

**VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LOS CAMPOS DE TEMPERATURA Y SALINIDAD EN LA ZONA COSTERA DE LOS ESTADOS DE JALISCO Y COLIMA, MÉXICO**

**SEASONAL VARIABILITY OF THE TEMPERATURE AND SALINITY FIELDS IN THE COASTAL ZONE OF THE STATES OF JALISCO AND COLIMA, MEXICO**

A.E. Filonov<sup>1\*</sup>  
I.E. Tereshchenko<sup>1</sup>  
C.O. Monzón<sup>1</sup>  
M.E. González-Ruelas<sup>1</sup>  
E. Godínez-Domínguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física, CUCEI  
Universidad de Guadalajara  
Apartado postal 4-040  
Guadalajara, CP 44421, Jalisco, México  
\* E-mail: [afilonov@udgserv.cencar.udg.mx](mailto:afilonov@udgserv.cencar.udg.mx)

<sup>2</sup> Centro de Ecología Costera, CUCS  
Universidad de Guadalajara  
Melaque, CP 48980, Jalisco, México

*Recibido en febrero de 1999; aceptado en enero de 2000*

**RESUMEN**

Se presentan los resultados del análisis de datos obtenidos por una serie de levantamientos oceanográficos realizados en un polígono de monitoreo ecológico en la plataforma continental de los estados de Jalisco y Colima (México). Los levantamientos se llevaron a cabo mensualmente de 1995 a 1997 utilizando un CTD ondulante. En menos de un día se realizaron hasta 100 sondeos en estaciones con profundidad máxima de 150 m, en una malla espacial de puntos que abarca una superficie de 50 × 15 km. Los perfiles verticales de temperatura y salinidad se obtuvieron promediando los datos de los levantamientos oceanográficos. Se muestra que las distribuciones verticales de las características hidrofísicas analizadas presentan una variabilidad estacional significativa relacionada con las variaciones anuales del ingreso de energía solar, variabilidad de la evaporación, precipitación y descargas costeras en la región de estudio. Las oscilaciones estacionales abarcan una capa de agua superior a los 100 m, pero se observan con mayor intensidad en las capas subsuperficiales de las aguas costeras. Los perfiles medios presentan una alta confiabilidad estadística, ya que se suprimieron totalmente las influencias deformantes ocasionadas por las ondas internas.

*Palabras clave:* zona costera, levantamientos oceanográficos, variabilidad estacional, temperatura, salinidad.

## ABSTRACT

The results of the analysis of data obtained from a series of oceanographic surveys conducted in an ecological monitoring polygon on the continental shelf off Jalisco and Colima (Mexico) are presented. The surveys were conducted monthly between 1995 and 1997 with an undulating CTD. In one day, up to 100 soundings were made at stations with a maximum depth of 150 m, in a spatial grid of points with an area of  $50 \times 15$  km. The vertical profiles of temperature and salinity were obtained by averaging the data from the oceanographic surveys. It is shown that the vertical distributions and hydrophysical characteristics analyzed present a significant seasonal variability related to the annual variations of solar energy input and variability of evaporation, precipitation and coastal discharges in the study area. The seasonal oscillations cover a water layer greater than 100 m, but the subsurface layers of the coastal waters are observed with greater intensity. The mean profiles present a high statistical reliability, since the deformations caused by the internal waves were completely suppressed.

*Key words:* coastal zone, oceanographic surveys, seasonal variability, temperature, salinity.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas costeras del Océano Pacífico aledañas a México y en particular a los estados de Jalisco y Colima son muy productivas. Es de gran importancia conocer, en un amplio rango de escalas espaciales y temporales, la variabilidad de las condiciones hidrofísicas e hidroquímicas de la zona costera para una planeación de la actividad pesquera, así como la realización de actividades en la conservación y restablecimiento de la población de tortugas marinas. En el Departamento de Física de la Universidad de Guadalajara se realizan trabajos para el estudio de la variabilidad de los procesos dinámicos y particularmente de las ondas de marea interna en un polígono de monitoreo ecológico situado en la zona costera de los estados arriba mencionados (fig. 1). Hasta hace poco esta región era de las menos estudiadas en la zona costera del occidente de México, pero ahora es la base para estudios realizados por biólogos del Centro de Ecología Costera de la Universidad de Guadalajara.

Las masas de agua en la región de estudio se relacionan con la estructura tropical oriental del Océano Pacífico, la cual se manifiesta al oriente de los  $150^{\circ}\text{W}$  y al sur de los  $22^{\circ}\text{N}$ ,

## INTRODUCTION

The coastal waters of the Pacific Ocean off Mexico, in particular off the states of Jalisco and Colima, are very productive. It is important to understand the variability of the hydrophysical and hydrochemical conditions of the coastal zone in a wide range of spatial and temporal scales in order to regulate fishery activity and preserve sea turtles. Studies have been conducted by the Department of Physics of the University of Guadalajara on the variability of dynamic processes, particularly internal tide waves, in an ecological monitoring polygon located in the coastal zone of the above-mentioned states (fig. 1). Until recently, this region was one of the least studied in the coastal zone of western Mexico, but now it is used extensively by biologists of the Coastal Ecology Center of the University of Guadalajara.

The water masses of the study area are related to the structure of the tropical eastern Pacific Ocean, which occurs east of  $150^{\circ}\text{W}$  and south of  $22^{\circ}\text{N}$ , to approximately  $15^{\circ}\text{N}$  (Hydrology of the Pacific Ocean, 1968). In this structure, the upper surface layer to an approximate depth of 50–75 m consists of

extendiéndose aproximadamente hasta los 15°N (Hydrology of the Pacific Ocean, 1968). En esta estructura la capa superficial superior, hasta una profundidad aproximada de 50–75 m, está ocupada por agua con alta temperatura y salinidad. Esta agua se extiende hasta la capa de las aguas subsuperficiales (75–200 m) con salinidad máxima de 34.70–34.80 ups, el origen de las cuales está relacionado con la sumersión de aguas superficiales más saladas a consecuencia de la evaporación que se presenta durante todo el año. Por debajo de la capa subsuperficial de máxima salinidad se sitúa la capa intermedia de baja salinidad (300–800 m), con valores de 34.60 ups. Entre los niveles de 900 y 3500 m se encuentra la masa de agua profunda cuyos índices de temperatura y salinidad tienen un núcleo de 3°C y 34.60 ups, respectivamente. Todo el volumen de agua restante por debajo de los 3500 m está ocupado por la masa de agua de fondo, con valores de 1.4°C y 34.80 ups (Hydrology of the Pacific Ocean, 1968; Atlas of the Oceans: Pacific Ocean, 1974).

Con anterioridad se realizaron estudios de la estructura de las masas de agua en la región del Océano Pacífico aledaña a la zona costera de los estados de Jalisco y Colima, con base en algunas decenas de estaciones oceanográficas, en primavera (abril) y otoño (noviembre) (Filonov *et al.*, 1996a). La mayoría de estas estaciones se encontraban en el talud continental y no abarcaban la región de la plataforma continental. El trabajo mostró que la diferencia entre las distribuciones promedio de  $T(z)$  y  $S(z)$  es significativa sólo en los primeros 200 m, en donde las distribuciones alcanzan diferencias aproximadas de 8°C y 0.15 ups. En otoño, en el nivel de 50 m, los valores máximos de las desviaciones medias cuadráticas de temperatura fueron de  $\pm 1.831^\circ\text{C}$  ( $T_{\text{máx}} = 27.21^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{mín}} = 16.40^\circ\text{C}$ ) y de salinidad de  $\pm 0.167$  ups ( $S_{\text{máx}} = 34.85$  ups,  $S_{\text{mín}} = 34.50$  ups). Esta gran amplitud en las oscilaciones de temperatura y

water of high temperature and salinity. This water extends to the subsurface water layer (75–200 m), with a maximum salinity of 34.70–34.80 psu, which results from the submersion of more saline surface waters caused by evaporation throughout the year. Below the maximum salinity subsurface layer is the low salinity intermediate layer (300–800 m), with values of 34.60 psu. The deep-water mass occurs between 900 and 3500 m, with temperature and salinity values of 3°C and 34.60 psu, respectively. The water below 3500 m is made up of the bottom water mass, with values of 1.4°C and 34.80 psu (Hydrology of the Pacific Ocean, 1968; Atlas of the Oceans: Pacific Ocean, 1974).

