

ESTRUCTURA TERMOHALINA Y FLUJO GEOSTROFICO, EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE 1992

THERMOHALINE STRUCTURE AND GEOSTROPHIC FLOW IN THE GULF OF CALIFORNIA, DURING 1992

María Elena Fernández-Barajas
María Adela Monreal-Gómez
Adolfo Molina-Cruz

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apdo. postal 70-305
04510 México, D.F.

Recibido en diciembre de 1993; aceptado en mayo de 1994

RESUMEN

Con datos hidrográficos de dos cruceros, tomados en febrero y agosto de 1992, se describe la estructura vertical termohalina, la presencia de masas de agua en la región de la boca y parte central del golfo de California, y los flujos meridional y zonal, respectivamente. Las observaciones presentadas aquí muestran un cambio térmico muy marcado entre ambas épocas de estudio, con temperaturas superficiales alrededor de 19.00°C para febrero y 32.00°C para agosto. Los máximos de temperatura (32.75°C) y mínimos de salinidad (33.00) definen una presencia significativa de agua tropical en el interior del golfo en 1992, lo que sugiere la ocurrencia del fenómeno El Niño. Esta condición incrementó la intensidad del flujo geostrofico, y en la parte central del golfo se observaron velocidades de 95 cm s⁻¹ en febrero y 115 cm s⁻¹ en agosto.

ABSTRACT

Hydrographic data from two cruises, taken in February and August 1992, were used to describe the vertical thermohaline structure, the presence of water masses in the region of the mouth and central part of the Gulf of California, and meridional and zonal flows, respectively. The observations presented here show a marked thermal change between both seasons, with surface temperatures of about 19.00°C in February and 32.00°C in August. Thermal maxima (32.75°C) and salinity minima (33.00) define a significant presence of Tropical water in the interior of the gulf in 1992, which suggests the occurrence of the El Niño phenomenon. This condition increased the intensity of the geostrophic flow and, in the central part of the gulf, velocities of 95 cm s⁻¹ were recorded in February and of 115 cm s⁻¹ in August.

INTRODUCCION

El golfo de California es una cuenca alargada (aproximadamente 1,000 km) y estrecha (200 km, promedio aproximado) que constituye un mar marginal del océano Pacífico (Fig.1). Dentro del golfo pueden definirse convencionalmente dos áreas geográficas que tienen como

INTRODUCTION

The Gulf of California is a long (approximately 1,000 km) and narrow (approximate average 200 km) basin that constitutes a marginal sea of the Pacific Ocean (Fig. 1). Conventionally, two geographic areas can be defined within the gulf, which have Angel de la Guarda

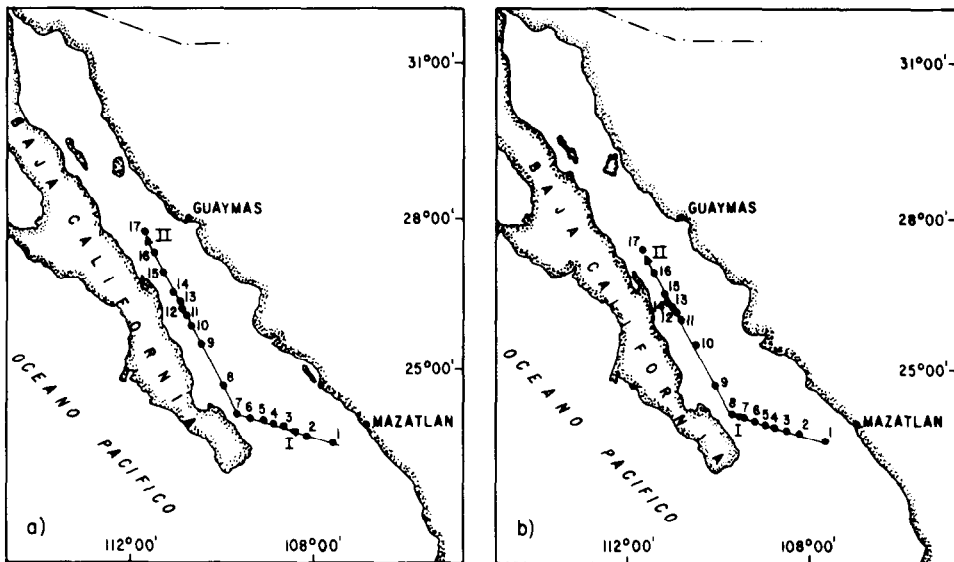


Figura 1. Área de estudio, localización de estaciones y transectos realizados durante las campañas: a) PALEO V y b) PALEO VI.
Figure 1. Study area, location of the stations and transects carried out during the cruises: a) PALEO-V and b) PALEO-VI.

frontera común las islas Angel de la Guarda y Tiburón. La parte norte es relativamente somera (< 250 m de profundidad), mientras que la porción sur alcanza profundidades mayores de 3,000 m. La frontera sur o boca del golfo es una línea imaginaria que va de cabo San Lucas a cabo Corrientes (Roden y Groves, 1959).

Prácticamente, puede considerarse que los estudios de oceanografía física del golfo de California los iniciaron Roden y Groves, en 1959. En los primeros años, la mayoría del trabajo oceanográfico se encauzó principalmente a describir la estructura hidrográfica del golfo (e.g. Roden, 1964; Robinson, 1973). Dada la dificultad para establecer una red de correntómetros en el golfo, durante un tiempo su dinámica fue inferida en forma cualitativa, a través del análisis de la distribución de parámetros fisico-químicos. Posteriormente, las investigaciones han evolucionado y han transformado el análisis cualitativo en una solución cuantitativa, mediante la obtención del flujo geostrofico (e.g. Warsh y Warsh, 1971; Roden, 1972; Rosas-Cota, 1977; Marinone y Ripa, 1988; Ripa y Marinone, 1989).

En el golfo de California, la intensidad del campo de vientos es máxima durante invierno y

and Tiburón islands as a common border. The northern part is relatively shallow (< 250 m), whereas the southern part has depths greater than 3,000 m. The southern limit or mouth of the gulf is formed by an imaginary line from Cabo San Lucas to Cabo Corrientes (Roden and Groves, 1959).

Physical oceanographical studies of the Gulf of California may be considered to have been initiated by Roden and Groves in 1959. At first, most of the oceanographic work was mainly aimed at describing the hydrographic structure of the gulf (e.g. Roden, 1964; Robinson, 1973). In view of the difficulty of establishing a network of current meters in the gulf, for a time its dynamics was qualitatively inferred, through the analysis of the distribution of physicochemical parameters. Later, the investigations evolved and transformed the qualitative analysis into a quantitative solution, by obtaining the geostrophic flow (e.g. Warsh and Warsh, 1971; Roden, 1972; Rosas-Cota, 1977; Marinone and Ripa, 1988; Ripa and Marinone, 1989).

In the Gulf of California, the intensity of the wind field is maximum during winter and spring, when northwesterly winds predominate.

primavera, cuando la dirección de éstos es predominantemente del noroeste. En verano, el viento es del sureste y a menudo produce lluvias, debido a que lleva aire húmedo al interior del golfo (Roden, 1958; Molina-Cruz, 1988).

Durante el invierno y principio de la primavera boreal, las aguas superficiales y subsuperficiales del Pacífico oriental tropical penetran sólo en la región de la boca del golfo. Sin embargo, en verano se introducen prácticamente en toda la porción sur del golfo, hasta las islas Angel de la Guarda y Tiburón (Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

El sistema de corrientes marinas en el golfo es complejo, debido a que en él influye una gran diversidad de factores fisicoquímicos. Las primeras observaciones (Roden, 1958) indicaron que, en general, las corrientes superficiales cambian de dirección estacionalmente, y fluyen hacia el sureste con máxima intensidad durante el invierno y hacia el noroeste en verano. Lo anterior sugiere cierta interrelación con el campo de vientos (Molina-Cruz, 1986, 1988), aunque esto no ha sido probado. Complementariamente, la boca del golfo presenta flujos que entran y salen al Pacífico (Rosas-Cota, 1977).

Una de las características de la dinámica del golfo es la presencia de giros. En agosto de 1978, se observaron dos remolinos ciclónicos: uno entre la isla del Carmen y el río Mayo y otro en la región de la boca, entre bahía de La Paz y Topolobampo. Este último mostró cierta persistencia, dado que se había observado en abril y mayo del mismo año (Emilsson y Alatorre, 1980).

La circulación eolicocéanica antes descrita influye en la distribución de las masas de agua del golfo, particularmente en las superficiales. Aunque no todas las masas de agua identificadas en el golfo han recibido un nombre oficial, Molina-Cruz (1988) y Pérez-Cruz y Molina-Cruz (1988), describieron seis masas de agua a partir de revisión bibliográfica, análisis de la distribución de temperatura superficial y análisis del reflejo de las masas de agua en el fondo marino por la distribución de conjuntos de radiolarios (Fig. 2). Estas masas son las siguientes, procediendo de norte a sur: 1) *Agua del golfo norte*, formada al norte de las islas Tiburón y Angel de la Guarda sobre una cuenca somera (profundidad < 250 m), en consecuen-

cia. En verano, vientos surestales predominan y a menudo producen lluvia porque llevan aire húmedo al interior del golfo (Roden, 1958; Molina-Cruz, 1988).

