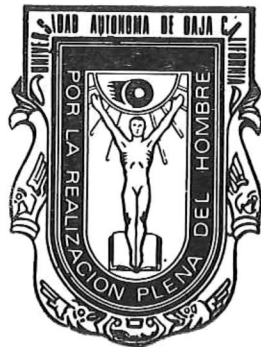


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



***“PRODUCTIVIDAD Y BIOMASA DEL FITOPLANCTON  
POR CLASE DE TAMAÑOS EN LA PARTE CENTRAL  
DEL GOLFO DE CALIFORNIA: PRIMAVERA DE 1985.”***

**TESIS**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**OCEANOLOGO**  
PRESENTA:

**JOSE LUIS LARA OSORIO**

***ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JUNIO DE 1987.***

## RESUMEN:

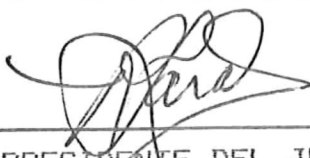
Del 31 de marzo al 9 de abril de 1985 se realizó un crucero oceanográfico en la parte central del Golfo de California, efectuándose 19 lances hidrográficos, para estimar biomasa (contenido de clorofila a) del fitoplancton. En 5 estaciones se realizaron experimentos para estimar la productividad primaria (asimilación de carbono-14) por fracciones de tamaño (nanofitoplancton y microfitoplancton). La contribución del nanofitoplancton fué dominante en biomasa (clorofila a) y productividad primaria. Los más altos valores de las razones de asimilación (P/B) correspondieron con los más altos porcentajes de nanofitoplancton. El patrón de distribución de las propiedades muestreadas, indican que durante el periodo de muestreo se encontró un giro térmico, con características similares a las reportadas en estudios efectuados en ésta misma región y en la Corriente de California. En éste estudio, en condiciones seguidas al evento de "El Niño" 1982-1983, los valores de productividad del Golfo central fueron bajos, variando de 0.087 a 0.828 g C m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, apoyando las conclusiones de investigaciones previas sobre el enriquecimiento en la producción primaria del Golfo de California durante eventos de "El Niño".

"PRODUCTIVIDAD Y BIOMASA DEL FITOPLANCTON  
POR CLASE DE TAMAÑOS EN LA PARTE CENTRAL  
DEL GOLFO DE CALIFORNIA: PRIMAVERA DE 1985."

T E S I S  
QUE PRESENTA:

JOSE LUIS LARA OSORIO

Aprobada por:



---

PRESIDENTE DEL JURADO  
Dr. J. Ruben Lara Lara



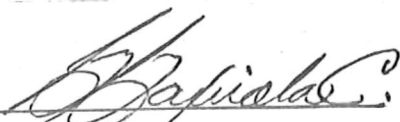
---

SINODAL PROPIETARIO  
M.C. Eduardo Valdez H.



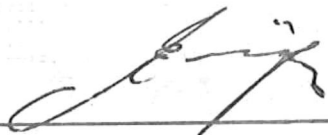
---

SINODAL PROPIETARIO  
M.C. Guillermo Torres M.



---

SINODAL SUPLENTE  
M.C. Gilberto Gaxiola C.



---

SINODAL SUPLENTE  
M.C. Eduardo Millan N.

Ensenada B.C. Junio de 1987

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento muy especial al Dr J. Ruben Lara Lara, por su valiosa dirección en el desarrollo y cristalización de éste trabajo.

A mis compañeros maestros, miembros del comite de tesis; Gilberto Gaxiola C., Eduardo Valdez H., Guillermo Torres M., y Eduardo Millan N., por su disponibilidad en sus criticas y sugerencias para el mejoramiento de éste escrito.

A mis compañeras, Carmen Bazan, Della Hungar y Sila Najera por su importante ayuda en el analisis de datos y a Martha Cisneros por su colaboración en la mecanografía de éste escrito.

Y a todas aquellas personas que directa ó indirectamente hicieron posible el desarrollo de ésta tesis.

DEDICATORIA

A MI MADRE: CONCEPCION OSORIO DE LARA.

Por todo lo que significa para mi.

A MIS HERMANOS: GUADALUPE, JAVIER, BRAULIO, SILVIA, MARCO  
ANTONIO Y VICTOR ARIEL.

Por su siempre apoyo moral e Ideologico.

A MI HIJO: JOSE LUIS LARA A.

Por ser parte de mi, por ser mi  
continuidad.

A GREGORIA MOLINA:

Por ser la sintesis de mis sentimientos.

A MIS AMIGOS Y COMPANEROS:

## INDICE

	<u>Página</u>
I. INTRODUCCION	1
1.- Antecedentes	4
2.- Objetivos	8
II.- MATERIALES Y METODOS	9
1.- Area de estudio	9
2.- Metodología	12
III.- RESULTADOS	18
1.- Distribución espacial de temperatura, clorofila <u>a</u> y productividad orgánica primaria por clases de tamaño.	18
2.- Perfiles verticales de temperatura, clorofila <u>a</u> y productividad orgánica primaria por clases de tamaño.	21
3.- Isogramas de temperatura, clorofila <u>a</u> y porcentaje de clorofila debida al nanofitoplancton.	31
IV.- DISCUSION	39
V.- CONCLUSIONES	47
VI.- LITERATURA CITADA	49
APENDICE A1.	60
APENDICE A2.	61
APENDICE A3.	63
APENDICE A4.	64

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
I      Posición geográfica de las estaciones muestreadas. - - - - -	14
II     Contenido de clorofila <u>a</u> total (cl <u>a</u> ) y por clases de tamaño en mg cl <u>a</u> m <sup>-2</sup> . -	25
III    Tasas de producción primaria total y por clases de tamaño en mg C m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> .	26
IV     Contenido de clorofila <u>a</u> total y por clases de tamaño en mg cl <u>a</u> m <sup>-2</sup> , y razones P/B en mgC/mgcl <u>a</u> h . - - - -	26

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1 Localización de las estaciones muestreadas, (⊙) productividad primaria, temperatura y clorofila <u>a</u> y (•) estaciones discretas para temperatura y análisis de clorofila <u>a</u> . A,B,C y D denotan transectos utilizados para generar isogramas de temperatura y clorofila <u>a</u> . - - - - -	13
2 Distribución espacial de la temperatura superficial (°C). - - - - -	19
3 Distribución espacial de clorofila <u>a</u> total Integrada en la columna de agua (mg cl <u>a</u> m <sup>-2</sup> ). - - - - -	20
4 Distribución espacial de clorofila <u>a</u> superficial (mg cl <u>a</u> m <sup>-3</sup> ). - - - - -	22
5 Distribución espacial de clorofila <u>a</u> Integrada (mg cl <u>a</u> m <sup>-2</sup> ) por clase de tamaños. - - - - -	23
6 Distribución espacial por clase de tamaños de la productividad primaria diaria Integrada (mg C m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ), a través de la zona eufótica. - - - - -	24
7 Distribuciones verticales de temperatura (°C) de las estaciones de <sup>14</sup> C. - - - - -	28
8 Distribuciones verticales de clorofila <u>a</u> (mg cl <u>a</u> m <sup>-3</sup> ) de las estaciones de <sup>14</sup> C. Por clase de tamaños, total (—), microfitoplancton (----) y nanofitoplancton (...). - - - - -	29
9 Distribuciones verticales de productividad primaria (mg C m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> ) a través de la zona eufótica. Por clase de tamaños; total (—), microfitoplancton (----) y nanofitoplancton (...). - - - - -	30

LISTA DE FIGURAS (cont.)

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
10 Isogramas de temperatura ( °C) (a) y clorofila <u>a</u> (mg cl <u>a</u> m <sup>-3</sup> ) (b) del transecto A. = = = = =	32
11 Isogramas de temperatura ( °C) (a) y clorofila <u>a</u> (mg cl <u>a</u> m <sup>-3</sup> ) (b) del transecto B. = = = = =	33
12 Isogramas de porcentajes en la biomasa (mg cl <u>a</u> m <sup>-3</sup> ) del nanofitoplancton, de transectos A (a) y B (b). = = = = =	34
13 Isogramas de temperatura ( °C) (a) y clorofila <u>a</u> (mg cl <u>a</u> m <sup>-3</sup> ) (b), del transecto C. = = = = =	36
14 Isogramas de temperatura ( °C) (a) y clorofila <u>a</u> (mg cl <u>a</u> m <sup>-3</sup> ) (b), del transecto D. = = = = =	37
15 Isogramas de los porcentajes en la biomasa (mg cl <u>a</u> m <sup>-3</sup> ) del nanofitoplancton de los transectos C (a) y D (b). = = = = =	38
16 Resumen de los valores promedios históricos y actuales de la productividad primaria para el Golfo de California. Las barras indican el rango de valores reportados. Tasas de productividad para 6805 y 6811/12, tomados de Zeitzschel, 1970; 8112 de Gaxiola Castro et al.(1987); 8206 de Alvarez Borrego y Gaxiola Castro (en prensa); 8303, 8310 y 8403/04 de Valdez Holguín y Lara Lara (en prep.); 8411/12 de Bazán Guzmán y Lara Lara (en prep.); y 8503/04 éste estudio. = = =	47

## I.- INTRODUCCION.

La estimación de la productividad y biomasa del fitoplancton marino representan las variables ecológicas más importantes para determinar el inicio de la red alimenticia en el mar, ya que constituye la base principal de los recursos pesqueros.