The structure of the water masses in the area of the Pacific Ocean off the coastal zone of Jalisco and Colima was studied at several oceanographic stations in spring (April) and autumn (November) (Filonov *et al.*, 1996a). Most of the stations were located on the continental slope and did not include the continental shelf. The results show that the difference between the average distributions of  $T(z)$  and  $S(z)$  is only significant in the first 200m, where differences in the distributions are around 8°C and 0.15 psu. In autumn, the maximum values at the 50-m level of the root mean square deviations of temperature were  $\pm 1.831^\circ\text{C}$  ( $T_{\text{max}} = 27.21^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{min}} = 16.40^\circ\text{C}$ ) and of salinity,  $\pm 0.167$  psu ( $S_{\text{max}} = 34.85$  psu,  $S_{\text{min}} = 34.50$  psu). Part of the wide amplitude in the temperature and salinity oscillations in the thin subsurface layer of the ocean can be explained by the variability of the southern hydrological conditions, since the surveys were conducted mainly along the coast (latitudinally) close to 200 km. On the other hand, this region is influenced by the advection of the California Current during winter and by the surface current from the Gulf of California. In summer, southerly coastal flows pass over here, caused by the penetration of bifurcations of the North

salinidad de la capa subsuperficial delgada del océano puede ser explicada, en una parte, por la variabilidad meridional de las condiciones hidrológicas, ya que los levantamientos se realizaron de forma extendida a lo largo de la costa (latitudinalmente) cerca de 200 km. Por otra parte, en los meses de invierno esta región se encuentra bajo la influencia de la advección de la Corriente de California, así como de la corriente superficial que sale del Golfo de California. En verano pasan por aquí los flujos costeros que se desplazan desde el sur originados por la penetración de las bifurcaciones de la Contracorriente Norecuatorial a esta latitud (Burkov, 1972; De la Lanza, 1991; Badan, 1997).

La plataforma continental en esta región es muy angosta. Si se limita a la isóbata de 200 m, su anchura es de tan sólo 7–10 km. El fondo irregular de la plataforma continental se incrementa abruptamente en dirección de la fosa Central Americana que se extiende a lo largo del continente, donde las inclinaciones del fondo pueden alcanzar un ángulo de 8–10°.

La dinámica de las aguas en la región de estudio se determina por un flujo promedio con dirección noroeste en los meses de verano y en dirección contraria en invierno (De la Lanza, 1991; Badan, 1997), y por una marea barotrópica que origina en la laguna de Barra de Navidad oscilaciones de nivel del mar con un máximo de 1.2 m. También en la plataforma continental de la región se manifiestan mareas internas con periodo diurno y semidiurno. Éstas se propagan desde el lugar de su generación en el talud continental en dirección de la costa en forma de ondas solitarias que deforman fuertemente la termoclina y originan corrientes orbitales horizontales (0.3–0.5 m/s) y verticales (3–5 cm/s) (Filonov *et al.*, 1996a, 1998). Estas deformaciones presentan la forma de sumersiones solitarias asimétricas con amplitudes de hasta 25 m, con un frente delantero abrupto y uno trasero de pendiente

Equatorial Countercurrent at this latitude (Burkov, 1972; De la Lanza, 1991; Badan, 1997).

The continental shelf of this region is very narrow. If we limit it to the 200-m isobath, it is only 7–10 km wide. The bottom of the continental shelf is irregular and increases abruptly towards the Middle American Trench that extends along the continent. Here the bottom slopes can reach an angle of 8–10°.

The dynamics of the waters of the study area are determined by an average northwesterly flow during summer and a northeasterly one during winter (De la Lanza, 1991; Badan, 1997). There is also a barotropic tide that causes oscillations at the sea level in Barra de Navidad Lagoon, with a maximum of 1.2 m, as well as internal tides on the continental shelf that have a diurnal and semidiurnal period. These propagate from their point of origin on the continental slope towards the coast in the form of solitary waves that greatly deform the thermocline and cause horizontal (0.3–0.5 m/s) and vertical (3–5 cm/s) orbital currents (Filonov *et al.*, 1996a, 1998). The deformations have the shape of asymmetric solitary submersions with amplitudes of up to 25 m, with an abrupt front and a gentler sloping back. In the front of the internal tide, temperature can reach 10°C and salinity more than 1 psu in just 20–30 minutes (Filonov, 1997).

The measurements of temperature, salinity, dissolved oxygen content and other variables of the water on the shelf, obtained with traditional equipment, show strong “contamination” due to the internal tide waves. The spatial slopes of the dynamic heights caused by the internal tides can be one order of magnitude higher than the characteristic values of areas of the open ocean (Konyaev and Sabinin, 1992).

In summer and autumn, the study area is influenced by cyclones and tropical storms. It is known that the continental water mass interacts with the wind field during these events,

más suave. En el frente delantero de la marea interna el aumento de temperatura puede alcanzar 10°C y la salinidad más de 1 ups en tan solo 20–30 minutos (Filonov, 1997).

La temperatura, salinidad, contenido de oxígeno disuelto en el agua y otras variables, medidas en la plataforma con ayuda de equipo tradicional, muestran una fuerte “contaminación” debido a las ondas internas de marea. Las inclinaciones espaciales de las alturas dinámicas originadas por las mareas internas pueden superar en un orden de magnitud a los valores característicos de las regiones de mar abierto (Konyaev y Sabinin, 1992).

La región de estudio en verano y otoño sufre la influencia de ciclones y tormentas tropicales. Es conocido que la masa de agua continental interacciona con el campo de viento durante estos eventos, lo cual provoca la generación de ondas baroclínicas y barotrópicas continentales que deforman las isopícnas y generan corrientes, cambios de temperatura y otras variables hidrofísicas. En la costa occidental de México, las ondas barotrópicas continentales presentan velocidades de fase de 1.5–2 m/s, con escalas de 500–1000 km a lo largo de la costa y de 100–200 km transversalmente a ella. Éstas provocan la elevación del nivel en la costa de 10–30 cm (Enfield y Allen, 1983; Brink, 1991; Gjevik y Merrifield, 1993, y otros). De acuerdo con Jáuregui (1995), en 29 años de observaciones (1961–1990) se originaron 144 ciclones tropicales cerca de la costa mexicana del Océano Pacífico. En promedio, las trayectorias de sus movimientos pasaron con dirección noroeste a una distancia de 300–500 km de la costa. Sin embargo, durante el periodo mencionado se señalan sólo seis casos de ciclones tropicales que entraron a la sección de las costas de Manzanillo y Barra de Navidad.

