

VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE NUTRIENTES Y SESTON EN LA LAGUNA COSTERA LA CRUZ, SONORA

SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF NUTRIENTS AND SESTON IN THE COASTAL LAGOON LA CRUZ, SONORA

R. Castro Longoria
J.M. Grijalva Chon

Centro de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas de la Universidad de Sonora
Rosales y Niños Heroes S/N
Hermosillo, Sonora, México

Ciencias Marinas (1991), Vol. 17, No. 2, pp. 83-97.

RESUMEN

Se tomaron muestras mensuales (mayo de 1987 a julio de 1988) por triplicado de agua superficial en ocho estaciones de la laguna costera La Cruz, Sonora, para determinar las concentraciones de nitratos, nitritos, fosfatos y seston. Además, se midió la temperatura y salinidad superficial en esas estaciones. La temperatura mostró una clara tendencia estacional con valores entre 32°C (septiembre) y 16°C (enero). La salinidad mensual fue muy fluctuante con valores entre 35 y 40‰. La concentración mensual promedio de fosfatos registró valores de 0.21 a 3.6 µM. Los nitratos registraron valores de 0.42 a 3.8 µM, mientras que los nitritos mostraron desde valores indetectables hasta de 0.38 µM. El seston total, inorgánico y orgánico presentaron niveles mínimos de 10.2, 7.0 y 3.0 g/m³ y máximos de 62.0, 35.2 y 6.9 g/m³, respectivamente. Temporalmente, los máximos y mínimos de las variables coincidieron solo parcialmente. La distribución espacial de las concentraciones de cada variable mostraron homogeneidad en varias ocasiones y en los meses en que esto no se presentó no hubo un patrón definido. El fuerte intercambio mareal puede ser el responsable de la alta variabilidad en el sistema.

ABSTRACT

Monthly (May 1987 to July 1988) samples were taken in triplicate of surface water at eight stations in the coastal lagoon La Cruz, Sonora, in order to determine the concentrations of nitrates, nitrites, phosphates and seston. In addition, surface salinity and temperature were measured at these stations. The temperature showed a marked seasonal trend with values between 32°C (September) and 16°C (January). The monthly salinity fluctuated between values of 35 and 40‰. The mean monthly concentration of phosphates had values of 0.21 to 3.6 µM. The nitrates had values of 0.42 to 3.8 µM, whereas the nitrites had concentrations from undetectable values to 0.38 µM. The total, inorganic and organic seston had minimum values of 10.2, 7.0 and 3.0 g/m³ and maximum values of 62.0, 35.2 and 6.9 g/m³, respectively. Temporally, the maxima and minima of the variables only partially coincided. The spatial distribution of the concentrations of each variable showed homogeneity on several occasions and, during the months when this did not occur, there was no defined pattern. The strong tidal exchange could be responsible for the high variability of the system.

INTRODUCCION

Las lagunas costeras son ecosistemas altamente complejos con características oceanográficas e hidrológicas propias, determinadas por la conexión y tipo de canales con el mar adyacente (Kjerfve, 1986). La interacción entre el intervalo de mareas, sedimento y reciclamiento biológico es una fuente de variabilidad reflejada en las concentraciones de nutrientes en estos cuerpos de agua (Facco *et al.*, 1986).

El detritus, tanto de origen animal como vegetal, es importante en los procesos químico-biológicos que se llevan a cabo en los sistemas lagunares costeros. Mediante los procesos de descomposición (remineralización), el detritus proporciona una fuente de nutrientes y compuestos químicos que son utilizados directa o indirectamente por la comunidad biótica de la laguna y áreas adyacentes (Lugo y Snedaker, 1974; Twilley, 1985). Estos procesos de remineralización se llevan a cabo principalmente en las zonas lodosas de las lagunas costeras (Nowicki y Nixon, 1985).

Los ecosistemas de manglares son áreas de alta productividad (Kennish, 1986) y como sistemas soportan una gran biomasa (Contreras, 1984). Debido a esto, la cantidad de materia orgánica es alta (Valiente, 1987). Sin embargo, la producción de detritus proviene principalmente de la caída de hojas de mangle (Pool *et al.*, 1975; Odum and Heald, 1972), y usualmente llega a ser más abundante que la materia orgánica viva (Kennish, 1986). En la columna de agua este detritus se encuentra en lo que se conoce como seston, el cual incluye también plancton vivo y partículas inorgánicas. La arcilla forma frecuentemente el mayor componente del seston total (Soniati *et al.*, 1984).

Las lagunas costeras de la zona norte del golfo de California han sido, en general, escasamente estudiadas. Recientemente, el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora ha iniciado estudios tendientes a la caracterización ecológica de los sistemas lagunares costeros del estado de Sonora.

El objetivo del presente estudio fue determinar las concentraciones de nutrientes y seston dentro de la laguna costera La Cruz, así como analizar la variabilidad espacial y temporal de estas concentraciones.

INTRODUCTION

Coastal lagoons are highly complex ecosystems with distinct oceanographic and hydrologic characteristics, determined by the connection to the adjacent sea and the properties of the channels (Kjerfve, 1986). The interaction between the tidal range, sediment and biological recycling is a source of variability reflected in the concentrations of nutrients in these bodies of water (Facco *et al.*, 1986).

Detritus, of both animal and plant origin, is important in the chemical-biological processes that occur in coastal lagoon systems. Through decomposition processes (remineralization), the detritus provides a source of nutrients and chemical compounds that are used directly or indirectly by the biotic community of the lagoon and adjacent areas (Lugo and Snedaker, 1974; Twilley, 1985). These remineralization processes mainly take place in muddy areas of coastal lagoons (Nowicki and Nixon, 1985).

The mangrove ecosystems are highly productive areas (Kennish, 1986) and they support a large biomass (Contreras, 1984). Hence, the amount of organic matter is high (Valiente, 1987). However, the production of detritus is mainly due to mangrove leaf litter (Pool *et al.*, 1975; Odum and Heald, 1972) and it usually tends to become more abundant than the live organic matter (Kennish, 1986). In the water column, this detritus is found in what is known as seston, which also includes live plankton and inorganic particles. Clay frequently forms the largest component of the total seston (Soniati *et al.*, 1984).

In general, little work has been done on the coastal lagoons of the northern part of the Gulf of California. Recently, the Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de the University of Sonora has begun studies leading to the ecological characterization of the coastal lagoon systems of the state of Sonora.

The objective of the present study is to determine the concentrations of nutrients and seston in the coastal lagoon La Cruz, as well as to analyse the spatial and temporal variability of these concentrations.