En general, el fitoplancton se puede dividir en dos grandes clases de tamaño en base a la retención de las células por una fina malla (20 micras de abertura, aprox.), las células que son retenidas son llamadas comunmente "microfitoplancton", y las que pasan por ésta abertura como "nanofitoplancton" (Dussart, 1965; Malone, 1971a; Malone, 1971b).

La mayoría de los estudios sobre productividad primaria y biomasa por clases de tamaño, han demostrado que el nanofitoplancton frecuentemente es responsable del 80 al 90 % de la productividad observada en aguas templadas (Durbin et al. 1975; Brockel, 1981; Malone y Neale, 1981; Malone, 1982; Putt y Prézellin, 1985; Cole, 1986; Joint, 1986; entre otros) y tropicales (Steeman - Nielsen y Jensen, 1957; Malone, 1971a; Malone, 1980; Takahashi y Blenfang, 1983; Braun, 1985; entre otros).

Asimismo, se ha reportado que generalmente la productividad del nanofitoplancton es más grande con respecto al microfitoplancton, en medios ambientes estables (oceánicos) (Malone, 1971a; Malone, 1980) y el microfitoplancton domina en medios ambientes inestables que presenten procesos de mezcla y/o eventos de surgencias (zonas costeras o neríticas, zonas adyacentes a islas etc.) (Malone, 1971b; Durbin et al. 1975; Malone y Chervin 1979; Malone, 1980).

El incremento significativo de microfitoplancton en zonas costeras, es debido probablemente al efecto de suspensión por la advección vertical positiva y al incremento en la concentración de nitratos ( $1-3 \mu\text{M}$ ) en el ambiente (Malone, 1971b), pudiéndose deber el decrecimiento en estas poblaciones al pastoreo por el zooplancton y al incremento en la estabilidad del agua (Martin, 1970; Malone, 1971b; Malone y Chervin, 1979).

Según Malone y Chervin (1979) la biomasa del microfitoplancton es más variable en tiempo (entre semanas y meses) mientras que la biomasa del nanofitoplancton es más variable en espacio (a través de la zona eufótica y entre estaciones). Estas dos grandes fracciones de tamaño

poseen diferentes comportamientos ecofisiológicos en función de las condiciones ambientales de irradiación, concentración de nutrientes, turbulencia, advección lateral, profundidad de la columna de agua, pastoreo etc. (Smayda, 1965; Eppley et al. 1969; Mandelli et al. 1970; Malone, 1980). Influyendo éstos factores en el tamaño y fisiología de las especies de fitoplancton presentes en el océano (Parsons y Takahashi, 1973; Bailey y Kirika, 1981).

Asimismo, el tamaño de las células influye la dinámica de las cadenas alimenticias y consecuentemente de las pesquerías (Brooks y Dodson, 1965; Ryther, 1962; Martin, 1970; Walsh, 1976). Es por esto que el estudio de la productividad a través de las fracciones de tamaño del fitoplancton, puede proveernos con información más apropiada para entender el funcionamiento de ecosistemas como el Golfo de California. Esta investigación constituye parte de un programa interdisciplinario iniciado en 1983, con el objeto de entender la influencia del pasado evento de "El Niño" 1982-1983 en el ecosistema pelágico del Golfo de California.

## 1.- ANTECEDENTES.

Aunque desde 1937 se hicieron las primeras Investigaciones sobre fitoplancton en el Golfo de California, fué hasta 1983 cuando se inició un programa de estudios continuos sobre la ecología del fitoplancton del Golfo. Cupp y Allen (1938) estudiaron las diatomeas planctónicas en la parte central del Golfo de California, generando en 1937 una lista sistemática de los principales organismos fitoplanctónicos a nivel de especie.

Gilbert y Allen (1943) basandose en conteos de células de fitoplancton, especularon que el Golfo podría ser una región muy productiva. Roden (1958) enfatizó que los efectos de surgencias, mezcla por vientos y advección en ciertas áreas del Golfo, podrían dar por resultado incrementos en la productividad del fitoplancton.

Zeltzschel (1969) reportó que durante el periodo del 21 de Noviembre al 14 de Diciembre de 1968, la productividad del Golfo de California aumentaba de la zona sur a la zona norte (con promedios por zonas desde 0.272 a 0.677  $\text{g C}_2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ). Asimismo comparó la productividad del Golfo con áreas tan productivas como lo son la Bahía de

Bengala, regiones de surgencias costeras de Africa del Norte y de las costas occidentales de Baja California. Con datos de la misma campaña oceanográfica, Zeltzschel (1970) concluyó que el 23 % de la abundancia de partículas del seston (en 9 estaciones a lo largo del Golfo) pertenecían a organismos del fitoplancton. Estos estuvieron representados por flagelados desnudos menores de 5 micras de diámetro, con un promedio de 72% del fitoplancton total.

Berman (1975) investigó la contribución del fitoplanctón por tamaños a la productividad del Golfo de California, en 6 estaciones en la parte central y sur durante Noviembre de 1974. El encontró que la fotosíntesis en su mayor parte fué debida a organismos del ultrananoplancton ( $1 - 3 \mu$  ).

Gendrop Funes et al. (1978) estudiando la parte norte del Golfo, registraron valores máximos de clorofila a hasta de  $40 \text{ mgCl } a \text{ m}^{-3}$  en la superficie durante primavera de 1973. La distribución de la clorofila a en los niveles muestreados presentaron concentraciones en forma de manchas presentandose los mayores valores cercanos a la costa, con florecimientos del fitoplancton en forma de centros aislados de alta concentración.

Gilmartin y Revelante (1978) encontraron para la zona costera de Guaymas en verano de 1972, que la composición del fitoplancton total estuvo representado por el nanofitoplancton en un 68 %, mientras que el 32 % estuvo representado por el microfitoplancton.

Lara Lara et al. (1984) concluyeron que la mayor contribución a la biomasa y productividad del fitoplancton tanto en Marzo como en Octubre de 1983, para la parte sur del Golfo de California, fué debido al nanofitoplancton en un 90 % . Solo en Marzo de 1983 en el area central del Golfo la contribución por el microfitoplancton fue de 70 % .

Hernandez Becerril (1985) estudió la estructura vertical del fitoplancton en la parte central y norte del Golfo de California durante el verano de 1982. Este autor reportó abundancias hasta de 252,000 células/litro de diatomeas para la parte central y norte del Golfo de California, sin embargo sólo una estación se ubicó en la parte central.

Alvarez Borrego et al. (1987) reportaron valores de productividad primaria integrada para la región central y norte del Golfo durante el verano de 1982 tan altos como  $2.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  . Gaxiola Castro et al. (1985) estimaron

valores de productividad primaria Integrada para la región de las Islas (Angel de la Guarda y Tiburón) de  $1.66 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  para el Invierno de 1981.

Recientemente, Baumgartner et al. (1985) compararon las abundancias y variación de la composición de especies de las diatomeas en los sedimentos laminados en la cuenca de Guaymas, con relación a los fenómenos denominados "El Niño" que ocurrieron entre los años 1954 - 1974. Estos autores concluyeron que el incremento de la abundancia de las diatomeas está asociado con las condiciones de "El Niño".

Millan Nuñez (1986) estudió la composición del fitoplancton en 25 estaciones entre la parte central y sur del Golfo de California; entre 1982 - 1984. Este autor encontró, en general, que las células  $< 10\mu$  fueron las más dominantes en el Golfo de California, excepto en zonas de mezcla, que fué cuando dominaron las células  $> 20\mu$ . También concluyó que los efectos de "El Niño" parecen ser menos intensos que en otros ecosistemas, ya que los procesos advectivos que aquí ocurren obscurecieron la influencia del fenómeno.

Valdez Holguin (1986) comparó los efectos del evento El Niño 1982-1983 en la biomasa y productividad del fitoplancton del Golfo de California durante las primaveras de 1983 y 1984. Este autor encontró los valores máximos de productividad primaria (promedio máximos de  $3.2 \text{ gCm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) durante el evento, contrario a los efectos de El Niño en otros medios ambientes. La contribución del nanofitoplancton a la biomasa y productividad, fué dominante en ambos periodos.

