

**ON THE STRUCTURE OF A DEEP SCATTERING LAYER ON THE
COASTAL SHELF OFF BAHÍA MAGDALENA, BAJA CALIFORNIA,
MEXICO**

**COMPOSICIÓN DE UNA CAPA DE DISPERSIÓN PROFUNDA EN LA
PLATAFORMA CONTINENTAL DE BAHÍA MAGDALENA,
BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

Carlos J. Robinson¹
Jaime Gómez²
Virgilio Arenas¹

¹ Laboratorio de Ecología de Pesquerías
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado postal 70-305
CP 04510, México, DF

² Departamento de Plancton y Ecología Marina
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN
Apartado postal 592
La Paz, Baja California Sur, CP 23000, México

Recibido en mayo de 1995; aceptado en octubre de 1996

ABSTRACT

The structure of an intense deep scattering layer off the southwest coast of Baja California, Mexico, is described using Isaacs-Kidd net trawl samples, Bongo samples and hydroacoustic records. Results demonstrate the dominance of three organisms: an euphausiid, *Euphausia eximia* Hansen 1911; a decapod of the family Galatheididae, *Pleuroncodes planipes* (Stimpson, 1860); and a fish of the family Photichthyidae, *Vinciguerria lucetia* (Garman, 1899). Using a SIMRAD EY-200 echosounder, with a working frequency of 200 kHz, and a Hydro Acoustic Data Acquisition System (HADAS), echoes were separated according to their target strength. Euphausiids were associated with the -56 to -62 dB target strength group, the red crabs with the -51 to -55 dB group, and fishes with the -32 to -50 dB group. Results indicate that organisms within the layer were not randomly distributed, but that they have an internal structure both in a horizontal and vertical dimension.

Key words: deep scattering layer, hydroacoustic, HADAS, Baja California.

RESUMEN

Se describe la composición específica y estructura de una capa de dispersión profunda encontrada en el suroeste de la península de Baja California, México. Los muestreos se realizaron mediante arrastres con red Isaacs-Kidd, red Bongo y registros hidroacústicos. Los resultados demuestran la dominancia de tres especies: un eufáusido, *Euphausia eximia* Hansen 1911; un decápodo de la familia Galatheididae, *Pleuroncodes planipes* (Stimpson, 1860); y un pez de la familia Photichthyidae, *Vinciguerria lucetia* (Garman, 1899). Los ecos acústicos de la capa de dispersión profunda fueron separados de acuerdo con la fuerza de blanco usando una ecosonda SIMRAD EY-200, con una frecuencia de 200 kHz, y un programa denominado Hydro Acoustic Data Acquisition System (HADAS).

Los eufáusidos fueron asociados con un intervalo de fuerza de blancos entre -56 y -62 dB, las langostillas entre -51 y -55 dB, y los peces entre -32 y -50 dB. Los resultados indican que los organismos presentaron una distribución no azarosa dentro de la capa de dispersión profunda, esto es, tuvieron una estructura interna tanto en sentido horizontal como vertical.

Palabras clave: capa de dispersión profunda, hidroacústica, HADAS, Baja California.

INTRODUCTION

Dense concentrations of plankton and micronekton are common features in some areas of the ocean; they can frequently be found near the continental slope. These layers may limit the performance of sonars in detecting fish or other large targets (MacLennan and Simmonds, 1992). They are biological in origin and a number of attempts have been made to describe their vertical distribution as shown by the echosounders and determined by trawling and nets (e.g., Morton and MacLellan, 1992; Guerin-Ancey and David, 1993; Madureira *et al.*, 1993; Sameoto *et al.*, 1993). However, since they may be constituted by a single species or by a complex assemblage of organisms (Tucker, 1951; Batzler *et al.*, 1975; Barange *et al.*, 1993), a detailed description of the specific composition and structure of this kind of layers is a difficult task.

Few studies have attempted to describe in detail the deep scattering layer (DSL). Within the California Current system, most of the acoustical research on the distribution of schools of fish, zooplankton aggregations and DSL has been done in southern California (e.g., Hewitt *et al.*, 1976; Smith *et al.*, 1989; Pieper *et al.*, 1990; Greene *et al.*, 1991; Napp *et al.*, 1993). However, little attention has been paid to describe the most southern part of the California Current, particularly along Baja California.

The aim of the present work is to describe in two dimensions the structure, species composition and the distribution of the most abundant species of a huge DSL, using trawl nets, Bongo nets and an echosounder in an upwelling region off Bahía Magdalena, Mexico, recognized as one of the most productive zones along the southwest coast of Baja California (Roesler and Chelton, 1987; Hernández-Trujillo *et al.*, 1987).

INTRODUCCIÓN

Una característica común en algunas áreas del océano son las elevadas concentraciones de plancton y micronekton, principalmente cerca de la plataforma continental. Ambos grupos son componentes de la capa de dispersión profunda (CDP), la cual es uno de los factores que puede limitar el registro sónico para detectar peces u otras fuerzas de blancos más intensas (MacLennan y Simmonds, 1992). La CDP es de origen biológico y se han realizado diversos intentos para describir su distribución vertical por medio de muestreo con redes y equipos hidroacústicos (Morton y MacLellan, 1992; Guerin-Ancey y David, 1993; Madureira *et al.*, 1993; Sameoto *et al.*, 1993). Algunos de estos trabajos describen solamente una especie, mientras que otros describen complejas asociaciones de organismos (Tucker, 1951; Batzler *et al.*, 1975; Barange *et al.*, 1993). Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, realizar la descripción detallada de la composición específica y la estructura de la CDP es complicado.

La mayor parte de las investigaciones hidroacústicas realizadas en el sistema de la Corriente de California han sido enfocadas a la distribución de peces y agregaciones de zooplankton en la parte sur de California (e.g., Hewitt *et al.*, 1976; Smith *et al.*, 1989; Pieper *et al.*, 1990; Greene *et al.*, 1991; Napp *et al.*, 1993). Sin embargo, se ha puesto poca atención en la descripción de la CDP en la porción sur de la Corriente de California, particularmente a lo largo de Baja California.