STUDY AREA

The coastal lagoon La Cruz is located between parallels 28°45' and 28°49' N and

AREA DE ESTUDIO

La laguna costera La Cruz se localiza entre los paralelos 28°45' y 28°49' N y entre los meridianos 111°50' y 111°56' O, a 107 km al oeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México (Fig. 1). Presenta un área de 23 km² y se encuentra separada de las aguas del golfo de California por una barra de arena de aproximadamente 3 km de longitud. Este cuerpo de agua se encuentra rodeado casi en su totalidad por el mangle negro *Avicennia germinans* y otras halófitas de menor tamaño; además, en una pequeña área de la barra se encuentra el mangle rojo *Rhizophora mangle* (Castro-Longoria *et al.*, 1989a).

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron muestreos mensuales desde mayo de 1987 hasta julio de 1988, con el fin de obtener muestras de agua superficial para el análisis de nutrientes (nitratos, nitritos y fosfatos) y seston (total, orgánico e inorgánico). Se fijaron ocho estaciones en la laguna (Fig. 1) sobre los canales principales, en donde se tomaron las muestras por triplicado en botellas de plástico de 500 ml. Estas muestras se mantuvieron en hielo y oscuridad hasta la llegada al laboratorio y cuando no se analizaron inmediatamente se congelaron. En cada una de las estaciones se midió la temperatura y salinidad superficial con un termómetro de cubeta ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) y refractómetro manual American Optical ($\pm 1^{\circ}/\text{oo}$). Todos los muestreos se realizaron en marea alta.

En el laboratorio, las muestras se prefiltraron a través de una malla de 225 micras para eliminar partículas mayores. Posteriormente, el agua se pasó a través de filtros Whatman GF/C para el análisis del seston. Del agua filtrada se analizaron los nutrientes. Para los nitratos se siguió la metodología de Strickland y Parsons (1972), mientras que para el análisis de nitritos y fosfatos se siguió a Rosales-Hoz (1979). La determinación del seston se realizó según la metodología descrita en Strickland y Parsons (1972) y Anderson y Roff (1980).

Para detectar diferencias significativas entre los valores promedio mensuales, y dentro de cada mes las diferencias espaciales, se utilizó el análisis de varianza no-paramétrico de Kruskal-Wallis con la respectiva prueba *a*

between meridians 111°50' and 111°56' W, 107 km to the west of the city of Hermosillo, Sonora, Mexico (Fig. 1). It has an area of 23 km² and it is separated from the Gulf of California by a sand bar which is approximately 3 km long. This body of water is almost completely surrounded by the black mangrove *Avicennia germinans* and other smaller halophytes. The red mangrove *Rhizophora mangle* is also found in a small area of the bar (Castro-Longoria *et al.*, 1989a).

MATERIALS AND METHODS

Monthly samplings were carried out from May 1987 to July 1988 in order to obtain samples of surface water for the analysis of nutrients (nitrates, nitrites and phosphates) and seston (total, organic and inorganic). Eight stations were established in the lagoon (Fig. 1). The samples were taken in triplicate in 500 ml plastic bottles. The samples were kept on ice and in darkness until being transported to the laboratory. When they were not analysed immediately, they were frozen. Surface salinity and temperature were measured at each station, using an American Optical manual refractometer ($\pm 1^{\circ}/\text{oo}$) and a bucket thermometer ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$). All the samples were collected during high tide.

In the laboratory, the samples were prefiltered through a 225 micron mesh to eliminate larger particles. The water was then filtered through Whatman GF/C filters for the analysis of the seston. The nutrients were analysed from the filtered water. For the nitrates the methodology of Strickland and Parsons (1972) was followed, whereas for the analysis of the nitrites and phosphates, Rosales-Hoz's (1979) method was used. The determination of the seston was done according to the methodology described by Strickland and Parsons (1972) and by Anderson and Roff (1980).

To detect significant differences between the monthly mean values, and spatial differences during each month, the Kruskal-Wallis nonparametric analysis of variance was used with the respective *a posteriori* test. To analyse the trends of the fluctuations, the Spearman rank correlation was used (Conover, 1971).

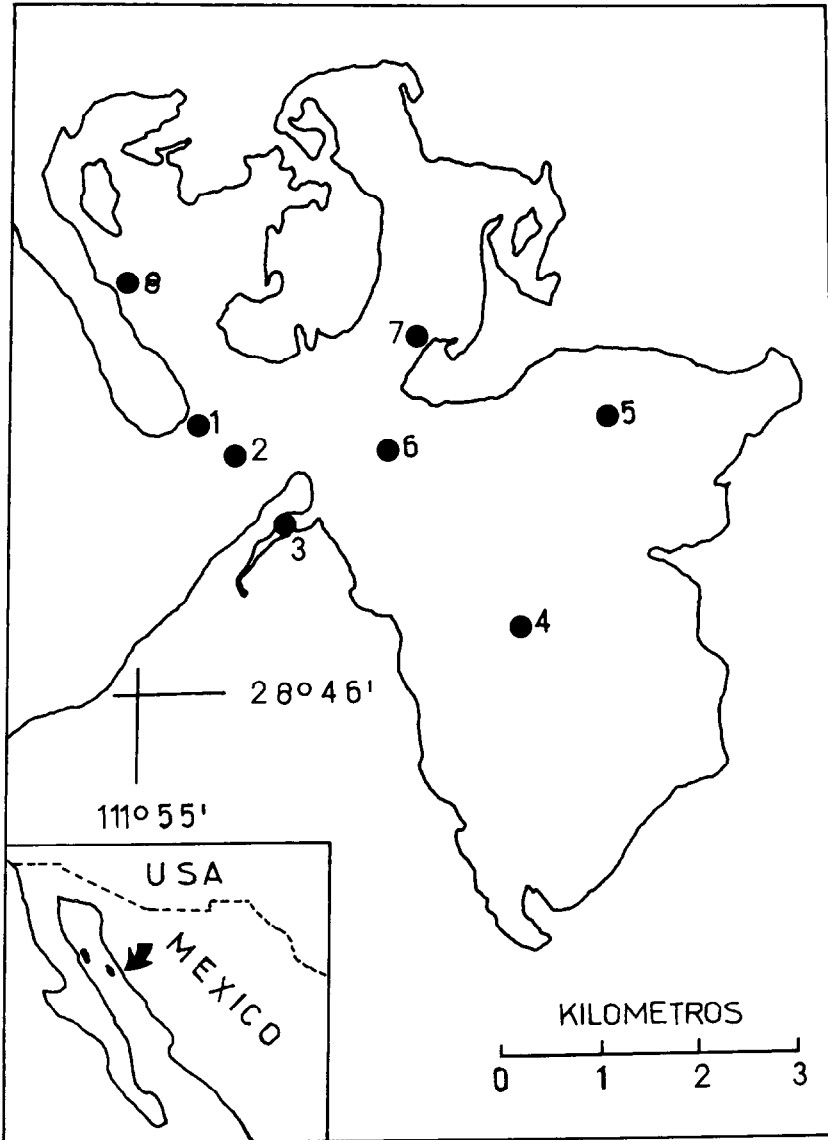


Figura 1. Localización del área de estudio, laguna costera La Cruz, Sonora, y estaciones de muestreo.