### 3.- OBJETIVOS.

El objetivo de ésta investigación es analizar la distribución de la biomasa y productividad primaria del fitoplancton por clases de tamaño (microfitoplancton y nanofitoplancton), en el Golfo central a principios de la primavera de 1985.

## II.- MATERIALES Y METODOS.

### 1.- Area de estudio.

El Golfo de California es aparentemente rectangular en aspecto y está situado entre la península de B.C. al oeste y las costas de Sonora y Sinaloa al este. La longitud del Golfo es aproximadamente de 1400 km y el ancho promedio de 150 km, dando un área superficial total de aproximadamente 210,000 km<sup>2</sup>(Roden, 1958).

De acuerdo a sus características el Golfo es considerado como una gran cuenca de evaporación, en comunicación abierta al Océano Pacífico en su región sur (Roden y Groves, 1959; Roden, 1964). Se caracteriza por presentar amplios rangos de temperatura anual y salinidades altas (Sverdrup, 1941; Roden y Groves, 1959; Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

El Golfo de California está separado en dos grandes áreas por las Islas Angel de la Guarda y Tiburón, siendo más somera el área norte. Las masas de agua de la parte norte son de origen local, formadas por enfriamiento y evaporación excesiva en invierno, mientras que las masas de agua de la porción sur son casi las mismas que el océano

adyacente, modificadas por la evaporación excesiva del lugar (Sverdrup, 1941). Las masas de agua superficiales en la parte sur del Golfo son de tres tipos: agua fría de baja salinidad de la corriente de California; agua del Golfo de California templada y muy salina y agua cálida con salinidad intermedia del Pacífico Tropical del Este (Roden y Groves, 1959; Stevenson, 1970).

Se observa una gran variabilidad estacional en la distribución relativa de estas masas de agua, debido a las variaciones interanuales y estacionales de las corrientes del Pacífico del Este, asociados con los cambios en la magnitud y posición de los grandes sistemas de vientos (Baumgartner y Christensen, 1985).

Roden (1964) concluyó que los vientos en el Golfo son extremadamente variables. Cerca de la costa prevalece el sistema de cambios diurnos que son usualmente mayores que los cambios anuales, los cuales son particularmente fuertes en el canal de Ballenas. Fuera de la costa los vientos del noroeste prevalecen de Noviembre a Mayo y el resto del año en dirección sur a norte. Siendo, según Roden y Groves (1959) la combinación de regímenes de vientos y complicada topografía, lo que juega un papel predominante en la circulación.

La circulación general del agua es principalmente debida al efecto del viento, en invierno y primavera conducen el agua superficial hacia la parte sur causando surgencias a lo largo de la costa este y sotavento de la Isla Tiburón. En verano y otoño los vientos del sudeste mueven el agua superficial hacia la parte norte causando afloramientos del agua a lo largo de la costa de Baja California, y como una consecuencia de ésta circulación, aguas profundas ricas en nutrientes son traídas a la zona eufótica donde éstos pueden ser utilizados para el desarrollo del fitoplancton (Roden, 1958; Roden y Groves, 1959; Gilmartin y Revelante, 1978).

Actualmente por medio de fotografías de satélite del Infrarojo se ha demostrado que existe en general un flujo hacia el sur en primavera y hacia el norte en verano (Badan Dagon et al. 1985). Sin embargo, se ha demostrado que en primavera el flujo puede estar en muchas direcciones, produciendo giros al norte del Golfo de California (Granados Gallegos y Schwartzlose, 1977). Para una mayor descripción del área de estudio ver Alvarez Borrego (1983) y Alvarez Borrego y Lara Lara (en prensa).

## 2.- Metodología.

Del 31 de Marzo al 9 de Abril de 1985 se realizó un crucero oceanográfico a bordo del B/O "EL PUMA" en la parte central del Golfo de California. Se efectuaron lances hidrográficos en 19 estaciones (Fig. 1, Tabla 1), los muestreos se efectuaron con botellas Niskin de siete litros de capacidad para los experimentos de productividad y con botellas Niskin de tres litros para los análisis del contenido de clorofila a.

Se tomaron muestras para analizar el contenido de clorofila a y sus feopigmentos a cinco profundidades (0,25,50,75 y 100 m ). Posteriormente, la muestra del contenido total de clorofila a se tamizó utilizando una malla Nitex de  $20\mu$  de poro para obtener la fracción correspondiente al nanofitoplancton. Se realizaron filtraciones (150 ml) por duplicado para ambas muestras (total y menor de  $20\mu$ ) utilizando filtros de fibra de vidrio (whatman GF/C) con 25 mm de diametro, agregandoles carbonato de magnesio a saturación para evitar la degradación de los pigmentos. Los filtros fueron doblados y empaquetados en bandas individuales de papel aluminio para evitar la penetración de la luz, congelandose para su posterior análisis en el laboratorio. Se determinó el contenido de clorofila a mediante el método fluorimétrico

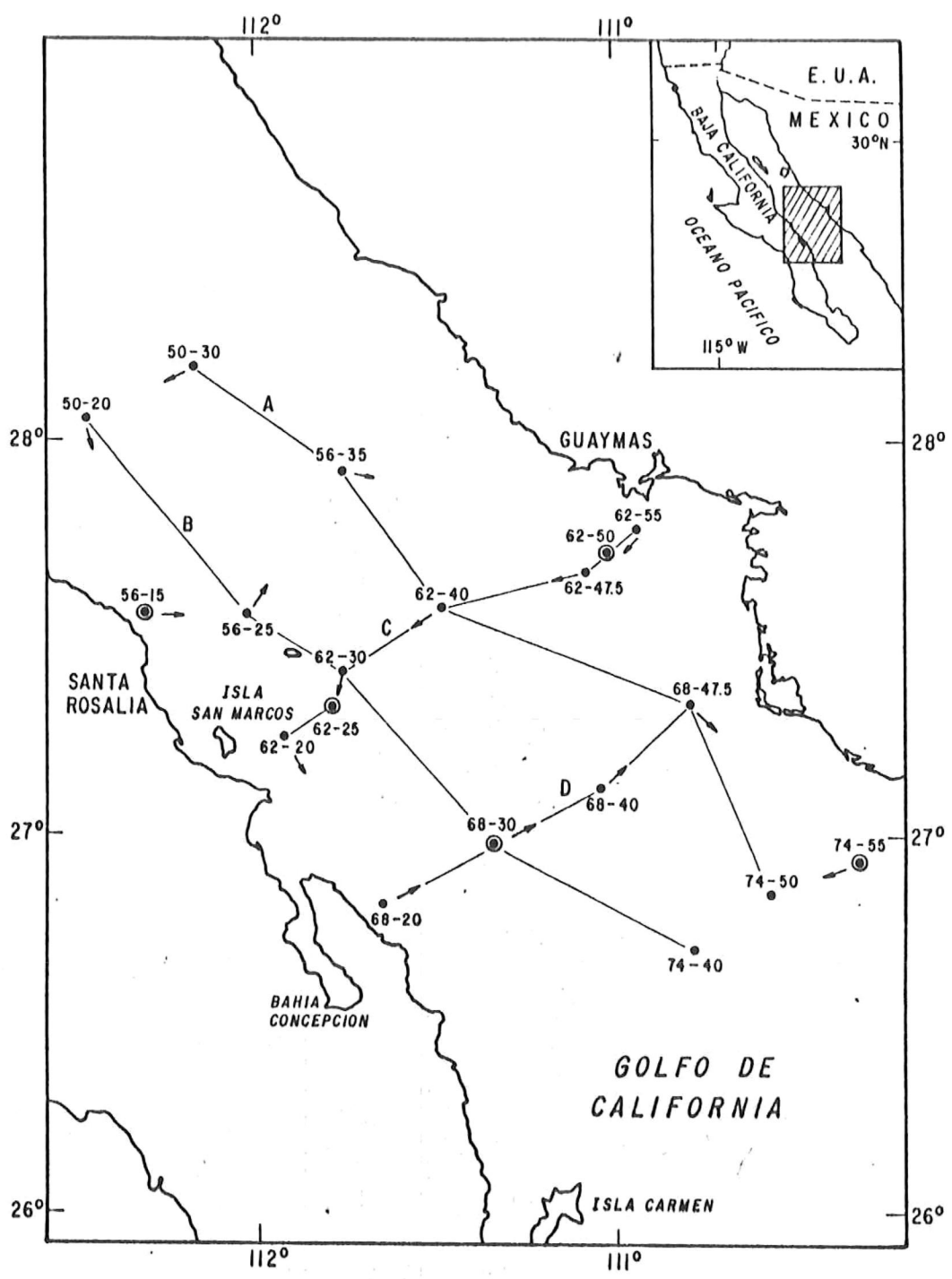


Fig. 1. Localización de las estaciones muestreadas, (⊙) productividad primaria, temperatura y clorofila a y (•) estaciones discretas para temperatura y análisis de clorofila a. A, B, C y D denotan transectos utilizados para generar isogramas de temperatura y clorofila a.

