

BIOMASA DEL ZOOPLANCTON DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

ZOOPLANKTON BIOMASS OF THE NORTHERNMOST GULF OF CALIFORNIA

Claudia Farfán¹
Saúl Alvarez-Borrego²

¹ Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Calle Espinoza 843
Ensenada, Baja California, México

² Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Carretera Tijuana-Ensenada km 105
Ensenada, Baja California, México

Recibido en junio de 1991; aceptado en enero 1992

RESUMEN

En el período octubre 1972-octubre 1973, se realizaron doce cruceros oceanográficos en el alto Golfo de California para estudiar las fluctuaciones espaciales y temporales de la biomasa de zooplancton, expresada como peso orgánico seco por metro cúbico (B). No se encontró un ciclo estacional claro, aunque se observaron algunas características persistentes. Los más altos valores de B (hasta de 154 mg m^{-3}) siempre se encontraron en los canales alrededor de la isla Montague (en el delta del Río Colorado). En general, B se incrementó hacia el norte o noroeste. Los gradientes fueron más uniformes en el período mayo-octubre de 1973, con valores en el sureste de un orden de magnitud más pequeños que los del noroeste. En general, los copépodos calanoideos fueron el grupo taxonómico más abundante, tanto numéricamente como en términos de biomasa. Sin considerar los valores encontrados alrededor de la isla Montague, los valores mínimos se presentaron en octubre ($1-4 \text{ mg m}^{-3}$), y los máximos en agosto ($25-150 \text{ mg m}^{-3}$). El análisis de componentes principales muestra que la variancia de B se explica parcialmente por una componente cuya estructura está asociada a la batimetría. El enlace puede ser la S°/oo . Las más altas salinidades en el área de la isla Montague indican mayores tiempos de residencia del agua, porque se deben a la mayor acumulación del efecto de evaporación en comparación con las áreas más al sur. Posiblemente, los mayores tiempos de residencia también contribuyan a las altas biomasa de zooplancton en el norte. Hubo un evento ENSO (El Niño-Southern Oscillation) en los años 1972-73. La fuerte dinámica local, principalmente surgencias y mezcla por fenómenos asociados a las mareas, mantienen las concentraciones de nutrientes suficientemente altas para que la productividad primaria no disminuya significativamente con eventos ENSO en el golfo central y norte (la amplitud de marea puede llegar a 9 m en el delta del Río Colorado). Por lo tanto, puede ser que los datos de B no reflejen ningún efecto del evento "El Niño" de 1972-73.

ABSTRACT

To assess the spatial and temporal fluctuations of zooplankton biomass, as dry organic weight per cubic meter (B), in the northernmost Gulf of California, twelve oceanographic cruises were carried out during the period October 1972-October 1973. There was no clear seasonal cycle. However, there are some persistent characteristics. The highest B values (as high as 154 mg m^{-3}) were always found in the channels around Montague Island (at the Colorado River delta). In

general, B values increased westward or northwestward. In the period May-October 1973, there were more uniform gradients, with values at the southeast one order of magnitude smaller than those at the northwest. In general, calanoid copepods were the most abundant taxonomic group, both numerically and in terms of biomass. Without considering the values found around Montague Island, minimum values were found in October (1.4 mg m^{-3}) and maximum values in August ($25\text{-}150 \text{ mg m}^{-3}$). A principal component analysis shows that the B variance was partly explained by a component whose structure is associated to the bathymetry. The linkage may be S°/∞ . Highest salinities in the Montague Island area indicate higher residence time of water, because they are due to the greater accumulated effect of evaporation in comparison with the more southern areas. Greater residence time may also be related to higher zooplankton biomass in the north. There was a weak ENSO (El Niño-Southern Oscillation) event in the years 1972-73. However, strong local dynamics, mainly upwelling and mixing phenomena associated with tides, maintain sufficiently high nutrient concentrations for primary productivity not to have been significantly affected by ENSO events in the central and northern Gulf (tidal amplitude may be as high as 9 m at the Colorado River delta). Thus, our B data may not reflect any effect of the "El Niño" event in 1972-73.

INTRODUCCION

El Golfo de California se ha descrito como un área de gran fertilidad desde los tiempos de los primeros exploradores (León-Portilla, 1972). El alto Golfo de California es una región de gran interés ecológico. Incluye un área de veda permanente, adyacente a la boca del Río Colorado (Fig. 1). Es un área de reproducción y crecimiento de juveniles de muchas especies de peces, algunas de las cuales se han considerado en peligro de extinción como la totoaba, *Totoaba macdonaldi*, y algunas especies comerciales de camarón que son también muy abundantes en este lugar (Guevara-Escamilla, 1973). Recientemente ha habido un renovado interés en esta región del golfo por las posibilidades de desarrollar cultivos comerciales de camarón.

A pesar de que se han realizado muchos estudios en el Golfo de California durante las últimas dos décadas (Brinton *et al.*, 1986; Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991), se ha hecho poco en el alto golfo. Esto puede deberse a que es una región somera donde la navegación es muy difícil. La información disponible fue obtenida principalmente en un programa conjunto de la Universidad Autónoma de Baja California y la Universidad de Arizona que se realizó en 1972-1974 para generar información de calibración y validación de los datos generados por el satélite ERTS-I, para investigar los aspectos biológicos e hidrológicos de la evolución de las pesquerías en el área, y para estimar los niveles de pesticidas en organismos filtro-alimentadores y en los sedimentos (Alvarez-

INTRODUCTION

The Gulf of California has been described as an area of great fertility since the times of early explorers (León-Portilla, 1972). The northernmost Gulf of California is a region of considerable ecological interest. It includes an area in which the season for fishing is permanently closed, adjacent to the mouth of the Colorado River (Fig. 1). It is an area of reproduction and nursery for many fish species, some of which have been considered to be in danger of extinction, such as the totoaba, *Totoaba macdonaldi*, and some commercial shrimp species are also very abundant (Guevara-Escamilla, 1973). Recently, there has been an increased interest in this region of the Gulf because of the possibilities of developing shrimp culture projects.

Although many studies have been carried out in the Gulf of California during the 1970's and 1980's (Brinton *et al.*, 1986; Alvarez-Borrego and Lara-Lara, 1991), not much has been done in the northernmost part of the Gulf. This may be due to the fact that this is a shallow region where navigation is difficult. The available information was mostly obtained during a joint University of Baja California-University of Arizona program undertaken in 1972-1974 to generate ground truth for ERTS-I satellite, to investigate biological and hydrological aspects in relation to the evolution of fisheries in the area, and to estimate the levels of pesticides in filter-feeders and sediments (Alvarez-Borrego *et al.*, 1973; Guevara-Escamilla, 1973; Hendrickson, 1973; Núñez-Esquer, 1975; Lepley *et al.*, 1975;

Borrego *et al.*, 1973; Guevara-Escamilla, 1973; Hendrickson, 1973; Núñez-Esquer, 1975; Lepley *et al.*, 1975; García-de-Ballesteros y Larroque, 1976). El presente estudio se realizó dentro del marco de este programa.

Los objetivos fueron: estudiar las fluctuaciones espaciales y temporales de la biomasa de zooplancton, como peso orgánico seco, en el alto Golfo de California, y explorar si existen algunos patrones comunes implícitos entre la biomasa de zooplancton y las propiedades físicas y químicas del agua de mar. Refiriéndose a nuestro conjunto de datos como no publicados, Brinton *et al.* (1986) mencionaron que es el primero con información sobre la distribución de biomasa de zooplancton en el Golfo de California. Nuestros datos y los de Cummings (1977) son todavía los únicos disponibles para el alto golfo.

AREA DE ESTUDIO

Nuestra área de estudio tiene una forma triangular (Fig. 1). En San Felipe se han registrado máximas amplitudes de marea de 6.95 m (Gutiérrez y González, 1989), y la máxima en la boca del Río Colorado es 9 m (Matthews, 1969), por lo que las corrientes de marea son muy fuertes. La batimetría es muy irregular, con canales y bajos orientados noroeste-sureste. La navegación es muy difícil para embarcaciones con calado mayor a 1 m, especialmente si no hay familiaridad con el área y sus corrientes. Las islas Montague y Pelicano son bajas y planas y se cubren con las mareas vivas altas. Grandes áreas de bajos se cubren y descubren periódicamente con las mareas en ambas márgenes, este y oeste.

El clima del área es desértico continental, con muy escasa lluvia y baja humedad. La evaporación excede la precipitación y cualquier aporte de agua dulce por el río o arroyos. De hecho, el Río Colorado raras veces aporta agua dulce superficial al área. La velocidad de evaporación media estimada es 0.9 m año^{-1} (Lavín y Organista, 1988), mientras que la precipitación media anual es solamente 68 mm (Miranda-Reyes *et al.*, 1990).

Argote-Espinoza *et al.* (en preparación) usaron un modelo numérico para predecir la componente M_2 de la corriente de marea en el norte del golfo, y las corrientes residuales muestran un flujo costero hacia el norte en

García-de-Ballesteros and Larroque, 1976). The present study was carried out within the framework of this program.

The objectives were: to assess the spatial and temporal fluctuations of zooplankton biomass, as dry organic weight, in the northernmost Gulf of California, and to explore whether underlying common patterns or relationships exist between the zooplankton biomass and the physical and chemical properties of seawater. Referring to our data set as unpublished, Brinton *et al.* (1986) mentioned that it is the first with information on the distribution of zooplankton biomass in the Gulf of California. Our set and that of Cummings (1977) are still the only available such data for the northernmost Gulf.

