

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DEL PACIFICO MEXICANO

PRIMARY PRODUCTIVITY OF THE MEXICAN PACIFIC

**Gilberto Gaxiola Castro
Saúl Alvarez Borrego**

**División de Oceanología
Centro de Investigación Científica
y de Educación Superior de Ensenada, B.C.
Espinoza 843
Ensenada, B.C., México**

GAXIOLA CASTRO Gilberto y Alvarez Borrego Saúl. Productividad primaria del Pacífico mexicano. Primary Productivity of the Mexican Pacific. 12(3): 26 - 33; 1986.

RESUMEN

Se presentan datos de productividad primaria de diez estaciones ocupadas en el Océano Pacífico abierto frente a México, del 8 al 26 de enero de 1981, de cinco estaciones del norte del Golfo de California, del 1 al 10 de diciembre de 1981, y de cinco estaciones del centro y norte del Golfo, del 17 al 28 de junio de 1982. En el Océano Pacífico abierto no hubo una tendencia geográfica de variación de la profundidad de la zona eufótica. Las estaciones del Golfo tuvieron profundidades de zona eufótica menores que las del Océano Pacífico abierto, y las estaciones de invierno del Golfo tuvieron las menores profundidades de zona eufótica. La productividad primaria del Golfo de California fue un orden de magnitud mayor que en el Pacífico abierto. En el Golfo, las productividades de verano fueron en general mayores que las de invierno. El rango de productividad primaria integrada (P_i) en el Océano Pacífico abierto fue $0.08-0.54 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$, sin considerar una estación cerca de las islas Las Tres Marías, que tuvo un valor de $1.40 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$. El rango de las P_i de verano del Golfo fue $1.35-4.37 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$, y el de las P_i de invierno del Golfo fue $0.75-1.86 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$.

ABSTRACT

Primary productivity data from ten stations occupied in the open Pacific off México during 8-26 January 1981, from five stations in the northern Gulf of California, during 1-10 December 1981, and from five stations in the central and northern Gulf, during 17-28 June 1982, are presented. In the open Pacific Ocean there was no particular geographic trend of euphotic zone depth. Stations in the Gulf had euphotic zone depths shallower than those of the open Pacific, with winter Gulf stations having the shallowest euphotic zones. The Gulf of California primary productivity values were an order of magnitude greater than those of the open Pacific. In the Gulf, summer productivity values were in general higher than winter values. The range for integrated primary productivity (P_i) values in the open Pacific was $0.08-0.54 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$, not considering one station near Las Tres Marias islands which had a value of $1.40 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$. The range from summer Gulf P_i 's was $1.35-4.37 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ and that for winter Gulf P_i 's was $0.75-1.86 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$.

Los datos de productividad primaria de las aguas del Pacífico mexicano son muy escasos. Aprovechamos la oportunidad de los cruceros VARIFRONT-II y VARIFRONT-III de la Naval americana, y el crucero CONACYT-I de "El Puma" de la UNAM, para realizar experimentos de incubación de ^{14}C . El crucero VARIFRONT-II realizó una trayectoria entre San Diego y Acapulco del 8 al 26 de enero de 1981; el crucero VARIFRONT-III muestreó el Golfo de California del 1 al 10 de diciembre de 1981; y el crucero CONACYT-I también muestreó el centro y norte del Golfo del 17 al 28 de junio de 1982 (Fig.1). En reportes previos hemos presentado los datos de las variables ambientales y parámetros fotosintéticos (Gaxiola Castro y Alvarez Borrego, 1986; Alvarez Borrego y Gaxiola Castro, env. para publ); en esta nota corta presentamos los datos de productividad primaria. Realizamos incubaciones de dos horas, al mediodía, con luz solar, para generar curvas fotosíntesis-irradiancia (P-I) para cada profundidad muestreada; y la variación de la irradiancia con la profundidad fue medida con un fotómetro (Gaxiola Castro y Alvarez Borrego, 1986). Las muestras de fitoplancton fueron tomadas de las profundidades correspondientes a 100, 50, 25, 10 y 1% de la irradiancia medida justamente bajo la superficie del agua (I_0). La productividad primaria para cada profundidad (P_z) se estimó con la irradiancia (I_z) y la curva P-I correspondientes (las curvas P-I se tomaron de Gaxiola Castro y Alvarez Borrego, 1986; y Alvarez Borrego y Gaxiola Castro, env. para publ); esto da la productividad en $\text{mg Cm}^{-3}\text{h}^{-1}$ para el mediodía. Para obtener la productividad primaria integrada, P_i ($\text{g Cm}^{-2}\text{d}^{-1}$) primero generamos las curvas P_z versus z para cada hora, con las curvas P-I, el coeficiente de atenuación de la luz, y con I_0 en función del tiempo usando la ecuación propuesta por Vollenweider (1965), como sigue: con I_0 para mediodía ($I_{0\text{max}}$) obtuvimos I_0 para cada hora de la mañana usando la ecuación $I_0 = 0.5 I_{0\text{max}} (1 + \cos 2 \pi t')$, donde t' es un tiempo sin dimensión con valores $t' = -0.5$ al amanecer, $t' = 0$ al mediodía, y $t' = 0.5$ al anoecer; luego obtuvimos I_z para cada profundidad y cada hora, con la I_0 correspondiente y la ley de Lambert-Beer; con I_z obtuvimos r' de la curva P-I correspondiente, y multiplicando r' por la concen-

