

**VARIACION DIA A DIA DE CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS,
BIOMASA Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DEL FITOPLANCTON
EN UNA ZONA DE SURGENCIA COSTERA DE BAJA CALIFORNIA**

**DAILY VARIATION OF PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS,
BIOMASS AND PHYTOPLANKTON PRIMARY PRODUCTION
IN AN UPWELLING COASTAL ZONE OF BAJA CALIFORNIA**

Antonio T. González Morales ¹
Gilberto Gaxiola Castro ²

¹Instituto Tecnológico del Mar
Apartado Postal 742
Guaymas, Sonora

²División de Oceanología
Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada
Espinoza 843
Ensenada, Baja California, México

Ciencias Marinas (1991), Vol. 17, No. 3, pp. 21-37.

RESUMEN

Del 25 de junio al 10 de julio de 1986 se tomaron datos de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, clorofila *a* y productividad primaria en un punto frente a la costa de Punta Banda, Baja California. Las variables hidrográficas mostraron evidencias de surgencias costeras al inicio y final del período de estudio, con relajamiento en las fechas intermedias y surgencias débiles entre estas y el 10 de julio. Durante surgencias los valores superficiales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fosfatos fueron de: 13 a 14°C, 33.65 a 33.70 ‰, 4.0 a 5.0 ml/l y entre 0.95 a 1.25 μM, respectivamente. La concentración de clorofila *a* y la productividad primaria fueron bajas, como resultado del poco acondicionamiento del fitoplancton y a la dinámica del área de estudio. Los valores más altos se midieron al inicio de la fase de relajamiento, con 4.8 mg.m-3 de clorofila y 3.6 mgC.m-3.h-1 de productividad primaria. El fitoplancton < 8 μm fue el principal contribuyente a la biomasa y a la productividad primaria; excepto durante las surgencias, cuando predominó el fitoplancton > 8 μm.

ABSTRACT

From June 25 to July 10 of 1986 temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients, chlorophyll *a* and primary productivity were determined daily at one station off Punta Banda, Baja California. Hydrographic variables suggested that coastal upwelling events were present at the beginning and at the end of the period studied, with a relaxation period in the middle and weak upwelling before July 10. During strong upwelling events surface values of temperature, salinity, dissolved oxygen and phosphate were: 13 to 14°C, 33.65 to 33.70 ‰, 4.0 to 5.0 ml/l and between 0.95 to 1.25 μM, respectively. We found low chlorophyll *a* and primary productivity values as a result of unadapted phytoplankton as well as strong mixing of water in the area. Higher

chlorophyll *a* and primary productivity values were measured at the beginning of the relaxation period; with $4.8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ of chlorophyll *a* and $3.6 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ of primary production. The phytoplankton size fraction $<8 \mu\text{m}$ was dominant in biomass and primary productivity, except during strong upwelling events when the phytoplankton size fraction $>8 \mu\text{m}$ contributed more to biomass and primary production.

INTRODUCCION

Generalmente en las costas de Perú, California, Oregon y el noroeste de Africa ocurren surgencias costeras, fenómenos de gran importancia ecológica que producen zonas de abundantes pesquerías. Barber y Smith (1981) definen al fenómeno de surgencia como el proceso en que agua subsuperficial es transportada hacia la superficie y advectada lejos del área de transporte vertical por un flujo superficial horizontal hacia fuera de la costa. El agua recién surgida además de la riqueza en nutrientes se caracteriza por su baja temperatura y otras propiedades comunes de los niveles inferiores de la columna de agua.

Algunos estudios hidrográficos han reportado condiciones de surgencia en la costa norte de Baja California durante primavera y verano (Cota, 1972; Chávez de Ochoa, 1975; Amador Buenrostro, 1976; Morales Zúñiga, 1977; Barton y Argote, 1980; Torres Moya y Acosta Ruiz, 1986). Los vientos en la costa de Baja California tienen una fuerte componente hacia el ecuador la mayor parte del año, con los valores promedio máximos durante mayo y junio (Bakun, 1975; Pavia y Reyes, 1983), lo que genera un surgimiento durante casi todo el año, el cual se intensifica en primavera y verano (Gómez Valdéz, 1983). Esto proporciona una gran dinámica en el área con escalas de variación de días, por lo que estos períodos son las más importantes para estudiar la relación entre procesos físico-químicos y biológicos.

El presente es el primer trabajo que muestra los cambios día a día de algunas variables durante la alternancia de eventos de surgencia en esta zona. Este estudio presenta los cambios en algunas variables físicas y químicas y el efecto sobre la productividad primaria y la biomasa del fitoplancton.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en un punto ubicado aproximadamente a 5 km de la costa, frente a Punta Banda, Baja California

INTRODUCTION

Coastal upwellings usually occur at the coasts of Perú, California, Oregon and the northeast of Africa, this phenomenon it is very important in terms of ecology because produces abundant fisheries zones. Barber and Smith (1981) defined this phenomenon as the process in which subsurface water is transported up to the surface and advected far from the vertical transport area by a surface flux out of the coast. The upwelled water is very rich in nutrients and it is characterized by low temperatures and other common properties of the lower levels in the water column.

Some hydrographic studies have reported upwelling conditions in the northern coast of Baja California during the spring and summer (Cota, 1972; Chávez de Ochoa, 1975; Amador Buenrostro, 1976; Morales Zúñiga, 1977; Barton y Argote, 1980; Torres Moya y Acosta Ruiz, 1986). The coastal winds of Baja California have a strong component towards the equator mostly the whole year, with the maximum average values during may and june (Bakun, 1975; Pavia y Reyes, 1983), this generates upwellings during almost the whole year, which intensifies on spring and summer (Gómez Valdéz, 1983). This provides a great dynamic in the area with a variation scale of days, this is why these periods are more important for studying the relation between physico-chemical and biological processes.

This is the first study that shows daily changes during the alternation of upwelling events in the zone. The study presents the changes in some physico-chemical variables and the effect of these over primary production and phytoplankton biomass.

MATERIALS AND METHODS

This study was carried out approximately at 5 km from the coast, off Punta Banda, Baja California (Fig. 1). The coastal line presents an orientation almost northwest, similar to the direction of the dominant winds in the region, which favours upwelling devel-

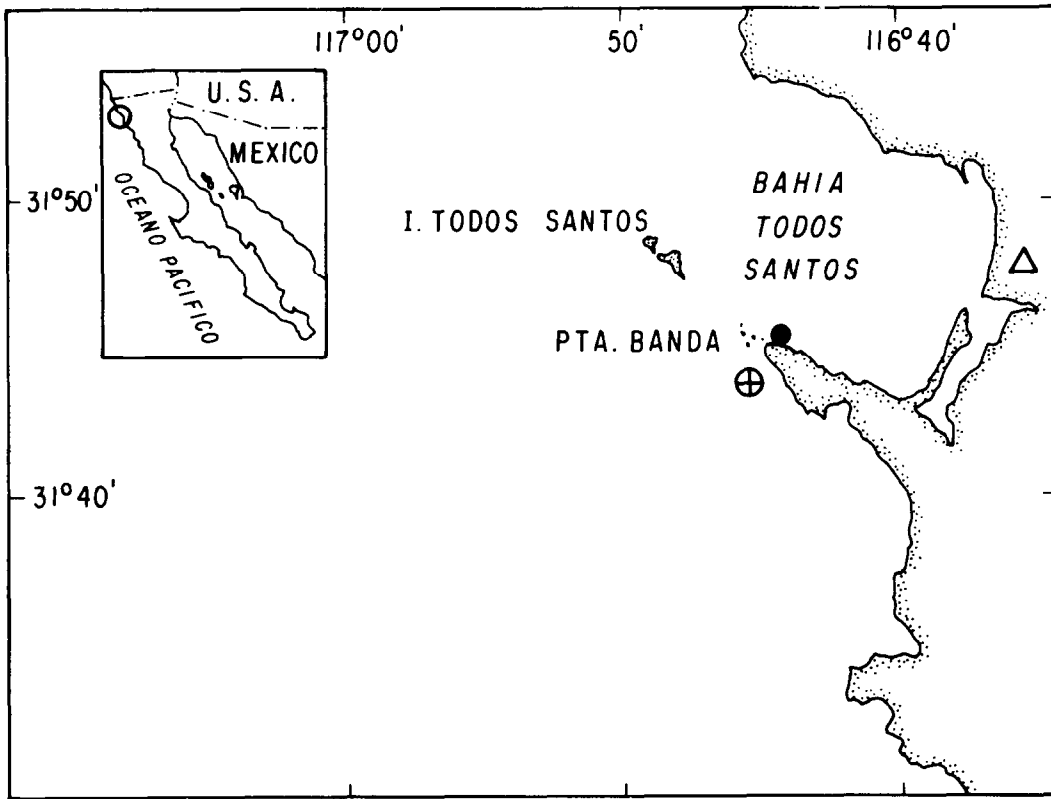


Figura 1.- Localización del área de estudio, punto de muestreo (●), termógrafo de registro continuo (●) y El Ciprés (Δ).