El propósito de este trabajo es describir en dos dimensiones la composición específica y la estructura de una CDP, usando muestras obtenidas con redes Isaacs-Kidd y Bongo, así como por medio de registros hidroacústicos en una zona de surgencia localizada frente a Bahía Magdalena, México. Esta región es reconocida como una de las zonas más productivas de la

MATERIALS AND METHODS

On December 15, 1993, on board the R/V *El Puma*, an intense acoustic DSL was detected on the southwest coast of Baja California, Mexico (fig. 1). The layer was detected using a SIMRAD EY-200 echosounder with a working frequency of 200 kHz. The gain was 10, each step representing a gain of 3 dB; attenuation was set at -15 dB, power 1/1. Echoes recorded with the echosounder were analyzed using a Hydro Acoustic Data Acquisition System (HADAS) (Walline *et al.*, 1992). The latter is an echo-counting analysis system which transforms the received echodistribution into area densities and, hence, population estimates. The system is based on a combination of hardware and computer software, which together allow the digitizing and storing of hydroacoustic data. Echo-counting results are presented as individuals per hectare (ind ha^{-1}). The acoustic sizes are in units of target strength (TS) and expressed in decibels (dB). Before the cruise, calibration was done using a standard target. The target was a homogeneous 1.3 cm diameter copper sphere. All recordings were made using the 40 log R time-varied gain (TVG) function.

The DSL was located 15 nautical miles (28 km) off the southwest coast of the peninsula of Baja California ($24^{\circ}41.8'N$, $112^{\circ}25.8'W$) at 18.00 h local time (Pacific Standard Time). The DSL was about 7 km long (fig. 2a) and about 76 m wide in its central part (fig. 2b). No measurements were done along the transversal axis.

Three sections of the DSL were defined: one at the extreme left of the layer (inshore); a central part, at the core of the layer; and a third at the right side of the layer (offshore) (fig. 2a). Each section was about 1.5 km long, with a separation of at least 1 km between each other.

Mid-water trawl sampling

Using an Isaacs-Kidd mid-water net, trawls were performed along the DSL (perpendicular to the coast). Starting at the inshore part of the layer, the net was lowered to 20 m and trawling was performed during 4 min at that depth; it was then lowered another 20 m and trawled for

costa suroeste de Baja California (Roesler y Chelton, 1987; Hernández-Trujillo *et al.* 1987).

MATERIALES Y MÉTODOS

El 15 de diciembre de 1993, a bordo del B/O *El Puma*, se encontró una densa CDP registrada en la parte suroeste de la península de Baja California, México (fig. 1). La CDP fue registrada por medio de una ecosonda SIMRAD EY-200, con una frecuencia de 200 kHz. La ganancia fue 10, cada intervalo representa una ganancia de 3 dB, la atenuación fue determinada en -15 dB, y la potencia de 1/1. Los registros acústicos fueron analizados usando el programa Hydro Acoustic Data Acquisition System (HADAS) (Walline *et al.*, 1992). Éste consiste en un sistema de análisis de ecoconteo, el cual transforma la ecodistribución recibida en densidades por hectárea. El sistema es una combinación de *hardware* y *software* que permite la digitalización y almacenamiento de los datos hidroacústicos. Los resultados son presentados como individuos por hectárea (ind ha^{-1}). Los tamaños de los blancos acústicos son expresados en unidades de fuerza de blancos (FB) en decibelios (dB). Previo al crucero, la calibración de blancos fue realizada usando un blanco estándar. Éste fue una esfera homogénea de cobre de 1.3 cm de diámetro. Todos los registros fueron realizados usando la función 40 log R de ganancia de tiempo variable.

La CDP fue localizada a 15 millas náuticas de la costa (28 km), en la parte suroeste de la península de Baja California ($24^{\circ}41.8'N$, $112^{\circ}25.8'O$), a las 18.00 h (tiempo estándar del Pacífico). La CDP fue de aproximadamente 7 km de largo (fig. 2a) y cerca de 76 m de profundidad en su parte central (fig. 2b). Ninguna medición fue hecha en el eje transversal.

Se definieron tres secciones de la CDP: costera, central (la parte más densa de la capa) y oceánica (fig. 2a). Cada sección fue de aproximadamente 1.5 km de largo, con una separación de al menos 1 km entre cada una de ellas.

Muestreo de media agua con red Isaacs-Kidd

Se realizaron tres arrastres a lo largo de la CDP (perpendiculares a la costa), utilizando

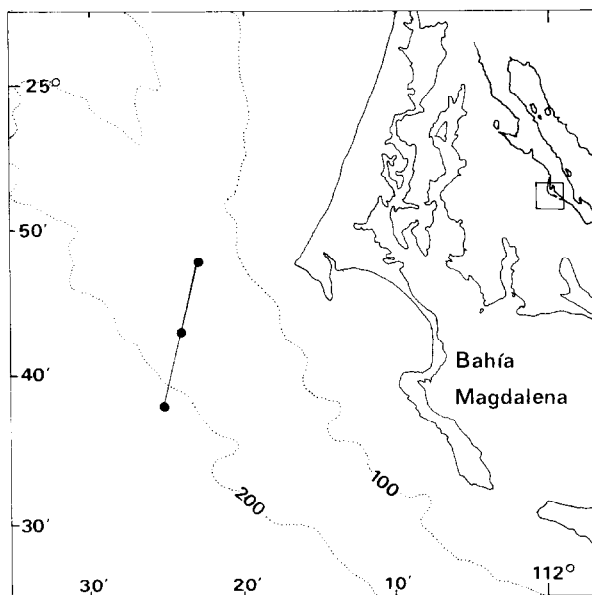


Figure 1. Study area.
Figura 1. Área de estudio.

another 4 min and so on, until the deepest layer at 100 m. In the end, we had five levels each with 4 min sampled (i.e., at 20, 40, 60, 80 and 100 m). A total of three Isaacs-Kidd trawls were made going forwards and backwards along the transect. Ship speed during the hauls was 4 knots.

Bongo net sampling

Zooplankton was collected at three oceanographic stations, one at each end of the DSL and one in the middle. Zooplankton samples were collected by means of Bongo nets fitted with a flowmeter (General Oceanics) and with a 1,000- μm mesh; the nets were towed from 210 m (Smith and Richardson, 1977). The data for biomass were normalized to ml 1,000 m^{-3} , according to Beers (1976).

Hydroacoustic counting and percentage of shoaling

Acoustic information was generated and stored in a computer using HADAS. Moreover,

una red de media agua Isaacs-Kidd; éstos se iniciaron en la parte costera de la CDP. En cada arrastre, la red fue bajada a 20 m y arrastrada durante aproximadamente 4 min en esa profundidad; después se bajó otros 20 m y se arrastró durante otros 4 min y así sucesivamente hasta la capa más profunda de 100 m. De esta forma, se hicieron cinco niveles con 4 min cada uno (20, 40, 60, 80 y 100 m). La velocidad del barco durante los muestreos fue de 4 nudos.