Primary productivity data of mexican Pacific waters are very scarce. We used the VARIFRONT-II and VARIFRONT-III cruises of the U S Navy's "DeSteiguer" and the CONACYT-I cruise of UNAM's "EL PUMA", as opportunities to carry on ^{14}C incubation experiments. The VARIFRONT-II cruise covered a trajectory between San Diego and Acapulco during 8-26 January, 1981; the VARIFRONT-III cruise sampled the Gulf of California during 1-10 December, 1981; and the CONACYT-I cruise also covered the central and northern Gulf of California during 17-28 June, 1982 (Fig. 1). In previous reports we presented the data on environmental variables and photosynthetic parameters (Gaxiola - Castro y Alvarez-Borrego, 1986; Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro, subm. for publ); in this short contribution we present the primary productivity data. Two-hour incubations were done on board at noon, using sunlight, to generate photosynthesis-irradiance (P-I) curves for each sample depth; and the irradiance at depth was measured with a photometer (Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego, 1986). Phytoplankton samples were taken from depths corresponding to 100, 50, 25, 10 and 1% of the irradiance measured just below the sea surface (I_0). Primary productivity at depth (P_z) was estimated with the corresponding irradiance (I_z) and P-I curve (P-I curves are from Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego, 1986; and Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro, subm for publ); this gives productivity in $\text{mg Cm}^{-3}\text{h}^{-1}$ for noon. To obtain the integrated primary productivity, P_i ($\text{g Cm}^{-2}\text{d}^{-1}$), we first generated the P_z versus z curves for every hour, from the P-I curves, the light attenuation coefficient, and with I_0 as a function of time using the cosine equation proposed by Vollenweider (1965), as follows: with I_0 for noon ($I_{0\text{max}}$) we obtained I_0 for every morning hour from the equation $I_0 = 0.5 I_{0\text{max}} (1 + \cos 2 \pi t')$, where t' is a dimensionless time, with values $t' = -0.5$ at daybreak, $t' = 0$ at noon, and $t' = 0.5$ at nightfall; we then obtained I_z for each depth and hour, with the corresponding I_0 and Lambert-Beer's law; with I_z we obtained r' from the corresponding P-I curve, and multiplying this by the chlorophyll a concentration we obtained P_z ; this way we generated a P_z versus z curve for every morning hour; then we integrated these curves, summed up all the morning

tración de clorofila a obtuvimos P_z ; de esta manera generamos una curva P_z vs. z para cada hora de la mañana; integramos estas curvas, sumamos todos los valores de la mañana, y multiplicamos la suma por dos para obtener P_i . Este procedimiento implica el asumir que durante todo el día solar hay constancia de todas las variables y parámetros que controlan la productividad primaria, con excepción de la luz solar que incide en la superficie, y también implica asumir días claros. En la Tabla presentamos ambos datos: los valores de medio día para cada profundidad, y las P_i calculadas. Estas últimas deben tomarse como una primera aproximación.