Figure 1. Location of the study area, coastal lagoon La Cruz, Sonora, and sampling stations.

posteriori. Para analizar las tendencias de las fluctuaciones, se utilizó la correlación por intervalos de Spearman (Conover, 1971).

RESULTADOS

La temperatura promedio mensual mostró una clara tendencia estacional, con valores más altos en junio y septiembre, y más bajos entre noviembre y marzo (Fig. 2). La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias mensuales muy marcadas ($p < 0.001$) y, según la prueba *a posteriori*, la máxima temperatura correspondió al muestreo de septiembre ($31.9 \pm 0.18^\circ\text{C}$) y la mínima a los dos muestreos de enero (15.9 ± 1.66 y $16.5 \pm 1.06^\circ\text{C}$, respectivamente).

Todas las estaciones de muestreo mostraron una misma tendencia de fluctuación temporal, con altos valores de correlación entre sí ($p \leq 0.0009$). La distribución espacial de los intervalos de los valores no guardó un patrón definido entre los meses de muestreo, según mostraron los valores de correlación. Sin embargo, hubo una tendencia a presentarse los mayores valores en las estaciones alejadas de la boca (Tabla 1), sin guardar esto una relación con la época del año.

La salinidad promedio mensual fue fluctuante durante el período muestreado, con valores entre 35 y $40^\circ/\text{oo}$ (Fig. 2). La curva temporal presentó pulsos de dos a cuatro meses de duración, detectándose los valores máximos de mayo a julio de 1987, en los muestreos de enero de 1988 y del segundo muestreo de abril a junio de 1988, según el resultado de la prueba *a posteriori*.

No todas las estaciones de muestreo siguieron la misma tendencia de fluctuación temporal. Al igual que la temperatura, se pudo observar que los mayores valores se encontraron en las estaciones más alejadas de la boca (Tabla 1). Además, las correlaciones entre los meses de muestreo fueron escasas, lo que indica un patrón fluctuante en la distribución espacial de la salinidad.

La concentración promedio mensual de los fosfatos mostró un período de poca variabilidad entre junio y noviembre de 1987 (Fig. 3). El valor mínimo correspondió al muestreo de principios de enero con $0.21 \pm 0.18 \mu\text{M}$ y el máximo al correspondiente a mayo de 1988 con $3.6 \pm 0.54 \mu\text{M}$. El comportamiento de la fluctuación temporal entre

RESULTS

The monthly mean temperature showed a clear seasonal trend, with higher values between June and September and lower values between November and March (Fig. 2). The Kruskal-Wallis test showed marked differences ($p < 0.001$) and, according to the *a posteriori* test, the maximum temperature corresponded to the September sampling ($31.9 \pm 0.18^\circ\text{C}$) and the minimum to the two January samplings (15.9 ± 1.66 and $16.5 \pm 1.06^\circ\text{C}$, respectively).

All the sampling stations showed the same temporal fluctuation trend, with high correlation values ($p \leq 0.0009$). According to the correlation values, the spatial distribution of the ranges of the values showed no definite pattern between the sampling months. However, higher values tended to occur at the stations farther away from the mouth (Table 1), with no relation to the time of year.

The monthly mean salinity fluctuated throughout the sampling period, with values between 35 and $40^\circ/\text{oo}$ (Fig. 2). The temporal curve presented peaks of two to four months duration. The highest values were detected from May to July 1987, during the January 1988 samplings and from the second sampling of April to June 1988, according to the *a posteriori* test.

Not all the sampling stations followed the same temporal fluctuation trend. As found for the temperature, the highest values were found to occur at the stations farther away from the mouth (Table 1). Furthermore, there were few monthly correlations, indicating a fluctuating pattern in the spatial distribution of the salinity.

The monthly mean concentration of the phosphates showed a period of little variability between June and November 1987 (Fig. 3). The minimum value, $0.21 \pm 0.18 \mu\text{M}$, was found in the sampling of the beginning of January and the maximum value, $3.6 \pm 0.54 \mu\text{M}$, was found in May 1988. The behaviour of the temporal fluctuation between the sampling stations was not similar, even though they varied within a narrow range.

The correlations between the sampling months were very scarce, indicating a fluctuating pattern in the spatial distribution of the concentrations. This spatial variability was so large that there were no stations that

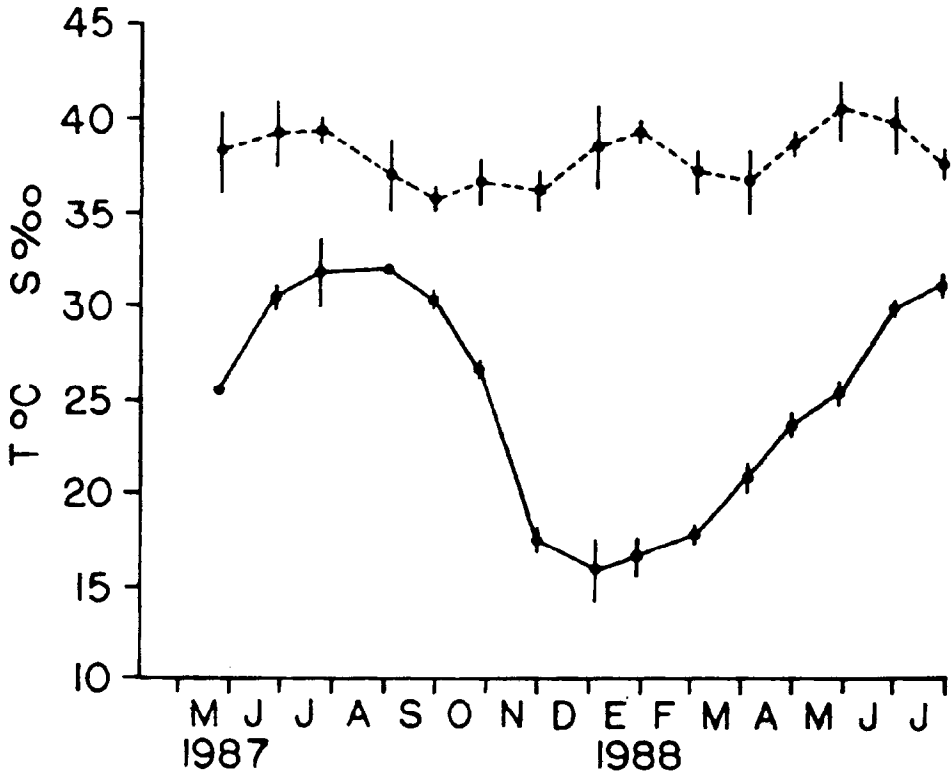


Figura 2. Temperatura y salinidad superficial promedio mensual (± 1 desviación estándar).
 Figure 2. Monthly mean surface salinity and temperature (± 1 standard deviation).

