N3	30.465	116.2621667
16	1998	12	5	N1E1	31.02	116.45	19	2000	3	19	N4	30.12566667	116.0663333
16	1998	12	5	N2E1	30.76	116.28	19	2000	3	19	N5	29.81283333	115.9685
16	1998	12	7	N3E5	30.57	116.19	19	2000	3	20	N6	29.525	115.7981667
16	1998	12	7	N4E1	30.24	116.02	19	2000	3	20	N7	29.32333333	115.6336667
16	1998	12	8	N5E1	30.08	115.93	19	2000	3	17	N1	30.90156667	116.6678167
16	1998	12	8	N6E1	29.9	115.86	19	2000	3	18	N2	30.603	116.5078333
16	1998	12	9	N7E1	29.59	115.68	19	2000	3	18	N3	30.407	116.3348333
16	1998	12	9	N8E1	29.45	115.48	19	2000	3	19	N4	30.07316667	116.1446667
16	1998	12	5	N1E4	30.97	116.54	19	2000	3	19	N5	29.75408333	116.0351667
16	1998	12	5	N2E4	30.71	116.36	19	2000	3	20	N6	29.46686667	115.8668667
16	1998	12	7	N3E4	30.55	116.23	19	2000	3	20	N7	29.2745	115.7003333
16	1998	12	7	N4E4	30.21	116.1	20	2000	7	14	N1-E4	31.0267	116.425
16	1998	12	8	N5E4	30.04	116.01	20	2000	7	15	N2-E4	30.7667	116.283
16	1998	12	8	N6E4	29.84	115.94	20	2000	7	15	N3-E4	30.5667	116.117
16	1998	12	9	N7E4	29.53	115.75	20	2000	7	16	N4-E4	30.2367	115.917
16	1998	12	9	N8E4	29.35	115.59	20	2000	7	16	N5-E4	29.925	115.82
16	1998	12	5	N1E2	30.92	116.61	20	2000	7	17	N6-E4	29.6333	115.652
16	1998	12	5	N2E2	30.66	116.43	20	2000	7	17	N7-E4	29.435	115.485
16	1998	12	7	N3E2	30.49	116.31	20	2000	7	14	N1-E3	30.9867	116.508
16	1998	12	7	N4E2}	30.2	116.19	20	2000	7	15	N2-E3	30.7133	116.358
16	1998	12	8	N5E2	30	116.09	20	2000	7	15	N3-E3	30.5167	116.185
16	1998	12	8	N6E2	29.78	116.01	20	2000	7	16	N4-E3	30.175	116
16	1998	12	9	N7E2	29.48	115.83	20	2000	7	16	N5-E3	29.8717	115.892
16	1998	12	9	N8E2	29.28	115.65	20	2000	7	17	N6-E3	29.58	115.72
17	1999	3	17	n1e1	31.02	116.45	20	2000	7	17	N7-E3	29.3833	115.558
17	1999	3	17	n2e1	30.76	116.28	20	2000	7	14	N1-E1	30.9017	116.667
17	1999	3	17	n3e5	30.57	116.19	20	2000	7	15	N2-E1	30.6033	116.508
17	1999	3	17	n4e1	30.24	116.02	20	2000	7	15	N3-E1	30.4083	116.35
17	1999	3	17	n5e1	30.08	115.93	20	2000	7	16	N4-E1	30.0742	116.145
17	1999	3	17	n6e1	29.9	115.86	20	2000	7	16	N5-E1	29.7567	116.037
17	1999	3	17	n7e1	29.59	115.68	20	2000	7	17	N6-E1	29.4667	115.867
17	1999	3	17	n1e4	30.97	116.54	20	2000	7	17	N7-E1	29.275	115.7
17	1999	3	17	n2e4	30.71	116.36	21	2000	11	28	N1-E4	31.0267	116.425
17	1999	3	17	n3e4	30.55	116.23	21	2000	11	29	N2-E4	30.7667	116.283
17	1999	3	17	n4e4	30.21	116.1	21	2000	11	29	N3-E4	30.5667	116.117
17	1999	3	17	n5e4	30.04	116.01	21	2000	11	30	N4-E4	30.2367	115.917
17	1999	3	17	n6e4	29.84	115.94	21	2000	11	30	N5-E4	29.925	115.82
17	1999	3	17	n7e4	29.53	115.75	21	2000	12	1	N6-E4	29.6333	115.652
