

NUTRIENTES INORGANICOS EN LOS CANALES DE INUNDACION DE LAS MARISMAS DE UNA LAGUNA COSTERA DEL NOROESTE DE BAJA CALIFORNIA

INORGANIC NUTRIENTS IN THE INUNDATION CHANNELS OF TIDAL MARSHES OF A COASTAL LAGOON OF NORTHWESTERN BAJA CALIFORNIA

María Guadalupe Luz Soto Balderas ¹
Saúl Álvarez Borrego ²

¹Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada
División de Oceanología
Calle Ruíz y 17a.
Ensenada, Baja California, México

²Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México

Ciencias Marinas (1991), Vol. 17, No. 3, pp. 1-20.

RESUMEN

Con el propósito de caracterizar las aguas de los canales de inundación de las marismas del estero de Punta Banda, una laguna costera del noroeste de Baja California, se generaron series de tiempo de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$), salinidad ($S^{\circ}/_{\text{OO}}$), concentración de nitrato más nitrito ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$), amonio (NH_4), y fosfato (PO_4) en las bocas de tres de ellos. Estos canales se localizan cerca de la boca del estero (B), en la parte media (M) y en el extremo interno (C) del mismo. Cada canal se muestreó dos veces, en agosto de 1988. En cada caso, se tomaron muestras superficiales cada hora, durante doce horas. Además, se realizaron dos muestreos a lo largo del canal principal del estero, para comparar con los resultados de los canales mencionados. Las propiedades del agua de las bocas de los canales B y M son similares entre sí y a las del canal principal. Los valores más altos de salinidad y nutrientes se encontraron en C, donde la salinidad máxima fue $39.2^{\circ}/_{\text{OO}}$, y las concentraciones máximas de nutrientes fueron $10\mu\text{M}$, $27\mu\text{M}$ y $7\mu\text{M}$, para $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y PO_4 respectivamente; comparadas con una salinidad máxima de $36.0^{\circ}/_{\text{OO}}$ y concentraciones máximas de $4.9\mu\text{M}$, $24\mu\text{M}$ y $3.2\mu\text{M}$ para $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 y PO_4 respectivamente, en B y M. Los altos valores de C se deben a la baja velocidad de renovación del agua, o alto tiempo de residencia, en el extremo interno del estero. Nuestros datos no apoyan la hipótesis de que las concentraciones de nutrientes en las aguas de reflujo de los canales de inundación de las marismas sean mayores que las del canal principal. En B y M la acumulación de sal y nutrientes es menor que en C debido a la cercanía de los primeros con la boca del estero. El alto tiempo de residencia del agua del extremo interno del estero lo hace especialmente vulnerable a la introducción de contaminantes.

ABSTRACT

We generated temperature, salinity, nitrate plus nitrite ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$), ammonia (NH_4), and phosphate (PO_4) time series for the mouth of three inundation channels of salt marshes of estero

de Punta Banda, a coastal lagoon of northwestern Baja California. The channels are located near the lagoon's mouth (B), at the middle (M), and at the internal extreme (C). Each channel was sampled twice, in August 1988. In each case, surface samples were taken every hour during twelve hours. Also, the main channel of the estero was sampled twice, at ten locations from the mouth to the internal extreme, to compare with the secondary channels. In these latter cases time series were not generated. We found highest salinity and nutrient values at channel C, where maximum salinity was 39.2 ‰, and maximum nutrient concentrations were 10 μM , 27 μM , and 7 μM , for $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 , and PO_4 , respectively. B and M had similar values for water properties. Maximum S ‰ and nutrient values for B and M were 36.0 ‰, and 4.9 μM , 24 μM , and 3.2 μM , for $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 , and PO_4 , respectively. Higher values at C were due to higher residence time of water at the internal extreme of the lagoon. Our data do not support the hypothesis that nutrient concentrations of water ebbing from these inundation channels are higher than those of the lagoon's main channel. Accumulation of nutrients and salt in channels B and M is lower than at C due to the former being closer to the lagoon's mouth. Large residence times in the internal extreme of the lagoon make it very vulnerable to the input of pollutants.

INTRODUCCION

Desde 1975 se han realizado una serie de estudios para caracterizar la concentración de nutrientes en las lagunas costeras del noroeste de Baja California (Alvarez-Borrego y Chee-Barragán, 1976; Alvarez-Borrego *et al.*, 1977; Zertuche-González y Alvarez-Borrego, 1978; Sánchez-Hernández, 1978; Lara-Lara *et al.*, 1980; Millán-Núñez *et al.*, 1981; Millán-Núñez *et al.*, 1982; Farfán y Alvarez-Borrego, 1983; y Muñoz-Anderson y Millán-Núñez, 1991). Sin embargo, estos trabajos reportan solamente sobre las distribuciones espaciales y las variaciones temporales de las concentraciones de nutrientes en los cuerpos principales de agua de estas lagunas costeras. Más recientemente se han realizado estudios que describen el comportamiento de los nutrientes en las aguas intersticiales de los sedimentos (Green Ruíz *et al.*, 1984; Camacho-Ibar y Alvarez-Borrego, 1988; y Aguiñiga García y Alvarez-Borrego, 1989). Aguiñiga García y Alvarez-Borrego (1989) reportaron que ocasionalmente se presentaron valores de concentración de fosfato (PO_4) hasta de 6 μM y de amonio (NH_4) hasta de 35 μM para la superficie del sedimento de entremareas de una localización en la mitad de la barra que separa al estero de la bahía. Estos autores concluyeron que dichas altas concentraciones están evidenciando un aporte sustancial de nutrientes del sedimento a la columna de agua por percolación desde profundidades de unos 15 a 20 cm. El estero de Punta Banda tiene extensas marismas en las orillas orientales que se inundan y se descubren periódicamente por las mareas (la amplitud de marea puede ser hasta más de

INTRODUCTION

There are several reports on the nutrient concentrations of coastal lagoons of Baja California (Alvarez-Borrego and Chee-Barragán, 1976; Alvarez-Borrego *et al.*, 1977; Zertuche-González and Alvarez-Borrego, 1978; Sánchez-Hernández, 1978; Lara-Lara *et al.*, 1980; Millán-Núñez *et al.*, 1981; Millán-Núñez *et al.*, 1982; Farfán and Alvarez-Borrego, 1983; and Muñoz-Anderson and Millán-Núñez, 1991). However, these works report only on the space distributions and temporal variations of nutrient concentrations within the main bodies of water of these coastal lagoons. More recently, studies have been carried out to describe the behavior of nutrients in intertidal sediments pore waters (Green-Ruiz *et al.*, 1984; Camacho-Ibar and Alvarez-Borrego, 1988; Aguiñiga-García and Alvarez-Borrego, 1989). Aguiñiga-García and Alvarez-Borrego (1989) concluded that a substantial input of nutrients from the sediments into the water column is occurring in these coastal lagoons. This input is evidenced by the pulses of high nutrient concentrations found at the sediment surface by these authors. In a mud flat located at the bar that separates estero de Punta Banda from Bahía Todos Santos, a relatively dynamic place with strong tidal currents, surface sediment values were as high as 6 μM and more than 35 μM , for phosphate (PO_4) and ammonia (NH_4), respectively. Estero de Punta Banda has extensive mud flats and salt marshes on the landward shores, which are periodically flooded and partially uncovered by tidal movements (tidal amplitude may be larger than

2 m). Estas marismas son generalmente someras, aun en marea alta. Se esperaría que el agua que las inunda se enriqueciera con nutrientes y que un efecto acumulado se detectara en el reflujó a través de las bocas de los canales de inundación.

Con el propósito de probar la hipótesis que las aguas de reflujó de las marismas del estero de Punta Banda se enriquecen con nutrientes inorgánicos, generamos series de tiempo en las bocas de tres canales de inundación: uno cerca de la boca de la laguna (B), otro a la mitad de la misma (M), y otro en el extremo interno (C) (Fig. 1). También muestreamos en diez localizaciones del canal principal del estero para comparar con los datos de los canales secundarios. El objetivo de nuestro trabajo fue el contribuir al conocimiento de la dinámica de los nutrientes de este tipo de lagunas costeras, generando datos sobre un medio que no había sido estudiado: los canales de inundación de las marismas.

AREA DE ESTUDIO

El tamaño de las lagunas costeras del mundo varía de unas pocas hectáreas hasta 800,000 ha. Sin embargo, la mayoría son relativamente pequeñas. Considerando el área del estero de Punta Banda, en el diagrama de distribución de frecuencias de tamaños de lagunas costeras de Nixon (1982) se aprecia que el estero es un poco más pequeño que la moda y es un orden de magnitud menor que la mediana.

El estero de Punta Banda está ubicado en la costa noroeste de Baja California, a unos 100 km de la frontera entre México y Estados Unidos (Fig. 1). La laguna está en el extremo sureste de la Bahía de Todos Santos, y su boca está a 13 km del océano abierto. Tiene forma de L, con el brazo corto de 3 km y el brazo largo de 7.5 km. Tiene una entrada permanente en el extremo norte del brazo largo. Tiene un área de alrededor de 3.6 km² en bajamar media inferior y alrededor de 11.6 km² en pleamar media superior. Por lo tanto, grandes marismas se inundan y descubren periódicamente con las mareas. El estero de Punta Banda se clasifica como una laguna neutra; la densidad del agua es igual o casi igual a la del mar abierto y el movimiento del agua es causado solamente por las mareas y el viento (Pritchard *et al.* 1978). Hay dos

2 m). Depths are usually shallow in these mud flats and salt marshes, even at high tide. One would expect that the water that floods these areas becomes enriched with nutrients, and some accumulated effect may be detected when these waters are ebbing through the mouths of the inundation channels.