Tabla 1. Frecuencia de valores máximos y mínimos de las variables medidas en las estaciones de muestreo.

Table 1. Frequency of maximum and minimum values of the variables measured at the sampling stations.

Variable	Número de meses muestreados	Máximo		Mínimo	
		Estaciones de muestreo	Frecuencia	Estaciones de muestreo	Frecuencia
Temperatura	15	7, 8	7	4	10
Salinidad	15	7	10	1	9
Fosfatos	14	2, 6	3	5	5
Nitritos	15	3	5	6	5
Nitratos	13	1	4	1, 2, 3, 6, 8	2
Seston total	15	5	5	2	5
Seston orgánico	13	2	5	1	5
Seston inorgánico	13	5, 7	3	6	4
% Materia orgánica	13	2	5	2, 3, 5, 7	4

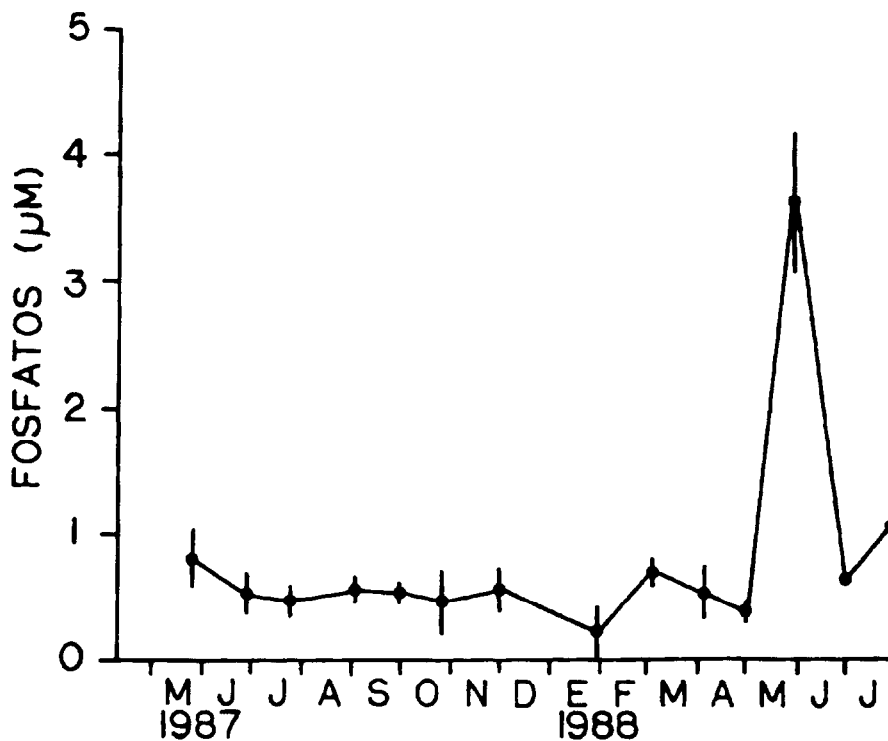


Figura 3. Concentración promedio mensual de fosfatos (± 1 desviación estándar).
 Figure 3. Monthly mean concentration of phosphates (± 1 standard deviation).

las estaciones de muestreo no fue del todo similar entre ellas, aunque variaron dentro de un intervalo estrecho.

Las correlaciones entre los meses de muestreo fueron muy escasas, indicando un patrón muy fluctuante en la distribución espacial de las concentraciones. Esta variabilidad espacial fue tan grande que no hubo estaciones que presentaran predominantemente los valores máximos o mínimos durante los meses de muestreo (Tabla 1). De hecho, en la mayoría de los meses hubo diferencias espaciales en los promedios (Tabla 3).

Los muestreos de octubre y noviembre de 1987 y abril de 1988 presentaron las concentraciones promedio máximas de nitratos, sin diferencias significativas entre sí. Estas concentraciones fueron de 3.0 ± 1.6 , 3.5 ± 1.0 y $3.8 \pm 0.93 \mu\text{M}$, respectivamente (Fig. 4). De igual forma, el valor mínimo correspondió a

predominantly presented the highest or lowest values during the sampling months (Table 1). In fact, there were spatial differences in the averages in most of the months (Table 3).

The samplings of October and November 1987 and April 1988 presented the maximum mean concentrations of nitrates, without significant differences between them. These concentrations were 3.0 ± 1.6 , 3.5 ± 1.0 and $3.8 \pm 0.93 \mu\text{M}$, respectively (Fig. 4). Likewise, the minimum values corresponded to the samplings of September 1987 and January and April 1988, with 0.44 ± 0.13 , 0.46 ± 0.13 and $0.42 \pm 0.34 \mu\text{M}$, respectively.

There were significant positive correlations between most of the stations, indicating the same temporal fluctuation trend. The exception was station 1 that was only similar to stations 2 and 3. Just as the phosphates, no correlations were found between the sampling

Tabla 2. Relación de muestreos en donde se encontraron diferencias significativas entre los valores promedio de las estaciones, de acuerdo al análisis de varianza de Kruskal-Wallis.

Table 2. Samplings in which significant differences were found between the mean values of the stations, according to the Kruskal-Wallis analysis of variance.

	Seston total	Seston inorgánico	Seston orgánico	Nitratos	Nitritos	Fosfatos
1987						
24 Mayo	*		*	S.A.		**
27 Junio				S.A.		*
23 Julio		*	*		**	
2 Septiembre	*	*	*			*
28 Septiembre				**	*	
26 Octubre		*		**	*	*
30 Noviembre					*	*
1988						
4 Enero	**	**	**	*		S.A.
29 Enero	*	*	*	*		*
3 Marzo			*			*
4 Abril				*		
30 Abril	**	**	*	*		
28 Mayo						*
30 Junio	*	S.A.	S.A.	*		
29 Julio	**	S.A.	S.A.			*

* = $0.01 < p \leq 0.05$

** = $0.001 < p \leq 0.01$

S.A. = sin análisis

los muestreos de septiembre de 1987 y enero y abril de 1988, con 0.44 ± 0.13 , 0.46 ± 0.13 y $0.42 \pm 0.34 \mu\text{M}$, respectivamente.

Entre casi la totalidad de las estaciones hubo correlaciones positivas significativas, lo que indica una misma tendencia de fluctuación temporal entre ellas. En esto, la excepción fue la estación 1 que sólo tuvo afinidad con la 2 y 3. De la misma forma que los fosfatos, tampoco se presentaron correlaciones entre los meses de muestreo. Igualmente, existió una distribución heterogénea no presentándose los máximos y mínimos definidos en estaciones determinadas durante los meses de muestreo (Tabla 1). Además, en gran parte de los muestreos analizados hubo diferencias espaciales entre las estaciones (Tabla 2).

