

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTÍFICA Y DE
EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA

VARIACION DE DIA A DIA DE LOS PARAMETROS
FOTOSINTETICOS DEL FITOPLANCTON EN UNA
ZONA DE SURGENCIA COSTERA

TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS

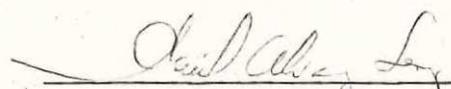
Guillermo Torres Moya

RESUMEN de la Tesis de Guillermo Torres Moya, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en OCEANOGRAFIA con opción en ECOLOGIA MARINA.

Ensenada, Baja California, México. Abril de 1985.

VARIACION DE DIA A DIA DE LOS PARAMETROS FOTOSINTETICOS DEL FITOPLANCTON EN UNA ZONA DE SURGENCIA COSTERA.

Resumen aprobado por:


Dr. Saúl Alvarez Borrego
Director de Tesis.

Se realizaron experimentos diarios mediante incubaciones con ^{14}C con muestras de agua superficial durante 21 días en la región costera adyacente a Bahía San Quintín, B.C., México, para generar curvas de fotosíntesis del fitoplancton versus irradiancia (P-I), utilizando luz solar natural. Los parámetros de la ecuación de Platt et al. (1980) se ajustaron a los datos de cada experimento. Se analizaron los cambios en los parámetros de la ecuación P-I y los de algunas variables físicas, químicas y biológicas, así como los del número de asimilación obtenido en experimentos paralelos con quelante sintético (Na_2 EDTA). La pendiente inicial alfa y el número de asimilación (pbm) presentaron variaciones conjuntas cambiando hasta tres veces su valor durante el período de estudio. El factor "acondicionamiento químico" del agua muestreada añadiéndole el quelante, no contribuyó significativamente a la varianza de la productividad primaria. El nanoplancton fué el grupo de mayor importancia al ocurrir siempre en mayor abundancia y

con menor variabilidad que las diatomeas y los dinoflagelados. Las células fitoplanctónicas del agua superficial mostraron sensibilidad a la fotoinhibición a altas irradiancias durante todo el período de experimentación, presentando razones de asimilación a la irradiancia superficial que reciben in situ consistentemente menores que sus números de asimilación; es decir, el número de asimilación siempre se presentó a irradiancias menores que la que incide inmediatamente por debajo de la superficie.

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISION DE OCEANOLOGIA

VARIACION DE DIA A DIA DE LOS PARAMETROS FOTOSINTETICOS DEL
FITOPLANCTON EN UNA ZONA DE SURGENCIA COSTERA.

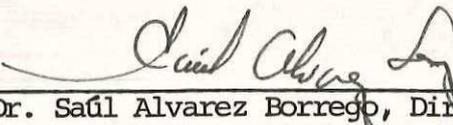
T E S I S

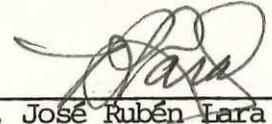
que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para
obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta

GUILLERMO TORRES MOYE

Ensenada, B.C., abril de 1985.

TESIS APROBADA PARA SU DEFENSA POR:


Dr. Saúl Alvarez Borrego, Director del Comité


Dr. José Rubén Lara Lara, Miembro del Comité

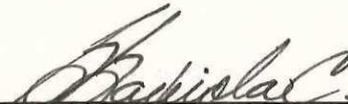

M.C. Anamaría Escofet Giansone, Miembro del Comité


M.C. José González Valdez, Miembro del Comité


M.C. Francisco Suárez Vidal, Miembro del Comité


Dr. José Rubén Lara Lara, Jefe del Departamento de Ecología Marina


Dra. María Luisa Argote Espinoza, Directora de la División de Oceanografía


M.C. Gilberto Gaxiola Castro, Director Académico Interino

Tesis presentada en Abril 29 de 1985

DEDICATORIA

A MI PADRE Por su filosofía, impulso y visión de la necesidad
de hombres preparados en México.

A MI MADRE Por su espíritu de lucha, ejemplos, confianza y
apoyo que siempre me ha brindado.

A MIS HERMANAS Y HERMANOS

A MI ESPOSA Por tu alegría, paciencia, amor y compañía.

A MIS HIJOS Sonrisas estimulantes

A todas aquellas personas que se preocupan por alcanzar una mejor preparación profesional, con los sacrificios que lleva implícita:
mis respetos.

A G R A D E C I M I E N T O S

Son muchas las personas que de alguna forma contribuyeron para la realización de este trabajo.

Agradezco al Dr. Sául Alvarez Borrego el apoyo que siempre me brindó así como sus enseñanzas y críticas.

El trabajo de campo se logró gracias a la ayuda y compañía del Dr. Santos Silva Cota, M.C. Gilberto Gaxiola C., Ricardo Pérez E. y Juan Sidón.

Agradezco al P.O. Carlos Melendez C. su ayuda en el análisis de nutrientes y a José Ma. Domínguez por la realización de los dibujos.

Finalmente agradezco a mi esposa y dos hijos su paciencia y comprensión, otorgándome el tiempo que a ellos corresponde.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I.- INTRODUCCION	1
I.1.- Antecedentes.....	5
I.2.- Objetivos.....	6
I.3.- Area de estudio.....	7
II.- MATERIALES Y METODOS	9
III.- RESULTADOS	14
III.1.- Variables físicas, químicas y biológicas superficiales..	14
III.2.- Parámetros fotosintéticos superficiales.....	25
III.3.- Parámetros fotosintéticos, variables físicas, químicas y biológicas subsuperficiales (30 m).....	34
IV.- DISCUSION.....	36
V.- CONCLUSIONES.....	50
VI.- LITERATURA CITADA.....	52

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Localización de la zona de estudio con ubicación de la estación de muestreo (), termógrafos (*) y laboratorio (▲).	8
2	Registro continuo de temperatura para la boca de Bahía San Quintín, B.C. Las flechas limitan el período de muestreo.	15
3	Series de tiempo de: a) altura de marea para Bahía San Quintín, B) y C) variables físicas y químicas superficiales en la estación de muestreo durante el período de estudio.	17
4	Series de tiempo de: a) clorofila a y feopigmentos superficiales, b) nitratos y nitritos superficiales, c) silicatos y fosfatos superficiales en la estación de muestreo durante el período de estudio.	20

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
5	Cambios diarios en la abundancia de los grupos taxonómicos principales del fitoplancton superficial, en la estación de muestreo.	22
6	Serie de tiempo de los parámetros fotosintéticos superficiales y razón de asimilación (en 86% de irradiancia), durante el período de estudio.	27
7	Curvas fotosíntesis-irradiancia para agua superficial en los distintos días de muestreo (Pb en mg C. (mg clorofila a) ⁻¹ h ⁻¹).	29
8	Curvas fotosíntesis-irradiancia para agua superficial en los distintos días de muestreo (Pb en mg C. (mg clorofila a) ⁻¹ h ⁻¹).	30
9	Curvas fotosíntesis-irradiancia para agua superficial (a,b) y subsuperficial (b) en los distintos días de muestreo (Pb en mg C. (mg clorofila a) ⁻¹ h ⁻¹).	31

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I	Resumen estadístico de las variables físicas, químicas y biológicas. El símbolo (*) señala aquellas variables en las cuales los días 15, 16, 17 y 24 de Junio fueron significativamente diferentes (95% conf.) con el resto.	16
II	Coefficientes de correlación lineal simple de las variables físicas, químicas y biológicas superficiales medidas. Los valores con asterisco (*) son significativamente diferentes de cero a un 99% de confianza.	24
III	Resumen estadístico de los parámetros fotosintéticos de agua superficial durante el período de estudio.	26
IV	Coefficientes de correlación lineal simple para los parámetros fotosintéticos de agua superficial. El asterisco (*) señala aquellos significativamente mayores de cero a un 99% de confianza.	33
V	Valores de los parámetros fotosintéticos, variables físicas, químicas, biológicas y grupos fitoplanctónicos en agua subsuperficial (30m).	35

I.-INTRODUCCION

El interés del hombre por incrementar su conocimiento y mejorar la explotación de las regiones costeras, lo han llevado a estudiarlas detenidamente. Las regiones costeras son sistemas mas variables que las oceánicas en su hidrografía, repercutiendo esta variabilidad en los procesos biológicos que allí se desarrollan.

La productividad primaria del fitoplancton marino es una de las variables ecológicas más importantes en el océano porque determina el inicio de la red alimenticia, por lo cual resulta de suma importancia su estudio así como de los factores que contribuyen a su cambio.

Las comunidades marinas mas productivas se encuentran en lugares en donde se presentan discontinuidades en los campos físicos, como sistemas de surgencias, areas sobre la plataforma continental y frentes oceánicos (Cote y Platt,1983). La mayoría de los estudios de productividad primaria han sido referidos a estimaciones puntuales en diversas regiones del océano, siendo pocos los trabajos que se han enfocado al estudio de la dinámica de período corto de los ecosistemas marinos (ejem. MacCaull y Platt,1977; Walsh et al.,1977;Coté y Platt,1983).

En los ecosistemas de surgencias costeras la existencia de altas concentraciones de nutrientes es base de la ocurrencia de poblaciones de fitoplancton con velocidades de crecimiento altas si la luz es óptima (Barber y Smith,1981).

A pesar de los esfuerzos realizados por investigadores dedicados al estudio del fitoplancton marino, es difícil cuantificar por separado los efectos de distintos factores (químicos, biológicos y físicos), los cuales actuando conjuntamente controlan la producción del fitoplancton.

La idea de que las concentraciones de nutrientes y la disponibilidad de energía luminosa rigen la producción primaria del ecosistema ha cambiado. Barber y Smith (1981), enfatizaron que el caracter productivo dependerá de lo que esté presente en la masa de agua aflorada cuando alcance la superficie, así como de su acondicionamiento. Dicho acondicionamiento ha sido atribuido a la presencia de quelantes, los cuales actúan como amortiguadores de metales liberando iones al medio al ser removidos por los organismos incrementando su disponibilidad (ejem. Fe), así como en condiciones óptimas evitando que se alcancen los niveles tóxicos (Muntsman y Sunda,1980).

La adición de quelantes sintéticos como Na2EDTA en incubaciones de muestras de agua subsuperficial, ha demostrado mejorar la calidad del agua incrementando el crecimiento del

fitoplancton presente (Barber et al., 1971).

Estudios recientes han destacado la importancia primordial de los procesos físicos (turbulencia, circulación Langmuir y ondas internas), tanto sobre la estructura de las comunidades fitoplanctónicas (Margalef, 1979 ; Smith et al., 1983), así como en la producción primaria (Marra, 1980 ; Denman y Garret, 1983).

Platt y Jassby (1976), propusieron una forma de estudio del control ambiental sobre los procesos de producción primaria, basada en cambios en la relación fundamental entre fotosíntesis y luz (curva P-I), bajo condiciones ambientales distintas.

La relación entre la fotosíntesis del fitoplancton e irradiancia luminosa se comporta generalmente como una curva en donde existe un incremento inicial más o menos lineal en la fotosíntesis con la iluminación creciente seguido por un máximo a irradiancias intermedias (P_m), el cual normalizado por unidad de clorofila se conoce como número de asimilación (P_{bm}), y una disminución final en irradiancias de luz altas.

La curva P-I es piedra angular dentro del estudio de la ecología del fitoplancton. Es empleada para analizar las respuestas de adaptación del fitoplancton a condiciones ambientales y en el modelado integral de la fotosíntesis con la

profundidad en la columna de agua (Yentsch, 1930).

Se han empleado diversas expresiones para describir la relación entre la razón de fotosíntesis y la irradiancia, pero es solo recientemente que se han desarrollado modelos que simulan recilistamente la fotosíntesis del fitoplancton en respuesta a una variedad de factores ambientales (Radford et al., 1981).

