

**VARIACIONES DIARIAS DE TEMPERATURA, SALINIDAD,
OXIGENO DISUELTO Y CLOROFILA *a*, EN UNA LAGUNA
HIPERSALINA DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

**DAILY VARIATIONS OF TEMPERATURE, SALINITY,
DISSOLVED OXYGEN AND CHLOROPHYLL *a*,
IN A HYPERSALINE LAGOON OF THE GULF OF CALIFORNIA**

José Eduardo Valdez-Holguín*

Departamento del Centro de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas de la Universidad de Sonora
Rosales y Niños Héroes s/n
Hermosillo, Sonora, México

Recibido en noviembre de 1993; aceptado en marzo de 1994

RESUMEN

Se obtuvieron series de tiempo durante un año para temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila *a*, en un punto fijo de la laguna La Cruz, Sonora (México), con la finalidad de conocer los procesos que generan variación en la laguna. El análisis espectral de estas series indica que las frecuencias de variación están asociadas con procesos de 3 a 15 días. Los procesos quincenales están relacionados con mareas vivas y muertas, mientras que los de tres días son debidos a efectos del viento y/o diferencias por la hora de muestreo. Se ha estimado un alto índice de flujo (volumen intermareal entre volumen total) para esta laguna, por lo que se puede considerar que la circulación de este sistema y su variabilidad están determinadas por los ciclos de marea y su alternancia de mareas vivas a muertas.

Palabras clave: clorofila, series de tiempo, lagunas costeras, golfo de California.

ABSTRACT

Time series of temperature, salinity, dissolved oxygen and chlorophyll *a* were obtained during one year in La Cruz Lagoon, Sonora (Mexico), in order to know the processes that generate variability in the lagoon. Spectral analysis of these time series showed that the variability was associated to processes with periods of 3 to 15 days. These fortnightly periods are related to spring and neap tide cycles, and the three-day periods are due to wind and/or differences in the sampling hour. The flux index (intertidal volume to total volume ratio) estimated for this lagoon is high, and it can be considered that the circulation and variability of this lagoon are determined by the sequence of the spring and neap tide cycles.

Key words: chlorophyll, time series, coastal lagoons, Gulf of California.

INTRODUCCION

Los cuerpos de agua costeros presentan características muy especiales, tales como su mor-

INTRODUCTION

Coastal bodies of water present special characteristics, such as their morphology (with

* Dirección actual: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). División de Oceanología, apartado postal 2732, Ensenada, Baja California, México.

fología (con una entrada restringida del mar adyacente) y alta productividad, por las cuales son considerados zona de crianza y refugio para muchos organismos acuáticos. Estos sistemas constituyen una alternativa para el desarrollo de la acuicultura en ambientes naturales. Son más productivos por unidad de área que el agua adyacente y ésta, a su vez, más que las aguas oceánicas. Para lograr un adecuado desarrollo de la actividad acuacultural, es necesario conocer los procesos que generan la variabilidad y productividad en estas áreas, así como las especies nativas cultivables. En este sentido, se han venido realizando esfuerzos para conocer las lagunas costeras en el noroeste del país (Baja California y Sonora, principalmente). Los estudios han descrito la variabilidad ambiental y aportado información sobre la dinámica de estos cuerpos de agua (Lara-Lara *et al.*, 1980; Millán-Núñez *et al.*, 1982; Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego, 1982; Granados-Guzmán y Alvarez-Borrego, 1983; Alvarez-Borrego *et al.*, 1984; Canino-Herrera *et al.*, 1990; Muñoz-Barbosa *et al.*, 1991; Paredes-Romero y López-Torres, 1988; Valdez-Holguín y Martínez-Córdova, 1993).

Se ha observado que la estación del año determina en gran medida la hidrología, biomasa y productividad del fitoplancton en estos ambientes (Lara-Lara y Alvarez-Borrego, 1975; Alvarez-Borrego *et al.*, 1975; Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego, 1982). Así mismo, los fenómenos de surgencias costeras en áreas cercanas a lagunas costeras tienen un fuerte impacto en la concentración de nutrientes en el interior de éstas (Alvarez-Borrego *et al.*, 1977; Zertuche-González y Alvarez-Borrego, 1978). Sin embargo, mucha de la variabilidad observada es debida a procesos que se llevan a cabo en escalas de tiempo muy cortas (procesos diurnos y semidiurnos), y ha sido asociada con la dinámica del sistema, remineralización de nutrientes, turbidez inducida por el viento y efecto de mareas (Acosta-Ruiz y Lara-Lara, 1978; Millán-Núñez *et al.*, 1981; Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego, 1982).

Recientemente, la Universidad de Sonora, a través del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, ha llevado a cabo estudios

a restricted communication with the adjacent sea) and high productivity, and are therefore considered breeding and refuge areas for many aquatic organisms. These systems are an alternative for the development of aquaculture in natural environments. They are more productive per unit area than the adjacent waters and these, in turn, more than oceanic waters. To achieve an appropriate development of aquacultural activity, it is necessary to know the processes that generate variability and productivity in these areas, as well as the endemic species and those that can be cultured. Consequently, several studies have been carried out on the coastal lagoons of northwestern Mexico (mainly Baja California and Sonora), which describe the environmental variability and give information on the dynamics of these ecosystems (Lara-Lara *et al.*, 1980; Millán-Núñez *et al.*, 1982; Alvarez-Borrego and Alvarez-Borrego, 1982; Granados-Guzmán and Alvarez-Borrego, 1983; Alvarez-Borrego *et al.*, 1984; Canino-Herrera *et al.*, 1990; Muñoz-Barbosa *et al.*, 1991; Paredes-Romero and López-Torres, 1988; Valdez-Holguín and Martínez-Córdova, 1993).

It has been noted that seasons largely determine the hydrology, biomass and productivity of phytoplankton in these environments (Lara-Lara and Alvarez-Borrego, 1975; Alvarez-Borrego *et al.*, 1975; Alvarez-Borrego and Alvarez-Borrego, 1982). Likewise, coastal upwelling events in areas near coastal lagoons have a strong impact on the nutrient concentrations inside the lagoons (Alvarez-Borrego *et al.*, 1977; Zertuche-González and Alvarez-Borrego, 1978). However, much of the variability observed is due to processes that occur in very short time scales (diurnal and semidiurnal cycles), and it has been associated with the system's dynamics, nutrient remineralization, wind and tide mixing (Acosta-Ruiz and Lara-Lara, 1978; Millán-Núñez *et al.*, 1981; Alvarez-Borrego and Alvarez-Borrego, 1982).