Muestreo con red Bongo

A lo largo de la CDP fueron recolectadas muestras de zooplankton en tres puntos; uno a cada extremo y otro en el centro. Las muestras se recolectaron por medio de redes Bongo con flujómetros (General Oceanics) y con una luz de malla de 1,000 μm . Las redes fueron arrastradas desde 210 m hasta la superficie (Smith and Richardson, 1977). Los datos para estimar biomasa fueron normalizados a ml 1,000 m^{-3} , de acuerdo con Beers (1976).

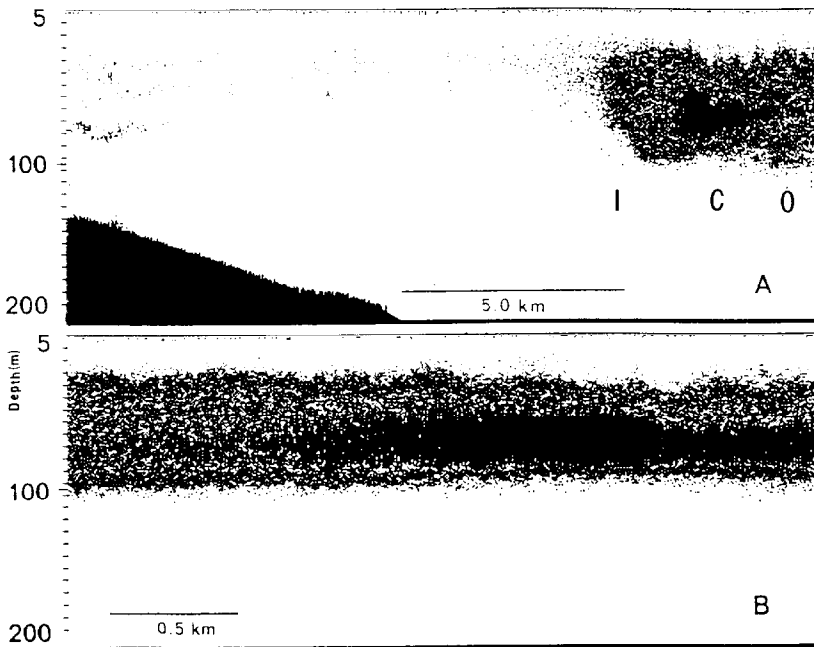


Figure 2. (A) Echogram showing the scattering layer: the slope at the left is the bottom. I = inshore section, C = central section, O = offshore section. (B) A zoomed echogram showing the central part of the scattering layer; the darkest area is the densest part of the deep scattering layer.

Figura 2. (A) Ecograma mostrando la capa de dispersión. La plataforma continental en el lado izquierdo. I = sección costera, C = sección central, O = sección oceánica. (B) Es un acercamiento de la parte central de la capa de dispersión: el área más oscura es la parte más densa.

HADAS calculates the percentage of individuals already analyzed for echo-counting which were found forming shoals. With a pulse duration of 1 msec and sound velocity set at $1,500 \text{ m s}^{-1}$, the pulse length was 150 cm. We arbitrarily fixed as 40 the maximum number of echoes in the water volume where HADAS considered separated organisms. For instance, if there were 50 echoes in a volume, then 25% of the sample was considered a shoal. Shoaling is presented as a percentage.

RESULTS

Isaacs-Kidd mid-water trawl sampling

The size and abundance of the most abundant organisms caught with the Isaacs-Kidd

Conteo hidroacústico y porcentaje de agrupamiento

La información hidroacústica generada fue almacenada en una computadora usando el programa hidroacústico. Junto con la estimación de biomasa, HADAS calcula también el porcentaje de individuos que estuvieron formando agrupaciones. Considerando que la duración del pulso fue de 1 msec y que la velocidad del sonido en el agua es de $1,500 \text{ m s}^{-1}$, tenemos que la longitud de pulso es de 150 cm. El volumen de agua sonificado por cada transmisión dependerá entonces de esta longitud de pulso y de la distancia en la que la señal se encuentre del transductor. Arbitrariamente se determinó que 40 fuera el número máximo de ecos registrados en un volumen de agua sonificado para considerar

are shown in table 1. The DSL was composed of three main groups: the Euphausiaceans, mainly *Euphausia eximia* Hansen 1911; a decapod crustacean of the family Galatheidae, *Pleuroncodes planipes* (Stimpson, 1860); and a fish from the family Photichthyidae, *Vinciguerria lucetta* (Garman, 1899).

Hydroacoustic analysis

For each section, echoes along the water column were separated into three sizes according to their target strength: weak echoes ranging from -56 to -62 dB, medium echoes from -51 to -55 dB and strong echoes from -32 to -50 dB. For each target strength group and each 10-m layer, HADAS calculated the number of individuals per hectare (ind ha^{-1}) and compactness, starting at 15 m and ending at 105 m depth.

The inshore section was dominated by the -51 to -55 dB group along all the water column, with $8,617 \text{ ind ha}^{-1}$ in the whole volume and presenting a peak of $2,667 \text{ ind ha}^{-1}$ between 25 and 35 m depth. The -56 to -62 dB group was second in density along the water column, with $5,445 \text{ ind ha}^{-1}$, peaking at 25 to 35 m, with $2,133 \text{ ind ha}^{-1}$. The -32 to -50 dB group presented the lowest density, with $3,106 \text{ ind ha}^{-1}$, having the maximum density between 45 and 55 m, with 792 ind ha^{-1} (fig. 3a). The percentage of shoaling in this section was very similar and low for the three groups. The densest section of the column, 20% of shoaling, was found around 85 m depth (fig. 4a).

The central section of the layer was the densest area, both in individuals per hectare and compactness. It was dominated by the -32 to -50 dB group, with $13,705 \text{ ind ha}^{-1}$ and a maximum of $3,847 \text{ ind ha}^{-1}$ at 65 m. The -51 to -55 dB group was next in density, with $5,369 \text{ ind ha}^{-1}$, peaking at 25 to 35 m depth, with $2,617 \text{ ind ha}^{-1}$. The -56 to -62 dB group was the least abundant, with $2,532 \text{ ind ha}^{-1}$ in the whole water column and a maximum density of $1,558 \text{ ind ha}^{-1}$ between 25 and 35 m (fig. 3b). The maximum percentage of shoaling was presented by the -32 to -50 dB group. Between 65 and 75 m, nearly 100% of the organisms with this target strength were found in

a los organismos agrupados. Por ejemplo, si se registran 50 ecos en un volumen dado, entonces el 25% de toda la muestra estuvo agrupada.

