

**CONDICIONES ECOLOGICAS DE UNA LAGUNA COSTERA
DE LA COSTA OESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.
TURBIEDAD Y CLOROFILA *a***

**ECOLOGICAL CONDITIONS OF COASTAL LAGOON ON THE
GULF OF CALIFORNIA WEST COAST. TURBIDITY AND
CHLOROPHYLL *a***

Por/By
Carlos H. Lechuga Devéze
Jorge García Pámanes *
J. Jesús Bustillos Guzmán
Centro de Investigaciones Biológicas de
Baja California Sur
Apartado Postal 128, La Paz, Baja California Sur
23000, México

* Dirección actual/Present address:
Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada, B.C.
Espinoza, No. 843
Ensenada, B.C. México

LECHUGA DEVEZE C.H. J. García Pámanes y J. J. Bustillos Guzmán. Condiciones ecológicas de una laguna costera de la costa oeste del Golfo de California. Turbiedad y clorofila *a*. Ecological conditions of a coastal lagoon on the Gulf of California west coast. Turbidity and chlorophyll *a*. Ciencias Marinas 12 (1): 19-31 (13)

RESUMEN

Durante un ciclo anual, en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México, fueron sistemáticamente determinadas las variables clorofila *a* (Chl*a*), turbiedad, nitratos (NO₃) y silicatos (SiO₂). En la boca de la laguna se encontró una alta correlación entre Chl*a* y turbiedad ($r = 0.86$) la cual fue disminuyendo hacia el interior. En una escala diaria, la turbiedad se incrementó durante marea baja y en una escala anual se incrementó durante el periodo de mayor amplitud de marea. La producción primaria fue someramente estimada con datos de Chl*a* y luz. La concentración de Chl*a* y los valores de turbiedad se incrementaron hacia el interior de la laguna al mismo tiempo que la producción disminuyó. Nuestros datos sugieren que la turbiedad podría ser el principal factor limitante para esta producción. La concentración de NO₃ fue baja a lo largo del año, mientras que el SiO₂ se presentó en altas concentraciones.

Algunos reportes anteriores mencionan altas concentraciones de amoníaco y fósforo para esta zona, por lo que suponemos una suficiencia nutritiva para el fitoplancton. Se concluye que esta laguna puede ser una trampa de sedimentos y que su azolve puede acelerarse por el incremento de la actividad humana alrededor de esta zona.

ABSTRACT

Chlorophyll *a* (Chl*a*), turbidity, nitrate (NO₃) and Silicate (SiO₂) were monitored during one annual cycle in the Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. A good correlation between Chl*a* and turbidity ($r = 0.86$) was found in the mouth of the lagoon. This correlation was lost towards the inner region. Increased turbidity was found during low tide (on a daily scale) and during the period of high amplitude (on a yearly scale). Primary production was roughly estimated by data of Chl*a* concentration. Turbidity showed an increase towards the

CONDICIONES ECOLOGICAS DE UNA LAGUNA COSTERA

inner region of the lagoon while the primary production decreased. The data shows that turbidity by itself could be the main limiting factor of primary production in the region. Nitrate concentration was low throughout the year. Silicate was always high. Previous reports for this region reveal high concentrations of ammonia and phosphate, therefore, we presume an absence of nitrogen, phosphate and silicate limitation of phytoplankton. We conclude that this coastal lagoon could be a permanent sediment depositary. The increase of sediment deposition by human activity around this area could accelerate this natural process.

INTRODUCCION

El desarrollo urbano alrededor de una laguna costera ocasiona un continuo y gradual cambio en sus condiciones físicas, químicas y biológicas, características de su medio inalterado. El entendimiento de la magnitud y dirección de dichos cambios puede ser de gran ayuda con el fin de evitar deterioros irreversibles del cuerpo de agua así como ayudar a su mejor utilización.

El aislamiento natural de algunas zonas, como sería el caso de la Península de Baja California, es una de las causas para que sus lagunas costeras se encuentren en un estado inalterado por la acción humana. El desarrollo urbano más importante en el sur de la Península se localiza en la Ciudad de La Paz. El aumento continuo de sus actividades industriales y turísticas provoca un aumento en los desechos urbanos, con una gran cantidad de sólidos sedimentables, debido al tratamiento inadecuado de sus aguas. Estos desechos urbanos son descargados en la porción sur de la Ensenada de La Paz, una laguna costera con una superficie aproximada de 45 km². Así, esta laguna está sujeta a presiones que podrían modificar su condición natural.

La Ensenada de La Paz presenta un ciclo de mareas semi-diurno con un rango de 0.75 m. La tasa de recambio es baja (4 a 6 ciclos de marea, Félix Pico y Sánchez, 1976; Morales, 1981) un indicativo de baja dinámica que ocasionaría una continua depositación de sedimentos que podría ser la causa del lento y continuo azolve de este tipo de lagunas.

El objetivo del presente trabajo es el hacer patente el potencial deterioro ecológico de esta laguna costera tomando como indicadores algunas variables físicas, quími-

INTRODUCTION

The urban development which surrounds a coastal lagoon produces a continuous and gradual change of the chemical and biological parameters which are characteristic of its natural environment. A comprehension of the magnitude and direction of these changes can be of invaluable aid in an effort to avoid an irreversible deterioration of this body of water, and in planning its adequate utilization and management.

The natural isolation of the Peninsula of Baja California is responsible for the practically unaltered state of its coastal lagoons. The most important urban concentration in the Southern part of the Peninsula is located in La Paz City showing a constant increase of its touristic and industrial activities. All urban wastes containing important percentage of sedimentary solids, due to inadequate treatment of these waters, are dumped into the southern portion of a semi-enclosed body of water known as the Ensenada of La Paz (45 km²). The Ensenada of La Paz is subjected to a rhythm of semidiurnal tides, with a tide range of 0.54 m. The rate of renovation of the water is low (4 to 6 tide cycles) (Félix Pico and Sánchez, 1979; Morales, 1981) which could indicate a continuous sediment deposition which might accelerate the evolution of marshes or tidal flats.

The object of this paper is to call attention to the potential ecological deterioration of the coastal lagoon, taking as indicators some physical, chemical and biological parameters, such as water turbidity, nutrient elements and photosynthetic pigments.

cas y biológicas, tales como turbiedad del agua, elementos nutritivos y pigmentos fotosintéticos.