TABLA I . Posición geográfica de las estaciones muestreadas

EST.	LAT. N	LONG. W	PROF. (m)	FECHA D/M/A	HORA MUEST.
50-30	28° 16.7'	112° 12.1'	440	40485	20:15
50-20	28 07.2	112 30.6	725	50485	3:00
56-15.C	27 36.6	112 22.7	370	50485	8:50
56-25	27 46.1	112 4.2	1460	50485	14:10
56-35	27 55.6	111 45.8	175	50485	18:25
62-55	27 46.3	110 56.3	360	60485	7:25
62-50.C	27 43.9	111 00.9	500	60485	9:46
62-47.5	27 41.5	111 05.5	605	60485	13:01
62-40	27 34.4	111 19.4	1065	70485	1:11
62-30	27 24.9	111 37.9	1800	70485	6:13
62-25.C	27 20.2	111 47.1	1570	70485	10:14
62-20	27 15.4	111 56.4	1285	70485	13:00
68-20	26 49.5	111 39.3	480	70485	20:12
68-30.C	26 59.0	111 20.8	1700	80485	9:00
68-40	27 08.5	111 02.3	1725	80485	14:58
68-47.5	27 15.6	110 48.4	1185	80485	20:15
74-55.C	26 56.8	110 26.7	87	90485	10:41
74-50	26 52.1	110 26.7	1195	90485	12:33
74-40	26 42.6	110 45.2	1590	90485	17 :44

descrito por Strickland y Parsons (1972) con modificaciones por Eddler (1979), utilizando un fluorímetro Turner modelo 111 calibrado con clorofila a pura y libre de feopigmentos mediante la técnica fluorimétrica descrita por Yentsch y Menzel (1963)(ver apéndice A1). Con los valores de clorofila a en  $\text{mg cl a m}^{-3}$  y profundidad en metros (m) se obtuvo para cada estación un perfil de la columna de agua para integrarse en papel milimétrico sumando el área dentro del perfil para obtener los datos en  $\text{mg cl a m}^{-2}$ .

En cinco de las estaciones muestreadas (Fig. 1) se realizaron experimentos de asimilación de carbono-14, para estimar la productividad primaria de acuerdo a la técnica de Steemann - Nielsen (1952), descrita por Strickland y Parsons (1972). Se tomaron 5 muestras a profundidades correspondientes al 100, 50,25, 10 y 1 % de la irradiancia incidente en la superficie, éstas profundidades se determinaron usando un coeficiente de atenuación de la luz promedio para toda la columna de agua. El coeficiente de atenuación y las profundidades de muestreo se calcularon usando la ecuación:  $I_z = I_s e^{-kz}$  (ver apéndice A2). De cada profundidad muestreada se tomaron cuatro alícuotas de 125 ml en botellas claras de vidrio. Se tamizaron dos submuestras de agua con una malla Nitex de  $20\mu$  de luz para

obtener la fracción correspondiente al nanofitoplancton; las otras dos submuestras representaron al fitoplancton total para cada nivel de irradiación muestreado. Las submuestras se incubaron en frascos de vidrio de 125 ml de capacidad. De cada frasco se extrajo 1 ml del agua de mar y se reemplazó el mismo volumen con 1 ml de  $\text{Na H}^{14}\text{CO}_3$  con una actividad de 1  $\mu\text{Ci}$ . Posteriormente se colocaron los frascos en tubos de incubación que simulaban la penetración de luz a las diferentes profundidades, manteniéndose un flujo continuo de agua para evitar el calentamiento de las muestras. Se incubaron a bordo de la embarcación durante aproximadamente 2 horas, alrededor de mediodía. Una vez terminada la incubación se procedió a filtrar las muestras utilizando filtros de membrana millipore de  $0.45\mu$  de poro y 25 mm de diámetro. Los filtros se pasaron por vapores de  $\text{HCl}$  concentrado con una duración de aproximadamente 10 segundos para liberar el exceso de carbono no asimilado, luego se congelaron en frascos de centelleo de 20 ml. En el laboratorio se les agregaron 15 ml de solvente para análisis por centelleo líquido (solución Beta-Phase).

La actividad de las radiaciones beta (cpm) se determinó con un contador Beckman LSC100 del Instituto Scripps de Oceanografía en la Jolla Ca..

Los calculos finales de carbono asimilado se realizaron con las ecuaciones descritas por Strickland y Parsons (1972) (ver apendice A3).

Las razones P/B (mgC/mgcl<sub>a</sub> h ) de cada estación se obtuvieron con el promedio de las razones P/B a cada profundidad. Los datos de temperatura y salinidad, fueron proporcionados por el grupo de estudios hidrográficos del CICESE, los cuales fueron obtenidos con un CTD Neil Brown Mark II.

### III.- RESULTADOS.

Se muestran las distribuciones espaciales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Fig. 2), concentración de clorofila a ( $\text{mg cl a m}^{-2}$ ) (Fig. 3) y productividad orgánica primaria ( $\text{mg C m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) (Fig. 4). Isogramas verticales de temperatura, clorofila a ( $\text{mgcl a m}^{-3}$ ) y porcentaje de clorofila a debida al nanofitoplancton de los transectos A, B, C, D como se indican en la Fig.1. Tambien se presentan los perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), clorofila a ( $\text{mg cl a m}^{-3}$ ) y productividad primaria ( $\text{mgC m}^{-3}\text{h}^{-1}$ ) (Figs. 7, 8 y 9, respectivamente) de cada estación en donde se realizaron experimentos de fijación de carbono-14. La salinidad (o/oo) superficial presentó rangos de 35.00 a 35.73 o/oo.

#### 1.- Distribución espacial de temperatura, clorofila a y productividad orgánica primaria por clases de tamaño.

La temperatura en el Golfo de California aumentó gradualmente de norte a sur ( $17 - 21^{\circ}\text{C}$ ) (Fig.2), mientras que la distribución espacial de la biomasa total ( $\text{mgcl a m}^{-2}$ ) (Fig.3) se caracterizó por presentar los valores más bajos en el centro del Golfo ( $20 \text{ mgcl a m}^{-3}$ ) (cuenca de Guaymas), cubriendo este valor un area muy amplia,