Los nitritos presentaron un máximo en mayo de 1988 de $0.38 \pm 0.03 \mu\text{M}$ y otro ligeramente menor en julio de 1987 con $0.30 \pm 0.11 \mu\text{M}$, sin diferencia significativa entre

months. There was a heterogeneous distribution and no defined maxima and minima were found at certain stations during the sampling months (Table 1). Furthermore, in many of the samplings analysed, there were spatial differences between the stations (Table 2).

The nitrites presented a maximum in May 1988 of $0.38 \pm 0.03 \mu\text{M}$ and another slightly lower in July 1987 of $0.30 \pm 0.11 \mu\text{M}$, with no significant difference between them (Fig. 5). The minima were found in June 1988 and in April 1988 with undetectable values.

According to the correlation values, nearly all the stations showed the same temporal fluctuation trend. An important fact was that in most months the values were statistically similar between stations, indicating homogeneous conditions (Table 2).

The mean values of the total seston and of the inorganic fraction showed a general increase with time, whereas the organic frac-

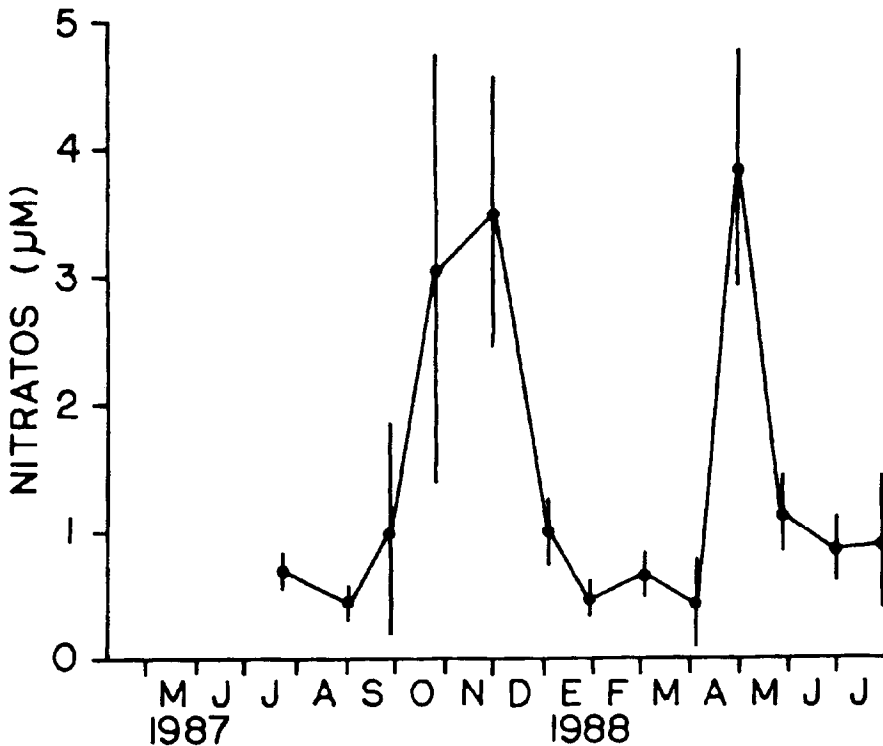


Figura 4. Concentración promedio mensual de nitratos (± 1 desviación estándar).
Figure 4. Monthly mean concentration of nitrates (± 1 standard deviation).

ambos (Fig. 5). Los mínimos se encontraron en junio de 1988 y en abril de 1988 con valores indetectables.

Prácticamente todas las estaciones mostraron una misma tendencia de fluctuación temporal, según los valores de correlación. Un hecho importante fue que en la mayoría de los meses los valores encontrados fueron estadísticamente similares entre las estaciones, demostrando condiciones homogéneas (Tabla 2).

Los valores promedio del seston total y de la fracción inorgánica mostraron un incremento general con el tiempo, mientras que la fracción orgánica se mantuvo relativamente constante (Fig. 6).

En los cuatro primeros meses, el seston total fluctuó entre 10.2 ± 1.7 y 15.1 ± 4.0 g/m^3 . Los dos últimos muestreos no mostraron diferencias entre sí en los valores prome-

tion remained relatively constant (Fig. 6).

In the first four months, the total seston fluctuated between 10.2 ± 1.7 and 15.1 ± 4.0 g/m^3 . There were no differences in the average values of the last two samplings. In the case of inorganic seston, the minimum values were also found in the first four months, with values between 7 and 12 g/m^3 . The absolute maximum value, 35.2 ± 4.8 g/m^3 , occurred at the end of April 1988. In the case of organic seston, the minimum values were also found at the beginning of the sampling period and, in general, the values fluctuated between 3 and 6.9 g/m^3 ; the maximum value, 6.9 ± 1.0 g/m^3 , was recorded in November 1987.

The sampling stations generally showed the same temporal variability trend for total and inorganic seston. According to the spatial correlation values between the months sam-

Tabla 3. Correlación de Spearman entre los valores promedio mensuales de las variables. Entre paréntesis la significancia.

Table 3. Spearman's correlation between the monthly mean values of the variables. The significance is given in parentheses.

	Seston orgánico	Seston total	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Salinidad	Temperatura
Seston inorgánico	0.6538 (0.0235) *	0.9890 (0.0006) ***	0.2636 (0.4045)	0.0659 (0.8193)	-0.0140 (0.9630)	-0.0441 (0.8786)	-0.5769 (0.0457) *
	Seston orgánico	0.7308 (0.0114) *	0.3818 (0.2273)	0.2527 (0.3813)	-0.1888 (0.5312)	-0.3141 (0.2766)	-0.4121 (0.1534)
		Seston total	0.2143 (0.4579)	-0.0500 (0.8516)	0.2220 (0.4235)	0.1038 (0.6978)	-0.2464 (0.3565)
			Nitratos	0.0559 (0.8528)	-0.0559 (0.8528)	-0.0605 (0.8339)	-0.1264 (0.6615)
				Nitritos	0.3451 (0.2135)	-0.2111 (0.4296)	0.0286 (0.9149)
					Fosfatos	0.0837 (0.7628)	0.2000 (0.4708)
						Salinidad	0.0608 (0.8200)

* = Significativo

*** = Muy altamente significativo

dio. En el caso del seston inorgánico, también los valores mínimos se encontraron en los cuatro primeros meses, con valores entre 7 y 12 g/m³. El valor máximo absoluto se presentó a finales de abril de 1988 con 35.2 ± 4.8 g/m³. El seston orgánico también presentó los mínimos valores al inicio del muestreo y, en general, los valores fluctuaron entre 3 y 6.9 g/m³; el máximo se registró en noviembre de 1987 con 6.9 ± 1.0 g/m³.