In order to test the hypothesis that the waters flooding the mud flats and salt marshes of Estero de Punta Banda are enriched with inorganic nutrients, we generated time series at the mouths of three inundation channels: one near the mouth of the lagoon (B), one at the middle (M), and one at the internal extreme of the Estero (C) (Fig. 1). Also, we sampled in ten locations in the main channel of the Estero to be able to compare with the data from the secondary channels. The purpose of our work was to contribute to the knowledge of the nutrient dynamics of this kind of coastal lagoons, providing data from an environment that had not been studied: the inundation channels of salt marshes and mud flats.

STUDY AREA

Lagoons of the world range in size from a few hectares up to 800,000 ha. For the most part, however, they are relatively small. From Nixon's (1982) size-frequency diagram for coastal lagoons, we can infer that Estero de Punta Banda is a little under the mode, and it is an order of magnitude smaller than the median.

Esteros de Punta Banda is 100 km south of the U. S.- Mexico border (Fig. 1). The lagoon is at the southeastern extreme of Todos Santos Bay, and its mouth is about 13 km from the open ocean. It is L-shaped, with a short arm of 3 km and a long arm of 7.5 km. It has a single permanent entrance at the northern extreme of the long arm. It has an area of about 3.6 km² at low tide and 11.6 km² at high tide. Thus, large areas of mud flats and salt marshes are flooded and uncovered periodically with the tides. Estero de Punta Banda is classified as a neutral lagoon; water densities are equal or almost equal to that of the open sea, and water movement is caused only by tides and wind (Pritchard *et al.*, 1978). There are two streams that input above ground fresh water to the lagoon only during rainy days (mainly in winter). In general, however, there are salinity gradients with

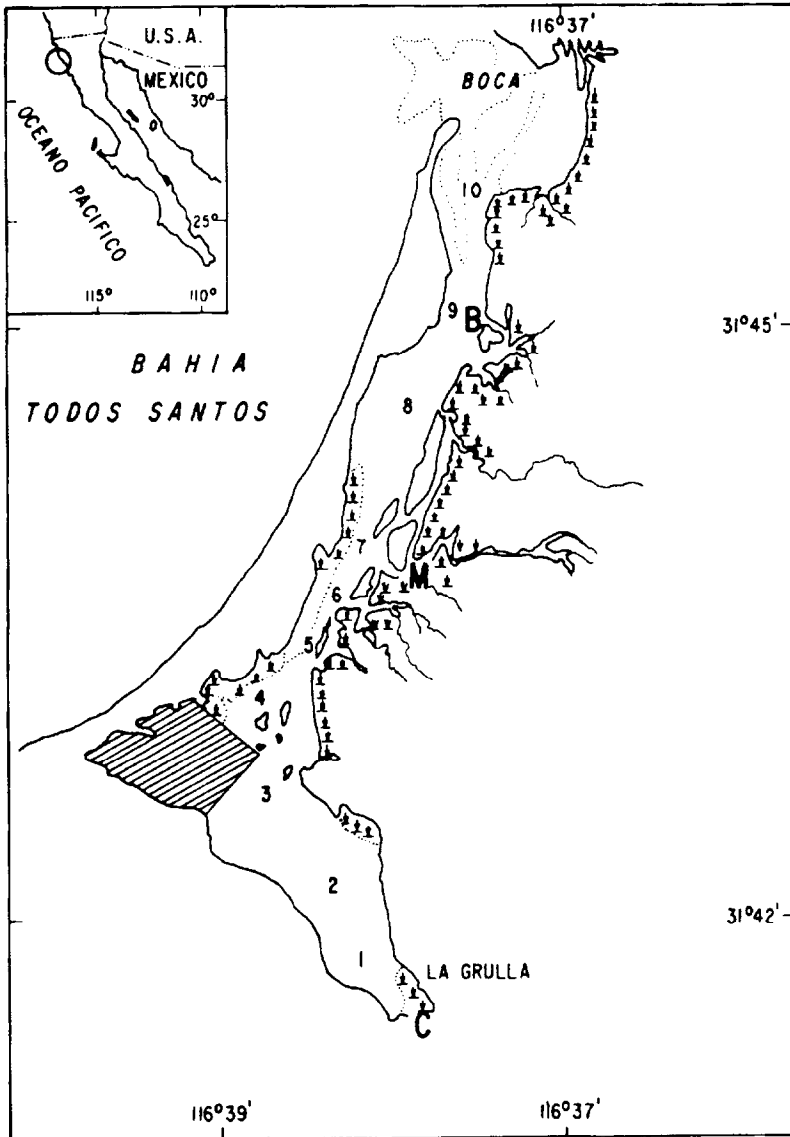


Figura 1.- Localización de los sitios de muestreo.
Figure 1.- Location of sampling sites.

arroyos que aportan agua dulce superficialmente al estero solamente durante los días lluviosos (generalmente en invierno). Sin embargo, en general, existen gradientes de salinidad en el estero con los valores aumentando de la boca al extremo interno debido al exceso de evaporación (Acosta Ruiz y Alvarez-Borrego, 1974). Lo somero de la laguna permite el desarrollo de dos clases de vegetación dominante. Una es la flora marina dominada por pastos, *Zostera marina*; la otra es la flora de marisma que está desarrollada extensamente a lo largo de las márgenes bajas de la laguna, que se sujetan a inundaciones de mareas.

De acuerdo con Sánchez Hernández (1978), los valores de fosfato (PO_4) y silicato (SiO_2) de la columna de agua son más altos en verano que en invierno. El nitrato (NO_3) no mostró un ciclo estacional claro. En el verano PO_4 y SiO_2 no variaron mucho de la boca al vértice de la L, pero aumentaron abruptamente de ahí al extremo interno. Los máximos valores de PO_4 fueron $> 5 \mu\text{M}$, en verano y cerca del extremo interno. En el brazo largo de la laguna, los valores de PO_4 fueron $0.3\text{-}1.1 \mu\text{M}$. En toda la laguna, los valores de NO_3 tuvieron un intervalo de variación de no detectable a $3.5 \mu\text{M}$, con los valores más altos cerca de la boca. Sánchez Hernández (1978) reportó máximos valores de salinidad de 36.4 ‰ para el extremo interno, y 33.9 ‰ para la región cercana a la boca, en verano. Las concentraciones de nutrientes en las aguas intersticiales de sedimentos de entremareas son mucho más altas que las reportadas para la columna de agua (Camacho-Ibar y Alvarez-Borrego, 1988; Aguiñiga-García y Alvarez-Borrego, 1989). Estos autores describieron la gran variabilidad temporal y espacial de PO_4 y NH_4 en el agua intersticial de sedimentos de entremareas del extremo interno del estero y de una localización en la mitad de la barra que separa la laguna de la Bahía de Todos Santos. Los sedimentos del extremo interno presentaron muy altas concentraciones en verano (NH_4 : $220\text{-}1970 \mu\text{M}$; y PO_4 : $23\text{-}103 \mu\text{M}$), con los más altos valores a $5\text{-}20 \text{ cm}$ de profundidad (Camacho-Ibar y Alvarez-Borrego, 1988). Estas concentraciones fueron seis veces mayores que las de los sedimentos de la barra (Aguiñiga-García y Alvarez-Borrego, 1989). Esta diferencia se debe a que la localización de la barra es más energética, con corrientes de marea más fuertes que el extremo interno.

values increasing from the mouth to the internal extreme, due to excess evaporation in the lagoon (Acosta-Ruiz and Alvarez-Borrego, 1974). The mainly shallow mud-flat character of the lagoon provides for two kinds of dominant vegetation. One is a marine flora dominated by eelgrass, *Zostera marina*; the other is a salt marsh flora extensively developed along the low-lying margins of the lagoon subjected to tidal flooding.

According to Sánchez-Hernández (1978), PO_4 and silicate (SiO_2) in the water column are higher during summer than during winter; nitrate (NO_3) did not exhibit a clear seasonal cycle. During summer, PO_4 and SiO_2 did not vary much from the mouth to the L vertex, but increased abruptly from there to the internal extreme. Maximum PO_4 values were $> 5 \mu\text{M}$, during summer and near the internal extreme. In the long arm of the lagoon PO_4 values were $0.3\text{-}1.1 \mu\text{M}$. In the whole lagoon NO_3 had a range from undetectable to $3.5 \mu\text{M}$, with highest values near the mouth. Sánchez-Hernández (1978) reported highest S ‰ of 36.4 ‰ for the internal extreme, and 33.9 ‰ for the region near the mouth, for summer. Nutrient concentrations of intertidal sediments pore waters are much higher than those reported for the water column (Camacho-Ibar and Alvarez-Borrego, 1988; Aguiñiga-García and Alvarez-Borrego, 1989). These authors reported on the great temporal and space variations of pore water PO_4 and NH_4 , in the sediments of the internal extreme of the Estero and in those of a location at the middle of the bar that separates the lagoon from Todos Santos Bay. Sediments of the internal extreme had very high concentrations in summer (NH_4 : $220\text{-}1970 \mu\text{M}$; and PO_4 : $23\text{-}103 \mu\text{M}$), with highest values at $5\text{-}20 \text{ cm}$ depth (Camacho-Ibar and Alvarez-Borrego, 1988). These concentrations were six times higher than those of the bar's sediments (Aguiñiga-García and Alvarez-Borrego, 1989). This difference is due to the location at the bar being more energetic, with stronger tidal currents than at the internal extreme.

Although, we did not study the fauna and flora of our sampling sites, *Suaeda californica*, *Salicornia virginica*, and *Spartina foliosa* are some of the most represented macrovegetation species present (Poumiam Tapia, CI-CESE, personal communication). The fiddler

No hicimos un estudio de la fauna y flora presente en nuestros sitios de muestreo B, M y C, pero *Suaeda californica*, *Salicornia virginica* y *Spartina foliosa* son algunas de las especies más representativas de la macrovegetación (Poumiam Tapia, CICESE, comunicación personal). También se aprecia una gran abundancia del cangrejo violinista (*Uca sp.*) y del cangrejo azul (*Callinectes sp.*), y una variedad de pájaros marinos. Los canales B, M, y C tienen agua aun en las mareas más bajas.

