

## **VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA CLOROFILA *a* EN UNA ZONA DE SURGENCIA FRENTE A BAJA CALIFORNIA**

### **SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF CHLOROPHYLL *a* IN AN UPWELLING ZONE OFF BAJA CALIFORNIA**

Carlos Cardona Canizales <sup>1</sup>  
Roberto Millán Núñez <sup>1</sup>  
J. Rubén Lara Lara <sup>2</sup>  
J. Eduardo Valdez Holguín <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Marinas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Apartado Postal 453  
Ensenada, Baja California, México

<sup>2</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada  
Apartado Postal 2732  
Ensenada, Baja California, México

Cardona Canizales, C., Millán Núñez, R., Lara Lara, J.R. y Valdez Holguín, J.E. (1990). Variabilidad espacio temporal de la clorofila *a* en una zona de surgencia frente a Baja California. Spatio-temporal variability of chlorophyll *a* in an upwelling zone off Baja California. *Ciencias Marinas*, 16(2): 53-65.

#### **RESUMEN**

Del 11 al 19 de junio de 1976 se realizó una campaña oceanográfica en la zona de surgencias entre Punta San Jacinto y Punta San Telmo, B.C. Se determinó la concentración de clorofila *a* en cinco profundidades a lo largo de un transecto de cinco estaciones, recorriéndose ocho veces; asimismo se realizaron cuatro variaciones diurnas de la concentración de clorofila *a* en la estación más costera y la más oceánica. Se observó un fuerte acoplamiento entre la estructura físico-química, descrita anteriormente, y las distribuciones del contenido de clorofila *a*. Los valores de clorofila *a* registrados fueron del mismo orden de magnitud que los reportados para otras áreas de surgencia. Las estaciones más costeras mostraron una gran variabilidad (espacio-temporal) en las concentraciones de clorofila *a*, disminuyendo significativamente hacia las estaciones más oceánicas. Se observa que la franja de mayor productividad fitoplanctónica se desarrolla en los primeros 15 km de la costa.

#### **ABSTRACT**

An oceanographic campaign was carried out from 11 to 19 June, 1976, in the upwelling zone between Punta San Jacinto and Punta San Telmo, B.C. The concentration of chlorophyll *a* was determined at five depths along a five station transect which was covered eight times. In addition, four daily variations of chlorophyll *a* concentration were measured at the station closest to shore and the most oceanic one. A strong correlation was observed between the physico-chemical structure, previously described, and the distributions of chlorophyll *a* content. The values of chlorophyll *a* recorded were of the same order of magnitude as those reported for other upwelling areas. The stations closest to the coast showed great variability (spatio-temporal) in the concentrations of chlorophyll *a*, decreasing significantly towards the most oceanic stations. Most phytoplankton productivity was found to occur in the first 15 km offshore.

## INTRODUCCION

La surgencia costera es un proceso mediante el cual son llevadas a la superficie las aguas de algunos cientos de metros de profundidad. La explicación de este proceso se basa en la teoría de deriva por el viento de Ekman (Ekman, 1905), la cual establece que dado un viento uniforme sobre la superficie del océano, éste produce un transporte neto de aguas superficiales dirigido a 90° en sentido anticiclónico de la dirección del viento en el Hemisferio Norte y viceversa en el Hemisferio Sur. Los vientos con dirección al Ecuador a lo largo de Baja California producen un transporte de aguas superficiales hacia afuera de la costa que necesita ser reemplazada por aguas subsuperficiales cerca de la costa; estas aguas son de menor temperatura concentración de oxígeno, de mayor densidad y contenido de nutrientes que las aguas superficiales (Barber y Smith, 1981).

Las estimaciones del contenido de clorofila son utilizadas como índice de la biomasa fitoplanctónica (Richards y Thompson, 1952) o como el potencial productivo de cierta región (Graham, 1943). En las aguas costeras de nuestra área de estudio y en general a lo largo de la costa de la Península de Baja California, existe escasa información sobre los niveles de biomasa fitoplanctónica, en comparación con las aguas fuera de la plataforma continental, las cuales han sido estudiadas por el programa CalCOFI.

Estudios sobre la variabilidad de concentración de clorofila *a* en escalas espaciales (kilómetros) y temporales (días) son muy escasos en la literatura (Longhurst, 1981; Cushing, 1981). Asimismo, por primera vez en este estudio se reportan resultados sobre variabilidad espacio-temporal en escalas de kilómetros, días y horas del contenido de clorofila en un transecto típico de la costa de Baja California, durante la época de surgencias. La variabilidad hidrográfica para el área de estudio durante el mismo período fue reportada por Barton y Argote (1980); Hernández-Enciso (1978) reportó la estructura química del agua de mar (O<sub>2</sub>, pH, alcalinidad y bióxido de carbono total) y la variabilidad de las concentraciones de nitratos y fosfatos fue descrita por Reynoso-Nuño (1978).

## INTRODUCTION

Coastal upwelling is a process by which waters from depths of a few hundred meters are brought to the surface. The explanation for this process is based on Ekman's wind drift theory (Ekman, 1905), which establishes that, given a steady wind on the ocean surface, a net transport of surface waters is produced directed 90° in an anticyclonic wind direction in the Northern Hemisphere and vice-versa in the Southern Hemisphere. Equatorward winds along Baja California transport surface waters away from the coast which need to be replaced by surface waters near the coast. These waters have lower temperatures and concentrations of oxygen, greater densities and contain more nutrients than surface waters (Barber and Smith, 1981).

Estimates of the chlorophyll content are used as phytoplanktonic biomass indices (Richards and Thompson, 1952) or as measures of the productive potential of a certain region (Graham, 1943). There is little information regarding levels of phytoplanktonic biomass for the coastal waters in our study area and, in general, along the coast of the Peninsula of Baja California, in comparison to the waters outside the continental platform which have been studied by the CalCOFI program.