Platt et al. (1980), introdujeron una ecuación empírica que describe la fotosíntesis fitoplanctónica como una función continua de la luz disponible desde la respuesta lineal inicial incluyendo el rango de fotoinhibición en los niveles de irradiancia altos. Dicha ecuación mostró su versatilidad empleándose en comunidades naturales de fitoplancton del Artico, en el Atlántico frente a Canadá y en las plataformas continentales de Nueva Escocia y Perú. La ecuación es:

$$P_L = P_{bs} [1 - \exp(-\alpha I / P_{bs})] \exp(-\beta I / P_{bs}) \quad (1)$$

en donde P_L es la producción primaria expresada por unidad de clorofila ($mg \ C/h/mg \ chlor.a$), P_{bs} es la razón de fotosíntesis máxima potencial si no hubiera fotoinhibición (mismas unidades que P_L), α es la pendiente a bajas irradiancias ($mg \ C/h/mg \ chlor.a/Wm^{-2}$) y β que tiene las mismas unidades que α , es el parámetro que caracteriza los procesos de fotoinhibición.

Los cambios en los parámetros que caracterizan la relación P-I en poblaciones fitoplanctónicas naturales corresponden a características fisiológicas de los organismos, pueden ser relacionados a cambios en las variables ambientales (luz, nutrientes, temperatura etc.), empleándose esta covarianza para conocer la importancia relativa de las variables ambientales en la regulación de la fotosíntesis (Harrison y Platt, 1980).

Cote y Platt (1984), señalan la ventaja de emplear los parámetros de la ecuación P-I, sobre el análisis tradicional de emplear la producción por unidad de clorofila a una determinada irradiancia.

En el presente estudio se analizan los cambios en los parámetros de la relación P-I así como los de algunas variables físicas, químicas y biológicas ocurridos en un lapso de 22 días para una región costera. Asimismo se analiza el efecto del acondicionamiento, empleando Na₂EDTA para estimar la importancia que pudiera tener la presencia ó ausencia de quelantes en el medio.

I.1.) Antecedentes

Las características fisiológicas de las poblaciones naturales del fitoplancton marino varían con el tiempo, siendo los cambios estacionales sobre los cuales existe mayor información. Poco se conoce sobre la variabilidad del fitoplancton en la escala de días. En un estudio realizado en la Bahía de Bedford en 1963, Coté y Platt, mostraron que los fenómenos atmosféricos episódicos fueron un factor importante en la dinámica de tiempo corto (días), sobre la productividad del fitoplancton.

La mayoría de los trabajos realizados en la región costera cercana a la Bahía de San Quintín E.C., se refieren a análisis del sistema de surgencias costeras empleando propiedades físicas (Darton y Argote, 1980) ó químicas (Torres-Moye, 1982).

I.2.) Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son describir y analizar el grado de asociación entre los parámetros de la ecuación P-I (Platt et al., 1980) y los cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica, con algunas variables físicas, químicas y biológicas obtenidas durante 22 días en una región costera. Así como determinar la importancia del

acondicionamiento de el agua muestreada, empleando para ello el quelante sintético Na_2EDTA .

1.3.) Area de estudio

La región de estudio se localiza en la parte externa de la boca de la Bahía de San Quintín (fig.1). Dicha Bahía se encuentra entre $30^{\circ} 24' - 30^{\circ} 30' \text{ N}$ y $115^{\circ} 57' - 116^{\circ} 01' \text{ W}$ en la costa del Pacífico, Baja California.

Lara-Lara et al., (1980) la describen como un cuerpo de agua altamente productivo asociado a los eventos de surgencia de la región costera adyacente, reportando valores de productividad tan altos como $13.8 \text{ mg C/h/m}^3 \text{ clor.a.}$ Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982), trabajando con registros continuos de temperatura en la boca de la bahía, reportaron la presencia de surgencias intensas durante la primavera y el verano, con períodos de intensificación de una semana a diez días. Durante los períodos de surgencias intensas, las temperaturas en la boca alcanzan a ser menores de 12 grados centígrados, con porcentajes de saturación de oxígeno cercanos al 60% (Lara-Lara et al., 1980).

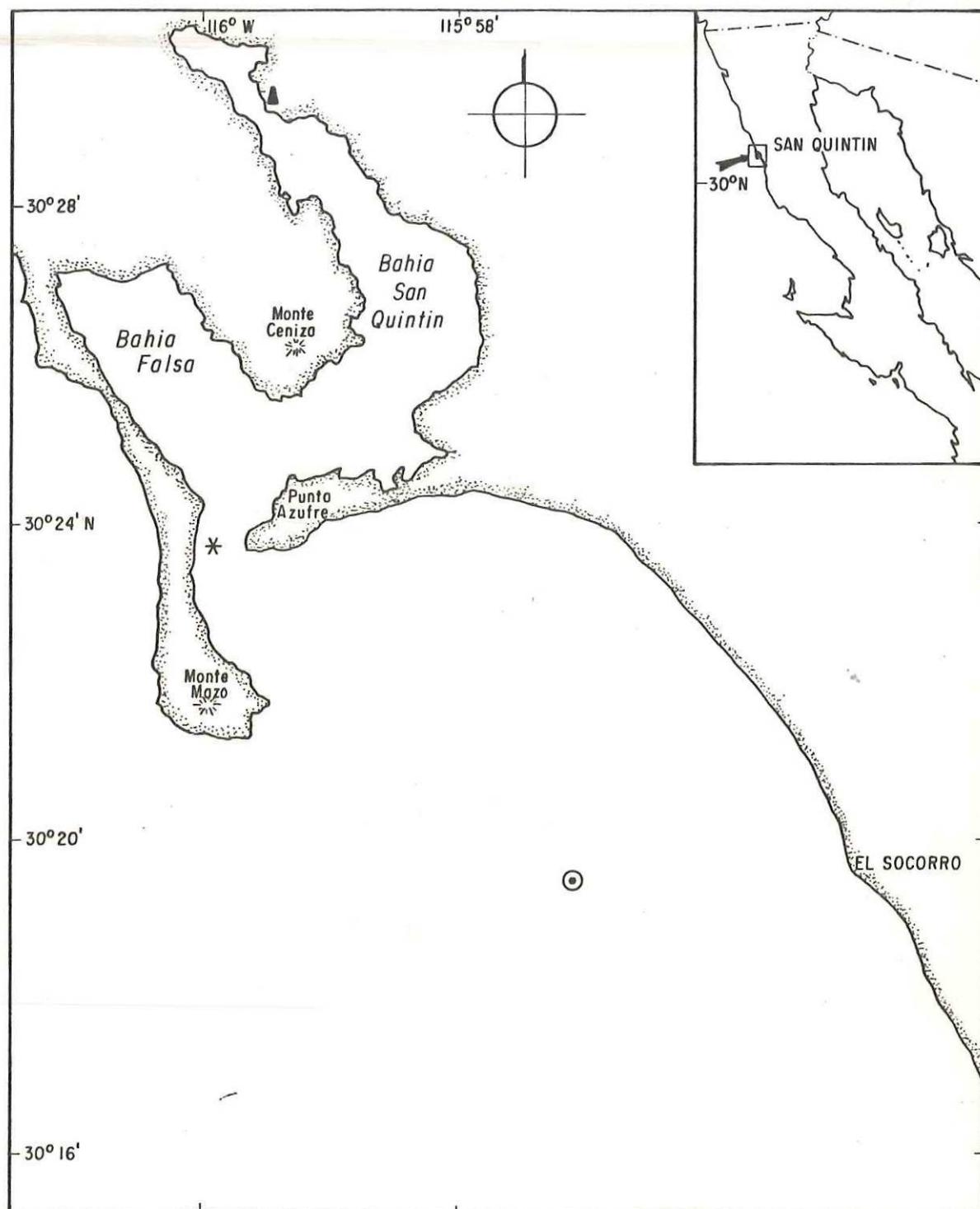


Fig.1.- Localización de la zona de estudio , con ubicación de la estación de muestreo (⊙), termógrafos (✱) y laboratorio(▲)

II.-MATERIALES Y METODOS

El período de estudio abarcó del 7 al 28 de Junio de 1984.

Para tener un registro continuo de la ocurrencia de eventos de surgencia antes, durante y después del período de estudio, se instalaron 2 termógrafos Peabody Ryan en un punto cercano a la boca de la bahía (fig.1), los cuales estuvieron registrando la temperatura aproximadamente a 3 m de profundidad desde el 29 de Abril hasta el 25 de Agosto del mismo año.

Con el fin de muestrear agua de la región costera adyacente a la bahía, se seleccionó un lugar alejado aproximadamente 6 kilómetros de la boca de la bahía, dicha estación fue visitada diariamente.

La ocupación de la estación de muestreo se realizó a las 7:30 AM, en donde se midió la temperatura superficial (0.5 m). Asimismo se tomaron muestras directas de agua a 2 m de profundidad para determinaciones de oxígeno disuelto y con cubeta de plástico se tomó agua superficial (primeros 0.5 m) pasándose por una malla de 200 micras para eliminar el macrozooplankton presente, vaciándose con cuidado en un recipiente de plástico cubierto con tela oscura y húmeda con

el fin de evitar daño a las células por exposición a la radiación solar superficial y evitar su calentamiento. Posteriormente el recipiente fué llevado al laboratorio instalado en el interior de la bahía (fig.1). A las 11:00 AM se tomaron réplicas para análisis de nutrientes, pigmentos fotosintéticos, fitoplancton, salinidad, pH y para las incubaciones con carbono catorce para estimar producción primaria.

Las mediciones de temperatura superficial se hicieron con termómetro de cubeta (con precisión de 0.1 C). Las muestras para análisis de nutrientes (fosfatos, nitritos, nitratos y silicatos), se filtraron a través de filtros millipore con un poro de 0.45 micras, pasándose a congelar inmediatamente siendo analizadas posteriormente con un autoanalizador Scientific Instruments. Las muestras para los pigmentos fotosintéticos se filtraron con filtros Whatman de 0.45 micras, congelándose en discos de Petri oscurecidos con papel aluminio y analizándose la clorofila a y feopigmentos con un fluorómetro Turner según la técnica descrita por Edler (1979).

El oxígeno disuelto se analizó en el campo siguiendo la técnica Winkler modificada (Marine Technician's Handbook, 1971).

Las muestras de fitoplancton se preservaron con solución de formaldehído al 4% y lugol (Edler, 1979), analizándose por

grupos taxonómicos dominantes siguiendo la técnica Utermohl (1958). El pH se analizó con un potenciómetro Orion modelo 611 y la salinidad se obtuvo empleando un salinómetro-conductímetro marca Kahlsico.

A partir de los datos de temperatura y salinidad, se calcularon los valores de solubilidad de oxígeno empleando el nomograma modificado de Carpenter (Gilbert et al., 1967). Posteriormente se calculó el porcentaje de saturación de oxígeno del agua muestreada, dividiendo el valor medido entre la solubilidad y multiplicándolo por cien. Además, los días 25 y 26 de Junio se muestreó agua subsuperficial (30 m), con botella Niskin, analizándose las variables físicas, químicas y biológicas de la misma forma que las superficiales.

Para obtener las relaciones P-I se hicieron 21 incubaciones con luz solar (del 8 al 28 de Junio). En el laboratorio instalado en el interior de la bahía se instalaron tubos de plástico cubiertos con malla simulando los porcentajes de irradiancia del 86, 60, 32, 14, 3, 2, y 1% de la irradiancia incidente con circulación interior de agua bombeada de la bahía, incubándose las muestras por quintuplicado con 0.5 microcuries de carbono radiactivo en todos los tubos exceptuando las irradiancias del 60 y 2% de luz las cuales se hicieron por triplicado. Las incubaciones se efectuaron en promedio durante 2.5 horas correspondiendo estas a las de

máxima irradiación solar (11:00 a 13:30 hrs.). Tiempo durante el cual se monitoreó la temperatura de incubación y se registraron los cambios de irradiación ambiental empleando un actinógrafo marca Kahlsico y lecturas cada 15 min. con un fotómetro marca Kahlsico No. 265WA310. Además, se incluyeron 3 muestras del agua superficial muestreada añadiéndole Na_2EDTA hasta una concentración final de 1.0 Molar en el tubo del 32% de luz con el fin de compararlas con aquellas incubadas a la misma irradiación sin el quelante.