Figure 1.- Study area location, sampling station (●), continuous recording thermograph (●) and El Ciprés (Δ).

(Fig. 1). La línea de costa presenta una orientación casi noreste, similar a la dirección de los vientos dominantes en la región, lo cual favorece el desarrollo de surgencias, principalmente durante el verano (Cota, 1972).

Con la finalidad de tener un registro continuo de temperatura cercana a la superficie se instaló un termógrafo a 100 m de la costa y 4 m de profundidad, aproximadamente 5 km al noreste de la estación de muestreo (Fig. 1). Este termógrafo obtuvo registros de temperatura del 14 de junio al 1 de agosto de 1986. Los registros diurnos (6 a 18 hrs) del viento fueron proporcionados por la estación meteorológica del Aeropuerto del Ciprés, Baja California.

Los muestreos se realizaron día a día a las 07:30 h, del 25 de junio al 10 de julio de 1986. Las muestras se colectaron con botellas

opment, mainly during summer (Cota, 1972).

With the objective of obtaining a continuous temperature record near surface a thermograph was installed at 100 m from the coast and at 4 m depth, approximately at 5 km northeast of the sampling station (Fig. 1). The thermograph obtained temperature records from June 14 to August 1st of 1986. The diurnal wind records (6 to 18 hours) were proportioned by the meteorological station of El Ciprés airport, Baja California.

Sampling was carried out daily at 07:30 h, from June 25 to July 10 of 1986. Samples were collected with Niskin bottles of 7-l capacity at 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75 and 100 m depth. Temperature was measured and samples were collected for analysis of salinity, dissolved oxygen, nitrates, nitrites, phosphates, silicates and chlorophyll *a*. Surface

Niskin de 7-l de capacidad a 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 m de profundidad. Se midió la temperatura y se tomaron muestras para el análisis de salinidad, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, fosfatos, silicatos y clorofila *a*. La temperatura superficial se midió con un termómetro de cubeta. La temperatura de la columna de agua (0-100 m) se registró con un batitermógrafo; con el valor superficial del termómetro de cubeta utilizado para calibración. La salinidad se determinó con un salinómetro de inducción. La medición del oxígeno disuelto se hizo por el método microwinkler (Marine Technicians Handbook, 1971). La concentración de nitratos, nitritos y fosfatos se midió con un autoanalizador Scientific Instruments y para silicatos se utilizó un espectrofotómetro; ambos con la técnica descrita por Strickland y Parsons (1972). La muestra para el análisis de clorofila se pasó en forma simultánea a través de filtros de 8 y $0.45\mu\text{m}$ de poro y 22 mm de diámetro. La clorofila *a* se determinó con un fluorímetro TURNER 111, de acuerdo al método descrito por Holm Hansen *et al.* (1965).

La productividad primaria del mismo punto se determinó de muestras colectadas a las profundidades del 100 y 50% de la irradiación superficial (I_0). La penetración de la luz se midió con un fotómetro submarino Kahlsico No. 268WA310. De cada profundidad se llenaron tres botellas de vidrio de 150 ml de capacidad, a las que se les agregó $2\mu\text{Ci}$ de ^{14}C , de acuerdo a la técnica descrita por Steemann Nielsen (1952). Las muestras se incubaron por aproximadamente dos horas en tubos de acrílico forrados con malla neutra, los cuales simulaban las intensidades de irradiación de las que se colectaron. Posteriormente las muestras se pasaron simultáneamente a través de filtros de 8 y $0.45\mu\text{m}$ de poro, se les agregó líquido para centelleo y fueron analizadas en un contador Beckman LS-100. Los cálculos del carbono asimilado fueron hechos de acuerdo a Parsons *et al.* (1984). De las mismas profundidades se tomaron muestras para el análisis de clorofila *a* y abundancia fitoplanctónica. Esta última se determinó por el método de Utermohl (1958), sedimentado 50 ml de cada muestra por 24 horas y se analizaron con un microscopio invertido.

RESULTADOS Y DISCUSION

La velocidad del viento tuvo valores promedio de 3 m/s durante tres días previos al

temperature was measured with a bucket thermometer. Water column temperature (0-100 m) was recorded with a bathythermograph; surface value of the bucket thermometer was used for calibration. Salinity was determined with an induction salinometer. Dissolved oxygen measurement was done by microwinkler method (Marine Technicians Handbook, 1971). Nitrate, nitrite and phosphate concentration was measured with a Scientific Instruments autoanalyzer and for silicates a spectrophotometer was used; both were measured according with Strickland and Parsons (1972) described technique. The sample for chlorophyll analysis passed simultaneously through 8 and $45\mu\text{m}$ pore filters and 22 mm diameter. Chlorophyll *a* was determined with a TURNER 111 fluorimeter, according with Holm Hansen *et al.* (1965) described method.

Primary productivity at the same station was determined from collected samples at 100 and 50% of surface irradiation depth (I_0). Light penetration was measured with a submarine photometer Kahlsico No. 268WA310. For each depth three glass bottles of 150 ml capacity were filled up, to which was added $2\mu\text{Ci}$ and ^{14}C , according with Steemann Nielsen (1952) described technique. Samples were incubated for approximately two hours in acrylic tubes covered with a neutral mesh, which simulated the intensity of irradiance. Subsequently the samples passed simultaneously through pore filters of 8 and $0.45\mu\text{m}$, scintillation liquid was added and these were analyzed in a Beckman LS-100 counter. Assimilated carbon calculations were done according to Parsons *et al.* (1984). Samples were taken from same depths for the analysis of chlorophyll *a* and phytoplanktonic abundance. Last was determined with Utermohl (1958) method, settling down 50 ml of each sample for 24 hours and these were analyzed with an inverted microscope.

RESULTS AND DISCUSSION

Wind velocities had average values of $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ during three previous days from sampling, with maximums between 6 and $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to west-northwest direction (Fig. 2). Relative calms presented between June 29 and July 1, with an increasing activity of the wind from the following day until July 7, when intensities were near to $7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Fig. 2). Amador Buenrostro (1976) reported coastal upwelling con-

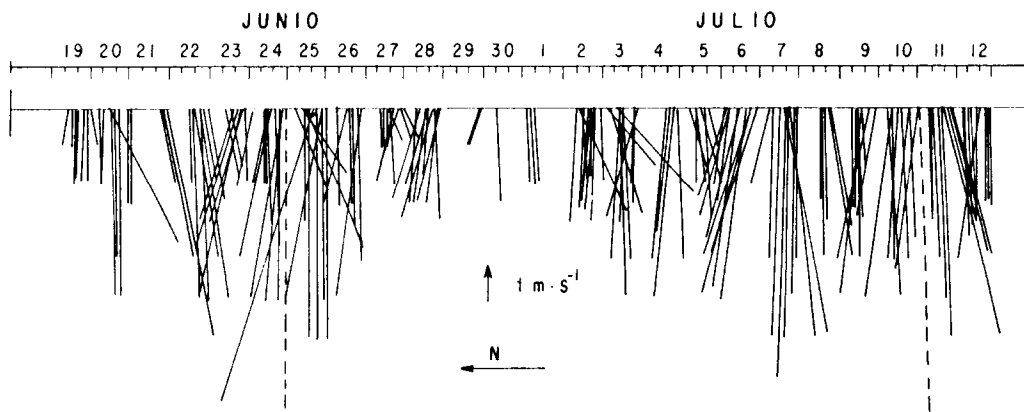


Figura 2.- Registros diarios de la velocidad y dirección del viento, medidos en El Ciprés.
Figure 2.- Diurnal records of velocity and wind direction, measured at El Ciprés.