Las estaciones de muestreo exhibieron, generalmente, la misma tendencia temporal de variabilidad para los casos del seston total e inorgánico. De acuerdo a los valores de correlación espacial entre los meses muestreados, la laguna es muy cambiante entre un mes y otro en lo que respecta a la localización de

pled, the lagoon changes from one month to another with respect to the location of the areas with maximum and minimum values (Table 2). Furthermore, in at least half of the samplings there were significant differences between the average values found at the stations each month (Table 2).

On correlating the mean values of the variables, significant positive correlations were only found between total, inorganic and organic seston (Table 3).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

High variability in the distribution of nutrients in coastal bodies of water has already been shown by other authors

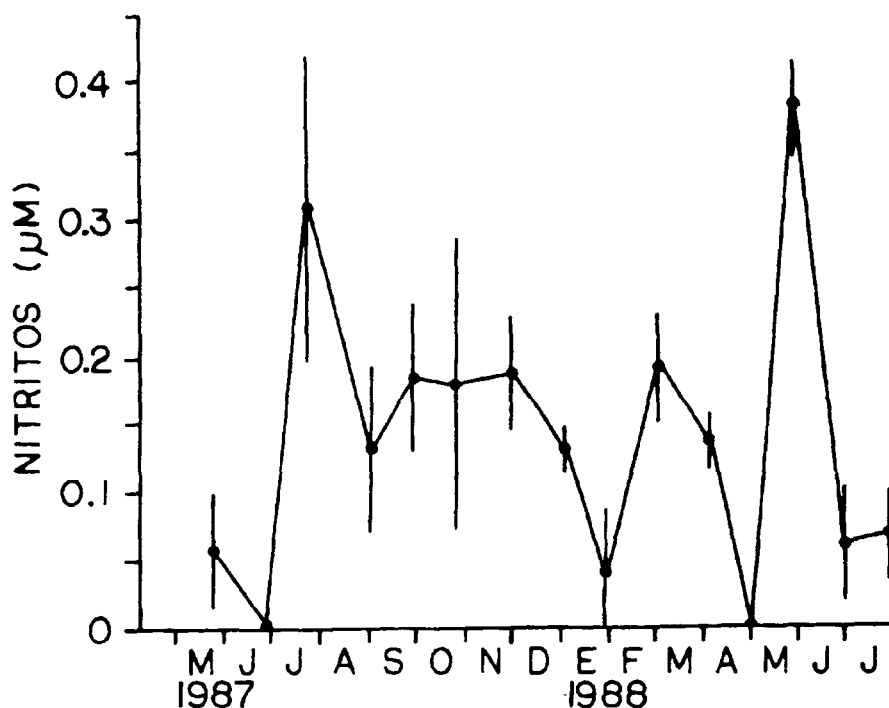


Figura 5. Concentración promedio mensual de nitritos (± 1 desviación estándar).
 Figure 5. Monthly mean concentration of nitrites (± 1 standard deviation).

las áreas con los valores máximos y mínimos (Tabla 2). Además, en al menos la mitad de los muestreos hubo diferencias significativas entre los valores promedio presentados en las estaciones de cada mes (Tabla 2).

Al correlacionar entre sí los valores promedio de las variables, sólo se encontraron correlaciones positivas significativas entre el seston total, inorgánico y orgánico (Tabla 3).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La alta variabilidad en la distribución de nutrientes en los cuerpos de agua costeros ya ha sido evidenciado por otros autores (Lara-Lara *et al.*, 1980; Millán-Núñez *et al.*, 1982), incluso en un ciclo diario (Paredes-Romero y López-Torres, 1988; Acosta-Ruíz y Lara-Lara, 1978), y en aguas intersticiales (Camacho-Ibar y Alvarez-Borrego, 1988). Sin

(Lara-Lara *et al.*, 1980; Millán-Núñez *et al.*, 1982), even in a diurnal cycle (Paredes-Romero and López-Torres, 1988; Acosta-Ruíz and Lara-Lara, 1978), and in interstitial waters (Camacho-Ibar and Alvarez-Borrego, 1988). However, within this variability, the levels of concentration are higher than those of the adjacent sea (Valiente, 1987) and, therefore, they are not limiting for photosynthesis within these systems (Contreras, 1984).

Millán-Núñez *et al.* (1982) reported, for San Quintín Bay, a maximum peak of phosphates at one of their sampling stations but with no relation to other stations or to other nutrients. Lara-Lara *et al.* (1980) also reported a maximum of phosphates, which was related to a maximum of inorganic seston, indicating that this nutrient was resuspended from the bottom. Especially in the present work, the maximum of phosphates found at

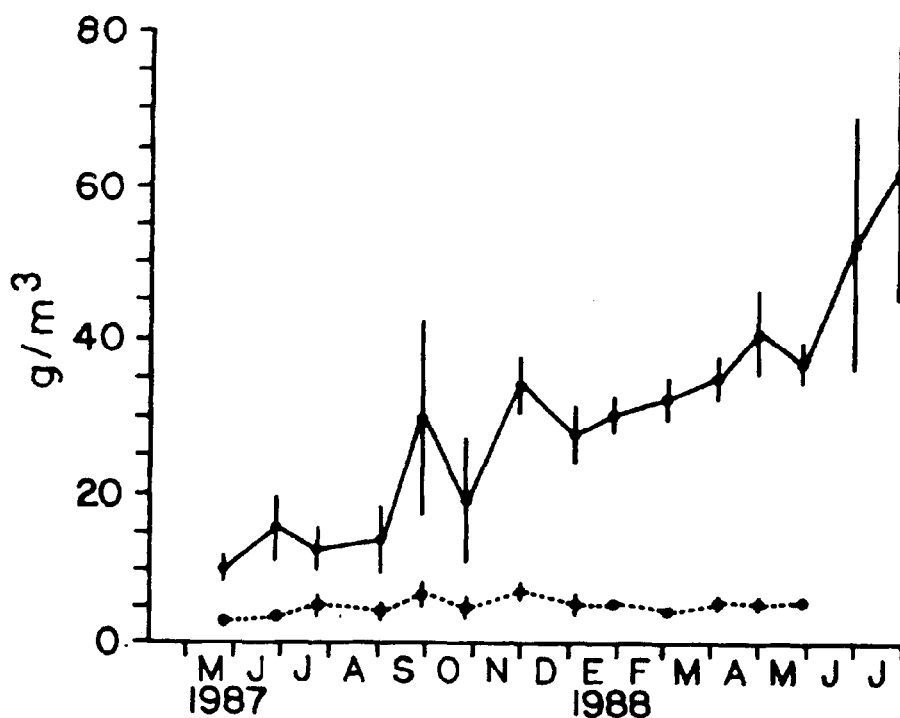


Figura 6. Concentración promedio mensual de seston total (—) y seston orgánico (---). Las líneas verticales corresponden a una desviación estándar.