MATERIALES Y METODOS

Generamos series de tiempo de doce horas con intervalo de muestreo de una hora, para tres localizaciones: B, M y C. Las variables medidas fueron T°C, S ‰/‰, nitrato más nitrato ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$), NH_4 y PO_4 . Los muestreos se hicieron en agosto 2, 3 y 4, de 1988, en B, C y M, respectivamente, con mareas vivas; y en agosto 15, 16 y 17, respectivamente, con mareas muertas. También muestreamos en diez localizaciones a lo largo del canal principal del estero (Fig. 1), en dos ocasiones (tomamos sólo una muestra por localización en cada ocasión), el 5 de agosto con flujo y el 18 con reflujo. En todos los casos se tomaron sólo muestras superficiales.

La temperatura se midió con un termómetro de cubeta. La salinidad se midió con un salinómetro Kahlsico, modelo R59. Las muestras de nutrientes se tomaron en botellas de plástico de 250 ml después de haberse pasado por filtros de poro de 65 μm , y se congelaron con hielo seco. Los análisis de salinidad y nutrientes se realizaron en el laboratorio de Ensenada. PO_4 , NO_2 y NO_3 se analizaron utilizando los métodos espectrofotométricos descritos por Strickland y Parsons (1972). NH_4 se analizó utilizando el método de Koroleff (1976) (citado por Grasshoff *et al.*, 1983) y modificado por Grasshoff *et al.* (1983). Usamos un espectrofotómetro Baush & Lomb, Spectronic 1001. Los datos de nivel de mar fueron proporcionados por el Grupo de Mareografía del Departamento de Oceanografía Física del CICESE.

RESULTADOS

La mayor amplitud de marea para el período 2-4 de agosto (mareas vivas) fue

crab (*Uca sp.*) and the blue crab (*Callinectes sp.*), and a variety of marine birds are also very abundant. We sampled from three channels that have water even at the lowest tides.

MATERIALS AND METHODS

Temperature, salinity, nitrate plus nitrite, ammonia and phosphate twelve hours time series, with a sampling interval of one hour, were generated for locations B, M, and C. Sampling was done on August 2, 3 and 4, 1988, at B,C and M, respectively, with spring tides; and on August 15, 16 and 17, respectively, with neap tides. Also, samples were taken at ten locations along the main channel of the Estero (Fig. 1), on two occasions (only one sample per location, on each occasion), on August 5 with flood flow, and on August 18 with ebb flow. Only surface samples were taken in all cases.

Temperature was measured with a bucket thermometer. Salinity was measured with a Kahlsico salinometer, model R59. Nutrient samples were taken with 250 ml plastic bottles after they were filtered through 65 μm pore filters, and then they were frozen in a box with dry ice. Salinity and nutrient analysis were performed in the laboratory at Ensenada. PO_4 , NO_2 and NO_3 were analyzed by the spectrophotometric method described by Strickland and Parsons (1972). NH_4 was analyzed following the method described by Koroleff (1976) (cited by Grasshoff *et al.*, 1983) and modified by Grasshoff *et al.* (1983). We used a spectrophotometer Baush & Lomb, Spectronic 1001. Sea level data was furnished by the Tide Studies Group of the Physical Oceanography Department of CICESE.

RESULTS

The largest tidal amplitude for the period 2-4 August (spring tides) was 1.47 m, on the 2nd; and the largest amplitude for the period 15-17 (neap tides) was 1.16 m on the 15th. The smallest amplitude was 1 m, on the 17th (Fig. 2). Unfortunately, for reasons out of our control, we did not sample during the days previous to the 2nd which had tides with greater amplitude.

In general, minimum temperature values were similar for B, M and C (21-23°C). But, maximum values for C were clearly larger than

1.47 m, el día 2; y la mayor amplitud del período 15-17 (mareas muertas) fue 1.16 m el día 15. La amplitud más pequeña fue 1 m y se presentó el 17 (Fig. 2). Desafortunadamente, por motivos fuera de nuestro alcance, no muestreamos en los días previos al 2 de agosto que presentaron mareas más amplias.

En general, los valores mínimos de temperatura fueron similares para B, M y C (21-23 °C). Pero los valores máximos para C fueron claramente mayores que los de B y M: 29 y 30 °C en C comparados con 27 y 27.5 °C en B, y 26 y 27 °C en M (Fig. 2).

En general, la salinidad de los tres canales mostró un comportamiento similar durante las mareas vivas con respecto al de las mareas muertas (Fig. 2). Los intervalos de variación de la salinidad de B y M fueron similares, pero la salinidad del canal C presentó más altos valores y un intervalo de variación mayor. Las salinidades mínimas de C fueron mayores que las máximas de B y M. Las máximas salinidades de C fueron $> 39 \text{ ‰}$. La salinidad varió un tanto irregularmente en todas las series. Sin embargo, en general, hubo una correlación inversa de la salinidad y el nivel del mar.

El diagrama T-S con todos los datos de B, M y C se puede dividir en cuatro regiones, mediante una línea de salinidad igual a 36.4 ‰ y una línea de temperatura igual a 24 °C (Fig. 3). Las dos regiones superiores corresponden a los datos de C, y las dos inferiores a los datos de B y M. Las dos regiones de la izquierda corresponden principalmente a muestras tomadas en flujo, y las de la derecha principalmente a muestras tomadas en reflujó. Esta última división en izquierda y derecha no es claramente discriminatoria, pero representa la tendencia de la mayoría de los datos.

El canal C tuvo los más altos valores de nutrientes, principalmente el 3 de agosto. Pero también presentó valores muy bajos el 16 de agosto (sobre todo NH_4), por lo que tuvo los más amplios intervalos de variación (Fig. 4). Hay una gran consistencia interna en los datos del 3 de agosto; las concentraciones de todos los nutrientes fueron relativamente altas. A pesar de las grandes irregularidades en la variación de las concentraciones de los nutrientes, se puede observar una correlación con el nivel del mar en algunos casos, con las más bajas concentraciones en marea alta y vicever-

those for B and M: 29 and 30°C for C, compared with 27 and 27.5°C for B, and 26 and 27°C for M (Fig. 2).

In general, salinity for the three channels showed a similar behavior during both spring and neap tides (Fig. 2). Salinity ranges for B and M were similar. But, salinity for channel C had larger values and with wider ranges. Minimum salinities for C were larger than maxima for B and M. Maximum salinities for C were $> 39 \text{ ‰}$. Salinity varied somewhat irregularly in each series. Nevertheless, in general, there was an inverse correlation of $S \text{ ‰}$ with sea level.

The T-S diagram with all data from B, M, and C may be divided into four regions by one line of salinity equal to 36.4 ‰ , and the line of temperature equal to 24°C (Fig. 3). The two upper regions correspond to data from C, and the two lower regions to data from B and M. The two left regions correspond mostly to samples taken with flood flow, and the two right regions correspond mostly to samples with ebb flow. This last division in left and right is not clearly discriminatory, but represents the tendency of the majority of the data.

Channel C had the highest nutrient values, specially for August 3. But, also the wider variation ranges, with very low nutrient values on August 16 (mainly NH_4) (Fig. 4). There is high internal consistency in the data from August 3; all nutrients were relatively high. In spite of great irregularities in the temporal nutrient concentration changes, a correlation with sea level can be observed in some cases, with lowest nutrient concentrations at high tide, and vice versa. Such is the case for the NH_4 time series of August 2, 15 and 16, and the $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ time series of August 16 (Figs. 2 and 4). PO_4 showed the lowest correlation with tides. However, for channel M, highest PO_4 values were associated with low tide, and vice versa.

When comparing the means from each time series, by a t test at the 95% confidence level, we can observe that there was no significant difference between the water properties of B and M, with exception of the PO_4 means of August 2 and 4 (Table 1). Differences between means from channel C and those of B and M were between significant and highly significant, with exception of the T°C and NH_4 means of August 15, 16 and 17. In