Durante el invierno y principio de la primavera boreal, las aguas superficiales y subsuperficiales del Pacífico oriental tropical penetran sólo en la región de la boca del golfo. Sin embargo, en verano, invaden toda la porción del golfo al sur de las islas Angel de la Guarda y Tiburón (Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

El sistema de corrientes marinas en el golfo es complejo, siendo influenciado por una gran variedad de factores fisicoquímicos. Las primeras observaciones (Roden, 1958) indicaron que, en general, las corrientes superficiales cambian de dirección estacionalmente, fluyendo hacia el sureste con máxima intensidad en invierno y hacia el noroeste en verano. Esto sugiere una cierta interrelación con el campo de vientos (Molina-Cruz, 1986, 1988), aunque esto no ha sido probado. En la boca del golfo, hay flujos que entran y salen al Pacífico (Rosas-Cota, 1977).

Una de las características de la dinámica del golfo de California es la ocurrencia de remolinos. En agosto de 1978, se observaron dos remolinos ciclónicos: uno entre la isla del Carmen y el río Mayo, y el otro en la región de la boca, entre la bahía de La Paz y Topolobampo. Este último mostró cierta persistencia, ya que también se observó en abril y mayo de ese año (Emilsson y Alatorre, 1980).

La circulación oceánica influye en la distribución de las masas de agua del golfo, particularmente las que están en la superficie. Aunque no todas las masas de agua identificadas en el golfo han recibido un nombre oficial, Molina-Cruz (1988) y Pérez-Cruz y Molina-Cruz (1988), a través de una revisión bibliográfica y análisis de la distribución de la temperatura superficial y del "reflejo" de las masas de agua en el fondo del mar por la distribución de grupos de radiolarios (Fig. 2), describieron seis masas de agua, que son, de norte a sur: 1) *Agua del golfo norte*, formada al norte de las islas Tiburón y Angel de la Guarda sobre una cuenca somera (< 250 m de profundidad) y, en consecuencia, sujeta a cambios térmicos entre temporadas (de aproximadamente 15.5°C en invierno a 30°C en verano; Robinson, 1973). 2) *Agua del canal de las ballenas*,

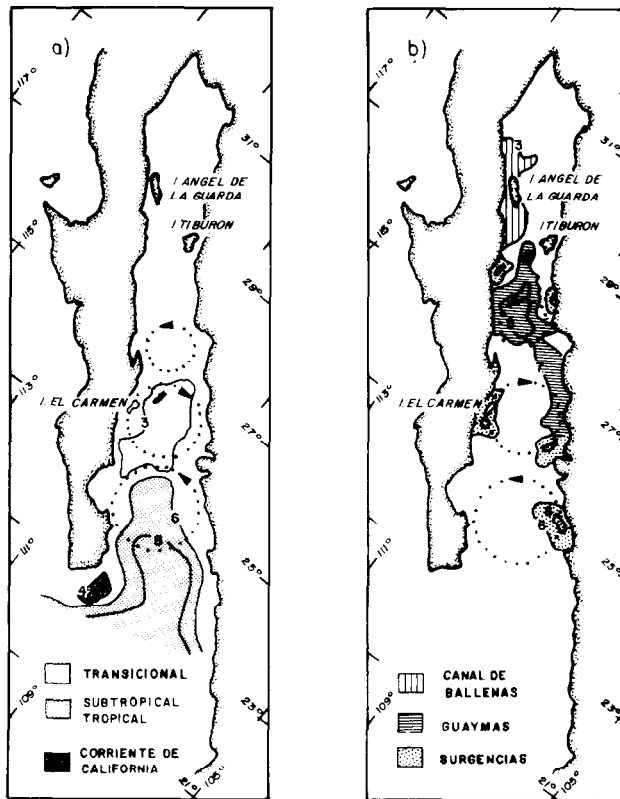


Figura 2. Distribución de masas de agua de acuerdo con Molina-Cruz (1986). Los valores de los contornos expresan densidades del factor correspondiente ($\times 10$). Sobre esta distribución se han esquematizado los giros sugeridos en este estudio.
Figure 2. Distribution of water masses according to Molina-Cruz (1986). The values of the contours express densities of the corresponding factor ($\times 10$). The eddies suggested in this study have been drawn over this distribution.

cia, sujeta a un gran cambio térmico entre estaciones climáticas (aproximadamente de 15.50°C en invierno a 30°C en verano; Robinson, 1973). 2) *Agua del canal de Ballenas*, que presenta las menores temperaturas en el interior del golfo (cerca de 14.50 y 28°C , en febrero y agosto, respectivamente), porque se forma a través de mezcla con el agua subsuperficial, por corrientes de marea muy intensas (Alvarez *et al.*, 1984). 3) *Agua de Guaymas*, caracterizada por alta productividad primaria, definida entre las islas Angel de la Guarda y Tiburón, y el paralelo 26.5° N, aproximadamente. 4) *Agua transicional* (Warsh *et al.*, 1973) o *del golfo*, definida

presenting the lowest temperatures in the interior of the gulf (approximately 14.50 and 28°C in February and August, respectively), because it results from the mixing with subsurface water by very strong tidal currents (Alvarez *et al.*, 1984). 3) *Guaymas water*, characterized by high primary productivity, is found between Angel de la Guarda and Tiburón islands and approximately 26.5° N. 4) *Transition* (Warsh *et al.*, 1973) or *Gulf water*, to the south of the Guaymas Water, extending to 24.5° N, which according to Roden (1964, 1972), is the result of evaporation exerted on the Tropical-Subtropical water that invades the gulf; this evap-

al sur del agua de Guaymas y extendida hacia el paralelo 24.5° N; de acuerdo con Roden (1964, 1972), es producto de la evaporación ejercida sobre el agua tropical subtropical que incursiona en el golfo. Esta evaporación propicia su alta salinidad ($S > 34.90$). 5) *Agua tropical subtropical* del Pacífico oriental ($T > 25^{\circ}\text{C}$; salinidad de 34.60 a 34.90), generalmente ubicada en la boca del golfo, dada su comunicación directa con el océano Pacífico. 6) *Agua de la corriente de California*, que bordea la punta de la península de Baja California, aunque no en forma clara en la superficie, sino abajo de la termoclina; es agua relativamente fría ($T < 22^{\circ}\text{C}$) y de baja salinidad ($S < 34.60$) (Robinson, 1973). La estructura termohalina en la boca del golfo es compleja debido a la mezcla de los tres últimos tipos de agua en la capa superior (Roden, 1964; Griffiths, 1968; Stevenson, 1970), e incluso crea, bajo ciertas condiciones climático-oceanográficas, frentes oceánicos (Molina-Cruz, 1988). En la subsuperficie, se encuentran en secuencia descendente: el *agua subsuperficial subtropical*, con un máximo de salinidad de 34.80 (Alvarez-Sánchez *et al.*, 1978); *agua intermedia antártica*, caracterizada por un mínimo de salinidad de 34.50 y *agua de fondo del Pacífico*, con salinidad hasta de 34.68 (Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

A lo largo de la costa, sobre la distribución de masas de agua antes descrita, es posible definir regiones de surgencias, que ocurren generalmente en la costa de la península durante el verano, y en las costas de Sonora y Sinaloa durante el invierno (Molina-Cruz, 1986).

En este trabajo se describe la hidrografía del golfo de California y, siguiendo el procedimiento geostrófico, se analizan algunos aspectos de su dinámica, de febrero y agosto de 1992. Año en que se evidenció una advección de agua superficial, relativamente caliente ($T > 25^{\circ}\text{C}$) y de baja salinidad (< 34.00) hacia el interior del golfo, particularmente en verano. Advecciones de tal naturaleza han sido observadas en los años en que se presenta El Niño (ENSO) (Philander, 1983; Baumgartner y Christensen, 1985). Este fenómeno oceanográfico, ocasiona en el golfo de California, como en otras partes del mundo, cambios ambientales evidentes; por ejemplo, alta productividad primaria en los inicios del fenómeno e incremento de lluvias

oration favours its high salinity ($S > 34.90$). 5) *Tropical-Subtropical water* of the Eastern Pacific ($T > 25^{\circ}\text{C}$; salinity 34.60-34.90), generally found at the mouth of the Gulf in view of its direct communication with the Pacific Ocean. 6) *California Current water*, bordering the tip of the Peninsula of Baja California, though not clearly at the surface but below the thermocline, which is relatively cold ($T < 22^{\circ}\text{C}$) and of low salinity ($S < 34.60$) (Robinson, 1973). The thermohaline structure at the mouth is complex due to the mixing of the three last types of water in the surface layer (Roden, 1964; Griffiths, 1968; Stevenson, 1970), even creating, under certain climatoceanographic conditions, oceanic fronts (Molina-Cruz, 1988). At the subsurface, the following are found successively with depth: *Subtropical Subsurface water*, with a salinity maximum of 34.80 (Alvarez-Sánchez *et al.*, 1978); *Antarctic Intermediate water*, characterized by a salinity minimum of 34.50; *Pacific Bottom water*, with salinity of up to 34.68 (Alvarez-Borrego and Schwartzlose, 1979).

Along the coast, above the distribution of the previously described water masses, it is possible to define upwelling regions, which generally occur off the coast of the peninsula in summer and off the coasts of Sonora and Sinaloa in winter (Molina-Cruz, 1986).

In the present study, the hydrography of the Gulf of California is described and, following the geostrophic method, some aspects of its dynamics are analysed, in February and August 1992. In this year, advection of relatively warm ($T > 25^{\circ}\text{C}$) surface water of low salinity (< 34.00) toward the interior of the gulf was observed, particularly in summer. Advections of this nature have been observed in years when El Niño (ENSO) occurs (Philander, 1983; Baumgartner and Christensen, 1985). This oceanographic phenomenon, as in other parts of the world, causes clear environmental changes in the Gulf of California. For example, high primary productivity at the onset of the phenomenon and increased rainfall (Lara-Lara *et al.*, 1984) and, consequently, an adjustment in the size and geographical location of the regional habitats (Pérez-Cruz and Molina-Cruz, 1988).

