

**EFECTO DE EL NIÑO EN LOS NUTRIENTES Y EL
CARBÓN ORGÁNICO TOTAL DE UNA LAGUNA COSTERA DEL
NOROESTE DE BAJA CALIFORNIA**

**THE EFFECT OF EL NIÑO ON THE NUTRIENTS AND
TOTAL ORGANIC CARBON OF A COASTAL LAGOON OF
NORTHWESTERN BAJA CALIFORNIA**

Manuel Salvador Galindo-Bect¹
Luis Arnulfo Galindo-Bect¹
José Martín Hernández-Ayón¹
Francisco Ley-Lou²
Saúl Álvarez-Borrego^{1,3}

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas
² Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado postal 453
Ensenada, CP 22800, Baja California, México

³ CICESE
División de Oceanología
Apartado postal 2732
Ensenada, Baja California, México

Recibido en octubre de 1998; aceptado en febrero de 1999

RESUMEN

Se estudió la dinámica de nutrientes ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y PO_4) y carbón orgánico total (COT) en el Estero de Punta Banda, Baja California (México), durante El Niño 1992–93. Se recolectaron muestras de agua superficial en cuatro localidades distribuidas a lo largo de la laguna, considerando cuatro estados diferentes de marea. De acuerdo con lo informado en la literatura, la mayor parte del tiempo esta laguna costera se comporta claramente como un antiestuario, con la salinidad aumentando significativamente de la boca hacia el interior. El incremento del aporte de agua dulce debido a la precipitación pluvial muy por encima de la media anual durante este evento (393 mm), causó que el Estero se comportara como estuario, con valores de salinidad menores que 25 y con un incremento de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, PO_4 y COT. Los valores de PO_4 fluctuaron entre 0.5 y 3.5 μM y los de COT entre 2.3 y 9.8 mg L^{-1} , con una clara tendencia a incrementarse de la boca hacia el interior de la laguna. Los valores de NO_3 fluctuaron entre 0.2 y 2.3 μM en septiembre de 1992 y entre 1.4 y 6.8 μM en marzo de 1993, también con una clara tendencia a aumentar hacia el extremo interno de la laguna en el segundo caso. PO_4 presentó una correlación negativa significativa ($P < 0.05$) con la salinidad en marzo de 1993. La transformación de esta laguna costera de antiestuarina a estuarina por periodos prolongados, de hasta casi un año, está relacionada con eventos meteorológicos regionales, influenciados por fenómenos de gran escala como El Niño.

Palabras clave: El Niño, laguna costera, marea, carbón orgánico, nutrientes.

ABSTRACT

Nutrients ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, PO_4) and total organic carbon (TOC) from Estero de Punta Banda, a coastal lagoon of Baja California (Mexico), were studied during the 1992–93 El Niño. Samples were collected at four sites distributed along the main channel of the lagoon, during four different tidal stages. According to reports in the literature, this coastal lagoon behaves as an antiestuary most of the time, with salinity increasing significantly from the mouth inwards. Greater input of fresh water due to a larger rainfall, well above the annual mean (393 mm), caused the Estero to behave as an estuary, with salinity values of <25 and with an increase of $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, PO_4 and TOC. PO_4 values fluctuated between 0.5 and 3.5 μM , and those of TOC between 2.3 and 9.8 mg L^{-1} , with a clear tendency to increase from the entrance to the interior of the lagoon. NO_3 values fluctuated between 0.2 and 2.3 μM in September 1992, and between 1.4 and 6.8 μM in March 1993, also with a clear tendency to increase towards the lagoon's interior in the latter case. PO_4 had a significant negative correlation ($P < 0.05$) with salinity in March 1993. The change of this lagoon from antiestuary to estuary for long periods, of almost up to one year, is related to meteorological phenomena influenced by large scale events like El Niño.

Key words: El Niño, coastal lagoon, tides, organic carbon, nutrients.

INTRODUCCIÓN

La información disponible sobre el efecto de eventos El Niño en las lagunas costeras del noroeste de Baja California (México) es muy escasa. Para la Bahía de San Quintín y la zona oceánica adyacente, 200 km al sur de Ensenada, se ha reportado que durante El Niño 1983–84 la abundancia de nanoplankton fue un orden de magnitud mayor que la reportada en condiciones de no Niño, mientras que la concentración de clorofila y nutrientes, y la abundancia de diatomeas y dinoflagelados fueron mucho menores durante El Niño que en años no Niño (Torres-Moye y Álvarez-Borrego, 1985; Silva-Cota y Álvarez-Borrego, 1988).

En el Estero de Punta Banda se han realizado diversos estudios de la variación espaciotemporal de propiedades físicas, químicas y biológicas (Pritchard *et al.*, 1978; Soto-Balderas y Álvarez-Borrego, 1991; y otros citados por ellos). En casi la totalidad de estos trabajos, el Estero fue definido como un antiestuario (con la salinidad aumentando significativamente de la boca hacia el interior). Sin embargo, estos trabajos fueron realizados en años no Niño y en periodos de baja precipitación pluvial (fig. 1). Sólo existe un

INTRODUCTION

Very little information is available on the effect of El Niño events on the coastal lagoons of northwestern Baja California (Mexico). For San Quintín Bay and the adjacent oceanic area, 200 km south of Ensenada, it has been reported that during the 1983–84 El Niño the abundance of nanoplankton was one order of magnitude greater than that reported during non-Niño years, whereas the concentration of chlorophyll and nutrients, and the abundance of diatoms and dinoflagellates were much lower during El Niño than during non-Niño years (Torres-Moye and Álvarez-Borrego, 1985; Silva-Cota and Álvarez-Borrego, 1988).