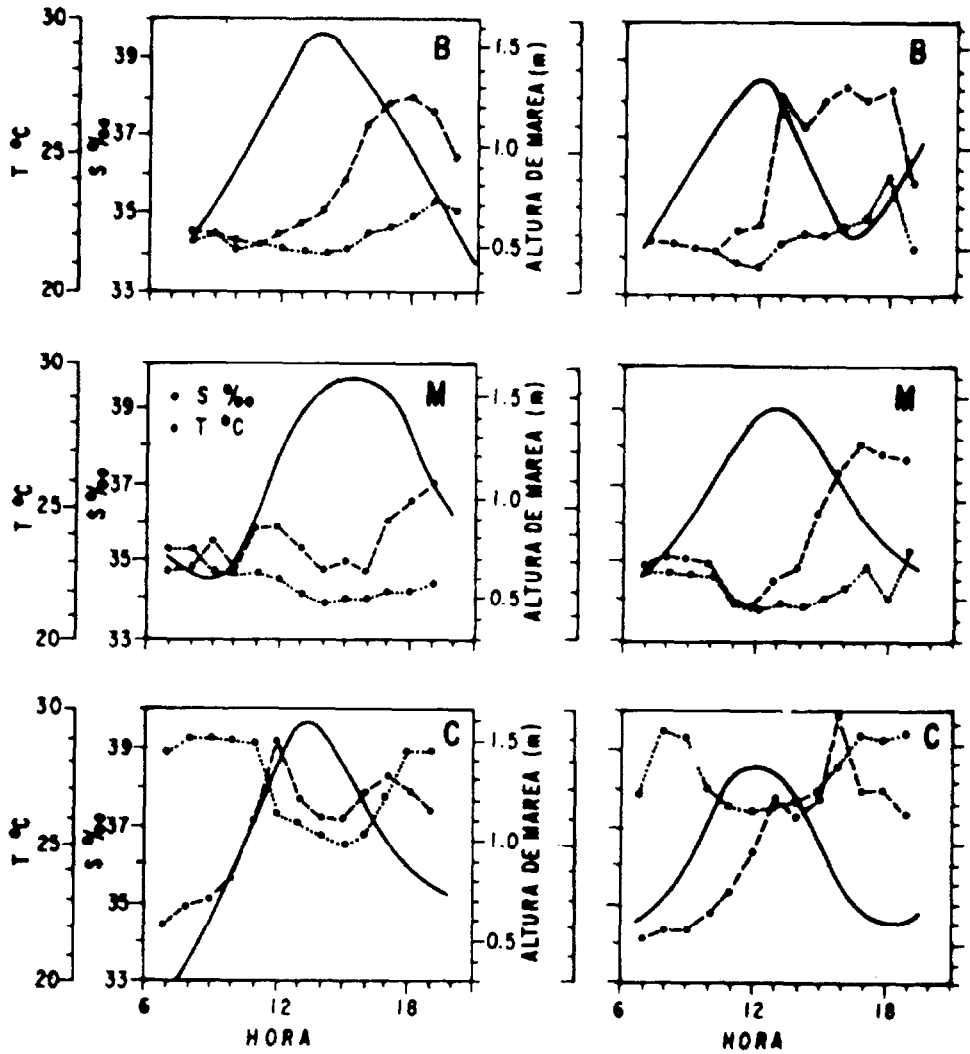


Figura 2.- Series de tiempo del nivel del mar, temperatura y salinidad. A la izquierda se tienen los datos de los días 2, 4 y 3 de agosto; y a la derecha los de los días 15, 17 y 16.

Figure 2.- Sea level, temperature, and salinity time series. At the left we have the data from August 2, 4, and 3; and at the right we have the data from August 15, 17, and 16.

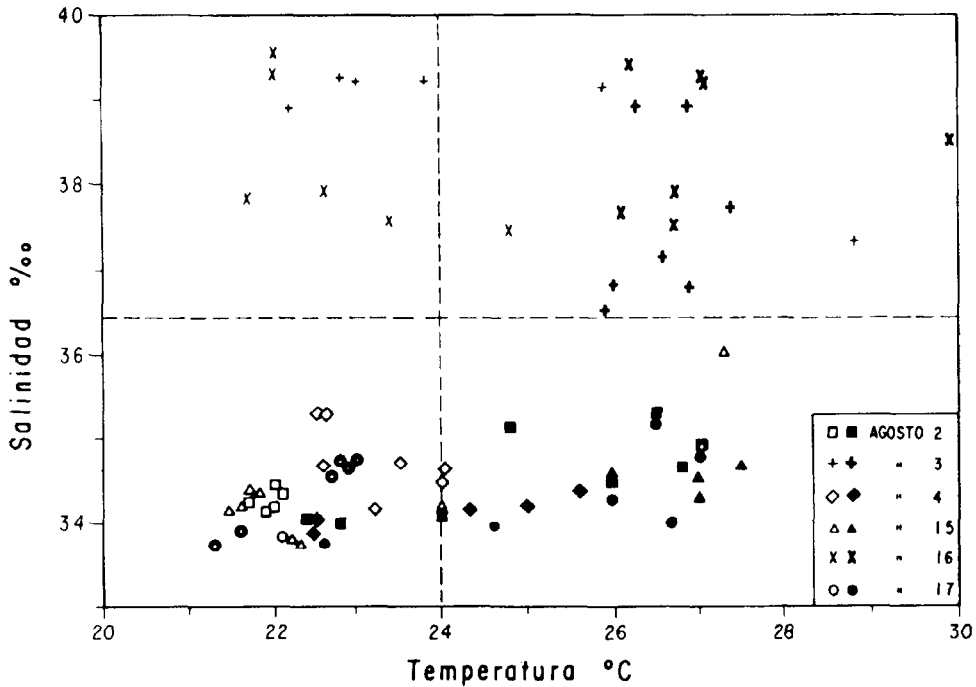


Figura 3.- Diagrama T-S con todos los datos de B, M y C. Los símbolos claros corresponden a muestras tomadas en flujo y los oscuros en reflujo.
Figure 3.- T-S diagram with all data from B, M, and C. Clear symbols correspond to samples taken during flood flow and the dark ones to ebb flow.

sa. Tal es el caso para las series de tiempo de NH_4 del 2, 15 y 16, y las de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ del 16 (Figs. 2 y 4). PO_4 mostró la menor correlación con la marea. Sin embargo, para el canal M, los más altos valores de PO_4 se asociaron con la marea baja y viceversa.

Al comparar las medias de cada serie de tiempo, mediante una prueba t al 95% de nivel de confianza, se puede observar que no hubo diferencia significativa entre las propiedades del agua de B y M, con excepción de las medias de PO_4 de agosto 2 y 4 (Tabla 1). Las diferencias entre las medias del canal C y las de B y M fueron entre significativas y altamente significativas, con excepción de las medias de T°C y NH_4 del 15, 16 y 17. En general, no hubo diferencias significativas entre las medias de la misma localización y diferentes fechas, con excepción de las medias de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ que presentaron diferencias muy significativas para los tres canales, y las de NH_4 y PO_4 que presentaron diferencias muy significativas para C.

general, there were no significant differences between means of the same location and different dates, with exception of the $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ means which had very significant differences for the three channels, and the NH_4 and PO_4 means which had very significant differences for channel C.

In general, in both samplings along the main channel of the Estero, water properties had a tendency to decrease from the internal extreme to the mouth of the lagoon (Fig. 5). PO_4 values from August 18 were an exception to this. PO_4 from August 18 had similar values for the internal extreme and the mouth of the lagoon, and irregular variations at intermediate locations. On August 5, temperature was about 24.5°C at stations 1 through 6, and it decreased to 22.6°C at station 8, then it increased to 24.4°C at station 9 and it decreased again to 22.1°C at 10. On August 18, temperature decreased monotonically from 24.8°C at station 1 to 22.6°C at 8, then it increased to 24.0°C at 9, and it decreased

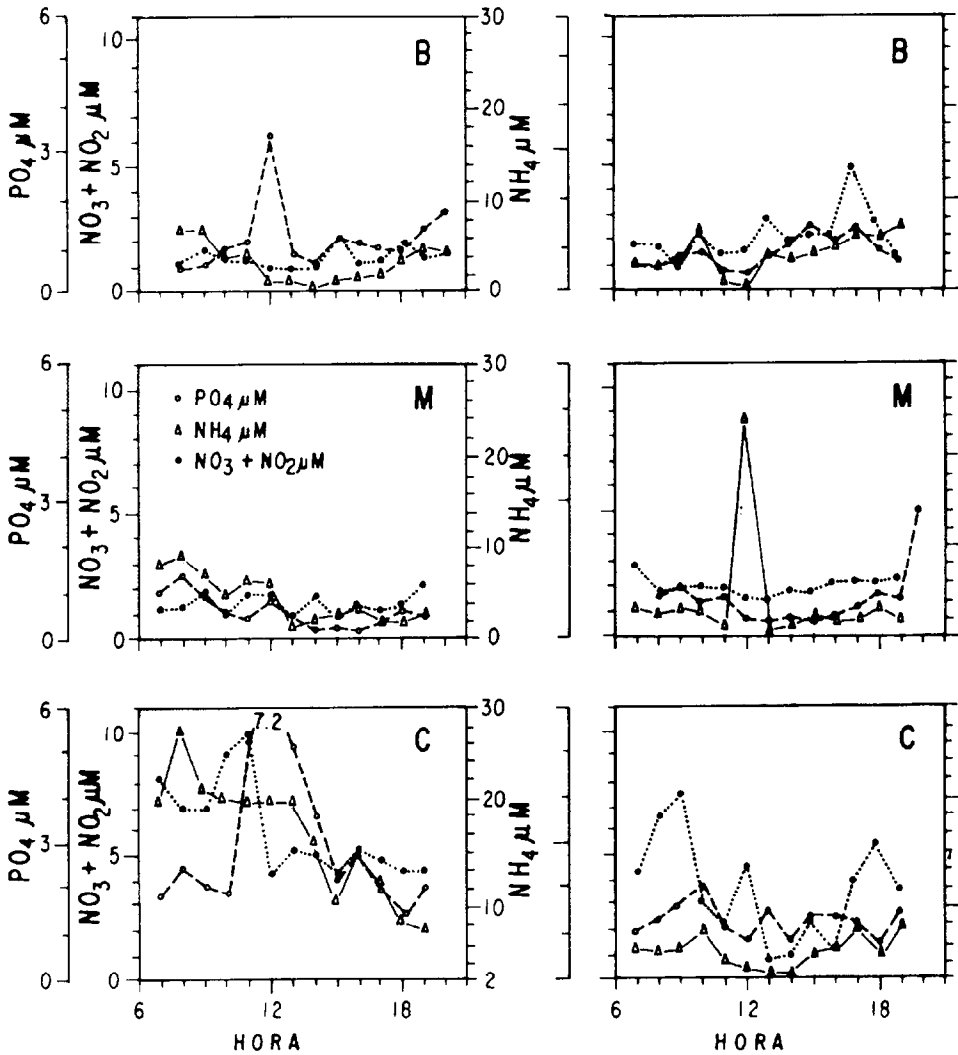


Figura 4.- Series de tiempo de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 , y PO_4 . A la izquierda se tienen los datos de los días 2, 4 y 3 de agosto; y a la derecha los de los días 15, 17 y 16.