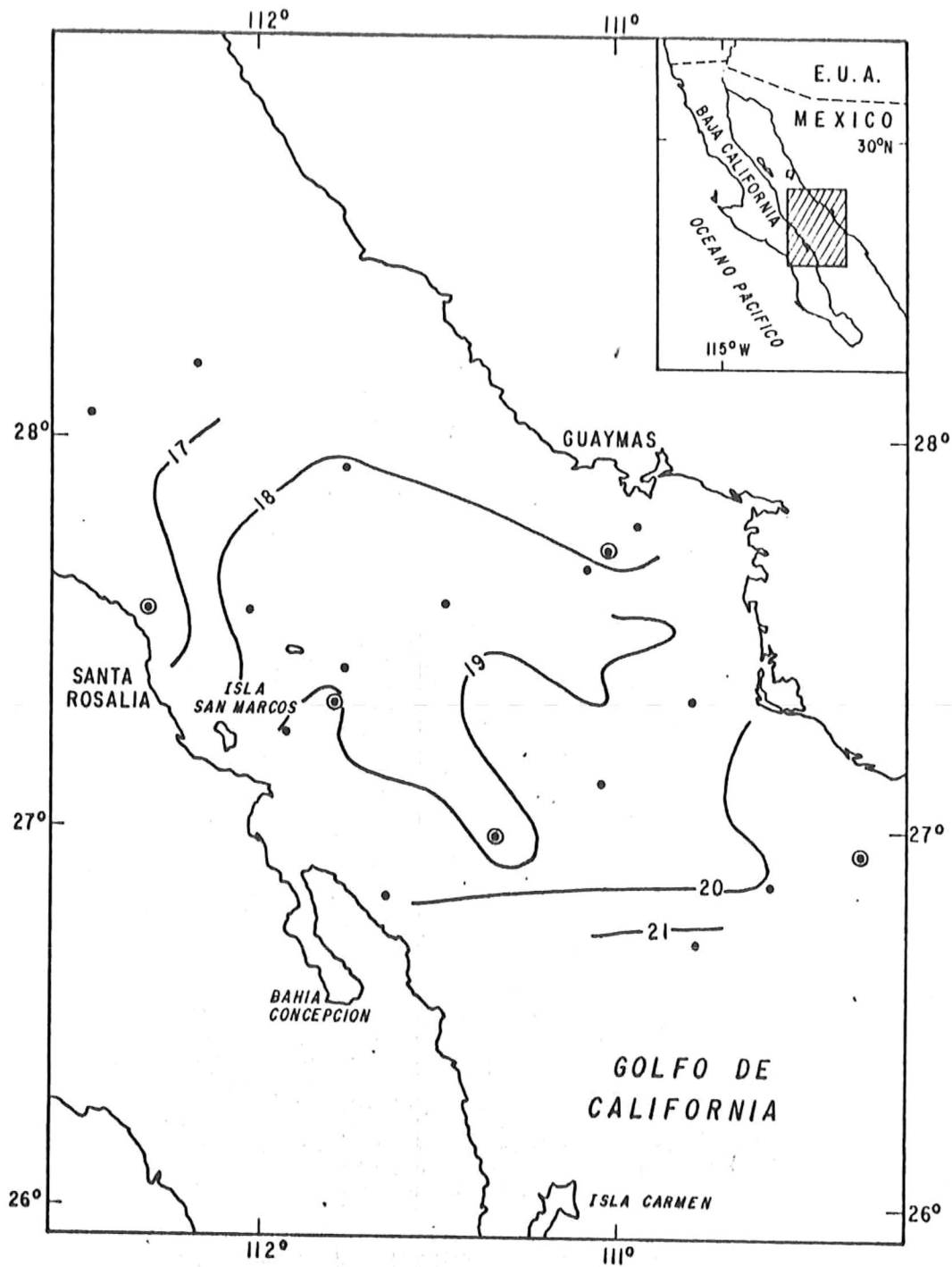


Figura 2. Distribución espacial de la temperatura superficial  
( $^{\circ}\text{C}$ ).

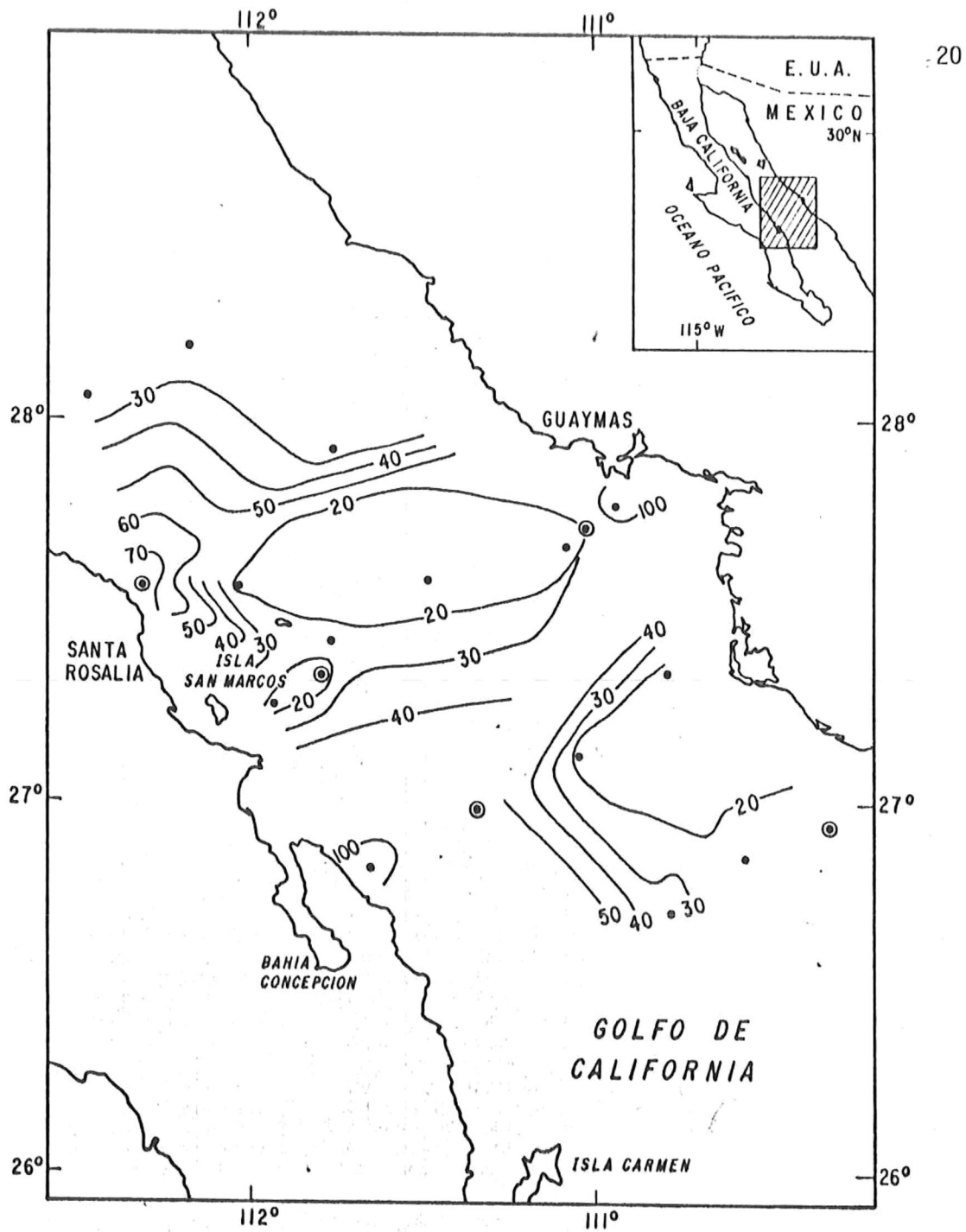


Figura 3. Distribución espacial de clorofila *a* total integrada en la columna de agua (mgchl *a* m<sup>-2</sup>).

umentando en concentración hacia la periferia del area muestreada. Las concentraciones más altas se ubicaron en las estaciones cercanas a la costa con valores de hasta 115 mg chl  $a$   $m^{-2}$  (Península y Sonora). La distribución espacial de clorofila  $a$  superficial (Fig.4) presenta tendencias similares a la distribución espacial de clorofila  $a$  total (Fig.3). La contribución del nanofitoplancton fué dominante en clorofila  $a$  y productividad primaria, sólo la contribución del microfitoplancton fué significativa en tres estaciones (Figs.5 y 6, Tablas II y III) .En cuanto a biomasa el nanofitoplancton dominó en las estaciones cercanas a la costa de Sonora y el microfitoplancton sólo en algunas estaciones en el lado de la Península (Fig. 5). La productividad fué similar en las estaciones de ambas costas alrededor de  $0.6 \text{ gC } m^{-2} \text{ día}^{-1}$  ; el nanofitoplancton presentó una contribución mayor (>90 %) en las estaciones hacia el sur del area muestreada (Fig.6).

## 2.- Perfiles verticales de temperatura, clorofila $a$ y productividad organica primaria por clases de tamaño.

A continuación se presentan perfiles verticales de temperatura, clorofila  $a$  y productividad primaria, para las cinco estaciones donde se realizaron experimentos de fijación de carbono-14.