The occurrence of ENSO in 1992 has been made evident by the study of anomalies of sea

(Lara-Lara *et al.*, 1984) y, en consecuencia, ajuste en la extensión y localización geográfica de los hábitats regionales (Pérez-Cruz y Molina-Cruz, 1988).

La ocurrencia de ENSO en 1992 se ha hecho evidente al estudiar las anomalías de temperatura superficial del océano y de precipitación, así como el calentamiento a lo largo de la costa oeste de Norteamérica, el cual fue más fuerte y más extenso que el observado durante ENSO 1982-83 y 1986-87 (Wang, 1993). También, las anomalías de temperatura que ocurren en el Atlántico tropical se asociaron con El Niño 1992 (Voskresenskaya *et al.*, 1993). Por lo tanto, definir si la advección antes mencionada estuvo relacionada con el fenómeno El Niño y si ésta tuvo consecuencias en la circulación del golfo resulta un objetivo importante para este estudio.

Finalmente, el flujo geostrófico se interrelaciona con la distribución de las masas de agua obtenidas de los diagramas T-S. Estas masas de agua son reflejadas en el fondo marino por la distribución geográfica de conjuntos de radiolarios que han sido definidos mediante análisis de factores, en su modo Q (Molina-Cruz, 1986).

MÉTODOS

En la realización del presente trabajo se utilizaron datos provenientes de dos cruceros oceanográficos, PALEO V y PALEO VI, llevados a cabo del 15 al 22 de febrero y del 21 al 30 de agosto de 1992, respectivamente, a bordo del B/O *El Puma*. En ambos cruceros los datos hidrográficos fueron obtenidos mediante un CTD Neil-Brown, midiendo: conductividad, temperatura y presión en dos transectos, uno de ellos localizado a lo largo del golfo y el otro en la boca (Fig. 1). El CTD utilizado para obtener los datos analizados en este estudio fue calibrado por su fabricante (Neil Brown), un poco antes de la campaña oceanográfica PALEO V (febrero, 1992). Durante la campaña PALEO VI, se utilizaron termómetros de cubeta para medir la temperatura del agua superficial de mar obtenida con botellas de la Rosette. Las lecturas de estas mediciones y las del CTD no mostraron diferencias realmente tangibles entre sí. La salinidad y σ_t fueron calculadas en cada una de las estaciones de acuerdo con los algoritmos

surface temperature and of rainfall, as well as of heating along the west coast of North America, which was stronger and more extensive than that observed during ENSO 1982-83 and 1986-87 (Wang, 1993). Moreover, the anomalies of temperature that occur in the Tropical Atlantic were associated with El Niño 1992 (Voskresenskaya *et al.*, 1993). Therefore, this study aims to define whether the previously mentioned advection was related to the El Niño phenomenon and whether it influenced the circulation of the Gulf of California.

Finally, the geostrophic flow is interrelated with the distribution of the water masses obtained from the T-S diagrams. These water masses are "reflected" at the sea bottom by the geographical distribution of groups of radiolaria that have been defined through factor analysis, in Q-mode (Molina-Cruz, 1986).

METHODS

The data used in this study were obtained during two oceanographic cruises, PALEO-V and PALEO-VI, carried out from 15 to 22 February and from 21 to 30 August 1992, respectively, aboard the R/V *El Puma*. On both cruises, the hydrographic data were obtained with a Neil Brown CTD, measuring conductivity, temperature and pressure in two transects, one located along the gulf and the other at the mouth (Fig. 1). The CTD used to obtain the data analysed in this study was calibrated by the manufacturer (Neil Brown) a little before the PALEO-V cruise (February 1992). During the PALEO-VI campaign, bucket thermometers were used to measure the temperature of surface water obtained with Rosette bottles. The readings of these measurements and those of the CTD did not show significant differences between them. Salinity and σ_t were calculated at each station according to the algorithms of UNESCO (1983). The geostrophic velocities were obtained using the thermal wind equations (Pond and Pickard, 1978).

RESULTS

a) Hydrography

The vertical distribution of the hydrographic parameters in February 1992 (PALEO-

de UNESCO (1983). Las velocidades geostróficas se obtuvieron utilizando las ecuaciones de viento termal (Pond y Pickard, 1978).

RESULTADOS

a) Hidrografía

La distribución vertical de parámetros hidrográficos en febrero de 1992, durante la campaña PALEO V, permite observar la presencia de la termoclina, mediante un intenso gradiente vertical (Figs. 3a, 4a) desde los 50 hasta los 200 m de profundidad. Dicho gradiente es más pronunciado en el transecto I. En general, la temperatura superficial disminuye de la boca hacia el interior del golfo (Fig. 4a) y, entre las estaciones 14 y 16 se observa una elevación de las isothermas, particularmente con el afloramiento de la isolinia de 20.00°C. La salinidad aumentó con la profundidad en la capa superior, y alcanzó valores de 34.80 (Fig. 3b) aproximadamente a los 200 m, en la boca del golfo. En la sección a lo largo del golfo, existen núcleos de agua con salinidad de 35.00, a 100 m de profundidad (Fig. 4b); a partir de ese nivel, la salinidad decrece con la profundidad. Por debajo de los 150 m, en la región entre las estaciones 10 y 14, las isohalinas muestran un hundimiento, pero en la estación 15 éstas presentan surgimiento a la superficie.

En la campaña PALEO VI, llevada a cabo en agosto de 1992, se observó una fuerte estratificación (Figs. 5a, 6a) hasta aproximadamente los 150 m de profundidad. Latitudinalmente, la temperatura superficial fue muy uniforme a lo largo del transecto II, con valores de aproximadamente 32.75°C; no obstante, a la altura de la estación 15 se presentaron temperaturas ligeramente más bajas (32.09°C, aproximadamente). En esta época, se encontró una capa superficial delgada, de cerca de 20 m de espesor, con salinidades menores de 34.00 (Figs. 5b y 6b). La distribución vertical de salinidad muestra un núcleo con valores de 34.90, en la región próxima a la boca del golfo, en su lado oeste (Fig. 5b), que abarca una distancia de 100 m en la vertical y 50 km en la dirección este-oeste. Esta capa de alta salinidad (34.90) sigue definiéndose en el transecto II, incluso muestra núcleos de 35.00 entre las estaciones 11 y 12, y entre la 15 y 16.

V campaign), showing a strong gradient from 50 to 200 m depth (Figs. 3a, 4a), allows the presence of the thermocline to be observed. In general, surface temperature decreases from the mouth to the interior of the gulf (Fig. 4a) and, between stations 14 and 16, there is a rise of the isotherms, particularly with the upwelling of the 20.00°C isoline. Salinity increased with depth in the upper layer, reaching values of 34.80 (Fig. 3b) at approximately 200 m, at the mouth. In the section along the gulf, there are nuclei of water with salinity of 35.00 at 100 m depth (Fig. 4b), after which salinity decreases with depth. Below 150 m, in the region between stations 10 and 14, there is a descent of the isohalines, but at station 15 they present upwelling to the surface.

In August 1992 (PALEO-VI campaign), there was a strong stratification down to approximately 150 m depth (Figs. 5a, 6a). Latitudinally, surface temperature was uniform along transect II, with values of approximately 32.75°C. However, in the area of station 15, temperatures were slightly lower (approximately 32.09°C). At this time of year, a thin surface layer, approximately 20 m thick, was found, with salinities below 34.00 (Figs. 5b, 6b). The vertical distribution of salinity shows a nucleus with values of 34.90 in the region near the mouth, on its western side (Fig. 5b), covering a distance of 100 m vertically and of 50 km in east-west direction. This layer of high salinity (34.90) continues along transect II, presenting nuclei of 35.00 between stations 11 and 12, and between stations 15 and 16.

b) Water masses

The T-S diagrams constructed with the physical characteristics found in the Gulf of California during February and August 1992 show a clear variation from one season to another; that is, surface temperatures lower than 24.00°C in February (Fig. 7) and higher than 32.00°C in August (Fig. 8).