En el Océano Pacífico abierto no se presentó una tendencia geográfica particular de variación de la profundidad de la zona eufótica. Las estaciones del Golfo de California tuvieron una zona eufótica más somera que las del Pacífico abierto; y las estaciones de invierno del Golfo tuvieron zonas eufóticas más someras que las de verano. Los valores de productividad primaria del Golfo fueron en general un orden de magnitud mayores que las del Pacífico abierto. En el Golfo, los valores de productividad de verano fueron en general mayores que los de invierno. Con la excepción de S1, todas nuestras estaciones del Golfo se localizaron en la región norte donde los efectos de mezcla por mareas y vientos, y de surgencias, son fuertes. La estación S1 tuvo la zona eufótica más profunda de nuestro conjunto de datos, y es más bien representativa del sur del Golfo. Las concentraciones de nutrientes en el Golfo fueron muy altas, y no fueron limitantes para la fotosíntesis (Alvarez Borrego y Gaxiola Castro, env. para publ.). En las estaciones del Pacífico abierto, los nutrientes fueron bajos para las aguas superficiales y subsuperficiales, aunque fueron altos para las partes profundas de la zona eufótica. Las estaciones L, N y O tuvieron las más bajas concentraciones de nutrientes, pero los números de asimilación del fitoplancton de L y N fueron relativamente altos (hasta de siete) e indicaron flujos de nutrientes a través de la termoclina y/o regeneración de nutrientes a través de pastoreo (Gaxiola Castro y Alvarez Borrego, 1986).

values, and multiplied the sum by two to obtain P_i . This procedure implies assuming constancy, during the whole solar day, of all variables and parameters controlling primary productivity, with the exception of light incident on the sea surface, and also implies assuming clear days. In the table we present both data: those corresponding to noon values for each depth; and the calculated P_i 's. The latter should be taken as rough approximations.

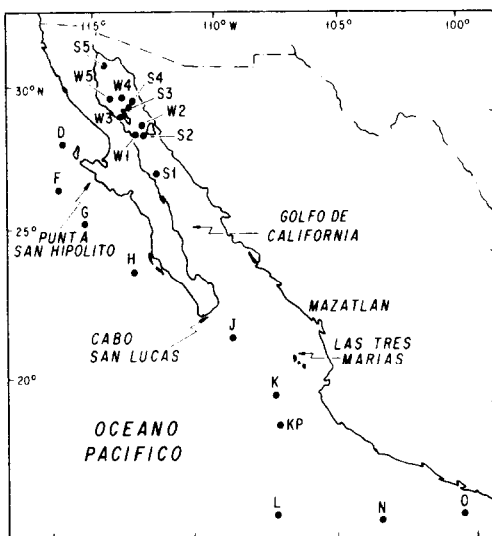


Figura 1. Localización de las estaciones.
Figure 1. Stations locations.

In the open Pacific Ocean there was no particular geographic trend of euphotic zone depth variation. Stations in the Gulf of California had shallower euphotic zone depths than those of the open Pacific; and winter Gulf stations had shallower euphotic zone depths than summer stations. Gulf of California primary productivity values were an order of magnitude greater than those of the open Pacific. In the Gulf, summer productivity values were in general higher than winter values. With the exception of S1, all of our Gulf stations were in the northern region where the effects of tidal mixing and winter storms are strong. Station S1 had the deepest euphotic zone of our whole data set and it is more representative of the southern Gulf.

Gaxiola Castro Gilberto.- Productividad Primaria

Tabla I. Productividad primaria para las profundidades muestreadas, Pz en mgC.m⁻³h⁻¹; y productividad integrada para el día y la zona eufótica, Pi en gC.m⁻²d⁻¹.

Table I. Primary productivity for sampled depths, Pz in mgC.m⁻³h⁻¹; and integrated productivity for the day and the euphotic zone, Pi in gC.m⁻²d⁻¹.