Studies on the variability of chlorophyll *a* concentrations on spatial (kilometers) and temporal (days) scales are scarce in the literature (Longhurst, 1981; Cushing, 1981). In this study, for the first time results are reported on spatio-temporal variability in kilometers, days and hours of the chlorophyll content in a typical transect off the coast of Baja California during the upwelling period. Hydrographic variability for the study area during the same period was reported by Barton and Argote (1980); Hernández-Enciso (1978) reported the chemical structure of the seawater (O<sub>2</sub>, pH, alkalinity and total carbon dioxide) and the variability of nitrate and phosphate concentrations was described by Reynoso-Nuño (1978).

## STUDY AREA

The study area is located to the south of Ensenada, Baja California, Mexico, between

## AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localizó al sur de la ciudad de Ensenada, entre Punta San Jacinto y Punta San Telmo, donde se realizó un transecto perpendicular a la línea de la costa, entre las coordenadas: 30°42' y 30°53' de latitud Norte y 116°12' de longitud Oeste (Fig. 1).

## MATERIALES Y METODOS

Durante el período comprendido entre el 11 y 19 de junio de 1976, se llevó a cabo un crucero oceanográfico a bordo del B/O Dragaminas 20, entre Punta San Jacinto y Punta San Telmo, B.C. Se colectaron muestras de agua de mar para la determinación de la concentración de la clorofila *a* en cinco estaciones a lo largo de un transecto (38 km) perpendicular a la costa. En cada estación se muestrearon cinco profundidades: en la estación E1 hasta 20 m, en E2 hasta 30 m y para E3, E4 y E5 hasta 75 m. El transecto se recorrió un total de ocho veces; después de cada dos recorridos se hizo una variación diurna los días 12 y 16 de junio para la estación E1 y los días 14 y 18 de junio para la estación E5 (Fig. 1). Se tomaron muestras de agua de mar para análisis del contenido de clorofila *a* aproximadamente cada cuatro horas durante 24 horas, en las cinco profundidades antes descritas.

Las muestras de agua de mar para analizar el contenido de clorofila *a* fueron filtradas a bordo con filtros de membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  de poro y 47 mm de diámetro y fueron congeladas para su posterior análisis en laboratorio, donde se siguió el método descrito por Strickland y Parsons (1972), utilizando un espectrofotómetro Spectronic UV 210 digital de la Shimadzu Baush y Lomb.

## RESULTADOS

En el transecto 1, la concentración de clorofila *a* decreció fuertemente de la costa hacia mar abierto teniendo un máximo de 15.0  $\text{mg}/\text{m}^3$  en la superficie de la estación E1 (Fig. 2). El cambio más drástico en la concentración de la clorofila *a* ocurrió entre las estaciones costeras E1 y E2, tanto horizontal como vertical. En las siguientes estaciones la con-

Punta San Jacinto and Punta San Telmo, along a transect perpendicular to the coast between latitude 30°42' and 30°53'N and longitude 116°12'W (Fig. 1).

## MATERIALS AND METHODS

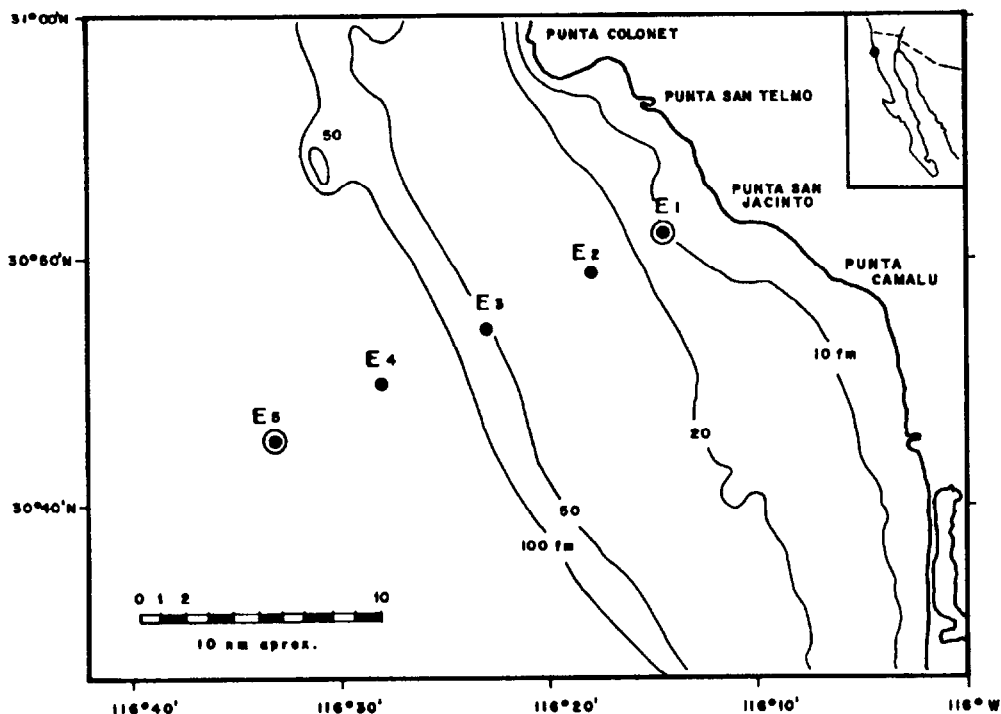
During the period between 11 and 19 June, 1976, an oceanographic campaign was carried out on board the research vessel Dragaminas 20, between Punta San Jacinto and Punta San Telmo, B.C. Samples of seawater were collected for the determination of chlorophyll *a* concentration at five stations along a 38-km transect perpendicular to the coast. Five depths were sampled at each station: down to 20 m at E1, to 30 m at E2 and to 75 m at E3, E4 and E5. The transect was covered eight times; after every two runs, diurnal variation was measured on 12 and 16 June for station E1 and on 14 and 18 June for station E5 (Fig. 1). Seawater samples were collected approximately every four hours during 24 hours for the analysis of chlorophyll *a* content, at the five depths mentioned.