At Estero de Punta Banda, several studies have been conducted on the temporal and spatial variations of physical, chemical and biological properties (Pritchard *et al.*, 1978; Soto-Balderas and Álvarez-Borrego, 1991; and others cited therein). In most of these studies, the Estero has been defined as an antiestuary (with salinity increasing significantly from the mouth inwards). However, these studies were carried out during non-Niño years and periods of scant rainfall (fig. 1). Only one study reports salinity values for the Estero during the 1982–83 El Niño; it shows it

trabajo que reporta valores de salinidad para el Estero durante El Niño 1982–83 y lo muestra como estuario, con los valores disminuyendo hacia el interior (Álvarez-Borrego *et al.*, 1984).

En este trabajo se presentan, por primera vez, los resultados de la concentración de carbón orgánico total (COT) y nutrientes ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y PO_4) obtenidos durante un evento El Niño en diferentes localidades del Estero de Punta Banda y con diferentes estadios de marea.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Estero de Punta Banda es una laguna costera localizada en el margen sureste de la Bahía de Todos Santos, Baja California, entre $31^\circ 42'$ y $31^\circ 47' \text{N}$ y $116^\circ 37'$ y $116^\circ 40' \text{W}$ (fig. 2). Tiene un canal principal en forma de *L*, con un brazo corto de 3 km y uno largo de 7 km. Una barra arenosa de aproximadamente 7 km de longitud lo separa de la bahía, con una boca permanente en el extremo norte (Pritchard *et al.*, 1978). El clima de la región es de tipo mediterráneo, caracterizado por veranos secos y por inviernos con lluvias. No hay aporte permanente de agua dulce superficial hacia el Estero. Cuando llueve se presentan dos afluentes: el arroyo Las Ánimas, que desemboca en la parte media del brazo corto, y el arroyo San Carlos, en la parte media del brazo largo (fig. 2). A pesar de la construcción de un bordo en 1983, que le quitó parte considerable del área en el vértice de la *L*, reduciendo su prisma de marea, el Estero ha mantenido básicamente el mismo comportamiento hidrológico, con intervalos de variación de temperatura, salinidad y nutrientes muy similares a los de los años setenta (Soto-Balderas y Álvarez-Borrego, 1991).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron en cuatro localidades (fig. 2) el 24 de septiembre de 1992 y el 9 de marzo de 1993, fechas caracterizadas por la ausencia y presencia de escurrimientos superficiales de agua dulce, respectivamente. Se

to be an estuary, with values decreasing towards the interior of the lagoon (Álvarez-Borrego *et al.*, 1984).

This study presents, for the first time, the results of the concentration of total organic carbon (TOC) and nutrients ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ and PO_4) obtained during an El Niño event at different sites of Estero de Punta Banda and different tidal stages.

DESCRIPTION OF THE STUDY AREA

Estero de Punta Banda (fig. 2) is a coastal lagoon located on the southeastern side of Todos Santos Bay, Baja California ($31^\circ 42'$, $31^\circ 47' \text{N}$; $116^\circ 37'$, $116^\circ 40' \text{W}$). It has a main *L*-shaped channel, with a short arm of 3 km and a long arm of 7 km. A sand bar that is approximately 7 km long separates it from the bay, with a permanent entrance at the northern end (Pritchard *et al.*, 1978). The climate of the region is Mediterranean, with dry summers and rainy winters. There is no permanent, above-ground fresh-water input to the Estero. Two streams appear when it rains: Las Ánimas, which flows into the middle part of the short arm, and San Carlos, into the middle part of the long arm (fig. 2). Despite the construction of a dike in 1983, which took away a considerable part of the area in the vertex of the *L*, reducing its tidal prism, the lagoon has basically maintained the same hydrological behaviour, with temperature, salinity and nutrient ranges very similar to those of the 1970s (Soto-Balderas and Álvarez-Borrego, 1991).

MATERIALS AND METHODS

The samplings were conducted at four sites (fig. 2) on 24 September 1992 and 9 March 1993; these dates are characterized by the absence and presence, respectively, of fresh-water runoff. They were done during spring tide, with amplitudes greater than 1.5 m. Short time-series were generated in order to characterize four different tidal stages: final flood flow, initial ebb flow, final