Sta.	Z(m)	Pz	Pi	Sta.	Z(m)	Pz	Pi	Sta.	Z(m)	Pz	Pi	Sta.	Z(m)	Pz	Pi
D	0	1.4	0.44	K	0	3.7	1.40	W1	0	15.2	1.86	S1	0	2.1	1.35
	7				9	5.0			4	15.6			12	3.4	
	14	1.2			18	4.6			8	8.9			25	3.0	
	23	1.4			31	2.6			13	3.6			41		
	46	0.1			61	0.2			25	1.4			82	0.1	
F	0	1.4	0.21	KP	0	2.2	0.41	W2	0	21.7	1.62	S2	0	35.0	4.37
	6	1.3			6	1.3			4	11.7			5	36.5	
	13	0.6			11	1.2			7	10.2			11	19.5	
	21	0.2			19	0.6			12	3.2			18	8.3	
	42	0.2			38	0.0			25	0.1			35	0.8	
G	0	1.2	0.27	L	0	1.1	0.30	W3	0	10.8	1.80	S3	0	29.3	4.30
	9				6	1.2			4	12.3			5	27.5	
	18	1.2			12	1.0			8	3.7			9	20.4	
	29				21				13	1.5			15	17.7	
	58	0.1			41	0.0			26	0.5			30	2.8	
H	0		0.08	N	0	1.7	0.54	W4	0	7.9	1.57	S4	0	3.8	1.80
	5	0.4			7	1.5			5	9.2			8	4.4	
	10	0.5			14	1.2			10	10.8			16	5.0	
	17	0.2			23	0.5			16	6.3			26	5.9	
	34	0.1			45	0.1			31	0.2			52	0.2	
J	0	0.4	0.19	O	0	1.2	0.48	W5	0	4.4	0.75	S5	0	6.0	2.25
	6	0.7			11	1.3			4	9.1			6	8.5	
	13	0.9			23	0.9			7	4.7			12	7.4	
	21	0.5			38	0.4			11	2.8			20	6.4	
	42	0.2			77	0.1			22	2.3			40	0.2	

La productividad a menudo presentó un máximo subsuperficial debido a la fotoinhibición del fitoplancton de superficie en mediodía en días claros. Este efecto se aprecia especialmente en las estaciones de verano del Golfo, pero también se muestra en algunas estaciones de invierno de ambos, el Golfo y el Pacífico abierto. Algunas veces la productividad de la profundidad correspondiente al 1% de I₀ fue muy alta. Tuvo un rango de 0.0 a 2.8 mgCm⁻³h⁻¹, el cual indica que a menudo el fondo de la zona eufótica es más profundo que la profundidad de 1% I₀.

Con muy pocos datos, Zeitzschel (1969) concluyó que la productividad primaria del Golfo de California es comparable a las de áreas como la Bahía de Bengala, las áreas de surgencia de Baja California occidental, o el Norte de Africa. Zeitzschel (1969) utilizó datos de productividad de incubaciones de

Nutrient concentrations in the Gulf were very high and not limiting to photosynthesis (Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro, *subm. for publ.*). In the open pacific stations, nutrients were in general low for surface and near surface waters, although they were high at the deepest portions of the euphotic zone. Stations L, N and O had the lowest nutrient concentrations, but assimilation numbers of phytoplankton from L and N were relatively high (up to seven) indicating nutrient fluxes through the thermocline and/or regeneration of nutrients through grazing pathways (Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego, 1986).

Productivity often presented a subsurface maximum because of photoinhibition of surface phytoplankton at noon on bright days. This effect was mainly shown in the Gulf summer stations, but it was also shown in some of the winter station, both in the Gulf