17	1999	3	17	n1e2	30.92	116.61	21	2000	12	1	N7-E4	29.435	115.485
17	1999	3	17	n2e2	30.66	116.43	21	2000	11	28	N1-E3	30.9867	116.508
17	1999	3	17	n3e2	30.49	116.31	21	2000	11	29	N2-E3	30.7133	116.358
17	1999	3	17	n4e2	30.2	116.19	21	2000	11	29	N3-E3	30.5167	116.185
17	1999	3	17	n5e2	30	116.09	21	2000	11	30	N4-E3	30.175	116
17	1999	3	17	n6e2	29.78	116.01	21	2000	11	30	N5-E3	29.8717	115.892
17	1999	3	17	n7e2	29.48	115.83	21	2000	12	1	N6-E3	29.58	115.72
18	1999	12	3	N1-E4	31.0267	116.425	21	2000	12	1	N7-E3	29.3833	115.558
18	1999	12	4	N2-E4	30.7667	116.283	21	2000	11	28	N1-E1	30.9017	116.667
18	1999	12	5	N3-E4	30.5667	116.117	21	2000	11	29	N2-E1	30.6033	116.508
18	1999	12	6	N4-E4	30.2367	115.917	21	2000	11	29	N3-E1	30.4083	116.35
18	1999	12	7	N5-E4	29.925	115.82	21	2000	11	30	N4-E1	30.0742	116.145
18	1999	12	8	N6-E4	29.6333	115.652	21	2000	11	30	N5-E1	29.7567	116.037
18	1999	12	9	N7-E4	29.435	115.485	21	2000	12	1	N6-E1	29.4667	115.867
18	1999	12	3	N1-E3	30.9867	116.508	21	2000	12	1	N7-E1	29.275	115.7
18	1999	12	4	N2-E3	30.7133	116.358	22	2001	3	26	N1	30.98583333	116.5095167
18	1999	12	5	N3-E3	30.5167	116.185	22	2001	3	26	N2	30.71213333	116.3584667
18	1999	12	6	N4-E3	30.175	116	22	2001	3	26	N3	30.51391667	116.1831833
18	1999	12	7	N5-E3	29.8717	115.892	22	2001	3	27	N4	30.175	116.0001667
18	1999	12	8	N6-E3	29.58	115.72	22	2001	3	27	N5	29.8705	115.8921333
18	1999	12	9	N7-E3	29.3833	115.558	22	2001	3	28	N6	29.57935	115.71915
18	1999	12	3	N1-E1	30.9017	116.667	22	2001	3	28	N7	29.36828333	115.55085
18	1999	12	4	N2-E1	30.6033	116.508	22	2001	3	26	N1	30.9345	116.5838167
18	1999	12	5	N3-E1	30.4083	116.35	22	2001	3	26	N2	30.6634	116.43425
18	1999	12	6	N4-E1	30.0742	116.145	22	2001	3	26	N3	30.4621	116.2648667
18	1999	12	7	N5-E1	29.7567	116.037	22	2001	3	27	N4	30.12428333	116.0657
18	1999	12	8	N6-E1	29.4667	115.867	22	2001	3	27	N5	29.81331667	115.9683333
18	1999	12	9	N7-E1	29.275	115.7	22	2001	3	28	N6	29.52493333	115.7972167
19	2000	3	17	N1	30.9866667	116.508633	22	2001	3	28	N7	29.32743333	115.6331667
19	2000	3	18	N2	30.713	116.3585	22	2001	3	26	N1	30.90008333	116.66675
19	2000	3	18	N3	30.5141667	116.185167	22	2001	3	26	N2	30.60176667	116.5071833
19	2000	3	19	N4	30.1743667	116.00433	22	2001	3	26	N3	30.40701667	116.3475333
19	2000	3	19	N5	29.8701667	115.893	22	2001	3	27	N4	30.07446667	116.1442667
19	2000	3	20	N6	29.525	115.719167	22	2001	3	27	N5	29.7569	116.0365333
19	2000	3	20	N7	29.3825333	115.55835	22	2001	3	28	N6	29.46628333	115.86655
19	2000	3	17	N1	30.9464	116.587333	22	2001	3	28	N7	29.27475	115.6991