Recently, studies of the coastal lagoons of the state of Sonora have been carried out at the *Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas* of the University of Sonora. These studies describe the ecological properties of

de lagunas costeras del estado de Sonora. En estas investigaciones, se han descrito en forma general las variables ecológicas del estero Tastiota (Paredes-Romero y López-Torres, 1988), y nutrientes y seston de laguna La Cruz (Castro-Longoria y Grijalva-Chon, 1991). Sin embargo, los datos no aportan información de la periodicidad de los procesos que generan variación. Este estudio se realizó con el fin de conocer la frecuencia de los procesos que determinan la variabilidad hidrológica en la boca de la laguna costera La Cruz, Sonora (México).

AREA DE ESTUDIO

La laguna La Cruz está localizada en bahía Kino, Sonora, en la costa oriental del golfo de California, aproximadamente entre los 28°45' y 28°49' de latitud norte, y los 115°51' y 115°55' de longitud oeste (Fig. 1). El clima es semicálido, muy seco, con temperatura media anual de 22.0°C, y lluvias escasas de mayor incidencia en verano (Contreras, 1985). Los vientos predominantes, al igual que en el resto del golfo de California, son del norte en invierno y primavera, y del sur en verano y otoño (Roden, 1958). La laguna puede ser clasificada como un antiestuario, según el criterio de clasificación de Pritchard (1967), ya que el aporte de agua dulce es casi nulo y la salinidad normalmente es más alta que la del mar. Es una laguna somera, con profundidad media de alrededor de 1 m, con canales de mayor profundidad (5 m) en la boca. Sus aguas cubren una superficie de 23 km² durante la pleamar, lo que representa un volumen de aproximadamente 58×10^6 m³ y un índice de flujo (volumen intermareal entre volumen total) de 0.38 (Gilmartin y Revelante, 1978). El régimen de mareas es mixto, con periodicidad quincenal en los ciclos de mareas vivas y muertas. La amplitud de las mismas llega a ser de casi 1 m durante las mareas vivas de septiembre, que generan corrientes de hasta 2 m/s en la boca de la laguna (Kitani y Martínez-Córdova, 1977), con marismas de inundación en las partes más internas. Estas características determinan el tamaño del sedimento, que va desde arena gruesa en la boca hasta limo arcilloso en el interior (Villalba-Atondo *et al.*, 1989) (Fig. 1). La vege-

Estero Tastiota (Paredes-Romero and López-Torres, 1988), and nutrients and seston in La Cruz Lagoon (Castro-Longoria and Grijalva-Chon, 1991). However, the data do not provide information regarding the periodicity of the processes that generate variation. The purpose of the present study is to determine the frequency of the processes that cause hydrological variability at the mouth of the coastal lagoon La Cruz, Sonora (Mexico).

STUDY AREA

La Cruz Lagoon is located in Bahía Kino, Sonora, on the eastern coast of the Gulf of California, between 28°45' and 28°49' N and 115°51' and 115°55' W (Fig. 1). The climate is warm and very dry, with a mean annual temperature of 22.0°C and scant rains of greater incidence in summer (Contreras, 1985). As in the rest of the Gulf of California, northwesterly winds predominate in winter and spring, and southeasterly winds in summer and autumn (Roden, 1958). The lagoon can be classified as an antiestuary, according to Pritchard's (1967) classification, since freshwater input is negligible and salinity is usually higher than that of the adjacent sea. It is a shallow lagoon, having a mean depth of around 1 m, with deeper channels (5 m) at the mouth. The area covered by the lagoon is approximately 23 km² during high tide, equivalent to a volume of about 58×10^6 m³ and a flux index (intertidal volume to total volume ratio) of 0.38 (Gilmartin and Revelante, 1978). The tidal regime is mixed, with a fortnightly periodicity in the spring and neap tide cycles. The tide amplitude is of nearly 1 m during the September spring tides, generating currents of up to 2 m/s at the mouth of the lagoon (Kitani and Martínez-Córdova, 1977). Mud flats occur in the innermost parts. These characteristics determine the type of sediment, consisting of coarse sand at the mouth and silty clay in the interior (Villalba-Atondo *et al.*, 1989) (Fig. 1). The surrounding vegetation is mainly composed of mangroves of the genera *Avicennia* and *Rhizophora* (the latter only in some places of the bar).

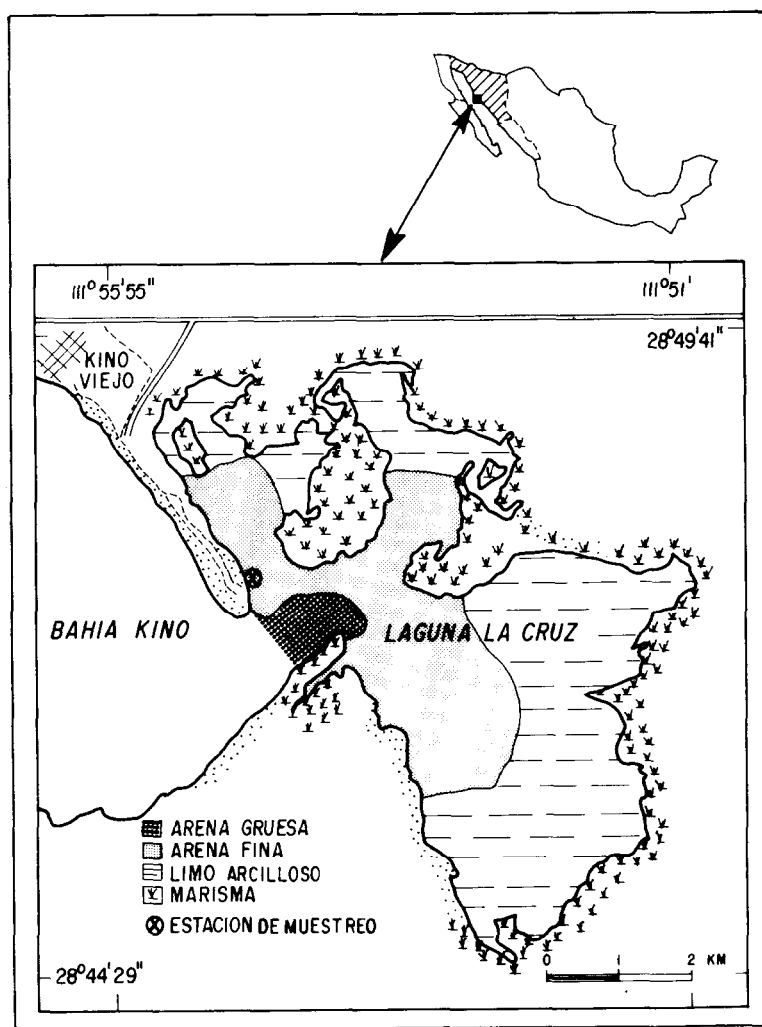


Figura 1. Localización de la estación de muestreo.