STUDY AREA

Our study area has a triangular shape (Fig. 1). Maximum registered tidal range at San Felipe is 6.95 m (Gutiérrez and González, 1989), and that for the Colorado River mouth is 9 m (Matthews, 1969). Thus, tidal currents are very strong. The bathymetry is very irregular with channels and shoals oriented northwest-southeast. Navigation is difficult for boats with draft greater than 1 m, especially for those not familiar with the area and its tidal currents. Montague and Pelicano islands are low and flat, and covered by water at high spring tides. Large areas of low lands are flooded periodically with the tides, on both the western and eastern shores.

The climate of the area is continental desertic, with scarce rain and low humidity. Evaporation exceeds precipitation and fresh water input by rivers. In fact, the Colorado River rarely drains aboveground fresh water to the area. The estimated mean evaporation rate is 0.9 m yr^{-1} (Lavín and Organista, 1988), while the yearly mean precipitation amounts to only 68 mm (Miranda-Reyes *et al.*, 1990).

Argote-Espinoza *et al.* (in preparation) used a numerical model to predict M_2 tidal currents in the northernmost Gulf, and the residual currents show a coastal northward flux along both margins, with magnitudes up to 3 cm s^{-1} . The convergence of these coastal currents south of Montague Island results in a southward flow along the central axis of the Gulf. On the other hand, wind induced currents predicted by the model with north-

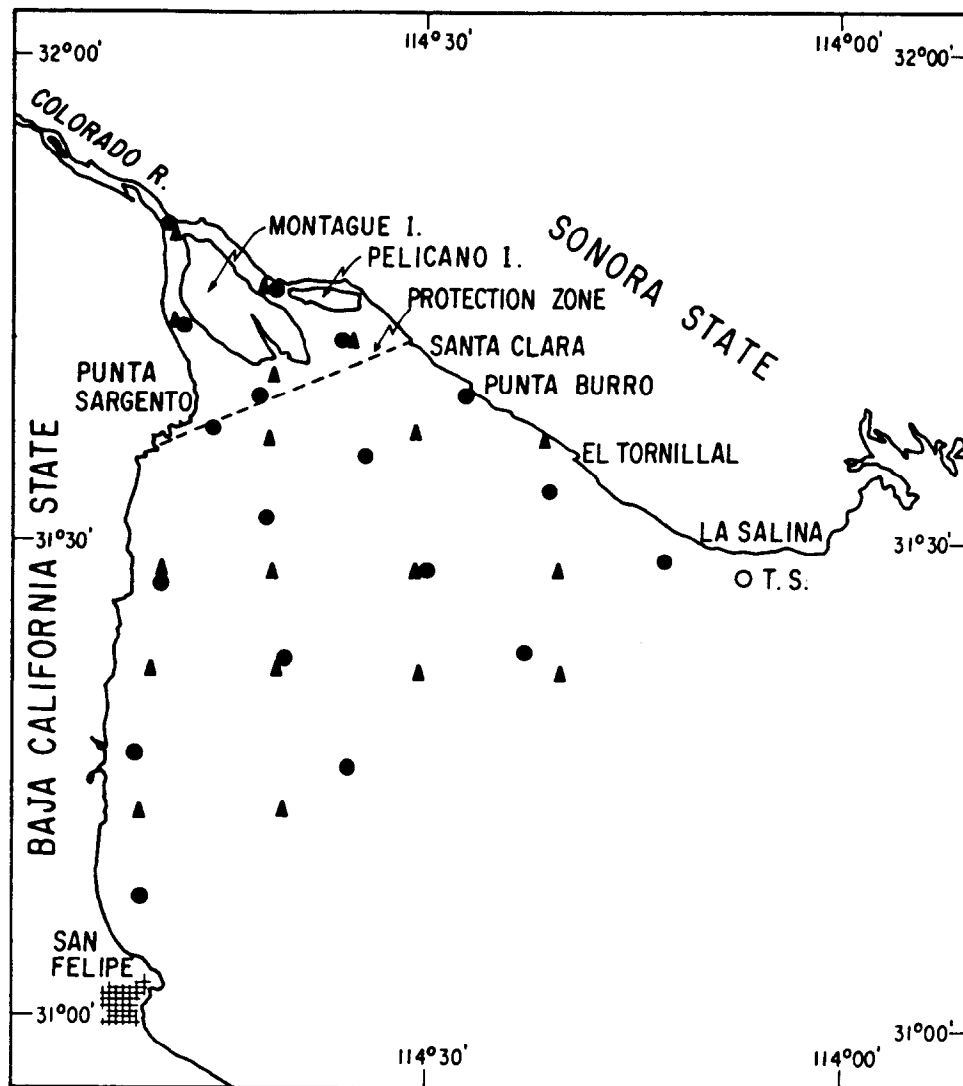


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo. Las estaciones representadas por triángulos se muestrearon en octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, abril, mayo y junio, y las representadas por círculos en marzo, julio, agosto y septiembre-octubre. Se generó una serie de tiempo de 22 horas en la estación representada con un círculo claro. La área de veda permanente está al norte de la línea discontinua.

Figure 1. Location of stations. Stations represented by triangles were sampled in October, November, December, January, February, April, May and June, and those represented by circles in March, July, August and September-October. A 22-hour time series was generated at the station represented with a clear circle. The area of permanent closed season for fishing is north of the dashed line.

ambas márgenes, con magnitudes hasta de 3 cm s^{-1} . La convergencia de estas corrientes costeras al sur de la isla Montague resulta en un flujo hacia el sur a lo largo del eje central del golfo. Por otra parte, las corrientes inducidas por el viento, predichas por el modelo con vientos hacia el noroeste que predominan durante el verano, generan un flujo costero contrario a las manecillas del reloj a lo largo de las costas de Sonora y Baja California. Durante invierno y primavera predominan los vientos hacia el sureste, e inducen un flujo costero en la dirección de las manecillas del reloj. Vientos de 5 m s^{-1} producen corrientes superficiales de alrededor de 3 cm s^{-1} (Durazo-Arvizu, 1989).

El área de estudio tiene un régimen costero verticalmente mezclado debido a las mareas. La diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo es a menudo menor a 0.5°C , con más altas temperaturas en el fondo durante invierno, y más altas temperaturas en la superficie durante el verano. Sin embargo, algunas veces esta diferencia es mayor a 1°C , y durante el verano algunas veces el gradiente vertical se invierte con menores temperaturas en la superficie que en el fondo o a profundidades intermedias (excepcionalmente hasta con 4°C de diferencia en unos 5 m de diferencia de profundidad) debido a la fuerte turbulencia de las mareas. El gradiente superficial de $T^\circ\text{C}$ se invierte a principios de primavera y otoño, debido al ciclo anual de temperatura atmosférica. La temperatura superficial aumenta del sureste al noroeste en verano, y viceversa en invierno. Las temperaturas superficiales mínima y máxima se han registrado al oeste de la isla Montague: 8.25°C en diciembre y 32.58°C en agosto. En las aguas más profundas de la región sureste, el intervalo anual fue $17\text{-}30.75^\circ\text{C}$. La salinidad en general mantiene un gradiente superficial con valores aumentando hacia el noroeste. Tuvo un intervalo anual de variación de un mínimo de 35.28‰ en octubre a un máximo de 41.00‰ en julio. El oxígeno disuelto superficial varió de un mínimo de 1.33 ml l^{-1} , registrado al norte de la isla Montague en octubre, a valores de sobresaturación mayores a 130% en las regiones más sureñas y centrales, durante épocas diversas del año (Alvarez-Borrego *et al.*, 1973).

westward winds, which predominate during summer, generate a counterclockwise coastal flow along the Sonora and Baja California coasts. During winter and spring, southeastward winds predominate, and they induce a coastal flow in a clockwise direction. Winds of 5 m s^{-1} produce surface currents of about 3 cm s^{-1} (Durazo-Arvizu, 1989).

The study area has a vertically mixed coastal regime due to tidal stirring. Temperature difference between the surface and the bottom is often less than 0.5°C , with higher temperatures at the bottom during winter and higher temperatures at the surface during summer. Nevertheless, during summer, this difference is sometimes more than 1°C , and sometimes the vertical gradient is reversed with lower temperatures at the surface than at the bottom or at intermediate depths (exceptionally as much as 4°C of difference through about 5 m of depth) due to the strong tidal turbulence. The surface temperature gradient reverses at the beginning of spring and fall due to the annual cycle of atmospheric temperature. Surface temperature increases from the southeast to the northwest in summer, while the opposite occurs in winter. Minimum and maximum surface temperatures have been recorded west of Montague Island: 8.25°C in December and 32.58°C in August. In the deeper waters of the southeast region, the seasonal range was $17\text{-}30.75^\circ\text{C}$. Salinity in general maintains a surface gradient with values increasing northwestward. It ranged from a minimum of 35.28‰ in October to a maximum of 41.00‰ in July. Surface dissolved oxygen varied from a minimum of 1.33 ml l^{-1} , north of Montague Island in October, to supersaturation values higher than 130% in the more southern and central regions, during different times of the year (Alvarez-Borrego *et al.*, 1973).

In general, water transparency is higher towards the center of the study area than near the coasts. In the area around Montague Island, the Secchi disk disappears under few centimeters of water. Close to the coasts, Secchi disk depths vary between 0.5 and 1 m, with lower values off Baja California than off Sonora. Values increase to more than 2 m in deeper waters. Maximum seston value was 132 mg l^{-1} in May, but was only 16 mg l^{-1} in October. Particulate organic matter varied

En general, la transparencia del agua es más alta hacia el centro del área de estudio que cerca de las costas. En el área alrededor de la isla Montague, el disco de Secchi desaparece bajo unos pocos centímetros de agua. Cerca de las costas las profundidades del disco de Secchi varían entre 0.5 y 1 m, con más bajos valores frente a Baja California que frente a Sonora. Estos valores aumentan a más de 2 m en aguas más profundas. El valor máximo de seston fue 132 mg l^{-1} en mayo, pero fue solamente 16 mg l^{-1} en octubre. La materia orgánica particular varió muy irregularmente, y fue entre 23% y 100% del seston (García-de-Ballesteros y Larroque, 1976).