MATERIALES Y METODOS

Durante 1977, ocho estaciones de muestreo (Fig. 1) fueron sistemáticamente cubiertas al menos 2 veces por estación anual. Se efectuaron muestreos superficiales cada 2 horas durante el ciclo de irradiación solar. Entre la primera y la última estación de muestreo transcurrió un período de 45 minutos. Sin embargo, todos los datos están tratados como si todas las muestras hubieran sido tomadas al mismo tiempo. Se determinó sistemáticamente la profundidad de desaparición del disco de Secchi (d), la concentración de clorofila *a* (Chl*a*), nitratos (NO₃) y silicatos (SiO₂) disueltos. La muestra de agua fue transportada en hielo hasta el laboratorio donde, generalmente, fue procesada 2 horas después de su colecta. Los análisis de Chl*a*, NO₃ y SiO₂ fueron llevados a cabo por los procedimientos descritos en Strickland y Parsons (1972). Las densidades ópticas fueron medidas en un espectrofotómetro Perkin-Elmer 571. Los cálculos para la estimación del coeficiente de extinción (f) fueron realizados utilizando las lecturas del disco de Secchi (l.d.s.) según la relación $k = 1.7/l.d.s.$

La producción primaria fue someramente estimada por el método de Clorofila y luz (Small *et al.*, 1972) asumiendo una distribución homogénea del fitoplancton en la columna de agua y un coeficiente de asimilación de 18.5gC.m⁻³.h⁻¹/gChl*a*.m⁻³ (lechuga Devéze, datos no publicados).

RESULTADOS

Todos los parámetros estudiados mostraron influencia por el movimiento de marea. El coeficiente de extinción anual presentó el valor más bajo durante marea alta para las 8 estaciones de muestreo (Fig. 2). En la misma figura podemos observar que *k* se incrementó durante el período de mareas de mayor amplitud anual (noviembre-febrero). Los valores medios de *k* para

STUDY AREA

The Ensenada de La Paz (Fig. 1) (also known as Ensenada de Arippez or Ensenada de Anpe) has been previously described (Gilmartin and Relevante, 1978; Signoret and Santoyo, 1980; Lechuga-Devéze, 1982) as a shallow body of water with anti-estuarine circulation system according to Postma (1969). Continental water supports are provided only during the rainy season. Some mangrove communities exist, totaling 162 ha (Mendoza Salgado *et al.*, 1983).

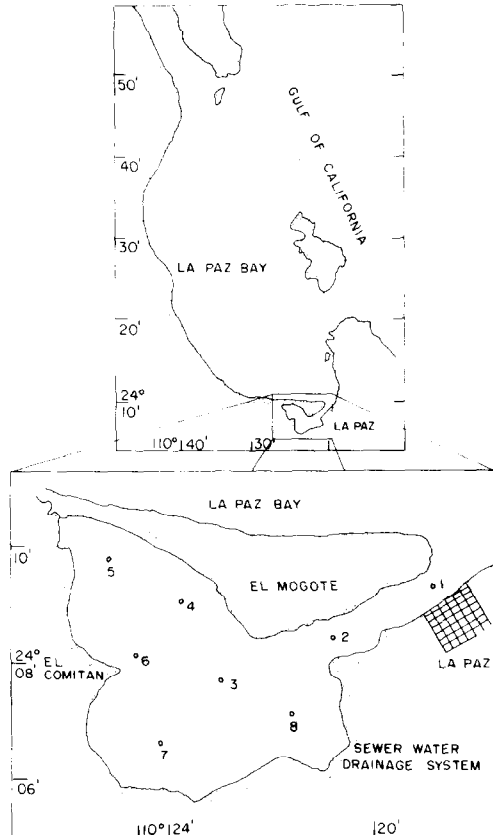


Fig. 1. Localización del área de estudio y puntos de muestreo. Location of the study area and distribution of the sampling points.

CONDICIONES ECOLÓGICAS DE UNA LAGUNA COSTERA

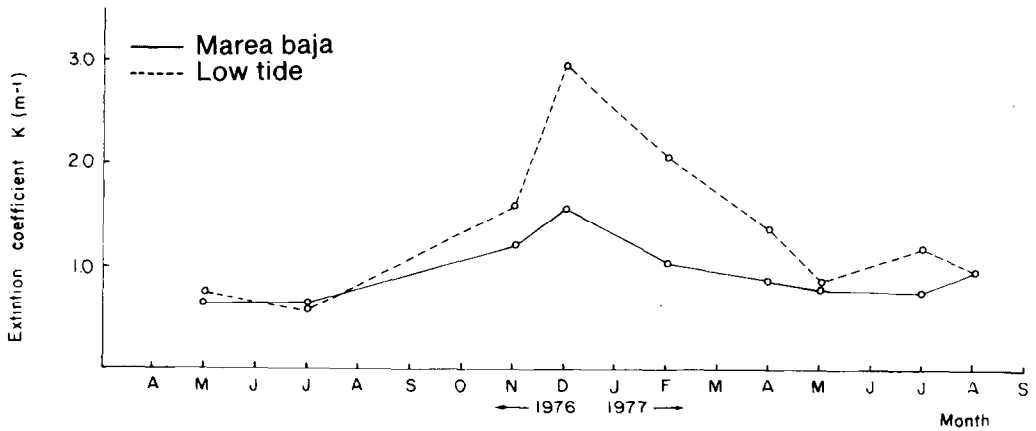


Fig. 2. Promedios de coeficiente de extinción para marea alta y baja considerando las 8 estaciones de muestreo. Los datos para 1976 fueron otorgados por Espinoza Avalos (datos no publicados). El coeficiente de variación para cada punto oscila alrededor del 45%.
Means of the extinction coefficient in high and low tide during a 16 month period for the eight sampling points. The date for 1976 was kindly provided by Espinoza-Avalos (unpublished data). The variation coefficient for each data was around 45%.

las 8 estaciones de muestreo (Tabla 1), mostraron valores elevados hacia el interior de la laguna, siendo la estación No. 8 la más elevada.

Las concentraciones de Chla mostraron variaciones estrechamente influenciadas por el cambio de marea en la estación No. 1 (Fig. 3), relación que se perdió hacia el interior de la laguna. En la misma estación de muestreo una regresión entre Chla y k presentó un alto coeficiente de correlación ($r = 0.86$) (Fig. 4) y a medida que nos adentramos al interior de la laguna r disminuyó (Tabla 2), hasta encontrar un valor de 0.01 en la estación No. 7.