Figure 1. Location of the sampling site.

tación circundante está compuesta principalmente por mangle de los géneros *Avicennia* y *Rhizophora* (este último sólo en algunas localidades de la barra).

MATERIALES Y METODOS

Durante un año (del 29 de mayo de 1987 al 29 de mayo de 1988), se registraron diariamente, alrededor del mediodía, las temperaturas superficial del mar y ambiental, utilizando un

MATERIALS AND METHODS

During one year (from 29 May, 1987 to 29 May, 1988), environmental and sea surface temperatures were recorded daily around noon, using a graduated thermometer (-10 to 150°C) with accuracy of $\pm 0.1^\circ\text{C}$, at a fixed point in the mouth of La Cruz Lagoon (Fig. 1). Salinity was determined with an American Optical refractometer with accuracy of $\pm 1.0\%$. Water samples were also taken for dissolved oxygen and

termómetro de cubeta, graduado de -10 a 150°C, con una precisión de $\pm 0.1^\circ\text{C}$, en un punto fijo de la boca de la laguna La Cruz (Fig. 1). La salinidad se determinó con un refractómetro American Optical, con precisión de $\pm 1.0\%$. Además, se tomaron muestras de agua para análisis de oxígeno disuelto y clorofila *a*. El oxígeno disuelto se determinó con el método Winkler, descrito por Parsons *et al.* (1984). La clorofila *a* se cuantificó siguiendo la técnica espectrofotométrica de Parsons *et al.* (1984), utilizando un espectrofotómetro Beckman, modelo 25, y filtros GF/C de 47 mm de diámetro. Las concentraciones fueron calculadas con las ecuaciones de Parsons y Strickland (1963).

Con el fin de tener una referencia del nivel del mar, se obtuvo la predicción de la marea para cada día y hora de muestreo (Fig. 2), de la sección de mareografía del CICESE. Debido a que no existe ninguna estación en bahía Kino, Sonora, las predicciones están calculadas para la estación SC06, ubicada al sur de isla Tiburón. La estación se localiza aproximadamente a 30 km del punto de muestreo. Se consideró que la altura y el periodo no cambiaron de un lugar a otro.

Se aplicó a todos los datos un análisis espectral para obtener los espectros de varianza de las series. Mediante una transformada de Fourier, se obtuvieron las frecuencias de variación de las series (Bendat y Piersol, 1971). La máxima frecuencia de variación que es posible resolver con este tratamiento es de $2T$ (T = intervalo de muestreo) y la mínima frecuencia debe ser muestreada diez veces (Westler, 1969). De tal manera, la frecuencia más alta obtenida es de 0.5 ciclos por día y la más baja con representatividad, de 0.027 ciclos por día.

RESULTADOS

Durante el estudio, la altura de la marea presentó sus niveles mayores durante el verano de 1987, con valores de hasta 1 m sobre el nivel medio del mar, y los valores más bajos durante el invierno, con 1 m por debajo del nivel medio del mar (Fig. 2). En general, la marea presentó una tendencia anual de valores altos en verano y bajos en invierno. En el espectro de varianza de la marea, se observó una periodicidad

chlorophyll *a* analyses. Dissolved oxygen was determined with the Winkler method, as described in Parsons *et al.* (1984). Chlorophyll *a* was quantified following the spectrophotometric technique of Parsons *et al.* (1984), using a Beckman model 25 spectrophotometer and 47-mm diameter GF/C filters. The concentrations were computed with the equations of Parsons and Strickland (1963).

In order to have a reference of sea level, tide predictions for each day and sampling hour (Fig. 2) were obtained from CICESE. Since there is no station at Bahía Kino, Sonora, the tide predictions for station SC06 were used, which is located to the south of Tiburón Island, approximately 30 km from the sampling site. It was assumed that the tidal height and period do not change from one place to another.

A spectral analysis was applied to all the data to obtain the variance spectra of the series. The frequencies of variation of the series were obtained by means of a fast Fourier transform (Bendat and Piersol, 1971). The maximum frequency of variation that can be estimated by this method is $2T$ (T = sampling interval) and the minimum frequency must be sampled ten times (Westler, 1969). Thus, the highest frequency obtained in this study was 0.5 cycles per day and the lowest 0.027 cycles per day.

RESULTS

The highest levels of the tide occurred in summer 1987, with values as high as 1 m above mean sea level, and the lowest values in winter, 1 m below mean sea level (Fig. 2). In general, the tide presented a pattern of high values in summer and low in winter. In the tidal variance spectrum, a well-defined fortnightly periodicity was observed, with small fluctuations of two to seven days (Fig. 3). Seawater temperature varied from 12.0°C in January to 33.8°C in August (Fig. 4b), with a mean value of 24.3°C ($S = 5.6$), presenting the same pattern of seasonal variation as environmental temperature, which was maximum in September (38.4°C) and minimum in December (11.6°C), with a mean value of 26.2°C ($S = 5.9$). Salinity (Fig. 5) did not show a well-defined pattern of variation, varying from 43.0‰ in May

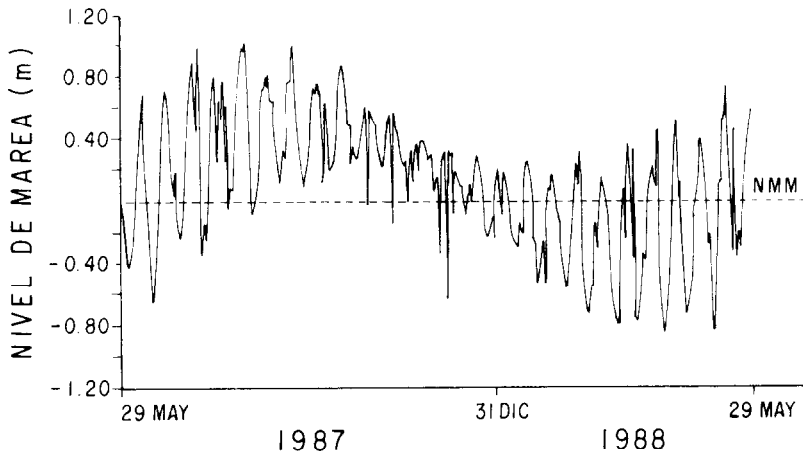


Figura 2. Nivel de la marea de isla Tiburón.
Figure 2. Tide level for Tiburón Island.