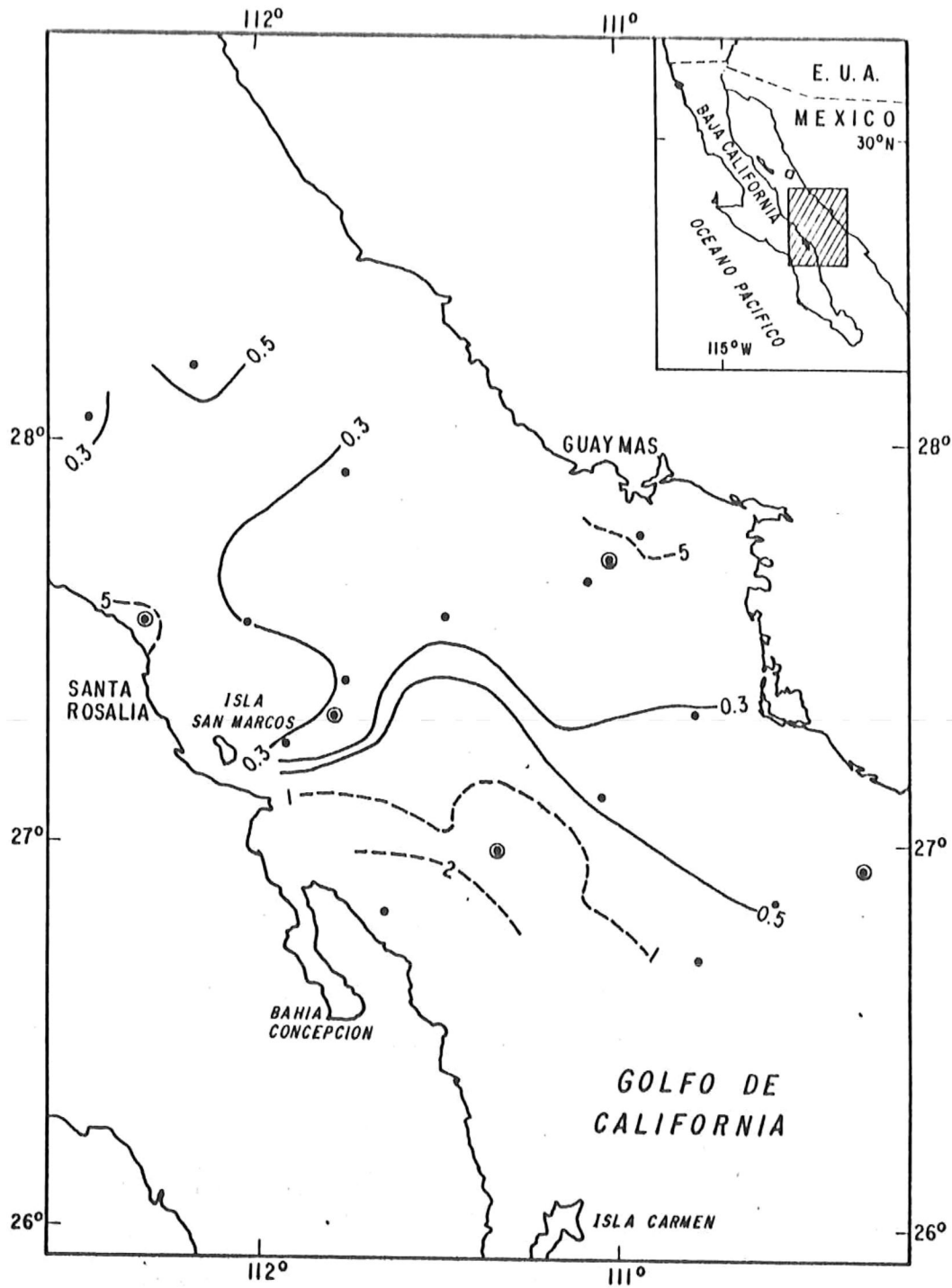


Figura 4. Distribución espacial de clorofila a superficial  
 (  $\text{mgchl a m}^{-3}$  ).

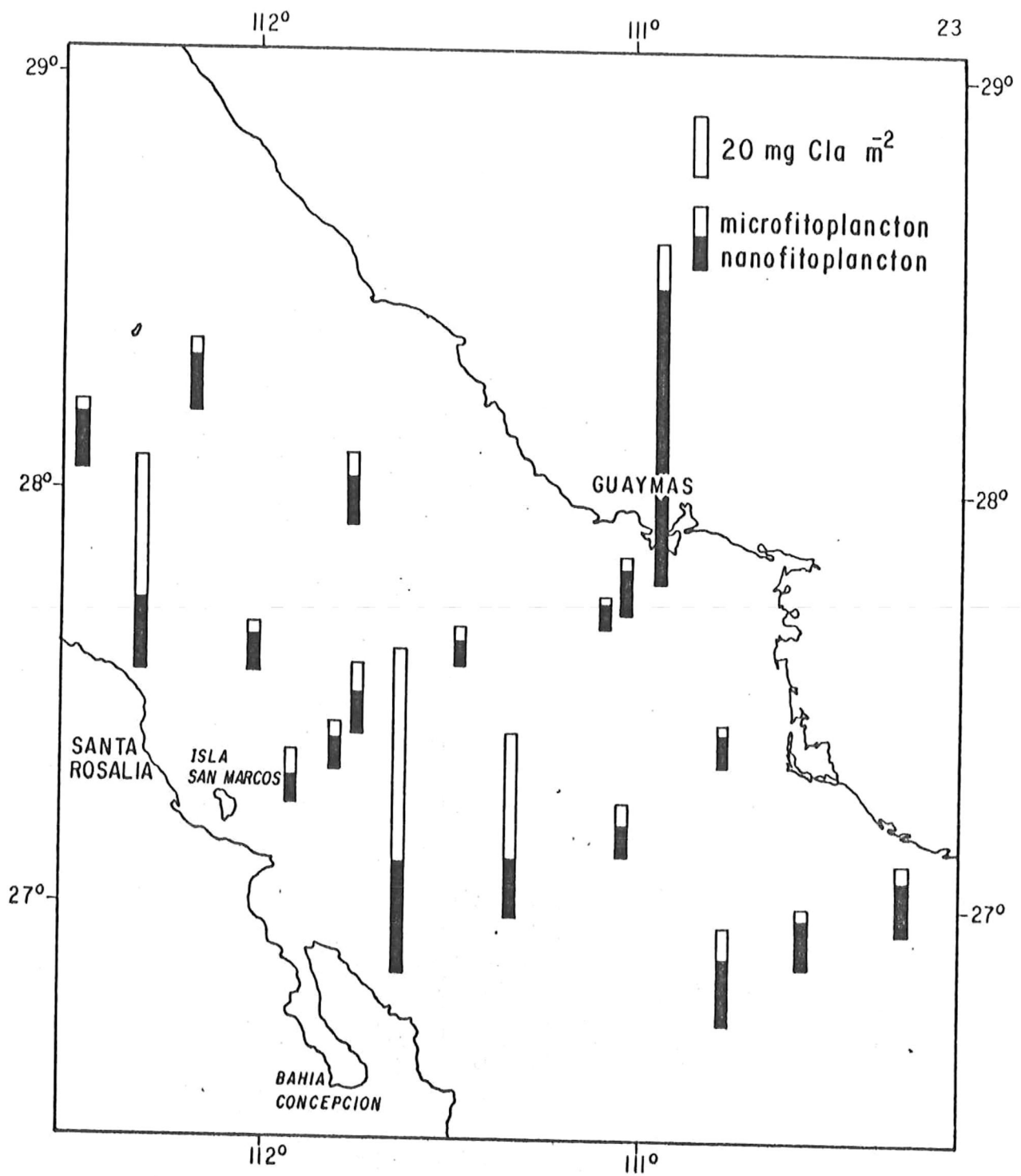


Figura 5. Distribución espacial de clorofila "a" integrada (mgcla m<sup>-2</sup>) por clase de tamaños.

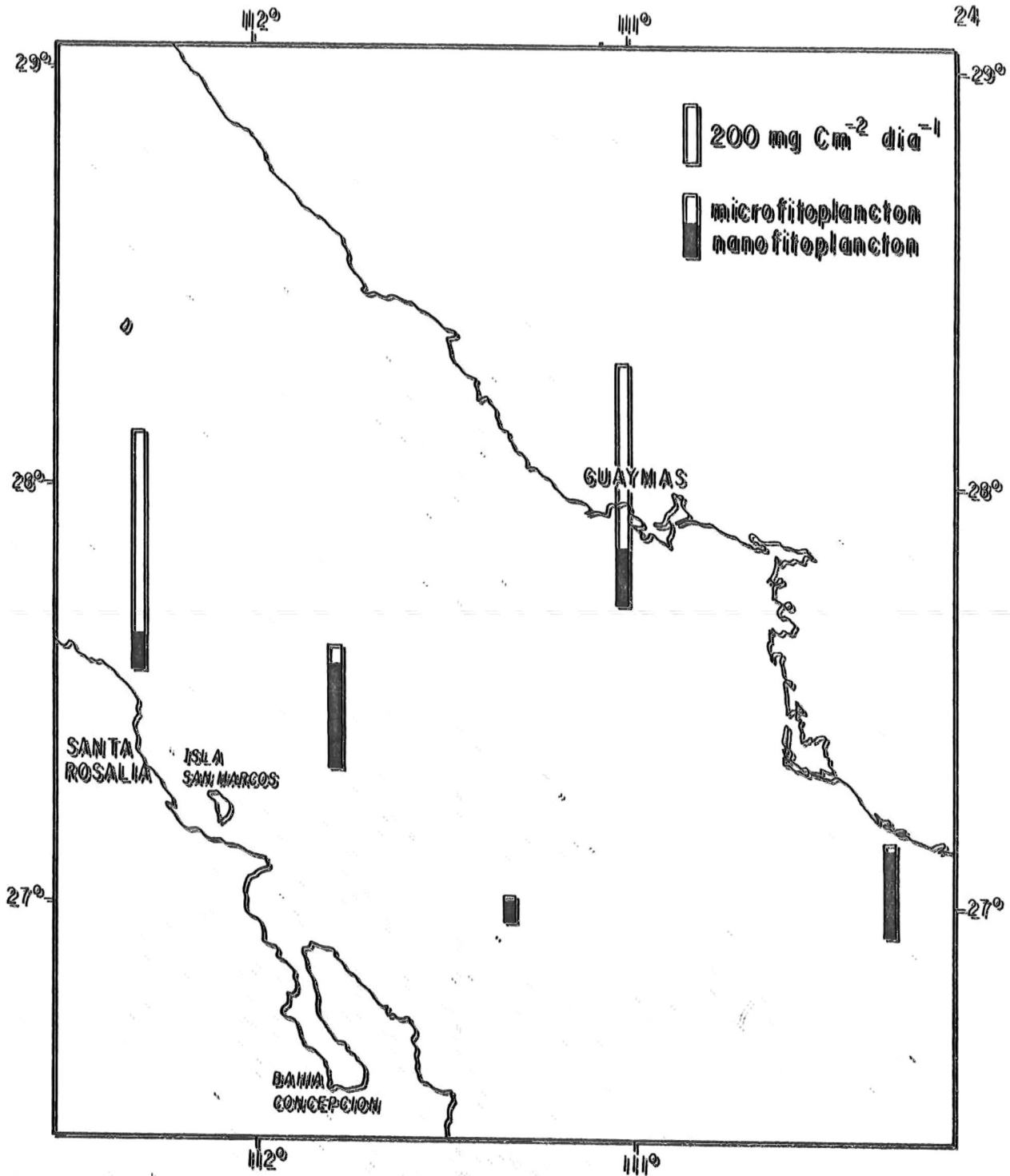


Figura 6. Distribución espacial por clase de tamaños de la productividad primaria diaria integrada ( $\text{mg C m}^{-2}\text{día}^{-1}$ ), a través de la zona eufótica.