APÉNDICE C

Algoritmo comentado utilizado en el programa Mat-lab 6.5 para el cálculo de la profundidad de la capa mezclada, la profundidad y la intensidad de la termoclina:

```
load standar.dat Este comando abre el archivo de datos.
```

Los programas se han modificado para según la disposición de las columnas de datos precedentes del CTD, las cuales variaron a lo largo de los cruceros. Para el programa que se presenta a por ejemplo la distribución de las columnas de crucero 14 es [DEPTH TEMP SAL OXI SIGMA] sin embargo este orden no siempre es el mismo y de hecho no siempre se registraron todas estas variables.

Bien comencemos por la búsqueda de los valores de las variables por niveles de profundidad de 10, 25 y 50 m, lo cual se hace mediante:

Nota - En mat-lab los signos % se usan para anular líneas por ellos están marcados con dichos símbolos los renglones del algoritmo que no se usan

```
ta10=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 10 & standar(:,1) < 11),2));  
%promedio de la temperatura (Deg. C) entre 10 y 11 metros  
SA10=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 10 & standar(:,1) < 11),3));  
%promedio de la salinidad en PSS78 entre 10 y 11 metros  
OX10=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 10 & standar(:,1) < 11),4));  
%promedio de la concentración de oxígeno (ML/L) entre 10 y 11 metros  
SIG10=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 10 & standar(:,1) < 11),5));  
%promedio de SGTH en KG/M^3 entre 10 y 11 metros  
ta25=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 25 & standar(:,1) < 26),2));  
%promedio de la temperatura (° C)entre 25 y 26 metros  
SA25=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 25 & standar(:,1) < 26),3));  
%promedio de la salinidad en PSS78 entre 25 y 26 metros  
OX25=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 25 & standar(:,1) < 26),4));  
%promedio de la concentración de oxígeno (ML/L) entre 25 y 26 metros  
SIG25=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 25 & standar(:,1) < 26),5));  
%promedio de SGTH en KG/M^3 entre 25 y 26 metros  
ta50=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 50 & standar(:,1) < 51),2));  
%promedio de la temperatura (° C)entre 50 y 51 metros  
SA50=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 50 & standar(:,1) < 51),3));  
%promedio de la salinidad en PSS78 entre 50 y 51 metros  
OX50=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 50 & standar(:,1) < 51),4));  
%promedio de la concentración de oxígeno (ML/L) entre 50 y 51 metros  
SIG50=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 50 & standar(:,1) < 51),5));  
%promedio de SGTH en KG/M^3 entre 50 y 51 metros
```

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA MEZCLADA

Hay que recordar que la profundidad de mezcla se definió como la profundidad a la que registramos una temperatura menor en un grado respecto a la temperatura registrada a 5 metros, para ello necesitamos el promedio de la temperatura entre 5 y 6 metros, el cual se calcula mediante:

```
ta5=mean(standar(find ( standar(:,1) >= 5 & standar(:,1) < 6),2));
```

A continuación se define una matriz de nombre "guille" que incluye dos columnas para temperatura y profundidad respectivamente, y a continuación se presenta una serie de

opciones que se usan dependiendo de la longitud del archivo, frente a cada una se explica en que caso se usan:

```
%guille=[standar(1:50,2) -standar(1:50,1)];  
%guille=[standar(1:100,2) -standar(1:100,1)]; %para archivos pequeñitos  
%guille=[standar(1:199,2) -standar(1:199,1)]; %USADO PARA EL SIMSUP 15  
%guille=[standar(1:200,2) -standar(1:200,1)]; %USADO PARA EL SIMSUP 10  
%guille=[standar(1:900,2) -standar(1:900,1)]; %se usa generalmente para los archivos procedentes  
de la zona neritica (archivos cortos)  
%guille=[standar(1000:1900,2) -standar(1000:1900,1)]; % se recomienda para archivos grandes  
guille=[standar(1:1900,2) -standar(1:1900,1)]; % EL INTERVALO MAS USADO  
%guille=[standar(1:6000,2) -standar(1:6000,1)];  
%guille=[standar(1:26000,2) -standar(1:26000,1)];%para archivos LARGUISIMOS
```

%NOTA: SI EL ARCHIVO PROCEDE DE UNA "SUBIDA DE CTD" ES NECESARIO ARREGLAR EL ARCHIVO .DAT EN EXCEL PARA PODER HACER EL CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DE MEZCLA

DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

Primero definamos que la temperatura promedio a 5 metros menos un grado como "ta5-1", después mediante el comando "find" se busca en la primera columna de temperaturas (de la matriz guille) los valores cercanos a la ta5-1, esto es los que sean menores en una centésima de grado y los que sean mayores también una centésima de grado, con ellos se forma una pequeña matriz de datos (temperatura y profundidad) de cuya segunda columna se obtendrá un promedio que corresponderá a la profundidad de la capa mezclada.