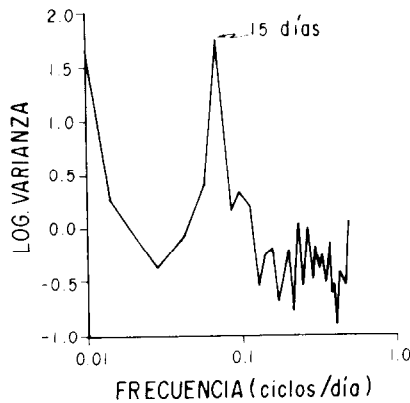


Figura 3. Espectro de varianza de la marea.
Figure 3. Tidal variance spectrum.

quincenal bien definida, con pequeñas fluctuaciones de dos a siete días (Fig. 3). La temperatura del mar varió de 12.0°C en enero a 33.8°C en agosto (Fig. 4b), con valor promedio de 24.3°C ($S = 5.6$), y presentó básicamente el mismo patrón de variación estacional que la temperatura ambiental, la cual tuvo su máximo en septiembre (38.4°C) y mínimo en diciembre (11.6°C), con un valor promedio de 26.2°C ($S = 5.9$). La salinidad (Fig. 5) no mostró un patrón de variación bien definido, varió de 43.0‰ en

to 32.0‰ in summer (July-August), with an average value of 36.8‰ ($S = 1.5$). Dissolved oxygen (average = 5.15 ml/l; $S = 1.04$) presented an inverse behaviour to that of temperature (Fig. 6a), with higher values in winter (maximum 8.58 ml/l, January) and lower in spring and summer (minimum 2.58 ml/l). Chlorophyll *a* presented a wide variation throughout the annual cycle (Fig. 6b); the maximum value was recorded in November (6.55 mg Chl/m³) and the minimum in April (0.06 mg Chl/m³).

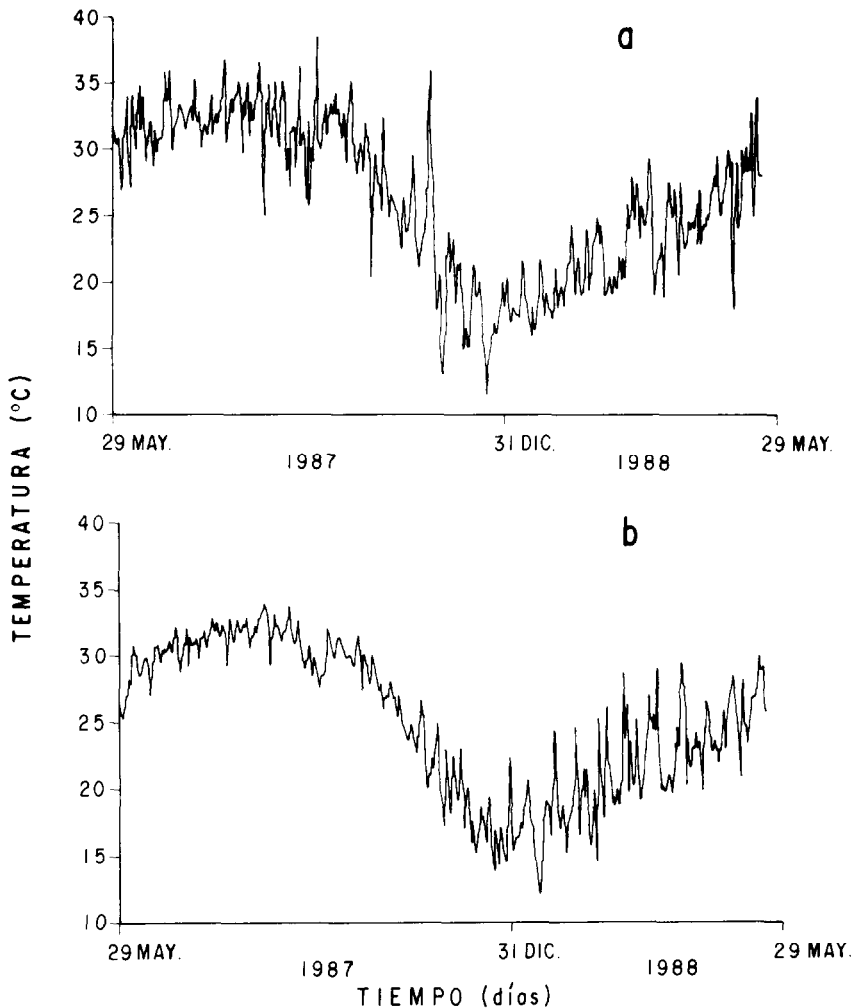


Figura 4. Series de tiempo de las temperaturas ambiental (a) y superficial (b), en la laguna La Cruz, Sonora.

Figure 4. Time series of environmental temperature (a) and surface water temperature (b) at La Cruz Lagoon, Sonora.

mayo a 32.0‰ en verano (julio-agosto), con promedio de 36.8‰ ($S = 1.5$). El oxígeno disuelto (promedio de 5.15 ml/l; $S = 1.04$) presentó un comportamiento inverso al de la temperatura (Fig. 6a), con valores mayores en invierno (máximo 8.58 ml/l, enero) y menores en primavera y verano (mínimo 2.58 ml/l). La clorofila *a* tuvo una amplia variación en todo el ciclo anual (Fig. 6b). El valor máximo de clorofila *a* se registró en noviembre (6.55 mg Cl/m³) y el mínimo en abril (0.06 mg Cl/m³).

The temperature series presented a strong seasonal trend, with higher values in summer and lower in winter. However, given the characteristics of the sampling, it is not possible to resolve this variance in the spectral analysis, which showed that the variation was mainly determined by fortnightly cycles (Fig. 7a). The variance of salinity was also associated with fortnightly processes (Fig. 7b). The oxygen series presented an inverse variation to that of temperature, with a seasonal trend. The pro-

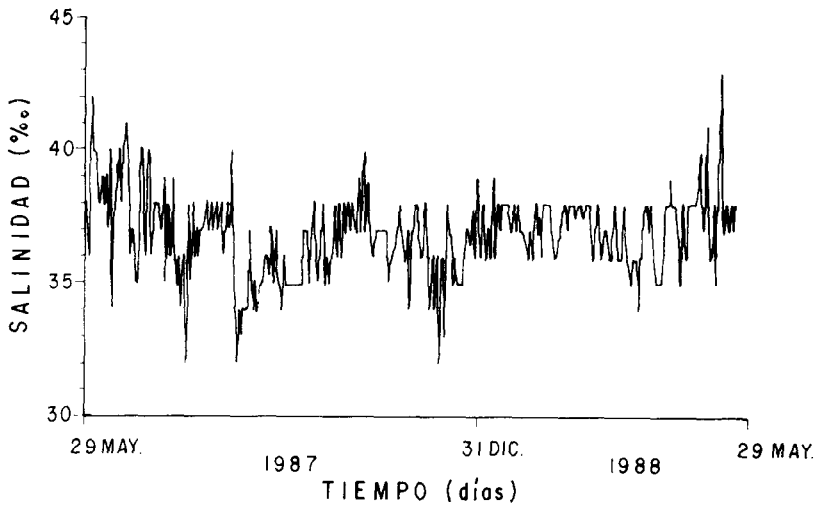


Figura 5. Serie de tiempo de salinidad en la laguna La Cruz, Sonora.
Figure 5. Time series of salinity at La Cruz Lagoon, Sonora.