TABLA II. Contenido de clorofila a total (cla) y por clases de tamaño en mg cla m<sup>2</sup> .

ESTA.	cl a TOT.	cl a NANO.	cl a MICRO.	% NANO.	% MICRO
50-30	25.50	19.80	5.70	77.60	22.40
50-20	23.75	18.75	5.00	78.90	21.10
56-15.C	73.40	23.60	49.80	32.15	67.85
56-25	16.85	12.85	4.00	76.20	23.80
56-35	23.55	15.27	8.28	64.80	35.20
62-55	115.00	99.00	16.00	86.00	14.00
62-50.C	20.10	14.90	5.20	74.10	25.90
62-47.5	11.10	9.10	2.00	81.90	18.10
62-40	12.25	8.00	4.25	65.30	34.70
62-30	23.50	12.95	10.55	55.10	44.90
62-25.C	16.85	12.90	3.95	76.55	23.45
62-20	18.25	10.20	8.05	55.80	44.20
68-20	109.25	37.40	71.85	34.20	65.80
68-30.C	60.40	19.60	40.80	32.45	67.55
68-40	15.60	9.85	5.75	63.10	36.50
68-47.5	14.10	11.45	2.65	81.20	18.80
74-55.C	23.80	18.60	5.20	78.15	21.85
74-50	21.25	16.75	4.50	78.80	21.20
74-40	33.40	23.70	9.70	70.90	29.10

TABLA III . Tasas de producción primaria total y por clases de tamaño en  $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$  .

ESTACION	P.P. TOT.	P.P. NANO.	P.P. MICRO.	% NANO.	% MICRO.
56-15	806.64	125.43	681.21	15.55	84.45
62-50	828.34	187.90	640.44	22.69	77.31
62-25	417.54	363.64	53.90	87.10	12.90
68-30	87.04	77.40	9.64	89.00	11.00
74-55	311.85	306.29	5.56	98.22	1.78

TABLA IV . Contenido de clorofila a total y por clase de tamaño en  $\text{mg cl a m}^{-2}$ , y razones P/B en  $\text{mg C/mgcl a h}$  .

EST.	cl a TOT.	cl a NANO.	cl a MICRO.	% NANO.	% MICRO.	P/B TOT.	P/B NANO.
56-15	73.40	23.60	49.80	32.15	67.85	1.53	0.72
62-50	20.10	14.90	5.20	74.10	25.90	6.67	2.11
62-25	16.85	12.90	3.95	76.55	23.45	4.20	3.47
68-30	60.40	19.60	40.80	32.45	67.55	0.47	0.82
74-55	23.80	18.60	5.20	78.15	21.85	2.27	2.38

En general, las cinco estaciones presentaron condiciones de estratificación, con gradientes desde aproximadamente 2 °C (14-16 °C) por 100 m (est.56-15) hasta de 5 °C (14-19 °C) por 100 m (est.62-25) (Fig.7). Las máximas concentraciones de clorofila a se registraron en la estación costera (56-15) cerca de la península (Fig.8), con valores subsuperficiales de 6.33 mg cla m<sup>-3</sup>, mientras que la estación 62-25 mostró las mínimas concentraciones. La contribución del microfitoplancton fue mayor solo en las estaciones 56-15 y 68-30, en el resto, más del 70 % fue debida al nanofitoplancton (Tabla IV). La distribución de la productividad primaria mostró tendencias similares a la de la clorofila a, con máximas producciones de hasta 7.47 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> en la estación 56-15 (Fig.9), sin embargo, los máximos de producción no correspondieron con los máximos de biomasa, lo cual puede deberse a las diferentes capacidades de producción (P/B) de las fracciones de tamaño del fitoplancton.

Los más altos valores de las razones de asimilación P/B (6.67, 4.20 y 2.27 mg C/mg cla h ) correspondieron con las estaciones de más altos porcentajes de nanofitoplancton ( 70 %) (Tabla IV); mientras que los más altos porcentajes de microfitoplancton correspondieron con las más bajas razones P/B (est. 56-15 y 68-30) (Tabla IV).

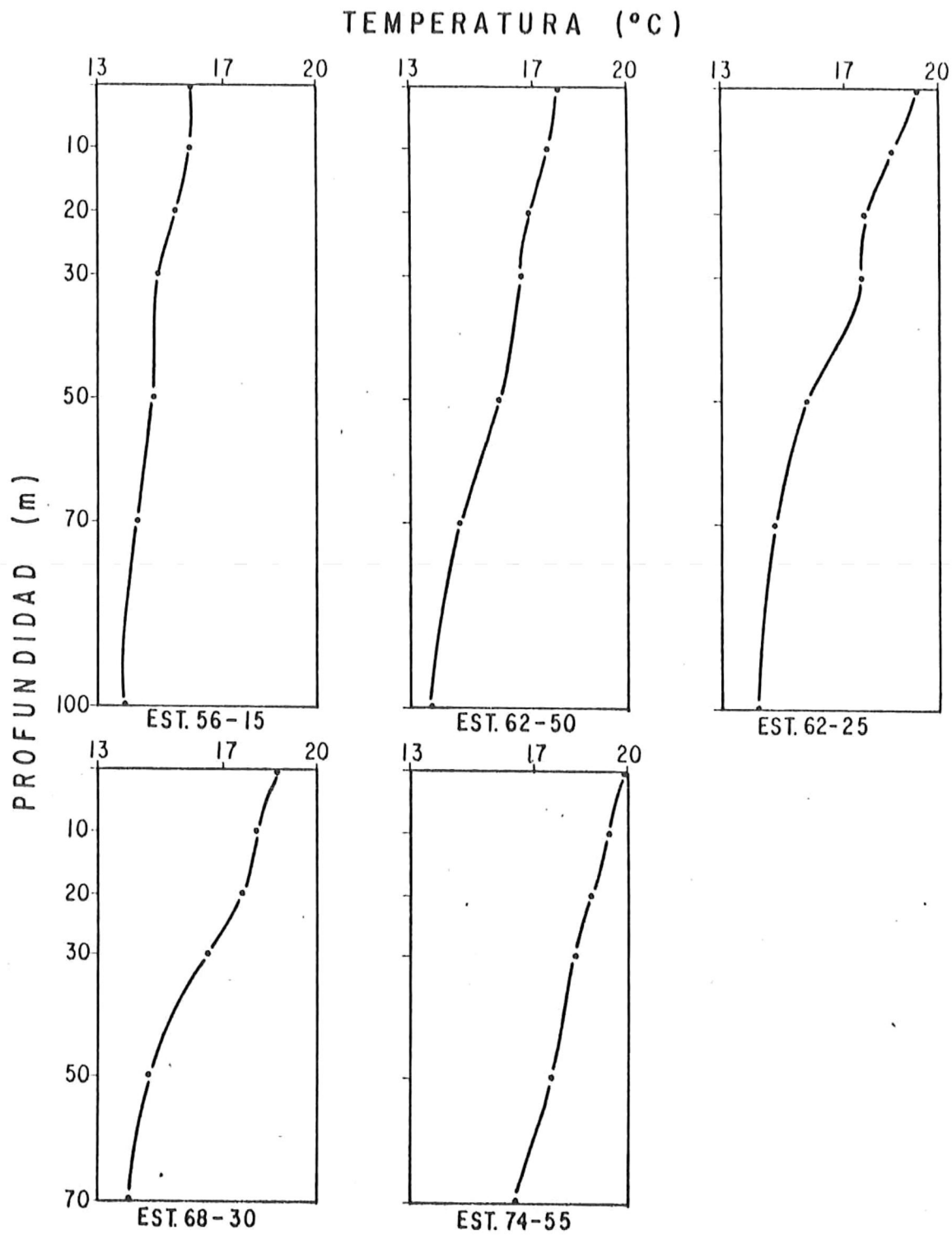


Figura 7. Distribuciones verticales de temperatura (°C) de las estaciones de  $^{14}\text{C}$ .