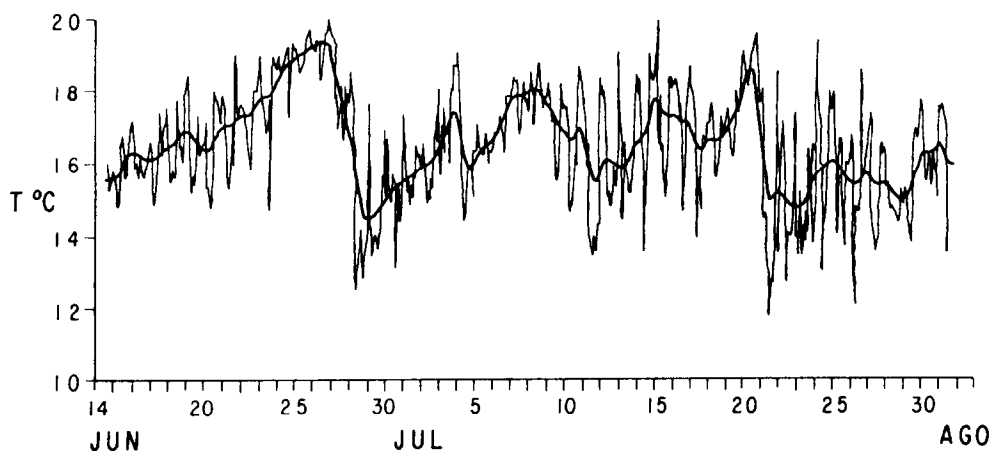


Figura 3.- Registro continuo de la temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$) del 14 de junio al 1 de agosto de 1986.
Figure 3.- Continuous recording of surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) from June 14th to August the 1st of 1986.

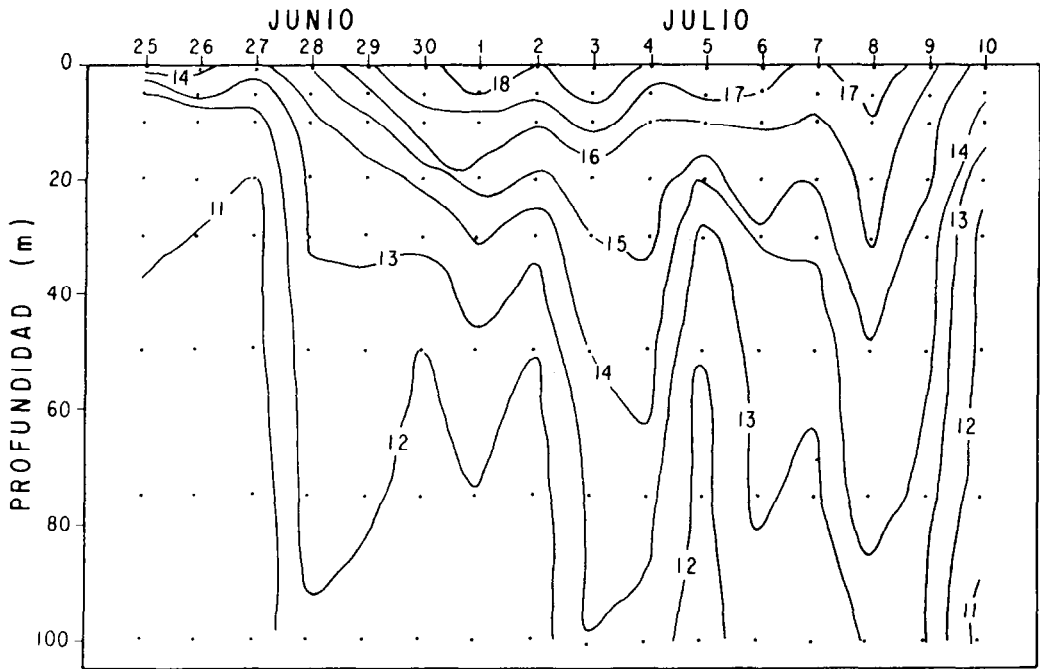


Figura 4.- Variación día a día de la temperatura (°C) en la columna de agua en el punto de muestreo.

Figure 4.- Daily variation of temperature (°C) on water column at the sampling station.

inicio del muestreo, con máximos entre 6 y 8 m/s con dirección oeste-noroeste (Fig. 2). Se presentaron calmas relativas entre el 29 de junio al 1 de julio, incrementándose la actividad del viento a partir del día siguiente hasta el 7 de julio, cuando se presentaron intensidades cercanas a 7 m/s (Fig. 2). Amador Buenrostro (1976) reportó condiciones de surgencias costeras en Punta Banda durante el verano de 1971, con valores de intensidad de viento promedio de 3 m/s los dos días anteriores a su estudio.

El registro continuo de temperatura superficial mostró una gran variabilidad durante el período estudiado (Fig. 3), pero debido a la dinámica del área y la localización del termógrafo, no presentó una relación con los resultados de temperatura de la columna de agua (Fig. 4). Al parecer existe un desfase de al menos tres días entre los valores de temperatura para el lugar del muestreo y los registrados por el termógrafo. Este mismo desfase en tiempo entre el efecto del viento y

condiciones for Punta Banda during the summer of 1971, with intensity average values of 3 m.s⁻¹ for the last two days before the study.

The continuous temperature record showed great variability during the studied period (Fig. 3), but due to the dynamic of the area and the location of the thermometer, it did not present a relation with the temperature of the water column (Fig. 4). It seems that a phase shift exist at least three days between the temperature values for the sampling place and the registered thermograph values. The same phase shift on time between wind effect and upwelling indicator variables was reported for Punta Colonet area, Baja California, higher to the one measured in the coast of Oregon and Africa (Barton and Argote, 1980). The temperature data taken at the sampling place could have an interpretation mistake because these represent only one value for each day. However, according with Barton and Argote (1980) maximum temperature variation for the zone is not higher than

las variables indicadoras de surgencias costeras fue reportado para el área de Punta Colonet, Baja California, mayor a la que se ha medido en las costas de Oregon y Africa (Barton y Argote, 1980). Los datos de temperatura tomados en el punto de muestreo podrían tener un error en su interpretación debido a que representan solamente un valor para cada día. Sin embargo, de acuerdo con Barton y Argote (1980) la variación máxima de la temperatura en esta zona no es mayor de 2°C por día, por lo que estos datos dan una idea de la variabilidad superficial. La temperatura registrada día a día en la columna de agua mostró la parte final de un evento de surgencia al inicio del muestreo, una surgencia débil el 4 de julio y el inicio de un evento fuerte el 9 y 10 de julio (Fig. 4). Esto último está indicado por la inclinación hacia la superficie de las isothermas de 13 y 14°C al final del estudio. El origen del agua de surgencia es de por lo menos 85 m de profundidad y en algunos casos un poco mayor, de acuerdo a lo reportado por Gómez Valdéz (1983). La distribución vertical de salinidad presentó una relación semejante a la temperatura, con la tendencia de las isohalinas de 33.60 y 33.70‰ hacia la superficie en los últimos días del estudio (Fig. 5). Barton y Argote (1980) reportaron como indicadores de surgencia valores de temperatura entre 12 y 14 °C y de 33.65 a 33.70‰ de salinidad, para una área localizada a 100 km al sur de Punta Banda.

La concentración del oxígeno disuelto presentó valores bajos cercanos a la superficie (4 a 5 ml/l) durante los eventos de surgencia y altos (6 a 7 ml/l) en el relajamiento los primeros días de julio (Fig. 6). Torres Moya y Acosta Ruíz (1986) reportaron concentraciones de oxígeno disuelto entre 4 a 5 ml/l como indicadoras de eventos de surgencia costera en Punta Colonet; con máximos subsuperficiales cercanos a 6 ml/l alejándose de la costa. Valores de oxígeno disuelto de 4.5 ml/l han sido relacionados con surgencias costeras en esta área (Gómez Valdéz, 1983). La isolinia de oxígeno disuelto de 3.5 ml/l indica lo dinámico de esta zona de surgencia durante el período de estudio; localizándose entre 20 y 30 m de profundidad al inicio, a cerca de 90 m durante el relajamiento en los días intermedios y a 25 m al final del estudio (Fig. 6). En el

20°C by day, that is why these data give an idea of the surface variability. The daily recorded temperature in the water column showed the last part of an upwelling event at the beginning of sampling, a weak upwelling from July 4 and the beginning of a strong event from July 9 and 10 (Fig. 4). This is indicated by the isotherms of 13 and 14°C inclination to the surface at the end of the study. The origin of the upwelling water is at least of 85 m depth and in some cases deeper than this according with what Gómez Valdéz (1983) reported. Vertical distribution of salinity presented a similar relation with temperature, with an isohaline tendency of 33.60 and 33.70‰ to the surface in the lasting days of study (Fig. 5). Barton and Argote (1980) reported as upwelling indicator temperature values, a range between 12 and 14°C and salinity values of 33.65 to 33.70‰, for a localized area at 100 km to the south of Punta Banda.