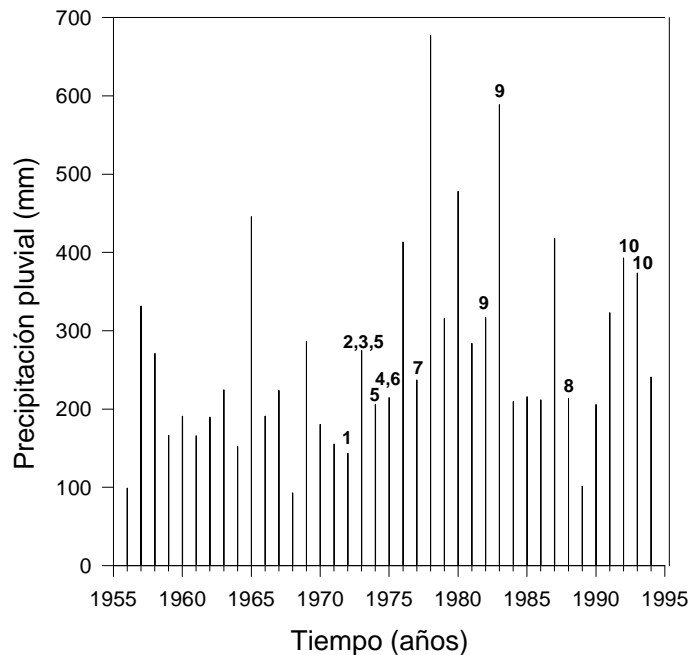


Figura 1. Promedios de precipitación pluvial para los años en que se han realizado los diferentes muestreos en el Estero de Punta Banda.

Figure 1. Rainfall averages for the years in which different samplings have been conducted in Estero de Punta Banda.

1, 2 = Acosta-Ruiz y Álvarez-Borrego (1974); 3 = Celis-Ceceña y Álvarez-Borrego (1975); 4 = Álvarez-Borrego *et al.* (1977); 5 = Sánchez-Hernández (1978); 6 = Galindo-Bect y Flores-Báez (1982); 7 = Pritchard *et al.* (1978); 8 = Soto-Balderas y Álvarez-Borrego (1991); 9 = Álvarez-Borrego *et al.* (1984); 10 = este estudio/*this study*.

llevaron a cabo en mareas vivas, con amplitudes mayores que 1.5 m. Se generaron series de tiempo cortas, de tal forma que permitieran caracterizar cuatro estados de corrientes de marea diferentes: flujo final, refluo inicial, refluo final y flujo inicial (fig. 2). Se recolectó agua de mar superficial con botellas van Dorn. En cada muestreo se inició el recorrido en la localidad 4, y el tiempo entre la primera y la última localidad fue de 45 minutos.

Las muestras de nutrientes se filtraron con filtros GF/C, se almacenaron en botellas de Nalgene de 250 mL y se congelaron hasta su análisis en el laboratorio. Las muestras de COT se recolectaron

ebb flow and initial flood flow (fig. 2). Surface seawater was collected with van Dorn bottles. Sampling began at site 4 and it took 45 minutes to cover the distance between the first and last site.

The nutrient samples were passed through GF/C filters, stored in 250-mL Nalgene bottles and frozen until their analysis in the laboratory. The TOC samples were collected in glass vials. Salinity was determined with a Beckman salinometer. Nutrients were analyzed according to the spectrophotometric techniques described by Strickland and Parsons (1972). The TOC samples were analyzed using a Beckman 915B carbon

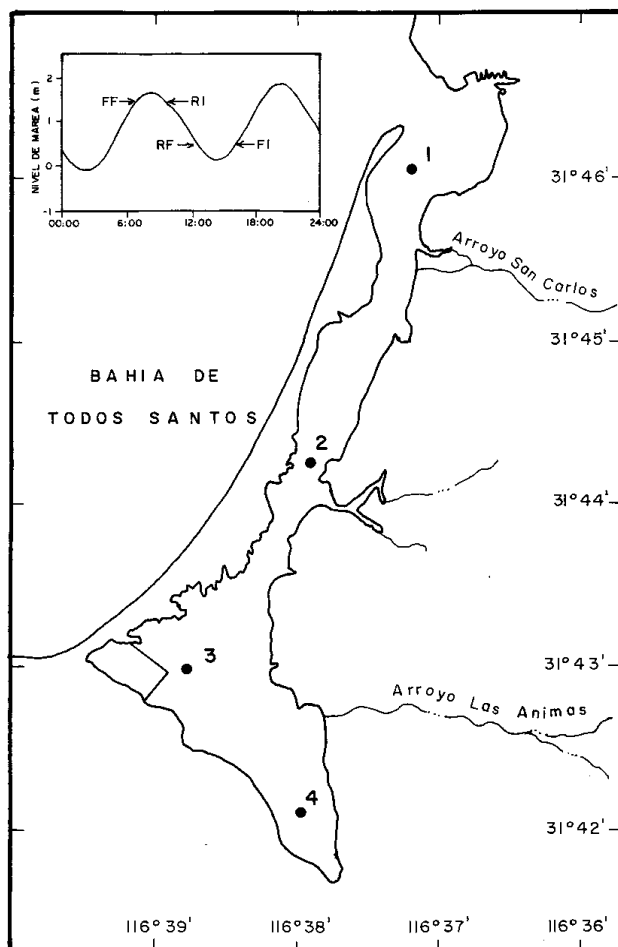


Figura 2. Localidades de muestreo en el Estero de Punta Banda y mareograma mostrando los estadios en que se muestreó. FF = flujo final, RI = reflujó inicial, RF = reflujó final y FI = flujo inicial.