The seawater samples for the analysis of chlorophyll *a* content were filtered on board, using 0.45  $\mu\text{m}$ -pore and 47 mm-diameter filters, and frozen. They were later analysed in the laboratory following the method described by Strickland and Parsons (1972), using a Shimadzu Baush and Lomb Spectronic UV 210 digital spectrophotometer.

## RESULTS

During the first transect, the concentration of chlorophyll *a* strongly decreased from the coast towards the open sea. A maximum of 15.0  $\text{mg}/\text{m}^3$  was obtained at the surface of station E1 (Fig. 2). The most drastic change in the concentration of chlorophyll *a* occurred between the coastal stations E1 and E2, both horizontally and vertically. At the other stations, the concentration varied between 0.5 and 1.5  $\text{mg}/\text{m}^3$  and was quite constant with depth (Fig. 2).

During the second transect (Fig. 2), the highest chlorophyll *a* concentrations, although lower, were also found between stations E1 and E2. As in the first transect, the maxima were recorded at the surface.



**Figura 1.** Área de estudio, los ● indican las estaciones de muestreo, y ⊙ variación diurna.  
**Figure 1.** Study area. ● indicate the sampling stations and ⊙ diurnal variation.

concentración varió entre 0.5 y 1.5 mg/m<sup>3</sup>, siendo bastante constante con la profundidad (Fig. 2).

Durante el segundo transecto (Fig. 2), las concentraciones más altas de clorofila *a* también persistieron entre las estaciones E1 y E2, aunque en menor magnitud. Al igual que en el transecto 1, los máximos se registraron en la superficie.

Para los transectos 3 y 4 (Fig. 2) las isolíneas de concentración de clorofila *a* fueron muy similares, mostrando el mismo patrón, con concentraciones de 10 mg/m<sup>3</sup> cerca de la costa y decreciendo hacia mar abierto. Al igual que en los transectos anteriores, las máximas concentraciones y variaciones ocurrieron entre las estaciones E1 y E2.

Durante el transecto 5 por primera ocasión se registró un máximo subsuperficial de clorofila *a* (20 mg/m<sup>3</sup>) en la estación E2

The isolines of chlorophyll *a* concentration were very similar for the third and fourth transects (Fig. 2), showing the same pattern, with concentrations of 10 mg/m<sup>3</sup> near the coast and decreasing towards the open sea. The maximum concentrations and variations also occurred between stations E1 and E2.

During the fifth transect, a subsurface maximum of chlorophyll *a* (20 mg/m<sup>3</sup>) was recorded for the first time at station E2 (Fig. 3). This subsurface maximum continued during the following transects (Fig. 3), varying between stations E1 and E2. The maximum ranges of chlorophyll *a* variations always occurred between stations E1 and E2. In general, during the fifth and sixth transects, chlorophyll *a* concentrations at stations E3 to E5 increased in relation to the previous transects, reaching values of 3.0 mg/m<sup>3</sup>. Towards the end of the study, during the seventh and eighth transects (Fig. 3), the concentration of chlorophyll *a* at stations E3 to

(Fig. 3). Este máximo se mantuvo en los transectos siguientes (Fig. 3), variando entre las estaciones E1 y E2. Al igual que en los transectos previos, los máximos rangos de variación del contenido de clorofila *a* ocurrieron entre las estaciones E1 y E2 de todos los transectos. Durante los transectos 5 y 6, en general, las concentraciones de clorofila *a* de las estaciones E3 a la E5 se incrementaron con respecto a los transectos previos, hasta registrar valores de 3.0 mg/m<sup>3</sup>. Hacia el final del estudio, en los transectos 7 y 8 (Fig. 3), la concentración de la clorofila *a* de las estaciones E3 a la E5 decreció a valores alrededor de 1.0 a 1.5 mg/m<sup>3</sup> como al inicio del estudio. Estas variaciones en el contenido de clorofila *a* de los transectos parecen indicar un mecanismo de transporte de la zona costera de alto contenido de pigmentos, hacia las estaciones de aguas oceánicas en donde las concentraciones de clorofila *a* fueron significativamente más bajas.

La Figura 4 muestra la variación diurna de la concentración de clorofila *a* para la estación más costera (E1). Aquí se observaron los máximos a profundidades subsuperficiales durante todo el primer ciclo (Fig. 4); por el contrario, durante el segundo ciclo (Fig. 4), cuatro días después, sólo hasta media noche se registraron los máximos superficiales después, los máximos de clorofila *a* ocurrieron en la superficie. En ambos ciclos, las variaciones con la profundidad fueron muy fuertes, a pesar de que la zona muestreada incluyó sólo los primeros 20 metros. Por el contrario, los ciclos de variación diurna de clorofila *a* para la estación E5 (Fig. 4) mostraron una distribución vertical más uniforme y poca variabilidad a través del tiempo. Los valores variaron alrededor de 1 mg/m<sup>3</sup> con un máximo de 4.5 mg/m<sup>3</sup>. En comparación se observó una gran variabilidad (temporal) en las concentraciones de clorofila *a* de la estación costera con respecto a la estación más oceánica.