La variación anual de Chla presentó diferentes tendencias según la estación de muestreo (Fig. 5). Generalmente se observaron dos máximos anuales, uno localizado en enero-febrero y el otro en julio-agosto. En la estación No. 1 el máximo principal se situó en el primer período, mientras que en las estaciones al interior de la laguna, el máximo principal se desplazó al segundo período tendiendo, sin embargo, a una homogeneización temporal en la concentración de Chla con valores medios superiores a los encontrados en la estación No. 1.

MATERIAL AND METHODS

During 1977, eight sampling points (Fig. 1) were monitored at least twice during each season. Surface sampling was done every two hours from sunrise to sunset. Between the first and the last sampling points a 45 minute period elapsed, but all data (from the 8 sampling points) will be discussed as if all the samples were taken at the same time. Secchi depth (d), chlorophyll *a* (Chla), nitrate (NO_3) and silicate (SiO_2) were systematically monitored. Collected unfiltered samples were kept on ice until they were processed, usually 2 hours after collection. Chla, NO_3 and SiO_2 determinations were performed according to Strickland and Parsons (1972). Optical densities were measured using a Perkin-Elmer 571 spectrophotometer. Calculations for the extinction coefficient (k) were determined using the Secchi disk depths (Sdd) using $R = 1.7/\text{Sdd}$.

Primary production was roughly calculated by the Chlorophyll-light technique (Small *et al.*, 1972) assuming a homogeneous phytoplankton distribution in the water column and an assimilation number of $18. \text{gC} \cdot \text{m}^{-3} / \text{Chla} \cdot \text{m}^{-3}$ (Lechuga-Devéze, unpublished data).

TABLE I. Estimaciones de variación espacial y temporal del coeficiente de extinción R (m⁻¹). Cada valor representa la media (± DS) de mediciones efectuadas cada dos horas durante un ciclo de irradiación solar (incluye el cambio de marea).
Spatial and Temporal Extinction Coefficient K (m⁻¹). Each value represents a mean (± SD) of measurements carried out every two hours during one solar radiation cycle, including tide variations.

ESTACIONES DE MUESTREO

FECHA DE MUESTREO

	1	2	3	4	5	6	7	8	
Dic. 1976	1.23	1.51	1.89	2.13	2.13	4.25	2.83	2.83	
Feb. 1977	0.84 ± 0.49	0.91 ± 0.61	1.47 ± 0.59	1.23 ± 0.39	1.42 ± 0.19	1.64 ± 0.01	1.64 ± 0.31	3.78 ± 1.58	n = 6
Abril 1977	0.60 ± 0.20	0.84 ± 0.26	1.16 ± 0.32	1.50 ± 0.32	1.34 ± 0.28	1.23 ± 0.17	1.34 ± 0.28	2.20 ± 0.64	n = 7
Mayo 1977	0.40 ± 0.12	0.61 ± 0.14	0.87 ± 0.25	0.98 ± 0.21	0.87 ± 0.11	1.12 ± 0.07	1.12 ± 0.15	2.25 ± 0.70	n = 7
Julio 1977	0.44 ± 0.16	0.67 ± 0.21	0.97 ± 0.30	0.93 ± 0.15	1.11 ± 0.20	1.03 ± 0.23	1.18 ± 0.24	1.58 ± 0.74	n = 4
Agos. 1977	0.49 ± 0.11	0.84 ± 0.27	0.92 ± 0.15	1.01 ± 0.27	1.05 ± 0.36	1.09 ± 0.23	0.95 ± 0.17	1.41 ± 0.38	n = 7
Oct. 1977	0.40 ± 0.21	0.53 ± 0.19	0.53 ± 0.17	0.68 ± 0.11	0.68 ± 0.21	0.72 ± 0.19	0.82 ± 0.19	0.91 ± 0.19	n = 6

PROMEDIO 0.54 ± 0.30 0.73 ± 0.32 0.99 ± 0.43 1.04 ± 0.36 1.02 ± 0.32 1.07 ± 0.27 1.16 ± 0.34 1.99 ± 1.18

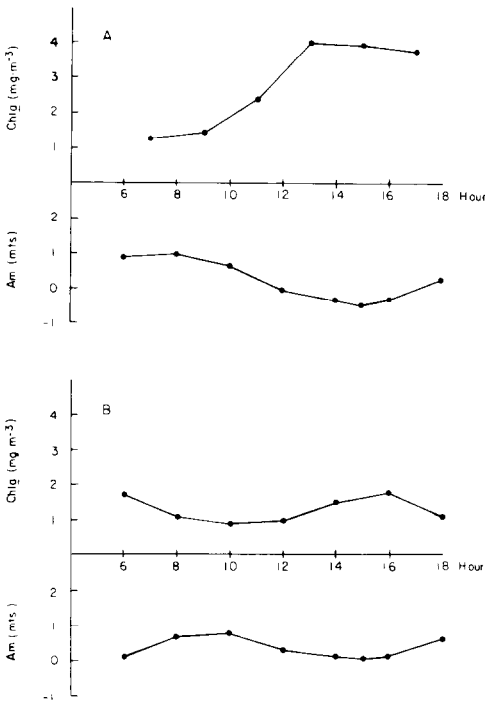


Fig. 3. Relación entre el cambio de marea y la concentración de clorofila a en el punto de muestreo 1. Hacia el interior de la laguna, esta relación se pierde. Am = amplitud de marea (metros). A = febrero, B = abril.

Relation between tide variation and chlorophyll a concentration as sampling point 1. In the inner sampling point this relation was lost. Am = tide amplitude (meters) A = February, B = April.

RESULTS

All the studied parameters seem to be correlated to the tide periods. Extinction coefficient for sampling Station 1 presents the lowest value during high tide in the whole annual cycle (Fig. 2) In the same figure, it can be seen that k increases during the period of high amplitude tides (November-February). Means of extinction coefficient for all the sampling stations (calculated over the whole day) (Table 1) shows high values at the inner lagoon sampling stations the highest being at Station 8.

Chlorophyll a concentration is influenced by tidal level change, mainly at Station 1 (Fig. 3). This event does not repeat itself in any of the inner lagoon Stations. At Station 1 regression coefficient between Chl a and k is high (r = 0.86, Fig. 4). The regression coefficient between Chl a and k found towards the inner part of the lagoon, diminished (Table 2). The lowest value being -0.01 at Station 7.