Figure 2. Sampling sites at Estero de Punta Banda and marigraph showing the stages during which sampling occurred. FF = final flood flow, RI = initial ebb flow, RF = final ebb flow and FI = initial flood flow.

en viales de cristal. La salinidad se determinó con un salinómetro Beckman. Los nutrientes fueron analizados de acuerdo con las técnicas espectrofotométricas descritas por Strickland y Parsons (1972). Las muestras de COT se analizaron usando un analizador de carbono Beckman 915B y la calibración se efectuó utilizando biftalato de potasio (APHA, AWWA y WPCF, 1985).

analyzer and calibrated using potassium biphthalate (APHA, AWWA and WPCF, 1985).

RESULTS

The annual rainfall values provided by the Comisión Nacional de Agua (1995) for 1992 (392.7 mm) and 1993 (373.5 mm) are clearly

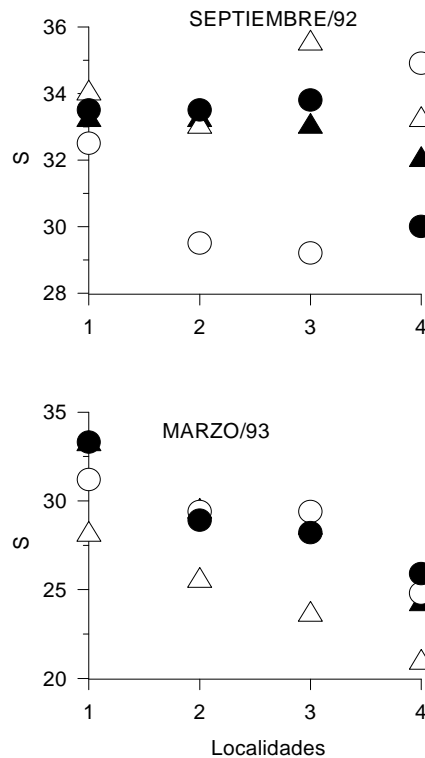


Figura 3. Distribución espacial de salinidad para los cuatro estados de marea en septiembre de 1992 y marzo de 1993. Triángulos claros simbolizan valores de flujo inicial; triángulos oscuros, flujo final; círculos claros, reflujo final; y círculos oscuros, reflujo inicial.

Figure 3. Spatial distribution of salinity for the four tidal stages in September 1992 and March 1993. White triangles indicate initial flood flow values; black triangles, final flood flow; white circles, final ebb flow; and black circles, initial ebb flow.

RESULTADOS

La Comisión Nacional de Agua (1995) proporcionó valores de precipitación anual para 1992 (392.7 mm) y 1993 (373.5 mm) claramente por encima de la media de largo periodo (fig. 1). En general, en la salinidad se puede observar un comportamiento diferente para los meses muestreados. Aunque el comportamiento fue estuarino en septiembre de 1992, los valores fueron más oceánicos que en 1993, con salinidad alrededor de 33, a excepción de dos valores de 29 en las localidades 2 y 3 en reflujo final. En marzo de

above the long-term mean (fig. 1). In general, salinity presented a different behaviour during the months sampled. Although the behaviour was estuarine in September 1992, the values were more oceanic than in 1993, with salinity around 33, except for two values of 29 at sites 2 and 3 during final ebb flow. In March 1993, the behaviour was more estuarine, with a greater variation in salinity; the values were always higher at the mouth and decreased towards the interior of the lagoon (fig. 3). The lowest salinities were recorded during initial flood flow at all the sites. Minimum salinities occurred during low

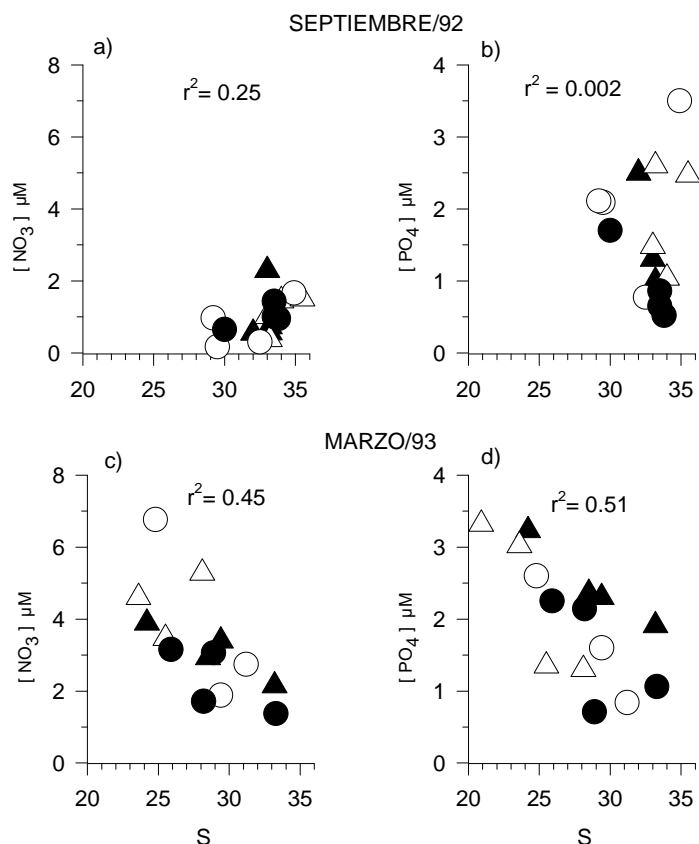


Figura 4. (a, c) Salinidad vs NO_3 y (b, d) salinidad vs PO_4 para ambos muestreos. Triángulos claros simbolizan valores de flujo inicial; triángulos oscuros, flujo final; círculos claros, reflujos final; y círculos oscuros, reflujos inicial.