The water masses identified in the study area in February 1992 were: 1) California Current water, relatively cold ($T < 23^{\circ}\text{C}$) and of low salinity ($S < 34.60$); 2) Transition or Gulf water, highly saline ($S > 34.90$) and with temperatures between 15 and 20°C; 3) Subtropical

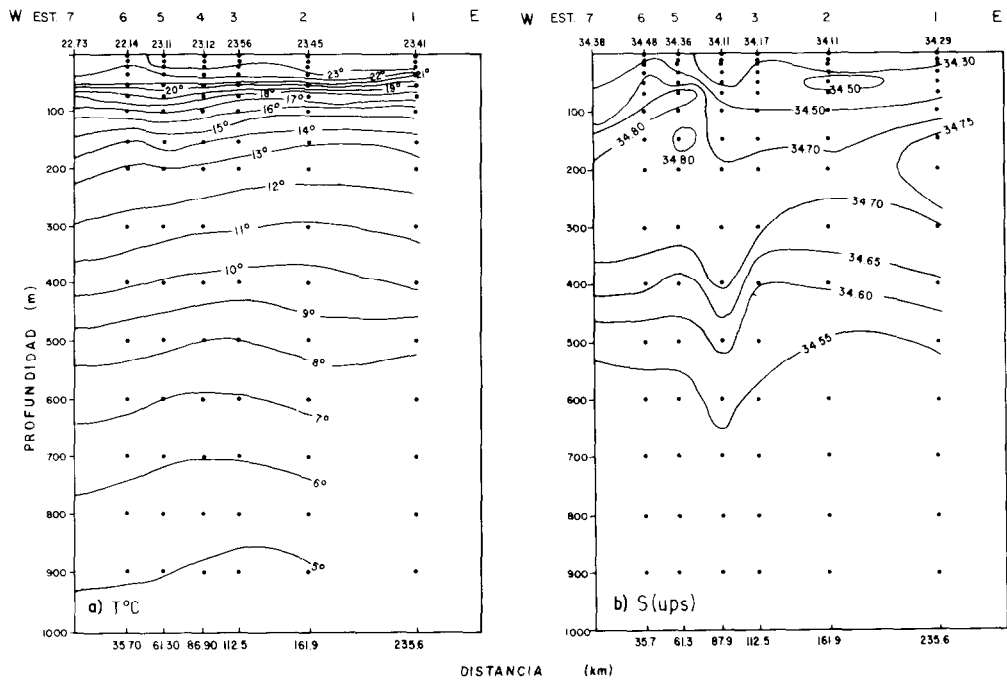


Figura 3. Secciones verticales de a) temperatura (°C) y b) salinidad (ups), durante la campaña PALEO V, en el transecto I.

Figure 3. Vertical sections of a) temperature (°C) and b) salinity (ups), during the PALEO-V cruise, in transect I.

b) Masas de agua

Los diagramas T-S estructurados con las características físicas encontradas en el golfo de California durante los meses de febrero y agosto de 1992 muestran una marcada variación de una época a otra, es decir, temperaturas superficiales por debajo de los 24.00°C en febrero (Fig. 7) y mayores de 32.00°C en agosto (Fig. 8).

Las masas de agua identificadas en la región de estudio, en febrero de 1992, fueron: 1) *agua de la corriente de California* relativamente fría ($T < 23^{\circ}\text{C}$) y de baja salinidad ($S < 34.60$); 2) *agua del golfo o transicional*, altamente salina ($S > 34.90$) y con temperaturas entre 15 y 20°C; 3) *agua subsuperficial subtropical*, también altamente salina (cerca de 34.80) pero ligeramente más fría ($10 < T < 15^{\circ}\text{C}$) que la anterior y 4) *agua intermedia antártica* de salinidad relativamente baja ($S < 34.55$).

Subsurface water, also highly saline (approximately 34.80) but slightly colder ($10 < T < 15^{\circ}\text{C}$) than Gulf water; 4) Antarctic Intermediate water of relatively low salinity ($S < 34.55$).

In August, all the water masses found in February, except for California Current water, were clearly identified at all the stations sampled, as well as Tropical Surface water, with salinities lower than 34.00 and temperatures higher than 25°C, above 50 m depth.

c) Currents

The results of the geostrophic velocity relative to 1,000 m depth (or to the bottom in the case of shallow stations), for February and August 1992, are presented in this section.

In February (PALEO-V), along transect I (Fig. 9a), outflow from the gulf was observed off the coast of the peninsula and inflow to the gulf off the mainland. The strongest of these flows occurs on the western margin of the gulf, with surface velocities of 26 cm s⁻¹. The south-

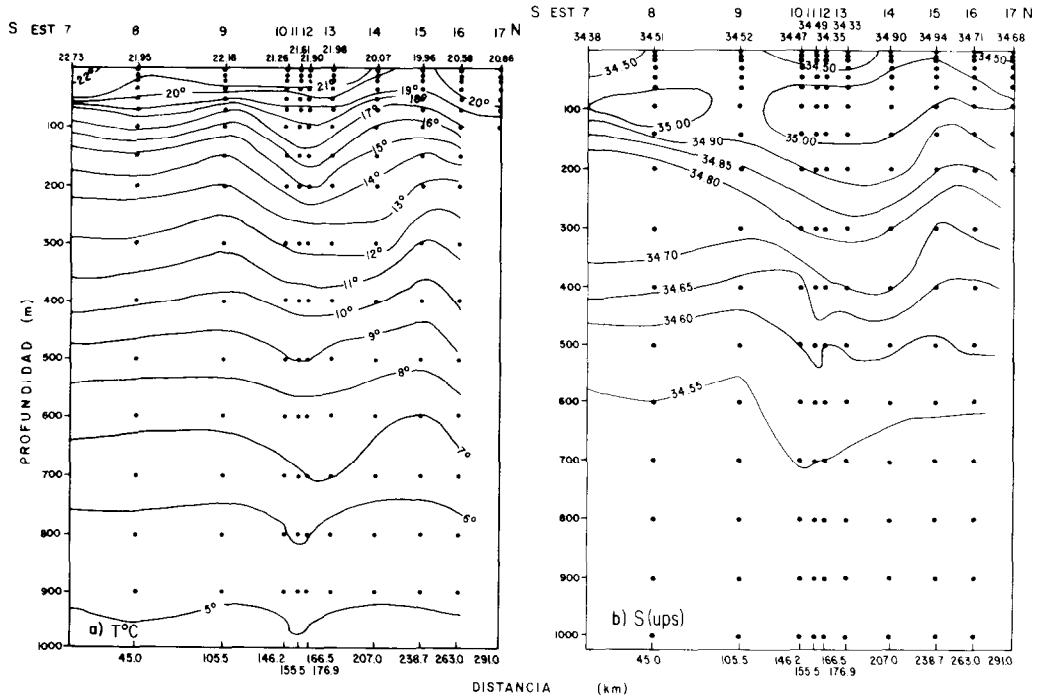


Figura 4. Secciones verticales de a) temperatura (°C) y b) salinidad (ups), durante la campaña PALEO V, en el transecto II.

Figure 4. Vertical sections of a) temperature (°C) and b) salinity (ups), during the PALEO-V cruise, in transect II.

En agosto, con excepción del agua de la corriente de California, se identificaron claramente las masas de agua encontradas en febrero, así como el agua tropical superficial con salinidades menores de 34.00 y temperaturas mayores de 25°C, arriba de los 50 m de profundidad, en el total de estaciones muestreadas.

c) Corrientes

En esta sección, se presentan los resultados de velocidad geostrofica relativa a 1,000 m de profundidad (o al fondo, en el caso de estaciones someras), para febrero y agosto de 1992.

En febrero (PALEO V), en el transecto I (Fig. 9a), se observan flujos que van hacia afuera del golfo, en la costa de la península, y hacia adentro, en la parte próxima al continente. El mayor de estos flujos está en el margen occidental del golfo, con velocidades superficiales de 26 cm s⁻¹. El flujo hacia el sur tiene una extensión horizontal aproximada de 100 km y una

ward flow extends horizontally over approximately 100 km and has a depth of 700 m. Between 750 and 850 m depth, a flow towards the interior of the gulf is weakly defined, with velocities of 2 cm s⁻¹. East of station 3, a northward flow is observed, with lower surface velocity of 18 cm s⁻¹, decreasing with depth to 5 cm s⁻¹ at 700 m. Off Sinaloa, a surface flow is observed going out of the gulf and confined to a depth of 50 m. At deeper depths, there is an inward flow of 2 cm s⁻¹.

Transect II (Fig. 9b) is characterized by presenting four alternate zonal flows. In the interior of the gulf, approximately along parallel 27°30' N, there is a flow toward the peninsula, with velocities of approximately 75 cm s⁻¹ at the surface. Further south, there is a flow toward the mainland, with surface velocities of 95 cm s⁻¹ and, still further south, there is a westward flow, with maximum velocities of 75 cm s⁻¹ at the surface. Finally, there is an eastward flow, with maximum surface velocities of

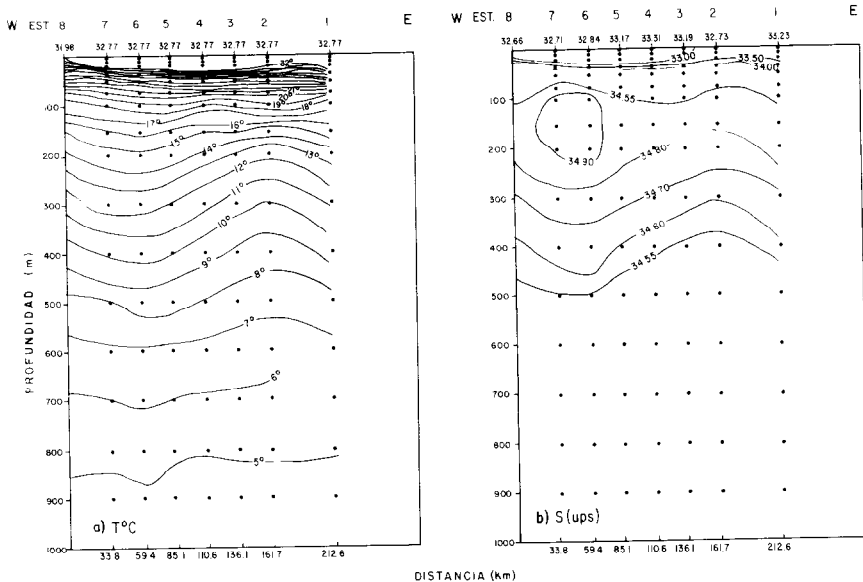


Figura 5. Secciones verticales de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y b) salinidad (ups), durante la campaña PALEO VI, en el transecto I.