RESULTADOS

Muestreo de media agua con red Isaacs-Kidd

La CDP estuvo compuesta básicamente por tres grupos de organismos: los Euphausiáceos, con la especie *Euphausia eximia* Hansen 1911; un crustáceo decápodo de la familia Galatheidae, *Pleuroncodes planipes* (Stimpson, 1860); y un pez de la familia Photichthyidae, *Vinciguerria lucetta* (Garman, 1899) (tabla 1).

Análisis hidroacústico

Para cada sección de la CDP se separaron los ecos en tres intervalos de acuerdo con su FB a lo largo de la columna de agua: los ecos débiles de -56 a -62 dB, los ecos moderados de -51 a -55 dB y los ecos fuertes de -32 a -50 dB. La densidad y porcentaje de agrupamiento por cada grupo de FB fueron estimados en capas de 10 m, desde los 15 a los 105 m de profundidad.

A lo largo de toda la columna de agua, la sección de la CDP más cercana a la costa estuvo dominada por el grupo de -51 a -55 dB, con un total de $8,617 \text{ ind ha}^{-1}$, presentando un pico de $2,667 \text{ ind ha}^{-1}$ entre los 25 y 35 m. El grupo de -56 a -62 dB fue el segundo en abundancia, con $5,445 \text{ ind ha}^{-1}$, mostrando su mayor abundancia entre los 25 y 35 m, con $2,133 \text{ ind ha}^{-1}$. El grupo de -32 a -50 dB presentó las menores densidades, $3,106 \text{ ind ha}^{-1}$, teniendo su mayor densidad entre los 45 y 55 m, con 792 ind ha^{-1} (fig. 3a). El porcentaje de compactación en esta sección fue similar y muy reducida para los tres grupos. La sección más densa de la columna con 20% de agrupamiento, se encontró alrededor de los 85 m de profundidad (fig. 4a).

La sección central fue la porción más abundante y compacta. Fue dominada por el grupo de -32 a -50 dB, con $13,705 \text{ ind ha}^{-1}$ totales, mostrando un pico de $3,847 \text{ ind ha}^{-1}$ a los 65 m. El siguiente grupo en abundancia fue el de -51 a -55 dB, con $5,369 \text{ ind ha}^{-1}$, mostrando su mayor densidad entre 25 y 35 m, con

Table 1. Mean total length (millimeters) and mean abundance (individuals per tow) of the main components of the scattering layer recorded on the southwest coast of Baja California. Individuals were caught by Isaacs-Kidd net trawls ($n = 3$). The standard deviation is shown in parentheses.

Tabla 1. Longitud (milímetros) y abundancia promedio (individuos por lance) de los principales componentes de la capa de dispersión. Los organismos fueron recolectados con una red Isaacs-Kidd ($n = 3$). Se muestra la desviación estándar entre paréntesis.

	Mean size	Mean abundance
<i>Euphausia eximia</i>	2.07 (0.19)	2416.5 (420.5)
<i>Pleuroncodes planipes</i> *	1.30 (0.31)	407.5 (12.5)
<i>Vinciguerria lucetia</i>	3.86 (0.49)	214.5 (105.5)
Phasiphaidac	4.27 (1.26)	32.0 (5.0)
Gelatinous organisms	Not counted	

* = Mean carapace length.

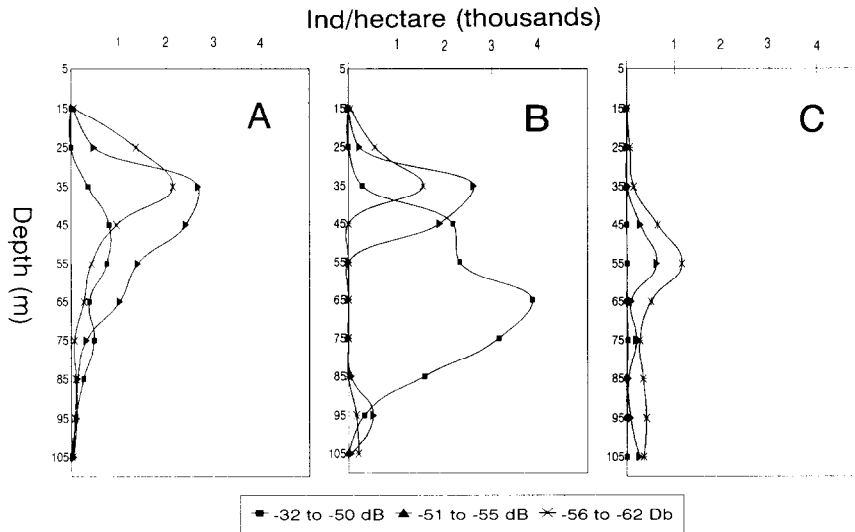


Figure 3. Density (individuals per hectare) along the water column for the (A) inshore, (B) central and (C) offshore sections of the scattering layer. Density is presented in three different groups of target strength, according to the echo intensity in decibels.

Figura 3. Abundancia (individuos por hectárea) registrada a lo largo de la columna de agua para la sección (A) costera, (B) central y (C) oceánica de la capa de dispersión. La abundancia se presenta en tres diferentes grupos de fuerza de blancos, de acuerdo con la intensidad de los ecos en decibelios.

shoals. The value of shoaling for the other two groups was very low and quite similar, peaking at 95 m with 20% of shoaling (fig. 4b).