Esto lo hace la siguiente orden:

```
profmez=-mean(guille(find(guille(:,1) > ta5-1.05 & guille(:,1) < ta5-0.95),2)); %
```

En este caso el intervalo se modificó ampliando los a cinco centésimas, o sea, se buscaron valores entre 0.95 y 1.05. El intervalo se amplía en el caso de que el cálculo no arroje resultados. Para el procesamiento de los datos de los cruceros simsup se definieron los siguientes intervalos, los cuales se activan y desactivan colocando los signos de porcentaje.

```
%profmez=-mean(guille(find(guille(:,1) > ta5-1.01 & guille(:,1) < ta5-0.99),2));  
%profmez=-mean(guille(find(guille(:,1) > ta5-1.009 & guille(:,1) < ta5-0.98),2));  
%profmez=-mean(guille(find(guille(:,1) > ta5-1.7 & guille(:,1) < ta5-0.3),2));  
%profmez=-mean(guille(find(guille(:,1) > ta5-1.4 & guille(:,1) < ta5-0.6),2));  
%profmez=-mean(guille(find(guille(:,1) > ta5-1.2 & guille(:,1) < ta5-0.8),2));
```

CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DE TERMOCLINA Y DE LA INTENSIDAD DE TERMOCLINA

A continuación se construyen matrices con los promedios de profundidad y temperatura en intervalos de 5 metros:

```
y= [  
mean(standar(find ( standar(:,1) >= 5 & standar(:,1) < 10),1))  
mean(standar(find ( standar(:,1) >= 10 & standar(:,1) < 15),1))  
mean(standar(find ( standar(:,1) >= 15 & standar(:,1) < 20),1))  
mean(standar(find ( standar(:,1) >= 20 & standar(:,1) < 25),1))  
mean(standar(find ( standar(:,1) >= 25 & standar(:,1) < 30),1))
```



```

mean(standar(find ( standar(:,1) >= 180 & standar(:,1) < 185),2))
mean(standar(find ( standar(:,1) >= 185 & standar(:,1) < 190),2))
mean(standar(find ( standar(:,1) >= 190 & standar(:,1) < 195),2))
mean(standar(find ( standar(:,1) >= 195 & standar(:,1) < 200),2));

for j=1:38
delta(j)=x(j+1,1)-x(j,1); %desarrolla la resta que determina la intensidad de la
termoclina
end

mafalda=[y(1:38,1) delta'];

```

Es una matriz de 38 renglones y dos columnas correspondientes con las diferencias de temperatura de cada 5 metros y sus profundidades correspondientes.

```
It=min (delta);
```

La intensidad de termoclina y la profundidad de termoclina deben corresponder con este valor, se puede verificar en la matriz:

```

pabusclaprofdterm=It;

profater=mafalda(find(mafalda(:,2)==It),1);

profmax=max(standar(:,1));

felipito=[profmax ta10 SA10 OX10 SIG10 ta25 SA25 OX25 SIG25 ta50 SA50 OX50 SIG50
profmez profater It]
save result.txt felipito - ascii %crea un archivo para leerlo con EXCEL

```

ALGUNAS GRÁFICAS PARA CORROBORAR LOS RESULTADOS... se tiene que modificar para cada archivo.

```

figure
plot(delta(1,:),-y(1:38,1))
hold on
plot(It,-profater,'*g')
text(It,-profater,'Intensidad de termoclina C')

```

Aquí las coordenadas corresponden a la profundidad de termoclina

```

grid
figure
plot(ta5-1,-profmez,'*g')
text(ta5-1,-profmez,'Profundidad de mezcla')

```

Aquí las coordenadas corresponden a la profundidad de mezcla

```

hold on
plot(x',-y', 'r')
hold on
plot(standar(:,2),-standar(:,1))
grid.

```