## DISCUSSION

Los eventos de surgencias han sido reportados a lo largo de las costas de Baja California (Dawson, 1950). Estas zonas de afloramientos están clasificadas como más productivas en comparación con el mar abierto (Ryther, 1969), debido al proceso de fertilización de sales nutritivas producido por estos afloramientos.

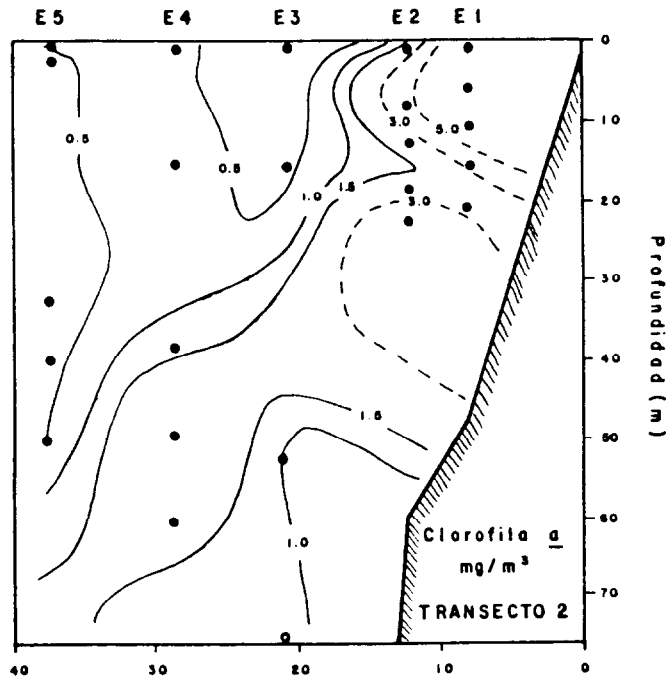
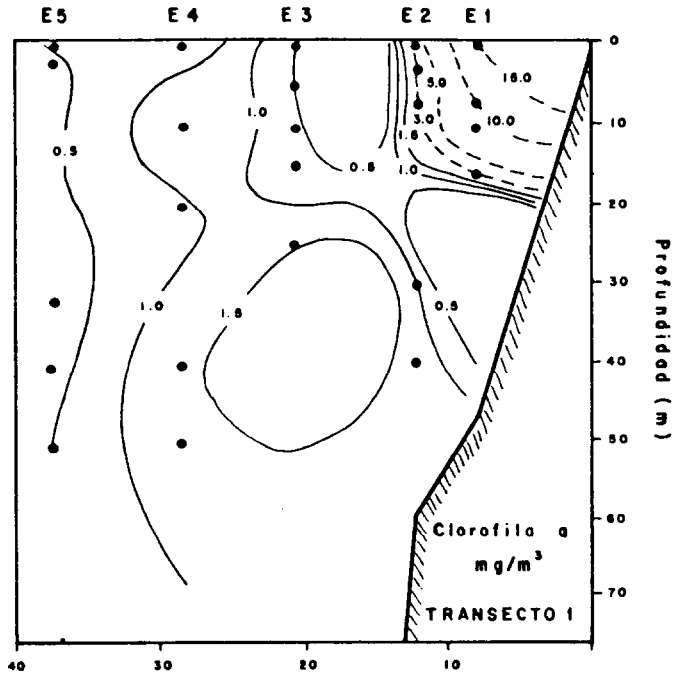
E5 decreased to values of around 1.0 to 1.5 mg/m<sup>3</sup>, as in the beginning of the study. These variations in chlorophyll *a* content during the transects seem to indicate the presence of a mechanism which transports a high content of pigments from the coastal zone towards the stations in oceanic waters, where the concentrations of chlorophyll *a* were significantly lower.

Figure 4 shows the diurnal variation of the concentration of chlorophyll *a* for the station closest to shore (E1). Here, the maxima at subsurface depths were observed throughout the first cycle (Fig. 4). However, during the second cycle (Fig. 4), four days later, the subsurface maxima were not recorded until midnight. Afterwards, the maxima of chlorophyll *a* occurred at the surface. During both cycles the variations with depth were very strong, even though the area sampled only included the first 20 meters. However, the cycles of diurnal variation of chlorophyll *a* for station E5 (Fig. 4) showed a more uniform vertical distribution and little variability over time. The values varied around 1 mg/m<sup>3</sup> with a maximum of 4.5 mg/m<sup>3</sup>. In comparison, great (temporal) variability was observed in the concentrations of chlorophyll *a* from the coastal station relative to the most oceanic station.

## DISCUSSION

Upwelling events have been reported along the coast of Baja California (Dawson, 1950). These upwelling zones are considered more productive in comparison to the open sea (Ryther, 1969), due to the process of fertilization of nutrient salts produced by these upwellings.

During this study period, Barton and Argote (1980) reported the effect of wind stress in the hydrographic field of the zone, clearly showing upwelling conditions throughout the period. However, variations in wind intensity caused variations in the temperature pattern. The coldest temperatures (13°C) were found at the coastal station from 9 to 11 June, followed by a slight increase (16°C) until 19 June and then decreasing until 22 June. The chlorophyll *a* samples were taken (from 11 to 19 June) precisely during the relaxation period of the upwelling intensity. Most production of photosynthetic pigments occurs during this



**Figura 2.** Distribución vertical de la concentración de clorofila *a* en los transectos del 1 al 4. Las líneas discontinuas indican cambio de escala.

**Figure 2.** Vertical distribution of the concentration of chlorophyll *a* during transects 1 to 4. Broken lines indicate a change of scale.