La serie de temperatura mostró una fuerte tendencia estacional, con valores mayores en verano y menores en invierno. Sin embargo, dadas las características del muestreo, no es posible resolver esta varianza en el análisis espectral, el cual mostró que su variación estuvo determinada por ciclos quincenales principalmente (Fig. 7a). De la misma manera, la varianza de la salinidad se asoció con procesos quincenales (Fig. 7b). La serie del oxígeno presentó una variación inversa a la de temperatura, con una tendencia estacional. Los procesos que determinan su variabilidad están asociados con periodos quincenales y menores (Fig. 8a). También la varianza de la clorofila se asoció con periodos quincenales y menores (Fig. 8b).

DISCUSSION

Varios autores han destacado la influencia de las fluctuaciones ambientales (estacionalidad) en la distribución de las variables hidrológicas de cuerpos de agua costeros (Lara-Lara y Alvarez-Borrego, 1975; Alvarez-Borrego *et al.* 1975). En este estudio, se observó una dependencia directa de la temperatura del agua con la temperatura ambiental, debido a que la batimetría del área muestreada (muy somera)

cesses that determine its variability were associated with periods of three days to two weeks (Fig. 8a). The variance of chlorophyll was also associated with fortnightly and shorter periods (Fig. 8b).

DISCUSSION

Several authors have noted the effect of environmental fluctuations (seasonality) on the distribution of the hydrological variables of coastal bodies of water (Lara-Lara and Alvarez-Borrego, 1975; Alvarez-Borrego *et al.*, 1975). In this study, a direct dependence of water temperature on environmental temperature was observed, because the bathymetry of the area sampled (very shallow) allows a greater influence of environmental variability on the lagoon. However, the variability of temperature was mostly related to fortnightly processes, which could be associated to tidal heights that had similar frequencies of variation, as can be seen in the variance spectrum for the Tiburón Island tide predictions. These frequencies (0.06 cycles per day) can be related to the spring and neap tide cycles, which have a fortnightly periodicity (Mann and Lazier, 1991). Alvarez-Borrego and Alvarez-Borrego (1982), with data

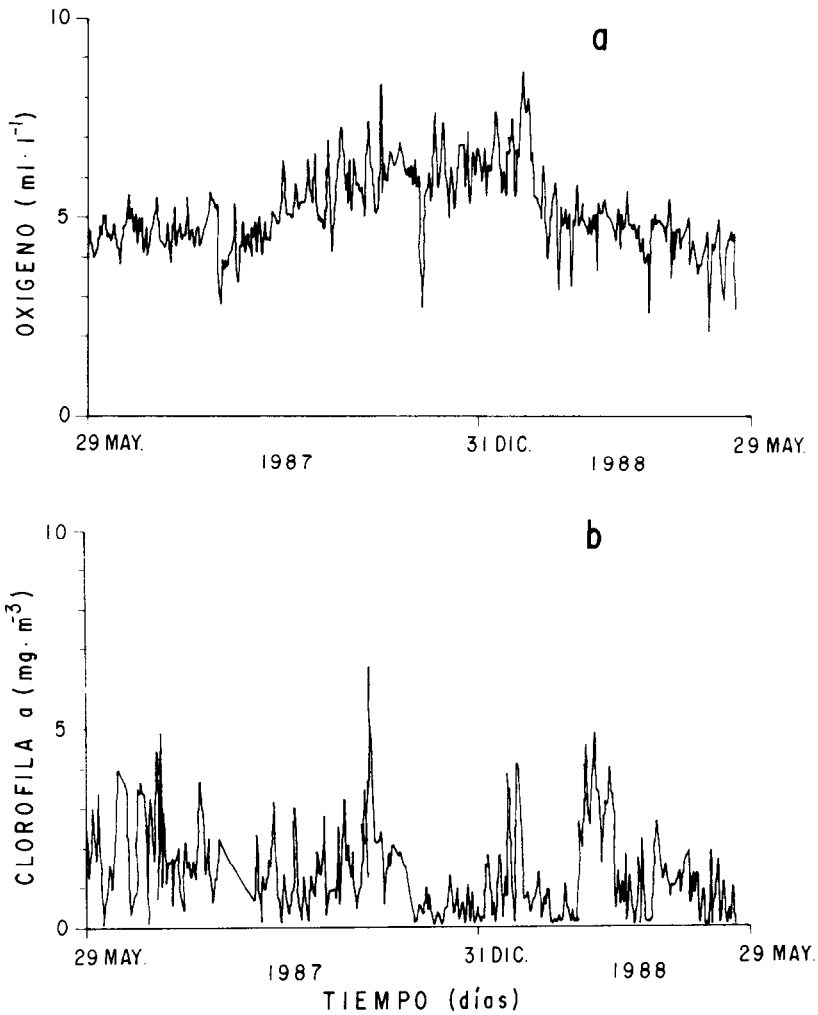


Figura 6. Series de tiempo de oxígeno disuelto (a) y clorofila *a* (b) en la laguna La Cruz, Sonora.
Figure 6. Time series of dissolved oxygen (a) and chlorophyll *a* (b) at La Cruz Lagoon, Sonora.

permite una mayor influencia de la variabilidad ambiental en la laguna. Sin embargo, su variabilidad estuvo más relacionada con procesos quincenales, los cuales pueden relacionarse con la altura de la marea, que presentó frecuencias de variación similares, como se observó en los espectros obtenidos de la marea para isla Tiburón. Las frecuencias observadas en este estudio (0.06 ciclos por día) pueden estar relacionadas con los cambios de mareas vivas y muertas, las cuales son de periodicidad quince-

taken every 30 minutes during one annual cycle, observed a semidiurnal behaviour in two coastal lagoons of Baja California, and indicated the influence of spring and neap tides on the variability of temperature. The fortnightly variability observed in this study was not evident in a similar work of Valdez-Holguín and Martínez-Córdova (1993), in which the annual processes determined the variability of temperature at two fixed points in this body of water. Castro-Longoria and Grijalva-Chon