Cerca de Barra de Navidad en la plataforma continental, para la capa de 0–100 m la frecuencia de Väisälä promedio durante verano es

which generates baroclinic and barotropic continental waves that deform the isopycnics, as well as currents and changes in temperature and other hydrophysical variables. On the west coast of Mexico, the barotropic continental waves present phase speeds of 1.5–2 m/s, with scales of 500–1000 km parallel to the coast and of 100–200 km perpendicular to the coast. These cause a rise in the level of the coast of 10–30 cm (Enfield and Allen, 1983; Brink, 1991; Gjevik and Merrifield, 1993, and others). According to Jáuregui (1995), in 29 years of observations (1961–1990), 144 tropical storms were generated close to the Mexican coast of the Pacific Ocean. On average, the trajectories of their movements were to the northwest to a distance of 300–500 km from the coast. However, during this period, only six cases of tropical cyclones were noted to enter the section of coast off Manzanillo and Barra de Navidad.

On the continental shelf off Barra de Navidad, the average Väisälä frequency in the 0–100 m layer is 10 cycles/h during summer and 5 cycles/h during winter (Filonov *et al.*, 1996b). This gives an approximate radius for the baroclinic deformation of 36 km during summer and of 18 km during winter. Consequently, structures in the shape of vortices can be expected in the hydrophysical fields of the study area, in which the linear dimensions are comparable to the dimensions of the polygon.

In the study of seasonal variability of the processes that occur on the continental shelf, the influence of the processes mentioned must be filtered beforehand. A method was recently proposed to conduct a fast oceanographic survey in a continuous grid of stations with an undulating CTD (Filonov *et al.*, 1996a), that permits a detailed survey of the coastal zone in a short amount of time and the possibility of filtering the fluctuations related to internal waves and oscillations caused by other physical processes (shelf waves, vortices), with scales

de 10 ciclos/h y en invierno de 5 ciclos/h (Filonov *et al.*, 1996b). Esto da una estimación del radio de deformación baroclínica de 36 km para verano y de 18 km para invierno. Por consecuencia, en la región de estudio se puede esperar la existencia de estructuras en forma de vórtices en los campos hidrofísicos, en los que sus dimensiones lineales son comparables con las dimensiones del polígono.

Al estudiar la variabilidad estacional de los procesos que se presentan en la plataforma continental es indispensable filtrar la influencia de los procesos mencionados con anterioridad. Un método fue propuesto recientemente para la realización de un rápido levantamiento oceanográfico en una malla de estaciones continuas con ayuda de un CTD ondulante (Filonov *et al.*, 1996a), que permite, en principio, realizar en corto tiempo un levantamiento detallado de la zona costera, dando la posibilidad de filtrar las fluctuaciones relacionadas con las ondas internas y las oscilaciones originadas por otros procesos físicos (ondas de plataforma, vórtices) con escalas menores a las dimensiones del polígono, y así utilizar los datos “no contaminados” tanto para el cálculo de corrientes en la plataforma como para otros fines. En el presente trabajo estos datos fueron utilizados para el estudio de la variabilidad estacional de los perfiles verticales promedios de temperatura y salinidad en la región de estudio.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

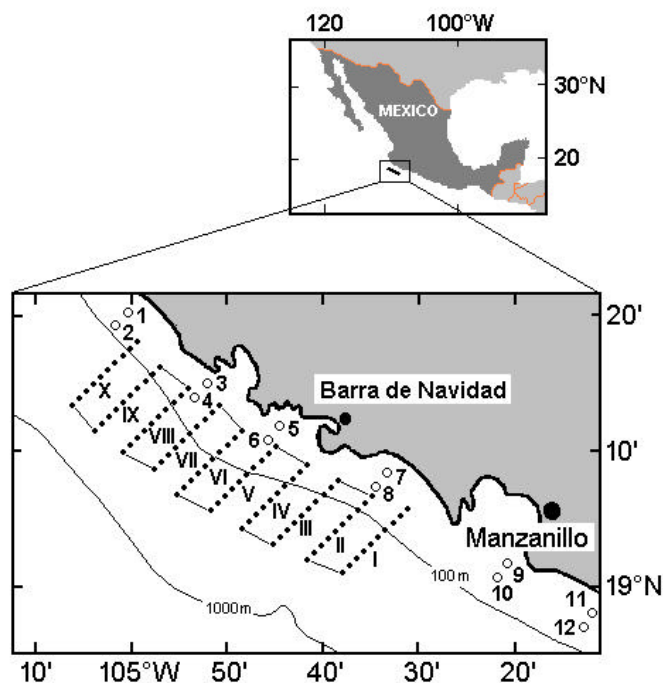
Los datos utilizados en el presente trabajo fueron obtenidos durante los años de 1995 a 1997, mediante una serie de levantamientos oceanográficos rápidos. Cada serie está compuesta por 10 transectos perpendiculares a la costa, con una distancia entre ellos cercana a los 1.5 km, en los que se realizaron 10 sondeos verticales hasta una profundidad máxima de 150 m, a bordo del *BIP-V* de la Universidad de Guadalajara (fig. 1). Las características

smaller than the dimensions of the polygon, and thus use the “uncontaminated” data to calculate the shelf currents, or for other purposes. In this work, these data were used to study the seasonal variability of the average vertical profiles of temperature and salinity in the study area.

#### **MATERIALS AND METHODS**

The data used in this study were obtained from 1995 to 1997 from a series of fast oceanographic surveys. Each series consists of ten transects perpendicular to the coast, with a distance of nearly 1.5 km between each one. In each transect, ten vertical soundings were made to a maximum depth of 150 m, from the R/V *BIP-V* of the University of Guadalajara (fig. 1). The qualitative and quantitative characteristics of the initial data are shown in table 1. The temperature and salinity profiles were measured with a SBE-19 CTD (Sea-Bird Electronics, Inc., Operating Manual, 1995), with the method described in detail by Filonov *et al.* (1996a).

Essentially, the method consists of placing the CTD in a special hydrodynamically-shaped metal structure that when towed creates a hydrodynamic elevating force. The instrument (structure and CTD) is towed at maximum speed (7 knots) with a cable whose length corresponds to the maximum depth of the sounding needed. The instrument is turned off at the sea surface due to the elevating force. Once the vessel arrives at the sounding site, it circles the site once or twice without decreasing speed. At this moment, the instrument quickly loses the horizontal component of speed and falls to the bottom by its own weight, triggering an interrupter that begins to record the parameters. The vessel then heads for the next sounding site. The drop speed of the instrument is regulated by its own weight and by a complementary dead weight. In this study,



**Figura 1.** Esquema de posición de los transectos oceanográficos en el polígono de monitoreo ecológico de las aguas, situado en la costa de los estados de Jalisco y Colima (México). Los números de los transectos se muestran con cifras y los puntos en ellos señalan la posición de los sondeos verticales de temperatura y salinidad realizados con un CTD ondulante. Los círculos con cifras identifican la posición de los sondeos verticales realizados durante los muestreos de plancton en el polígono.

**Figure 1.** Positions of the oceanographic transects in the ecological monitoring polygon off the coast of the states of Jalisco and Colima (Mexico). Roman numerals indicate the transect numbers and the dots indicate the position of the vertical soundings of temperature and salinity conducted with an undulating CTD. The circles with numbers indicate the position of the vertical soundings made during plankton samplings in the polygon.

cualitativa y cuantitativa de los datos iniciales se muestran en la tabla 1. Los perfiles de la temperatura y salinidad se midieron con ayuda de un CTD SBE-19 (Sea-Bird Electronics, Inc., Operating Manual, 1995), con el método descrito detalladamente en el trabajo de Filonov *et al.* (1996a).