The offshore section of the layer was the least dense. The -56 to -62 dB group dominated along the water column, with 5.455 ind ha⁻¹, peaking between 45 and 55 m, with

2.617 ind ha⁻¹. El grupo de -56 a -62 dB fue el menos abundante, 2.532 ind ha⁻¹, con una densidad máxima de 1.558 ind ha⁻¹ entre 25 y 35 m (fig. 3b). El máximo porcentaje de compactación lo tuvo el grupo de -32 a -50 dB. Los organismos de este intervalo de FB encontrados entre los 65 y 75 m mostraron una

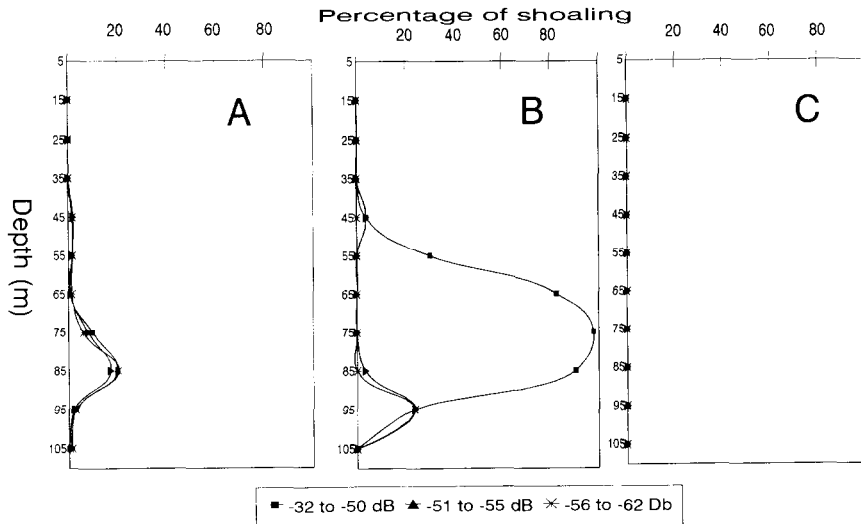


Figure 4. Degree of compactness (percentage of shoaling) of the organisms for the (A) inshore, (B) central and (C) offshore sections of the scattering layer. The percentage of shoaling is presented for three different groups of target strength, according to the echo intensity in decibels.

Figura 4. Grado de compactabilidad (porcentaje de agregación) de los organismos para la sección (A) costera, (B) central y (C) oceánica de la capa de dispersión. El porcentaje de agregación se presenta en tres diferentes grupos de fuerza de blancos, de acuerdo con la intensidad de los ecos en decibelios.

1,159 ind ha⁻¹. The -51 to -55 dB group was second in abundance, with 1,585 ind ha⁻¹ and the highest density between 45 and 55 m, with 623 ind ha⁻¹. The group with the strongest echoes presented the lowest density of the three sections, with 34 ind ha⁻¹ in the whole water column, and peaking between 65 and 75 m, with 21 ind ha⁻¹ (fig. 3c). In this section, the percentage of shoaling was zero for all the organisms (fig. 4c).

Bongo net samples

Four euphausiid species and red crab larvae dominated the samples. Only *E. eximia* and *Nyctiphanes simplex* Hansen, 1911 were also captured with the Isaacs-Kidd samples.

Mean sea surface temperature was 23.1°C, and salinity, 34.75.

DISCUSSION

An important issue in this study is to know the relation between echo-intensity and

compactación cercana al 100%. Los valores de compactación para los otros dos grupos fueron casi iguales y muy reducidos, siendo más compactos (20%) a los 95 m (fig. 4b).

La sección oceánica de la CDP fue la menos densa. El grupo que dominó en abundancia a lo largo de la columna de agua fue de -56 a -62 dB, con 5,455 ind ha⁻¹, mostrando su mayor abundancia entre 45 y 55 m, con 1,159 ind ha⁻¹. El grupo de -51 a -55 dB fue el segundo en abundancia, con 1,585 ind ha⁻¹ totales, y su mayor densidad entre 45 y 55 m, con 623 ind ha⁻¹. El grupo de los ecos más intensos presentó las más bajas densidades de las tres secciones, con 34 ind ha⁻¹ en toda la columna de agua, incrementando su abundancia entre 65 y 75 m, con 21 ind ha⁻¹ (fig. 3c). En esta sección, el porcentaje de agrupación fue de cero para los tres grupos (fig. 4c).

Muestreo con red Bongo

Cuatro especies de eufáusidos y larvas de la langostilla dominaron la muestra (tabla 2).

Table 2. Mean zooplankton biomass (ml 1,000 m⁻³) and mean abundance (ind 1,000 m⁻³) of euphausiids and red crab larvae collected with Bongo net in the three sections of the deep scattering layer.**Tabla 2.** Biomasa media zooplanctónica (ml 1.000 m⁻³) y abundancia media (ind 1.000 m⁻³) de eufáusidos y larvas de langostilla recolectadas con red Bongo en las tres secciones de la capa de dispersión profunda.

	Inshore section	Central section	Offshore section
Zooplankton biomass	2.80	0.65	2.50
Euphausiid biomass	0.18	0.25	0.40
<i>Nyctiphanes simplex</i>	35.37	17.68	1709.46
<i>Euphausia eximia</i>	82.52	44.21	88.42
<i>Euphausia distinguenda</i>	35.37		70.74
<i>Stylocheiron affine</i>	35.37		
<i>Pleuromcodes planipes</i>	35.37		309.47

organisms sampled, that is, the intensity of the echoes which organisms correspond to. Since we did not use trawls with multiple opening and closing nets (e.g., Sameoto *et al.*, 1977; Sameoto, 1980; Everson, 1982), nor did we sample specific parts of the DSL, we cannot describe the particular species composition and abundance by depth or along the DSL throughout the Isaacs-Kidd sampling.

Even though this study presents evidence about the organisms found in the water column, several problems arise. First, a single-beam transducer may not be adequate for analyzing size distribution in enough detail to discriminate between organisms. Second, one is confronted by the selective effects of the net and the echosounder, which may neglect a large proportion of the animals and sound-scattering spectra. Third, catches from Isaacs-Kidd mid-water net hauls made in DSLs of low population density may be so small as to prevent any conclusion being drawn from them. Fourth, no matter how strong the correlation between the observed scattering and the catch, one is not certain that the animals captured are indeed the agents responsible for the observed scattering.

However, in this work we can correlate different groups of target strengths with the main organisms found in the samples. During the cruise, about 180 nautical miles north (27°N, 114°W), we followed during a daily cycle the biomass variation of euphausiids caught with vertical Bongo net tows (1,000- μ m mesh size) and the density was estimated with

Solamente *E. eximia* y *Nyctiphanes simplex* Hansen, 1911 fueron capturadas también con red Isaacs-Kidd.

La temperatura superficial registrada durante el muestreo fue de 23.1°C, con una salinidad de 34.75.