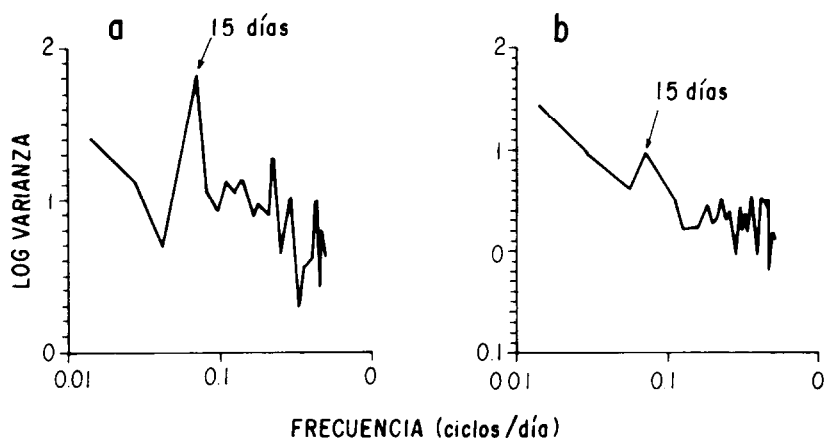


Figura 7. Espectros de varianza de las series de tiempo de temperatura superficial (a) y salinidad (b).
Figure 7. Variance spectra of surface water temperature (a) and salinity (b).

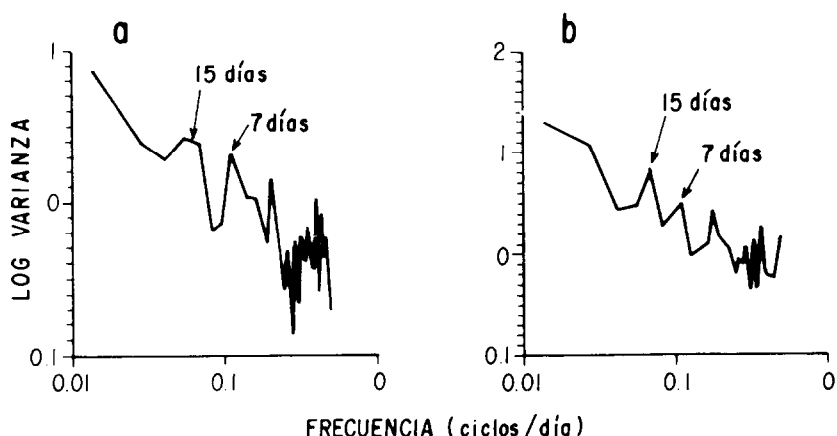


Figura 8. Espectros de varianza de las series de tiempo de oxígeno disuelto (a) y clorofila *a* (b).
Figure 8. Variance spectra of dissolved oxygen (a) and chlorophyll *a* (b).

nal (Mann y Lazier, 1991). Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982), con datos cada 30 minutos durante un ciclo anual, observaron un comportamiento semidiurno en dos lagunas costeras de Baja California e indicaron la influencia de las mareas vivas y muertas en la variabilidad de la temperatura. La variabilidad quincenal observada en este estudio no fue evidente en un trabajo similar de Valdez-Holguín y Martínez-

(1991), during the same period as this study but with monthly samplings in a grid of stations at the lagoon, recorded mean temperature values similar to those reported here, higher in summer (maximum 32°C) and lower in winter (minimum 16°C), with a general increasing trend toward the interior of the lagoon.

The values of salinity reported here have a greater interval of variation than those obtained

Córdova (1993), donde los procesos anuales determinaron la variabilidad de la temperatura en dos puntos fijos de este cuerpo de agua. Castro-Longoria y Grijalva-Chon (1991), durante el mismo periodo pero con muestreos mensuales en una red de estaciones en la laguna, registraron valores promedio de temperatura similares a los de este estudio, mayores en verano (máximo 32°C) y menores en invierno (mínimo 16°C), con tendencia general a incrementarse hacia el interior de la laguna.

Los valores de salinidad registrados en este estudio tienen un intervalo de variación mayor que los obtenidos por Castro-Longoria y Grijalva-Chon (1991) para esta laguna, durante el mismo periodo. A pesar de haber cubierto una red de estaciones y encontrar un incremento de esos valores hacia el interior de la laguna, es posible que la menor variabilidad observada por Castro-Longoria y Grijalva-Chon (1991) se deba a que los muestreos se hayan realizado aprovechando algún tipo de marea (la alta) para alcanzar a cubrir los extremos más alejados y de esta forma no se detectaron cambios debidos al intercambio de agua por la marea. Gilmartin y Revelante (1978) estimaron que el prisma de marea para este sitio era de 0.38, con corrientes de marea de hasta 2 m/s (Kitani y Martínez-Córdova, 1977), de tal manera es posible que en el sitio de estudio se haya muestreado agua proveniente de lugares muy someros del interior. La salinidad presentó una tendencia de variación por procesos de 15 días o menores. Estas frecuencias pueden ser relacionadas con la alternancia de mareas vivas y muertas, como se mencionó anteriormente. Las variaciones debidas a procesos menores de 15 días pueden ser generadas por evaporación causada por vientos con periodos de tres a ocho días en esta zona (Reyes-Coca *et al.*, 1984). Sin embargo, es posible que estas variaciones estén relacionadas con las fluctuaciones de dos a siete días observadas en la marea, que pueden asociarse con la diferencia de hora de muestreo de cada día. En el estudio realizado por Paredes-Romero y López-Torres (1988) en estero Tastiota, Sonora, situado 30 km al sur de bahía Kino, se concluye que el ciclo estacional y el intercambio de agua por las mareas determinaron la variabilidad de la salinidad.

by Castro-Longoria and Grijalva-Chon (1991) for this lagoon, during the same period. Though they covered a grid of stations and found that the values increased toward the inner part of the lagoon, the smaller variability observed by Castro-Longoria and Grijalva-Chon (1991) may be due to the fact that the samplings were carried out during one type of tide (high) in order to be able to cover the extremes; hence, changes due to water exchange by tides were not detected. Gilmartin and Revelante (1978) estimated that the tidal prism for this site was 0.38, with tidal currents of up to 2 m/s (Kitani and Martínez-Córdova, 1977), so it is possible that water from very shallow places of the interior may have been sampled at the study site. Salinity presented a variation trend due to processes of 15 days or shorter. The smaller frequencies are related to spring and neap tides, as mentioned previously, but the greater frequencies could be associated to wind effect (evaporation) with periods of three to eight days in this area (Reyes-Coca *et al.*, 1984). However, it is possible that these variations are related to the 2-7 day fluctuations observed in the tide, that can be associated to differences in the sampling hour from day to day. Paredes-Romero and López-Torres (1988) concluded that the seasonal cycle and water exchange by tides determined the variability of salinity at Estero Tastiota (Sonora), 30 km south of Bahía Kino.