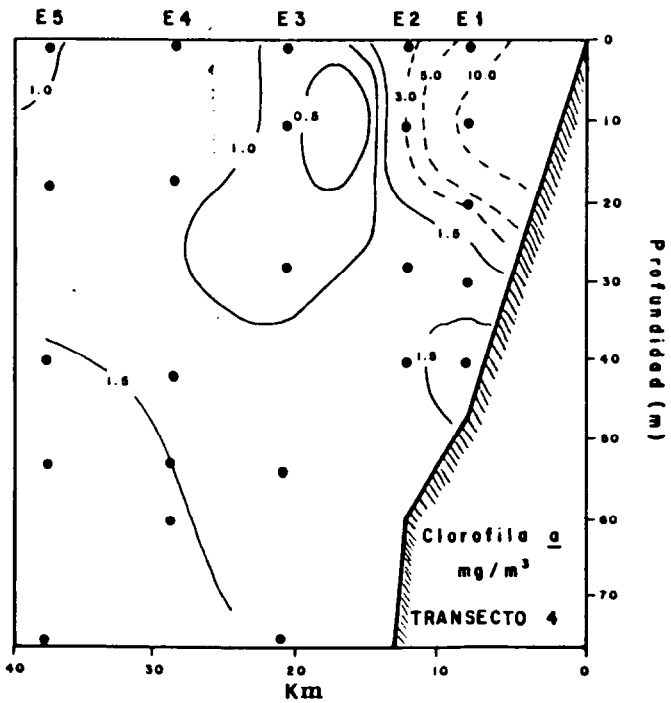
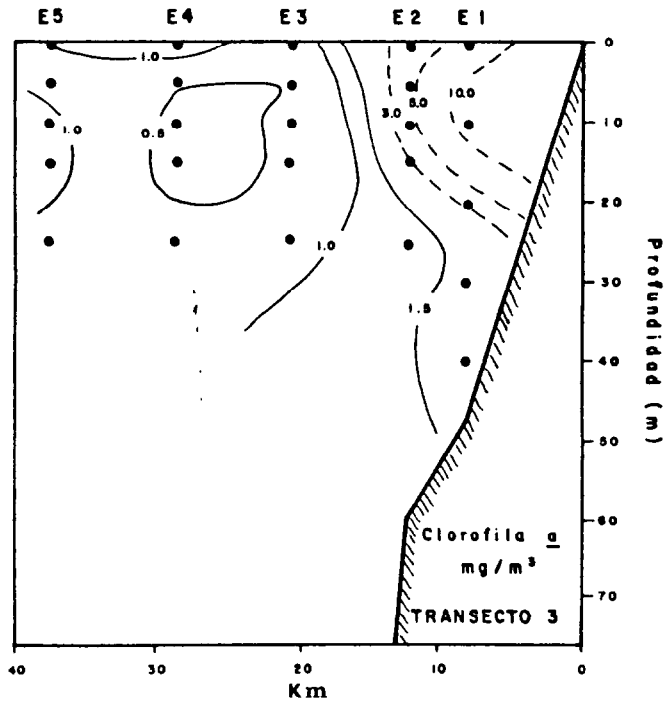
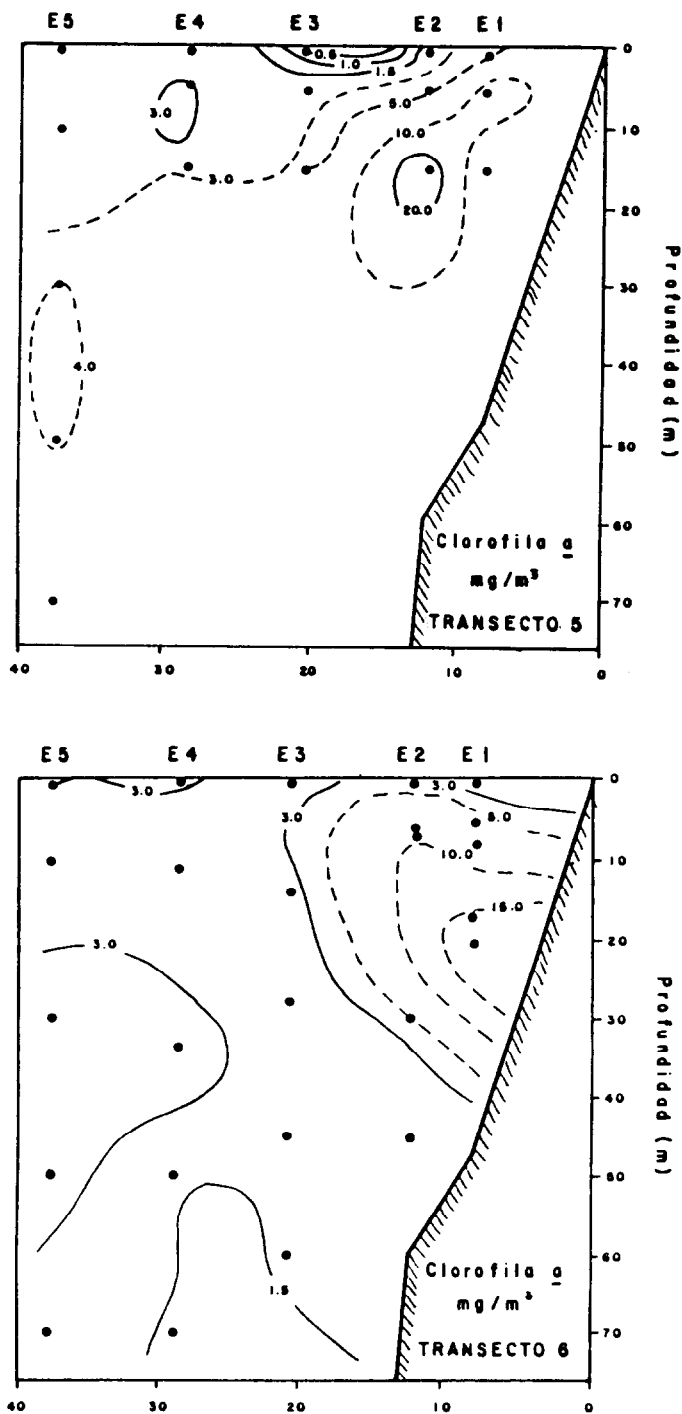


Fig. 2 (Cont.)