DISCUSIÓN

Es importante conocer la relación entre la intensidad de ecos y la composición específica y abundancia de los organismos recolectados por medio de la red, es decir, la intensidad del eco a qué clase de organismo corresponde. Debido a que no se utilizaron redes múltiples de apertura y cierre automáticos (e.g., Sameoto *et al.*, 1977; Sameoto, 1980; Everson, 1982), ni se hicieron muestreos en partes específicas de la CDP, no es posible describir la composición de especies y abundancia en cada estrato de la columna de agua o a lo largo de la CDP, muestreada únicamente con la red Isaacs-Kidd.

Por esta razón, aunque este estudio presenta evidencias acerca de los organismos encontrados en la columna de agua, existen varios problemas que deben ser analizados. Primero, el uso de un solo haz acústico puede no ser adecuado para analizar la distribución de talla con suficiente detalle para distinguir organismos. Segundo, existe el problema del efecto selectivo de la red y de la ecosonda, los cuales pudieran no considerar una proporción de los organismos y del espectro sónico de la CDP. Tercero, las capturas realizadas con la red de

the echosounder. This analysis shows a strong relationship between the euphausiid biomass and the -56 to -62 dB group density (fig. 5). Similarly, Tucker (1951), using a 18 kHz echosounder, correlated weak echoes with euphausiids from a DSL in southern California. Weibe *et al.* (1990), using a 420 kHz echosounder, correlated the abundance of zooplanktonic crustaceans to a target strength between -51 and -88 dB. Greene *et al.* (1988), using a 420 kHz dual-beam echosounder, found that the most abundant acoustical size class was approximately -62 to -71 dB for adult euphausiids in the Gulf of Maine.

During the cruise, we made several Isaacs-Kidd net trawls along the west coast of Baja California and the hydroacoustical results showed a great proportion of echoes ranging from -51 to -56 dB. The samples of these trawls were composed mainly of *P. planipes*, which were similar in carapace length to those found during the sampling of the DSL.

Finally, since echo energy depends mainly on the difference in density between the reflecting organ and the water surrounding the fish (MacLennan and Simmonds, 1992), the strong echo group (-32 to -50 dB) was associated with *V. lucetia*, a fish with a swim-bladder, which induces most of the strong back-scattering effect (Foote, 1980). Tucker (1951) correlated strong scattering with bathypelagic fishes, mainly myctophids with gas-filled swim-bladders.

Recent studies have described the internal structure of DSLs, demonstrating different distribution patterns according to species and population structure within species (Greene *et al.*, 1991, 1992; Barange *et al.*, 1993; Cochrane *et al.*, 1994). In the present work, the hydroacoustic results show that organisms with different target strength were not distributed at random within the layer, but that an internal structure does exist, in density and compactness.

The fish *V. lucetia*, the red crabs *P. planipes* and the euphausiid *E. eximia* are part of a common assemblage of species found on the southwest coast of Baja California. Loeb *et al.* (1983) reported the structure community of ichthyoplankton in the California Current and, in

media agua Isaacs-Kidd en regiones donde la CDP presenta densidades reducidas, pueden ser demasiado bajas para obtener conclusiones adecuadas acerca de la estructura interna de la CDP. Cuarto, no importa que tan estrecha sea la relación entre la CDP registrada y las capturas obtenidas con redes; en realidad siempre existe incertidumbre de que los que se han capturado sean realmente los responsables de los ecos obtenidos.

Sin embargo, en este trabajo es posible relacionar los diferentes grupos de FB con los principales organismos encontrados en las recolecciones. Durante el crucero oceanográfico se realizó un ciclo diurno de la variación de la biomasa de eufáusidos capturados con arrastres verticales. Mediante una red Bongo (1,000 μ m luz de malla), se registraron las densidades estimadas con la ecosonda en una localidad ubicada acerca de 180 millas náuticas al norte (27°N, 114°O). A partir de este análisis, se encontró una estrecha relación entre la biomasa de eufáusidos y el grupo de -56 a -62 dB, los cuales fueron los ecos acústicos más débiles (fig. 5). De manera similar, Tucker (1951), usando un transductor de 18 kHz, correlacionó los ecos más débiles con eufáusidos encontrados en la CDP al sur de California. Weibe *et al.* (1990), usando una frecuencia de 420 kHz, correlacionó la abundancia de crustáceos zooplanctónicos con un amplio intervalo de FB, comprendido entre -51 y -88 dB. Greene *et al.* (1988), usando un transductor de haz doble con una frecuencia de 420 kHz, encontraron que el intervalo de tallas acústicas más abundante fue de aproximadamente -62 a -71 dB para eufáusidos adultos en el Golfo de Maine.

Durante el crucero, se realizaron varios muestreos con la red Isaacs-Kidd a lo largo de la costa occidental de Baja California, en regiones donde los registros hidroacústicos mostraron una clara dominancia de FB entre -51 y -56 dB. Las capturas obtenidas con la red Isaacs-Kidd en esta zona estuvieron compuestas casi en su totalidad por *P. planipes*. Estas langostillas presentaron similares tallas de capacidad a las muestreadas en la CDP.

Finalmente, la FB en peces depende principalmente de la diferencia en la densidad del órgano reflector (la vejiga natatoria) con

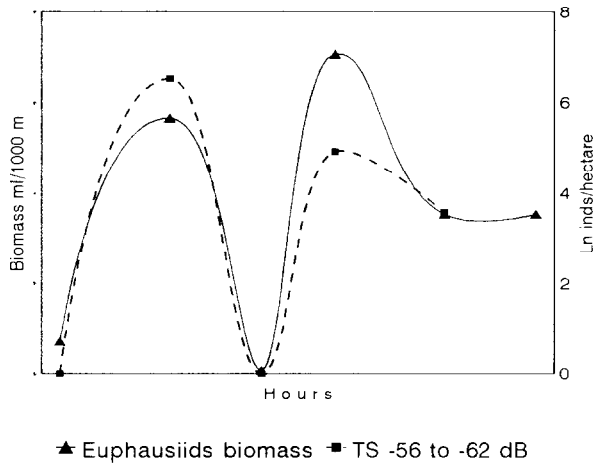


Figure 5. Density (individuals per hectare) calculated using HADAS for the target strength group of -56 to -62 dB and euphausiid biomass obtained with a Bongo net during a daily cycle.