En el golfo norte y central las concentraciones superficiales de nutrientes son generalmente altas. Alvarez-Borrego *et al.* (1978) reportaron concentraciones superficiales de fosfato (PO_4), nitrato (NO_3) y silicato (SiO_2) en los intervalos $0.7\text{-}1.0 \text{ }\mu\text{M}$, $0.0\text{-}4.0 \text{ }\mu\text{M}$ y $6.1\text{-}18 \text{ }\mu\text{M}$, respectivamente, para el norte del Golfo de California. Su estación más norteña estuvo un poco al sur de 31° N . Las concentraciones de nutrientes son aún más altas en el área alrededor de la isla Montague. Al sur de la isla los valores de PO_4 y NO_3 están en los intervalos $0.3\text{-}1.9 \text{ }\mu\text{M}$ y $3.3\text{-}18.3 \text{ }\mu\text{M}$, respectivamente. Al norte de la isla los intervalos correspondientes son $0.1\text{-}11.5 \text{ }\mu\text{M}$ y $8\text{-}53 \text{ }\mu\text{M}$ (Hernández-Ayón *et al.*, en preparación).

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron doce cruceros oceanográficos en el período de octubre de 1972 a octubre de 1973. Las estaciones de muestreo se localizaron de 31° N al delta del Río Colorado (Fig. 1). Se usaron dos tipos de embarcaciones: el *Adventyr* de la Universidad de Arizona, de 13.2 m de eslora y equipado con patines para operar en aguas muy someras, y barcos camareros de Puerto Peñasco, Sonora ($31^\circ 15' \text{ N}$). Los muestreos se hicieron solamente durante el día, y cada crucero duró tres días. Debido al mal tiempo, sólo se pudieron muestrear las ocho localizaciones alrededor de la isla Montague y cerca de la costa de Sonora en el crucero de abril, y sólo las localizaciones alrededor de la isla Montague en junio. En marzo de 1973 se generó una serie de tiempo de 22 horas, con intervalo de muestreo de dos horas, frente a La Salina (localización representada con un círculo blanco en la Figura 1).

irregularly, from 23% to 100% of seston (García-de-Ballesteros and Larroque, 1976).

Surface nutrient concentrations are usually high in the central and northern Gulf of California. Alvarez-Borrego *et al.* (1978) reported phosphate (PO_4), nitrate (NO_3) and silicate (SiO_2) surface concentrations in the ranges $0.7\text{-}1.0 \text{ }\mu\text{M}$, $0.0\text{-}4.0 \text{ }\mu\text{M}$ and $6.1\text{-}18 \text{ }\mu\text{M}$, respectively, for the northern Gulf of California. Their northernmost station was a little south of 31° N . In the area around Montague Island, nutrient concentrations were even higher. South of the island, values were in the ranges $0.3\text{-}1.9 \text{ }\mu\text{M}$ and $3.3\text{-}18.3 \text{ }\mu\text{M}$ for PO_4 and NO_3 , respectively. North of the island the corresponding ranges were $0.1\text{-}11.5 \text{ }\mu\text{M}$ and $8\text{-}53 \text{ }\mu\text{M}$ (Hernández-Ayón *et al.*, in preparation).

MATERIALS AND METHODS

Twelve oceanographic cruises were carried out during the period October 1972-October 1973. Sampling sites were located from 31° N up to the Colorado River delta (Fig. 1). Two types of boats were used: the University of Arizona's *Adventyr*, a 44 footer equipped with skates to operate in very shallow waters, and shrimp boats from Puerto Peñasco, Sonora ($31^\circ 15' \text{ N}$). Sampling was done only during the day, and each cruise took about three days. Due to bad weather, in April we sampled only the eight locations around Montague Island and near the Sonora coast, and during June only the locations around Montague Island. During the March 1973 cruise we generated a 22-hour time series, with two-hour sampling intervals, off La Salina (station represented with an open circle in Figure 1).

To collect zooplankton, we used a standard conical plankton net, $215 \text{ }\mu\text{m}$ mesh aperture and 0.5 m mouth diameter. Vertical hauls were made by hand, from near the bottom at stations with less than 10 m depth or from 10 m at deeper stations. The net cod end was weighed to assure a vertical haul. However, with very strong water currents or at stations less than 2 m deep, a 10 m horizontal tow was performed. The net was not equipped with a flow meter, so the amount of water strained was estimated from the towed distance and the net's mouth area. Assuming 100% filtration efficiency, approxi-

Las muestras de zooplancton se colectaron con una red estándar cónica de 215 μm de malla y 0.5 m de diámetro en la boca. Se hicieron arrastres verticales a mano, desde cerca del fondo en estaciones con profundidades menores a 10 m, o desde 10 m en las estaciones más profundas. Se le colocaron lastres al extremo de la red para asegurar que el arrastre fuese vertical. Sin embargo, con corrientes muy fuertes o en estaciones con menos de 2 m de profundidad se realizaron arrastres horizontales de 10 m. La red no estaba equipada con flujómetro, por lo cual estimamos la cantidad de agua que pasó por la red de la distancia del arrastre y el área de la boca de la red. Suponiendo 100% de eficiencia de filtrado, aproximadamente 1.96 m³ de agua se filtraría en un arrastre estándar (área de la boca = 0.196 m²; distancia de arrastre = 10 m). Las muestras fueron preservadas en una solución de formol neutro al 5%.

Los análisis se hicieron por lo menos un mes después del muestreo, de tal manera que las muestras se estabilizaran. Estos análisis se realizaron en los laboratorios del Grupo de Investigación de Cadenas Alimenticias de la Institución Scripps de Oceanografía. Las muestras se subdividieron en dos submuestras iguales. Las submuestras para la determinación de biomasa se observaron primero al microscopio para determinar los grupos taxonómicos mayores y para remover todos los componentes del zooplancton mayores de 1 mm. Luego las submuestras se lavaron con agua de mar filtrada a través de una malla de 180 μm para quitarles el formol y el detritus pequeño. En general, la fracción de los zooplanctones mayores a 1 mm no fue importante numéricamente. El material no zooplanctónico pequeño fue removido eficientemente, excepto en las submuestras de enero que contenían grandes cantidades de la diatomea *Coscinodiscus* sp. No fue posible remover todo el detritus grande de algunas muestras de verano.

El peso orgánico seco (B) se estimó por diferencia gravimétrica entre el peso total seco y el contenido de cenizas. La deshidratación y la incineración a peso constante se realizaron a 60°C y a 500°C, respectivamente (8 a 13 horas) (Beers, 1970). Para hacer esto, las submuestras se retuvieron en filtros de fibra de vidrio GFC (preincinerados y tarados) y se enjuagaron con formato de amonio al 1% para

matamente 1.96 m³ of water would be filtered in a standard haul (mouth area = 0.196 m²; distance towed = 10 m). After collection, samples were preserved with buffered 5% formalin-seawater.

The analysis was done in the Food Chain Research Group's laboratory at Scripps Institution of Oceanography at least one month after sampling, so that the samples were stabilized. In the laboratory the samples were split into two equal subsamples. The subsamples for biomass determinations were first observed under the microscope to assess the major taxonomic groups present and to remove all zooplankters larger than 1 mm. The subsamples were then washed with filtered seawater through a 180 μm screen to wash out the formalin solution and small debris. In general, the fraction of large zooplankters was not important numerically. An efficient removal of the small non-zooplanktonic material was achieved, except in the subsamples from January which contained great quantities of the large diatom *Coscinodiscus* sp. It was not possible to remove all large detritus found in some summer samples.

The ash free dry weight (B) was estimated by gravimetric difference between the total dry weight and the ash content. Drying and incineration to constant weight were performed at 60°C and 500°C, respectively (8 to 13 hours) (Beers, 1976). To do this, subsamples were filtered onto preweighed GFC glass fiber filters and rinsed with 1% ammonium formate to remove the interstitial salts. Zooplankton biomass is expressed as milligrams of dry organic matter per cubic meter.

To explore whether common patterns or relationships exist between the zooplankton biomass and the seawater properties measured during the cruises, a principal component analysis (PCA) was performed. A PCA essentially consists of reducing a data swarm of a set of variables (multidimensional) by projection into a smaller number of components (i.e. a plane or two components), to find intrinsic patterns in the data swarm. The analyzed variables were water temperature (T°C), salinity (S‰), dissolved oxygen (O₂), Sechii disk depth (Z_{sd}), zooplankton biomass (B) and bottom depth (Z) (hydrographic data are from Alvarez-Borrego *et al.*, 1973). Averages for the water column were used for the first

remove las sales intersticiales. La biomasa de zooplancton se expresa en miligramos de materia orgánica seca por metro cúbico.

Para explorar si existen algunos patrones comunes o relaciones entre la biomasa del zooplancton y las propiedades del agua de mar medidas, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Un ACP esencialmente consiste en reducir, por proyección, un enjambre de datos de un conjunto de variables (multidimensional) a un número más pequeño de componentes (v.g. un plano o dos componentes), para encontrar los patrones intrínsecos que el enjambre de datos pueda poseer. Las variables analizadas fueron: temperatura del agua ($T^{\circ}\text{C}$), salinidad (S°/oo), oxígeno disuelto (O_2), profundidad del disco de Sechii (Z_{sd}), biomasa del zooplancton (B) y la profundidad del fondo (Z) (los datos hidrográficos se tomaron de Alvarez-Borrego *et al.*, 1973). Para las tres primeras variables se utilizaron promedios para la columna de agua. Se aplicó ACP tipo-R (Morrison, 1967; Pielou, 1984) en matrices centradas y estandarizadas de los datos mensuales y de todo el conjunto completo de datos, o agregado, de diciembre de 1972, y enero, marzo, julio, agosto y septiembre-octubre de 1973, que fueron los únicos casos con conjuntos completos de datos.