Después del tiempo de incubación, las muestras se pasaron a través de filtros de membrana de 0.45 micras de porosidad para retener el fitoplancton presente. Los filtros se expusieron a vapores de ácido clorhídrico concentrado durante diez segundos para eliminar el exceso de carbono radiactivo no fijado. Posteriormente los filtros se colocaron en frascos para centelleo de 20 ml de capacidad con 15 ml de una solución de aquasol haciendo después el conteo de radiaciones por el método de centelleo líquido. Las mediciones de conteos por minuto de radiaciones beta se hicieron con un contador Beckman LS-100c en la Institución Scripps de Oceanografía de la Universidad de California, San Diego. La productividad primaria se estimó de acuerdo con el método descrito por Steemann Nielsen (1952) y los cálculos finales de carbono asimilado se hicieron con la ecuación de Strickland y Parsons (1972).

Los valores de productividad primaria fueron normalizados por unidad de clorofila a , con el fin de evitar la variabilidad debida a las distintas concentraciones de clorofila a .

Los valores diarios de alfa del modelo de Platt et al. (1980), fueron calculados en base a una regresión lineal sencilla entre la irradiancia (Watt/m^2) y la producción normalizada (P_b), para irradiancias bajas de luz (1, 2 y 3%) donde el ajuste entre producción e irradiancia probó ser lineal. Los valores diarios del no. de asimilación (P_{bn}) fueron calculados en base a las curvas P-I, tomando el valor medio de los puntos en la irradiancia cuya producción primaria fué más alta.

Para calcular los parámetros P_{bs} y beta, se hizo un ajuste por el método de mínimos cuadrados no lineales para minimizar los valores de Chi-cuadrada calculados en base al método de búsqueda en la malla (Devington, 1969), manteniendo alfa constante en cada caso. A partir de los valores de P_{bs} y beta, se calculó el índice de fotoinhibición I_b como el cociente de P_{bs} entre beta, éste fué utilizado preferentemente sobre beta, ya que beta está sujeto a la amplitud de P_{bs} , siendo I_b un indicador sensible a la historia de luz previa de las células fitoplanctónicas. Valores pequeños del índice sugieren una alta fotoinhibición (Platt y Gallegos, 1980).

III.- RESULTADOS

III.1.) Variables físicas, químicas y biológicas superficiales

En la figura 2, se muestran los cambios del registro continuo de temperatura ocurridos del 28 de Abril al 25 de Agosto de 1984 a 3 m de profundidad en la boca de Bahía San Quintín. Las temperaturas mínima y máxima registradas fueron de 12.8 y 21.7 grados centígrados ocurridas los días 3 de Mayo y 20 de Julio respectivamente. La serie de tiempo muestra cambios semidiurnos de la temperatura con amplitud variable, así como cambios de una frecuencia menor (del orden de días), con temperaturas menores a los 15 grados a principios y a mediados del mes de Mayo y mayores en los días restantes.

La tabla I, contiene un resumen estadístico de las variables fisicoquímicas y biológicas superficiales, el cual se presenta con el fin de poder resumir aspectos importantes relacionados con su variabilidad.

En la figura 3, se muestran los cambios de altura de marea en Bahía San Quintín (tomados del grupo de mareografía del C.I.C.E.S.E.), así como los de temperatura, salinidad, oxígeno

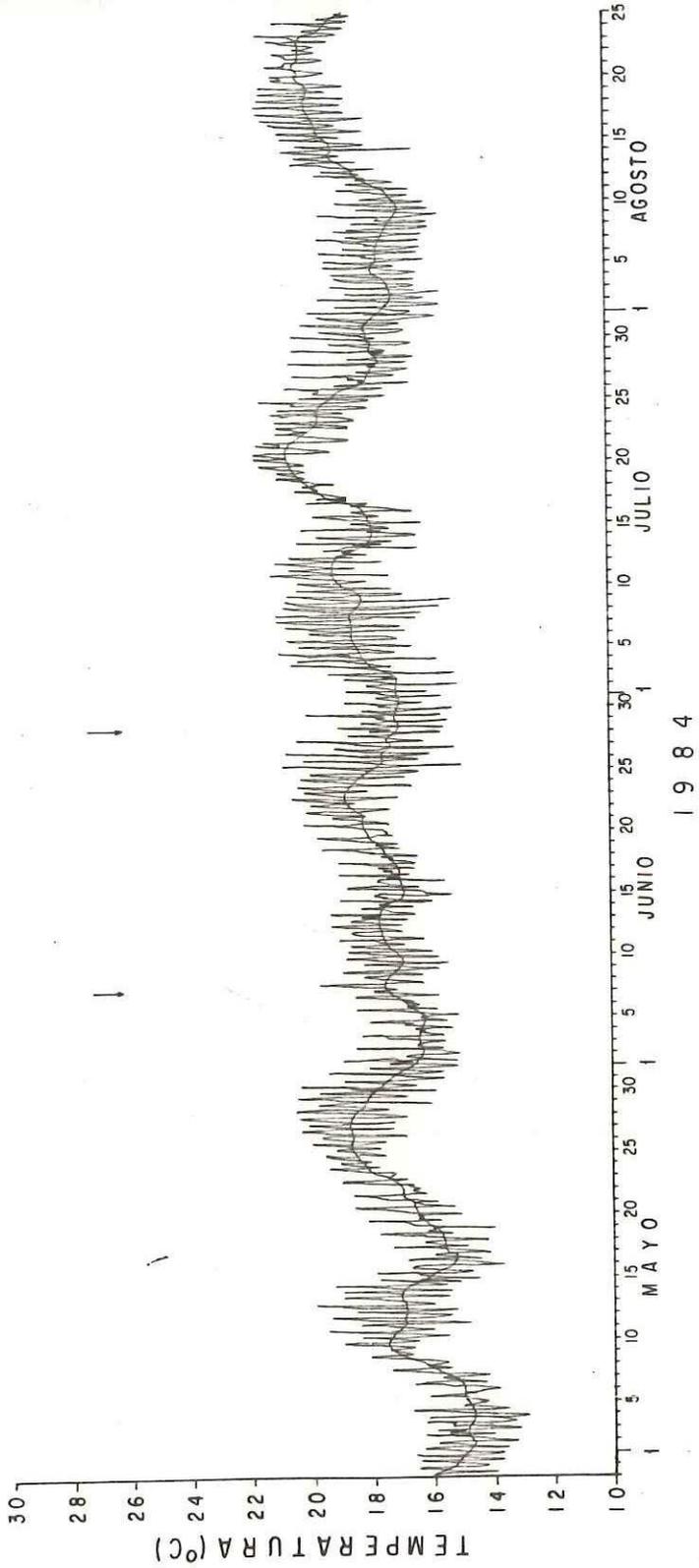


Fig.2.- Registro continuo de temperatura para la boca de BAHIA SAN QUINTIN, B.C.

Las flechas ↓ limitan el periodo de muestreo.

TABLA I.- Resumen estadístico de las variables físicas, químicas y biológicas. El símbolo (*) señala aquellas variables en las cuales los días 15,16,17 y 24 de junio fueron significativamente diferentes (95% conf.) con el resto.

VARIABLE	UNIDADES	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VARIACION (%)	RANGO
TEMPERATURA	°C	16.11	0.51	3.17	14.90 - 16.90 *
SALINIDAD	‰	33.09	0.23	0.70	32.64 - 33.52
OXIGENO DISUELTO	ml · l ⁻¹	5.83	0.23	3.95	5.46 - 6.26 *
% DE SATURACION DE OXIGENO	%	102.55	4.86	4.74	94.80 - 110.60 *
FOSFATOS	μ M	0.66	0.30	45.45	0.41 - 1.84 *
NITRATOS	μ M	1.22	1.18	96.72	0.13 - 3.37 *
NITRITOS	μ M	0.11	0.12	109.09	0.0 - 0.43 *
SILICATOS	μ M	7.46	0.89	11.93	5.88 - 9.76
CLOROFILA A	mg · m ⁻³	1.17	0.39	33.33	0.59 - 1.95
FEOPIGMENTOS	mg · m ⁻³	0.33	0.10	30.30	0.11 - 0.62
DIATOMEAS	No · ml ⁻¹	5.60	5.60	100.00	0.55 - 24.61
DINOFLAGELADOS	No · ml ⁻¹	2.96	5.02	166.66	0.27 - 23.65
NANOPLANCTON	No · ml ⁻¹	156.00	97.00	62.17	22.74 - 451.32

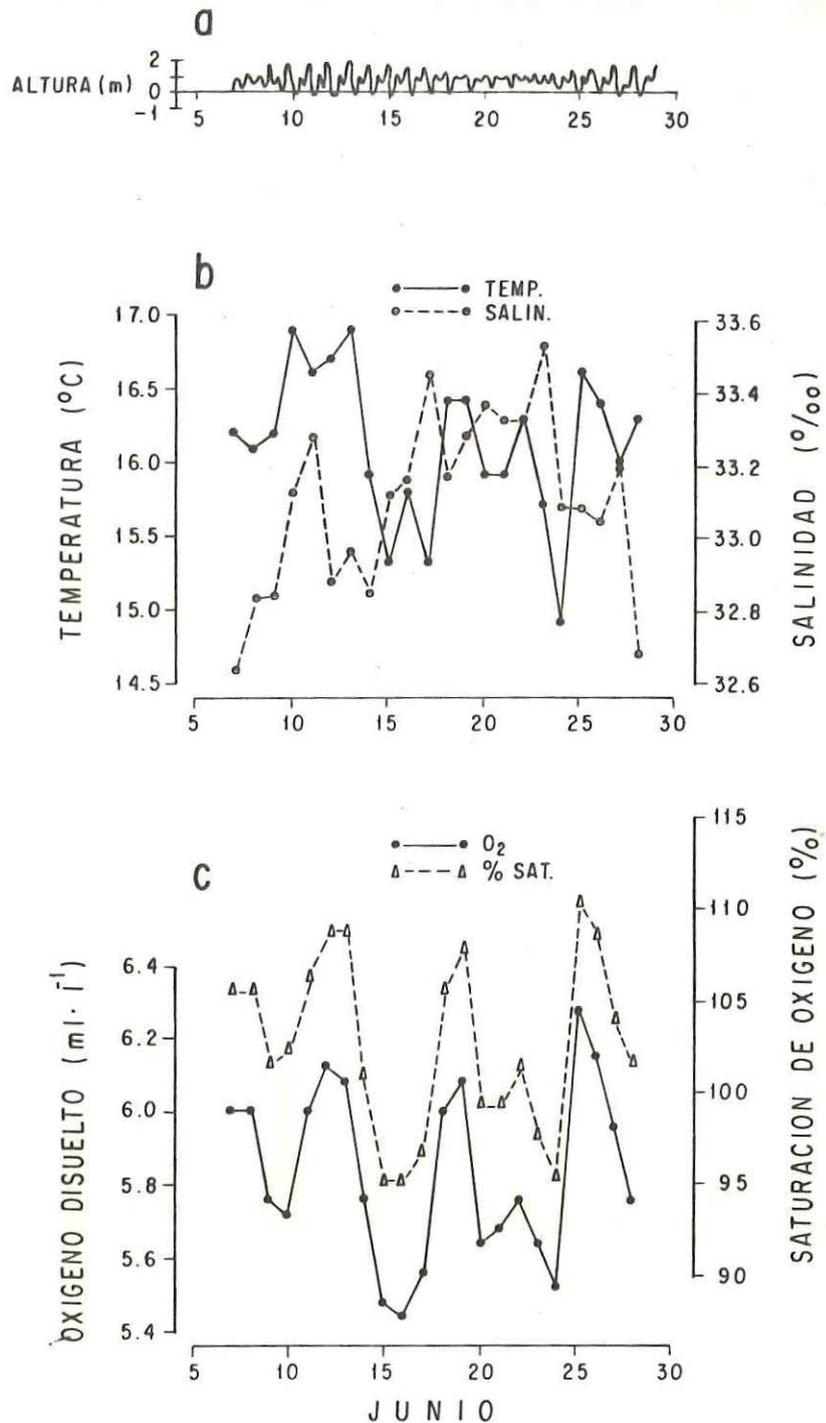


Fig. 3 - Series de tiempo de : a) altura de marea para Bahía San Quintín, b) y c) variables físicas y químicas superficiales en la estación de muestreo durante el período de estudio.

disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno ocurridos del 7 al 28 de Junio en la estación de muestreo. Los cambios presentados en la altura de marea (fig.3a), fueron del tipo mixto, con dos mareas altas y dos bajas ocurridas diariamente. Los periodos comprendidos entre los días 10-18 y 25-28 se caracterizaron por tener las mareas mayores con valores negativos, ocurriendo mareas menores siempre positivas el resto de los días. La temperatura (fig.3b), presentó cambios con valores menores a los 15.5 grados centígrados los días 15, 17 y 24 de Junio y mayores en los días restantes. Su valor mínimo fué de 14.9 el día 24 y su máximo de 16.9 grados centígrados ocurriendo los días 10 y 13 de Junio, presentando un coeficiente de variación de 3.17% (tabla I).