Annual variation of Chl a showed different trends at different sampling Stations (Fig.) Two maximum increase periods are seen throughout the year: January-February and July-August. At Station 1, maximum increase is found during the first period, while inner sampling Stations have their maximum increase at the second period, with a tendency to temporal homogenization of Chl a concentrations, and with mean values slightly higher than those found at Station 1.

CONDICIONES ECOLOGICAS DE UNA LAGUNA COSTERA

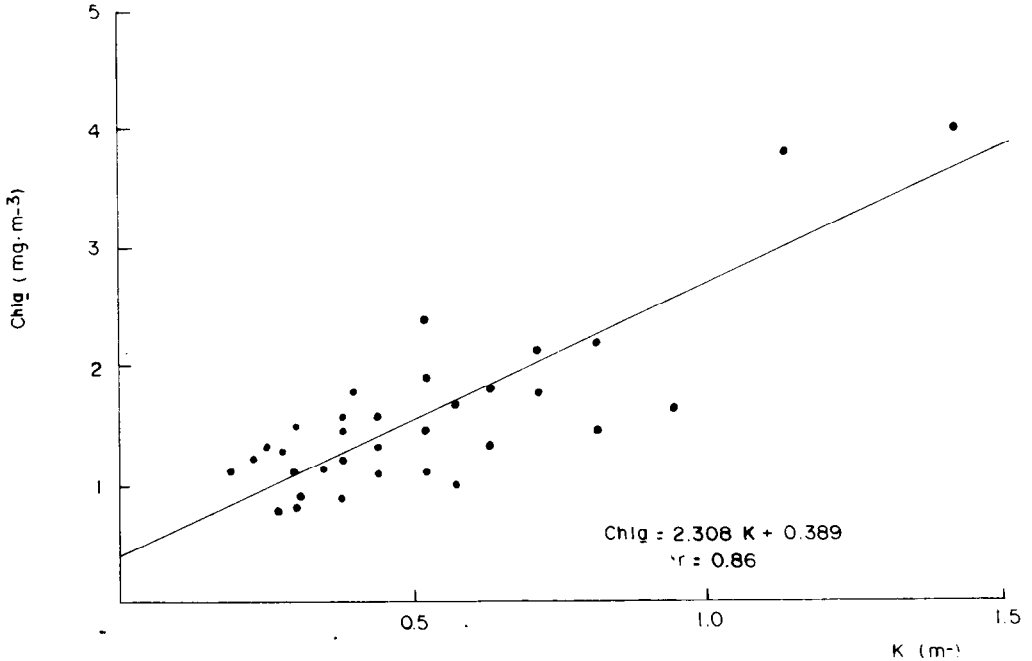


Fig. 4. Regresión lineal entre Chl a y k (n = 35) para el punto de muestreo 1 y durante todo el ciclo de muestreo. El coeficiente de determinación (r²) mostró que la variación en la concentración de Chl a se explica en un 74% por la variación de la turbiedad. Para regresiones en puntos de muestreo 2, 5 y 7, véase la Tabla 2.
 Linear regression between Chl a and k data (n = 35) in sampling point 1 for whole year. The coefficient of determination (r²) shows that the total variation of Chl a is explained in 74% by turbidity variation. For regressions of sampling points 2, 5 and 7 see Table 2.

La Tabla 3 presenta la variación estacional y espacial de valores de producción encontrados durante este estudio. Observamos que la producción disminuyó hacia el interior de la laguna, encontrando el valor más bajo en la estación ocho, localizada en las cercanías de la zona de descarga de aguas residuales.

El ciclo anual de producción primaria también muestra cambios interesantes. En la estación 1 (Fig. 6) observamos que la producción presentó dos máximos correspondientes a los máximos de Chl a. Sin embargo, el máximo de producción está situado en el segundo período donde el máximo de Chl a es más bajo (Fig. 5). En la misma figura 6 podemos apreciar que existió una diferencia de producción durante pleamar y bajamar, siendo esta producción más elevada durante pleamar.

TABLA II. Regresiones lineales anuales entre Chl a para cuatro puntos de muestreo representativos. Punto n = 35, punto 2, n = 34, puntos 5 y 7 n = 36. Los asteriscos indican los coeficientes de regresión significativos a 95% límite de confianza.
 Annual Linear Regressions between Chl a and k in four representative Sampling points. SP 2, n = 35; SP 2, n = 34; SP 5 and 7, n = 36; represents regression coefficients at 95% level significance.

	1	2	5	7
Intersección eje y Pendiente	0.389	0.816	1.567	2.911
Coeficiente de regresión (r)	0.86*	0.78*	0.44*	-0.01

Spatial seasonal estimates of primary production are shown in Table 3. Diminished production was detected in the inner part of the lagoon, the lowest being at Station 8, located near the city sewer drainage system. The annual primary production

TABLA III. Estimaciones temporales y espaciales de la producción primaria. Cada valor representa la integración de mediciones efectuadas cada dos horas durante un ciclo de irradiación solar.
 TABLE III. Spatial and Temporal estimates of Primary Production. Each value represents the integration of measurements carried out every two hours during one solar irradiation cycle.

ESTACION DE MUESTREO

FECHA DE MUESTREO	1	2	3	4	5	6	7	8	PROMEDIO g.Cm ² /d
Dic. 1976	1.02	0.95	0.78	1.03	0.80	0.55	1.55	1.00	0.51
Feb. 1977	1.72	1.81	1.23	0.86	1.21	1.01	0.86	0.34	1.13
Abril 1977	1.09	1.18	0.98	0.95	0.86	1.12	1.05	0.80	1.01
Mayo 1977	1.44	1.49	1.20	1.24	0.25	1.37	1.21	0.71	1.23
Julio 1977	1.46	1.16	1.20	1.23	1.26	1.37	1.46	0.86	1.25
Agos. 1977	1.56	1.37	1.56	1.35	1.47	1.39	1.49	0.74	1.36
Oct. 1977	1.83	1.64	1.79	1.28	1.14	1.70	1.48	1.26	1.51
PROMEDIO g.C/m ² /d	1.44	1.37	1.25	1.13	1.14	1.22	1.22	0.75	1.19