Figure 5. Vertical sections of a) temperature ($^{\circ}\text{C}$) and b) salinity (ups), during the PALEO-VI cruise, in transect I.

profundidad de 700 m. Entre los 750 y 850 m de profundidad, se define débilmente un flujo hacia el interior del golfo, con velocidades de 2 cm s^{-1} . Al este de la estación 3, se observa que el flujo tiene dirección hacia el norte y velocidad superficial menor de 18 cm s^{-1} , que disminuye con la profundidad hasta 5 cm s^{-1} , a los 700 m. Contiguo a Sinaloa, se observa un flujo superficial que sale del golfo y está confinado hasta una profundidad de 50 m. A mayor profundidad hay un flujo entrante de 2 cm s^{-1} .

El transecto II (Fig. 9b), a lo largo del golfo, se caracteriza por presentar cuatro flujos zonales alternados. Partiendo del interior del golfo, aproximadamente a lo largo del paralelo $27^{\circ}30'$ N, hay un flujo hacia la península, con velocidades aproximadas de 75 cm s^{-1} en la superficie. Más al sur, se presenta un flujo con dirección hacia el continente, con velocidades superficiales de 95 cm s^{-1} ; y aún más al sur, se observa otro con dirección oeste y velocidades máximas de 75 cm s^{-1} en la superficie. Finalmente, hay un flujo hacia el este con veloci-

25 cm s^{-1} . In general, strong surface gradients are observed between the alternate flows, mainly between stations 10 and 13.

In August (PALEO-VI), the geostrophic velocities present alternate flows between the peninsula and the mainland (Fig. 10a). In the first 50 m, in the region near the peninsula, 70 km from the coast, there is a flow entering the gulf with surface velocities of up to 65 cm s^{-1} . Below it, there is a flow in the opposite direction, confined to the peninsular coast, with a width of 22 km. Continuing toward the mainland, there is a southward flow, with maximum velocities of 45 cm s^{-1} and a strong horizontal gradient between stations 5 and 6. Below the surface flow, between stations 4 and 5 and from 150 m depth, another contribution of water is detected, with maximum positive velocities of 20 cm s^{-1} . In the easternmost part of the gulf, down to 400 m depth, there is an inward flow, with surface velocities of 35 cm s^{-1} .

Along transect II (Fig. 10b), a quite complex flow pattern is observed, with nuclei of

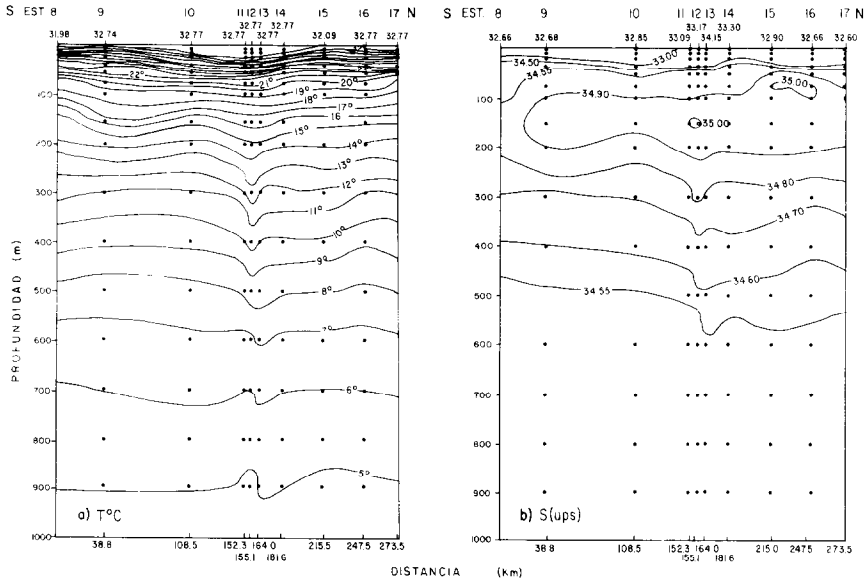


Figura 6. Secciones verticales de a) temperatura (°C) y b) salinidad (ups), durante la campaña PALEO VI, en el transecto II.

Figure 6. Vertical sections of a) temperature (°C) and b) salinity (ups), during the PALEO-VI cruise, in transect II.

dades superficiales máximas de 25 cm s^{-1} . En general, se observan fuertes gradientes superficiales entre los flujos alternados, principalmente entre las estaciones 10 y 13.

En agosto, durante el desarrollo de la travesía PALEO VI, las velocidades geostróficas presentan flujos alternados entre la península y el continente (Fig. 10a). En los primeros 50 m de profundidad, en la región próxima a la península, a 70 km de la costa, hay un flujo que entra al golfo con velocidades superficiales de hasta 65 cm s^{-1} . Abajo de éste, se presenta un flujo en sentido opuesto, confinado a la costa peninsular, con una anchura de 22 km. Siguiendo hacia el continente, se observa un flujo con dirección hacia el sur, con velocidades máximas de 45 cm s^{-1} y un fuerte gradiente horizontal entre las estaciones 5 y 6. Por debajo del flujo superficial, entre las estaciones 4 y 5, y a partir de los 150 m de profundidad, se detecta otro aporte de agua con velocidades positivas, máximas de 20 cm s^{-1} . En la porción más oriental de la boca del golfo, hasta los 400 m de profundi-

high velocity alternating in direction, both horizontally and vertically. The most rapid flows occur in the central portion of the transect, in the vicinity of Carmen Island, between stations 11 and 14. From the interior of the gulf toward the mouth, the following are observed: a surface westward flow, covering approximately 90 km of the transect; below this flow, at a depth of 50 m, near station 16, there is an eastward flow, with maximum velocities of 15 cm s^{-1} ; further south, at the surface, between stations 13 and 14, a strong gradient is defined, with maximum positive velocities of 115 cm s^{-1} .

Continuing with the sequence, there is a westward flow, almost extending to station 8. The thickness of the layer that contains this flow decreases southwards. Below this flow, between stations 10 and 12 and between 400 and 1,000 m depth approximately, an eastward transport of water is defined, with maximum velocities of 40 cm s^{-1} and average width of 30 km.

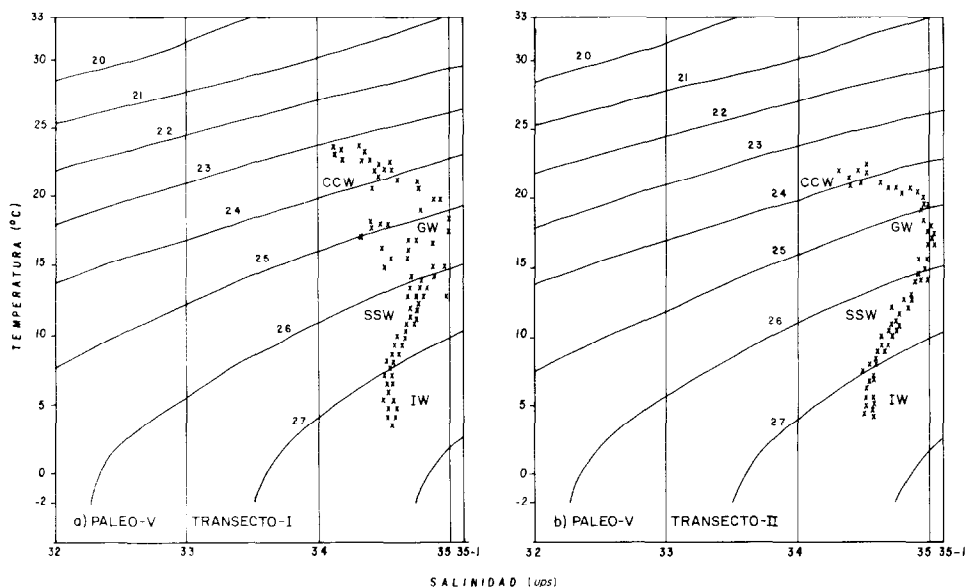


Figura 7. Diagrama T-S correspondiente a la campaña PALEO V, a) en el transecto I y b) en el transecto II.

Figure 7. T-S diagram for a) transect I and b) transect II, during the PALEO-V cruise.

dad, hay un flujo entrante con velocidades superficiales de 35 cm s^{-1} .

En el transecto II (Fig. 10b), se observa un patrón de flujos bastante complejo, con núcleos de alta velocidad que se alternan en dirección, tanto en sentido horizontal como vertical. Los flujos más rápidos, se presentan en la porción central del transecto, a la altura de isla del Carmen, entre las estaciones 11 y 14. Desde el interior del golfo hacia la región de la boca, se observan: un flujo superficial hacia el oeste, que abarca aproximadamente 90 km del transecto; por debajo de éste, a una profundidad de 50 m, próximo a la estación 16, hay un flujo hacia el este, con velocidades máximas de 15 cm s^{-1} . Más al sur, en la superficie, entre las estaciones 13 y 14, se define un fuerte gradiente con velocidades positivas máximas de 115 cm s^{-1} .