De todas las variables físicas, químicas y biológicas analizadas, la salinidad (fig.3b), presentó el coeficiente de variación menor (0.70%, tabla I). Su valor mínimo fué de 32.64‰ ocurrido el día 7 y el máximo 33.52‰ en el día 23.

Los cambios detectados en el oxígeno disuelto (fig.3c), muestran dos descensos principales, con valores menores de 5.56 ml/l los días 15, 16, 17 y 24 y mayores en los días restantes. Los valores mínimo y máximo fueron de 5.46 y 6.26 ml/l ocurridos los días 16 y 25 de Junio respectivamente, presentando un coeficiente de variación de 3.95% (tabla I).

Los cambios detectados en el porcentaje de saturación de oxígeno (fig.3c), presentaron un comportamiento similar al del oxígeno disuelto. Observándose un primer descenso con valores menores al 97 % los días 15, 16 y 17 y un segundo ocurriendo aislado el día 24 de Junio. El valor mínimo detectado fué de 94.80% ocurrido los días 15, 16 y 24, y el máximo de 110.60% el día 25 de Junio, con un coeficiente de variación para todos los datos de 4.74% (tabla I).

La clorofila a (fig.4a), cambió de manera irregular teniendo un coeficiente de variación de 33.33% (tabla I). Sus valores mínimo y máximo fueron de 0.59 y 1.95 mg/m³, ocurridos los días 10 y 23 de Junio respectivamente.

Los feopigmentos (fig.4a), presentaron una variación similar a la de la clorofila a, teniendo un coeficiente de variación de 30.30% Sus valores mínimo y máximo fueron de 0.11 y 0.62 mg/m³, ocurridos los días 10 y 7 de Julio respectivamente.

La serie de tiempo de los nitratos (fig.4b), muestra dos incrementos principales con concentraciones mayores de 1.5 micromolar. El primero ocurrió los días 15, 16 y 17, seguido por un descenso de los valores y un segundo incremento del día 20 al 24. Los nitritos (misma figura), presentaron cambios similares a los de los nitratos. Con valores mayores de 0.1

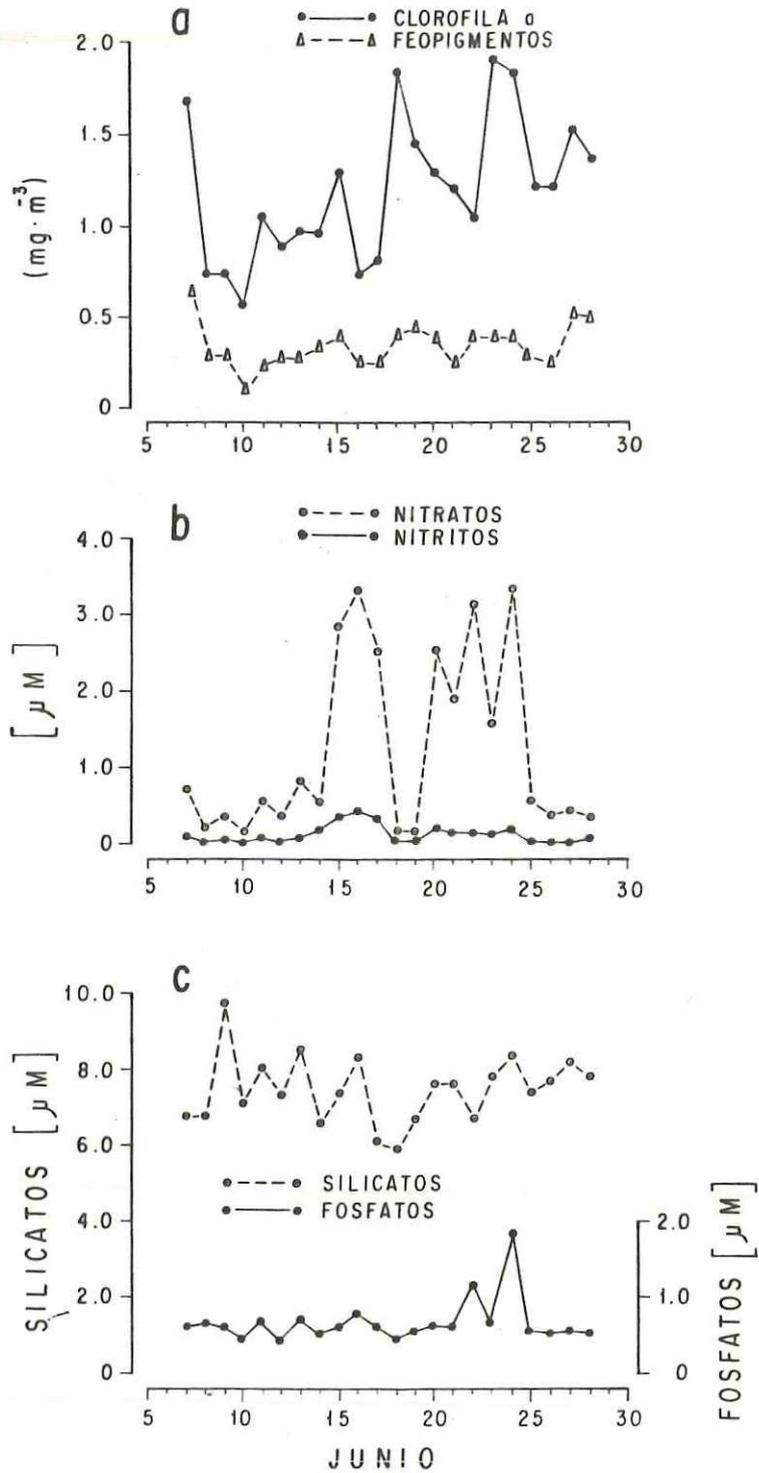


Fig. 4.- Series de tiempo de : a) Clorofila a y Feopigmentos superficiales, b) Nitratos y Nitritos superficiales, c) Silicatos y Fosfatos superficiales en la estación de muestreo durante el periodo de estudio.

los días 14 al 17 y 20 al 24 de Junio y menores el resto de los días, siendo en ocasiones indetectable. Los coeficientes de variación de los nitratos y los nitritos fueron de 96.72 y 109.09% respectivamente (tabla I).

La concentración de silicatos (fig.4c), varió de una forma irregular. Sus valores fueron siempre mayores de 5.5 micromolar, presentando un mínimo de 5.36 el día 16, un máximo de 9.76 el día 9 de Junio y un coeficiente variación de 11.93% (tabla I).

Los fosfatos (fig.4c), presentaron concentraciones mayores a 1.0 micromolar los días 22 y 24, con valores menores relativamente constantes en los días restantes. Su valor mínimo fué de 0.41 ocurrido el día 12 y su máximo de 1.34 el día 24 de Junio, presentando un coeficiente de variación de 45.45% (tabla I).

Los cambios diarios de abundancia de los principales grupos taxonómicos del fitoplancton analizados se presentan en la figura 5. El nanoplancton fué consistentemente el grupo dominante y menos variable, con un promedio de 156 células por mililitro y un coeficiente de variación de 62.17% (tabla I). Siguiendo en abundancia las diatomeas con un promedio de 5.6 células por mililitro y un coeficiente de variación de 100%. Los dinoflagelados fueron el grupo con menor abundancia con un

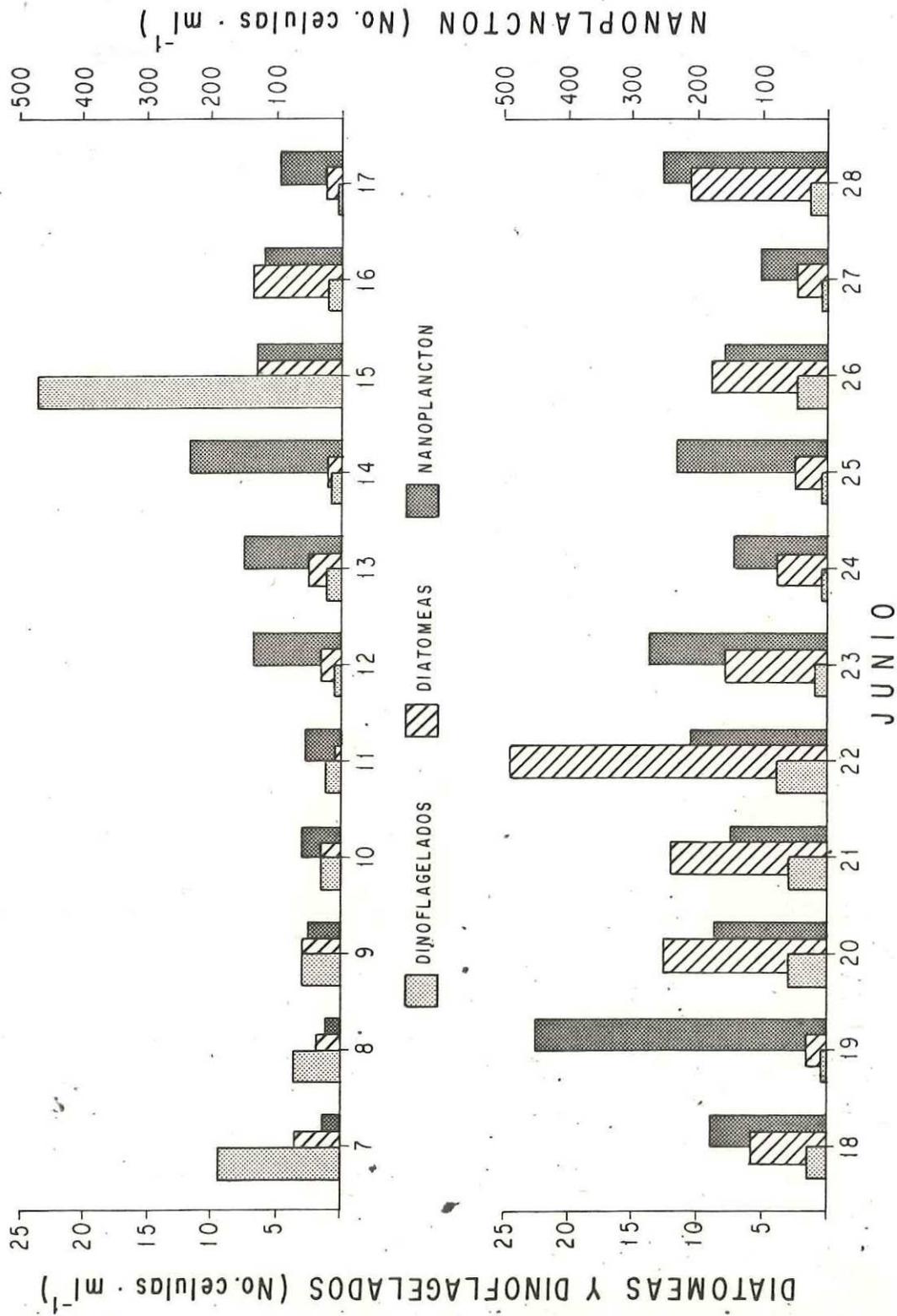


Fig. 5- Cambios a través del tiempo del número de células de los principales grupos taxonómicos del fitoplancton.

promedio de 2.96 células ml, así como el grupo más variable con un coeficiente de variación de 166.66%.