Dissolved oxygen concentration presented low values near to the surface (4 to 5 ml/l) during upwelling events and high values (6 to 7 ml/l) during relaxation the first days of July (Fig. 6). Torres Moya and Acosta Ruíz (1986) reported dissolved oxygen concentrations between 4 to 5 ml/l as indicators of upwelling events in Punta Colonet; with maximum subsurface values near 6 ml/l far from the coast. Dissolved oxygen values of 4.5 ml/l have been related with coastal upwellings in this area (Gómez Valdéz, 1983). The Dissolved Oxygen isoline of 3.5 ml/l indicates how dynamic is this upwelling zone during the studied period; located between 20 and 30 m depth at the beginning, and near to 90 m during relaxation in the intermediate days, and at 25 m depth at the end of the study (Fig. 6). Dissolved oxygen values of 2 ml/l at 100 m depth were measured for Punta Banda, comparing to 3 ml/l measured for the same depth at Punta Colonet by Torres Moya and Acosta Ruíz (1986). This seems to indicate that the low values of dissolved oxygen in the area are near the surface, as a result of the water contribution with low oxygen content of the subsurface counter-current (Gómez Valdéz, 1983). Oxygen saturation percentage showed a similar behavior, with upwellings at the beginning and at the end and relaxation of the environment (Fig. 7). Subsurface values of

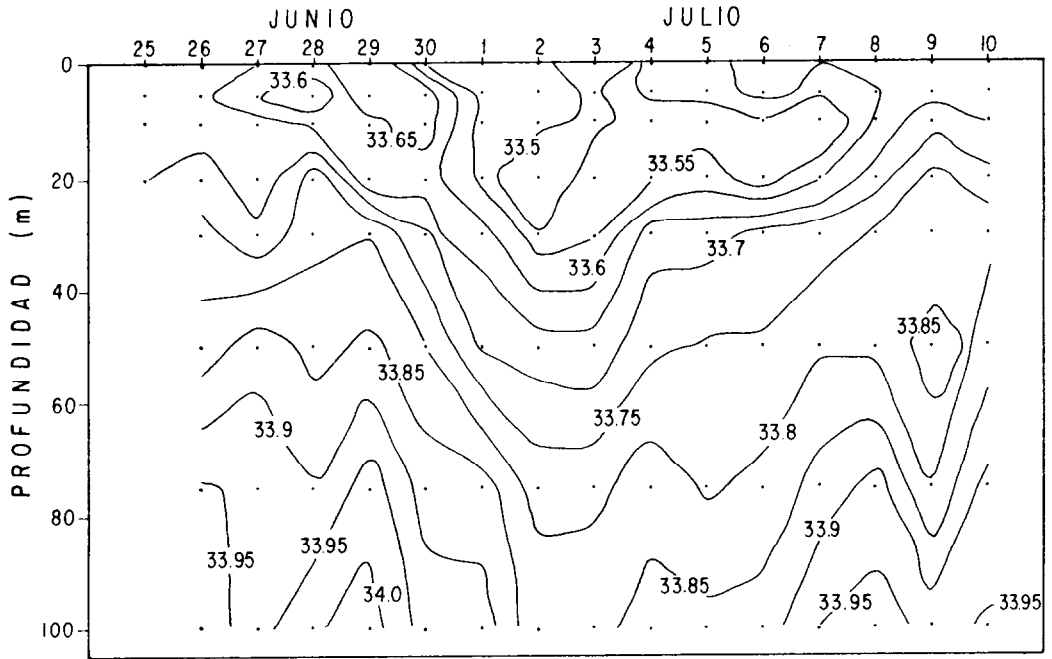


Figura 5.- Variación de la salinidad (‰) en la columna de agua durante el período de estudio.
Figure 5.- Salinity variation (‰) in the water column during the study period.

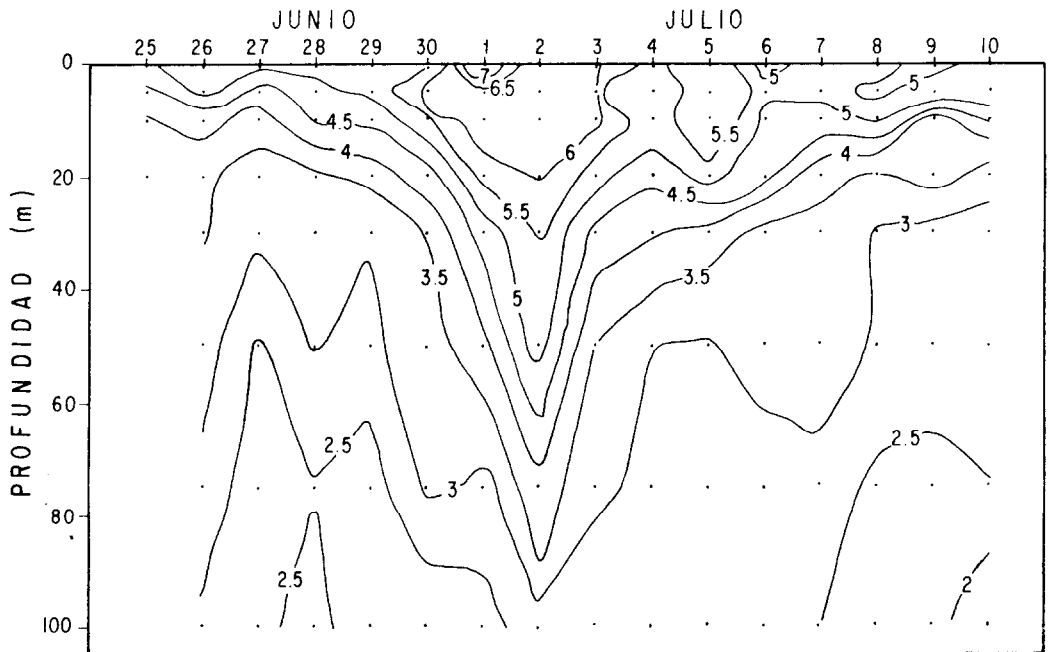


Figura 6.- Variación día a día de la concentración de oxígeno disuelto (ml/l) en la columna de agua.
Figure 6.- Daily variation of dissolved oxygen concentration (ml/l) in the water column.

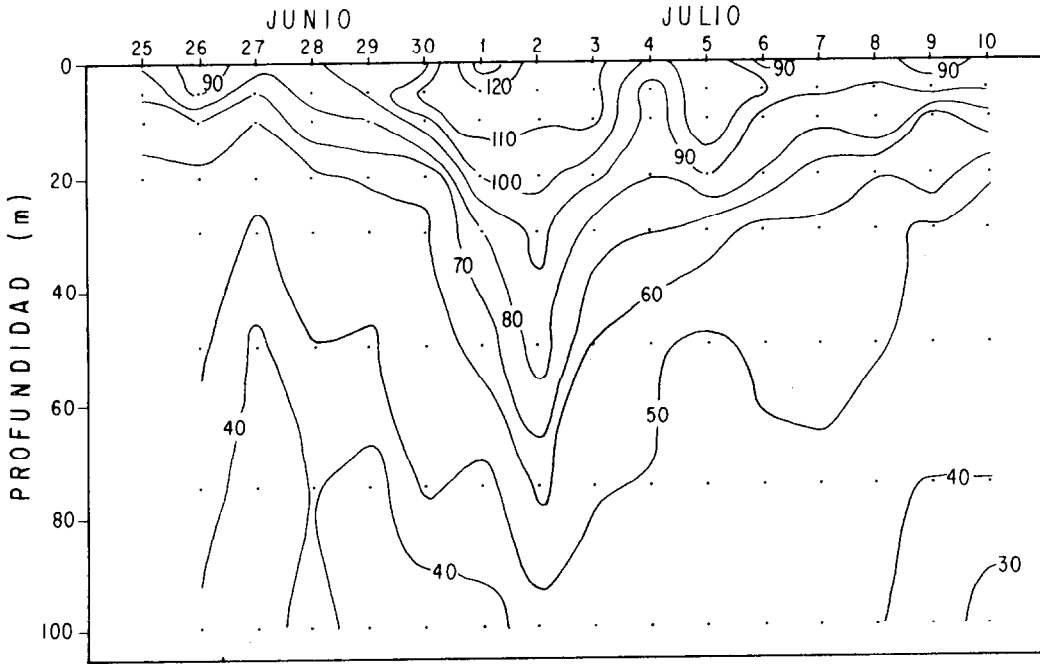


Figura 7.- Distribución del porcentaje de saturación de oxígeno (%) en la columna de agua.
Figure 7.- Distribution of oxygen saturation percentage (%) in the water column.

área de Punta Banda se midieron concentraciones de oxígeno disuelto de hasta 2 ml/l a 100 m de profundidad, en comparación a cerca de 3 ml/l medidos para la misma profundidad en Punta Colonet por Torres Moya y Acosta Ruíz (1986). Esto parece indicar que los valores bajos de oxígeno disuelto en esta área se encuentran cercanos a la superficie, como resultado del aporte de agua con bajo contenido de oxígeno de la contracorriente subsuperficial (Gómez Valdéz, 1983). El porcentaje de saturación del oxígeno mostró un comportamiento similar, con surgencias al inicio y final y relajamiento en el medio (Fig. 7). Los valores superficiales del porcentaje de saturación durante surgencias fueron cercanos a 90 y mayores a 120 durante el relajamiento.