Esencialmente, el método consiste en lo siguiente: el CTD se introduce en una estructura especial metálica con forma hidrodinámica, que al ser remolcada da origen a una

this speed was close to 1 m/s, which allowed us to record profiles with a discretization of 0.5 m. We planned to obtain 100 profiles during each survey of the polygon, to a maximum depth of 150 m in a grid of points that covers an area of 50 × 15 km, in less than 20 hours.

It is known that the SBE-19 CTD has different response times for the temperature and conductivity sensors. This can imply that the salinity profile, calculated with the vertical sounding data, will present frequent peaks in

**Tabla 1.** Características de los datos de los levantamientos oceanográficos del polígono realizados en los años de 1995 a 1997. CSV = cantidad de sondeos verticales. En negritas se muestra la cantidad de sondeos verticales realizados durante el muestreo de plancton.

**Table 1.** Characteristics of the data from the oceanographic surveys of the polygon conducted from 1995 to 1997. CSV = number of vertical soundings. The bold numbers indicate the vertical soundings conducted during the plankton samplings.

Mes del muestreo	1995		1996		1997		Suma por mes
	Día	CSV	Día	CSV	Día	CSV	
I			21	99	<b>26</b> 30	<b>12</b> 100	211
II					<b>19</b> 22	<b>12</b> 100	112
III			<b>28</b> 29	<b>12</b> 100	19	100	210
IV			30	100			100
V			<b>2</b> 23 24	<b>12</b> <b>12</b> 100			124
VI	15	39	<b>22</b>	<b>12</b>			51
VII	17	27	<b>24</b> 31	<b>12</b> 100			139
VIII					11	100	100
IX	29	25					25
X			1 <b>29</b>	100 <b>12</b>	31	20	132
XI	22	75	<b>17</b> 25	<b>12</b> 50			137
XII	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>12</b> 13	<b>12</b> 100	5	37	161
Suma por año		178		845		481	1504



fuerza hidrodinámica de sustentación. El aparato (estructura y CTD) es arrastrado a velocidad máxima (7 nudos) con ayuda de un cable cuya longitud corresponde a la profundidad máxima de sondeo necesitada. El aparato se encuentra apagado en la superficie del mar debido a la fuerza de sustentación. Al llegar al punto de sondeo, sin disminuir la velocidad, la nave realiza uno o dos giros alrededor de él. Desde este momento el aparato pierde rápidamente la componente horizontal de velocidad y cae al fondo bajo la acción de su propio peso; simultáneamente, se activa un interruptor de encendido con lo cual se inicia el registro de los parámetros. Posteriormente, la embarcación se dirige al siguiente punto de sondeo. La velocidad de caída del aparato se regula por su propio peso y por un peso muerto complementario. Para nuestras mediciones, esta velocidad fue cercana a 1 m/s, lo cual permitió registrar perfiles con una discretización de 0.5 m. Durante cada levantamiento del polígono se planeó obtener 100 perfiles hasta una profundidad máxima de 150 m y para una malla de puntos que cubre una superficie de  $50 \times 15$  km. El tiempo utilizado para ello fue menor que 20 horas.

Es sabido que el CTD SBE-19 tiene diferente tiempo de respuesta de los sensores de temperatura y conductividad. Esto puede llevar a que el perfil de salinidad, calculado basándose en los datos de sondeo vertical, frecuentemente presenta “picos” en los niveles con grandes gradientes verticales de temperatura. Para la eliminación de errores en el perfil de salinidad, utilizamos la metodología propuesta por Trasviña (1998). Su método permite concordar la inercialidad de los sensores a través del cálculo de la velocidad con que se sumerge el CTD ondulante durante los sondeos. La delgada estructura vertical de los perfiles iniciales de temperatura y salinidad se neutralizó por medio de un suavizado con un filtro coseno de una semianchura de 2 m.

the levels with large vertical temperature gradients. In order to eliminate the errors in the salinity profile, we used the method proposed by Trasviña (1998). This method allows the concordance of the inertness of the sensors by calculating the velocity at which the CTD submerges during the soundings. The thin vertical structure of the initial profiles of temperature and salinity is smoothed with a cosine filter with a semiwidth of 2 m.

From July 1995 to December 1997, 18 oceanographic cruises were made and a total of 1372 vertical profiles of temperature and salinity were obtained. We planned to make monthly surveys, but as shown in table 1 this was not always possible. Due to the intense tropical cyclones during summer, it was sometimes impossible to work on board the small vessel in open regions of the shelf and we had to wait for more favorable conditions. In order to avoid deformations in the average spatial representation of the thermohaline field due to swells during the months with unfavorable climatic conditions, the surveys were usually conducted three to four days after the atmospheric front had passed through the study area. Occasionally, a survey had to be called off due to technical problems with the vessel or bad weather and the number of soundings made was much lower than the 100 we had originally planned (see table 1).

We also used vertical profile data obtained from researchers of the Coastal Ecology Center during plankton samplings that were taken from a drifting vessel at 12 points in the polygon (11 surveys and 132 profiles). In all, 1504 vertical soundings were obtained and are considered sufficient for the analysis and identification of the seasonal variability of the temperature and salinity profiles.

The analysis of the temperature and salinity profiles from data pertaining to oceanographic surveys conducted on about the same days of the same months but in different years showed

De julio 1995 a diciembre de 1997 se realizaron 18 cruceros oceanográficos, durante los cuales se obtuvieron 1372 perfiles verticales de temperatura y salinidad. Los levantamientos se planearon para ser realizados una vez al mes pero, tal como se aprecia en la tabla 1, esto no se logró en su totalidad. En los meses de verano, debido a la presencia de ciclones tropicales intensos, algunas veces fue imposible trabajar a bordo de la pequeña embarcación en regiones abiertas de la plataforma y fue necesario esperar condiciones más favorables. Para evitar la deformación de la representación espacial promedio del campo termohalino debido a las marejadas, durante meses con condiciones climáticas desfavorables los levantamientos se realizaron como regla tres o cuatro días después del paso del frente atmosférico por la zona de estudio. En ocasiones fue necesario suspender el levantamiento por fallas técnicas de la nave o por mal tiempo y la cantidad de sondeos realizados fue mucho menor que los 100 planeados (ver tabla 1).

Se utilizaron complementariamente datos de perfiles verticales realizados por los investigadores del Centro de Ecología Costera durante tomas de muestras de plancton, que se realizaron con la embarcación a la deriva en 12 puntos del polígono (11 levantamientos y 132 perfiles). En total, se cuenta con 1504 sondeos verticales, que pueden considerarse como suficientes para el análisis e identificación de la variabilidad estacional de los perfiles de temperatura y salinidad.

El análisis de los perfiles de temperatura y salinidad obtenidos con base en los datos de los levantamientos oceanográficos en días cercanos a los mismos meses pero de diferentes años, mostró que su variabilidad interanual en los años de 1995 a 1997 fue mínima. Ésta no superó los valores de  $\pm 0.02^\circ\text{C}$  y  $\pm 0.01$  ups en la capa de 0–75 m y, en niveles más profundos, fue cercana a cero. La excepción fue sólo en los perfiles promedios para diciembre de 1997, en

minimum interannual variability between 1995 and 1997. It was not greater than  $\pm 0.02^\circ\text{C}$  and  $\pm 0.01$  psu in the 0–75-m layer and it was close to zero in the deeper levels. Only one exception was observed in the average profiles for December 1997, which without doubt shows the effect of the 1997–1998 El Niño (Japan Meteorological Agency, 1996–1998). The difference in temperature from the surface to 75 m was 1–2°C and in salinity up to 0.3 psu and, therefore, these data were not used.