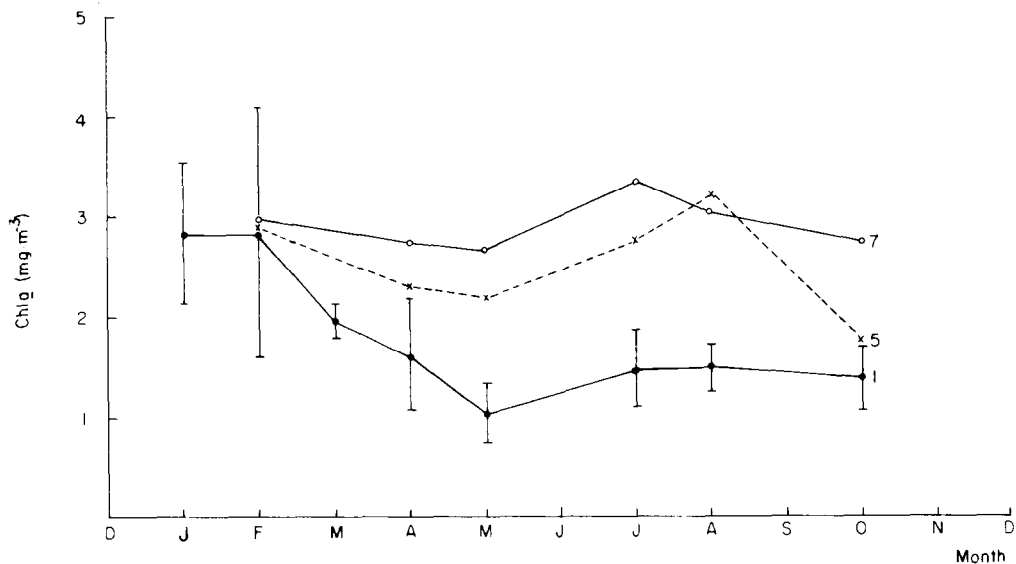


Fig. 5. Variación anual de Chla puntos de muestreo representativos. Cada valor es el promedio de mediciones efectuadas cada 2 horas durante un ciclo de irradiación solar (4 n 7). Se presenta la desviación estándar para el punto de muestreo 1. El coeficiente de variación para los puntos de muestreo 5 y 7 es menor del 20% (excepto para agosto, punto 5, y febrero, punto 7 con 26% y 29% respectivamente).
 Annual changes of Chla in the representative sampling points. Each value in a mean of measurements carried out every two hours during a solar irradiation cycle (4 n 7). The standard deviation is presented for sampling point 1. The coefficient of variation sampling points 5 and 7 for each month was lower than 20% (except ST 5, August and ST 7, February with 26% and 29%, respectively).

CONDICIONES ECOLOGICAS DE UNA LAGUNA COSTERA

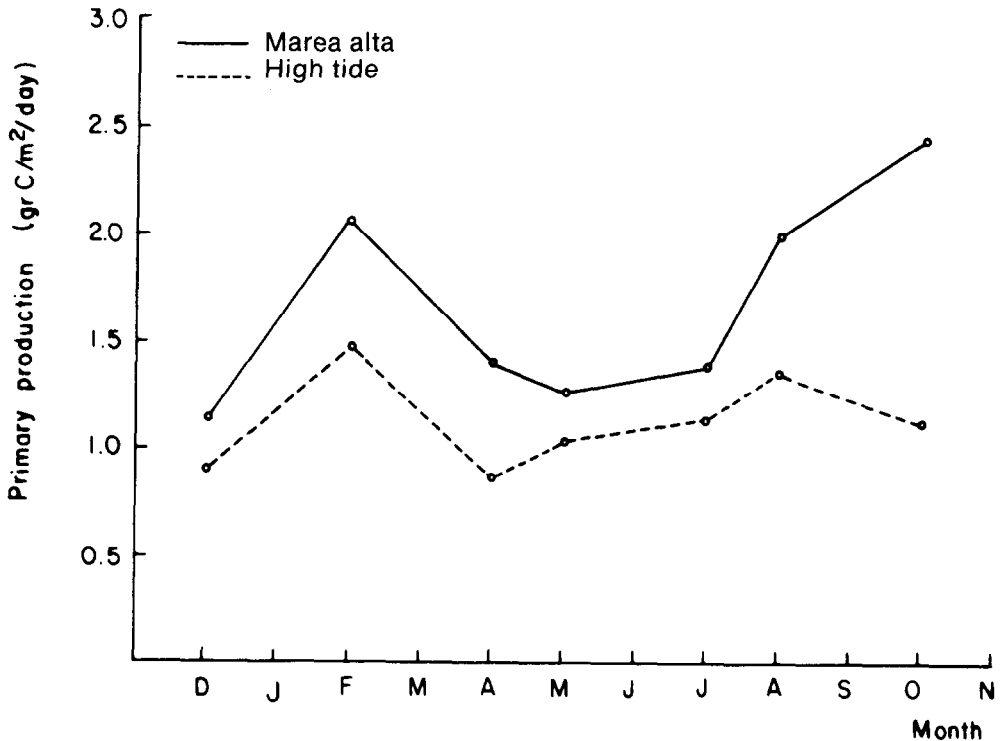


Fig. 6. Variación anual de producción primaria para el punto de muestreo 1 durante marea baja y alta. Annual changes of primary production for sampling point 1 at low and high tide.

Los cambios estacionales de elementos nutritivos no presentan relación con Chla o producción primaria. Para el período diciembre-febrero, durante la marea alta, fueron observados valores de NO_3^- $1 \mu\text{g-at N} - \text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ ($0.15 \pm 0.12 \mu\text{g-at l}^{-1}$), y para el período de mayo-agosto los valores de NO_3^- fueron $1 \mu\text{g-at N} - \text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ ($1.59 \pm 0.57 \mu\text{g-at l}^{-1}$).

Durante el período de marea baja la misma tendencia es observada. Para el período de diciembre-enero los valores de NO_3^- fueron 1 ($0.28 \pm 0.24 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$) y para el período de mayo-agosto se encontraron valores de NO_3^- 1 ($1.24 \pm 0.7 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$).

Los valores de silicatos siempre se presentaron elevados, con un rango en marea alta de 1.10 a $32.24 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ y en marea baja de 3.20 a $21.17 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$. Los valores más altos fueron encontrados al fondo de la laguna.

cycle (Fig. 6) at Station 1 has two peaks that correspond to the Chla maximum, although the highest production is located during the second period where Chla maximum was lowest. In the same figure it can be seen that the highest primary production corresponds to the high tide period.