Figure 6. Monthly mean concentration of total (—) and organic (---) seston. The vertical lines correspond to one standard deviation.

embargo, dentro de esta variabilidad los niveles de concentración son mayores que los del mar adyacente (Valiente, 1987), por lo que no llegan a ser limitantes para la fotosíntesis dentro de estos sistemas (Contreras, 1984).

Millán-Núñez *et al.* (1982) reportaron para bahía San Quintín, B.C., un pico máximo de fosfatos en una de sus estaciones de muestreo pero sin relación con otras estaciones ni con los otros nutrientes. Lara-Lara *et al.* (1980) también reportaron un máximo de fosfatos, el cual tuvo relación con un máximo de seston inorgánico lo que indicó que este nutriente fue resuspendido del fondo. Particularmente en la presente investigación, el máximo de fosfatos encontrado a principios de verano sí fue generalizado en todas las estaciones de muestreo e incluso también coincidió con un máximo de nitritos; sin embargo, este evento no tuvo una relación clara con el seston inorgánico.

the beginning of summer was generalized throughout the sampling stations and also coincided with a maximum of nitrites. However, this event did not have a clear relation with the inorganic seston.

An important fact was that, at the same time, both the coastal lagoons of Santa Rosa, approximately 30 km to the north, and El Sargento, 60 km to the north, showed a similar behaviour (Valdez-Holguín *et al.*, 1989; Castro-Longoria *et al.*, 1989b, respectively). Millán-Núñez *et al.* (1981) suggest that concentrations of phosphates of 4 μM or higher cannot originate outside of an estuary, especially if these concentrations are only found in their inner parts. In the case of these three coastal lagoons, having taken the samples during high tide, the high concentrations occurred at all the stations.

The reducing conditions in the sediments favour the liberation of phosphates

Un hecho importante fue que simultáneamente en la laguna costera Santa Rosa, distante aproximadamente 30 km al norte, y en la de El Sargento a 60 km al norte, también mostraron un comportamiento similar (Valdez-Holguín *et al.*, 1989; Castro-Longoria *et al.*, 1989b, respectivamente). Millán-Núñez *et al.* (1981) sugieren que concentraciones de fosfatos de $4 \mu\text{M}$ o mayores no pueden ser originados fuera de un estero, sobre todo si tales concentraciones sólo se encuentran en las partes internas de ellos. En el caso de estas tres lagunas costeras, las altas concentraciones estuvieron presentes en todas las estaciones, realizándose la toma de muestras durante la marea alta.

Las condiciones reductoras en los sedimentos favorecen la liberación de fosfatos en los cuerpos de agua costeros (Perkins, 1974; Carman y Wulff, 1989). Sin embargo, de estas tres lagunas sólo La Cruz presenta sedimentos anóxicos en las zonas marginales adyacentes a los manglares. Santa Rosa y El Sargento presentan una forma elongada por lo que la energía debido al intercambio de agua por la marea es elevada (altura de marea 0.15 m en marea baja y 2.4 m en marea alta, durante las mareas vivas), determinando esto la variabilidad hidrológica de estos sistemas (Castro-Longoria *et al.*, 1989; Valdez-Holguín *et al.*, 1989), y siendo el sedimento casi en su totalidad constituido por arenas (Villalba y de la O., 1986; Valdez-Holguín *et al.*, 1989). Esto nos puede sugerir que los máximos encontrados en ambos cuerpos de agua podrían provenir de un aporte externo. De hecho, en el caso de los fosfatos y nitritos las mayores concentraciones se obtuvieron en las estaciones de la boca y las cercanas a ella en los tres sistemas. Los máximos de otoño para los nitratos coinciden con lo reportado para el mismo período por Paredes-Romero y López-Torres (1988) en el estero Tastiota, Sonora, y Flores-Verdugo *et al.* (1987) en Agua Brava, Nayarit. Sin embargo, las concentraciones más altas de nitratos no se registraron en la boca como lo reportado para otros sistemas (Sánchez-Hernández, 1978; Millán-Núñez *et al.*, 1982).

Las hojas de mangle son una fuente importante de detritus (Valiente, 1987; Kennish, 1986). En el caso de la laguna La Cruz, *Avicennia germinans* tiene una producción de $310 \text{ g/m}^2/\text{año}$ (Meling-López, comunicación personal) y los aportes máximo y mínimo coincidieron con los correspondientes del ses-

in coastal bodies of water (Perkins, 1974; Carman and Wulff, 1989). However, of these three lagoons, only La Cruz has anoxic sediments in the marginal zones adjacent to the mangroves. Santa Rosa and El Sargento have an elongated shape; therefore, the energy due to the exchange of water by the tide is high (tidal height 0.15 m at low tide and 2.4 m at high tide, during spring tide), determining the hydrologic variability of these systems (Castro-Longoria *et al.*, 1989b; Valdez-Holguín *et al.*, 1989) and that the sediment is mostly composed of sands (Villalba and de la O., 1986; Valdez-Holguín *et al.*, 1989). This could suggest that the maxima found in both bodies of water could be due to an external contribution. In fact, in the case of phosphates and nitrites, the highest concentrations were found at the stations located at the mouth and those close to it in the three systems. The autumn maxima for the nitrates coincided with those reported for the same period by Paredes-Romero and López-Torres (1988) for Tastiota Estuary, Sonora, and Flores-Verdugo *et al.* (1987) for Agua Brava, Nayarit. However, the highest concentrations of nitrates were not recorded at the mouth as is reported for other systems (Sánchez-Hernández, 1978; Millán-Núñez *et al.*, 1982).

Mangrove leaves are an important source of detritus (Valiente, 1987; Kennish, 1986). In the case of La Cruz, *Avicennia germinans* produces $310 \text{ g/m}^2/\text{year}$ (Meling-López, personal communication), and the maximum and minimum contributions coincide with those corresponding to the organic seston. González-Farías *et al.* (1986) mention that rainfall and fresh water input influence the variation of the soluble and particulate organic matter, apart from increasing the concentration. They found the maximum organic matter, measured as organic carbon, in autumn and the minimum in spring. This coincides with what is reported herein, even though there are no streams flowing into La Cruz and on the whole there is scant rainfall. Under these conditions, the major source of inorganic nutrients is the remineralization of organic matter, mainly from the decomposition of mangrove leaves and associated vegetation.

In general, the pattern observed at La Cruz lagoon is of a highly variable system, probably due to the strong tidal exchange which helps to keep the time of residence of the water down to a minimum.

ton orgánico. González-Farías *et al.* (1986) mencionan que la precipitación y el aporte fluvial influyen en la variación de la materia orgánica soluble y particulada, además de incrementar la concentración. Ellos encontraron la máxima materia orgánica, medida como carbono orgánico, en otoño y la mínima en primavera. Esto coincide con lo reportado aquí a pesar de que la laguna La Cruz no presenta un aporte de río y las lluvias son más bien escasas. Bajo estas condiciones, la mayor fuente de los nutrientes inorgánicos es la remineralización de la materia orgánica, principalmente de la descomposición de las hojas de mangle y vegetación asociada.