Aunque el ACP y el análisis de factores están siendo cada vez más utilizados en trabajos oceanográficos y ecológicos, para mayor claridad se definen enseguida tres términos que usamos más adelante: componente es la mejor combinación lineal de un conjunto de variables, en el sentido de que explica más variancia que cualquier otra combinación lineal de esas variables; carga (σ_{ij}) es el coeficiente de correlación lineal de una variable con su componente correspondiente; autovalores son las proyecciones del enjambre de datos en el eje de la componente principal.

RESULTADOS

Nuestro conjunto de datos no muestra un ciclo estacional claro de biomasa del zooplancton en el alto Golfo de California (Figs. 2 y 3), aunque se observan algunas características persistentes. Los más altos valores de biomasa siempre se encontraron en los canales alrededor de la isla Montague (hasta de 154 mg m^{-3}). En general, los valores

three variables. R-type PCA (Morrison, 1967; Pielou, 1984) was applied to centered and standardized matrices of monthly and pooled data from December 1972, and January, March, July, August and September-October 1973, the only periods with complete data sets.

Although PCA and factor analysis are becoming more commonly used in oceanographic and ecological works, for the sake of clarity three terms used below are defined as follows: component is the best linear combination of variables, in the sense that it accounts for more variance than any other linear combination of those variables; load (σ_{ij}) is the linear correlation coefficient of a variable with its corresponding component; component score is the projection of the data swarm on the principal component axis.

RESULTS

Our data set does not show a clear seasonal cycle of zooplankton biomass in the northernmost Gulf of California (Figs. 2 and 3). However, there are some persistent characteristics. The highest biomass values were always found in the channels around Montague Island (as high as 154 mg m^{-3}). In general, biomass values increased westward or northwestward. In the period May-October 1973, there were more uniform gradients, with values at the southeast one order of magnitude smaller than those at the northwest (Fig. 3). During fall and winter, biomass patchiness was greater. In general, calanoid copepods were the most abundant taxonomic group, both numerically and in terms of biomass. However, ctenophores were very abundant in January at the southwest. Their biomass was more than 80% of the total for the southwesternmost station. A large diatom, *Coscinodiscus* sp., was also very abundant in January.

Minimum zooplankton biomass values were found in October 1972 (Fig. 2a), and maximum values were found in August 1973 (Fig. 3c). Without considering the values found around Montague Island, the range for October 1972 was $1-4 \text{ mg m}^{-3}$ and for August it was about $25-150 \text{ mg m}^{-3}$. Zooplankton biomass was also high in April (not shown in the figures because the cruise was not completed due to bad weather), with an

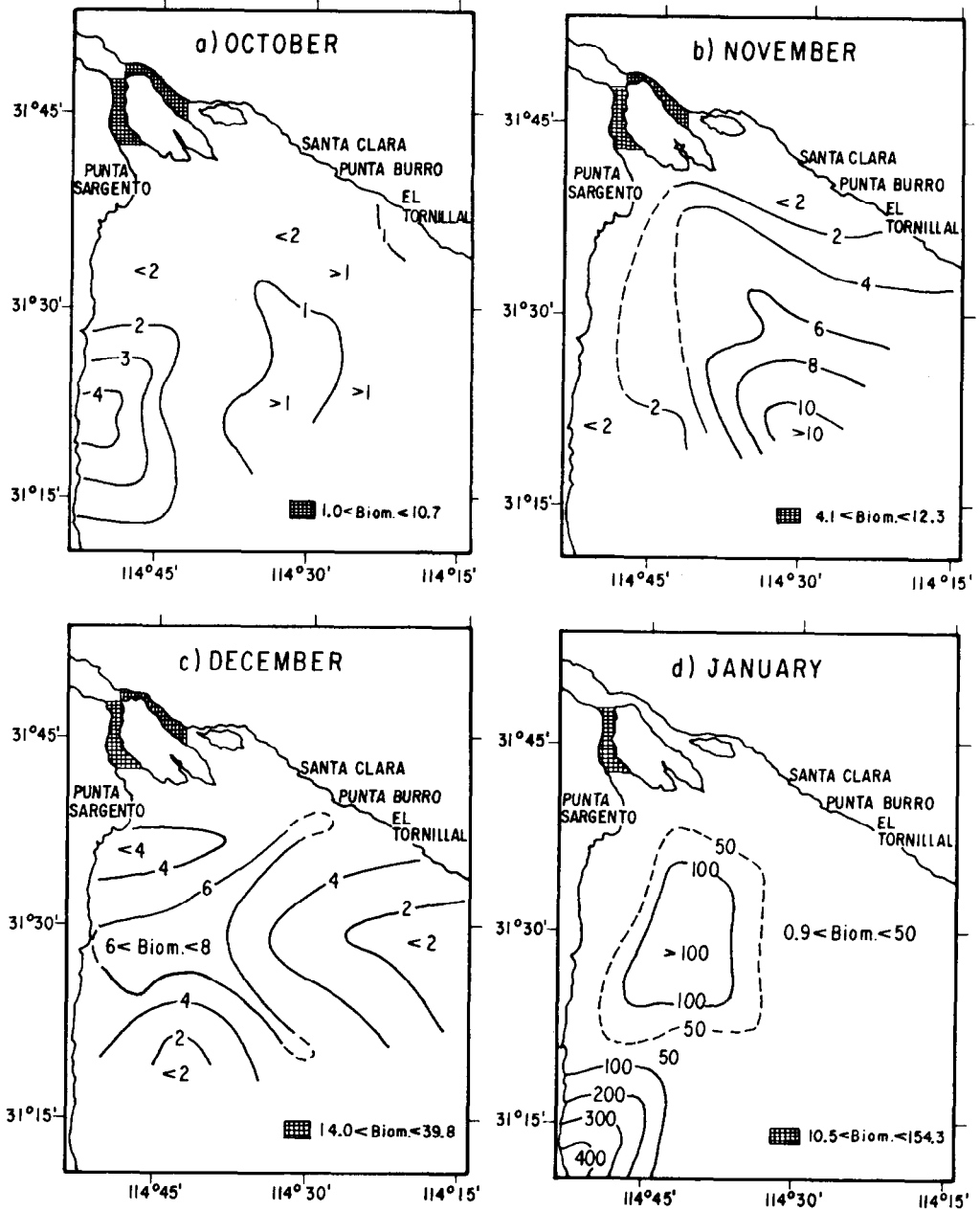


Figura 2. Distribución de biomasa de zooplancton de octubre de 1972 a marzo de 1973. Los valores están en miligramos de peso orgánico seco por metro cúbico.

Figure 2. Zooplankton biomass distribution from October 1972 through March 1973. Values are in milligrams of dry organic weight per cubic meter.

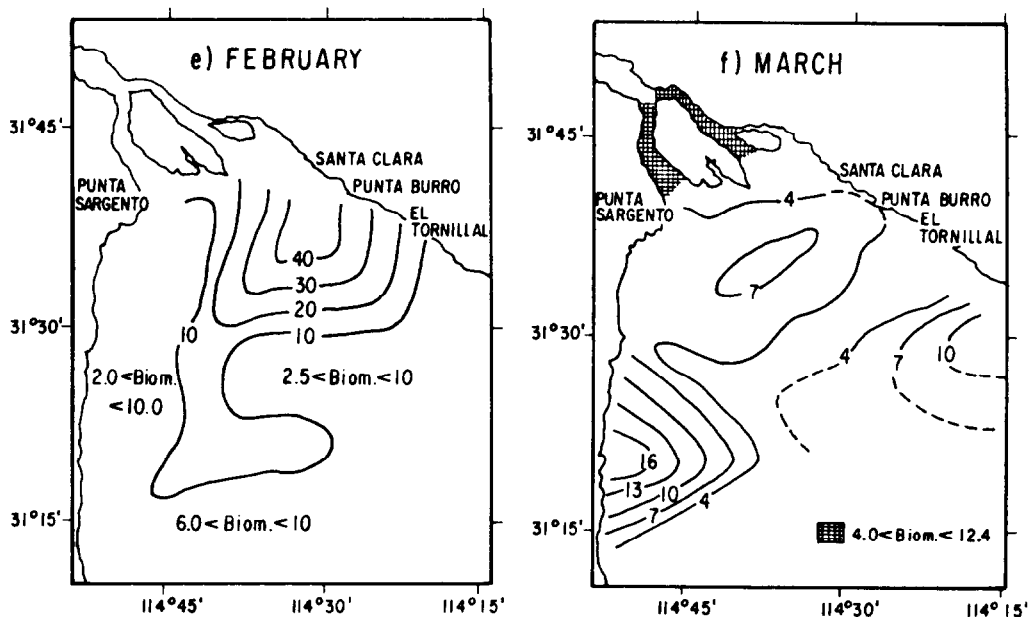


Fig. 2 (Cont.)

de biomasa aumentaron hacia el oeste o el noroeste. En el período mayo-octubre de 1973 hubo gradientes más uniformes, con valores en el sureste de un orden de magnitud más pequeños que los del noroeste (Fig. 3). En otoño e invierno el petacheo de la biomasa, o distribución en forma de manchas, fue mayor que en el resto del año. En general, los copépodos calanoideos fueron el grupo taxonómico más abundante, tanto numéricamente como en términos de biomasa. Sin embargo, los ctenóforos fueron muy abundantes en enero en el suroeste. La biomasa de éstos fue más del 80% de la total en la estación más al suroeste. Una diatomea grande, *Coscinodiscus* sp., también fue muy abundante en enero.