Para verificar la consistencia en la variación conjunta de las variables físicas, químicas y biológicas, se calcularon los coeficiente de correlación lineal simple presentados en la tabla II. La temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y las concentraciones de nitratos y nitritos mostraron valores de coeficiente de correlación significativamente diferentes de cero, entre ellos, a un 99% de nivel de confianza. Los fosfatos únicamente presentaron correlación significativa con la temperatura y con los nitratos, así como la clorofila *a* con los feopigmentos. Finalmente, las abundancias de los grupos fitoplanctónicos (diatomeas, dinoflagelados y nanoplancton), así como la salinidad y los silicatos, no presentaron valores de correlación significativos al 99% de confianza entre ellos y las demás variables.

Con el fin de someter a prueba las diferencias presentadas por las variables físicas, químicas y biológicas entre los días 15, 16, 17 y 24 de Junio con el resto de los días, se efectuaron pruebas no paramétricas de comparación de medias (Mann Whitney) entre ellos. Los resultados de estas comparaciones se resumen en la tabla I, en donde se aprecia que las variables físicas y químicas: temperatura, oxígeno

disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, fosfatos, nitratos y nitritos fueron significativamente distintas a un 95% de nivel de confianza entre los 4 días y el resto. Sin embargo las variables salinidad y silicatos así como la clorofila a, feopigmentos, y los grupos fitoplanctónicos no mostraron ser significativamente diferentes al 95% de nivel de confianza.

III.2.) Parámetros fotosintéticos superficiales

En la tabla III, se presenta un resumen estadístico de los parámetros fotosintéticos superficiales obtenidos, con el fin de analizar aspectos relacionados con su variabilidad.

Alfa presentó el coeficiente de variación mayor (23.25%). Los cambios diarios que presentó este parámetro se muestran en la figura 6a, en donde se aprecia que sus valores mínimo y máximo fueron de 0.24 y 0.74 ocurridos los días 15 y 9 respectivamente. En la misma figura se muestran los cambios registrados del índice de fotoinhibición Ib, con una variabilidad menor (14.56%) y valores mínimo y máximo de 30.9 y 139.1 los días 8 y 24 respectivamente.

TABLA III - Resumen estadístico de los parámetros fotosintéticos de agua superficial durante el periodo de estudio.

PARAMETRO	UNIDADES	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	COEF. DE VAR. (%)	R A N G O
ALFA	$\text{mg C} (\text{mg Cl a})^{-1} \cdot \text{h}^{-1} (\text{W m}^{-2})^{-1}$	0.43	0.10	23.25	0.24 - 0.74
Pbm	$\text{mg C} (\text{mg Cl a})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	4.04	0.83	20.54	1.99 - 5.41
Ib	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	111.15	16.19	14.56	80.90 - 139.10

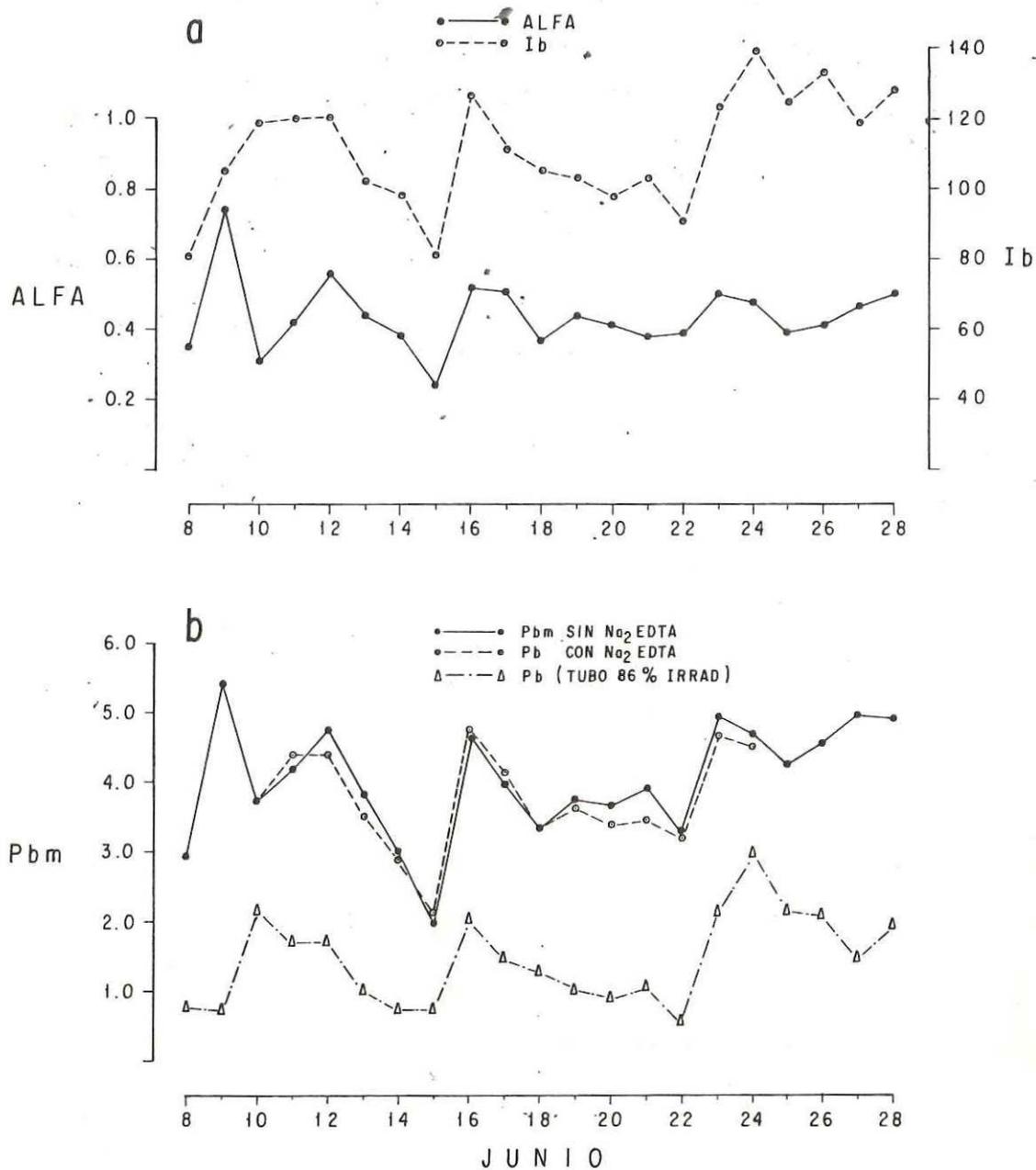


Fig. 6- Serie de tiempo de los parámetros fotosintéticos superficiales y razón de asimilación (en 86 % de irradiancia) durante el periodo de estudio.

En la figura 6b, se presentan los valores diarios calculados del número de asimilación Pbm y las razones de asimilación en superficie (tubo con 86% de irradiancia incidente), así como las razones de asimilación obtenidas a la irradiancia del 32% para las muestras con el quelante sintético del día 10 al 24. El parámetro Pbm presentó cambios similares a los de alfa, con un coeficiente de variación de 20.54% (tabla III) y valores mínimo y máximo ocurridos los mismos días en los cuales ocurrieron los de alfa. Las razones de asimilación en el tubo del 86% de irradiancia variaron de una forma similar a Pbm, presentando valores consistentemente menores a los de este último, con valores mínimo (0.55) y máximo (2.99) ocurridos los días 22 y 24 respectivamente. Los valores de Pbm sin quelante y los de la razón de asimilación de la misma irradiancia, con quelante fueron comparados con una prueba Mann Whitney, resultando no ser significativamente diferentes a un 95% de nivel de confianza.

En las figuras 7, 8 y 9, se presentan las curvas P-I correspondientes a los días muestreados de agua superficial y subsuperficial (fig.9b). Las curvas P-I para agua superficial presentaron cambios diarios en la pendiente inicial a bajas irradiancias (alfa), en el número de asimilación (Pbm), así como en la susceptibilidad de fotoinhibición a irradiancias altas. Los valores de irradiancia (I_m), en la cual se presentó el número de asimilación, correspondieron siempre al tubo del

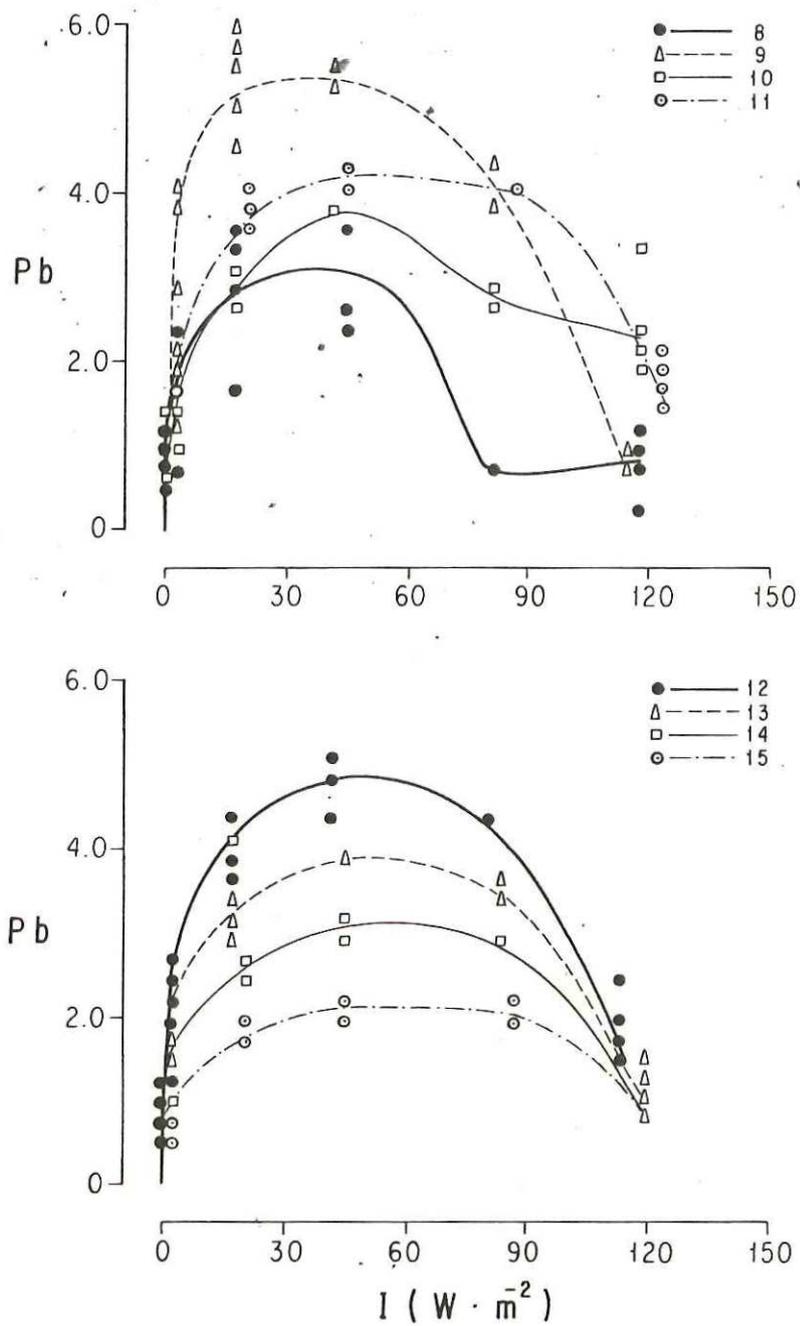


Fig. 7- Curvas fotosíntesis - irradiancia para agua superficial en los distintos días de muestreo.
 (Pb en $mg \cdot C \cdot (mg \text{ clorofila } a)^{-1} \cdot h^{-1}$).