mediodía al anochecer, y reportó valores de productividad integrada para la región de la entrada del Golfo de 0.45-0.95 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para nov.-dic., 1968, y 0.002-0.08 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para mayo de 1960; para el sur del Golfo (23°-25°N) de 0.28-0.43 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para mayo de 1968; para el Golfo central (25°-28°N) de 0.17-0.28 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para mayo de 1968, y de 0.59-0.82 para diciembre de 1968; y para el norte del Golfo de 0.45-0.77 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para diciembre de 1968 (los datos de mayo de 1960 son de un reporte de datos de S10, 1967b; y los datos de mayo de 1968 son de Jitts, 1969; citados por Zeitzschel, 1969). Estos datos no son directamente comparables con los nuestros porque las incubaciones de corto período dan más altos valores que las de largo período, a menudo más que el doble (Carpenter and Lively, 1980). Nuestras estaciones más cercanas a la entrada del Golfo fueron J y K y sus P_i 's fueron 0.19 y 1.40 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$. La estación K tuvo la más alta P_i de los valores del Pacífico abierto; esto se debió a altas concentraciones de clorofila a y altos números de asimilación (Gaxiola Castro y Alvarez Borrego, 1986), además de una zona eufótica profunda. Nuestros P_i 's del Golfo fueron de tres a cinco veces los valores reportados por Zeitzschel (1969). Leet y Stevenson (1969) reportaron datos superficiales de productividad primaria para la región entre Mazatlán, Cabo San Lucas y las islas Las Tres Marías, con un rango de 5.2 a 10.0 $\text{mgCm}^{-3}\text{d}^{-1}$ para abril, 38.8 para junio; y 1.3 a 7.9 para agosto de 1967. El valor de junio se compara a nuestro valor superficial de la estación K (note que nuestro valor está dado en por hora y debe ser integrado para el día para compararlo); y el valor superficial de la estación J cae en el rango de agosto. Lara Lara et al. (1984) reportaron productividad integradas para el Golfo para marzo y octubre de 1983, un año con un evento fuerte de "El Niño". Ellos usaron un procedimiento de incubación similar al nuestro, con dos horas de incubación: sus valores son similares a los nuestros y muestran que en el centro del Golfo los efectos de "El Niño" están totalmente enmascarados por la fuerte dinámica local, principalmente mezcla por mareas y vientos, y surgencias. Nuestro muestreo fue realizado durante condiciones "Anti-El Niño", y de acuerdo a Quinn et al. (1978), los datos reportados por Zeitzschel

and open Pacific. Productivity of the 1% I_0 depth was sometimes very high. It had a range of 0.0 to 2.8 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$, indicating that often the bottom of the euphotic zone is deeper than the 1% I_0 depth.

With very limited data, Zeitzschel (1969) concluded that rates of primary productivity in the Gulf are comparable to those in areas such as the Bay of Bengal, the upwelling areas off the west coast of Baja California, or North Africa. Zeitzschel (1969) used primary productivity data from half-a-day incubations, and reported integrated productivity values for the entrance to the Gulf of 0.45-0.95 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ for Nov.-Dec., 1968, and 0.002-0.08 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ for May, 1960; for the southern Gulf (23°-25°N) of 0.28-0.43 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ for May, 1968; for the central Gulf (25°-28°N) of 0.17-0.28 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ for May, 1968, and of 0.59-0.82 for December, 1968; and for the northern Gulf of 0.45-0.77 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ for December, 1968 (May 1960 data are from S10 data report 1967b; and data from May 1968 are from Jitts, 1969; cited by Zeitzschel, 1969). These data are not directly comparable to ours because short-term incubations give greater production rates than long-term ones, often more than double (Carpenter and Lively, 1980). Our closest stations to the entrance to the gulf were J and K and their P_i 's were 0.19 and 1.40 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$. Station K had the highest P_i of our open Pacific stations; this was due to high chlorophyll a concentrations and high assimilation numbers (Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego, 1986), plus a deep euphotic zone. Our Gulf P_i 's were from three to five times those reported by Zeitzschel (1969). Leet and Stevenson (1969) reported surface primary productivity data for the region between Mazatlán, Cabo San Lucas and the Tres Marías islands, in the range 5.2-10.0 $\text{mgCm}^{-3}\text{d}^{-1}$ for April; 38.8 for June; and 1.3 to 7.9 for August 1967. The June 1967 value is comparable to our surface K station value (notice that our value is in per hour basis and has to be integrated for the day); and our surface J station value falls within their range for August, 1967. Lara Lara et al. (1984) reported integrated productivity data from the Gulf for March and October 1983, a year with a strong "El Niño" event. They used a ^{14}C