Los valores mínimos de biomasa se encontraron en octubre de 1972 (Fig. 2a) y los máximos en agosto de 1973 (Fig. 3c). Sin considerar los valores encontrados alrededor de la isla Montague, el intervalo para octubre de 1972 fue 1-4 mg m^{-3} y para agosto fue 25-150 mg m^{-3} . La biomasa de zooplancton también fue alta en abril (no se muestra en las figuras porque el crucero no se terminó debido al mal tiempo) con un promedio de 28 mg m^{-3} , menor sólo a la de agosto.

average of 28 mg m^{-3} , second only to that of August.

The 22-hour time series shows much patchiness (Fig. 4). The range was 1.0-18.6 mg m^{-3} . The variation was quite irregular and did not show correlation with the tide. The greatest change was between 19:00 and 21:00 hours, extending almost the whole range of the series, with the highest value at 21:00 hours. At 23:00 hours the value was down to 6 mg m^{-3} , and fluctuated between that value and about 11 mg m^{-3} until 07:00, after which it decreased to 3 mg m^{-3} at 09:00.

PCA was performed for each month (Table 1a-f) and with all data from the six months together (Table 1g). In all cases, 90% or more of the total variance in the data was accounted for by the first three principal components. Most of this variance was accounted for by principal component one (49% for March and 76% for December).

In the first component, which provided the widest net of linkages in the data, T°C, S $^{\circ}$ /oo, Z and Z $_{sd}$ loaded significantly every month ($a_{ij} > 0.65$). However, there were two distinct patterns: a pattern for winter, spring and autumn months (December, January,

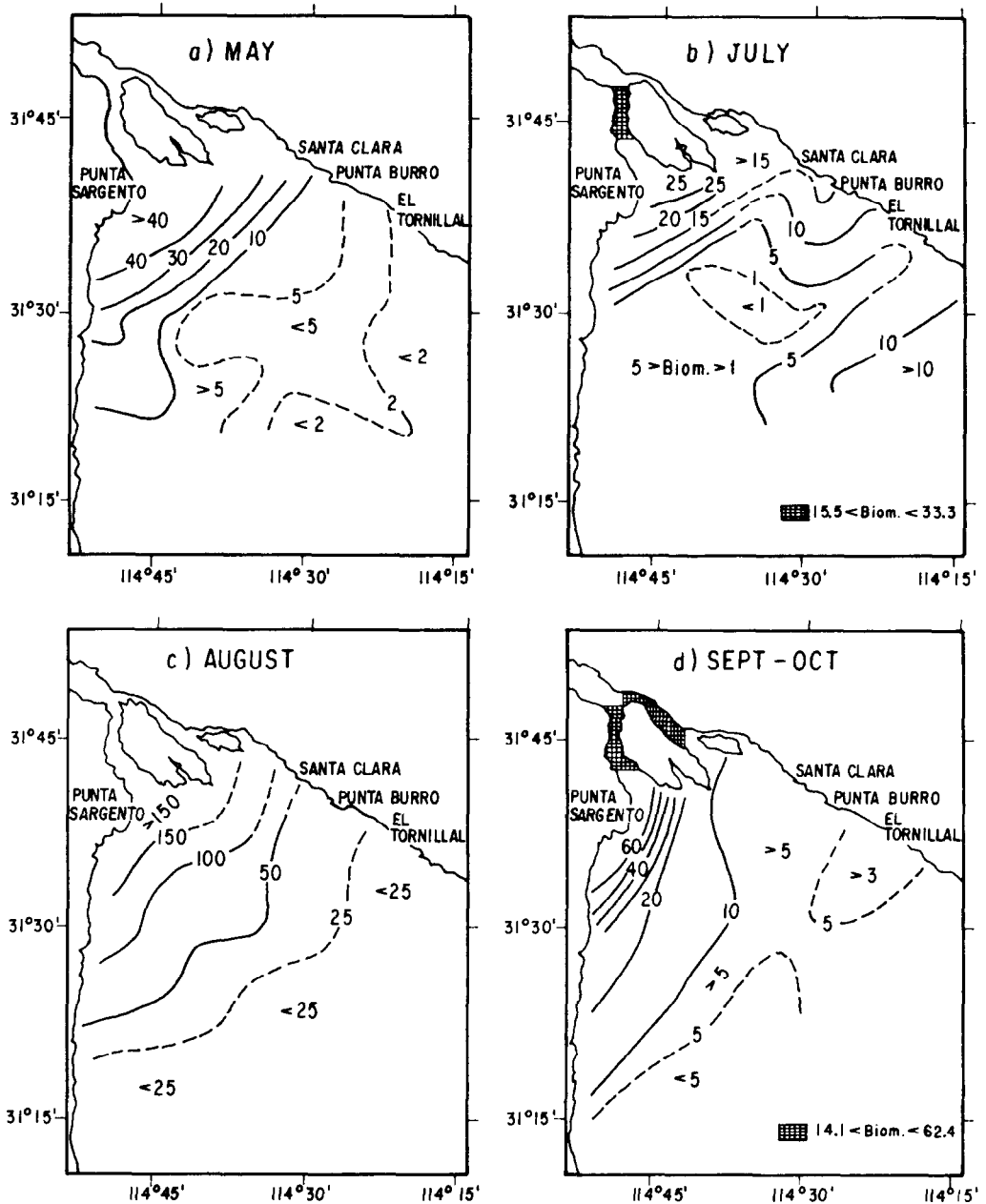


Figura 3. Distribución de biomasa de zooplancton de mayo a septiembre-octubre de 1973 (a-d), y la distribución de los autovalores de la primera componente principal para diciembre de 1972 (e) y para julio de 1973 (f). Los valores de biomasa del zooplancton están en miligramos de peso orgánico seco por metro cúbico.

Figure 3. Zooplankton biomass distribution from May through September-October 1973 (a-d), and F^1 component score distribution for December 1972 (e) and for July 1973 (f). Values of zooplankton biomass are in milligrams of dry organic-weight per cubic meter.

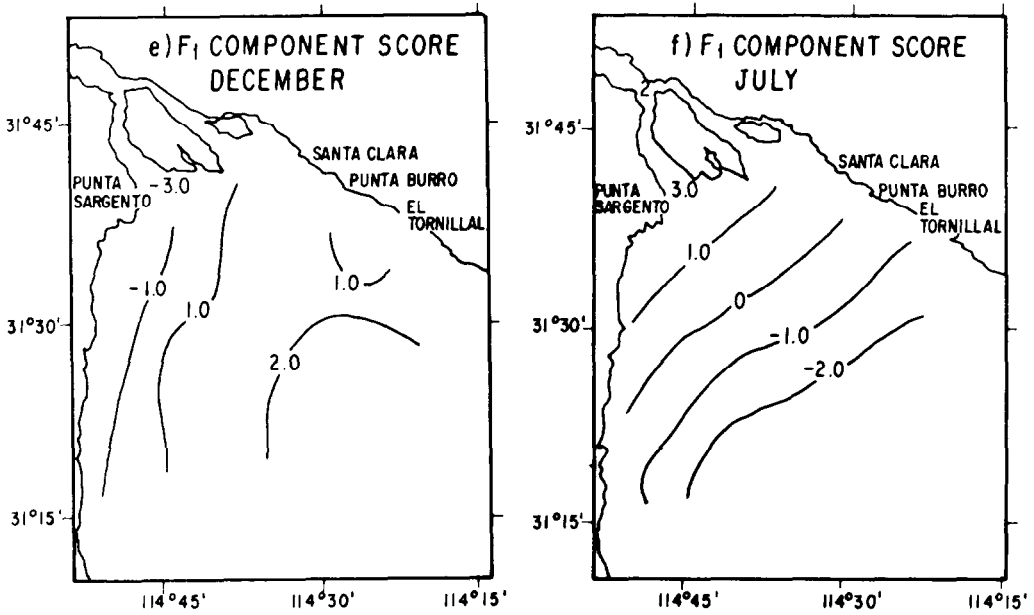


Fig. 3 (Cont.)

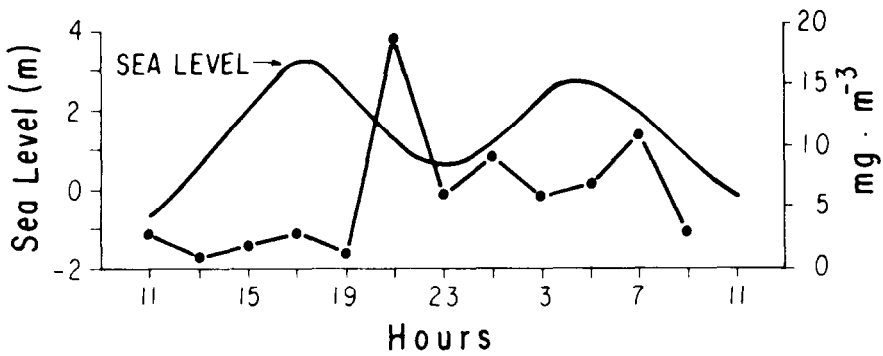


Figura 4. Series de tiempo de biomasa de zooplancton y nivel del mar.
Figure 4. Zooplankton biomass and sea level time series.

Tabla 1. Análisis de componentes principales de datos oceanográficos y biomasa de zooplancton. Análisis de mes a mes: a-f. Análisis del agregado de datos: g. El cuadrado de lambda es la suma de $(a_{ij})^2$ para la columna correspondiente.