Figure 4.- $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NH_4 , and PO_4 time series. At the left we have the data from August 2, 3, and 4; and at the right we have the data from August 15, 17, and 16.

Tabla 1.- Resultados de las comparaciones de las medias de las series de tiempo, según la columna de la izquierda, mediante una prueba t al 95 % de nivel de confianza. NDS significa que no hay diferencia significativa. * significa que la diferencia es significativa, ** que es muy significativa, y *** que es altamente significativa (de acuerdo con el criterio de Sokal y Rohlf, 1969)

Table 1.- Results of comparing the means of time series, according to the column at the left, by a t test at the 95 % confidence level. NDS means that there is no significant difference. * means that the difference is significant, ** means that it is very significant, and *** means that it is highly significant (according to the criteria of Sokal and Rohlf, 1969).

DIAS	T °C	SAL.	PO ₄	NH ₄	NO ₂ + NO ₃
2-3	DS *	DS ***	DS **	DS ***	DS ***
2-4	NDS *	NDS *	DS *	NDS *	NDS *
3-4	DS **	DS ***	DS ***	DS ***	DS ***
15-16	NDS *	DS ***	DS **	NDS *	DS **
15-17	NDS *	NDS *	NDS *	NDS *	NDS *
16-17	NDS *	DS ***	DS *	NDS *	DS *
2-15	NDS *	NDS *	NDS *	NDS *	DS **
3-16	NDS *	NDS *	DS **	DS **	DS **
4-17	NDS *	NDS *	NDS *	NDS *	DS **

En general, en ambos muestreos a lo largo del canal principal del estero, las propiedades del agua tuvieron una tendencia a disminuir del extremo interno a la boca de la laguna (Fig. 5). Los valores de PO₄ del 18 de agosto fueron una excepción a esto ya que fueron similares para el extremo interno y la boca de la laguna, con variaciones irregulares en las localizaciones intermedias. El 5 de agosto la temperatura fue alrededor de 24.5°C de la estación 1 a la 6, y disminuyó a 22.6°C en la estación 8, luego aumentó a 24.4°C en la estación 9 y disminuyó de nuevo a 22.1°C en la 10. El 18 de agosto la temperatura disminuyó monótonicamente de 24.8°C en la estación 1 a 22.6°C en la 8, luego aumentó a 24.0°C en la 9 y disminuyó de nuevo a 21.9°C en la 10. Es interesante resaltar que la T°C de la estación 9 fue relativamente alta en los dos muestreos, cerca de 1.5°C más alta que lo que le correspondería de la tendencia de disminu-

again to 21.9°C at 10. It is interesting that temperature was relatively high at station 9 in both samplings. Temperature at station 9 was about 1.5°C higher than that which would correspond to that location according to the decreasing tendency towards the lagoon's mouth. In both samplings, salinity was about 35.5 ‰ at stations 1 through 3, and it decreased at stations 8 through 10 to about 34.0 ‰ on the 5th, and to about 33.6 ‰ on the 18th (Fig. 5). NO₃ + NO₂ and NH₄ were higher for August 5 than for August 18. In the region near the mouth (stations 6 through 10), PO₄ was higher on the 18th than on the 5th.

DISCUSSION

Most coastal lagoons are characterized by a summer phosphate maximum of up to more than 2 μM (Riley, 1941; Smayda, 1957;

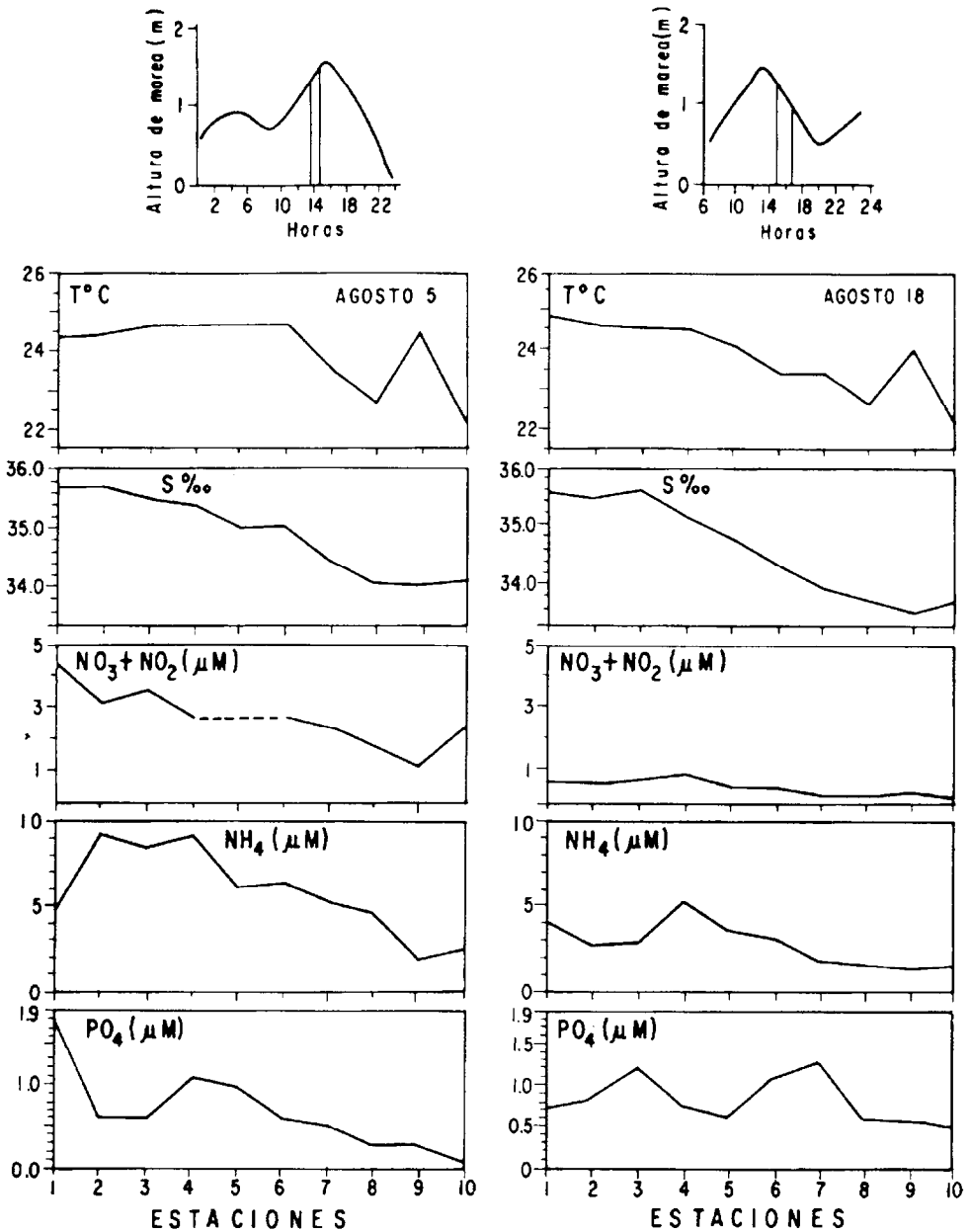


Figura 5.- Propiedades del agua a lo largo del canal principal del estero.
 Figure 5.- Water properties along the estero's main channel.

ción hacia la boca de la laguna. En ambos muestreos la salinidad fue alrededor de 35.5 ‰ de la estación 1 a la 3, y disminuyó a valores alrededor de 34 ‰ de la 8 a la 10 (Fig. 5). $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y NH_4 fueron más altos el 5 que el 18 de agosto. PO_4 no presentó una diferencia clara entre ambos muestreos.

DISCUSION

La mayoría de las lagunas costeras del mundo se caracterizan por un máximo de PO_4 en verano de hasta más de 2 μM (Riley, 1941; Smayda, 1957; Taft y Taylor, 1976; Nixon y Lee, 1981; y Postma, 1981) (citados por Nixon, 1982). Este patrón ha sido atribuido a la remineralización de la materia orgánica que se acarrea al interior de las lagunas, producto de proliferaciones previas de fitoplancton en las aguas oceánicas adyacentes (Postma, 1981). También ha sido atribuido a la liberación de fosfato de los sedimentos donde las aguas del fondo se hacen anóxicas con la estratificación de verano, y las altas velocidades de respiración (Taft y Taylor, 1976). Sin embargo, el máximo de PO_4 de verano también se desarrolla en sistemas que no importan materia orgánica del océano adyacente y cuyas aguas del fondo permanecen bien oxigenadas a través del verano (Nixon *et al.*, 1980). Es una característica tan común a los sistemas marinos someros que su ocurrencia puede depender sólo del almacenamiento de una cantidad apreciable de materia orgánica en el fondo, que puede ser remineralizada a temperaturas mayores y el fosfato resultante se mezcla luego rápidamente en la columna de agua (Nixon, 1982).

El factor físico más importante que afecta la velocidad de remineralización de los nutrientes en los sedimentos y en la columna de agua es la temperatura. La velocidad del metabolismo de las bacterias que degradan la materia orgánica aumenta exponencialmente con la temperatura, generalmente con un aumento de dos a cuatro veces cada 10°C. En sistemas templados, esto le impone una fuerte estacionalidad a los procesos de regeneración de nutrientes mediados por bacterias (Klump y Martens, 1983). De acuerdo con los datos reportados por Zertuche-González y Alvarez-Borrego (1978) y Sánchez Hernández (1978), sólo se aprecia una clara estacionalidad de PO_4 en el brazo corto del estero, con

Taft and Taylor, 1976; Nixon and Lee, 1981; Postma, 1981) (cited by Nixon, 1982). This pattern has been attributed to the remineralization of organic matter carried into the lagoon from an earlier offshore phytoplankton bloom (Postma, 1981), and to the release of phosphate from the sediments where bottom waters become anoxic with summer stratification and high respiratory rates (Taft and Taylor, 1976). However, the summer phosphate maximum also develops in systems which do not import organic matter from offshore and in which bottom waters remain well oxygenated throughout the summer (Nixon *et al.*, 1980). It appears to be such a common feature of shallow marine systems that its occurrence may depend only on the storage of an appreciable amount of organic matter on the bottom which can be remineralized at warmer temperatures and the resulting phosphate mixed rapidly up into the water column (Nixon, 1982).