Prosiguiendo la secuencia, se observa un flujo hacia el oeste, que abarca prácticamente hasta la estación 8. El espesor de la capa que contiene este flujo disminuye hacia el sur. Por debajo de éste, entre las estaciones 10 y 12 y entre los 400 y 1,000 m de profundidad aproxi-

DISCUSSION

The thermohaline structure observed in February 1992 not only results from the distribution of water masses in the region but also from its association with the geostrophic flow. In the region of the mouth, approximately in the first 50 m, the temperatures and salinities observed correspond, in general, to those of California Current water at these latitudes; that is, temperatures of around 23°C and salinity below 34.60. Nevertheless, given the characteristics of the geostrophic flow, which dominates from the interior of the gulf to the Pacific Ocean on the western side of the mouth and vice versa on the eastern side, the distributions of temperature and salinity along the mouth are opposite. That is, temperature is relatively lower on the western side and higher on the eastern side, whereas the situation is the opposite for salinity. This distribution of temperature at the mouth can be attributed to the fact that advection of California Current waters mainly

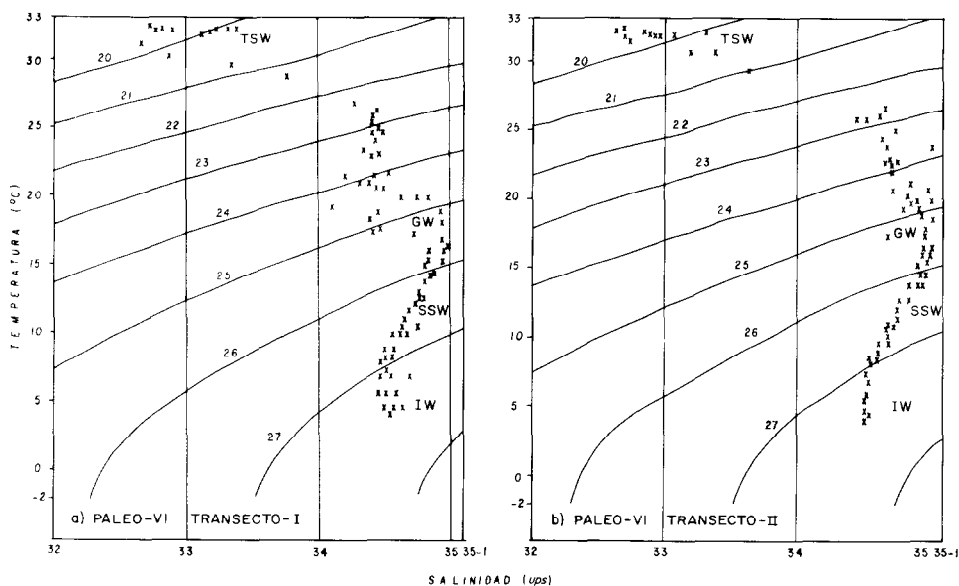


Figura 8. Diagrama T-S correspondiente a la campaña PALEO VI, a) en el transecto I y b) en el transecto II.

Figure 8. T-S diagram for a) transect I and b) transect II, during the PALEO-VI cruise.

madamente, se define transporte de agua hacia el este, con velocidades máximas de 40 cm s^{-1} y anchura promedio de 30 km.

DISCUSION

La estructura termohalina observada en febrero de 1992 no sólo resulta de la distribución de masas de agua en la región, sino también de su asociación con el flujo geostrófico. En la región de la boca del golfo, en los primeros 50 m de profundidad aproximadamente, las temperaturas y salinidades observadas corresponden, en general, a las del agua de la corriente de California en estas latitudes, es decir, temperatura alrededor de 23°C y salinidad menor de 34.60. No obstante, dadas las características del flujo geostrófico, que domina del interior del golfo hacia el océano Pacífico en el lado occidental de la boca del golfo y viceversa en el lado oriental, las distribuciones detalladas de temperatura y salinidad a lo largo de la boca, se oponen, es decir, la temperatura es relativamente menor en el lado occidental y mayor en el lado oriental,

occurs off the Baja California Peninsula. The low salinity on the eastern side of the mouth is not attributed to the incursion of Equatorial Tropical water, since it is not defined by the T-S diagrams. Therefore, these relatively low salinities are attributed to the input of the Presidio River, as indicated by Roden (1972).

Immediately below the thermocline, the relation between the high salinities ($S > 34.80$) and the direction of the geostrophic flow clearly shows that Transition or Gulf water flows toward the Pacific on the western side of the mouth and that Subtropical Subsurface water (approximate salinity 34.75) encroaches on the western side. At approximately 550 m depth, Intermediate water is present across the mouth.

Toward the interior of the gulf, the incursion of California Current water, extending to approximately $26^\circ30' \text{ N}$ (station 13), was mainly indicated by the distribution of salinity (Fig. 4b). To the north, between stations 14 and 16, the rise of the isotherms as well as the displacement of water away from the peninsula, indicated by the geostrophic scheme, suggest

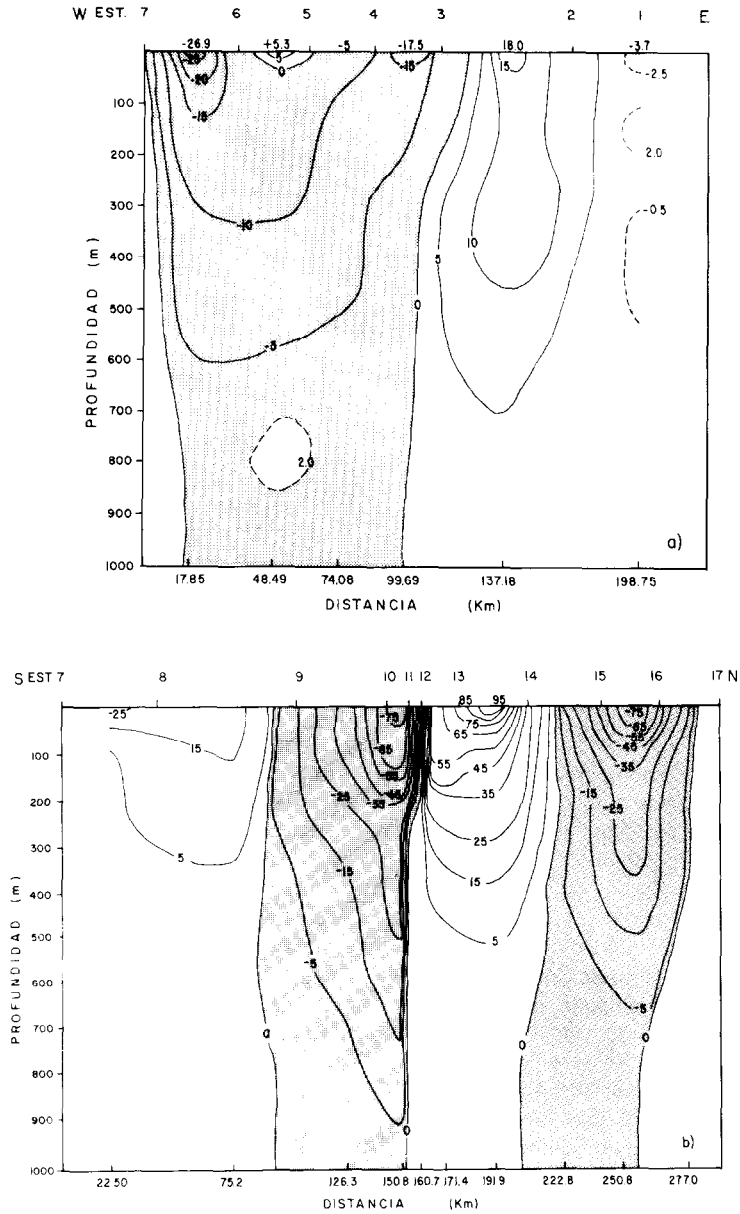


Figura 9. Distribución de la velocidad geostrofica (cm s^{-1}) durante la campaña PALEO V, a) en el transecto I y b) en el transecto II. Las velocidades positivas son hacia el norte y este, y las negativas hacia el sur y oeste.

Figure 9. Distribution of the geostrophic velocity (cm s^{-1}) during the PALEO-V cruise, a) in transect I and b) in transect II. Positive velocities are toward the north and east, and negative toward the south and west.