Table 1. Principal component analysis of oceanographic data and zooplankton biomass. Month by month analysis: a-f. Analysis of pooled data: g. Square of lambda is the sum of $(a_{ij})^2$ for the corresponding column.

a) MONTH: DECEMBER			
PRINCIPAL COMPONENT			
VARIABLES	1	2	3
T °C	0.95	0.12	0.22
S ‰	-0.94	0.12	0.11
O ₂	-0.75	0.60	0.25
Z _{SD}	0.82	0.47	-0.24
B	-0.87	-0.18	0.14
Z	0.88	-0.11	0.44
λ^2	4.57	0.65	0.39
% TOTAL VAR.	76.10	10.90	6.60
% CUMM. VAR.	76.10	87.00	93.60

b) MONTH: JANUARY			
PRINCIPAL COMPONENT			
VARIABLES	1	2	3
T °C	0.94	0.20	-0.02
S ‰	-0.89	-0.09	0.03
O ₂	-0.76	0.34	0.42
Z _{SD}	0.68	0.57	0.34
B	-0.54	0.67	-0.51
Z	0.87	-0.04	-0.17
λ^2	3.78	0.95	0.58
% TOTAL VAR.	69.00	15.80	9.60
% CUMM. VAR.	69.00	84.80	94.40

c) MONTH: MARCH			
PRINCIPAL COMPONENT			
VARIABLES	1	2	3
T °C	0.78	0.53	0.23
S ‰	-0.95	0.05	-0.02
O ₂	0.34	0.88	-0.25
Z _{SD}	0.78	-0.29	0.51
B	-0.34	0.11	0.90
Z	0.76	-0.53	-0.28
λ^2	2.94	1.44	1.25
% TOTAL VAR.	49.00	24.00	20.80
% CUMM. VAR.	49.00	73.00	93.80

d) MONTH: JULY			
PRINCIPAL COMPONENT			
VARIABLES	1	2	3
T °C	0.80	-0.15	-0.39
S ‰	0.90	0.24	0.31
O ₂	0.47	0.87	0.02
Z _{SD}	-0.89	0.19	0.28
B	0.57	-0.31	0.75
Z	-0.94	0.17	0.16
λ^2	3.68	1.01	0.92
% TOTAL VAR.	61.30	16.90	15.30
% CUMM. VAR.	61.30	78.20	93.50

e) MONTH: AUGUST			
PRINCIPAL COMPONENT			
VARIABLES	1	2	3
T °C	0.75	-0.57	0.18
S ‰	0.95	0.10	-0.04
O ₂	0.67	0.56	0.37
Z _{SD}	-0.80	0.51	0.05
B	0.89	0.15	0.09
Z	-0.79	-0.28	0.50
λ^2	3.96	1.01	0.43
% TOTAL VAR.	66.00	16.80	7.20
% CUMM. VAR.	66.00	82.80	90.00

f) MONTH: SEPTEMBER			
PRINCIPAL COMPONENT			
VARIABLES	1	2	3
T °C	0.90	-0.25	0.01
S ‰	-0.95	-0.11	0.03
O ₂	0.59	-0.79	0.00
Z _{SD}	0.66	0.56	-0.48
B	-0.93	0.19	-0.04
Z	0.63	0.61	0.47
λ^2	3.77	1.42	0.46
% TOTAL VAR.	62.80	23.70	7.70
% CUMM. VAR.	62.80	86.50	94.20

g) POOLED DATA			
VARIABLES	PRINCIPAL COMPONENT		
	1	2	3
T °C	0.39	0.86	0.06
S ‰	-0.65	0.61	-0.07
O ₂	-0.43	-0.83	0.02
Z _{sd}	0.81	-0.17	0.27
B	-0.46	0.09	0.87
Z	0.88	-0.14	0.14
λ^2	2.40	1.86	0.87
% TOTAL VAR.	40.10	31.00	14.50
% CUMM. VAR.	40.10	71.10	85.60

Tabla 1 (Cont.)

La serie de tiempo de 22 horas muestra un gran petacheo (Fig. 4). El intervalo de variación fue 1.0-18.6 mg m⁻³. La variación fue muy irregular y no mostró una correlación aparente con el nivel del mar. El cambio más grande se presentó entre las 19:00 y las 21:00 horas, y casi abarcó el intervalo de variación completo de la serie, con el valor más alto a las 21:00 horas. A las 23:00 horas disminuyó a 6 mg m⁻³, y fluctuó entre ese valor y alrededor de 11 mg m⁻³ hasta las 07:00, para luego disminuir a 3 mg m⁻³ a las 09:00.

El ACP se realizó en base a datos mensuales (Tabla 1a-f) y con el agregado de los seis meses (Tabla 1g). En todos los casos, el 90% o más de la variancia total de los datos fue explicada por las primeras tres componentes principales. La mayoría de esta variancia fue explicada por la primera componente principal (49% para marzo y 76% para diciembre).

En la primera componente, la cual proveyó la más amplia red de relaciones en los datos, T°C, S‰, Z y Z_{sd} registraron cargas significativas todos los meses ($\sigma_{ij} > 0.65$). Sin embargo, hubo dos patrones distintos: un patrón para los meses de invierno, primavera

March and September-October), in which T°C, Z and Z_{sd} loaded positive while S‰ loaded negative, and a summer pattern (July and August), with positive loads of T°C and S‰, and negative loads of Z and Z_{sd}. The spatial distribution of the component scores of these two patterns are illustrated with the results from December and July (Fig. 3e-f). In the pooled data PCA, T°C load in this component was low (0.39) (Table 1g).

The second component resolved most of the residual variance, except that from zooplankton biomass. The variable with the highest frequency of high or moderate loads was dissolved oxygen (Table 1a-f). In the PCA for the pooled data, O₂, T°C and S‰ had significant loads on the second component (Table 1g).

The zooplankton biomass variance was partitioned mostly between component one and three. In general, B contributed less than 25% to the total variance explained by component one, while in the third component it sometimes contributed more than 50%. In the pooled data PCA, B contributed 88% to the total variance explained by component three (Table 1a-g).

y otoño (diciembre, enero, marzo y septiembre-octubre), en los cuales $T^{\circ}C$, Z y Z_{sd} tuvieron carga positiva mientras que la salinidad tuvo carga negativa, y un patrón de verano (julio y agosto), con cargas positivas de $T^{\circ}C$ y S°/∞ y cargas negativas de Z y Z_{sd} . Los resultados de diciembre y julio ilustran la distribución espacial de los autovalores de estos dos patrones (Fig. 3e-f). En el ACP del agregado de datos, la carga de $T^{\circ}C$ de esta componente fue notablemente baja (0.39) (Tabla 1g).

La segunda componente resolvió la mayoría de la variancia residual, excepto la de la biomasa del zooplancton. La variable con la más alta frecuencia de cargas altas o moderadas fue el oxígeno disuelto (Tabla 1a-f). En el ACP del agregado de datos, tanto O_2 como $T^{\circ}C$ y S°/∞ tuvieron cargas significativas en la segunda componente (Tabla 1g).

La variancia de la biomasa de zooplancton se repartió principalmente entre la primera y la tercera componente. En general, B contribuyó con menos del 25% a la variancia total explicada por la primera componente, mientras que algunas veces contribuyó con más del 50% en la tercera componente. En el ACP del agregado de datos, B contribuyó con 88% de la variancia total explicada por la tercera componente (Tabla 1a-g).

DISCUSION

De acuerdo con Quinn *et al.* (1986), hubo un evento ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) en los años 1972-73. Jiménez-Pérez y Lara-Lara (1988) y Lavaniegos-Espejo y Lara-Lara (1990) reportaron que el fuerte evento ENSO de 1982-83 no tuvo un efecto significativo en la biomasa de zooplancton de las partes central y sur del Golfo de California, aunque sí tuvo un efecto en la composición taxonómica del zooplancton. En contraste, los valores de B de la Corriente de California disminuyeron muy significativamente durante este evento (McGowan, 1984). En las partes central y norte del Golfo de California, la fuerte dinámica local, principalmente surgencias y mezcla por fenómenos asociados con las mareas, mantiene las concentraciones de nutrientes suficientemente altas para que la productividad primaria no disminuya significativamente con los eventos ENSO (1.9 a 4.4 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ en marzo de 1983) (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

DISCUSSION

According to Quinn *et al.* (1986), there was an ENSO (El Niño-Southern Oscillation) event in the years 1972-73. Jiménez-Pérez and Lara-Lara (1988) and Lavaniegos-Espejo and Lara-Lara (1990) reported that the strong ENSO event of 1982-83 did not have a significant effect on the zooplankton biomass of the central and southern Gulf of California, although it did have an effect on the zooplankton species composition. In contrast, B values in the California Current decreased significantly during this event (McGowan, 1984). Strong local dynamics, mainly upwelling and mixing phenomena associated with tides, maintain nutrient concentrations high enough for primary productivity not to decrease significantly with ENSO events in the central and northern Gulf (1.9 to 4.4 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ in March 1983) (Alvarez-Borrego and Lara-Lara, 1991).

With the strong tidal currents and the shallow depths of our study area, there is no possibility for the formation of a warm water cap that would inhibit the transport of nutrients to the euphotic zone. In fact, nutrient concentrations around Montague Island are similar to those reported for sediment pore waters of coastal lagoons (Hernández-Ayón *et al.*, in preparation). Thus, our B data may not reflect any effect of the "El Niño" event in 1972-73.

Our zooplankton biomass values are within the range reported in the literature for oceanic and estuarine waters. Hulsizer (1976) reported a range of few to $290\ mg\ m^{-3}$ for Narragansett Bay (south coast of New England). Jiménez-Pérez and Lara-Lara (1990) reported B values as high as $103\ mg\ m^{-3}$ for Estero de Punta Banda, a coastal lagoon in northwestern Baja California. Petersen *et al.* (1986) reported a range of 5 - $65\ mg\ m^{-3}$ for nearshore waters (1 - 20 km) in the southern California Bight. B values reported for the California Current are in the range 0.5 - $33\ mg\ m^{-3}$ (Thraikill, 1961). Pacific Ocean surface water has a zooplankton carbon content of about $2\ mg\ m^{-3}$ (McAllister *et al.*, 1964). Brinton *et al.* (1986) used samples taken during the CALCOFI 1956-1957 cruises to the Gulf of California, and reported a displacement volume (DV) range equivalent to 11 to $32\ mg\ m^{-3}$ of B, for the central and

Con las fuertes corrientes de marea y las profundidades someras de nuestra área de estudio, no hay posibilidad de que se forme un tapón de agua caliente que inhiba el transporte de nutrientes a la zona eufótica. De hecho, las concentraciones de nutrientes alrededor de la isla Montague son similares a las reportadas para aguas intersticiales de sedimentos de lagunas costeras (Hernández-Ayón *et al.*, en preparación). Por lo tanto, nuestros datos de B muy posiblemente no reflejan ningún efecto del evento ENSO de 1972-73.