Las concentraciones subsuperficiales (5 m) de fosfato fueron cercanas a $0.9\mu\text{M}$ durante surgencias y menores a $0.5\mu\text{M}$ en el relajamiento (Fig. 8). Para el área de Punta Colonet se han reportado concentraciones de fosfato entre 0.75 a $1.50\mu\text{M}$ como indicadores de surgencias costeras (Torres Moya y Acosta Ruíz, 1986). Concentraciones mayores a $2.0\mu\text{M}$ se midieron solamente por abajo de 75 m de

saturation percent during upwellings were near 90 and higher than 120 during relaxation.

Subsurface phosphate concentrations (5 m) were near to $0.9\mu\text{M}$ during upwellings and less than $0.5\mu\text{M}$ during relaxation (Fig. 8). The reported phosphate concentrations for Punta Colonet are between 0.75 and $1.50\mu\text{M}$ as coastal upwelling indicators (Torres Moya and Acosta Ruíz, 1986). Concentrations higher than $2.0\mu\text{M}$ were measured only for depths lower than 75 m, at the beginning and at the end of the sampling period, however, these were higher than those reported by Torres Moya and Acosta Ruíz (1986) for the same depth at Punta Colonet, Baja California. According with phosphate values these authors showed that the upwelling water comes mainly from 50 and 100 m depth, similar to was found for Punta Banda region. Other nutrients analyzed (nitrates, nitrites and silicates) had a similar behavior with phosphates and these were reported in other study done by González Morales *et al.* (submitted).

Chlorophyll *a* concentration was higher in subsurface (50% I₀) than it was on surface,

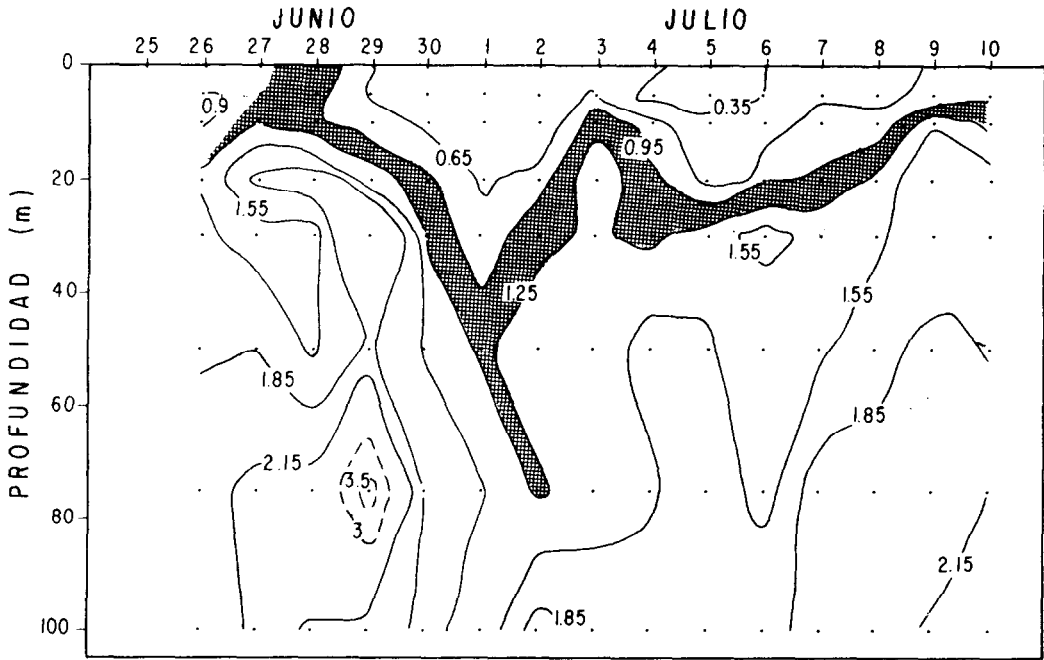


Figura 8.- Variación día a día de la distribución vertical de fosfatos (μM).
Figure 8.- Daily variation of vertical phosphate distribution (μM).

profundidad, al inicio y final del período muestreado, sin embargo, fueron mayores que los reportados por Torres Moye y Acosta Ruíz (1986) para la misma profundidad en Punta Colonet, Baja California. En base a los valores de fosfato estos autores mostraron que el agua de surgencia provenía principalmente entre 50 a 100 m de profundidad, similar a lo encontrado para la región de Punta Banda. Los otros nutrientes analizados (nitratos, nitritos y silicatos) tuvieron un comportamiento similar a fosfatos y fueron reportados en otro trabajo por González-Morales *et al.* (sometido).

La concentración de clorofila *a* fue mayor en subsuperficie (50% I_0) que en superficie, con la tendencia a aumentar al final del estudio en ambas profundidades (Fig. 9a). Los valores de clorofila *a* en general fueron bajos a las dos profundidades muestreadas, excepto 29 y 30 de junio cuando se midieron las más altas concentraciones de pigmentos de 3.2 y 4.8 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ respectivamente. Estos máximos parecen estar relacionados con el inicio de la fase de relajamiento de la surgencia y con la disminución de las concentraciones de

with a tendency to increase at the end of the study in both depths (Fig. 9a). Chlorophyll *a* values were low in general at both sampled depths, except for June 29 and 30 when the highest pigment concentrations were measured of 3.2 and 4.8 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ respectively. The maximums seem to be related with the upwelling relaxation phase beginning and with the decrease of nutrient concentrations (González Morales *et al.*, submitted). Cardona Canizalez *et al.* (1990) reported for Baja California coasts higher concentration values of chlorophyll *a* during the relaxation of an upwelling, with subsurface maximums of 20 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Phytoplankton $>8\ \mu$ contributed to the total biomass in a significant way at the beginning and at the end of the study (Fig. 9b), when upwelling events were presented with higher intensity. Maximum chlorophyll *a* values during the study were due to phytoplankton $<8\ \mu$, which were more notorious in subsurface values (Fig. 9c). Due to the dynamic of the area seems that phytoplankton could not get an acclimation for its full growth. Reported values for the coasts of Peru of chlorophyll *a*