En general, el esquema observado en la laguna La Cruz es de un sistema altamente variable, debido probablemente al fuerte intercambio mareal lo que contribuye a que el tiempo de residencia de sus aguas sea mínimo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al apoyo financiero otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para la realización de esta investigación bajo el proyecto ICCNXNA-031345. Agradecemos también a Saúl Alvarez Borrego sus comentarios y sugerencias al manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Ruiz, M. de J. y Lara-Lara, J.R. (1978). Resultados físico-químicos en un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, B.C.S. *Ciencias Marinas*, 5: 37-46.
- Anderson, J.T. and Roff, J.C. (1980). Seston ecology of the surface waters of Hudson Bay. *J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 2242-2253.
- Camacho-Ibar, V.F. and Alvarez-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.
- Carman, R. and Wulff, F. (1989). Adsorption capacity of phosphorus in Baltic Sea sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.*, 29: 456-477.
- Castro-Longoria, R., Grijalva-Chon, J.M., Meling-López, A.E., Ortega-Romero, P., Valdez-Holguín, J.E. y Villalba-Atondo, A.I. (1989a). Aportación de

ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge the financial support received from the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (project No. ICCNXNA-031345). We also thank Saúl Alvarez Borrego for his comments and suggestions to the manuscript.

English translation by Christine Harris.

materia orgánica por productores primarios en la laguna La Cruz, Sonora. Informe Técnico Final UNISON-CONACYT ICCNXNA-031345, 243 pp.

- Castro-Longoria, R., Grijalva-Chon, J.M., Ortega-Romero, P. y Valdez-Holguín, J.E. (1989b). Análisis ecológico de sistemas lagunares: su comportamiento y su utilización en maricultivos. Informe Técnico Final UNISON-SEP C86-01-0114, 263 pp.
- Conover, W.J. (1971). *Practical Nonparametric Statistics*. John Wiley & Sons, New York, 492 pp.
- Contreras, F. (1984). Estudios hidrobiológicos en lagunas costeras. *Ciencia*, 35: 13-18.
- Facco, S., Degobbi, D., Sfriso, A. and Orto, A.A. (1986). Space and time variability of nutrients in the Venice Lagoon, pp. 307-318. In: D.A. Wolfe (ed.), *Estuarine Variability*. Academic Press Inc., Orlando, Florida, 509 pp.
- Flores-Verdugo, F.J., Day, J.W. Jr. and Briseño-Dueñas, R. (1987). Structure, litter fall, decomposition, and detritus dynamics in a Mexican coastal lagoon with an ephemeral inlet. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 35: 83-90.
- González-Farías, F., Hernández-Garza, M. y Flores-Verdugo, F. (1986). Variación estacional de la materia orgánica y su biodegradación en la laguna de Agua Brava, Nayarit, México. En: F.J. Flores-Verdugo (coord.), *Ecología de los manglares y perfil de comunidades en los sistemas lagunares de Agua Brava y Marismas Nacionales, Nayarit*. Informe Técnico, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Clave: PCECBNA-022068, 350 pp.

- Kennish, M.J. (1986). Ecology of Estuaries. Physical and Chemical Aspects. CRC Press, Boca Raton, Florida, 254 pp.
- Kjerfve, B. (1986). Comparative oceanography of coastal lagoons, pp. 63-82. In: D.A. Wolfe (ed.), Estuarine Variability. Academic Press Inc., Orlando, 509 pp.
- 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 Mar. Sci., 11: 613-637.
- Lugo, A.E. and Snedaker, S.C. (1974). The ecology of mangroves. Ann. Rev. Ecol. Syst., 5: 34-64.
- Millán-Núñez, E., Ortíz-Cortéz, F. de J. y Alvarez-Borrego, S. (1981). Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera a finales de verano. Ciencias Marinas, 7(1): 103-128.
- Millán-Núñez, R., Alvarez-Borrego, S. and Nelson, D.M. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. Estuarine, Coastal and Shelf Sci., 15: 317-335.
- Nowicki, B.L. and Nixon, S.W. (1985). Benthic nutrient remineralization in a coastal lagoon ecosystem. Estuaries, 8: 182-190.
- Odum, W.E. and Heald, E.J. (1972). Trophic analyses of an estuarine mangrove community. Bull. Mar. Sci., 22: 671-738.
- Paredes-Romero, G.I. y López-Torres, M.A. (1988). Comportamiento de parámetros hidrográficos y de productividad orgánica primaria en un sistema lagunar del estado de Sonora. Tesis profesional, Universidad de Sonora, Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Hermosillo, Sonora, México, 165 pp.
- Perkins, E.J. (1974). The Biology of Estuaries and Coastal Waters. Academic Press, London, 678 pp.
- Pool, D.J., Lugo, A.E. and Snedaker, S.C. (1975). Litter production in mangrove forests of southern Florida and Puerto Rico. In: G.E. Walsh, S.C. Snedaker and H.J. Teas (eds.), Proceedings of the International Symposium of Biology and Management of Mangroves. Institute of Food and Agricultural Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, Florida, pp. 213-237.
- Rosales-Hoz, L. (1979). Manual de Laboratorio de Oceanografía Química. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias del Mar y Limnología. PNUD-UNESCO Proyecto 77/010, 203 pp.
- Sánchez-Hernández, J.L. (1978). Distribución superficial de micronutrientes en el estero de Punta Banda, B.C., en un ciclo anual. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Baja California, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C., México.
- Soniat, T.M., Ray, S.M. and Jeffrey, L.M. (1984). Components of the seston and possible available food for oysters in Galveston Bay, Texas. Contrib. Mar. Sci., 27: 127-141.
- Strickland, J.D.H. and Parsons. T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board Can. Bull., 167: 310 pp.
- Twilley, R.R. (1985). The exchange of organic carbon in basin mangrove forests in a southwest Florida estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Sci., 20: 543-557.
- Valdez-Holguín, J.E., Grijalva-Chon, J.M. y Castro-Longoria, R. (1989). Balance ecológico de una laguna costera y el mar adyacente. Informe Técnico Final UNISON-SEP C87-01-0147, 143 pp.
- Valiente, E. (1987). Importancia de los sistemas lagunares en acuicultura. Acuavisión, 2: 4-6.
- Villalba, A. y de la O., M. (1986). Ambientes sedimentarios recientes diferenciados en dos sistemas costeros del estado de Sonora, México. Bol. Depto. Geol., Univ. de Sonora, México, 3: 1-10.