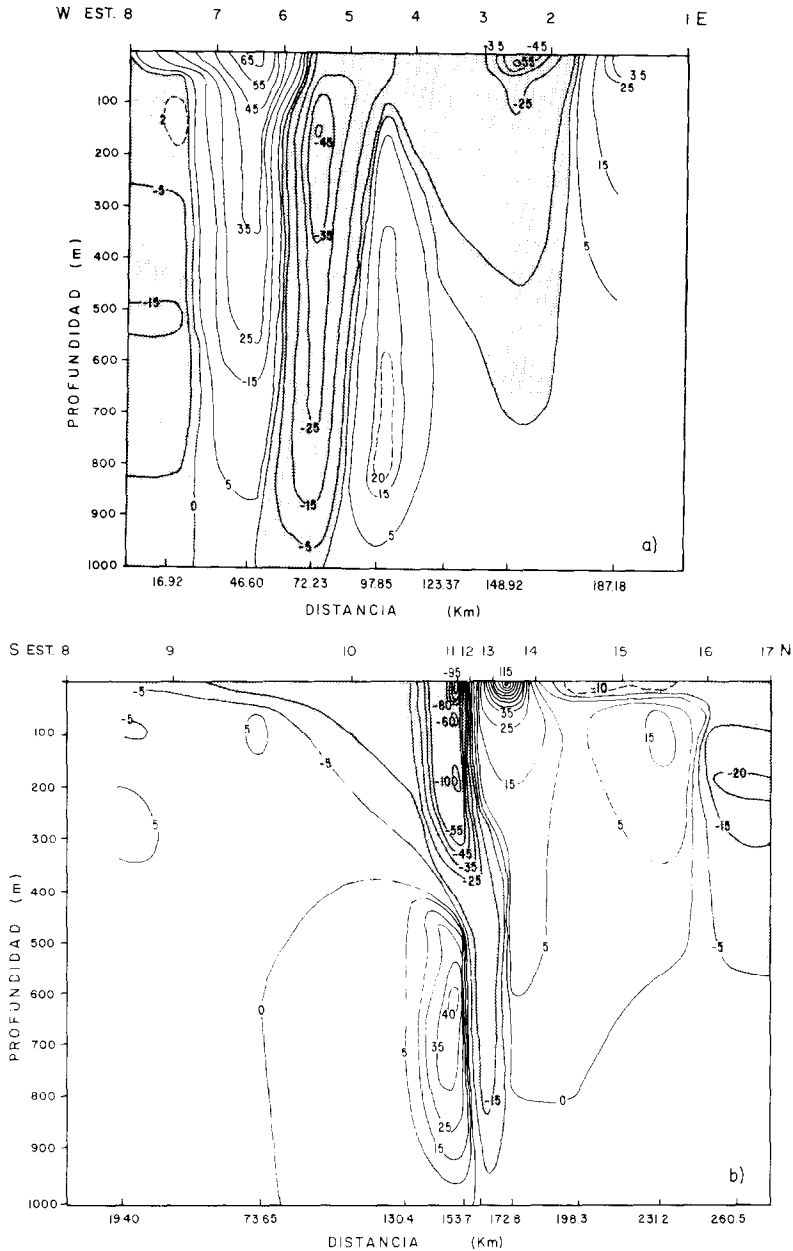


Figura 10. Distribución de la velocidad geostrofica (cm s^{-1}) durante la campaña PALEO VI, a) en el transecto I y b) en el transecto II. Las velocidades positivas son hacia el norte y este, y las negativas hacia el sur y oeste.

Figure 10. Distribution of the geostrophic velocity (cm s^{-1}) during the PALEO-VI cruise, a) in transect I and b) in transect II. Positive velocities are to the north and east, and negative to the south and west.

mientras que la situación es inversa para la salinidad. Esta distribución de temperaturas en la boca puede atribuirse a que la advección de aguas de la corriente de California ocurre principalmente alrededor de la península de Baja California. La baja salinidad en el lado oriental de la boca no se atribuye a la incursión de agua ecuatorial tropical, ya que ésta no es definida por los diagramas T-S. En consecuencia, estas salinidades relativamente bajas se atribuyen a la descarga del río Presidio, tal como lo indicó Roden (1972).

Inmediatamente abajo de la termoclina, la relación entre las altas salinidades ($S > 34.80$) y la dirección del flujo geostrófico muestra con claridad que el agua transicional o del golfo está saliendo hacia el Pacífico por el lado occidental de la boca y que el agua subsuperficial subtropical (salinidad aproximada de 34.75) está incursionando en el lado oriental. Aproximadamente a los 550 m de profundidad, el agua intermedia está presente a lo largo de la boca.

Hacia el interior del golfo, se hizo manifiesta, principalmente por la distribución de salinidad (Fig. 4b), la incursión del agua de la corriente de California, hasta aproximadamente la latitud de 26°30' N (estación 13). Al norte, entre las estaciones 14 y 16, la elevación de isotermas, así como el desplazamiento de agua hacia fuera de la península de Baja California, indicado por el esquema geostrófico, sugieren la ocurrencia de surgencias. Al igual que en el lado occidental de la boca del golfo, hacia el interior del mismo, el agua del golfo, altamente salina, se ubicó bajo la termoclina; sin embargo, se observa que es proporcionalmente llevada a la superficie por los eventos de surgencias que ocurren entre las estaciones 14 y 16.

Dada la inconveniencia de no haber calibrado el sensor de salinidad del CTD para la campaña oceanográfica realizada en agosto de 1992 (PALEO VI), los valores tan bajos ($S < 34.00$) en la superficie (Figs. 5b, 6b), pueden parecer dudosos. No obstante, se consideraron como reales, con base en la siguiente argumentación: las salinidades observadas a profundidades mayores de 50 m son congruentes con las comúnmente registradas por otros autores para esta época del año (e.g. Warsh y Warsh, 1971; Roden, 1972); entonces, no vemos porqué el CTD debiese dar lecturas

the occurrence of upwelling. As on the western side of the mouth, toward the interior of the gulf, the highly saline Gulf water was situated below the thermocline. However, it is observed that it is transported to the surface by the upwelling events that occur between stations 14 and 16.

Since the salinity sensor of the CTD was not calibrated for the PALEO-VI cruise in August 1992, the very low values ($S < 34.00$) at the surface (Figs. 5b, 6b) may appear unreliable. Nevertheless, they were considered real based on the following argument: the salinities observed at depths greater than 50 m agree with those reported by other authors for this time of year (e.g. Warsh and Warsh, 1971; Roden, 1972) and, therefore, there is no reason to believe that the CTD would give erroneous readings only in the surface layer. The absolute values of the salinity in question may still not be accepted after this argument, but it is difficult to ignore that the relative values show a surface layer, approximately 20 m wide, less saline than the subsurface ones. This environmental condition is possible if the occurrence of the El Niño phenomenon is considered, since it was present in the Pacific at this time of year (Wang, 1993; Voskresenskaya *et al.*, 1993). The high temperatures recorded in the gulf, approximately 3°C higher than the monthly mean (Robinson, 1973), support this fact. It is possible that the advection of Tropical Surface water toward the interior of the gulf, related to the El Niño phenomenon, was not solely responsible for the low surface salinities observed, but that tropical storm Lester, which occurred in the region at this time (*Servicio Meteorológico Nacional*, 1992), may have contributed to decrease the salinity even more. A similar situation was observed in the Gulf of Mexico after the pass of Hurricane Gilbert, since salinities of 33.00 were recorded in a region where salinities above 36.00 are commonly found (Alatorre-Mendieta, personal communication).

The domes or crests described by the thermal structure are generally associated with cyclonic eddies and the depressions or valleys with anticyclonic eddies (Neumann and Piereson, 1966). Therefore, observing that both the February and August thermal profiles suggest two crests and one valley (Figs. 4a, 6a) and

erróneas sólo en la capa superficial. Después de esta argumentación, es posible que los valores absolutos de la salinidad en cuestión aún no sean aceptados, pero es difícil, ignorar que los valores relativos muestran una capa superficial, de aproximadamente 20 m de espesor, menos salina que las subsuperficiales. Esta condición ambiental es posible si se considera la ocurrencia del fenómeno El Niño, ya que éste estuvo presente en el Pacífico en esta época (Wang, 1993; Voskresenskaya *et al.*, 1993). Las altas temperaturas superficiales dentro del golfo de California, aproximadamente 3°C mayores que la media mensual (Robinson, 1973), apoyan este hecho. Es probable que la advección del agua tropical superficial hacia el interior del golfo relacionada con el fenómeno El Niño no haya originado por sí sola las bajas salinidades superficiales observadas, sino que la tormenta tropical Lester, que ocurrió en la región en esta época (Servicio Meteorológico Nacional, 1992), haya contribuido a disminuir aún más la salinidad. Una situación similar fue observada en el golfo de México después del paso del huracán Gilberto, ya que en una región en que comúnmente se encuentran salinidades mayores de 36.00, se observaron salinidades de 33.00 (Alatorre Mendieta, comunicación personal).

Los domos o crestas descritos por la estructura térmica están asociados por lo general con giros ciclónicos; mientras que las depresiones o valles se relacionan con giros anticiclónicos (Neumann y Pierson, 1966). En consecuencia, observando que tanto el perfil térmico de febrero como el de agosto sugieren dos crestas y un valle (Figs. 4a, 6a) y que hay una alternancia en la dirección de flujos a lo largo del eje longitudinal del golfo (transecto II), es posible proponer la definición de los giros esquematizados sobre la Fig. 2. Este patrón de flujos geostróficos es congruente con la distribución de masas de agua superficiales que se refleja en el fondo marino por la distribución de conjuntos de radiolarios (Fig. 2; Molina-Cruz, 1986). Por ejemplo: el giro ciclónico más al sur (llamado Farallón por Emilsson y Alatorre, 1980) es el responsable de que frecuentemente se experimente incursión de agua tropical subtropical en el lado oriental del golfo y salida de agua transicional o del golfo en el lado occidental.

that the direction of the flows alternates along the longitudinal axis of the gulf (transect II), it is possible to propose the definition of the eddies schematized in Fig. 2. This pattern of geostrophic flows is consistent with the distribution of surface water masses that are "reflected" at the sea bottom by the distribution of groups of radiolaria (Fig. 2; Molina-Cruz, 1986). For example: the southernmost cyclonic eddy (called Farallón by Emilsson and Alatorre, 1980) is responsible for the frequent incursion of Tropical-Subtropical water on the eastern side of the gulf and the outflow of Transition or Gulf water on the western side.

The anticyclonic eddy defined over the Carmen Basin is very interesting, since it more or less surrounds the area where the Transition or Gulf water forms and accumulates (Fig. 2a) and apparently displaces the Guaymas water to the south, mainly on the eastern side of the gulf (Fig. 2b), as suggested by the remote sensor photographs presented by Badan-Dangon *et al.* (1985).

Though it has been argued (Molina-Cruz, 1986) that the morphologic narrowing of the gulf and the abrupt bathymetric change (of thousands to hundreds of metres) in the vicinity of Angel de la Guarda and Tiburón islands induces the intensification of the tidal currents and of water mixing, which in turn increases productivity, it must be noted that the divergent nature of the cyclonic eddy that occurs in this basin (Fig. 2b) can contribute to increase primary productivity.