Figure 4. (a, c) Salinity vs NO_3 and (b, d) salinity vs PO_4 for both samplings. White triangles indicate initial flood flow values; black triangles, final flood flow; white circles, final ebb flow; and black circles, initial ebb flow.

1993, el comportamiento fue más estuarino, con una variación de salinidad más amplia; los valores siempre fueron mayores en la boca y disminuyeron hacia el interior de la laguna (fig. 3). En todas las localidades se registraron las menores salinidades en el flujo inicial. Las salinidades mínimas se presentaron durante marea baja, con 29.2 en septiembre en la localidad 3 y 20.9 en marzo en la localidad 4; las máximas fueron 35.5 en septiembre en la localidad 3 y 33.3 en marzo en la localidad 1.

tide, with 29.2 in September at site 3 and 20.9 in March at site 4. Maximum salinities were 35.5 in September at site 3 and 33.3 in March at site 1.

In September, no significant correlation was found between salinity and any of the nutrients (fig. 4a, b). In March, on the other hand, a correlation was found at 90% confidence level between salinity and NO_3 (fig. 4c), and at 95% confidence level between salinity and PO_4 ($r = -0.71$) (fig. 4d). A well-defined PO_4 spatial variation was observed in both samplings, with values generally

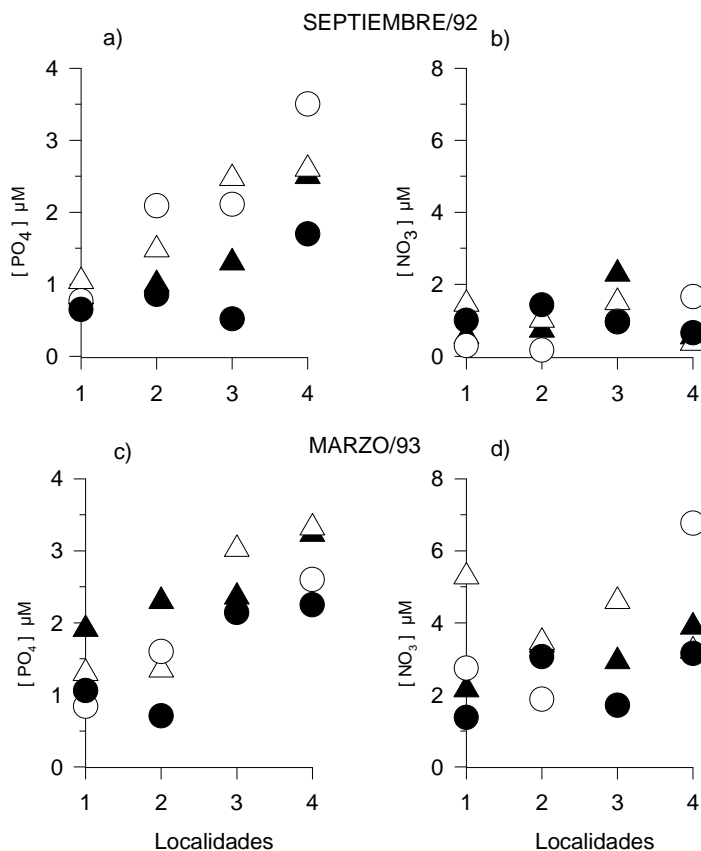


Figura 5. Distribución espacial de PO₄ (a, c) y NO₃ (b, d) para los cuatro estados de marea en septiembre de 1992 y marzo de 1993. Triángulos claros simbolizan valores de flujo inicial; triángulos oscuros, flujo final; círculos claros, reflujos final; y círculos oscuros, reflujos inicial.

Figure 5. Spatial distribution of PO₄ (a, c) and NO₃ (b, d) for the four tidal stages in September 1992 and March 1993. White triangles indicate initial flood flow values; black triangles, final flood flow; white

En septiembre, la salinidad no presentó una correlación significativa con ninguno de los nutrientes (fig. 4a, b). En marzo, por el contrario, se encontró una correlación al 90% de confianza entre salinidad y NO₃ (fig. 4c) y al 95% de confianza entre salinidad y PO₄ ($r = -0.71$) (fig. 4d). Se presentó una variación espacial de PO₄ bien definida en ambas recolecciones, con valores en

lower at the mouth than in the lagoon's interior (fig. 5a, c). The average concentration at the mouth was 1.05 μM and at site 4, 2.71 μM. Likewise, the PO₄ values were similar in both samplings. Unlike the PO₄ values, those of NO₃ did not show a clear spatial variation (fig. 5b, d). The spatial distribution of TOC was similar to that of PO₄, generally increasing towards the inner