Oxygen showed an inverse pattern of variation to that of temperature, since its solubility depends, among other factors, on temperature. Valdez-Holguín and Martínez-Córdova (1993) reported similar oxygen values for two fixed points in this lagoon and found no significant differences between them. Like salinity, oxygen variability was related to periods of three days to two weeks. Valdez-Holguín and Martínez-Córdova (1993) also found that the fortnightly processes were the main factor of variation of oxygen in the lagoon and related to spring and neap tides. The short-period variations (3-7 days) could be related to wind events in the study area with periods of three to eight days (Reyes-Coca *et al.*, 1984). On the other hand, they could be associated with the variance due to irregularities in the sampling hour.

El oxígeno mostró un patrón de variación inverso al de la temperatura, ya que su solubilidad depende entre otros factores de la temperatura. Valdez-Holguín y Martínez-Córdova (1993) observaron valores similares de oxígeno para este mismo sistema en dos puntos fijos, sin encontrar diferencias significativas entre ellos. Al igual que la salinidad, la variabilidad del oxígeno estuvo relacionada con periodos quincenales y de hasta tres días. Valdez-Holguín y Martínez-Córdova (1993) también encontraron que los procesos quincenales eran el principal factor de variación del oxígeno en la laguna, y lo relacionaron con las mareas vivas y muertas. Las variaciones de periodo corto (tres a siete días) pueden vincularse con efectos del viento en la zona de estudio, con periodos de tres a ocho días (Reyes-Coca *et al.*, 1984). Por otra parte, pueden asociarse con la varianza debida a irregularidades en la hora de muestreo.

La alta variabilidad de la clorofila observada en este estudio es una clara indicación de la distribución en parches del fitoplancton, la cual se observa en las frecuencias altas del espectro de varianza. Estos valores son menores que los registrados anteriormente para este cuerpo de agua y otros del estado de Sonora (Ortega-Romero, 1978; Gómez-Rentería, 1988). Las diferencias pueden estar influenciadas por el punto de muestreo, ya que en este caso el sitio de estudio estuvo localizado cerca de la boca del sistema y directamente influenciado por el intercambio de agua con bahía Kino, lo que evidenció más las características de ésta que las de la laguna (Valdez-Holguín y Martínez-Córdova, 1993). Comparativamente con otros ecosistemas del golfo de California, como bahía de Los Angeles, los valores observados aquí son menores. Canino-Herrera *et al.* (1990) encontraron, para bahía de Los Angeles (Baja California) durante el verano, mayor concentración de clorofila y productividad en mareas muertas, por el acondicionamiento del fitoplancton a la luz, que durante mareas vivas (cuando la acción de viento y mareas mezcló la columna de agua). En invierno la mezcla vertical de la columna de agua y el transporte horizontal por efectos del viento son los factores que regulan la variabilidad de biomasa y productividad en bahía de Los

The high variability of chlorophyll observed in this study is a clear indication of the patchy distribution of phytoplankton, which can be seen in the high frequencies of the variance spectrum. These values are lower than those reported for this and other bodies of water in Sonora (Ortega-Romero, 1978; Gómez-Rentería, 1988). The differences may be influenced by the location of the sampling site, since in this case it was near the mouth of the system and directly influenced by the exchange of water with Bahía Kino, denoting more the characteristics of the bay than of the lagoon (Valdez-Holguín and Martínez-Córdova, 1993). Compared to other ecosystems of the Gulf of California, such as Bahía de los Angeles (Baja California), the values reported here are lower. In summer at Bahía de los Angeles, Canino-Herrera *et al.* (1990) found a higher chlorophyll concentration and primary productivity during neap tides than during spring tides (when the wind and tide mixed the water column), as a result of the adaptation of phytoplankton to light. In winter, the vertical mixing of the water column and the horizontal transport due to wind effects are the factors that regulate the variability of phytoplankton biomass and productivity in Bahía de los Angeles (Muñoz-Barbosa *et al.*, 1991). Though the variability of chlorophyll at both localities has been associated with spring and neap tides, La Cruz Lagoon is shallower than Bahía de los Angeles, with a narrow mouth relative to the area of the lagoon and with a shorter water residence time, which does not allow the phytoplankton to adapt to the characteristics of the environment.

In general, the annual and seasonal cycles determine the physicochemical variables of the lagoon. The most important frequencies of variation were related to the sequence of spring and neap tides, which have a fortnightly periodicity (Mann and Lazier, 1991). In these systems (shallow and with a relatively narrow mouth), circulation is basically determined by tidal currents, whereas in other coastal systems of the Gulf of California, such as Bahía de los Angeles, surface circulation is mainly wind-driven (Serrano-Guzmán and Amador-Buenrostro, 1987). Dynamic processes (tides) exchange almost 100% of the water in one day.

Angeles (Múñoz-Barbosa *et al.*, 1991). Aunque en ambas localidades se ha asociado la variabilidad de la clorofila con la alternancia de mareas vivas y muertas, la laguna La Cruz es somera, a diferencia de bahía de Los Angeles, con una boca angosta en relación con el área de la laguna y con un tiempo de residencia del agua menor, lo que impide al fitoplancton acondicionarse a las características del ambiente.

En general, los ciclos anual y estacional influyen en las variables fisicoquímicas de la laguna. Las frecuencias de variación más importantes fueron relacionadas con la alternancia de mareas vivas y muertas, de periodicidad quincenal (Mann y Lazier, 1991). En estos sistemas (someros y de boca relativamente angosta) la circulación está básicamente determinada por corrientes de marea, a diferencia de otros sistemas costeros del golfo de California, como bahía de Los Angeles, donde la circulación superficial está determinada principalmente por el viento (Serrano-Guzmán y Amador-Buenrostro, 1987). Los procesos dinámicos (mareas) pueden renovar en un día casi el 100% del agua. Esta dinámica puede ser la causa de variaciones en periodos cortos (diurnos y semidiurnos) no contemplados en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue llevado a cabo con colaboración del personal de la UEK-CICTUS (Ramón Barraza, Isidro Vázquez y Ernesto Meza) y ayuda financiera del CONACYT (ICCNXNA-031345). Los comentarios y sugerencias de Gilberto Gaxiola, Roberto Millán y Rafael Cervantes fueron de gran valor para mejorar este escrito. José María Domínguez y Francisco Ponce elaboraron las figuras.