Finally, note that the particularly conspicuous upwelling areas are located near the inter-eddy zones, especially where the effect of the two eddies combines to move the water away from the coast. One of these regions, under this regime, is the one adjacent to Carmen Island (Fig. 2b).

CONCLUSIONS

In the Gulf of California, during 1992, surface temperature anomalies of +3°C occurred in both seasons of this study and low salinities ($S < 34.00$) were recorded in August, thus indicating the presence of Tropical Surface water to 50 m depth. These oceanographic conditions were different to those commonly observed, as

El giro anticiclónico descrito sobre la cuenca del Carmen resulta muy interesante, ya que éste circunda, más o menos, la zona donde se forma y acumula el agua transicional o del golfo (Fig. 2a) y aparentemente desplaza al agua de Guaymas al sur, principalmente por el lado oriental del golfo (Fig. 2b), tal como lo sugieren las fotografías de percepción remota mostradas por Badan *et al.* (1985).

Aunque se ha argumentado (Molina-Cruz, 1986) que el angostamiento morfológico del golfo y el cambio batimétrico brusco (de miles a cientos de metros) en las cercanías de las islas Angel de la Guarda y Tiburón inducen la intensificación de las corrientes de marea y de mezclas de agua, lo que a su vez incrementa la productividad, debe notarse que la naturaleza divergente del giro ciclónico desarrollado en esta cuenca (Fig. 2b) puede contribuir a incrementar la productividad primaria.

Por último, obsérvese que las zonas de surgencias particularmente conspicuas, se localizan cerca de las zonas entre giros, particularmente donde se combina el efecto de dos giros para alejar el agua de la costa. Una de las regiones bajo este régimen es la contigua a isla del Carmen (Fig. 2b).

CONCLUSIONES

En el golfo de California, durante 1992, se presentaron anomalías de temperatura superficial de +3°C en las dos épocas de muestreo, y bajas salinidades ($S < 34.00$) en agosto; en consecuencia, se manifestó la presencia de la masa de agua tropical superficial, hasta 50 m de profundidad. Estas condiciones oceanográficas fueron diferentes a las comúnmente observadas, como consecuencia del desarrollo del fenómeno El Niño, el cual se manifestó principalmente en la capa superficial durante el verano. Tal condición hidrográfica no sólo representó una mayor y más extensa incursión del agua tropical en el golfo, sino también una distribución de masa con isopícnas más inclinadas, lo que a su vez intensificó el flujo geostrófico. En contraste con años "normales", en 1992 el flujo fue más intenso en verano que en invierno. El flujo geostrófico de isla Tiburón a la boca del golfo describe generalmente: un giro ciclónico en la cuenca de Guaymas, uno anticiclónico en la cuenca del

a result of the El Niño phenomenon, which was evident mainly in the surface layer during summer. This hydrographic condition not only represented a greater and more extensive incursion of Tropical water in the gulf, but also a distribution of mass with isopycnals of greater slope, which in turn intensified the geostrophic flow. In contrast to "normal" years, in 1992 the flow was stronger in summer than in winter. The geostrophic flow from Tiburón Island to the mouth generally describes: a cyclonic eddy in the Guaymas Basin, an anticyclonic eddy in the Carmen Basin and another cyclonic eddy in the Farallón Basin. These eddies are closely interrelated with the distribution and formation of the water masses of the gulf. Where two contiguous eddies combine, transporting water away from the coast, the upwelling events and surface currents intensify; for example, in the vicinity of Carmen Island, where the surface current reached approximately 115 cm s^{-1} in summer.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Captain Marcelino González (now deceased) and the crew of the R/V *El Puma* for their professionalism and help during the PALEO-V and PALEO-VI cruises. Thanks are also due to the anonymous referees, whose comments helped to improve this work.

English translation by Christine Harris.

Carmen y otro ciclónico en la cuenca Farallón. Estos giros están interrelacionados estrechamente con la distribución y formación de las masas de agua del golfo. Donde se "engranan" dos giros contiguos que alejan agua de la costa, se intensifican los eventos de surgencias y las corrientes superficiales; por ejemplo, alrededor de isla del Carmen, donde la corriente superficial alcanzó aproximadamente 115 cm s^{-1} en verano.

AGRADECIMIENTOS

Al capitán Marcelino González (que en paz descansa) y la tripulación del B/O *El Puma*, por el profesionalismo y ayuda que brindaron en las

campañas PALEO V y PALEO VI. El agradecimiento se extiende a los revisores incógnitos del manuscrito, por sus sugerencias, correcciones e indicaciones, que definitivamente mejoraron el trabajo.

REFERENCIAS

- Alvarez-Borrego, S. y Schwartzlose, R. A. (1979). Masas de agua del golfo de California. **Ciencias Marinas**, 6(1-2): 43-63.
- Alvarez-Sánchez, L.G., Stevenson, M.R. y Wyatt, B. (1978). Circulación y masas de agua en la región de la boca del Golfo de California en la primavera de 1970. **Ciencias Marinas**, 5(1): 57-69.
- Alvarez, L.G., Badan-Dangon, A. and Robles, J.M. (1984). Lagrangian observations of near-surface currents in Canal de Ballenas. **CalCOFI Rep.**, XXV: 35-42.
- Badan-Dangon, A., Koblinsky, C.J. and Baumgartner, T. (1985). Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. **Oceanologica Acta**, 8: 13-22.
- Baumgartner, T. and Christensen, N., Jr. (1985). Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. **J. Mar. Res.**, 43: 825-848.
- Emilsson, I. y Alatorre, M.A. (1980). Investigaciones recientes sobre la circulación en la parte exterior del golfo de California. Contribución No. 210, **Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM**.
- Griffiths, R.C. (1968). Physical, chemical and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California. **U.S. National Marine Fishery Service Special Scientific Report**, 573: 1-47.
- Lara-Lara, J.R., Valdez-Holguín, J.E. and Jiménez-Pérez, L.C. (1984). Plankton studies in the Gulf of California during 1982-83 El Niño. **Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter**, 28: 16-17.
- Marinone, S.G. and Ripa, P. (1988). Geostrophic flow in the Guaymas Basin, central Gulf of California. **Cont. Shelf Res.**, 8: 159-166.
- Molina-Cruz, A. (1986). Evolución oceanográfica de la boca del golfo de California. **Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM**, 13(2): 95-120.
- Molina-Cruz, A. (1988). Late quaternary oceanography of the mouth of the Gulf of California: The polycystine connection. **Paleoceanography**, 3(4): 447-459.
- Neumann, G. and Pierson, W.J. (1966). **Principles of Physical Oceanography**. Prentice-Hall, 545 pp.
- Pérez-Cruz, L. y Molina-Cruz, A. (1988). El Niño 1983: efecto sobre la distribución de los silicoflagelados del golfo de California. **Ciencias Marinas**, 14(3): 9-38.
- Philander, S.G.H. (1983). El Niño Southern Oscillation phenomena. **Nature**, 302: 295-301.
- Pond, S. and Pickard, G.L. (1978). **Introductory Dynamic Oceanography**. Pergamon International Library, 241 pp.
- Ripa, P. and Marinone, S.G. (1989). Seasonal variability of temperature, salinity, velocity, vorticity and sea level in the central Gulf of California, as inferred from historical data. **Q.J.R. Meteorol. Soc.**, 115: 887-913.
- Robinson, M.K. (1973). Atlas of monthly mean sea surface and subsurface temperatures in the Gulf of California, Mexico. **San Diego Soc. Nat. Hist.**, Memoir 5, 19 pp.
- Roden, G.I. (1958). Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. **Pacific Science**, 12(1): 21-45.
- Roden, G.I. (1964). Oceanographic aspects of the Gulf of California. Marine geology in the Gulf of California. In: T.H. van Handel and G.G. Shor Jr. (eds.). **Amer. Assoc. Petroleum Geologists**, Memoir 3: 30-58.
- Roden, G.I. (1972). Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revillagigedo Islands region. **J. Phys. Oceanogr.**, 2(2): 177-183.
- Roden, G.I. and Groves, G.W. (1959). Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. **J. Mar. Res.**, 18(1): 10-35.
- Rosas-Cota, A. (1977). Corrientes geostróficas en el golfo de California en la superficie y a 200 metros, durante las estaciones de invierno y verano. **CalCOFI Rep.**, 19: 89-106.

- Stevenson, M.R. (1970). On the physical and biological oceanography near the entrance of the Gulf of California. October 1966-August 1967. **Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.**, 14(3): 389-504.
- UNESCO (1983). **Algorithms for Computation of Fundamental Properties of Seawater**. UNESCO Technical Papers in Marine Science, 44, 53 pp.
- Voskresenskaya, E.N., Zelenko, A.A. and Polonsky, A.B. (1993). El Niño in 1991-1992 and its manifestations in the tropical Atlantic. **Phys. Oceanogr.**, (4)6: 487-495.
- Wang, X. (1993). The global climate for March-May 1992: Mature phase warm episode continues in the Tropical Pacific. **Seasonal Climate Summary**, 6: 2465-2485.
- Warsh, C.E. and Warsh, K.L. (1971). Water exchange at the mouth of the Gulf of California. **J. Geophys. Res.**, 76(33): 8098-8106.
- Warsh, C.E., Warsh, K.L. and Staley, R.C. (1973). Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. **Deep-Sea Res.**, 20: 561-570.