Seasonal changes of nutrients could not be related to Chla or primary production changes. For the period December-February, during high tide activity, NO_3^- values were $1 \mu\text{g-at} \cdot \text{N} - \text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ ($0.15 \pm 0.12 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$). For the period May-August the NO_3^- values were $1 \mu\text{g-at N} - \text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ ($1.59 \pm 0.57 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$). During the low tide period the same tendency is observed. For the period December January the NO_3^- values were 1 ($0.28 \pm 0.24 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$) and for the period May-August the NO_3^- values were 1 ($1.24 \pm 0.7 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$).

DISCUSION

Las variaciones de los diferentes parámetros analizados en la Ensenada de La Paz, muestran una marcada influencia debida a los cambios de marea. La turbiedad del agua se incrementa por la resuspensión de sedimentos finos durante la marea baja (c. f. Nichols y Allen, 1981). El hecho de que exista un gradiente descendente de turbidez en marea baja, del cuerpo de la laguna hacia el canal de comunicación con la bahía, nos señala que este sedimento puesto en suspensión no alcanza a salir fuera de la laguna, lo que podría indicar que la Ensenada de La Paz está actuando como una "trampa" de sedimentos de origen terrígeno que debe provocar un azolve lento pero continuo de este cuerpo de agua.

En el Estero de Punta Banda, Baja California, Millán Nuñez, *et al.* (1981) mencionan que el fondo de este estero el tiempo de residencia del agua es alto ocasionando un enriquecimiento detrítico de la columna de agua provocando un aumento en la turbiedad del agua. En la Ensenada de La Paz, el tiempo de renovación del agua es relativamente prolongado, de acuerdo con lo expuesto por Félix Pico y Sánchez (1976) y Morales (1981) quienes establecen un tiempo de renovación entre cuatro a seis ciclos de marea, indicando una zona poco dinámica y reafirmando el efecto que este factor tiene sobre la turbiedad del cuerpo de agua.

El aumento de turbiedad durante marea baja, en una escala diurna, es observado también en una escala anual. Durante el período donde se presentan las mareas de mayor y menor amplitud (octubre-febrero), aunando al rompimiento de la termoclina y al aumento de velocidad de los vientos, el intercambio de agua entre la bahía y la ensenada es relativamente incrementado. Esto ocasiona que el sedimento puesto en suspensión permanezca más tiempo en este estado dando por resultado valores generales de turbiedad más elevados en esta época que durante primavera y verano.

Mencionábamos que los valores descendentes de turbiedad hacia el canal de comu-

Silicate values were always high, ranging from high tide from 1.10 to 32.24 ug-at. l⁻¹ and for the low tide from 3.20 to 21.17 ug-at. l⁻¹. Higher values were found in the inner lagoon points.

DISCUSSION

Variations among the different analyzed parameters in the Ensenada de La Paz, are influenced mainly by tide level changes. Water turbidity is increased when fine sediments are resuspended by low tide water movements (c.f. Nichols and Allen, 1981).

The descending turbidity gradient observed during low tide from the Central part of the lagoon to the communication bay channel, shows that the resuspended sediment cannot leave the lagoon, resulting in a slow and permanent sediment deposition. In the Estuary of Punta Banda, Baja California Millán Nuñez, *et al* (1981) state that at the bottom of this estuary the water's residence period is high, causing a detritic enrichment of the water column which increases the turbidity of the water. This is in agreement with what Félix-Pico and Sánchez (1976), and Morales (1981) concluded with regard to a slow flushing time water exchange in the lagoon, usually taking from four to six tide cycles.

The increase in turbidity during low tide, on a dialy scale, is also observed on an annual scale. During the period when major and minor amplitud tides appear (October-February), together with the break off the thermocline and the increase in the speed of the winds, the exchange of waters between the bay and the Ensenada is relatively increased. This causes the sediments which were suspended to remain for a longer period of time in this state, making the general values of the turbidity rise during said period more than during Spring or Summer.

We mentioned that the descending value of the turbidity towards the channel communicating with the bay might indicate that the Ensenada acts as a trap for the sediments. The correlations between k and Chla

nicación con la bahía, podrían indicar que la ensenada actúa como una trampa de sedimentos. Las correlaciones entre k y $Chla$ indican claramente este proceso. En el interior de esta laguna el coeficiente de correlación entre estos parámetros es nulo, mostrando que el sedimento es el principal causante de la turbiedad del agua. Estos coeficientes de correlación aumentan gradualmente conforme nos acercamos a la parte más externa del canal de comunicación y en este punto, el alto coeficiente de correlación indica que el fitoplancton juega entonces un papel importante en el desarrollo de la turbiedad; en la estación I el coeficiente de determinación (r^2) indica que la variación total de la concentración de $Chla$ se explica en un 74% por la variación de la turbiedad. Este hecho viene a reafirmar nuestra hipótesis de que la Ensenada de La Paz está actuando como una "trampa" de sedimentos.

La concentración de clorofila a a lo largo de un ciclo anual muestra diferentes fases: en las estaciones del canal de comunicación sujetas a un mayor intercambio de agua, podemos observar una distribución bimodal cuyos máximos son encontrados en invierno y verano, máximos que coinciden con florecimientos de fitoplancton señalados por Signoret y Santoyo (1980). En las estaciones ubicadas en el cuerpo de la laguna y quizá por una mayor disponibilidad de nutrientes, la concentración de clorofila a se mantiene más constante y elevada a lo largo del año, aunque aún sean observables dos máximos relativos situados en el mismo período que los observados en el canal de comunicación.

De acuerdo con los resultados de Bustillos y Olivares (datos no publicados) Zeitzschel (1970) y Gilmartin y Revelante (1978) la Ensenada de la Paz tiene una alta producción comparada con otras lagunas costeras de la misma costa oeste y con la porción sur del Golfo de California. Sin embargo, sus valores de producción son bajos comparados con los encontrados en las lagunas de la costa este.

La estimación de los valores de producción por el método de clorofila y luz, deben

clearly point to this process. In the interior of this lagoon, the coefficient of correlation between these two parameters is null, proving that the sediments are the main cause of the turbidity of the waters. These correlations coefficients increase gradually as we come closer to the most extreme point of the communicating channel, and at this point, the high correlation coefficient indicates that phytoplankton then plays an important role in the development of the turbidity; at Station I the determination coefficient (r^2) indicates that the total variation in $Chla$ concentration is 74% explained by the variations in turbidity. This fact confirms our hypothesis that the Ensenada de La Paz is a "trap" for sediments.