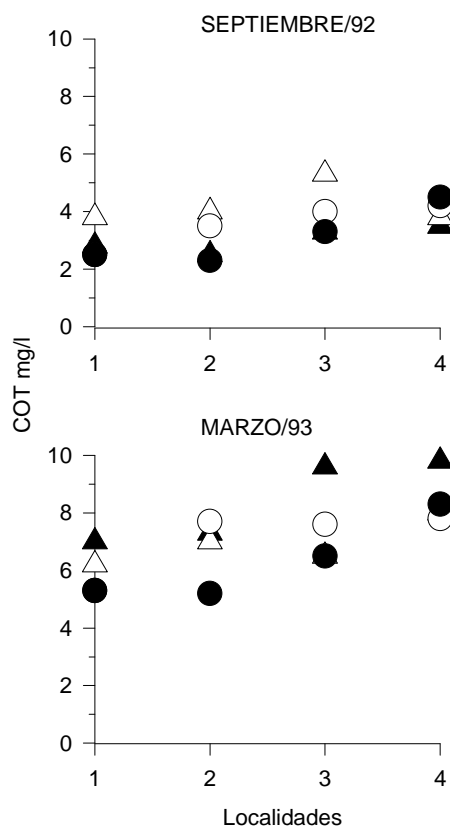


Figura 6. Distribución espacial de carbono orgánico total (COT) para los cuatro estados de marea en septiembre de 1992 y marzo de 1993. Triángulos claros simbolizan valores de flujo inicial; triángulos oscuros, flujo final; círculos claros, reflujo final; y círculos oscuros, reflujo inicial.

Figure 6. Spatial distribution of total organic carbon (COT) for the four tidal stages in September 1992 and March 1993. White triangles indicate initial flood flow values; black triangles, final flood flow; white circles, final ebb flow; and black circles, initial ebb flow.

general menores en la boca que en el interior de la laguna (fig. 5a, c). La concentración promedio en la boca fue $1.05 \mu\text{M}$ y en la localidad 4, $2.71 \mu\text{M}$. Así mismo, los valores de PO_4 fueron similares en los dos muestreos. A diferencia de los valores de PO_4 , los de NO_3 no mostraron un patrón claro de variación espacial (fig. 5b, d). El COT mostró una distribución espacial similar a la del PO_4 , aumentando en general hacia el interior de la laguna (fig. 6). Los valores fueron del orden del doble en marzo que en septiembre.

part of the lagoon (fig. 6). The March values were twice those of September.

DISCUSSION

Estero de Punta Banda has been described as an antiestuary since most studies have been carried out during periods of scant rainfall, less than 250 mm on average (fig. 1). During this study period, characterized by the 1992–93 El Niño, the lagoon presented an estuarine behaviour that can

DISCUSIÓN

El Estero de Punta Banda ha sido descrito como un antiestuario debido a que casi la totalidad de los estudios fueron realizados durante periodos con escasa precipitación pluvial, con un promedio menor que 250 mm (fig. 1). En este periodo de estudio, caracterizado por El Niño 1992–93, la laguna presentó un comportamiento estuarino claramente diferenciado en las dos épocas del año. En septiembre de 1992, durante la ausencia de precipitación pluvial local, se observó un gradiente relativamente débil de salinidad, con los valores disminuyendo de la boca hacia el interior del sistema. Aunque no se tiene información sobre el flujo subterráneo, esta disminución de salinidad hacia el interior del Estero evidencia la presencia de un aporte significativo de agua que se debió al incremento gradual del volumen de precipitación anual durante el periodo de 1990 a 1992 (fig. 1) (Comisión Nacional de Agua, 1995). En marzo de 1993, el comportamiento fue más estuarino. El único trabajo anterior que reporta un comportamiento similar es el de Álvarez-Borrego *et al.* (1984), para el periodo de noviembre de 1982 a octubre de 1983. El periodo de 1978 a 1983 se caracterizó por fuertes lluvias, con eventos El Niño en 1978 y en 1983. En 1983 la precipitación pluvial fue ~60% mayor que en 1992 y 1993 (fig. 1). Álvarez-Borrego *et al.* (1984) reportaron los valores más bajos de salinidad de febrero a abril de 1983, con un mínimo de 6.1 en marzo de 1983.

El Estero debe tener una alternancia en su comportamiento hidrológico, de antiestuarino a estuarino, de acuerdo con la frecuencia e intensidad de los eventos El Niño. Sería muy útil contar con un monitoreo de largo plazo de salinidad, por lo menos con una muestra cada mes, para caracterizar los ciclos estuarinos/antiestuarinos. Estos cambios en el ecosistema modifican drásticamente el hábitat natural, provocando la muerte de algunos organismos. Durante el muestreo de marzo de 1993 hubo abundantes especímenes muertos de gasterópodos. F. García-Pámanes (comunicación personal, IIO-UABC, Ensenada)

be clearly distinguished in both seasons. In September 1992, during the absence of local rainfall, a relatively weak salinity gradient was observed, with values decreasing from the mouth inwards. Though there is no information on the groundwater flow, this decrease in salinity towards the interior of the lagoon indicates the presence of a significant input of water due to the gradual increase in the volume of annual rainfall from 1990 to 1992 (fig. 1) (Comisión Nacional de Agua, 1995). In March 1993, the behaviour was more estuarine. The only previous work that reports a similar behaviour is that of Álvarez-Borrego *et al.* (1984), for the period of November 1982 to October 1983. The period of 1978 to 1983 was characterized by heavy rains, with El Niño events in 1978 and 1983. In 1983, rainfall was ~60% greater than in 1992 and 1993 (fig. 1). Álvarez-Borrego *et al.* (1984) reported the lowest salinity values from February to April 1983, with a minimum of 6.1 in March 1983.