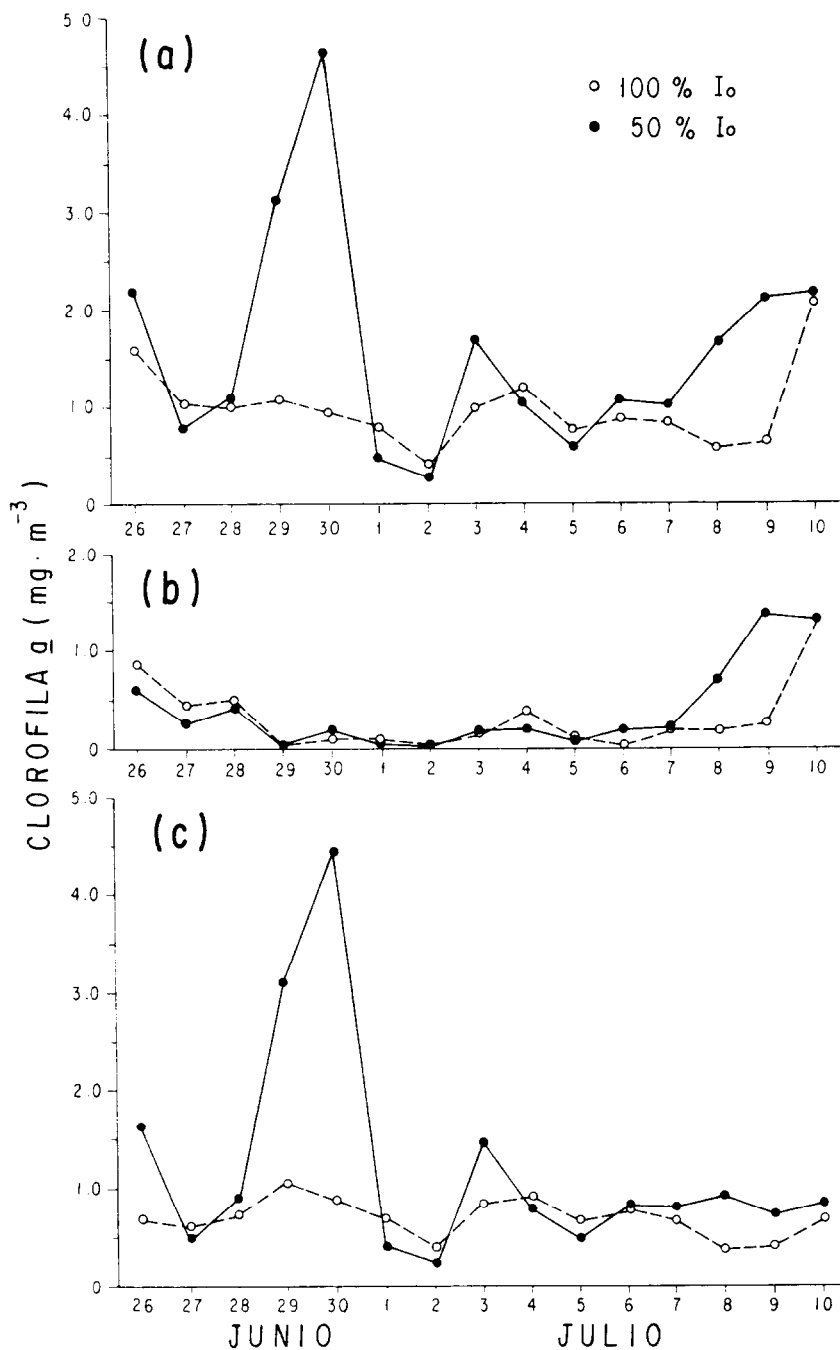


Figura 9.- Concentración de clorofila *a* superficial y subsuperficial en fitoplancton fraccionado por tamaños. (a) Clorofila *a* total ; (b) clorofila *a* en fitoplancton >8 μm y (c) clorofila *a* en fitoplancton <8 μm .

Figure 9.- Concentration of surface and subsurface chlorophyll *a* in size fractionated phytoplankton. (a) total chlorophyll *a* ; (b) chlorophyll *a* in phytoplankton >8 μm and (c) Chlorophyll *a* in phytoplankton <8 μm .

los nutrientes (González Morales *et al.*, sometido). Cardona Canizalez *et al.* (1990) reportaron para las costas de Baja California mayores concentraciones de clorofila *a* durante el relajamiento de una surgencia, con máximos subsuperficiales de 20 mg.m⁻³. El fitoplancton >8 µm contribuyó a la biomasa total en forma significativa al inicio y final del estudio (Fig. 9b), cuando se presentaron los eventos de surgencia con una mayor intensidad. Los valores máximos de clorofila *a* durante el estudio fueron debidos al fitoplancton <8 µm, los cuales son más notorios en los valores subsuperficiales (Fig. 9c). Debido a la dinámica del área al parecer el fitoplancton no logró un acondicionamiento para su completo desarrollo. En las costas de Perú se han reportado valores de clorofila *a* menores a 2 mg.m⁻³ en la zona de surgencia, en cambio fuera de esta se han medido concentraciones hasta de 50 mg.mm⁻³ (Boyd y Smith, 1983). Estos autores sugieren que las bajas concentraciones de clorofila cercanas a la costa son una consecuencia del poco tiempo que el fitoplancton ha estado cerca de la superficie. La disminución de la concentración de clorofila los días 1 y 2 de julio parece estar relacionada con el incremento de la tasa de filtración del zooplancton, principalmente del copépodo *Calanus pacificus*, medida en forma simultánea a este trabajo (García Pámanes *et al.*, 1991).

La clorofila *a* integrada en la columna de agua presentó los más altos valores (115 y 95 mg.mm⁻²) al inicio del relajamiento de la surgencia (29 y 30 de junio), con una mayor contribución del fitoplancton <8 µm (Fig. 10). La clorofila integrada en el fitoplancton >8 µm solamente fue mayor al final del estudio, cuando se iniciaba el otro evento de surgencia. De acuerdo con Malone (1982) el microfitoplancton (>20 µm) contribuye significativamente a la biomasa fitoplanctónica cuando la temperatura superficial del agua es menor a 14 °C y el nanoplancton (<20 µm) cuando la temperatura es mayor. De acuerdo con los resultados de este trabajo, la biomasa del microfitoplancton es significativa durante surgencias y la del nanoplancton durante el relajamiento.

La abundancia del fitoplancton <10 µm fue de 10 a 50 veces mayor al fitoplancton >10 µm, sobre todo durante el relajamiento (González Morales *et al.*, sometido). La contribución más importante a la biomasa fito-

are less than 2mg.m⁻³ at the upwelling zone, and out of this the concentrations measured are up to 50 mg.mm⁻³ (Boyd and Smith, 1983). These authors suggest that the low concentrations of chlorophyll near to the coast are consequence of the few time that phytoplankton have stayed near to the surface. The concentration decreasing of chlorophyll on the days of July 1st and the 2nd seems to be related with the increase of zooplankton filtration rate, mainly of *Calanus pacificus* copepod, measured in a simultaneously way in this study (García Pámanes *et al.*, submitted).

The integrated chlorophyll *a* to the water column presented the highest values (115 to 95 mg.mm⁻²) at the beginning of upwelling relaxation (June 29 and 30), with a higher contribution of phytoplankton <8 µm (Fig. 10). The integrated chlorophyll to phytoplankton >8 µm was only higher at the end of study, when an upwelling event was arising. According with Malone (1982) microphytoplankton (>20 µm) contributes significantly to phytoplanktonic biomass when the surface temperature is less than 14°C and nanoplankton (<20 µm) when temperature is higher. According to this study results, microplankton biomass is significative during upwellings and nanoplankton is during relaxation periods.

Phytoplankton <10 µm abundance was 10 to 50 times higher than phytoplankton >10 µm, mostly during relaxation (González Morales *et al.*, submitted). The most important contribution to phytoplanktonic biomass by the organisms > 10 µm was by diatoms, with the maximum values on upwelling periods (Figs. 11a y 11b). Diatoms were represented in 90% by *Nitzschia longissima* and the rest by *Chaetoceros* sp. and *Coscinodiscus* sp. Barber and Ryther (1969) have reported that *Nitzschia* and *Chaetoceros* are capable genus to develop at unfavourable environments but rich in nutrients, modifying and making them appropriate for the later development of phytoplanktonic organisms. These same genus were reported as the most abundants in the beginning of the experiment with water that has been taken out from 50 m depth in coastal area of Baja California (Galarza Placencia and Gaxiola Castro, 1987).

Primary productivity values were low during the study (Fig. 12), with a similar distribution to phytoplanktonic biomass.

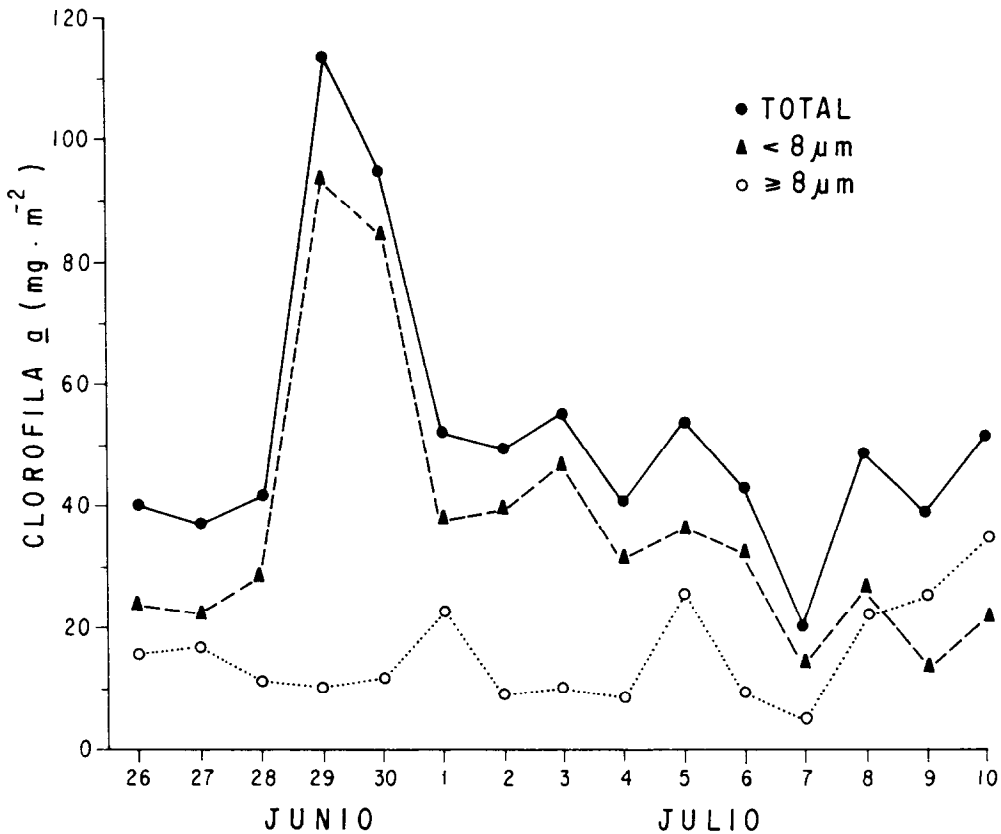


Figura 10.- Concentración de clorofila *a* integrada en la columna de agua en fitoplancton dividido por fracciones de tamaño.