The paramount physical factor affecting nutrient remineralization rates in coastal systems is temperature. Biological rates increase exponentially with temperature, generally showing a two- to four-fold increase for a 10°C rise. In temperate systems, this imparts a significant seasonality to the microbially mediated regeneration processes (Klump and Martens, 1983). Nutrient data reported by Zertuche-González and Alvarez-Borrego (1978) and Sánchez-Hernández (1978) show a clear seasonality only for PO_4 , and only in the short arm of the Estero, with greater values in summer. Possibly, the long arm did not show that seasonality because of a more rapid water exchange with Todos Santos Bay. Thus, our nutrient data from channel C may be among the highest values for the whole year in the Estero's water column.

There is a greater variability in the concentration of inorganic nitrogen among lagoons than there is for phosphorus. It is also more difficult to identify any common seasonal patterns in the abundance of inorganic nitrogen except that high nitrate levels are usually associated with fresh water input. In contrast to phosphate, there may also be periods during which virtually all of the inorganic nitrogen is removed from the water column (Nixon, 1982).

Largely as a result of the proximity of the bottom, benthic nutrient regeneration

valores mayores en verano. Posiblemente el brazo largo no mostró esa estacionalidad debido al más rápido intercambio de agua con la Bahía de Todos Santos. Por todo lo anterior, es muy posible que nuestros datos de más alta concentración de nutrientes del canal C sean de los más altos que se presentan en el año en la columna de agua del estero.

Cuando se comparan diversas lagunas costeras existe una mayor variabilidad de la concentración de nitrógeno inorgánico que la de fosfato. También es más difícil identificar patrones estacionales comunes en la concentración de nitrógeno inorgánico, excepto que en muchas lagunas los altos niveles de concentración de nitratos están asociados al aporte de agua dulce. En contraste con el fosfato, puede haber períodos en los que virtualmente todo el nitrógeno inorgánico es removido de la columna de agua (Nixon, 1982).

Como un resultado de la proximidad del fondo, la regeneración bentónica de nutrientes juega un papel importante en la dinámica biológica de los sistemas costeros (Klump y Martens, 1983). Las bacterias aeróbicas son capaces de degradar completamente muchos aminoácidos a CO_2 y amonio (Massey *et al.*, 1976). En medios ambientes anóxicos, la degradación ocurre frecuentemente de paso a paso, con el metabolito de un organismo constituyendo el sustrato de crecimiento para otro (Thauer *et al.*, 1977; Brock, 1979). Sin embargo, con datos de nutrientes como los nuestros no es posible ver los resultados de la estequiometría de las reacciones de degradación debido a las diferencias en el comportamiento fisicoquímico de los productos de las reacciones. Por ejemplo, amonio y fosfato tienen diferentes coeficientes de adsorción a partículas y diferente precipitación o coprecipitación con la variación del potencial redox (Krom y Berner, 1980; Mackin y Aller, 1984). Además, en medios aeróbicos, el amonio producto de la degradación de la materia orgánica es oxidado a nitrito y nitrato. Esto ocurre en la columna de agua y en los sedimentos superficiales (Suess *et al.*, 1980). Pero, bajo condiciones anóxicas el NH_4 es oxidado a gas nitrógeno con la pérdida subsecuente hacia la atmósfera, o denitrificación (Head, 1976). Debido a esto, algunas veces se observan altas concentraciones en un nutriente inorgánico que no se observan en otros. Tal es el caso de los altos picos de PO_4 en los

plays an important role in the biological dynamics of coastal systems (Klump and Martens, 1983). Aerobic bacteria are capable of completely degrading many aminoacids to CO_2 and NH_4 (Massey *et al.*, 1976). In anoxic environments, breakdown frequently occurs in a stepwise fashion, with the metabolite of one organism becoming the growth substrate for another (Thauer *et al.*, 1977; Brock, 1979).

However, with nutrient data like ours it is not possible to see the results of the stoichiometry of degradation reactions, because products like phosphate and ammonia have different physicochemical behavior. Ammonia and phosphate have different coefficients of adsorption to particles, and different precipitation and co-precipitation with changes of redox potential (Krom and Berner, 1980; Mackin and Aller, 1984). Furthermore, in aerobic environments part of the ammonia is oxidized to nitrite and nitrate, both in surface sediments and the water column (Suess *et al.*, 1980). But, under anoxic conditions ammonia is oxidized to nitrogen gas and it is lost to the atmosphere (denitrification) (Head, 1976). Because of this kind of phenomena, sometimes we observe high concentrations of an inorganic nutrient which are not observed for another. Such is the case for the high PO_4 peaks on August 2 and 3 (Fig. 4). If we sum up $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ plus NH_4 of the water sample with PO_4 equal to $7.2 \mu\text{M}$ (August 3), we find that PO_4 is in excess of what we would expect from something like Redfield's ratio (Redfield *et al.*, 1963). The relatively low NH_4 values of August 16 may also be due to nitrification processes which caused the relatively high $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ values (Fig. 4).

Our data show a great variability of water properties at the mouth of these inundation channels (Figs. 2, 3, and 4). The NH_4 peak of $24 \mu\text{M}$ at the middle of the August 17 series, $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ variations of up to more than $5 \mu\text{M}$ within one hour, and the PO_4 peak of $> 7 \mu\text{M}$ on August 3 clearly indicate the combined effect of an intense patchiness and the tidal currents.

Our data do not support the hypothesis that water ebbing through these inundation channels has greater nutrient concentrations than that of the lagoon's main channel. Water from B, M, and C had both lower and higher nutrient values than water from nearby locations in the main channel (Figs. 4 and 5).

días 2 y 3 de agosto (Fig. 4). Si sumamos el $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y el NH_4 de la muestra de agua con $7.2 \mu\text{M}$ de PO_4 del 3 de agosto, tenemos que el PO_4 está en exceso de lo que se esperaría del modelo de Redfield (Redfield *et al.*, 1963). Los relativamente bajos valores de NH_4 del 16 de agosto también pueden deberse en gran medida a procesos de nitrificación, lo cual se infiere de los relativamente altos valores de nitratos más nitritos (Fig. 4).

Nuestros datos muestran una alta variabilidad en las propiedades del agua de las bocas de los canales de inundación de las marismas del estero (Figs. 2, 3 y 4). El pico de $24 \mu\text{M}$ de NH_4 a la mitad del muestreo del 17 de agosto, las variaciones de hasta más de $5 \mu\text{M}$ de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ en sólo una hora, y el pico de más de $7 \mu\text{M}$ de PO_4 el 3 de agosto indican claramente el efecto combinado de una intensa distribución espacial en forma de manchas, o petacheo, y las corrientes de marea.

Nuestros datos no apoyan la hipótesis de que el agua que refluye a través de los canales de inundación de las marismas tiene mayor concentración de nutrientes que la del canal principal de la laguna. Las aguas de los canales B, M y C tuvieron ambas, mayores y menores concentraciones, que las del canal principal (Figs. 4 y 5). Más aún, cuando se comparan muestras tomadas en mareas muertas y mareas vivas, de la misma localización, no hubo diferencias consistentes significativas de las propiedades estudiadas.

Los datos reportados por autores previos y nuestros datos muestran que uno de los factores que controlan el que haya altos valores o no de concentración de nutrientes y salinidad, no es el que el agua sea del canal principal o de un canal secundario, sino, en general, qué tan cerca o lejos esté el punto de muestreo de la boca del estero. Es decir, un factor importante es el tiempo de residencia del agua, o su contraparte la velocidad de renovación. Los valores de salinidad y nutrientes de las estaciones 9 y 10 tendieron a ser los más bajos, y los de las estaciones 1-4, y especialmente los del canal C, tendieron a ser los más altos (Figs. 4 y 5). Es interesante notar que en el canal C no sólo se presentaron los más altos valores de concentración de nutrientes, sino también tan bajos como en el B y M. Esto indica que el extremo interno tiene el más intenso petacheo, que a su vez se

Furthermore, when comparing samples taken with spring and neap tides, for the same location, there was no significant consistent difference in the water properties.

Data reported by previous authors and our data show that one of the factors controlling salinity and nutrients is the distance from the lagoon's mouth. In other words, one important factor is the water residence time, or its counterpart, the water exchange with the bay. Salinity and nutrient values for stations 9 and 10 tended to be the lowest, and those of stations 1-4, and specially those of channel C, tended to be the highest (Figs. 4 and 5). It is interesting to see that at channel C we had not only the highest nutrient values, but also values as low as the lowest of channels B and M. This indicates that the internal extreme has the most intense patchiness. This nutrient patchiness is due to the strong patchiness of physicochemical conditions of sediments, and the strong space variability of nutrient flux through the sediment-water interface. Physical factors, such as the irregular bathymetry, and the effect of the biota cause large pore water nutrient concentration changes within few meters of horizontal distance, in these sediments of the internal extreme (Camacho-Ibar and Alvarez-Borrego, 1988).