Nuestros valores de biomasa de zooplancton están dentro del intervalo de variación reportado en la literatura para aguas oceánicas y estuarinas. Hulsizer (1976) reportó un intervalo de unos pocos a 290 mg m^{-3} para la bahía de Narragansett (costa sur de Nueva Inglaterra). Jiménez-Pérez y Lara-Lara (1990) reportaron valores de B hasta de 103 mg m^{-3} para el Estero de Punta Banda, una laguna costera en el noroeste de Baja California. Petersen *et al.* (1986) reportaron un intervalo de $5\text{-}65 \text{ mg m}^{-3}$ para aguas costeras (1-20 km de la costa) en la ensenada del Sur de California. Los valores de B reportados para la Corriente de California están en el intervalo $0.5\text{-}33 \text{ mg m}^{-3}$ (Thraikill, 1961). Las aguas superficiales del océano Pacífico tienen un contenido de carbono de zooplancton de alrededor de 2 mg m^{-3} (McAllister *et al.*, 1964). Brinton *et al.* (1986) utilizaron muestras de los cruceros CALCOFI al Golfo de California en 1956-57, y reportaron volúmenes de desplazamiento (DV) en el intervalo equivalente a $11\text{-}32 \text{ mg m}^{-3}$ de B, para el golfo central y sur. Estas muestras fueron tomadas de la capa de 0 a 140 m, con una red de $600 \mu\text{m}$ de malla. Jiménez-Pérez y Lara-Lara (1988) y Lavaniegos-Espejo y Lara-Lara (1990) usaron una red bongo de $333 \mu\text{m}$ de malla, jalada oblicuamente entre 250 m y la superficie, y reportaron intervalos de variación de B de 8 a 26 mg m^{-3} para el golfo sur, y 13 a 103 mg m^{-3} para el golfo central. Por lo tanto, nuestros valores de B de octubre a diciembre son similares a los de aguas oceánicas, los de verano son similares a los de las aguas ricas del Golfo de California central, y los valores para los canales alrededor de la isla Montague son tan altos como los de estuarios y lagunas costeras (Figs. 2 y 3).

Cummings (1977) no encontró patrones espaciales claros de DV en nuestra área de

southern Gulf. These samples were taken for the 0-140 m layer, with a sampling net of $600 \mu\text{m}$ mesh. Jiménez-Pérez and Lara-Lara (1988) and Lavaniegos-Espejo and Lara-Lara (1990) used a bongo net with $333 \mu\text{m}$ mesh, towed obliquely between 250 m and the surface, and reported B ranges of 8 to 26 mg m^{-3} for the southern Gulf, and 13 to 103 mg m^{-3} for the central Gulf. Thus, our October-December B values are similar to those of oceanic waters, our summer values are similar to those of the rich central Gulf of California, and our values for the channels around Montague Island are as high as those of estuaries and coastal lagoons (Figs. 2 and 3).

Cummings (1977) did not find clear DV spatial patterns in our study area. He explained seasonal changes of DV in terms of seasonal upwelling postulated by Roden (1964). However, as previously mentioned, nutrients in the northernmost Gulf are in such concentrations that no upwelling is necessary for them to remain high. Cummings (1977) sampled from a geographic area about four times the size of ours (from $30^{\circ}55' \text{ N}$ to the north). A direct comparison of our data and those of Cummings (1977) is not possible because he estimated zooplankton displacement volumes, he presented his results in the form of graphs with shaded areas according to data ranges, and there is not much detail for our area of interest.

Due to the lack of synopticity during sampling and to a great variation in time, all graphs showing the spatial distribution of seawater properties of the northernmost Gulf are a gross first approximation to reality (Alvarez-Borrego *et al.*, 1973). Diel variation studies in a single location showed that temperature changed by more than one degree, oxygen by more than 0.5 ml l^{-1} , salinity by more than 0.40°oo (Alvarez-Borrego *et al.*, 1973), and seston by more than 20 mg l^{-1} (García-de-Ballesteros and Larroque, 1976), within 24 hours. Our 22-hour time series shows that B can change by one order of magnitude within a few hours (Fig. 4). This kind of variation is mainly produced by patchiness and the strong advection caused by tidal currents. Nonetheless, it is interesting to note that the seston and turbidity spatial distributions obtained by García-de-Ballesteros and Larroque (1976) were in good agreement with the turbidity synoptic space imagery from the ERTS-I satellite.

estudio. Este autor explicó los cambios estacionales de DV en términos de cambios estacionales de surgencias postulados por Roden (1964). Sin embargo, como se mencionó previamente, los nutrientes en el alto Golfo de California están en tales concentraciones que no es necesario que haya surgencias para que permanezcan altos. Cummings (1977) muestreó una área geográfica unas cuatro veces el tamaño de la nuestra (de 30°55' N hacia el norte). No es posible comparar directamente nuestros datos con los de él, porque él estimó DV's, presentó sus resultados en gráficas que muestran sombreados de acuerdo con intervalos amplios de variación, y no hay mucho detalle para nuestra zona de interés.

Debido a que no hubo una simultaneidad en la toma de las muestras y a que hay una gran variación en función del tiempo, todas las gráficas de la distribución espacial de las propiedades del agua de mar del alto Golfo de California son sólo una primera aproximación gruesa a la realidad (Alvarez-Borrego *et al.*, 1973). Los estudios de variación diurna en una localización mostraron que la temperatura cambió más de un grado, el oxígeno más de 0.5 ml l^{-1} , la salinidad más de 0.40‰ (Alvarez-Borrego *et al.*, 1973), y el seston más de 20 mg l^{-1} (García-de-Ballesteros y Larroque, 1976) en 24 horas. Nuestra serie de tiempo de 22 horas muestra que B puede cambiar un orden de magnitud en pocas horas (Fig. 4). Esta clase de variación es principalmente producida por el petacheo y la fuerte advección causada por las corrientes de marea. Sin embargo, es interesante notar que las distribuciones espaciales de seston y turbidez obtenidas por García-de-Ballesteros y Larroque (1976) coinciden muy bien con lo mostrado por las imágenes del satélite ERTS-I.

Los resultados del ACP muestran que la tendencia principal de los datos físicos es el presentar gradientes en las direcciones noroeste o sureste. El gradiente positivo al noroeste de los autovalores de la primera componente en julio se parece mucho a las distribuciones espaciales de $T^{\circ}\text{C}$, $S^{\circ}\text{‰}$, Z_{sd} y Z (Fig. 3e, y los datos en Alvarez-Borrego *et al.*, 1973). De este conjunto de variables, la $T^{\circ}\text{C}$ es la única que experimenta una clara inversión del gradiente durante los meses fríos. Por lo tanto, la inversión del gradiente de los autovalores de la primera componente

PCA results show a main tendency in the physical data for gradients in the northwest or southeast direction. The northwest positive gradient of the first component scores in July closely resembles the spatial distribution of $T^{\circ}\text{C}$, $S^{\circ}\text{‰}$, Z_{sd} and Z (Fig. 3e, and data in Alvarez-Borrego *et al.*, 1973). Of this set of variables, $T^{\circ}\text{C}$ is the only one which shows a clear gradient reversal during the cold months. Thus, the reversal of the gradient of the component scores in winter clearly results from the linear relationship between $T^{\circ}\text{C}$, Z , and the annual cycle of atmospheric temperature. This suggests that the structure of component one is determined mainly by the bathymetric features and the residence time of water in the study area.

The variable with the highest frequency of high or moderate loads for component two was O_2 (Table 1a-f). However, co-occurrence of other variables with significant loads was irregular suggesting that on a monthly basis the spatial distribution of O_2 was affected by different sets of physical and biological conditions. In the PCA of the pooled data only $T^{\circ}\text{C}$ and $S^{\circ}\text{‰}$, which control oxygen solubility, emerged with significant loads in association with the temporal and spatial distribution of O_2 (Table 1g).

The third component of PCA from the pooled data indicates that most of the temporal and spatial distribution of zooplankton biomass may be associated with variables not included in the analysis, such as phytoplankton abundance and organic seston. Nevertheless, component one contains a significant fraction of the zooplankton biomass variance, and it is interesting to see that the spatial distribution of B for May, July, August and September-October clearly resembles that of this component for July (Fig. 3 a-d, f). This may result through the association between B and $S^{\circ}\text{‰}$ (Table 1g). Both variables maintain much the same gradient throughout the year, with values increasing northward. This indicates a greater residence time of water at the Colorado River delta area. Higher salinities there are due to the greater accumulated effect of evaporation than in the more southern areas. Possibly, greater residence time is also related to higher B values in the north. As mentioned above, nutrients and seston are very high around Montague Island.

en invierno resulta claramente de la relación lineal entre $T^{\circ}\text{C}$, Z y el ciclo anual de temperatura atmosférica. Esto sugiere que la estructura de la primera componente se determina principalmente por las características batimétricas y el tiempo de residencia del agua en el área de estudio.