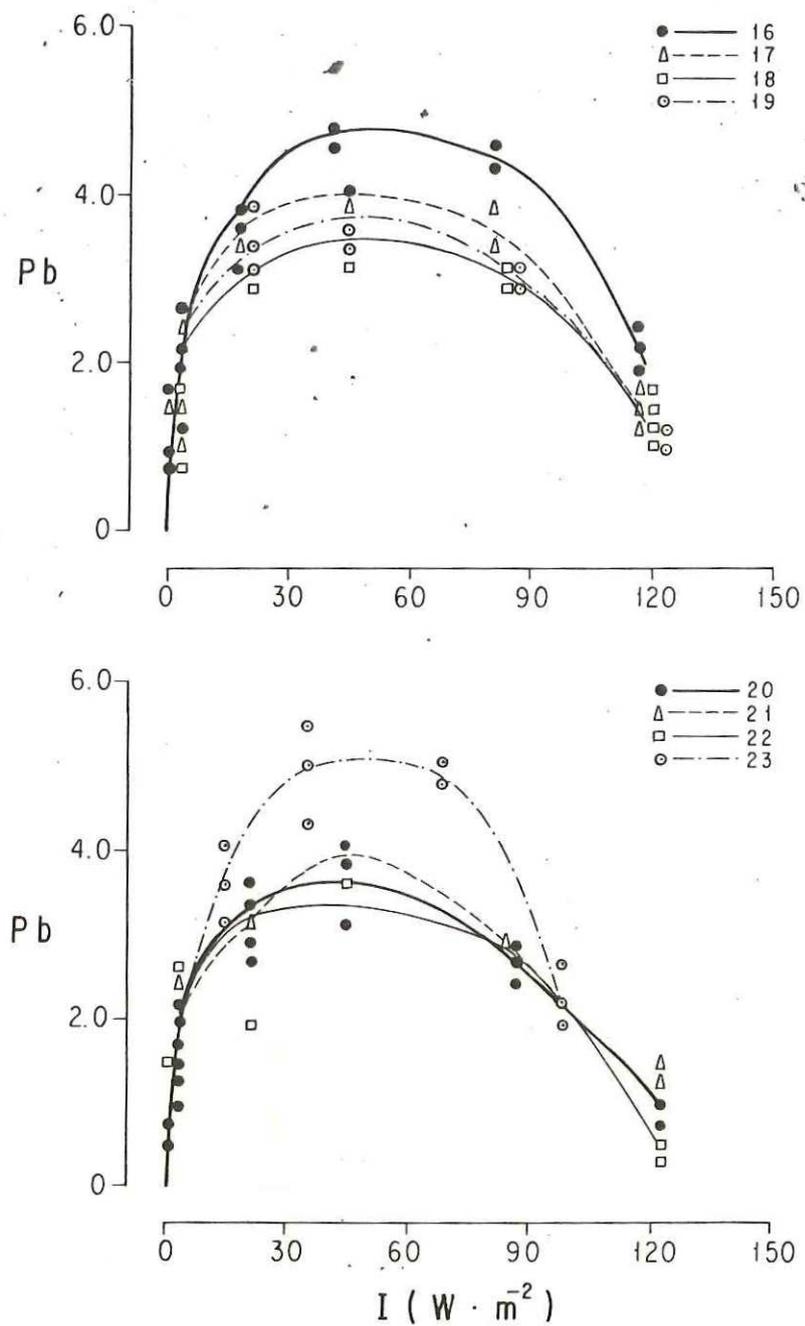


Fig. 8- Curvas fotosíntesis - irradiancia para agua superficial en los distintos días de muestreo.
 (Pb en $mg \cdot C \cdot (mg \text{ clorofila } a)^{-1} \cdot h^{-1}$).

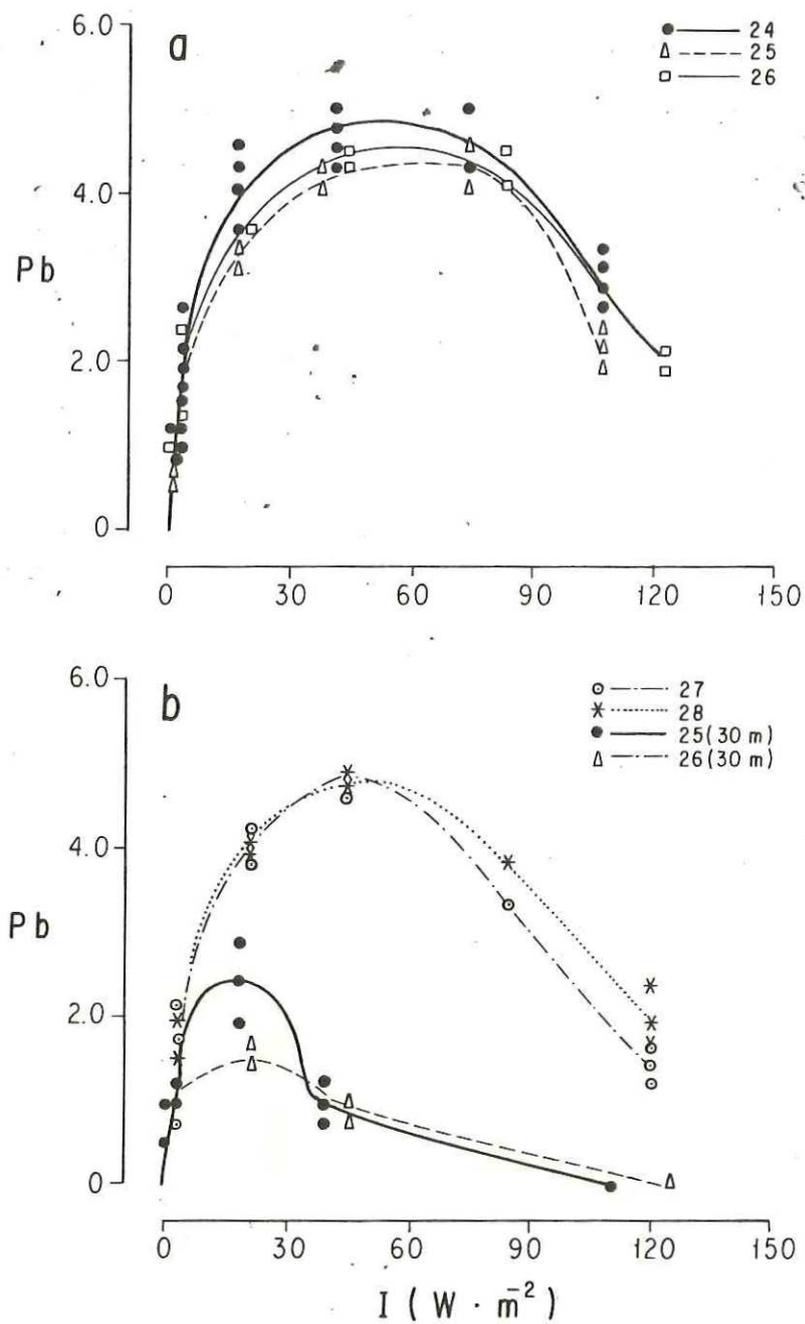


Fig. 9- Curvas fotosíntesis - irradiancia para agua superficial (a,b) y subsuperficial (b) en los distintos días de muestreo. (Pb en $\text{mg} \cdot \text{C} \cdot (\text{mg} \text{ clorofila } a)^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

32% de irradiancia, siendo su valor promedio de 45 W/m². Las curvas P-I para agua subsuperficial (fig.9b), presentaron menor pendiente inicial que las superficiales, así como valores menores del número de asimilación. El valor promedio de I_m fué de 18 W/m², con razones de asimilación indetectables en irradiancias cercanas a los 120 W/m².

Con el fin de verificar la consistencia de la variación conjunta de los parámetros fotosintéticos descritos, se calcularon sus coeficientes de correlación lineal simple (tabla IV). Resultando ser significativamente mayores de cero a un 99% de confianza los obtenidos entre α y P_{bm} así como el de P_{bm} e I_b , no siendo significativo a este nivel de confianza la correlación obtenida entre α e I_b .

Los valores presentados por los parámetros fotosintéticos, para los días 15, 16, 17 y 24, que tuvieron los mínimos de temperatura y oxígeno disuelto fueron comparados con el resto con el fin de someter a prueba si existían diferencias significativas entre estos grupos de días. P_{bm} y el índice de fotoinhibición fueron comparados con una prueba Mann Whitney, resultando no ser significativamente diferentes sus valores a un 95% de confianza. Para someter a prueba las diferencias existentes en los valores de α para los días mencionados, se realizó un análisis de covarianza, resultando no ser significativamente diferentes a un nivel de confianza de 95%.

TABLA IV.- Coeficiente de correlación lineal simple para los parámetros fotosintéticos de agua superficial. El (*) señala aquellos significativamente mayores de cero a un 99% de confianza

	ALFA	Pbm
Pbm	0.81 *	
Ib	0.38	0.77 *

III.3.) Parámetros fotosintéticos, variables físicas, químicas y biológicas subsuperficiales (30 m)

En la tabla V, se presentan los valores de los parámetros fotosintéticos así como de las variables físicas, químicas y biológicas obtenidas los días 25 y 26 de Junio a 30 metros de profundidad en la estación de muestreo. Los valores de alfa y P_{bm} para 30 m fueron menores a los del fitoplancton de superficie y congruentemente con esto, los valores del índice de fotoinhibición fueron menores también.

TABLA V - Valores de los parámetros fotosintéticos, variables físicas, químicas, biológicas y grupos fitoplanctónicos en agua subsuperficial (30 m.)

PARAMETRO	D I A	
	25	26
ALFA	0.20	0.21
P _{bm}	2.37	1.54
I _b	43.20	38.80
VARIABLE		
TEMPERATURA	13.20	13.00
SALINIDAD	33.18	33.27
OXIGENO DISUELTO	4.47	4.16
% DE SATURACION DE OXIGENO	74.50	66.56
FOSFATOS	1.42	1.28
NITRATOS	11.78	11.94
NITRITOS	0.60	0.76
SILICATOS	12.96	13.15
CLOROFILA A	0.22	0.39
FEOPIGMENTOS	0.23	0.34
DIATOMEAS	1.90	1.90
DINOFLAGELADOS	0.06	0.00
NANOPLANCTON	83.29	202.36

IV.- DISCUSION

El período de muestreo se ubicó dentro de condiciones meteorológicas relativamente cambiantes, en las cuales dominó la presencia de vientos procedentes del Noroeste con intensidad variable los días 8 al 22 de Junio (observaciones de campo), intercalándose días de calma (vientos ausentes). Los días 23 y 24 se detectaron vientos fuertes procedentes del Noroeste, ocurriendo un cambio brusco la tarde del 24 con vientos fuertes procedentes del Sur debidos a perturbaciones atmosféricas (huracán), ocurridas en la región Sur de la península.

Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982), detectaron la presencia de eventos de surgencia costera en la región adyacente a la Bahía San Quintín basándose en lecturas continuas de temperatura registradas en la boca de la bahía. Los períodos de intensificación de los eventos de surgencia fueron de una semana a diez días ocurriendo temperaturas menores de catorce grados centígrados para verano en los meses de Junio y Julio.

En el registro continuo de temperatura en la boca de la bahía (fig. 2), se aprecian variaciones semidiurnas con amplitud variable. Las variaciones de alta frecuencia

(semidiurnas), han sido atribuidas al efecto de las mareas y la variación de la amplitud a la ocurrencia de mareas vivas ó muertas (Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego, 1982). Asimismo, en esta figura se aprecian cambios de menor frecuencia (en el orden de una semana), con temperaturas menores a los quince grados centígrados ocurridos a principios y mediados de Mayo, los cuales pueden estar asociados a eventos de surgencia costera ocurridos en la región adyacente. Sin embargo, las temperaturas registradas durante el período de muestreo (siempre mayores a los quince grados centígrados), indican la ausencia de eventos de intensificación de surgencias durante este período si bien se consideran los cambios registrados como un buen indicio general de la ocurrencia de surgencias. La temperatura registrada en la boca de la bahía fué empleada únicamente como un indicador general de la ocurrencia de surgencias en la región costera adyacente. Los cambios en altura de marea ocurridos durante el período de estudio (fig.3a), no presentan relación directa con los cambios en temperatura y salinidad en la estación de muestreo. Los valores promedio de temperatura y salinidad en la superficie de la boca de Bahía San Quintín durante el período de estudio fueron de 17 grados y 35‰ respectivamente (Silva Cota, comunicación personal). Por lo cual al no presentarse estos valores en la estación de muestreo implica la poca influencia de aguas de la bahía en dicha estación.