Water from stations 1-4 (Fig. 5) has the least exchange with Todos Santos Bay, with respect to the rest of the Estero. The high salinity and nutrient concentration values of channel C, as well as those of the short arm of the Estero, indicate that most of the water that stays in the Estero during the lowest tides is the water that fills the short arm during high tides. For this to happen, the volume of water filling the short arm of the Estero at high tide has to be equal, or similar, to the volume of the whole Estero at very low tide. A study of the bathymetry of the Estero is necessary to corroborate this. With spring tides water exchange with the bay tends to be greater.

In the main channel, $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ and NH_4 values were higher on August 5 than on August 18. From station 5 through 10, salinity was also higher on August 5 than on the 18th (Fig. 5). This was possibly due to more water exchange with the bay during the days previous to the 18th than during those previous to the 5th. Water exchange between the

debe al fuerte petacheo de condiciones fisico-químicas de los sedimentos y a la gran variabilidad espacial del flujo de nutrientes a través de la interfase agua-sedimento. Los factores físicos, como la batimetría irregular, y el efecto de la biota causan cambios grandes en la concentración de los nutrientes del agua intersticial de los sedimentos con unos cuantos metros de distancia horizontal, en el extremo interno (Camacho-Ibar y Alvarez-Borrogo, 1988).

El agua de las estaciones 1-4 (Fig. 5) tiene el menor intercambio con la Bahía de Todos Santos, con respecto al resto del estero. Las más altas salinidades y concentraciones de nutrientes del punto C, que también se muestran para el brazo corto del estero, indican que en las mareas más bajas, en las que el estero se vacía mucho, el agua que queda en el interior del mismo es el agua que en marea alta llena el extremo interno. Para que esto suceda, el volumen del agua que llena el brazo corto del estero en marea alta tiene que ser igual, o similar, al volumen de agua de todo el estero en marea muy baja. Habría que hacer un estudio que actualice la batimetría para probar esto. Con mareas vivas el intercambio con la bahía tiende a ser mayor.

En el canal principal, los valores de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y de NH_4 del día 5 fueron más altos que los del día 18. La salinidad también fue más alta el 5 que el 18, de la estación 5 a la 10 (Fig. 5). Posiblemente esto se deba a que durante los días previos al 18 hubo más intercambio de las aguas del estero con las de la bahía que durante los días previos al 5. El intercambio de agua entre el estero y la bahía depende grandemente de la dinámica costera en la zona adyacente a la boca de la laguna. Contreras Rivas (1973) describió la presencia de corrientes costeras paralelas a la playa frente a la boca del estero. Estas corrientes mueven el agua que sale del estero en reflujos, de tal manera que en flujo entra agua "nueva" de la bahía al estero. Alvarez-Borrogo *et al.* (1977) reportaron que uno de los efectos de dichas corrientes es la disminución rápida de temperatura en la boca del estero cuando la marea empieza a subir. Los datos de Contreras Rivas (1973) y Millán-Núñez y Rivas Lozano (1988) muestran que el agua de la bahía tiene menor salinidad y concentración de nutrientes que las del estero. Alvarez-Sánchez *et al.* (1988) midieron estas corrientes costeras con flotadores a la deriva y reportaron que son

Estero and the bay depends largely on the coastal dynamics off the mouth of the lagoon. Contreras-Rivas (1973) reported currents parallel to the beach, off the lagoon's mouth. These currents move the water ebbing from the Estero away from its mouth, so that with flood flow "new" water from the bay enters the lagoon. Alvarez-Borrogo *et al.* (1977) indicated that one of the effects of these currents is that temperature at the lagoon's mouth drops very fast when flood flow starts. Data from Contreras-Rivas (1973) and Millán-Núñez and Rivas-Lozano (1988) show that bay water has lower salinity and nutrient concentrations than those of the Estero. Alvarez-Sánchez *et al.* (1988) measured these coastal currents with drifters and reported that they are very variable and have maximum speeds of 30 cm.s^{-1} . When these currents are weak or absent, water exchange between the Estero and the bay is minimal. Strong coastal currents may be an important nitrogen-nutrient fertilization mechanism for Todos Santos Bay. A study is necessary to quantify this effect.

Contrary to the behavior of the nitrogen-nutrients, PO_4 values were higher on the 18th than on the 5th, in the region near the mouth (Fig. 5). A possible explanation for this is that water from the Punta Banda upwelling area was being introduced into the Estero on the 18th. If the currents parallel to the beach, in Todos Santos Bay, were having place on the 18th in a similar manner as shown in figure 2b of Alvarez-Sánchez *et al.* (1988) (page 143), then these currents would be responsible for both, the transport of water from the Punta Banda upwelling area to the region off the Estero's mouth, and the stronger water exchange between the Estero and the bay on the 18th with respect to the 5th. Millán-Núñez *et al.* (1981) reported on the effect of this kind of phenomena on the phytoplankton dynamics at the Estero's mouth, and they estimated that water upwelled at Punta Banda arrived at the Estero's mouth in about five days. During this time, chlorophyll increased and nutrient concentrations decreased, due to enhanced photosynthesis, so that water arrived at the Estero with high phytoplankton abundance, mainly diatoms, and low nitrate concentrations (Millán-Núñez *et al.*, 1981). PO_4 values may have a relatively high because they are usually in excess with respect to NO_3 in upwelled waters off northwestern Baja California. Farfán and Alvarez-Borrogo

muy variables y tienen máximas velocidades de $30 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Cuando la corriente es débil o no existe, el intercambio con la bahía se minimiza. Las corrientes costeras fuertes deben ser un mecanismo importante de fertilización con nutrientes nitrogenados para la Bahía de Todos Santos. Se requiere obtener datos en un muestreo especialmente diseñado para cuantificar este efecto.

Contrario al comportamiento de los nutrientes nitrogenados, los valores de PO_4 fueron más altos el 18 de agosto que el 5 en la región cercana a la boca (Fig. 5). Una posible explicación de esto es que el agua de la zona de surgencia de Punta Banda estaba siendo introducida al estero el 18. Si la corriente paralela a la playa, en la Bahía de Todos Santos, estaba ocurriendo el 18 de una manera similar a la Figura 2b de Alvarez-Sánchez *et al.* (1988; Pág. 143), entonces sería responsable tanto del transporte de agua desde la zona de surgencias de Punta Banda hasta la región frente a la boca del estero, como del más fuerte intercambio de agua entre la laguna y la bahía el 18 de agosto con respecto al 5. Millán-Núñez *et al.* (1981) reportaron sobre el efecto de este tipo de fenómeno en la dinámica del fitoplancton en la boca del estero, y estimaron que al agua que ha aflorado en Punta Banda le toma unos cinco días para arribar a la boca del estero. En ese tiempo la clorofila aumenta y las concentraciones de nutrientes disminuyen debido a una intensa fotosíntesis, de tal manera que el agua arriba al estero con alta abundancia de fitoplancton, principalmente diatomeas, y bajas concentraciones de nitrato (Millán-Núñez, *et al.*, 1981). Los valores de PO_4 pueden permanecer relativamente altos porque generalmente están en exceso con respecto a los de NO_3 en aguas de surgencias de la costa oeste de Baja California. Farfán y Alvarez-Borrego (1983) reportaron máximos valores de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ de $12.9 \mu\text{M}$, y Lara Lara *et al.* (1980) reportaron máximos valores de PO_4 de $> 4 \mu\text{M}$ para agua recientemente aflorada en la boca de bahía San Quintín, una laguna costera adyacente a una zona de intensos eventos de surgencia en verano, a unos 200 km al sur de Ensenada. La razón N:P de Redfield es 16:1 (Redfield *et al.*, 1963). Los más altos valores de PO_4 reportados para la boca del estero por Millán-Núñez *et al.* (1981) fueron de alrededor de $1.2 \mu\text{M}$, que es aproximadamente el doble

(1983) reported highest $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ values of $12.9 \mu\text{M}$, and Lara-Lara *et al.* (1980) reported highest PO_4 values of $> 4 \mu\text{M}$ for recently upwelled waters at the mouth of San Quintín Bay, a coastal lagoon adjacent to an area with very strong summer upwelling events, about 200 km south from Ensenada. Redfield's N:P ratio is 16:1 (Redfield *et al.*, 1963). Highest PO_4 values reported for the Estero's mouth by Millán-Núñez *et al.* (1981) were about $1.2 \mu\text{M}$, which are about twice as high as our values for August 18. The only source for high NH_4 values is the interior of the Estero. $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ high values may come from both, the interior of the Estero and upwelling in the open ocean. But after some six days of upwelling relaxation nitrate concentrations decrease an order of magnitude (Millán-Núñez *et al.*, 1982).

Although the highest temperature values of our data set are from channel C, temperature had similar ranges for B, M, and C, which is different from the behavior of salinity (Fig. 3). Salinity was clearly highest at C. Temperature differences between flood and ebb flow were much more clear than between channels. This indicates that warming by solar exposure at location C is similar to that at B and M, in spite of greater residence time at C. This may be due to heat lost to the atmosphere by evaporation. During summer, winds are often strong and relatively cold at the Estero due to upwelling at nearby Punta Banda (close to the "L" vertex). Mud flats and salt marshes flooded at high tide are shallow and this allows for warming within few hours of solar exposure. This explains the higher temperatures with ebb flow with respect to those of flood flow, at B, M, and C. In the few cases that $T^\circ\text{C}$ was high with flood flow, it was water that had recently ebbed and it was starting to flood again, and vice versa. For salinity to become high (i.e.: $> 38 \text{ }^\circ\text{‰}$), a residence time greater than few hours is required, so that evaporation proceeds with a significant effect. At location C, with a water residence time of at least several weeks, salinity can attain values like $39 \text{ }^\circ\text{‰}$. To estimate more acceptable residence time values we would have to measure evaporation and the advection field in the Estero, and that was beyond the scope of this work.