(1969) son también para años "Anti-El Niño" (1960, 1967 y 1968). Valdez-Holguín (1986) reportó valores de productividad muy altos para el Golfo para marzo de 1983, que indican un aumento de productividad durante el evento de "El Niño", especialmente en el sur del Golfo. Sin embargo, sus valores son cuestionables porque calculando razones de asimilación con sus datos de productividad y clorofila a , resultan valores mucho más altos que el máximo teórico propuesto por Falkowski (1981) de 25, con irradiancia óptima (los valores de Valdez-Holguín nos resultan tan altos como 35 para toda la zona eufótica, para la estación más al sur, cerca de Cabo San Lucas). Los números de asimilación (razones de asimilación bajo irradiancia óptima) más altos reportados por nosotros para el Golfo son 15 a 17 $\text{mgC}(\text{mg clor } a)^{-1}\text{h}^{-1}$, y disminuyen con la profundidad (Alvarez Borrego y Gaxiola Castro, env. para publ.).

Owen y Zeitzschel (1970) reportaron para el Pacífico Tropical Oriental un ciclo promedio anual con un rango de 0.134 a 0.32 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$, con un máximo de productividad al inicio de primavera y un pico secundario en agosto-septiembre (datos del programa EASTROPAC, 1967-1968, con incubaciones del mediodía al anochecer). Para la parte más al sur de nuestra área de estudio, ellos reportaron valores promedio de productividad de 0.14 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para diciembre-enero, 1967-68. Nuestros valores para las estaciones L, N y O son 0.30, 0.54 y 0.48 respectivamente. En general, nuestras P_i para el Sistema de la Corriente de California (estaciones D, F, G y H) fueron similares a las de la región Tropical (estaciones KP, L, N y O) a pesar de las más altas concentraciones de nutrientes en las aguas superficiales y subsuperficiales de las estaciones de la Corriente de California; el bajo valor de la estación H es una excepción, y se debe a las bajas concentraciones de clorofila a . Nosotros reportamos las más bajas concentraciones de clorofila a , de nuestro conjunto de datos, para la estación H (Gaxiola Castro y Alvarez Borrego, 1986). Nuestras estaciones de la Corriente de California están suficientemente alejadas de la costa como para no tener el efecto de surgencias; además, las surgencias son muy débiles durante el invierno. Walsh et al. (1974) reportaron una productividad media

incubation procedure like us, and their values are similar to ours, showing that in the central Gulf the "El Niño" effects are totally masked by the strong local dynamics, mainly tidal and wind mixing and upwelling. Our sampling was done during "Anti-El Niño" conditions, and according to Quinn et al. (1978) the data reported by Zeitzschel (1969) were also for "Anti-El Niño" years (1960, 1967 and 1968). Valdez-Holguín (1986) reported very high productivity values for the Gulf from March 1983, indicating an increase of productivity during the "El Niño" event, specially in the southern Gulf. However, his values are questionable because assimilation ratios calculated by us with his productivity and chlorophyll a concentrations are much higher than the theoretical maximum value of 25 proposed by Falkowski (1981) with optimum irradiance (Valdez-Holguín's values are up to 35 throughout the whole euphotic zone, for the southernmost station, close to Cabo San Lucas). Highest assimilation numbers for the Gulf phytoplankton reported by us are 15-17 $\text{mgC}(\text{mg Chl } a)^{-1}\text{hr}^{-1}$, and decrease with depth (Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro, subm for publ.).

Owen and Zeitzschel (1970) found that in the Eastern Tropical Pacific the average annual cycle ranged from 0.13 to 0.32 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$, with maximum productivity in early spring and a secondary peak in August-September (data from the EASTROPAC program, 1967-1968, with half-a-day incubations). For the southernmost part of our study area, they reported averaged productivity values of 0.14 $\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ for December-January, 1967-68. Our values for stations L, N and O are 0.30, 0.54 and 0.48 respectively. In general, our P_i values for the California Current System (stations D, F, G and H) were similar to those for the tropical region (stations KP, L, N and O), in spite of higher nutrient concentrations in surface and near surface waters of the California Current stations; the low value for station H is an exception, and it is due to low chlorophyll a concentrations. We reported the lowest chlorophyll a concentrations of our data set for station H (Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego, 1986). Our California Current System stations are far enough from the coast