Considerando que los procesos de circulación costera del agua superficial en la región de muestreo son desconocidos, solo la temperatura superficial medida en la estación de muestreo fué empleada para realizar las comparaciones con el resto de las variables medidas. El efecto de una surgencia costera en el sistema de la Corriente de California provoca en la superficie una disminución de la temperatura y del contenido de oxígeno disuelto, así como un aumento de la salinidad y los nutrientes (Wooster y Reid, 1963). Los cambios detectados en la temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y los nutrientes nitritos y nitratos (figs. 3 y 4), con dos descensos principales en las tres primeras variables e incrementos en los nutrientes mencionados los días 15, 16, 17 y 24 sugieren la presencia de agua con características subsuperficiales en estos días distinguiéndose del resto.

Analizando la distribución vertical de las variables mencionadas para el día 10 de Junio del mismo año en la estación 107.32 de CalCOFI (CalCOFI, 1984), ubicada frente a la Bahía San Quintín aproximadamente a 10 km de distancia de la estación de muestreo de el presente trabajo, la profundidad correspondiente de los valores encontrados en la superficie los días con presencia de agua subsuperficial, sería de 20 metros.

Las diferencias significativas encontradas para la temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de

oxígeno, nitratos, nitritos además de los fosfatos (tabla I) entre los cuatro días con condiciones de agua subsuperficial y el resto, sugieren que estos son buenos indicadores de la presencia de agua subsuperficial. Complementariamente, los coeficientes de correlación lineal simple obtenidos (tabla II) entre estas variables, evidencian la consistencia en su variación conjunta. Sin embargo esto no es aplicable para las variables de salinidad y silicatos así como para la clorofila a, feopigmentos y los grupos fitoplanctónicos, los cuales no presentaron diferencias significativas a un 95% de confianza ni fueron consistentes en sus variaciones conjuntas y con las demás variables exceptuando a la correlación existente entre la clorofila a y los feopigmentos.

Puesto que el consumo de nutrientes ocurre en las proporciones presentes en el protoplasma (Redfield et al., 1963), existe justificación de analizar la limitancia de nutrientes en el sentido de Liebig (1840), sin tener que analizarlos en su totalidad. Considerando los valores de K_s (coeficiente de saturación media), reportados para algunos nutrientes, podríamos decir de una forma general si los valores encontrados en este trabajo pueden considerarse como limitantes.

Trabajando con plancton natural frente a Baja California, Azam y Chisholm (1976), reportan valores de K_s entre 1.59 y

2.53 micromolar para silicatos. Dugdale (1972), reportó valores de K_s de 1.0 micromolar para nitratos para algunas especies de diatomeas. Considerando que estos valores son inferiores a los promedios encontrados en este trabajo, podríamos decir que las condiciones nutritivas para el fitoplancton no fueron limitantes.

Lorenzen (1967), trabajando con datos de aguas frente a Baja California, propuso el cociente feopigmentos:clorofila a como un índice útil para la medición de la intensidad de pastoreo. Los valores encontrados en el presente trabajo de clorofila a y feopigmentos, muestran una variación conjunta consistente (tabla II), lo que sugiere que la intensidad de pastoreo se mantuvo en función directa de la biomasa de fitoplancton durante el período de estudio, a pesar de que el día 18 se detectó la presencia de la "langostilla" Pleuroncodes planipes en abundancia en la zona de muestreo, el cual se cree es un herbívoro importante que ejerce presión selectiva de pastoreo sobre diatomeas y cuyo límite superior de distribución geográfica raramente excede los 30° N (Longhurst, 1967).

Los valores superficiales de clorofila a con un promedio de 1.17 mg/m³ se pueden considerar bajos para la región en esta época del año. En comparación con el año anterior (1983), para el período Enero-Junio las concentraciones de clorofila a

fueron consistentemente menores para el año de 1984 (Hayward, T.L., comunicación personal). Ubicándose el período de muestreo en un tiempo general de poca biomasa fitoplanctónica, comparándose con datos de CalCOFI (1984).

Los grupos fitoplanctónicos analizádos (diatomeas, dinoflagelados y nanoplancton), presentaron una variabilidad alta (tabla I), sin estar asociados sus cambios con los de las variables físicas y químicas ó a abundancias relativas entre ellos. Es muy probable que los cambios detectados en los grupos fitoplanctónicos se hayan debido a la traslación de cuerpos de agua en la estación de muestreo, debiéndose visualizar como una secuencia de abundancias relativas y no como el resultado de sucesión el cuál implica (Smayda, 1980) cambios en la composición de la comunidad fitoplanctónica ocurridos en un cuerpo de agua a través del tiempo. El nanoplancton mostró ser un grupo de importancia primordial para el período de muestreo, siendo siempre mayor (por lo menos un orden de magnitud), que las diatomeas y los dinoflagelados, así como el menos variable. La importancia del nanoplancton en distintos sistemas oceánicos es una característica que en la actualidad interesa conocer, debido al poco conocimiento que de él se tiene (Mann, 1980). Las diatomeas fueron dentro del microplancton (células mayores de 20 micras), el grupo más importante siguiéndoles los dinoflagelados con la menor abundancia y mayor variabilidad. Es importante señalar la

variabilidad máxima que presentaron las diatomeas y los dinoflagelados de un día a otro, cambiando hasta 3 veces su valor los días 14 al 15 para dinoflagelados y del 22 al 23 para las diatomeas. Por lo cual sería poco recomendable el emplear una muestra para caracterizar las condiciones estacionales, requiriéndose generar una serie de tiempo durante un período aproximado de un mes para poder decir algo en relación a las condiciones promedio existentes.

Estrada y Blasco (1979), trabajando con datos de aguas de la Corriente de California frente a Baja California Sur, encontraron en forma relativa dominancia de diatomeas en condiciones de surgencia de agua profunda y dominancia de dinoflagelados en condiciones de contribución mayor de agua de la Corriente de California. En el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas para los grupos fitoplanctónicos entre los días con condiciones de agua subsuperficial y el resto, posiblemente debido a que la dinámica vertical no fué muy intensa. Los parámetros alfa y Pbm (fig.6), muestran de una forma general que ambos cambiaron hasta 3 veces su valor durante el período de muestreo (tabla III). La variabilidad temporal presentada por alfa es de interés particular, debido a que se ha sugerido anteriormente que este parámetro es relativamente estable en comparación con el número de asimilación (Pbm). Esto no fué cierto para lo encontrado en este trabajo, ni en algunos estudios recientes

los cuales evidencian sus cambios temporales (Cote y Platt,1983) y espaciales (Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego,1985). Los cambios de alfa estuvieron fuertemente correlacionados con el número de asimilación. Esto ha sido encontrado en estudios anteriores de variabilidad diaria y estacional (Cote y Platt,1983).

El número de asimilación es función de los procesos enzimáticos de la fotosíntesis y depende de factores como temperatura, regimen nutritivo, historia de luz, hora del día, tamaño celular, composición bioquímica y composición específica. La pendiente inicial alfa, es función de los procesos fotoquímicos de la fotosíntesis y depende de la cosecha cuántica así como de la capacidad de las células para atrapar la luz incidente. Además, los factores como tamaño celular, composición pigmentaria, adaptación a luz o sombra, así como la calidad de luz y la disponibilidad de nutrientes son factores potencialmente importantes para alfa (Cote y Platt,op.cit.).

Es importante mencionar el hecho de que la temperatura de incubación promedio de las muestras superficiales fué siete grados centígrados mayor que las "in situ", pudiendo esto repercutir principalmente en el número de asimilación el cual es dependiente de la temperatura, no así alfa.

El índice de fotoinhibición I_b presentó una fuerte correlación con el número de asimilación. Los valores del número de asimilación para las muestras a las cuales se les añadió el quelante sintético (fig.6b), no difirieron de las incubadas sin el quelante a la misma irradiancia. Lo cual indica que durante este período el factor acondicionamiento químico de las aguas no fué importante. Barber (comunicación personal), considera que este factor aunque presente en determinadas ocasiones, no contribuye significativamente a la varianza de la producción primaria. Walsh et al. (1974), emplearon EDTA en aguas superficiales frente a Baja California en condiciones de surgencias, no encontrando, al igual que en este trabajo, diferencias significativas.

Las razones de asimilación superficiales (tubo de 86% de irradiancia), se presentan en la misma figura. Estas fueron consistentemente menores que los valores de P_{bm} , lo cual sugiere que los organismos presentes en la superficie no se encuentran en su óptimo de luz (I_m), presentando fotoinhibición en las irradiancias superficiales.

En las figuras 7, 8 y 9, se presentan las curvas P-I superficiales y subsuperficiales. Además, de los cambios mencionados en alfa y el número de asimilación para las curvas P-I superficiales, estas indican claramente la presencia de organismos acondicionados en su mayoría a irradiancias menores

de 45 W/m^2 que fué el valor promedio de I_m . Mientras que las curvas P-I de agua subsuperficial (fig. 9b), además de mostrar valores de alfa y del número de asimilación menores a las superficiales, sugieren la presencia a esta profundidad (30 m) de organismos adaptados a irradiancias menores de 18 W/m^2 fotoinhibiéndose fuertemente en irradiancias mayores.

Curl y Small (1965), sugirieron rangos para los valores del número de asimilación, relacioándolos con la disponibilidad de nutrientes. De acuerdo con sus valores, el valor promedio del número de asimilación de este trabajo (4.04) correspondería a condiciones de nutrientes escasos. Sin embargo si consideramos el valor mínimo detectado el día 15 (1.99), indicaría ausencia de nutrientes, lo cual no va de acuerdo con los valores de nutrientes presentes, encontrándose estos en abundancia. Es por esto que otro factor importante a considerar será el acondicionamiento del fitoplancton a condiciones de irradiancias presentes a profundidad. Gallegos et al.(1983) mencionan para poblaciones fitoplanctónicas del Artico, que para que poblaciones subsuperficiales procedentes de profundidades por debajo del 1% de irradiancia se adapten a condiciones de luz superficial, se requieren de 4 a 6 horas. Estos autores mencionan tambien que el tiempo en el cual una población superficial desarrolla susceptibilidad a fotoinhibirse es de 2 a 6 semanas en promedio. Por lo cual es probable que las células presentes en el día 15 hayan

permanecido en condiciones de luz baja un tiempo suficiente para permitirles adquirir susceptibilidad a fotoinhibirse fuertemente y hayan estado en superficie solo un corto tiempo antes del muestreo, resultando con muy bajos valores de alfa y Pbm.

Platt y Gallegos (1980), sugieren que en aguas estratificadas, se esperaría encontrar valores bajos de alfa y del número de asimilación para muestras profundas, v.g. cerca del 1% de irradiancia. Gallegos et al. (1983), reportan valores menores del número de asimilación en muestras procedentes del 1% de irradiancia superficial que del 50%, presentando asimismo fotoinhibición en irradiancias relativamente bajas.

Para aguas del Pacífico frente a costas Mexicanas, Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego (1985), encontraron que en Invierno los parámetros alfa y el número de asimilación fueron menores en el fondo de la zona eufótica que en la superficie, y fotoinhibiéndose a irradiancias menores.

Sería de esperarse en este trabajo que el fitoplancton presente los días con características de agua subsuperficial presentara valores de alfa y del número de asimilación menores a los de los demás días, así como una susceptibilidad mayor a fotoinhibirse. Sin embargo a pesar de que el número de asimilación e Ib fueron menor y mayor respectivamente en los

días con presencia de aguas subsuperficiales que en el resto, los resultados de las pruebas de diferencias realizadas para estos mostraron que no existieron diferencias significativas a un 95% de confianza. Asimismo, alfa no fué significativamente diferente a un 95% de confianza entre los grupos de días comparados, según el análisis de covarianza efectuado.