The data obtained for the same months from different years were associated as follows: it was considered that all the surveys of the polygon were conducted during a conventional year. The average profiles of temperature and salinity calculated were placed in a time scale based on the day and month of the survey. Then a cubic spline was used for each level to smooth and interpolate the data to day 15 of each month of the annual cycle. In all, matrices were obtained of the average values  $T(z, t)$  and  $S(z, t)$  shown in figures 2, 3 and 4. Analogous matrices of the root mean square deviations  $\sigma_T(z, t)$  and  $\sigma_S(z, t)$  were calculated (fig. 5), as well as matrices of the 95% confidence level  $d_T(z, t)$  and  $d_S(z, t)$  for the mean values (fig. 6).

## RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 shows the temperature and salinity isolines for the surface layer to 150 m. Figure 3 shows the average monthly profiles of temperature and salinity in the polygon, the variability of which covers the entire water layer; however, the maximum amplitude occurs at the surface. The difference between the maximum values ( $T_{\max} = 29.31^\circ\text{C}$ , August;  $S_{\max} = 34.58$  psu, May) and minimum ( $T_{\min} = 23.27^\circ\text{C}$ , February;  $S_{\min} = 33.31$  psu, October) is 5.94°C and 1.27 psu. The annual variations decrease quickly with depth and at the 150-m level they do not exceed 0.50°C and 0.15 psu.

los cuales sin duda alguna apareció el efecto de El Niño 1997–1998 (Japan Meteorological Agency, 1996–1998). En ellos, la diferencia de temperatura desde la superficie hasta los 75 m fue de 1–2°C y de salinidad, hasta de 0.3 ups. Por ello, estos datos no fueron utilizados.

Para la conjunción de los datos obtenidos en los mismos meses de diferentes años, actuamos de la siguiente forma: se consideró que todos los levantamientos del polígono se obtuvieron en el transcurso de un año convencional. Los perfiles promedio de temperatura y salinidad calculados se colocaron en una escala de tiempo conforme al día y mes de realización del levantamiento. Posteriormente, con ayuda de un spline cúbico y para cada nivel, se realizó un suavizado e interpolación de los datos al día 15 de cada mes del ciclo anual compuesto. En suma, se obtuvieron las matrices de los valores promedios  $T(z, t)$  y  $S(z, t)$ , mostradas en las figuras 2, 3 y 4. Análogamente, se calcularon las matrices de las desviaciones cuadráticas medias  $\sigma_T(z, t)$  y  $\sigma_S(z, t)$  (fig. 5), así como las matrices al 95% del nivel de confianza  $d_T(z, t)$  y  $d_S(z, t)$  para los valores medios (fig. 6).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se presentan las isolíneas de temperatura y salinidad para la capa superficial hasta los 150 m. En la figura 3 se presentan los perfiles promedios mensuales de temperatura y salinidad en el polígono. Éstas muestran que su variabilidad abarca toda la capa de agua en estudio; sin embargo, su máxima amplitud se alcanza en la superficie. La diferencia entre los valores máximos ( $T_{\text{máx}} = 29.31^\circ\text{C}$ , agosto;  $S_{\text{máx}} = 34.58$  ups, mayo) y mínimos ( $T_{\text{mín}} = 23.27^\circ\text{C}$ , febrero;  $S_{\text{mín}} = 33.31$  ups, octubre) alcanza 5.94°C y 1.27 ups. Las variaciones anuales disminuyen rápidamente con la profundidad y en el nivel de 150 m, éstas no superan los valores de 0.50°C y 0.15 ups.

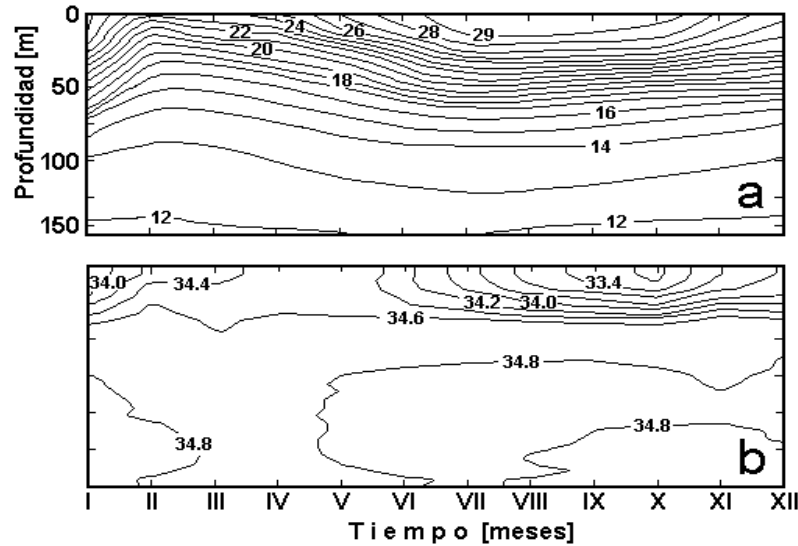
The subsurface layer in the study area is less saline from June to December, due to the intense rainfall in summer and discharges from the Cihuatlán and other rivers in autumn. During these months, salinity is lower than 34 psu from the surface to the 20- to 30-m levels. Consequently, there is a layer between the 20- and 35-m levels with large vertical gradients of salinity up to 0.1 psu/m. In this season, the isohaline of 33.4 psu is located at the 20-m level and that of 34.6 psu at the 35-m level. All the stages of formation of the low-saline subsurface layer are clearly visible in the monthly mean salinity profiles (fig. 4). All the salinity profiles meet around the 35-m level, precisely where the lower front of the layer passes, with large vertical gradients that occur during summer and autumn.

During spring (April and May), when evaporation is still not very intense because of the cool air and lack of rainfall, the halocline is adjacent to the surface and the water is more homogenous from the surface to 150 m, with salinity of 34.5–34.7 psu.

The thermocline develops throughout the year, with high vertical gradients of temperature (0.12–0.17°C/m in summer and 0.08–0.10°C in winter). From February to April, it is adjacent to the surface and deepens in the remaining months to its maximum from July to September. In August, the lower limit of the upper semihomogenous layer (23°C isotherm) is located at 13 m.

The initial data of temperature and salinity at each level in the monthly limits represent a random sample of  $n$  data. These were used to calculate the average values  $\bar{x}$  and root mean square deviations  $\sigma$  (Walpole and Myers, 1993). The 95% confidence limits of the average monthly values of temperature and salinity, were calculated with:

$$\bar{x} - d < \bar{x}_0 < \bar{x} + d \quad (1)$$



**Figura 2.** Isolíneas temporales promedio de (a) temperatura (°C) y (b) salinidad (ups) encontradas para la región del polígono con base en los levantamientos oceanográficos mensuales para la región de estudio.  
**Figure 2.** Average temporal isolines of (a) temperature (°C) and (b) salinity (psu) recorded for the polygon during the monthly oceanographic surveys of the study area.

De junio a diciembre la capa subsuperficial de la región de estudio se hace menos salobre. En los meses de verano esto sucede debido a la intensa precipitación y en otoño a la desembocadura del Río Cihuatlán y otros. En estos meses del año, desde la superficie hasta los niveles de 20 y 30 m se presenta una salinidad menor que 34 ups. Como resultado, entre los niveles de 20 y 35 m se forma una capa con grandes gradientes verticales de salinidad, hasta de 0.1 ups/m. En esta época del año la isohalina de 33.4 ups se sitúa en el nivel de 20m y la de 34.6 ups, en el de 35 m. Todas las etapas de formación de la capa subsuperficial poco salada son claramente visibles en los perfiles medios mensuales de salinidad (fig. 4). Todos los perfiles de salinidad se juntan en un punto aproximadamente en el nivel de 35 m. Precisamente por aquí pasa la frontera inferior de la capa con grandes gradientes verticales, que se presentan durante verano y otoño.