de $7.1 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para un evento de surgencia (dos semanas) frente a Punta San Hipólito, Baja California. Estos altos valores se encuentran dentro de los primeros 30 km de la costa, y San Hipólito se ha distinguido por tener muy intensas surgencias con base en mapas que se usan para caracterizar los lugares de más altas concentraciones de nutrientes y de clorofila y más bajas temperaturas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo a través del convenio PCCBCNA-021069 y por permitirnos el uso de "El Puma". Agradecemos al Dr. Alberto Zirino su amable y entusiasta invitación para participar en los cruceros VARIFRONTII y III. También agradecemos a Manuel de Jesús Acosta Rufz, Eduardo Valdez Holguín y Eduardo Millán Núñez por su valiosa ayuda en el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

ALVAREZ-BORREGO S and Gaxiola Castro G (Subm for publ) Photosynthetic parameters of northern Gulf of California phytoplankton.

CARPENTER E J and Lively J S S (1980) Review of estimates of algal growth using ^{14}C tracer techniques. In: Falkowski (Ed), primary productivity in the sea. Plenum Press, New York.

FALKOWSKI P G (1981) Light-shade adaptation and assimilation numbers. J Plankton Research. 3:203-216.

GAXIOLA-CASTRO G and Alvarez-Borrego S (1986) Photosynthesis-irradiance relationship for winter phytoplankton in Pacific waters off Mexico. Oceanologica Acta. 9 (in press).

LARA-LARA J R, Valdez-Holguín J E and Jimenez-Pérez L C (1984) Plankton studies in the Gulf of California during the 1982-83 "El Niño". Trop Ocean Atmosph Newsletter. 28:16-17.

not to have the effect of upwelling; besides, upwelling is very weak during winter there. Walsh et al. (1974) reported a mean productivity of $7.1 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ for an upwelling event (two weeks) off San Hipolito point, Baja California. These high values are found within some 30 km from the coast, and San Hipolito is known to have very strong upwelling events on the basis of underway maps used to pinpoint the coldest temperatures and the highest concentrations of nutrients and chlorophyll.

ACKNOWLEDGMENT

We thank the National Council of Science and Technology of Mexico (CONACYT) for its support through grant PCCBCNA-021069 and for allowing us the use of R/V "El Puma". We are grateful to Dr. Alberto Zirino for his kind invitation to participate in VARIFRONT II and III cruises. Manuel de Jesús Acosta-Rufz, Eduardo Valdez-Holguín and Eduardo Millán-Núñez were very helpful during field work.

The author translated this paper into English.

LEET W S and Stevenson M R (1969) Oceanographic observations for the Mazatlán project: October 1966-August 1967. Data Report Inter-Am. Trop Tuna Comm. 3. 249pp.

OWEN R W and B Zeitzschel (1970) Phytoplankton production: seasonal change in the oceanic eastern tropical Pacific. Marine Biology. 7:32-36.

QUINN WH, Zopf D O, Short K S and Kuo Yang R T W (1978) Historical trends and statistics of the southern oscillation, "El Niño, and Indonesian droughts. Fish. Bull. 76(3):663-678.

VALDEZ-HOLGUIN JE (1986) Distribución de la biomasa y productividad del fitoplancton en el Golfo de California durante el evento de "El Niño" 1982-1983. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, B.C. Ensenada, Baja California, México. 92 pp.

VOLLENWEIDER R A (1965) Calculation models of photosynthesis-depth curves and some implications regarding day rates estimates in primary productivity measurements. In: C R Goldman (ed) Primary productivity in aquatic environments, Univ California Press, Berkeley, pp. 425-457.

WALSH J J, Kelley J C, Withledge T E, Mac-Isaac J J and Huntsman S A (1974) Spin-up of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnol and Oceanogr* 19(4):553-572.

ZEITZSCHEL B(1969) Primary productivity in the Gulf of California. *Marine Biology*. 3:201-207.