Figure 10.- Chlorophyll *a* concentration integrated to water column in phytoplankton divided by size fractions.

planctónica por los organismos $> 10 \mu\text{m}$ fue por las diatomeas, con los máximos durante los periodos de surgencia (Figs. 11a y 11b). Las diatomeas estuvieron representadas en un 90% por *Nitzschia longissima* y el resto por *Chaetoceros* sp. y *Coscinodiscus* sp. Barber y Ryther (1969) han reportado que *Nitzschia* y *Chaetoceros* son géneros capaces de desarrollarse en medios desfavorables pero ricos en nutrientes, modificándolos y haciéndolos apropiados para el posterior desarrollo de otros organismos fitoplanctónicos. Estos mismos géneros fueron reportados como los más abundantes al inicio de un experimento con agua extraída de 50 m de profundidad en un área costera de Baja California (Galarza Placencia y Gaxiola Castro, 1987).

Maximum primary productivity values ($3.6 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) were measured at 50% of I_0 , at the beginning of relaxation (Fig. 12b). Primary productivity was higher with phytoplankton $< 8 \mu\text{m}$, except during the beginning of an upwelling and at the end of the study (Figs. 12a and Fig. 12b). It looks like the relaxation time between upwelling periods was very short, which did not permit that phytoplankton were prepared for the new irradiance and high nutrients conditions. Water column stability was very low at the beginning and at the end of the study (González Morales *et al.*, submitted), this indicates a great dynamics of the hydrographical conditions in the area, which affects negatively to phytoplankton development (Alvarez-Borrego and Gaxiola

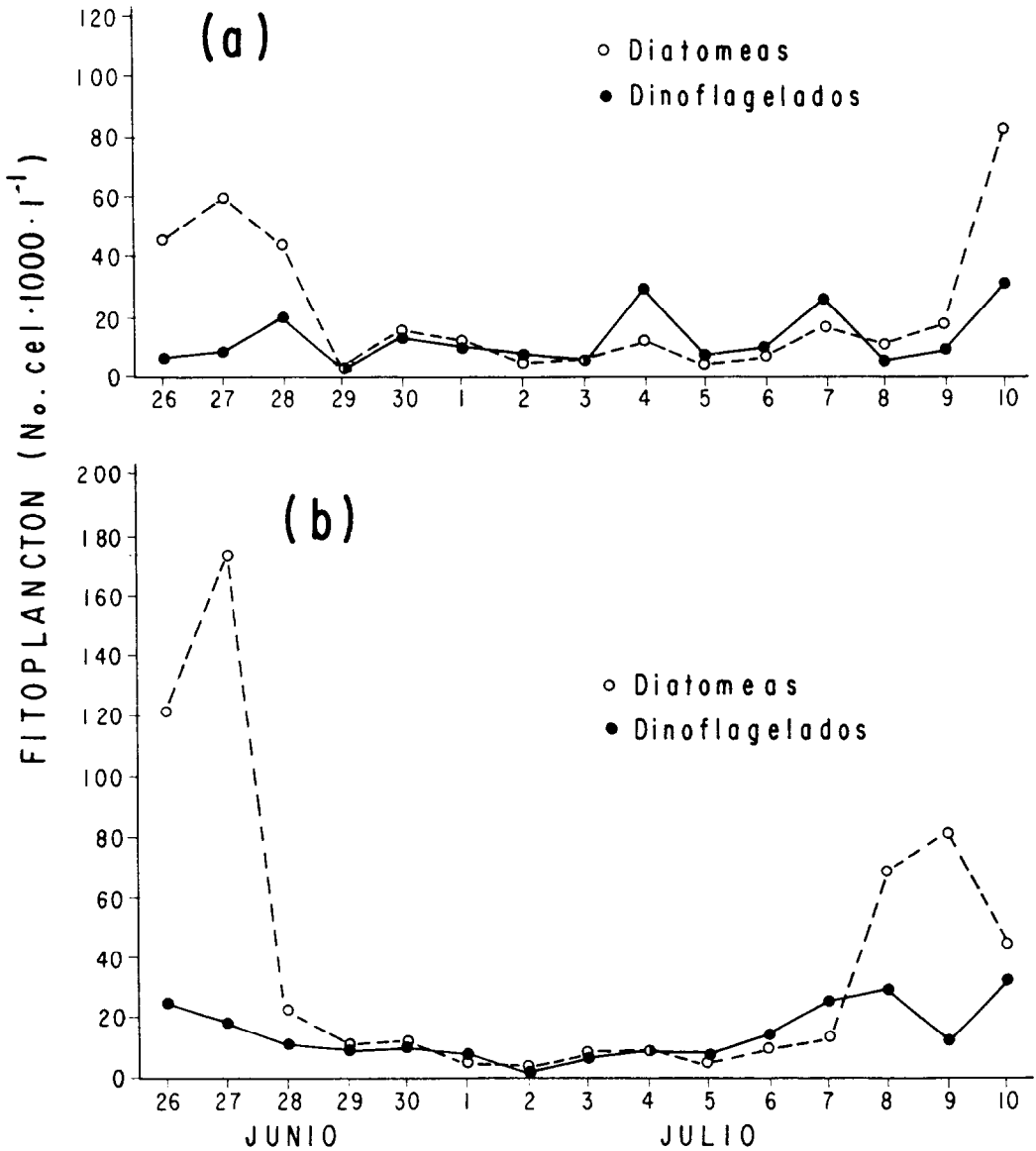


Figura 11.- Abundancia del fitoplancton > 10 μm por grandes grupos en: (a) superficie (100% Io) y (b) subsuperficie (50 % Io).

Figure 11.- Phytoplankton abundance > 10 μm by groups: (a) surface (100% Io) y (b) subsurface (50% Io).