Figura 5. Abundancia (individuos por hectárea) calculada usando el programa HADAS para la fuerza de blancos de -56 a -62 dB y la biomasa de eufáusidos obtenida con red Bongo durante un ciclo circadiano.

the most southern part of this current, *V. lucetia* was an important part of the assemblage of fishes in this region. According to Schulz (1976) and Aurióles-Gamboa (1992), the central distribution of the red crabs is found close to Bahía Magdalena, which is the main reproduction area of this species and where a permanent population could remain throughout year.

Gómez (1995) found a permanent population of *E. eximia* offshore, close to Bahía Magdalena (24° to 25° N), showing densities of adults ranging from 24 to 81 ind $1,000\text{ m}^{-3}$. The present paper seems to be the first record of a dense swarm of *E. eximia*, suggesting that this species could play an important role in the biological production in this region. According to Lavaniegos-Espejo (1994) and Gómez (1996), the species *N. simplex* is the most abundant euphausiid along the west coast of Baja California and the Gulf of California; however, no abundant swarm of this species was caught with the Isaacs-Kidd mid-water net, probably because of its small size (<1.7 cm), compared to the larger size of *E. eximia* (<2.6 cm). Using samples obtained with the Bongo net in the same area where the DSL

el agua que rodea al pez (MacLennan y Simmonds, 1992). De esta forma, el grupo de los ecos más intensos (-32 a -50 dB) fue asociado con peces que, de acuerdo con la composición específica encontrada, correspondió principalmente a *V. lucetia*, un pez que posee vejiga natatoria, el cual induce un efecto de reflexión sónica muy intensa (Foote, 1980). Similarmente, Tucker (1951) correlacionó los ecos acústicos más intensos con peces batipelágicos, principalmente mictófidios, los cuales poseen vejiga gaseosa.

Estudios recientes han descrito la estructura interna de la CDP, demostrando que ésta tiene patrones de distribución diferentes dependiendo de la composición de especies y aun de la estructura poblacional de éstas (Greene *et al.*, 1991, 1992; Barange *et al.*, 1993; Cochrane *et al.*, 1994). En el presente trabajo, los resultados hidroacústicos mostraron que los organismos presentaron una distribución no azarosa dentro de la CDP. Esto es, se encontró una estructura interna tanto en abundancia como en grado de agrupamiento.

El pez *V. lucetia*, la langostilla *P. planipes* y el eufáusido *E. eximia* son las especies que comúnmente dominan en la composición

was recorded, we found *E. eximia*, *N. simplex*, *Euphausia distinguenda* Hansen, 1911, *Euphausia tenera* Hansen, 1905, and larvae of the red crab *P. planipes*, which could be part of dense swarms of weak echoes detected by the echosounder. Except for *E. eximia* and *N. simplex*, the rest of the euphausiids and larval stages of the red crab were not caught with the Isaacs-Kidd net.

The present study is one of the first approaches to determine the relationships between the dominant species found in a DSL on the southwest coast of Baja California and the target strength recorded in the water column. Future research should focus on identifying the target strength of these organisms in terms of their size and degree of compactness, and determining their distribution and movement patterns within the scattering layer.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to all the students of the Fisheries Ecology Laboratory at the ICMYL and the *El Puma* crew for their cooperation. This research was supported by the National Council for Science and Technology, Mexico (CONACYT 0511-N9108), and by the Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI 903361). Authors are supported by a fellowship from the Sistema Nacional de Investigadores and the second author is also supported by a COFAA-IPN fellowship.

REFERENCES

- Aurioles-Gamboa, D. (1992). Inshore-offshore movements of pelagic red crabs *Pleuroncodes planipes* (Decapoda, Anomura, Galatheididae) off the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico. *Crustaceana*, 62: 71-84.
- Barange, M., Miller, D.G.M., Hampton, I. and Dunne, T.T. (1993). Internal structure of Antarctic krill *Euphausia superba* swarms based on acoustic observations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 99: 205-213.
- Batzler, W.E., Reese, J.W. and Friedl, W.A. (1975). Acoustic volume scattering: its dependence on frequency and biological
- específica en la porción sur de la península de Baja California. Loeb *et al.* (1983) mencionan que *V. lucetia* es una especie bastante abundante en la estructura de la comunidad del ictioplancton al sur de la Corriente de California. De acuerdo con Schulz (1976) y Aurióles-Gamboa (1992), el centro de distribución de la langostilla se encuentra frente a Bahía Magdalena, siendo la principal área de reproducción de la especie, y donde una parte de la población puede permanecer durante todo el año.
- Gómez (1995) encontró una población permanente de *E. eximia* localizada en la parte oceánica cerca de Bahía Magdalena (24° a 25°N), presentando abundancias entre 24 y 81 ind 1,000 m⁻³. Aparentemente, el presente estudio es el primer registro de un denso enjambre de *E. eximia*; estos resultados sugieren que esta especie puede constituir una contribución importante a la producción biológica de esta región. De acuerdo con Lavaniegos-Espejo (1994) y Gómez (1996), el eufáusido más abundante en la costa occidental de Baja California y el Golfo de California es *N. simplex*; sin embargo, éste no fue capturado con la red Isaacs-Kidd, probablemente debido a su menor talla (<1.7 cm) en comparación con *E. eximia* (<2.6 cm). Con las muestras de la red Bongo se encontraron las especies *E. eximia*, *N. simplex*, *Euphausia distinguenda* Hansen, 1911 y *Euphausia tenera* Hansen, 1905, así como larvas de la langostilla *P. planipes*, que pudieron ser parte del denso enjambre registrado por el ecosonda como ecos débiles, de -56 a -62 dB. Excepto *E. eximia* y algunos especímenes de *N. simplex*, el resto de los eufáusidos y los estadios larvarios de la langostilla no fueron recolectados con la red Isaacs-Kidd. Los arrastres de Bongo fueron más profundos que los arrastres de Isaacs-Kidd. Probablemente estas especies y las larvas de langostilla sólo se encuentren a mayores profundidades.
- El presente estudio es una de las primeras aproximaciones para determinar la relación entre las especies más abundantes y la FB acústicos registrados en la columna de agua, encontradas en la costa suroeste de Baja California. Futuras investigaciones deben ser enfocadas a identificar la FB de los organismos más abundantes en función de su talla y el grado de