Las muestras subsuperficiales (30 m), obtenidas los días 25 y 26 (tabla V), presentaron como era de esperarse valores menores que los superficiales en los parámetros alfa y el número de asimilación, así como valores menores del índice de fotoinhibición. Lo que sugiere que las células presentes en esta profundidad están adaptadas a condiciones de baja irradiancia. Los procesos responsables de la fotoinhibición no han sido identificados con certeza. Smith et al.(1980), la atribuyen al efecto de las radiaciones electromagnéticas de longitud de onda corta (ultra violeta). Para irradiancias altas en el rango de la luz fotosintéticamente activa, posiblemente lo que ocurra es la inactivación de los centros de reacción de los fotosistemas (Flatt y Gallegos,1980). Los cambios a los cuales se les atribuyen los valores bajos del número de asimilación, han sido recientemente atribuidos a ajustes en el tamaño ó en el número de unidades fotosintéticas (Prezelin y Sweeney,1978;Falkowski,1981).

Considerando el promedio de abundancia de los grupos

fitoplanctónicos presentes a los 30 metros, estos fueron menores que los valores promedio existentes en la superficie, destacando los dineoflagelados que se encontraron prácticamente ausentes a los 30 m. En cuanto a los valores promedio presentados de clorofila a y feopigmentos en subsuperficie, la clorofila a fue menor que los valores superficiales y los feopigmentos no variaron, siendo esto resultado de la degradación de la clorofila a por procesos bacterianos o por pastoreo. Halldal (1970), menciona que poblaciones subsuperficiales se adaptan a condiciones de luz baja incrementando su concentración de clorofila a. Esto no puede confirmarse en este trabajo debido a que las abundancias relativas de los grupos fitoplanctónicos superficiales y subsuperficiales fueron distintas, siendo el contenido de clorofila a por célula distinto en ellos.

A pesar de que durante el período de estudio no se presentó evidencia de eventos de intensificación de surgencias costeras, la variabilidad de los parámetros fotosintéticos fue notable. Lo cual indica que para la predicción de la producción primaria en estas aguas a partir de la relación clorofila-luz, sólo podrán realizarse estimaciones generales si los parámetros mencionados se consideran constantes.

Los efectos de procesos físicos como corrientes superficiales, así como mezcla de agua provocada por vientos,

son factores importantes para considerar al analizar la variabilidad del fitoplancton presente en la superficie y aunados a los procesos de surgencias costeras repercuten sobre la producción primaria, afectando la estructura de la comunidad fitoplanctónica en condiciones de luz y nutrientes no limitantes.

V.- CONCLUSIONES

El nanoplancton mostró ser un grupo de importancia primordial en el período de muestreo al ocurrir siempre en mayor abundancia y menor variabilidad que las diatomas y los dinoflagelados.

Los parámetros fotosintéticos superficiales alfa y el número de asimilación mostraron variaciones conjuntas cambiando hasta 3 veces su valor durante el período de estudio. En combinación con el índice de fotoinhibición I_b , permitieron caracterizar fisiológicamente a las comunidades fitoplanctónicas detectadas, observándose en ocasiones fitoplancton mas cercanamente acondicionado a luz superficial, con valores mayores de alfa y el número de asimilación y valores menores de I_b en comparación con otros días con fitoplancton acondicionado a luz subsuperficial.

Las razones de asimilación de células presentes en la superficie fueron consistentemente menores que sus números de asimilación, encontrándose siempre fotoinhibidas en las irradiancias correspondientes.

El factor "acondicionamiento químico" del agua en las

muestras con Na_2EDTA , no contribuyó significativamente a la varianza de la producción primaria.

Las muestras de agua subsuperficial (30 m) presentaron valores menores a los superficiales de los parámetros fotosintéticos y del índice de fotoinhibición, así como de los números de los grupos fitoplanctónicos contados, siendo los dinoflagelados los menores encontrándose prácticamente ausentes.

VI.- LITERATURA CITADA

- Alvarez-Borrego, J. y S. Alvarez-Borrego. 1982. Temporal and Spatial Variability of Temperature in Two Coastal Lagoons. CalCOFI Rep., Vol. XXIII:188-197.
- Azam, F. y S.W. Chisholm. 1976. Silicic acid uptake and incorporation by marine phytoplankton populations. Limnol. Oceanogr., 21:427-435.
- Barber, R.T., R.C. Dugdale, J.J. Mac Issac y R.L. Smith. 1971. Variations in phytoplankton growth associated with the source and conditioning of upwelling water. Inv. Pesq., 35:171-193.
- Barber, R.T. y R.L. Smith. 1981. Coastal Upwelling Ecosystems. En: Analysis of Marine Ecosystems. Longhurst A.R. (ed)., 2:3-30.
- Barton, E.D. y H.L. Argote. 1980. Hidrographic variability in an upwelling area off northern Baja California in June 1976. J. Mar. Res., 38 (4):631-649.

Bevington, P.R. 1969. Data reduction and error analysis for the physical sciences. McGraw Hill, New York: 336 pp.

CalCOFI. 1984. Data report. Physical, chemical and biological data. S.I.O. Reference 84-25: 224pp.

Coté, B. y T. Platt. 1983. Day-to-day variations in the spring-summer photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 28 (2): 320-344.

Coté, B. y T. Platt. 1984. Utility of the light-saturation curve as an operational model for quantifying the effects of environmental conditions on phytoplankton photosynthesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 18: 57-66.

Curl, H. y L.F. Small. 1965. Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural marine phytoplankton communities. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 67-73.

Denman, K.L. y A.E. Garret. 1983. Time and space scales of vertical mixing and advection of phytoplankton in the upper ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 28 (5): 801-815.

Dugdale, R.C. 1972. Chemical oceanography and primary productivity in upwelling regions. *Geoforum*, 11: 47-61.

Edler, L. 1979. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. National Swedish Env. Prot. Bd. Edler L. (ed).

Estrada, M. y D. Blasco. 1979. Two phases of the phytoplankton community in the Baja California upwelling. *Limnol. Oceanogr.*, 24 (6): 1065-1080.

Falkowski, P. G. 1981. Light-shade adaptation and assimilation numbers. *J. Plankton Res.*, 3: 203-216.

Gallegos, C. L., T. Platt, W. G. Harrison, D. Irwin. 1983. Photosynthetic parameters of arctic marine phytoplankton: Vertical variations and time scales of adaptation. *Limnol. Oceanogr.*, 28 (4): 698-708.

Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego. 1985. Photosynthesis - Irradiance relationship for winter phytoplankton of Mexican Pacific waters. *J. Plankton Res.* (en revisión).

Gilbert, W., W. Pawley y K. Park. 1967. Carpenter's oxygen solubility tables and nomograph for seawater as a function of temperature and salinity. Corvallis, Oregon State Univ. Dept. of Ocean. Data Rep. No. 29: 139 pp.

Edler, L. 1979. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. National Swedish Env. Prot. Bd. Edler L. (ed).

Estrada, H. y D. Blasco. 1979. Two phases of the phytoplankton community in the Baja California upwelling. *Limnol. Oceanogr.*, 24 (6): 1065-1080.

Falkowski, P. G. 1981. Light-shade adaptation and assimilation numbers. *J. Plankton Res.*, 3: 203-216.

Gallegos, C. L., T. Platt, W. G. Harrison y B. Irwin. 1983. Photosynthetic parameters of arctic marine phytoplankton: Vertical variations and time scales of adaptation. *Limnol. Oceanogr.*, 28 (4): 698-708.

Gaxiola-Castro, G. y S. Alvarez-Borrego. 1985. Photosynthesis-Irradiance relationship for winter phytoplankton of Mexican Pacific waters. *J. Plankton Res.* (en revisión).

Gilbert, W., W. Pawley y K. Park. 1967. Carpenter's oxygen solubility tables and nomograph for seawater as a function of temperature and salinity. Corvallis, Oregon State Univ. Dept. of Ocean. Data Rep. No. 29: 139pp.

Halldal, P. 1970. The photosynthetic apparatus of microalgae and its adaptation to environmental factors. En: P. Halldal (ed). Photobiology of microorganisms. Wiley-Interscience: 17-55.

Harris, G. P. 1984. Phytoplankton productivity and growth measurements: past, present and future. J. Plankton Res. 6 (2): 219-238.

Harrison, W. G. y T. Platt. 1980. Variations in the assimilation number of coastal marine phytoplankton: effects of environmental covariates. J. Plankton Res., 2: 249-260.

Huntsman, S. A. y W. G. Sunda. 1980. The role of trace metals in regulating phytoplankton. En: Morris I. (ed). The physiological ecology of phytoplankton, 8: 285-328.

Lara-Lara, J. R., S. Alvarez-Borrego y L. F. Small. 1980. Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. J. Estuar. Coast. Mar. Sci., 11: 613-637.

Liebig, J. 1840. Die chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur, und Physiologie. 4th. ed., 1847. London.

Longhurst, A. 1967. The pelagic phase of *Pleuromcodes planipes* Stimpson (Crustacea, Galatheiidae) in the California

Current. CalCOFI Rep. ,11:142-154.

Lorenzen, C.J. 1967. Vertical distribution of chlorophyll and phaeopigments: Baja California. Deep Sea Res., 14:735-746.

MacCaull, W.A. and T. Platt. 1977. Diel variations in the photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 22:723-731.

Mann, K. 1980. Phytoplankton-based systems. En: Studies in Ecology, 8:83-124.

Margalef, R. 1979. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. Oceanol. Acta., 1 (4):493-509.

Marine Technician's Handbook. Oxygen Analysis. 1971. Reference No. 71-78, Sea Grant Pub. No. 9.

Marra, J. 1980. Vertical mixing and primary production. En: Primary productivity in the sea, Plenum, New York. Falkowski, P. (ed). Brockhaven Symp. Biol. 31:121-137.

Platt, T. and A.D. Jassby. 1976. The relationship between photosynthesis and light for natural assemblages of coastal marine phytoplankton. J. Phycol. 12:421-430.

Platt, T., C. L. Gallegos y W. G. Harrison. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*: 678-912.

Platt, T. y C. L. Gallegos. 1980. Modelling primary production. En: Falkowski, P. C. (ed). Primary productivity in the sea. Plenum, New York: 339-362.

Prézelin, B. B. y E. M. Sweeney. 1978. Photoadaptation of photosynthesis in *Gonyaulax polyedra*. *Mar. Biol.*, 48: 27-36.

Radford, P. J., I. R. Joint y A. R. Hiby. 1981. Simulation models of individual production processes. En: Longhurst A. R. (ed). *Analysis of Marine Ecosystems*, 23: 677-700.

Redfield, A. C., B. H. Ketchum y F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. En: M. H. Hill (ed). *Interscience, The Sea*, 2: 26-77.

Smayda, T. 1980. Phytoplankton species succession. En: Morris, I. (ed). *The physiological ecology of phytoplankton. Studies in Ecology.*, 7: 493-570.

Smith, R. C., K. S. Baker, O. Holm-Hansen y R. Olson. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural waters. *Photochem. Photobiol.*, 31: 592-595.

Smith, W.O., G.W. Heburn, R.T. Barber y J.J. O'Brien. 1983. Regulation of phytoplankton communities by physical processes in upwelling ecosystems. *J. Mar. Res.* 41:539-556.

Steeman Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon for measuring organic production in the sea. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer.* 18:117-140.

Strickland, J.D. y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd. ed. *Bulletin, Fisheries Research Board of Canada*:167pp.

Torres-Moye G. 1982. Algunas propiedades químicas indicadoras de eventos de surgencias costeras y de la Contracorriente de California en una área cercana a Punta Colonet, Baja California. Tesis Profesional. E.S.C.M., U.A.B.C.:71pp.

Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie.* 9:1-38.

Walsh, J.J., J.C. Kelley, T.E. Whitley, J.J. MacIsaac y S.A. Huntsman. 1974. Spin-up of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 19 (4):553-572.

Walsh, J.J., J.C.Kelly, T.E.Whitledge, S.A.Huntsman, y
R.D.Pillsbury.1977. Further transition states of the Baja
California upwelling system.Limnol.Oceanogr.22:264-280.

Wooster, W.S. y J.L.Reid Jr.1963.Eastern boundary currents.
En: Hill, M.W.(ed) The Sea, 2:253-260.

Yentsch, C.S.1980.Light attenuation and phytoplankton
photosynthesis En: Morris I.(ed). The physiological
ecology of phytoplankton., 3:95-128.