The hydrological behaviour of the Estero must alternate, from antiestuarine to estuarine, according to the frequency and intensity of the El Niño events. The long-term monitoring of salinity, at least monthly samplings, would be useful to characterize the estuarine/antiestuarine cycles. These changes in the ecosystem drastically modify the natural habitat, causing the death of some organisms. During the March 1993 sampling there were many dead gastropod specimens. F. García-Pámanes (personal communication, IIO-UABC, Ensenada) was experimenting with *Chione* sp. clams, many of which died possibly due to low salinities.

The Estero's estuarine behaviour is in accordance with the classic description of this type of coastal body, with higher values of nutrients and TOC associated with lower values of salinity in March. Smayda (1983) indicated that the area of an estuary closest to the input of fresh water is generally the murkiest and richest in nutrients, whereas the opposite occurs in the most oceanic part. Contreras *et al.* (1997) studied six coastal lagoons in Oaxaca and reported the lowest values of $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ for two of them related to the

tenía bajo experimentación almejas *Chione* sp., muchas de las cuales murieron posiblemente por las bajas salinidades.

El comportamiento del Estero como estuario es lo que se esperaría de acuerdo con la descripción clásica de este tipo de cuerpo costero, con los valores mayores de nutrientes y COT asociados con los menores de salinidad en marzo. Smayda (1983) indicó que la zona más cercana al aporte de agua dulce de un estuario es generalmente la más turbia y rica en nutrientes, y que en la más oceánica es al revés. Contreras *et al.* (1997) estudiaron seis lagunas costeras de Oaxaca y reportaron los valores más bajos de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ para dos de ellas asociados con el intercambio más grande con la zona oceánica oligotrófica adyacente. En marzo de 1993, en el Estero los valores mayores de NO_3 correspondieron a las salinidades más bajas (figs. 3, 5).

Sánchez-Hernández (1978) muestreó en el Estero de Punta Banda de mayo de 1973 a abril de 1974 (años no Niño) y encontró valores de NO_3 que fluctuaron principalmente entre 0 y $0.5 \mu\text{M}$, con algunos pocos valores $>3 \mu\text{M}$ para las aguas cercanas a la boca, evidenciando su origen en eventos de surgencia de la zona oceánica adyacente a la Bahía de Todos Santos. Este autor reportó valores de PO_4 principalmente entre 0.5 y $1.0 \mu\text{M}$, con valores escasos $>4 \mu\text{M}$ para el extremo interno del Estero, evidenciando su origen en la remineralización de la materia orgánica del sedimento. Camacho-Ibar y Álvarez-Borrego (1988) registraron valores muy altos de PO_4 y amonio en las aguas intersticiales de los sedimentos del interior del Estero. Los valores de nutrientes aquí obtenidos son en general mayores que los de Sánchez-Hernández (1978), con excepción de los valores de NO_3 de septiembre de 1992 que son similares.

Los flujos de nutrientes en la interfase agua-sedimento (Camacho-Ibar y Álvarez-Borrego, 1988), y el ingreso de agua subterránea y superficial por los arroyos, son las fuentes externas más importantes de nutrientes a la columna de agua de la laguna, como lo mencionado para otros sistemas costeros (Arenas y De La Lanza, 1983; Page

greater exchange with the adjacent oligotrophic oceanic area. In March 1993, in the Estero the highest NO_3 values corresponded to the lowest salinities (figs. 3, 5).

Sánchez-Hernández (1978) conducted samplings in Estero de Punta Banda from May 1973 to April 1974 (non-Niño years) and reported NO_3 values that ranged from 0 to $0.5 \mu\text{M}$, with a few values $>3 \mu\text{M}$ for the waters near the mouth, indicating their origin in upwelling events of the oceanic zone off Todos Santos Bay. This author reported PO_4 values of 0.5 to $1.0 \mu\text{M}$, with a few values $>4 \mu\text{M}$ for the innermost part of the Estero, indicating their origin in the remineralization of sedimentary organic matter. Camacho-Ibar and Álvarez-Borrego (1988) reported very high values of PO_4 and ammonium for the interstitial waters of the sediments from the interior of the Estero. The nutrient values reported herein are, in general, higher than those of Sánchez-Hernández (1978), except for the NO_3 values for September 1992 that are similar.