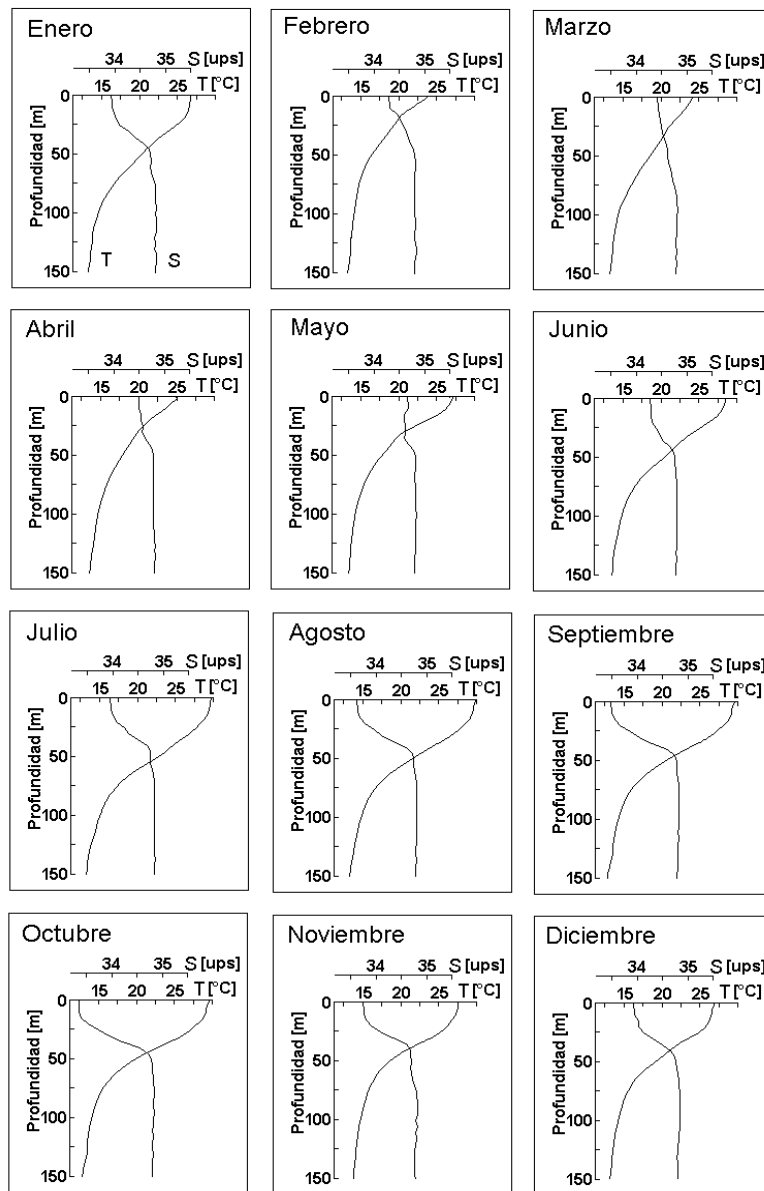
where  $d = t_{0.05} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$  is the 95% confidence level and  $t_{0.05}$  is the deviation of the average value of the partial set  $\bar{x}$  with respect to the average of the general normal set  $\bar{x}_0$ , determined as:

$$t_{0.05} = (\bar{x} - \bar{x}_0) / (R / \sqrt{N}) \quad (2)$$

where  $R$  is the unbiased estimate of the dispersion  $\sigma^2$ , calculated as:

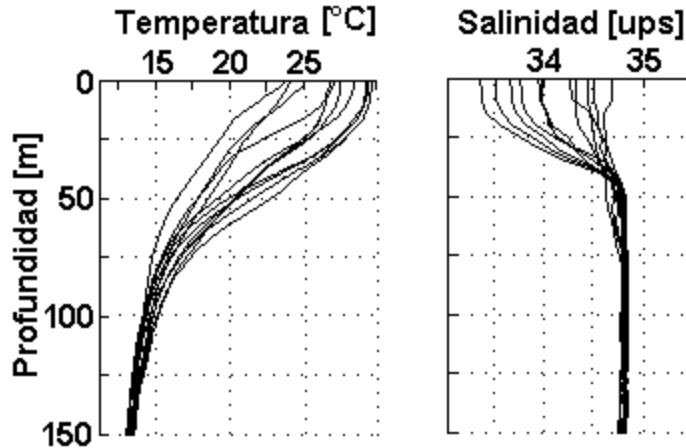
$$R = \left( \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{x} - \bar{x}_0)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

The seasonal variability of the root mean square variations and 95% confidence level (figs. 5, 6) for the vertical distributions of temperature and salinity reflect particularities of the dynamics of the coastal waters of the



**Figura 3.** Perfiles promedio de temperatura y salinidad encontrados para la región del polígono con base en los levantamientos oceanográficos mensuales.

**Figure 3.** Average profiles of temperature and salinity recorded for the polygon during the monthly oceanographic surveys.



**Figura 4.** Perfiles promedio conjuntos de temperatura y salinidad encontrados en la región con base en los levantamientos oceanográficos mensuales.

**Figure 4.** Joint average profiles of temperature and salinity recorded for the region during the monthly oceanographic surveys.

En los meses de primavera (abril y mayo), cuando la evaporación aún no es tan intensa debido a la baja temperatura del aire y a la ausencia de precipitaciones, la haloclina se pega a la superficie y es en este periodo del año cuando el agua se encuentra más homogénea desde la superficie hasta los 150 m, con salinidad de 34.5–34.7 ups.

La termoclina con altos gradientes verticales de temperatura (0.12–0.17°C/m en verano y 0.08–0.10°C/m en invierno) se encuentra desarrollada durante todo el año. Desde febrero hasta abril está pegada a la superficie y en los meses restantes del año se profundiza con un máximo de julio a septiembre. En agosto, la frontera inferior de la capa semihomogénea superior (isoterma de 23°C) se sitúa en los 13m.

Los valores crudos de temperatura y salinidad en cada nivel, en los límites mensuales, representan un muestreo aleatorio de  $n$  datos. Con base en ellos se calcularon los valores

ocean through clear manifestations of baroclinic tides. From February to March, they are lowest at the 50–60 m layer, and from August to September they reach their maximum at the thermocline ( $\sigma_r = \pm 1.83^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_s = \pm 0.43$  psu;  $d_r = \pm 0.41^\circ\text{C}$ ,  $d_s = \pm 0.08$  psu). This is explained in the following manner: the temperature oscillation  $T(t)$  (and salinity if its vertical gradients are large) in the linear internal waves is related to the depth oscillations where the isotherms  $\xi(t)$  are located or to the wave height with the equation (LeBlond and Mysak, 1978):

$$T(t) = \xi(t) \cdot \overline{dT/dz} \quad (4)$$

where  $\overline{dT/dz}$  is the average vertical gradient of temperature.