**Figura 3.** Distribución vertical de la concentración de clorofila *a* en los transectos del 5 al 8. Las líneas discontinuas indican cambio de escala.

**Figure 3.** Vertical distribution of the concentration of chlorophyll *a* during transects 5 to 8. Broken lines indicate a change of scale.



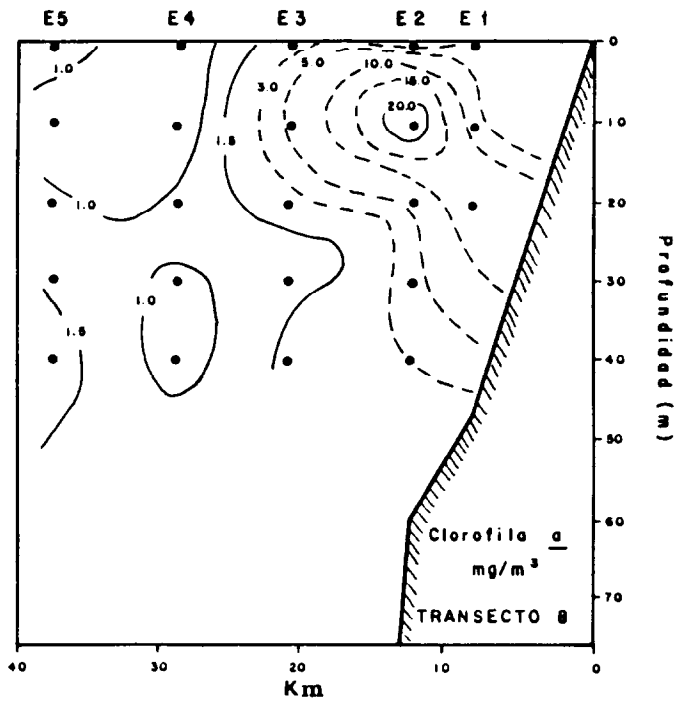
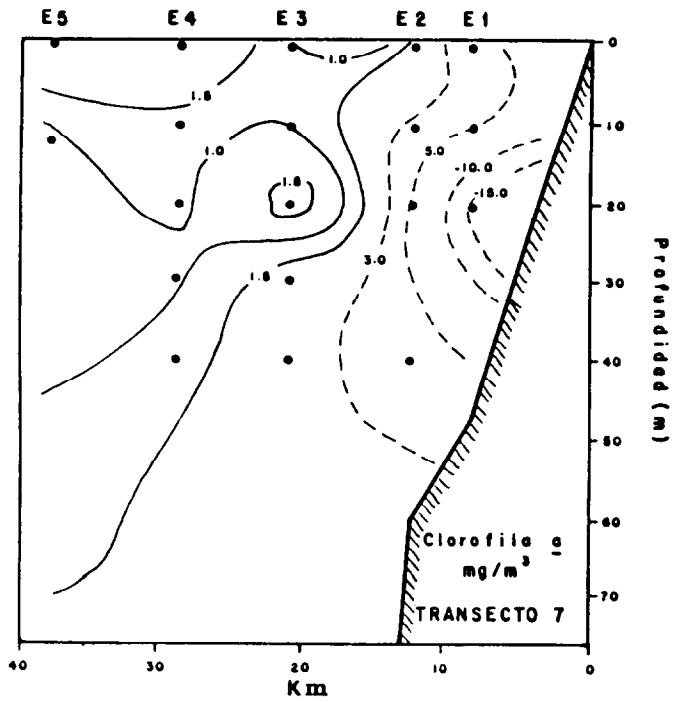
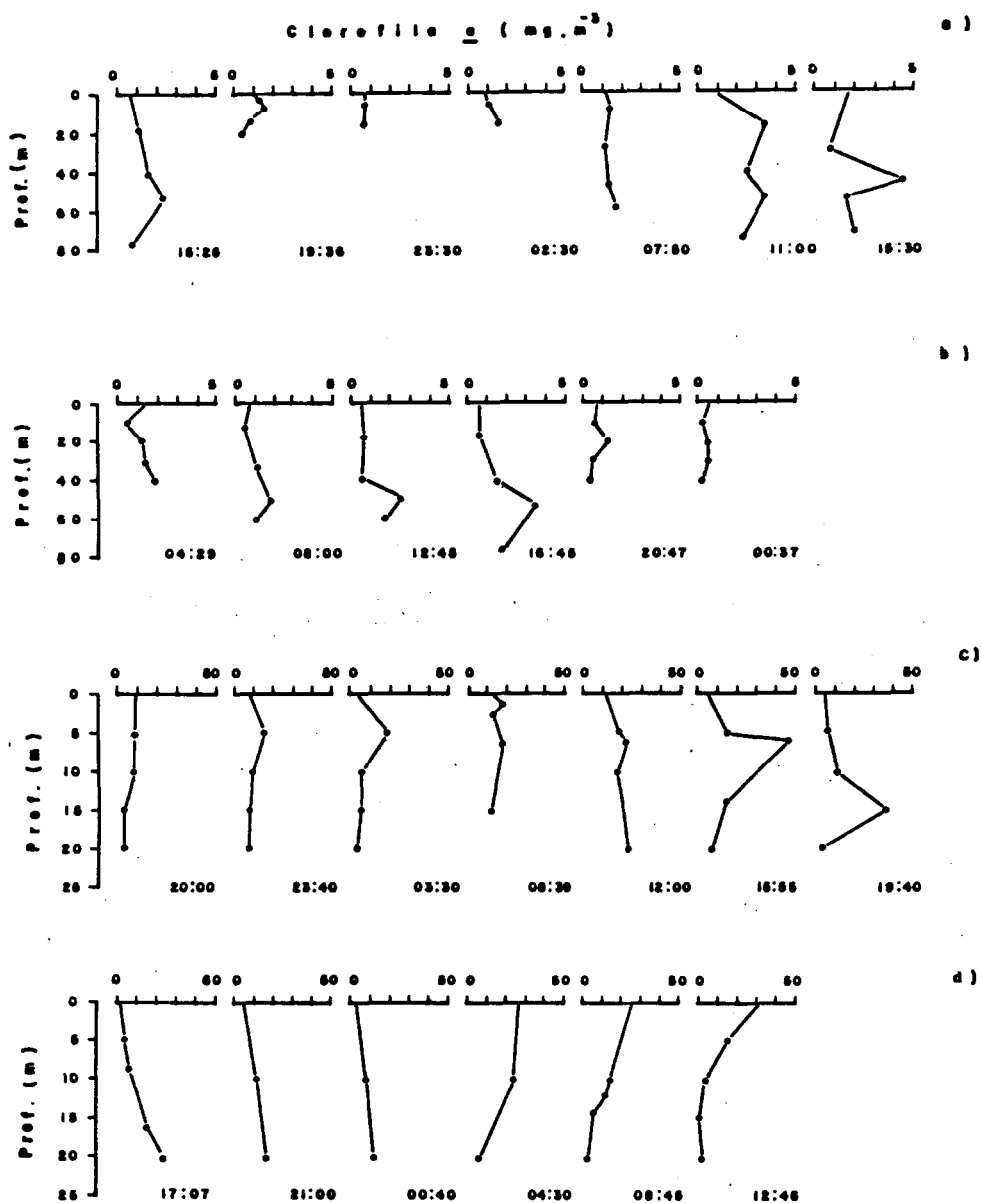