The flow of nutrients in the water-sediment interfase (Camacho-Ibar and Álvarez-Borrego, 1988), and the input of ground water and surface water from streams are the most important external sources of nutrients to the water column of the lagoon, as has been reported for other coastal systems (Arenas and De La Lanza, 1983; Page *et al.*, 1995; and others cited therein). Estero de Punta Banda is located contiguous to an extensive agricultural valley, from where NO_3 are transported to the lagoon during the rainy season. Page *et al.* (1995) report a similar behaviour for a coastal lagoon in the western United States, but with NO_3 values increasing considerably in relation to the input of fresh water.

At Estero de Punta Banda, in 1992 and 1993 the lowest values of nutrients corresponded to higher tidal levels, because of the greater oceanic influence, and vice versa. This is because the water of Todos Santos Bay had lower concentrations than that of the lagoon. In this study, differences of up to $2 \mu\text{M}$ of PO_4 and $4 \mu\text{M}$ of NO_3 were found during different tidal stages; something similar also occurred with TOC, indicating

et al., 1995; y otros citados por ellos). El Estero de Punta Banda se encuentra junto a un valle con un extenso desarrollo agrícola, de donde los NO₃ son transportados al Estero durante la época de lluvias. Page *et al.* (1995) mencionaron un comportamiento similar para una laguna costera en el oeste de los Estados Unidos, pero con valores de NO₃ aumentando extraordinariamente en relación con el ingreso de agua dulce.

En el Estero de Punta Banda, los valores menores de nutrientes correspondieron en 1992 y 1993 a niveles mayores de marea, por la mayor influencia oceánica, y viceversa. Esto se debió a que el agua de la Bahía de Todos Santos tuvo concentraciones menores que la de la laguna. En este trabajo se encontraron diferencias de hasta 2 µM de PO₄ y 4 µM de NO₃, con diferentes estados de marea, y algo similar ocurrió con el COT, lo que indica el grado de incertidumbre que se tiene cuando se realizan muestreos puntuales, en un solo tiempo determinado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a F. Delgadillo y V. Camacho sus críticas positivas.

REFERENCIAS

- Acosta-Ruiz, M.J. y Álvarez-Borrego, S. (1974). Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, BC, en otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 1(1): 16–45.
- Álvarez-Borrego, S., Acosta-Ruiz, M.J. y Lara-Lara, J.R. (1977). Hidrología comparativa en la boca de dos sistemas antiestuarinos de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4(1): 1–11.
- Álvarez-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.
- APHA, AWWA and WPCF (1985). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 16th ed. APHA, USA, 1268 pp.
- Arenas, F.V. and De La Lanza, A.G. (1983). Annual phosphorus budget of a coastal lagoon in the northwest of Mexico. In: R. Hallberg (ed), *Environmental Biochemistry*. Ecol. Bull (Stockholm), 35, pp. 43–44.
- Camacho-Ibar, V.F. and Álvarez-Borrego, S. (1988). Nutrient concentrations in pore waters of intertidal sediments in a coastal lagoon: patchiness and temporal variations. *Sci. Total Environ.*, 75: 325–339.
- Celis-Cecea, R. y Álvarez-Borrego, S. (1975). Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, BC, en primavera y verano. *Ciencias Marinas*, 2(1): 98–105.
- Comisión Nacional de Agua (1995). Banco de datos. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subgerencia de Administración del Agua, División Hidrométrica, Ensenada, BC, México.
- Contreras, F., Castañeda, O. y Torres, R. (1997). Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 7: 9–17.
- Galindo-Bect, M.S. y Flores-Báez, B.P. (1982). Hidrología comparativa en la boca de dos sistemas antiestuarinos de Baja California durante otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 8(1): 97–108.
- Page, H.M., Petty, R.L. and Meade, D.E. (1995). Influence of watershed runoff on nutrient dynamics in a southern California salt marsh. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 41: 163–180.
- Pritchard, D.W., De La Paz-Vela, R., Cabrera-Muro, H., Ferreras-Sanz, S. y Morales, E. (1978). Hidrografía física del Estero de Punta Banda. Parte 1. Análisis de datos. *Ciencias Marinas*, 5(2): 1–23.
- Sánchez-Hernández, J.L. (1978). Distribución superficial de micronutrientes en el Estero de Punta Banda, BC. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank F. Delgadillo and V. Camacho for their positive criticism.

English translation by Christine Harris.

- Silva-Cota, S. and Álvarez-Borrego, S. (1988). The "El Niño" effect on the phytoplankton of a north-western Baja California coastal lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 27: 109–115.
- Smayda, T.J. (1983). The phytoplankton of estuaries. Chapter 4. In: B.H. Ketchum (ed.), *Estuaries and Enclosed Seas*. Elsevier, New York, pp. 65–102.
- Soto-Balderas, M.G. y Álvarez-Borrego, S. (1991). Nutrientes inorgánicos en los canales de inundación de las marismas de una laguna costera del noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas*, 17(3): 1–20.
- Strickland, J.D. and Parsons, T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Canada*, 167, 310 pp.
- Torres-Moye, G. y Álvarez-Borrego, S. (1985). Efectos de El Niño en los nutrientes y el fitoplancton de verano de 1983, en aguas costeras de Baja California occidental. *Ciencias Marinas*, 11(3): 107–113.