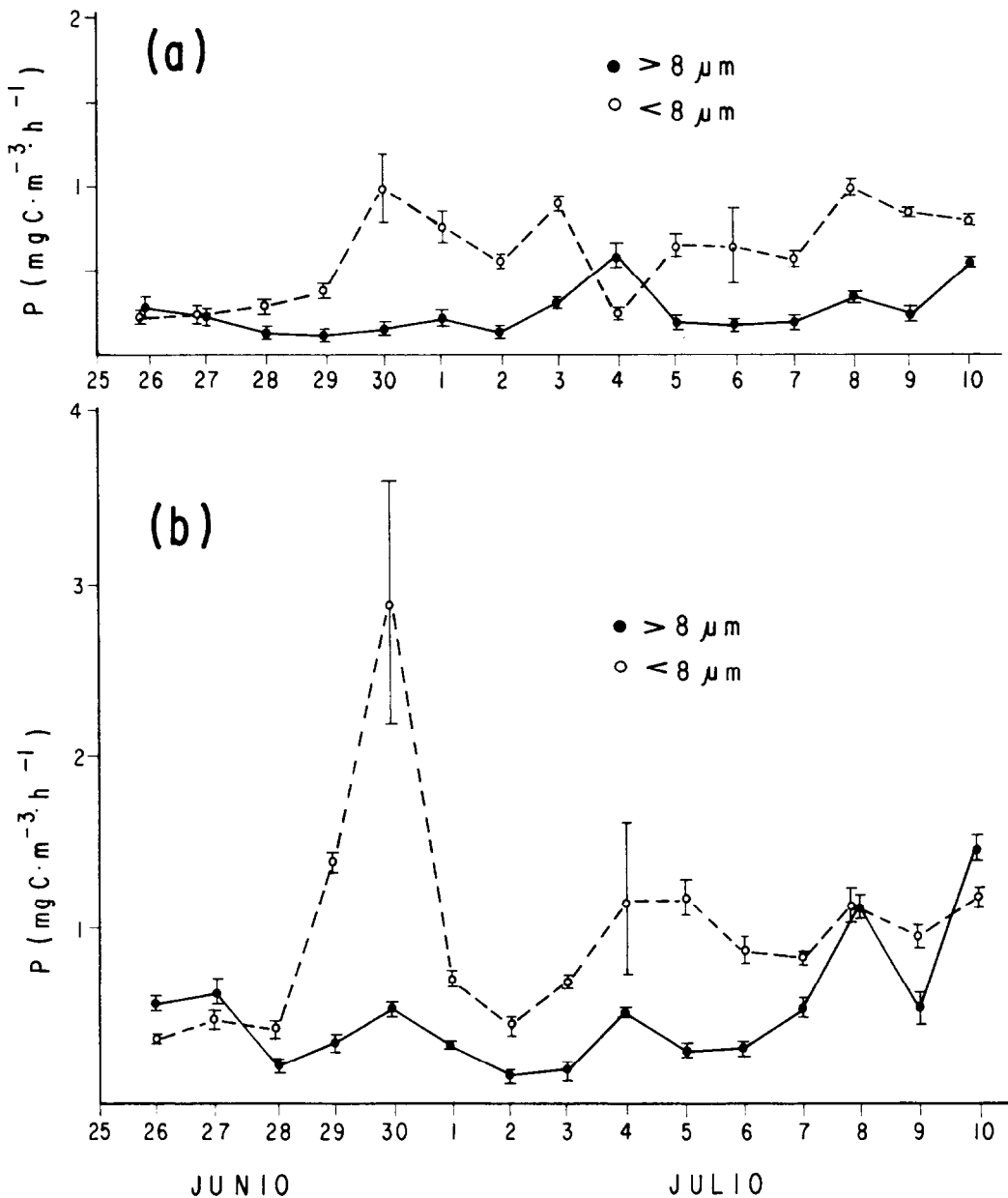


Figura 12.- Variación de la productividad primaria en fitoplancton dividido por fracciones de tamaño en: (a) superficie (100% I₀) y (b) subsuperficie (50% de I₀). Las barras indican una desviación estándar.

Figure 12.- Variation of primary productivity in phytoplankton divided by size fractions: (a) surface (100% I₀) and (b) subsurface (50% I₀). Bars indicate one standard deviation.

Los valores de productividad primaria fueron bajos durante el estudio (Fig. 12), con una distribución similar a la biomasa fitoplanctónica. Los valores máximos de productividad primaria ($3.6 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) se midieron al 50% de I_0 , al inicio del relajamiento (Fig. 12b). La productividad primaria fue mayor en el fitoplancton $< 8 \mu\text{m}$, excepto durante surgencias al inicio y final del período de estudio (Figs. 12a y 12b). Al parecer el tiempo de relajamiento entre los períodos de surgencias fue muy breve, lo que no permitió que el fitoplancton se acondicionara a las nuevas condiciones de irradiancia y altos nutrientes. La estabilidad de la columna de agua fue muy baja al inicio y final del estudio (González Morales *et al.*, sometido), que indica una gran dinámica de las condiciones hidrográficas en esta área, lo que afecta negativamente el crecimiento del fitoplancton (Alvarez-Borrego y Gaxiola Castro, 1988). Por otro, lado el fitoplancton necesita pasar por un período de acondicionamiento después que ha sido transportado hacia la superficie por una surgencia costera (Barber *et al.*, 1971), el cual puede ser hasta de siete días para que alcance su máximo desarrollo (Galarza Placencia y Gaxiola Castro, 1987). Este alto crecimiento del fitoplancton es más probable que se manifieste algunos kilómetros alejado de la zona donde se produjo el surgimiento y varios días después de este.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Jorge García Pámanes, Juan Sidón y Martín Lucero su ayuda durante la colecta de los datos. A George Hemingway por las facilidades otorgadas para contar las muestras de productividad primaria. Este trabajo es una parte de la tesis de Maestría en Ciencias del primer autor, el cual tuvo una beca de la Secretaría de Educación Pública. Agradecemos a Guillermo Torres Moya las correcciones a la versión final del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Alvarez Borrego, S. y Gaxiola Castro, G. (1988). Photosynthetic parameters of northern Gulf of California phytoplankton. *Continental Shelf Res.*, 8: 37-47.
- Castro, 1988). Otherwise, phytoplankton need to spend a fitting out period after this has been transported up to surface by a coastal upwelling (Barber *et al.*, 1971), which could be of seven days to get the maximum development (Galarza Placencia and Gaxiola Castro, 1987). This high phytoplankton's growth could be noticed probably a few kilometers far from the zone where the upwelling has been produced and several days after this.
- ACKNOWLEDGEMENTS**
- We thank Jorge García Pámanes, Juan Sidón and Martín Lucero for their help during data collect. Thanks to George Hemingway for providing the facilities to count the samples of primary productivity. This work is a part of the first author Master's thesis, who got an scholarship from the Secretaría de Educación Pública. We thank Guillermo Torres Moya for corrections on the final version of this manuscript.
- English translation by Ana Luz Quintanilla.
-
- Amador Buenrostro, A. (1976). Características de las áreas de surgencia en las aguas adyacentes a la bahía de Todos Santos. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, 54 pp.
- Bakun, A. (1975). Daily and weekly upwelling indices, west coast of North America, 1967-73. NOAA Technical Reports, NMFS SSRF-693.
- Barber, R.T. and Ryther, J.H. (1969). Organic chelators: factors affecting primary production in the Cromwell Current upwelling. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 3: 191-199.
- Barber, R.T., Dugdale, R.C., MacIsaac, J.J. and Smith, R.L. (1971). Variations in phytoplankton growth associated with the source and conditioning of upwelling water. *Inv. Pesq.*, 35: 171-193.
- Barber, R.T. and Smith, R.L. (1981). Coastal upwelling ecosystems. In: A. Longhurst (ed), *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, New York, pp. 31-68.
- Barton, E.D. and Argote, M.L. (1980). Hydrographic variability in an upwelling area off northern Baja California in June 1976. *J. Mar. Res.*, 38: 631-649.

- Boyd, C.M. and Smith, S.L. (1983). Plankton upwelling and coastally trapped waves off Peru. *Deep-Sea Res.*, 30: 732-742.
- Cardona Canizalez, C., Millán-Núñez, R., Lara-Lara, J.R. y Valdéz Holguín, J.E. (1990). Variabilidad espacio temporal de la clorofila *a* en una zona de surgencia frente a Baja California. *Ciencias Marinas*, 16(2): 31-46.
- Chávez de Ochoa, M.C. (1975). Algunas condiciones de surgencia durante la primavera de 1974, para el área adyacente a Punta Banda, Baja California. *Ciencias Marinas*, 2(2): 111-124.
- Cota, V.A. (1972). Estudio oceanográfico-químico de la surgencia localizada en la zona de Punta Banda, B.C. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, 63 pp.
- Galarza Placencia, J. y Gaxiola Castro, G. (1987). Variación de clorofila, fitoplancton y nutrientes en agua costera de Baja California, enriquecida con EDTA. *Ciencias Marinas*, 13(3): 113-130.
- García Pámanes, J., Lara-Lara, J.R. y Gaxiola Castro, G. (1991). Daily zooplakton filtration rates off Baja California. *Estuarine Coastal & Shelf Science*. (en prensa).
- Gómez Valdéz, J. (1983). Estructura hidrológica promedio frente a Baja California. *Ciencias Marinas*, 9(2): 75-86.
- Gonzalez Morales, T.A., Gaxiola Castro, G. and Lara-Lara, J.R. (sometido). Short-term variability of photosynthetic parameters and biomass from coastal upwelling size-fractionated phytoplankton of Baja California. *Estuarine Coastal & Shelf Science*.
- Holm-Hansen, O.C., Lorenzen, G., Holmes, R.W. and Strickland, J.W.H. (1965). Fluorimetric determination of chlorophyll. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 30: 3-15.
- Malone, T.C. (1982). Phytoplankton photosynthesis and carbon-specific growth: light-saturated rates in a nutrient-rich environment. *Limnol. Oceanogr.*, 27: 226-235.
- Marine Technicians Handbook (1971). Oxygen Analysis. Sea Grant Pub. No. 9. Scripps Institution of Oceanography, 29 pp.
- Morales Zúñiga, C. (1977). Variaciones estacionales de la temperatura en la bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas*, 4(1): 23-33.
- Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M. (1984). *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, New York, 173 p.
- Pavía, E. y Reyes, S. (1983). Variaciones espaciales y estacionales del viento superficial en la bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas*, 9(1): 151-167.
- Stemann Nielsen, E. (1952). The use of radioactive carbon (¹⁴C) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18: 117-140.
- Stickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Bulletin 167. Fish. Res. Board Can., 311 p.
- Torres Moye, G. y Acosta Ruíz, M.J. (1986). Algunas propiedades químicas indicadoras de eventos de surgencias costeras y de la contracorriente subsuperficial en un área cercana a Punta Colonet, Baja California. *Ciencias Marinas*, 12(3): 10-25.
- Uthermol, H. (1958). Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Mitt. Int. Verien Theor. Angew. Limnol.*, 9: 1-38.