Chlorophyll concentration also showed different phases in an annual sampling cycle. Sampling stations located in the bay communication channel show a bimodal distribution with maximum peaks in winter and summer, at the time of phytoplankton blooms, described by Signoret and Santoyo (1980). $Chla$ concentration of sampling stations in the body of the lagoon remain relatively constant, probably due to the availability of more nutrient components; however, it is possible to see two relative maximum peaks corresponding to winter and summer.

According to Bustillos and Olivares (unpublished data), Zeitzschel (1970) and Gilmartin and Revelante (1978), the Ensenada de La Paz shows a higher productivity compared to other West coast lagoons. However, this productivity is lower compared to the Eastern gulf coast.

The estimate of the production values by the method of Chlorophyll and light should be considered here as merely indicative. As pointed out by Alvarez-Borrego, *et al* (1977) and Alvarez-Borrego (1981), one of the weakest points of the equation which explains this method in the coefficient of assimilations which varies widely. Lechuga-Devéze (data not published) get a medium value of the assimilation coefficient of $18.6 \text{ mgC} \cdot \text{Chla}^{-1}$ with a standard deviation of $+ 6.6 \text{ mgC} \cdot \text{mgChla}^{-1}$ taking a total of 35 measures carried out during 10 months. Under

tomarse aquí como puramente indicativos. Como lo señalan Alvarez Borrego, *et al.* (1977) y Alvarez Borrego (1981), uno de los puntos más débiles de la ecuación que explica este método es el coeficiente de asimilación el cual varía ampliamente. Lechuga Devéze (datos no publicados) obtienen un valor medio del coeficiente de asimilación de $18.6 \text{ mgC} \cdot \text{mg Chla}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ con una desviación estándar de $\pm 6.6 \text{ mgC} \cdot \text{mgChla}^{-1}$ tomando un total de 35 mediciones efectuadas durante 10 meses. Bajo estas limitaciones, estas estimaciones de producción fueron realizadas y reportadas en este trabajo.

A pesar de la relativa baja concentración en Chla durante el verano, la producción primaria se mantiene con valores prácticamente iguales a aquellos encontrados en invierno, cuando los valores de Chla fueron máximos. Por otro lado, estos máximos valores de Chla en invierno coinciden con altos valores de turbiedad, mientras que para el verano, la turbiedad fue menor. Esto nos indica que en este segundo máximo, aunque los valores de Chla sean bajos, el aumento en profundidad de la zona eufótica puede compensar la pérdida en clorofila y dar valores elevados en producción semejantes a los encontrados en el primer máximo. Esto indicaría que la luz podría ser el principal factor limitante para la producción. Millán Nuñez *et al.* (1982) llegan a la misma conclusión en Bahía de San Quintín, encontrando una menor producción y una mayor turbiedad en los extremos internos de este cuerpo de agua. El efecto limitante de la luz también es observado en los cambios de marea, confirmando que una turbiedad mayor ocasiona un decrecimiento en la producción.

Vatova (1961) y Voltolina (1973) reportan para la Laguna de Venecia valores de producción más elevados durante marea baja que en marea alta, debido a que durante la marea baja gran cantidad de nutrientes son resuspendidos en la capa eufótica. En la Ensenada de La Paz las concentraciones de los nutrientes analizados (NO_3 y SiO_2) no señalaron una correspondencia con las evaluaciones de Chla y producción. Los nitratos son regularmente más bajos durante marea baja.

these limitations, these production estimates were carried out and are reported in this work.

Despite the low Chla concentration in summer, primary productivity shows practically the same values as those found in winter with higher Chla concentration. On the other hand, maximum Chla values observed in the first maximum (winter) are correlated with the higher turbidity values and, during the summer (second maximum), lower turbidity values were reported which correlated with lower Chla values. It can be interpreted that despite the reported lower Chla values in summer, the relatively deepest euphotic zone found in this period compensates the chlorophyll loss resulting in almost the same values reported on the first maximum, but with a shallow euphotic zone. This indicates that light could be the main limiting factor for phytoplankton production. Millan-Nuñez, *et al.* (1982) concluded the same in San Quintin Bay, showing a relationship between low production and high turbidity in the inner zone of this lagoon. The limiting effect of light is also observed during the tide movement changes: low tide shows a low primary production.

In the Venice Lagoon, Vatova (1961) and Voltolina (1973) reported the highest values of primary production during low tide. The reason was that during the low tide a surplus of nutrients is resuspended to the euphotic zone. In the Ensenada de La Paz, reported nutrients (NO_3 and SiO_2) did not show a correlation with Chla and productivity changes. Nitrate is usually low during low tide. During high tide usually the nitrate concentration increases, indicating that water from the Bay of La Paz rich, in NO_3 , influences the Ensenada de La Paz, water, in agreement with Cervantes-Duarte (1981) Phosphate (Cervantes-Duarte, 1981) and silicate, in this work, show the highest values. Therefore, we conclude that they do not limit the primary production. Cervantes-Duarte (*op. cit.*) also reported higher ammonia concentrations during the whole year, even higher than the values reported for nitrate. It is well-known that during growth in batch culture with ammonium nitrate as

Durante marea alta esa concentración de nitratos aumenta, indicando la influencia que tienen las aguas de la Bahía de La Paz, más rica en nitratos, sobre la Ensenada de La Paz, de acuerdo con lo expuesto por Cervantes Duarte (1981). Fosfato (Cervantes Duarte, 1981) y Silicatos (este trabajo), muestran siempre valores elevados, por lo que concluimos que no limitan en forma alguna la producción primaria. Si bien las concentraciones de nitratos mostraron ser bajas, Cervantes Duarte (1981) reporta la presencia de amonio durante todo el año con concentraciones superiores a las encontradas para los nitratos. Es ahora bien conocido que cuando el fitoplancton se encuentra en presencia de NO_3 y NH_4 , sólo en ausencia de éste último, puede llevarse a cabo la asimilación de NO_3 (Strickland *et al.*, 1969; Eppley *et al.*, 1969; Conway, 1977; Syrett, 1981). Esto nos hace suponer que el fitoplancton presente en la Ensenada de La Paz utiliza principalmente NH_4 como fuente de nitrógeno. De tal forma es factible pensar en la turbiedad como único factor limitante de la producción en la laguna costera.