Since the value  $\xi(t)$  is determined entirely from the intensity of the barotropic tide generated by the internal tide on the continental

promedios  $\bar{x}$  y sus desviaciones medias cuadráticas  $\sigma$  (Walpole y Myers, 1993). Para los valores promedio mensuales de temperatura y salinidad se calcularon sus intervalos al 95% de confianza por:

$$\bar{x} - d < x_0 < \bar{x} + d \quad (1)$$

donde  $d = t_{0.05} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$  es el nivel de confianza al 95% y  $t_{0.05}$  es la desviación del valor promedio del conjunto parcial  $\bar{x}$  con respecto al promedio del conjunto normal general  $x_0$ , determinado como:

$$t_{0.05} = (\bar{x} - \bar{x}_0) / (R / \sqrt{N}) \quad (2)$$

donde  $R$  es la estimación insesgada de la dispersión  $\sigma^2$ , calculado como:

$$R = \left( \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{x} - \bar{x}_0)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

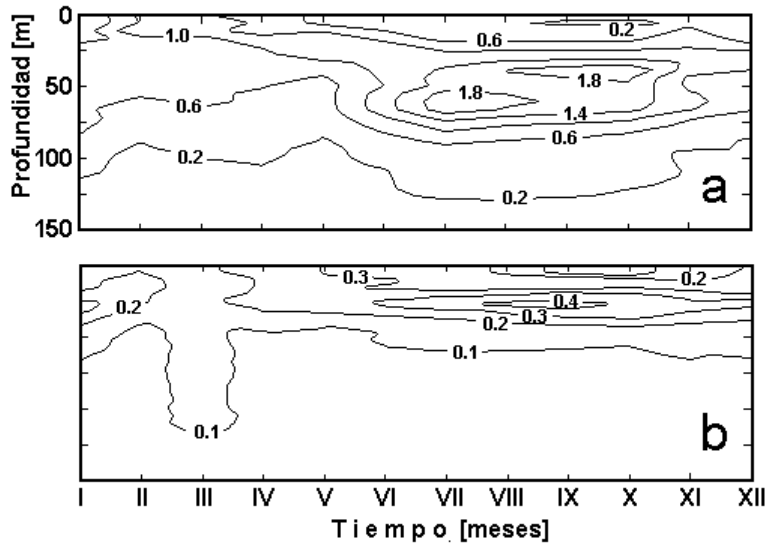
La variabilidad estacional de las variaciones cuadráticas medias y del nivel de confianza de 95% (figs. 5, 6) para las distribuciones verticales de temperatura y salinidad reflejan particularidades de la dinámica de las aguas costeras del océano al existir manifestaciones claras de las mareas baroclínicas. En febrero y marzo son mínimas en la capa de 50–60 m, ya que en agosto y septiembre alcanzan sus máximos en la termoclina ( $\sigma_T = \pm 1.83^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_S = \pm 0.43$  ups;  $d_T = \pm 0.41^\circ\text{C}$ ,  $d_S = \pm 0.08$  ups). La explicación de estos hechos puede ser la siguiente: en las ondas internas lineales la oscilación de temperatura  $T(t)$  (y salinidad si sus gradientes verticales son grandes) está relacionada con las oscilaciones de profundidad en que yacen las isotermas  $\xi(t)$  o con la altura de la onda por la relación (LeBlond and Mysak, 1978):

slope, it cannot undergo seasonal variations and should only have semimonthly and monthly inequalities with the phase of the barotropic tide on the coast. It is therefore assumed that the average values of the vertical gradients of temperature and salinity play a determining role in the seasonal variability of  $\sigma_T$  and  $\sigma_S$  in the levels given. These values are greatest in summer and close to the thermocline, and so  $\sigma_T$  and  $\sigma_S$  also reach their maximum values. From February to March,  $\overline{dT/dz}$  and  $\overline{dS/dz}$  weaken significantly, so the values of  $\sigma_T$  and  $\sigma_S$  are minimum. Since the value of  $\sigma$  is included in the calculation of the 95% confidence level in equation 3, the annual behavior of the values  $d_T$  and  $d_S$  linearly reflect the variability of the respective root mean square deviations.

In this manner, the principal causes of the seasonal variability of the temperature and salinity fields in the region are: local solar radiation, evaporation, rainfall, river discharges, turbulent heat exchange with the atmosphere and the possible advection of heat from the equatorial zone that deforms the isopycnics. The currents and turbulent mixing undoubtedly permit the redistribution of heat and salts in the deepest layer of the ocean. However, the measurements of currents in the study area are insufficient, and therefore details cannot be given of their character or of the role of the vertical and horizontal advection in the area.

## CONCLUSIONS

The analysis of the temporal oscillations and of the anomalies in surface temperature (El Niño, monitoring indices) for the equatorial region of the Pacific Ocean shows that 1995 and 1996 were “normal” years (Japan Meteorological Agency, 1996–1998). During these years, square B (4°N–4°S; 90°W–150°W) varied from 0 to  $-0.5^\circ\text{C}$ . During the 1997 El



**Figura 5.** Isolíneas temporales de las desviaciones medias cuadráticas de (a) temperatura (°C) y (b) salinidad (ups) calculadas con base en los levantamientos oceanográficos mensuales.

**Figure 5.** Temporal isolines of the root mean square deviations of (a) temperature (°C) and (b) salinity (psu) calculated from the monthly oceanographic surveys.

$$T(t) = \xi(t) \cdot \overline{dT/dz} \quad (4)$$

donde  $\overline{dT/dz}$  es el gradiente vertical promedio de temperatura.

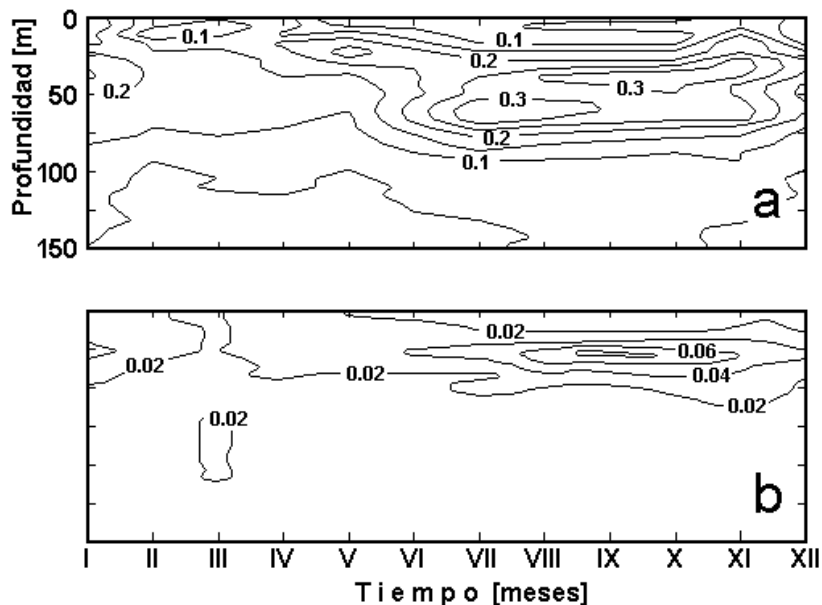
A partir de que el valor de  $\xi(t)$  se determina completamente por la intensidad de la marea barotrópica que genera la marea interna en el talud continental, no puede sufrir variaciones estacionales y debe tener tan sólo desigualdades semimensuales y mensuales con fase de la marea barotrópica en la costa. De lo anterior resulta que el papel determinante en la variabilidad estacional de  $\sigma_T$  y  $\sigma_S$  y en los niveles dados deben de jugarlo los valores promedios de los gradientes verticales de temperatura y salinidad. Estos valores son máximos en los meses de verano y cercanos a la termoclina, por lo que  $\sigma_T$  y  $\sigma_S$  también alcanzan sus valores máximos. En los meses de febrero y marzo  $\overline{dT/dz}$  y  $\overline{dS/dz}$  están significativamente

Niño, the anomalies increased greatly and in December reached +4°C. By removing large-scale phenomena like El Niño and La Niña in the hydrophysical and hydrobiological processes, the seasonal behavior of temperature and salinity analyzed in this study reflects the average annual variability in the study area.