La variable con la más alta frecuencia de cargas altas o moderadas en la segunda componente fue el O_2 (Tabla 1a-f). Pero la co-incidencia de otras variables con cargas significativas fue irregular, sugiriendo que las distribuciones espaciales mensuales del O_2 fueron afectadas por conjuntos diferentes de condiciones físicas y biológicas. En el ACP del agregado de datos solamente la $T^{\circ}\text{C}$ y la $\text{S}^{\circ}/\text{oo}$, que controlan la solubilidad del oxígeno, emergieron con cargas significativas en asociación con la distribución espacial y temporal del O_2 (Tabla 1g).

La tercera componente del ACP del agregado de datos indica que la mayoría de las distribuciones espaciales y temporales de la biomasa del zooplancton pueden estar asociadas a variables no incluidas en el análisis, tales como la abundancia de fitoplancton y el seston orgánico. Sin embargo, la primera componente tiene una fracción significativa de la variancia de la biomasa del zooplancton, y es interesante ver que las distribuciones espaciales de B para mayo, julio, agosto y septiembre-octubre se asemejan a la de esta componente para julio (Fig. 3a-d, f). Esto puede resultar a través de la asociación entre B y $\text{S}^{\circ}/\text{oo}$ (Tabla 1g). Ambas variables consistentemente mantienen el mismo gradiente a través del año, con los valores aumentando hacia el norte. Esto indica más altos tiempos de residencia del agua en el área del delta del Río Colorado. En esa zona, las más altas salinidades se deben al mayor efecto acumulado de la evaporación en comparación con las áreas más al sur. Posiblemente, los mayores tiempos de residencia también están relacionados con valores más altos de B en el norte. Como se mencionó anteriormente, los nutrientes y el seston son muy altos alrededor de la isla Montague.

Durante la primavera tardía y el verano, la advección neta en el sentido contrario a las manecillas del reloj (en promedio 2.5 cm s^{-1}) inducida por los vientos del sureste relativamente fuertes y persistentes (Argote-Espinoza *et al.*, en preparación), parece ser, por lo menos en parte, responsable de los mayores

During late spring and summer, the counterclockwise net advection (on average 2.5 cm s^{-1}) induced by the relatively strong and persistent northwestward winds (Argote-Espinoza *et al.*, in preparation), seems to be, at least in part, responsible for the greater B values off the Baja California coast compared with those off Sonora. This advection pattern tends to carry the water from Montague Island, with high B values, to the southwest. As for the more patchy distributions of B during the rest of the year, they could be associated with a less energized clockwise circulation (on average 1.1 cm s^{-1}) induced by the more variable and weaker southeastward prevailing winds.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank John Beers of Scripps Institution of Oceanography for all his advise and for letting us use his laboratory facilities. We also thank Modesto Ortiz (CICESE) for his help with the PCA program, and Edward Brinton (SIO-UCSD) and an anonymous reviewer for their helpful comments and criticisms.

English translation by the authors.

valores de B frente a la costa de Baja California con respecto a los cercanos a la costa de Sonora. Este patrón de advección tiende a acarrear agua de la isla Montague, con valores altos de B , al suroeste. Con relación al más intenso petacheo de B durante el resto del año, se podría asociar a una circulación menos energética en el sentido de las manecillas del reloj (en promedio 1.1 cm s^{-1}), inducida por los vientos prevalecientes del noroeste, más variables y débiles.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a John Beers de la Institución Scripps de Oceanografía su asesoría y por permitirnos el uso de su laboratorio. También agradecemos a Modesto Ortiz (CICESE) por su ayuda con la programación del ACP; a Edward Brinton (SIO-UCSD) y un revisor anónimo por sus valiosos comentarios y críticas.

LITERATURA CITADA

- Alvarez Borrego, S., Galindo Bect, L.A. y Flores Báez, B.P. (1973). Hidrología. En: Estudio químico sobre la contaminación por insecticidas en la desembocadura del Río Colorado. Tomo I. Reporte Final a la Dirección de Acuicultura de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, UABC, Ensenada, B.C., México, pp. 1-200.
- Alvarez Borrego, S., Rivera, J.A., Gaxiola Castro, G., Acosta Ruiz, M.J. y Schwartzlose, R.A. (1978). Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5(2): 53-71.
- Alvarez-Borrego, S., and Lara-Lara, J.R. (1991). The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit (eds.), *The Gulf and Peninsular Provinces of the Californias. Memoir 47 of the American Association of Petroleum Geologists, Chapter 26*, pp. 555-567.
- Argote-Espinoza, M.L., Amador-Buenrostro, A. and Lavín, M. (in preparation). Tidal-induced residual flow in the Gulf of California. CICESE, Ensenada, B.C., México.
- Beers, J.R. (1976). Determination of zooplankton biomass, In: H.S. Steedman (ed.), *Zooplankton Fixation and Preservation*. UNESCO Press, *Monographs on Oceanographic Methodology 4*, Paris, pp. 37-84.
- Brinton, E., Fleminger, A. and Siegel-Causey, D. (1986). The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *CALCOFI Rep.*, 27: 228-266.
- Cummings, J.A. (1977). Seasonal and areal variations of zooplankton standing stocks in the northern Gulf of California. M.Sc. Thesis, Dept. of Ecology and Evolutionary Biology, Univ. of Arizona, Tucson, Ariz., 61 pp.
- Durazo Arvizu, R. (1989). Frentes térmicos en el alto Golfo de California. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, B.C., 67 pp.
- García de Ballesteros, G. y Larroque, M. (1976). Elementos sobre la distribución de turbidez en el alto Golfo de California. *CALCOFI Rep.*, 18: 81-106.
- Guevara Escamilla, S. (1973). Peces. En: Estudio químico sobre la contaminación por insecticidas en la desembocadura del Río Colorado. Tomo II. Reporte Final a la Dirección de Acuicultura de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, UABC, Ensenada, B.C., México, pp. 236-262.
- Gutiérrez, G. y González, J.I. (1989). Predicciones de mareas de 1990: estaciones mareográficas del CICESE. Informe Técnico OC-89-01, CICESE, Ensenada, B.C., México, 129 pp.
- Hendrickson, J.R. (1973). Study of the marine environment of the northern Gulf of California. *Nat. Tech. Info. Serv. Publ. N74-16008*, 95 pp.
- Hernández-Ayón, M., Galindo-Bect, S., Flores-Báez, B.P. and Alvarez-Borrego, S. (in preparation). Nutrient concentrations are exceptionally high in the Colorado River delta. IIO-UABC, Ensenada, México.
- Hulsizer, E.E. (1976). Zooplankton of lower Narragansett Bay. *Chesapeake Sci.*, 17: 260-270.
- Jiménez-Pérez, C. and Lara-Lara, J.R. (1988). Zooplankton biomass and copepod community structure in the Gulf of California during the 1982-1983 El Niño event. *CALCOFI Rep.*, 29: 122-128.
- Jiménez-Pérez, C. y Lara-Lara, J.R. (1990). Distribución de biomasa y estructura de la comunidad del zooplancton en el Estero de Punta Banda. *Ciencias Marinas*, 16(1): 35-48.
- Lavaniegos-Espejo, B.E. and Lara-Lara, J.R. (1990). Zooplankton of the Gulf of California after the 1982-1983 El Niño event: biomass distribution and abundance. *Pacific Science*, 44(3): 297-310.
- Lavín, M.F. and Organista, S. (1988). Surface heat flux in the northern Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 93(C11): 14033-14038.
- León Portilla, M. (1972). Descubrimiento en 1540 y primeras noticias de la isla de Cedros. *Calafia (UABC)*, 2(1): 8-10.
- Lepley, L.K., Vonder Haar, S.P., Hendrickson, J.R. and Calderón-Riveroll, G. (1975). Circulation in the northern Gulf of California from orbital photographs and ship investigations. *Ciencias Marinas* 2(2): 86-93.

- Matthews, J.B. (1969). Tides in the Gulf of California. In: D.A. Thomson (ed.); Environmental Impact of Brine Effluents on Gulf of California, U.S. Dept. Int. Res. Dev. Prog. Rep., No. 387.
- McAllister, C.D., Shah, N. and Strickland, J.D.H. (1964). Marine phytoplankton photosynthesis as a function of light intensity: a comparison of methods. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 21: 159-181.
- McGowan, J.A. (1984). The California El Niño, 1983. *Oceanus*, 27(2): 48-51.
- Miranda Reyes, F., Reyes Coca, S. y García López, J. (1990). Climatología de la región noroeste de México. Parte I: Precipitación. Rep. Tec. EBA No. 3. CICESE, Ensenada, B.C., México, 160 pp.
- Morrison, D.F. (1967). Multivariate statistical methods. McGraw Hill, New York, 338 pp.
- Núñez Esquer, O. (1975). Concentración de DDT y sus metabolitos en *Chione californiensis* de la parte norte del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 2(1): 6-13.
- Petersen, J.H., Jahn, A.E., Lavenberg, R.J. McGowen, G.E. and Grove, R.S. (1986). Physical-chemical characteristics and zooplankton biomass on the continental shelf off southern California. *CALCOFI Rep.*, 27: 36-52.
- Pielou, E.C. (1984). *The Interpretation of Ecological Data: A Primer on Classification and Ordination*. John Wiley & Sons Inc., New York, 263 pp.
- Quinn, W.H., Neal, V.T. and Antunez-de-Mayolo, S.E. (1986). Preliminary report on El Niño occurrences over the past four and a half centuries. Ref. 86-16, Nat. Sci. Found. #ATM-85 15014, Oregon State Univ., Corvallis, 36 pp.
- Roden, G.I. (1964). Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: Tj.H. van Andel and G.G. Shor Jr. (eds.), *Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium*. Am. Assoc. Pet. Geol., Mem., 3: 30-58.
- Thraikill, J. (1961). Zooplankton volumes off the Pacific coast. U.S. Fish. Wildlife Serv. Spec. Sci. Rep. Fish., 581: 50 pp.