En 1982 se inició la construcción de una gran marina situada en la parte sur de la Ensenada de La Paz. Las condiciones de baja profundidad existentes en esta zona han obligado a los constructores a efectuar un dragado de una gran extensión, lo que ha provocado un cambio importante en la batimetría y corrientes de la laguna y seguramente han causado un aumento en la turbiedad y circulación general de la laguna.

La influencia humana sobre la producción primaria, ya limitada por la turbiedad natural, podrá ser palpable en trabajos similares futuros.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo fue exigencia parcial para la obtención del título de Oceanólogo por uno de los autores (Carlos H. Lechuga Devéze) bajo la dirección del Dr. Saúl Alvarez Borrego (CICESE, Ensenada, B.C., México. Agradecemos la revisión crítica del manuscrito por el M. en C. Hermillo Santoyo.

N source, the NH_4 is assimilated first, and only when it has gone is NO_3 utilized (Strickland *et al.*, 1969; Eppley *et al.*, 1969; Conway, 1977; Syrett, 1981). This leads us to believe that in the Ensenada de La Paz, phytoplankton also utilizes NH_4 as a nitrogen source. These conjectures reject the possibility that the element nutrients could be a limiting factor for primary production, and thus, turbidity by itself can be the sole limiting factor of production in this coastal lagoon.

In 1982 a construction of yacht club and marine located at the southern part of the Ensenada de La Paz began the exhaustive deep bottom sweeping of huge extensions has been performed. All of this has changed the water current flowing in and out of the lagoon. Turbidity has increased. It is obvious that such changes will affect the already diminished productivity. Future reports on this type of works can show the human impact on this lagoon.

ACKNOWLEDGEMENTS

Part of this paper was submitted as a partial academic fulfillment required for the B. S. Degree in Oceanology by one of us (C.H.L.D.) supervised by Dr. S. Alvarez-Borrego (CICESE, Ensenada, B.C., México). We are indebted to Hermilo Santoyo (M.S.) for critical revision of the manuscript.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ BORREGO, S., Lara Lara, J. R. y Acosta Ruiz, M. J., 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4: 12-22.
- ALVAREZ BORREGO, S., 1981. Problemas del método de clorofila-luz para estimar productividad del fitoplancton en aguas costeras. *Ciencias Marinas*, 7: 67-76.
- BERMAN, T., 1975. Size Fractionation of Natural Aquatic Populations Associated with Autotrophic and Heterotrophic Carbon Uptake. *Mar Biol.* 33: 215-220.
- CERVANTES DUARTE, R., 1981. Distribución de nutrientes en la ensenada de La Paz. B.C.S. Durante el período primavera-verano de 1981. Tesis licenciatura. Univ. Autón. Baja California, Esc. Sup. *Ciencias Marinas*, 119 pp.
- CONWAY, H. L., 1977. Interactions of inorganic nitrogen in the uptake and assimilation of marine phytoplankton. *Mar. Biol.* 39: 21-232.
- EPPLEY, R. W., J. L. Coatsworth y L. Solórzano. 1969. Studies of nitrate reductase in marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 14: 195-205.

- FELIX PICO, E. y S. R. Sánchez, 1976. Informe final del Programa de Orientación Técnica para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales Existentes y Prácticas de Maricultura en Bahía Concepción y Ensenada de La Paz. Residencia de Acuicultura de B.C.S., 26 pp.
- GILMARTIN, M. y N. Revelante, 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, 7: 29-47.
- LECHUGA DEVEZE, Carlos H., 1982. Mediciones anómalas de oxígeno disuelto en experimentos con botellas claras y oscuras. *Inv. Pesq.*, 46: 41-50.
- MENDOZA SALGADO, R., E. Amador, J. Llinas y J. Bustillos, 1983. Inventario de la Arca de Manglar en la Ensenada de Arippez, B.C.S. Primera Reunión sobre Ciencias y Sociedad: Presente y Futuro de la Ensenada de La Paz. UABCS, Feb. 16-17.
- MILLAN NUÑEZ, E., Ortiz Cortes, F. J. y Alvarez Borrego, S., 1981. Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. *Ciencias Marinas*, 7: 103-128.
- MILLAN NUÑEZ, R. Alvarez Borrego, S. y Nelson, D.M., 1982. Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 15: 317-335.
- MORALES, G.E.R., 1981. Mareas y corrientes en la Ensenada de La Paz, B.C.S. Tesis licenciatura. Univ. Autón. Baja California. Esc. Sup. Ciencias Marinas, 115 pp.
- NICHOLS, M. y G. Allen, 1981. Sedimentary processes in coastal lagoons. En: *Coastal lagoon research, present and future*. UNESCO Technical Papers in Marine Science, Paris, 1981.
- POSTMA, H., 1969. Chemistry of coastal lagoons. En: *Lagunas costeras, un simposio*. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, México, Nov. 38-30, p. 421-430.
- SIGNORET, M. y H. Santoyo, 190. Aspectos ecológicos de la Bahía de La Paz, Baja California Sur. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Aut. México*, 7: 217-248.
- SMALL, F. F., H. Jr. Curl y W. A. Glooschenko, 1972. Estimates of primary production of Oregon using an improved chlorophyll light technique. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 29: 1261-1267.
- STRICKLAND, J. D. H., O Holm-Hansen, R. W. Eppley y R. J. Linn, 1969. The Use of a Deep Tank in Plankton Ecology. I. Studies of the Growth and Composition of Phytoplankton at Low Nutrient Levels. *Limnol. oceanogr.*, 14: 24-34.
- STRICKLAND, J. D. H. y T. R. Parsons, 1972. A practical handbook of sea water analysis. 2nd. edition. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 1967, 310 pp.
- SYRETT, P. J., 1981. Nitrogen metabolism of microalgae. En: *Physiological bases of phytoplankton ecology*. T. Platt (ed). *Can Bull. Fish. Aquatic. Sci.*, Bull. 210 pp. 181-210.
- VATOVA, A., 1961. Primary production in the High Venice Lagoon. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 26: 148-155.
- VOLTOLINA, D., 1973. A phytoplankton bloom in the Lagoon of Venice. *Arch. Oceanogr. Limnol.* 18: 19-37.
- ZEITZSCHEL, B., 1970. The quality, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. *Mar. Biol.* 7: 305-318.