Fig. 3 (Cont.)



**Figura 4.** Ciclos de variación diurna en la estación E1 el día 12 (a) y el día 16 de junio (b); en la estación E5 el día 14 (c) y el día 18 de junio (d).

**Figure 4.** Cycles of diurnal variation at station E1 on 12 (a) and 16 (b) June; at station E5 on 14 (c) and 18 (d) June.

Durante nuestro período de estudio, Barton y Argote (1980) reportaron el efecto del esfuerzo del viento en el campo hidrográfico de la zona, mostrando claramente condiciones de surgencia durante todo el período. Sin embargo, las variaciones en la intensidad del viento mostraron variaciones en el patrón de temperaturas registrándose las temperaturas más frías (13°C) en la estación costera del 9 al 11 de junio, seguido de un ligero calentamiento (16°C) hasta el día 19, para luego decrecer hasta el día 22. Los muestreos de clorofila *a* (del 11 al 19 de junio) ocurrieron justo durante el período de relajamiento en la intensidad de la surgencia; esta etapa de la surgencia es cuando ocurre la mayor producción de pigmentos fotosintéticos (Lara Lara *et al.*, 1980). Barber y Ryther (1969) han argumentado que este desfase entre la máxima intensidad de un afloramiento y la respuesta por las poblaciones fitoplanctónicas se debe a la necesidad de que ocurra un proceso de quelación para que el fitoplancton disponga de todos los elementos nutritivos para su crecimiento.

Los máximos de clorofila *a* en las estaciones costeras E1 y E2 y su marcada disminución hacia las estaciones más afuera (E3 a la E5) se correlacionaron fuertemente con la distribución de variables químicas, por ejemplo: los máximos de contenido de oxígeno disuelto de hasta 7.0 ml/l ocurrieron en las estaciones E1 y E2, así como los valores máximos del porcentaje de saturación de oxígeno (130) y el pH (8.4), disminuyendo gradualmente hacia la estación E5 (Hernández-Enciso, 1978). Asimismo, en las aguas superficiales de las estaciones E1 y E2 se registraron las concentraciones máximas de nitratos (5  $\mu\text{M}$ ) y fosfatos (1  $\mu\text{M}$ ), disminuyendo hacia la estación E5, con valores de 1.0 y 0.1  $\mu\text{M}$  para nitratos y fosfatos, respectivamente. Esto indica claramente que la mayor actividad fotosintética ocurrió en la franja más costera (15 km), existiendo un fuerte gradiente hacia mar adentro. Podemos inferir que a 40 km de la costa la actividad fotosintética disminuyó al menos en un orden de magnitud, como consecuencia de la disminución en la concentración de clorofila *a*. Barton y Argote (1980) reportaron para esta misma zona durante el mismo período, que el esfuerzo del viento afectó principalmente la capa superfi-

upwelling stage (Lara-Lara *et al.*, 1980). Barber and Ryther (1969) argued that this occurs due to the fact that the phytoplankton require a chelation process in order to acquire all the nutritious elements for their growth.