The relatively higher temperatures at station 9, in the main channel of the Estero (Fig. 5), are due to water ebbing from channel B. In

que nuestros valores de agosto 18. La única fuente de valores altos de NH_4 es el interior del estero. Los valores altos de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ pueden provenir tanto del interior del estero como de las surgencias de océanoabierto. Pero después de unos seis días de relajación de la surgencia los valores de NO_3 decrecen un orden de magnitud (Millán-Núñez *et al.*, 1982).

Aunque los más altos valores de temperatura de nuestro conjunto de datos fueron del canal C, sus intervalos de variación fueron similares en los tres canales, a diferencia de los de salinidad que fueron claramente más altos en C (Fig. 3). Es más clara la diferencia de temperatura entre flujo y reflujo que entre canales. Esto indica que en el canal C el calentamiento es similar que en los otros dos, a pesar del mayor tiempo de residencia del agua, posiblemente debido al calor que se escapa hacia la atmósfera por evaporación. El viento que se presenta en el estero en verano es a menudo fuerte y frío por las surgencias que se manifiestan en Punta Banda (cerca del vértice de la L). Lo amplio y somero de las marismas que se inundan con marea alta permite un calentamiento significativo del agua con pocas horas de exposición solar. Esto posiblemente sea la explicación de las más altas temperaturas en las aguas de reflujo que en las de flujo, en B, M y C. En los pocos casos en que la temperatura con flujo fue alta se debió a que recientemente había salido del interior de la marisma y empezaba a subir de nuevo, y viceversa. Para obtener altas salinidades se requiere de un tiempo de residencia mucho más allá de unas horas, suficiente para que la evaporación proceda significativamente. En C se puede obtener una salinidad de 39 ‰ con unas semanas de tiempo de residencia. Para estimar tiempos de residencia más aceptables necesitaríamos haber medido la evaporación y el campo de la advección en el estero y eso estaba fuera de los alcances de este trabajo.

Las relativamente altas temperaturas de la estación 9 del canal principal del estero (Fig. 5) se deben al agua de reflujo del canal B. En el caso del día 5, en que el muestreo se realizó en flujo, la temperatura relativamente alta indica la presencia de agua que recientemente ha provenido de B y ha permanecido en el área cercana a la estación 9 para muestrearse en flujo. Anteriormente mencionamos que los valores de salinidad y nutrientes del día 5 indican que hubo poco

the case of August 5 sampling was done with flood flow. Thus, relatively warm temperature at station 9 on August 5 indicates the presence of water that had recently ebbed from B and had stayed in the area nearby to be there at flood flow. We mentioned above that salinity and nutrient values from August 5 indicate little water exchange between the Estero and the bay during that and previous days. These high temperatures at station 9 suggest that tidal currents may be complex in the Estero, possibly with eddies that complicate the pattern of water residence times.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Adolfo Granados-Guzmán and a group of students from the Federal Preparatory School "Benito Juárez" for their help in field work. We also thank Antonio Pirinski for providing the boat for sampling. A larger version of this work is the B.S. thesis of María Guadalupe Luz Soto-Balderas who was granted a scholarship from Baja Beach and Tennis Club (Setro Group) in part of the analysis of samples and writing phases. We thank Eduardo Millán-Núñez for his constructive criticisms to the original manuscript.

intercambio de agua entre el estero y la bahía durante éste y los días previos. Estas altas temperaturas de la estación 9 sugieren que las corrientes de marea pueden ser complejas en el estero, posiblemente con remolinos que complican los patrones de tiempos de residencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Adolfo Granados Guzmán y a un grupo de estudiantes de la Escuela Preparatoria Federal por Cooperación "Benito Juárez" por su valiosa ayuda en el trabajo de campo. También agradecemos a Antonio Pirinski por habernos facilitado la embarcación para el muestreo. Una versión más amplia de este trabajo constituyó la tesis de licenciatura de María Guadalupe Luz Soto Balderas quien estuvo becada por el Baja Beach and Tennis Club (Grupo Setro) en parte de la etapa de análisis de muestras y escritura. Agradecemos a Eduardo Millán Núñez sus críticas constructivas al manuscrito original.

LITERATURA CITADA

- Acosta Ruíz, M.J. y Alvarez Borrego, S. (1974). Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el estero de Punta Banda, B.C. en otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 1(1): 16-45.
- Aguñiga García, S. y Alvarez Borrego, S. (1989). Petacheo y variación temporal de amonio y fosfato en aguas intersticiales de sedimentos de entremareas de una laguna costera. *Ciencias Marinas*, 15(3): 97-120.
- Alvarez Borrego, S. y Chee Barragán, A. (1976). Distribución superficial de fosfatos y silicatos en bahía San Quintín B.C. *Ciencias Marinas*, 3(1): 51-61.
- Alvarez Borrego, S., Lara Lara, R. y Acosta Ruíz, M. J. (1977). Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4(1): 12-22.
- Alvarez Sánchez, L.G., Hernández Walls, R. y Durazo Arvizu, R. (1988). Patrones de deriva de trazadores lagrangeanos en Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*, 14(4): 135-162.
- Brock, T.D. (1979). *Biology of microorganisms*. Prentice Hall, Englewood, New Jersey.
- Camacho-Ibar, V.F. and Alvarez-Borrego, S. (1988). Nutrient concentration in pore waters of intertidal sediments in a coastal lagoon: patchiness and temporal variations. *The Science of the total Environment*, 75: 13-16.
- Contreras Rivas, I. (1973). Influencia termohalina de las aguas del estero de Punta Banda en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C.
- Farfán, B.C. and Alvarez-Borrego, S. (1983). Variability and Fluxes of Nitrogen and Organic Carbon at the mouth of a coastal lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 17: 599-612.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, G. and Kremling, K. (1983). *Methods of Seawater analysis*. Second, revised and extended edition. Verlag Chemie, 419 pp.
- Green Ruíz, M. de J., Caschetto, S. y Alvarez Borrego, S. (1984). Sílice disuelto en la columna de agua y en las aguas intersticiales de una laguna costera. *Ciencias Marinas*, 9 (2): 51-74.
- Head, P.C. (1976). Organic processes in estuaries. Chapter 3 In: J.D. Burton and P.S. Liss (eds.), *Estuarine Chemistry*, Academic Press, London, 229 pp.
- Klump, J.V. and Martens, C.S. (1983). Benthic Nitrogen Regeneration. Chapter 12 In: E.J. Carpenter, and D.G. Capone (eds.), *Nitrogen in the Marine Environment*, Academic Press, London, 411-457.
- Krom, M.D. and Berner, R.A. (1980). Adsorption of phosphate in anoxic marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 25: 797-806.
- Lara-Lara, J.R., Alvarez-Borrego, S. and Small, L.F. (1980). Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11: 613-637.
- Mackin, J.R. and Aller, R.C. (1984). Ammonium adsorption in marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 29: 250-257.
- Massey, L.K., Sokatch, J.R. and Conrad, R.S. (1976). Branched-Chain aminoacid catabolism in bacteria. *Bacteriological Review*, 40: 42-54.
- Millán Núñez, E., Ortiz Cortés, F.J. y Alvarez Borrego, S. (1981). Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales del verano. *Ciencias Marinas*, 7(1): 103-128.
- Millán-Núñez, R., Alvarez-Borrego, S. and Nelson, D.M. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15: 317-337.
- Millán Núñez, R. y Rivas Lozano, A.M. (1988). Nutrientes y clorofilas en la Bahía de Todos Santos (mayo 1983). *Ciencias Marinas*, 14(4): 23-42.
- Muñoz Anderson, M.A. y Millán Núñez, R. (1991). Variación anual de la productividad del fitoplancton en el estero de Punta Banda, B.C. *Ciencias Marinas*, 17(2): 57-70.

- Nixon, S.W. (1982). Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Oceanologica Acta. Proceedings International Symposium on Coastal Lagoons SCOR/ IABO/UNESCO*, Bordeaux, 8-14 September, 1981, 357-371.
- Nixon, S.W., Kelly, J.R., Furnas, B.N. and Oviatt, C.A. (1980). Phosphorus regeneration and the metabolism of coastal marine bottom communities. In: K.R. Tenore and B.C. Coull (eds.), *Marine Benthic Dynamics*, University of South Carolina Press, Columbia, S. C., 219-242.
- Postma, H. (1981). Exchange of materials between the North Sea and the Wadden Sea. *Marine Geology*, 40: 199-213.
- Pritchard, D.W., De la Paz Vela, R., Cabrera Muro, H.R., Farreras Sanz, S. y Morales, E. (1978). Hidrografía Física del estero de Punta Banda, Parte 1: Análisis de datos. *Ciencias Marinas*, 5(1): 1-23.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H. and Richards, F.A. (1963). The influence of organisms on the composition of sea-water. In: M.N. Hill (ed.), *The Sea*, Interscience, 2: 26-77.
- Sánchez Hernández, J.L. (1978). Distribución superficial de micronutrientes en el estero de Punta Banda, B. C. Tesis de Licenciatura, UABC, Ensenada, B.C.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. (1969). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. State University of New York at Stony Brook, 519 pp.
- Suess, E., Müller, P.J., Powell, H. S. and Reimers, C.E. (1980). A closer look at nitrification in pelagic sediments. *Geochemistry Journal*, 14: 129-136.
- Taft, J.L. and Taylor, W.R. (1976). Phosphorus dynamics in some coastal plain estuaries. In: M. Wiley (ed.), *Estuarine Processes*. Academic Press, New York, 1: 79-89.
- Thauer, R.K., Jungermann, K. and Decker, K. (1977). Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria. *Bacteriological Review*, 41: 100-180.
- Zertuche González, J.A. y Alvarez Borrego, S. (1978). Series de tiempo de variables fisicoquímicas en las bocas de dos anti-estuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 5(1): 91-103.