- scatterers. Undersea Surveillance and Ocean Sciences Department, Naval Undersea Center, San Diego, NUC TP, 442: 1-22.
- Beers, J.R. (1976). Volumetric methods. In: H.F. Steedmann (ed.), *Zooplankton Fixation and Preservation*. Monographs on Oceanographic Methodology, Vol. IV, UNESCO, Paris, pp. 54-60.
- Cochrane, N.A., Sameoto, D.D. and Belliveau, D.J. (1994). Temporal variability of euphausiids concentrations in a Nova Scotia shelf basin using a bottom-mounted acoustic doppler current profiler. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 107: 55-66.
- Everson, I. (1982). Diurnal variations in mean volume backscattering strength of an Antarctic krill (*Euphausia superba*) patch. *J. Plankton Res.*, 4: 155-163.
- Foote, H.G. (1980). Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: a comparison of gadoid and mackerel target strengths. *J. Acoust. Soc. Am.*, 67: 2084-2089.
- Gómez, G.J. (1995). Distribution patterns, abundance and population dynamics of the euphausiids *Nyctiphanes simplex* and *Euphausia eximia* off the west coast of Baja California, Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 19: 63-76.
- Gómez, G.J. (1996). Ecology of early larval development of *Nyctiphanes simplex* Hansen (Euphausiacea) off the southwest coast of Baja California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.*, 58(1): 131-146.
- Greene, G.H., Weibe, P.H., Burczynski, J. and Youngbluth, M.J. (1988). Acoustical detection of high density krill demersal layer in the submarine canyons off George Bank. *Science*, 241: 359-361.
- Greene, G.H., Weibe, P.H., Miyamoto, R.T. and Burczynski, J. (1991). Probing the fine structure of the ocean sound-scattering layer with ROVERSE technology. *Limnol. Oceanogr.*, 36: 193-204.
- Greene, G.H., Widder, E.A., Youngbluth, M.J., Tamse, A. and Johnson, G.E. (1992). The migration behavior, fine structure, and bioluminescent activity of krill sound-scattering layers. *Limnol. Oceanogr.*, 37: 650-658.
- compactabilidad, así como determinar los patrones de distribución y movimientos de los principales componentes de la capa de dispersión profunda.
- ### AGRADECIMIENTOS
- Nuestro agradecimiento a los estudiantes del Laboratorio de Ecología de Pesquerías del ICMYL y a la tripulación del B/O *El Puma*. Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT 0511-N9108) y por la Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI 903361). Los autores pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores y el segundo autor adicionalmente a la beca de exclusividad COFAA-IPN.
-
- Guerin-Ancey, O. and David, P.M. (1993). Use of a multibeam-multifrequency sounder to study the distribution of small zooplankton. *Deep-Sea Res.*, 40: 119-128.
- Hernández-Trujillo, S., Esquivel-Herrera, A., Saldierna-Martínez, R.J. (1987). Biomasa zooplanctónica de la costa oeste de Baja California Sur (1982-1985). En: M. Ramírez-Rodríguez (ed.), *Simpósium sobre la Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México*. La Paz, BCS, México, pp. 161-169.
- Hewitt, R.P., Smith, P.E. and Brown, J.C. (1976). Development and use of sonar mapping for pelagic stock assessment in the California Current area. *Fish. Bull.*, 74: 281-297.
- Lavaniegos-Espejo, B. (1994). Dispersion and development patterns in larvae of *Nyctiphanes simplex* (Euphausiacea) in the upwelling region of Baja California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 106: 207-225.
- Loeb, J.V., Smith, P.E. and Moser, G.H. (1983). Geographical and seasonal patterns of larval fish species structure in the California Current area, 1975. *CALCOFI Rep.*, 24: 132-151.
- MacLennan, D.N. and Simmonds, E.J. (1992). *Fisheries Acoustics*. Chapman & Hall, London, 325 pp.

- Madureira, L.S.P., Ward, P. and Atkinson, A. (1993). Differences in backscattering strength determined at 120 and 38 kHz for three species of Antarctic macroplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 93: 17-24.
- Morton, K.F. and MacLellan, S.C. (1992). Acoustics and freshwater zooplankton. *J. Plankton Res.*, 14: 1117-1127.
- Napp, J.M., Ortner, P.B., Pieper, R.E. and Holliday, D.V. (1993). Biovolume-size spectra of epipelagic zooplankton using a multifrequency acoustic profiling system (MAPS). *Deep-Sea Res.*, 40: 445-459.
- Pieper, R.E., Holliday, D.V. and Kleppel, G.S. (1990). Quantitative zooplankton distributions from multifrequency acoustics. *J. Plankton Res.*, 12: 433-441.
- Roesler, C.S. and Chelton, D.B. (1987). Zooplankton variability in the California Current 1951-1982. *CALCOFI Rep.*, 28: 59-96.
- Sameoto, D.D. (1980). Quantitative measurements of euphausiids using a 120-kHz sounder and their *in situ* orientation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 693-702.
- Sameoto, D.D., Jaroszynski, L.O. and Fraser, W.G. (1977). Distribution of euphausiids scattering layers in the Gulf of St. Lawrence estuary. *Fish. Res. Board Tech. Rep.*, 430: 1-17.
- Sameoto, D.D., Cochrane, N. and Herman, A. (1993). Convergence of acoustic, optical, and net-catch estimates of euphausiid abundance: Use of artificial light to reduce net avoidance. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 334-346.
- Schulz, H. (1976). Results of the "Mexal" program *Pleuroncodes planipes* (Stimpson) in the bottom trawl catches of the research vessel *Bonn and Weser*. *Bundesforschungsanstalt für Fischerei. Ins. für Seefischerei*, 1-4.
- Smith, P.E. and Richardson, S.L. (1977). Standard techniques for pelagic fish and larvae surveys. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 175: 1-107.
- Smith, P.E., Ohman, M.D. and Eber, L.E. (1989). Analysis of the patterns of distribution of zooplankton aggregations from an acoustic Doppler current profiler. *CALCOFI Rep.*, 30: 88-103.
- Tucker, G.H. (1951). Relation of fishes and other organisms to the scattering of underwater sound. *J. Mar. Res.*, 10: 215-238.
- Walline, P.D., Pianty, S. and Lindem, T. (1992). Acoustic assessment of the number of pelagic fish in Lake Kinneret, Israel. *Hydrobiologia*, 231: 153-163.
- Weibe, P.H., Greene, C.H., Stanton T.K. and Burczynski, J. (1990). Sound scattering by life zooplankton and micronekton: Empirical with a dual-beam acoustical system. *J. Acoust. Soc. Am.*, 88: 2346-2360.