REFERENCIAS

- Acosta-Ruiz, J.M. y Lara-Lara, J.R. (1978). Resultados fisico-químicos de un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, B.C.S. *Ciencias Marinas*, 5(1): 37-46.
- Alvarez-Borrego, J. and Alvarez-Borrego, S. (1982). Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Rep.*, XXIII: 188-197.

This dynamics can cause short-period variations (diurnal and semidiurnal) not contemplated in this study.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out with the assistance of personnel at UEK-CICTUS (Ramón Barraza, Isidro Vázquez and Ernesto Meza), and with financial support from CONACYT (ICCNXNA-031345). The comments and suggestions of Gilberto Gaxiola, Roberto Millán and Rafael Cervantes greatly helped to improve the manuscript. José María Domínguez and Francisco Ponce elaborated the figures.

English translation by Christine Harris.

-
- Alvarez-Borrego, S., Ballesteros-Grijalva, G. y Chee-Barragán, A. (1975). Estudio de algunas variables físico-químicas superficiales en Bahía San Quintín, en verano, otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 2(2): 1-9.
- Alvarez-Borrego, S., Acosta-Ruiz, M.J. y Lara-Lara, J.R. (1977). Hidrología comparativa de las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4(1): 1-11.
- Alvarez-Borrego, S., Granados-Guzmán, A. y Beltrán-Félix, J.L. (1984). Temperatura y salinidad en el Estero de Punta Banda: 1982-1983. *Ciencias Marinas*, 10(3): 105-108.
- Bendat, J.S. and Piersol, A.G. (1971). **Random Data: Analysis and measurements procedures**. Wiley-Interscience, 407 pp.
- Canino-Herrera, S.R., Gaxiola-Castro, G. y Segovia-Zavala, J.A. (1990). Efecto de procesos físicos sobre la variación de clorofila, seston y productividad primaria en la ensenada norte de Bahía de los Angeles (verano de 1986). *Ciencias Marinas*, 16(2): 67-85
- Castro-Longoria, R. y Grijalva-Chon, J.M. (1991). Variabilidad espacio-temporal de nutrientes y seston en la laguna costera La Cruz, Sonora. *Ciencias Marinas*, 17(2): 83-97
- Contreras, F. (1985). **Las lagunas costeras mexicanas**. Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca, 253 pp.

- Gilmartin, M. and Revelante, N. (1978). The phytoplankton characteristics of the Barrier Island Lagoons of the Gulf of California. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 7(1): 29-47.
- Gómez-Rentería, A.J. (1988). Determinación de sustancias fotosintetizadoras del fitoplancton de tres lagunas costeras del Estado de Sonora. Tesis de licenciatura, **Depto. de Ciencias Químico-biológicas, Universidad de Sonora**, Hermosillo, Sonora, México.
- Granados-Guzmán, A. y Alvarez-Borrego, S. (1983). Variabilidad de temperatura en la Ensenada de La Paz, B.C.S. *Ciencias Marinas*, 9(2): 133-141.
- Kitani, H. y Martínez-Córdova, L.R. (1977). Estudio bioecológico en el estero La Cruz: Cultivo de camarón. Reporte técnico, **CICTUS**.
- Lara-Lara, J.R. y Alvarez-Borrego, S. (1975). Ciclo anual de clorofila y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B.C. *Ciencias Marinas*, 2(1): 77-96.
- Lara-Lara, J.R., Alvarez-Borrego, S. and Small, L.F. (1980). Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 11: 613-637.
- Mann, K.H. and Lazier, J.R.N. (1991). **Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans**. Blackwell Scientific Publications, Boston, 466 pp.
- Millán-Núñez, E., Ortiz-Cortez, F.J. y Alvarez-Borrego, S. (1981). Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. *Ciencias Marinas*, 7(1): 103-128.
- Millán-Núñez, R., Alvarez-Borrego, S. and Nelson, D. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients of phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 15: 317-335.
- Muñoz-Barbosa, A., Gaxiola-Castro, G. y Segovia-Zavala, J.A. (1991). Variabilidad temporal de productividad primaria, clorofila y seston en la Bahía de los Angeles, Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 17(4): 47-68.
- Ortega-Romero, P. (1978). Determinación de pigmentos y otros parámetros fisico-químicos como una medida indirecta de la producción primaria bruta en el estero La Cruz, Bahía Kino, Sonora. Tesis de licenciatura, **Depto. de Ciencias Químico-biológicas, Universidad de Sonora**, Hermosillo, Sonora, México.
- Paredes-Romero, G.I. y López-Torres, M.A. (1988). Comportamiento de parámetros hidrológicos y de productividad orgánica primaria en un sistema lagunar del estado de Sonora. Tesis de licenciatura, **Depto. de Ciencias Químico-biológicas, Universidad de Sonora**, Hermosillo, Sonora, México.
- Parsons, T.R. and Strickland, J.D.H. (1963). Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.*, 21: 155-163.
- Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M. (1984). **A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis**. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Pritchard, D.W. (1967). What is an estuary: physical viewpoint. In: G.H. Lauff (ed.), **Estuaries**. Ass. Ame. Adv. Sci., pp. 3-6.
- Reyes-Coca, S., Pavía-López, E., Candela-Pérez, J. y Troncoso-Gaytán, R. (1984). Estudio preliminar de las condiciones meteorológicas y climatológicas alrededor del Golfo de California. I.a. parte: Análisis del viento. *Ciencias Marinas*, 10(2): 9-26.
- Roden, G.I. (1958). Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. *Pacific Science*, 12(1): 21-45.
- Serrano-Guzmán, S.J. y Amador-Buenrostro, A. (1987). Incidencia de larvas de bivalvos y corrientes residuales en Bahía de los Angeles. B.C. **Memorias del II Congreso Nacional de Acuicultura**, 24-26 de octubre de 1987, La Paz, B.C.S.
- Valdez-Holguín, J.E. y Martínez-Córdova, L.R. (1993). Variabilidad de algunos parámetros fisico-químicos y productividad primaria en la Laguna La Cruz, Sonora, México. *Revista de Biología Tropical*, 41(2): 161-170.

- Villalva-Atondo, A., de la O, M. y Ortega-Romero, P. (1989). Ambientes sedimentarios recientes de la laguna costera La Cruz, Sonora, México. **Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR**, 5(1): 89-96.
- Westler, T.A. (1969). Spectral Analysis: Application in water pollution control. **Federal Water Pollution Control Administration. U.S. Department of the Interior**, CWT-3, Washington, D.C., 99 pp.
- Zertuche-González, J.A. y Alvarez-Borrego, S. (1978). Series de tiempo de variables físico-químicas en la boca de dos antiestuarios de Baja California. **Ciencias Marinas**, 5(1): 91-103.