The surveys mentioned were conducted monthly during 1998. If this work continues for one or two more years, we would have a series of monthly data that would start two years before the 1997–1998 El Niño and end after its disappearance. These oceanographic surveys could answer many questions related to the forecasting of El Niño in the coastal zone of Mexico and its relationship with processes that occur over the continent.

The data analyzed are of great importance for the study of seasonal variability of the function of three-dimensional spatial correlation (or spectrum) of the variations of temperature and





**Figura 6.** Isolíneas temporales de los valores al 95% del nivel de confianza ( $d = \pm t_{0.05} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$ ) para los valores promedio de (a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y (b) salinidad (ups) encontrados para la región del polígono con base en los levantamientos oceanográficos mensuales.

**Figure 6.** Temporal isolines of the values at the 95% confidence level ( $d = \pm t_{0.05} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$ ) for the average values of (a) temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and (b) salinity (psu) recorded for the polygon during the monthly oceanographic surveys.

debilitados, por lo que los valores de  $\sigma_T$  y  $\sigma_S$  son mínimos. Ya que en la ecuación 3 participa el valor de  $\sigma$  para el cálculo al 95% de nivel de confianza, entonces el comportamiento anual de los valores  $d_T$  y  $d_S$  refleja linealmente la variabilidad de las desviaciones cuadráticas medias respectivas.

De esta forma, las principales causas que determinan la variabilidad estacional de los campos de temperatura y salinidad en la región son: localmente la radiación solar, evaporación, precipitación, desembocaduras de ríos, intercambio turbulento de calor con la atmósfera y la posible advección de calor proveniente de la zona ecuatorial que deforma las isopícnas. Las

salinity in the area. This type of data can verify models of thermocline dynamics in the coastal zone of the ocean (Ripa, 1997; Beier, 1997) and are of great importance for theoretical studies and determining the fishery situation on the continental shelf.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the crew of *BIP-V*, who provided all the help necessary during the measurements, even under difficult conditions. We also thank A. Trasviña from CICESE (Mexico) for assistance with the data processing and suggestions during the analysis of the results. This

corrientes y el mezclado turbulento indudablemente deberán permitir la redistribución de calor y sales en la capa más profunda del océano. Sin embargo, en la región de estudio, las mediciones de corrientes son insuficientes, por lo que no se puede dar detalles de su carácter ni del papel que juega la advección vertical y horizontal en la zona.

## CONCLUSIONES

El análisis de las oscilaciones temporales de las anomalías en la temperatura superficial (El Niño, índices de monitoreo) para la región ecuatorial del Océano Pacífico, muestra que los años de 1995 y 1996 fueron “normales” (Japan Meteorological Agency, 1996–1998). En el cuadrado B (4°N–4°S; 90°W–150°W) variaron en estos años desde 0°C hasta –0.5°C. Durante El Niño de 1997, las anomalías se incrementaron fuertemente y en diciembre alcanzaron +4°C. De esta forma, el comportamiento estacional de temperatura y salinidad, analizado en el presente trabajo, refleja un esquema promedio de su variabilidad anual en la región de estudio al ausentarse la influencia de fenómenos a gran escala como El Niño y La Niña en los procesos hidrofísicos e hidrobiológicos.

Los levantamientos mencionados se continuaron realizando mensualmente durante 1998. Si se logra mantener estos trabajos durante uno o dos años más, se podrá obtener una serie de datos mensuales con su inicio dos años antes del momento de la llegada de El Niño 1997–1998 y su fin después de la desaparición. La existencia de estos levantamientos oceanográficos puede dar respuesta a muchas preguntas relacionadas con la estimación de la señal de El Niño en la zona costera de México y su relación con procesos que se presentan sobre el continente.

Los datos analizados son de gran importancia para el estudio de la variabilidad estacional

study was financed by CONACYT, projects 1449-PT and 5-080PÑ.

English translation by Jennifer Davis.

---

de la función de correlación espacial tridimensional (o espectro) de las variaciones de temperatura y salinidad en el área. Este tipo de datos permiten verificar modelos de la dinámica de la termoclina en la zona costera del océano (Ripa, 1997; Beier, 1997) y son de gran importancia no sólo en el plano teórico sino también para el pronóstico de la situación pesquera en la plataforma continental.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la tripulación de la embarcación *BIP-V*, la cual aun en condiciones difíciles aseguró la confianza y seguridad de los trabajos y proporcionó toda la ayuda necesaria durante las mediciones. También agradecen a A. Trasviña del CICESE (México) su ayuda en el procesamiento de los datos y las sugerencias dadas durante el análisis de los resultados. El presente trabajo se realizó en el marco de los proyectos 1449-PT y 5-080PÑ financiados por CONACYT, por lo que también expresamos nuestro agradecimiento.

## REFERENCIAS

- Atlas of the Oceans: Pacific Ocean (1974). Gunio, Leningrad, 302 pp.
- Badan, A. (1997). La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico mexicano. Monogr. No. 3, Unión Geofísica Mexicana, pp. 99–112.
- Beier, E. (1997). A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.*, 27(5): 615–632.
- Brink, K.H. (1991). Coastal-trapped waves and wind-driven currents over the continental shelf. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 23: 389–412.

- Burkov, V.A. (1972). The General Circulation of the Pacific Ocean. Nauka, Moscow, 273 pp.
- De la Lanza, G.E. (1991). Oceanografía de Mares Mexicanos. AGT Editor, 569 pp.
- Enfield, D.B. and Allen, J.S. (1983). The generation and propagation of sea level variability along the Pacific coast of Mexico. *J. Phys. Oceanogr.*, 13: 1012–1033.
- Filonov, A.E. (1997). Researchers study tsunami generated by Mexican earthquake. *EOS*, 78(21): 21–25.
- Filonov, A.E., Monzón, C.O. and Tereshchenko, I.E. (1996a). A technique for fast conductivity-temperature-depth oceanographic surveys. *Geofísica Int.*, 35(4): 415–420.
- Filonov, A.E., Monzón, C. y Tereshchenko, I. (1996b). Acerca de las condiciones de generación de las ondas internas de marea en la costa occidental de México. *Ciencias Marinas*, 22(3): 255–272.
- Filonov, A.E., Tereshchenko, I.E. and Monzón, C.O. (1998). Variation of the temperature, salinity and its structure on the continental shelf of the west part of Mexico. *Russian Meteorol. Hydrol.*, 6: 51–58.
- Gjevik, B. and Merrifield, M.A. (1993). Shelf-sea response to tropical storms on the west coast of Mexico. *Continental Shelf Res.*, 13(1): 25–47.
- Hydrology of the Pacific Ocean (1968). Nauka, Moscow, 524 pp.
- Jáuregui, E. (1995). Rainfall fluctuations and tropical storm activity in Mexico. *Erdkunde*, 49: 39–48.
- Konyaev, K.V. and Sabinin, K.D. (1992). Waves Inside of the Ocean. Hydrometeoizdat, St. Petersburg, 272 pp.
- LeBlond, P.H. and Mysak, L.A. (1978). *Waves in the Ocean*. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam, 602 pp.
- Japan Meteorological Agency (1996–1998). *Monthly Ocean Report*. Climate and Marine Department.
- Ripa, P.A. (1997). Toward a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.*, 27(5): 597–614.
- Trasviña, A.C. (1998). *Procesamiento de datos de CTD ondulante*. CICESE, Ensenada, México, 15pp.
- Walpole, R.E. and Myers, R.H. (1993). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. 5th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 766pp.