The maxima of chlorophyll *a* at the coastal stations E1 and E2 and their marked decrease towards the stations farther out (E3 to E5) correlated strongly with the distribution of chemical variables. For example: the maxima of dissolved oxygen content of up to 7.0 ml/l occurred at stations E1 and E2, as did the maximum percentage values of oxygen saturation (130) and pH (8.4), gradually decreasing towards station E5 (Hernández-Enciso, 1978). Also, the maximum concentrations of nitrates (5  $\mu\text{M}$ ) and phosphates (1  $\mu\text{M}$ ) were recorded in subsurface waters at stations E1 and E2, decreasing towards station E5, with values of 1.0 and 0.1  $\mu\text{M}$  for nitrates and phosphates, respectively. This clearly indicates that most photosynthetic activity occurred in the area closest to shore (15 km), with a strong gradient towards the open sea. It can be inferred that, 40 km offshore, photosynthetic activity decreased by at least one order of magnitude as a result of the decrease in the concentration of chlorophyll *a*. For this same zone and same period, Barton and Argote (1980) reported that wind stress mainly affected the surface layer (20 m) and a 15 km coastal band. This agrees precisely with the area where the maximum values of chlorophyll *a* and the maximum values of the chemical variables were recorded, indicating a strong correlation between the photosynthetic activity of the phytoplankton and the dynamics of this zone.

The maximum values of chlorophyll *a* concentration recorded in this zone are similar to the values reported for highly productive upwelling areas. For example: Glooschenko *et al.* (1972) reported values of up to 30.0 mg/m<sup>3</sup> for the coastal waters off Oregon; Huntsman and Barber (1977) recorded values of up to 19.0 mg/m<sup>3</sup> in the upwelling region off the northwestern coast of Africa; Beers *et al.* (1971) found maximum values of 8.5 mg/m<sup>3</sup> off the coast of Peru. However, based on the results of this study, it can be concluded that these comparisons are unreliable, since variations in space (kilometers) and time (hours-days) are considerably high in these

cial (20 m) y una franja costera de 15 km; esto concuerda precisamente con el área donde se registraron los máximos valores de clorofila *a* y los máximos valores de las variables químicas. Esto demuestra un acoplamiento muy fuerte entre la actividad fotosintética del fitoplancton y la dinámica de esta zona.

Los valores máximos de la concentración de clorofila *a* registrados en esta zona, son similares a los valores reportados para áreas de surgencia altamente productivas, por ejemplo: para las aguas costeras frente a Oregón, Glooschenko *et al.* (1972) reportaron valores de hasta 30.0 mg/m<sup>3</sup>; Huntsman y Barber (1977) registraron valores hasta de 19.0 mg/m<sup>3</sup> en el área de afloramientos en la costa Noroeste de Africa; para la zona frente a Perú, Beers *et al.* (1971) encontraron valores máximos de 8.5 mg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, con base a los resultados de nuestro estudio, podemos concluir que estas comparaciones son poco válidas, ya que la variabilidad en el espacio (kilómetros) y el tiempo (horas-días) son de una magnitud considerable en estos ecosistemas. Por último, podemos concluir que la única manera de caracterizar la fertilidad y su relación con el medio ambiente de áreas como las aguas costeras frente a Baja California, es generando series espacio-temporales en las escalas de alta frecuencia, tal como se realizó en esta investigación, pero incluyendo otras épocas durante el ciclo anual.

#### LITERATURA CITADA

- Barber, R.T. and Ryther, S.H. (1969). Organic Chelators: Factors affecting primary production in the Cromwell Current upwelling. *J. Exp. Marine Biology and Ecology*, 3: 191-199.
- Barber, R.T. and Smith, R.L. (1981). Coastal upwelling ecosystems. In: A.R. Longhurst (ed.), *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, Inc.
- Barton, E.D. and Argote, M.L. (1980). Hydrographic variability in an upwelling area off northern Baja California in June 1976. *J. Marine Res.*, 38: 631-649.
- Beers, J.R., Stevenson, M.R., Eppley, R.W. and Brooks, E.R. (1971). Plankton populations and upwelling off the coast of Peru, June 1969. *Fishery Bull.*, 69(4): 859-876.
- Cushing, D.H. (1981). Temporal variability in production systems. In: A.R. Longhurst (ed.), *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, Inc.
- Dawson, E.Y. (1950). A note on the vegetation of a new coastal upwelling area off the Baja California. *J. Marine Res.*, 9(2).
- Ekman, V.W. (1905). On the influence of the Earth's rotation on oceanic currents. *Ark. Mat. Astr. Fis.*, (2) 11: 1-52.
- Glooschenko, W.A., Curl, H. and Small, L.F. (1972). Diel periodicity of chlorophyll concentration in Oregon coastal waters. *J. Fish Res. Bd. Canada*, 29: 1253-1259.
- Graham, H.W. (1943). Chlorophyll content of marine plankton. *Journal Mar. Res.*, Vol. V: 153-160.
- Hernández Enciso, J. (1978). Descripción de las variables químicas en función del tiempo para una área de surgencia en B.C. Tesis de Oceanólogo, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, 55 pp.
- Huntsman, S.A. and Barber, R.T. (1977). Primary production off northwest Africa: The relationship to wind and nutrient conditions. *Deep Sea Res.*, 24: 25-33.
- Lara-Lara, J.R., Alvarez Borrego, S. and Small, L.F. (1980). Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11: 613-637.
- Longhurst, A.R. (1981). Significance of spatial variability. In: A.R. Longhurst (ed.), *Analysis of Marine Ecosystems*, Academic Press, Inc.

English translation by Christine Harris.

Reynoso Nuño, H.E. (1978). Distribución de nitratos y fosfatos en un área de surgencias costeras en Baja California durante la primavera de 1976. Tesis de Oceanólogo, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC.

Richards, F.A. and Thompson, T.G. (1952). The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. *J. Marine Res.*, 11: 156-172.

Ryther, J.H. (1969). Relationship of photosynthesis to fish production in the sea. *Science*, 166: 72-76.

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. *Fish Res. Bd. of Canada Bull.* 167-9 (2nd ed.), Ottawa, Can., 310 pp.