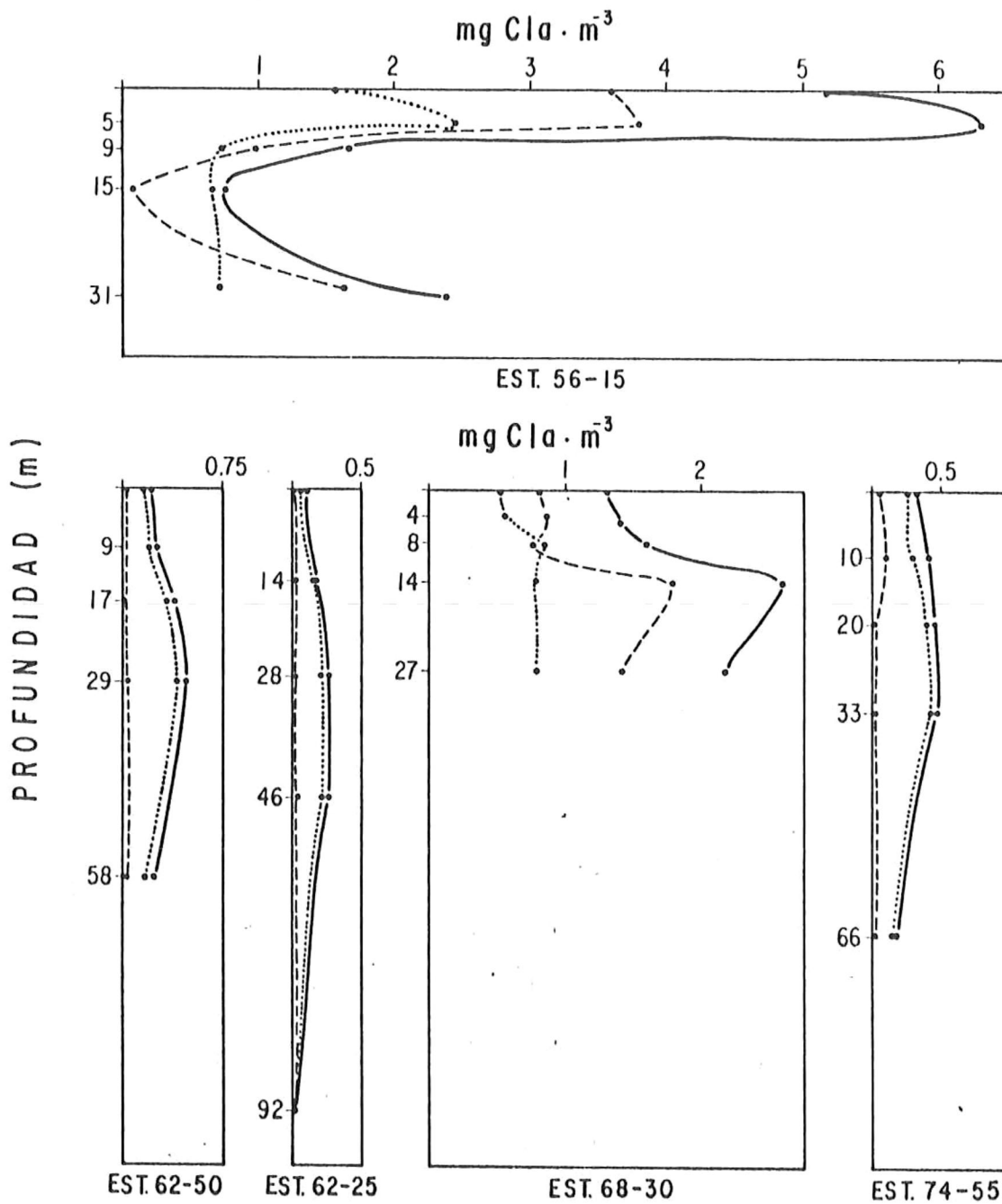


Figura 8. Distribuciones verticales de clorofila a (mg Cl a m<sup>-3</sup>) de las estaciones de <sup>14</sup>C. Por clase de tamaños, total (—), microfitoplancton (---) y nanofitoplancton (····).

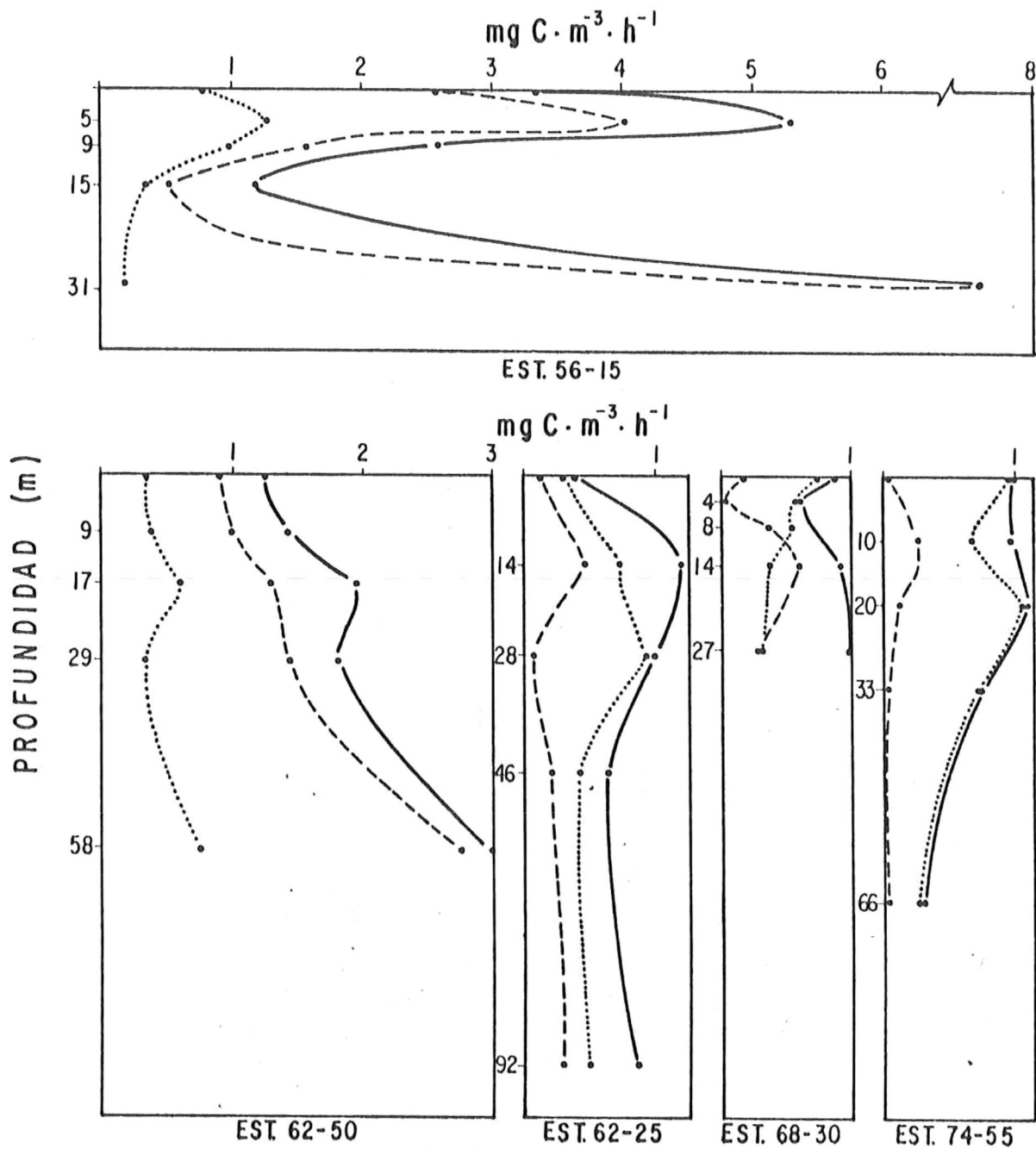


Figura 9. Distribuciones verticales de productividad primaria ( $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-2}$ ) a través de la zona eufótica. Por clase de tamaños; total (—), microfitoplancton (---) y nanofitoplancton (····).

3.- Isogramas de temperatura, Clorofila a y porcentaje de clorofila a debida al nanofitoplancton.

En la parte norte de los transectos A y B se presentaron las más bajas temperaturas (Figs.10a y 11a) y relativamente altas concentraciones de clorofila ( $0.4-0.5 \text{ mg cl a m}^{-3}$ ) en la zona eufótica del transecto A, y ligeramente mas bajas concentraciones de clorofila ( $0.2-0.3 \text{ mg cl a m}^{-3}$ ) en la superficie del transecto B (Figs.10b y 11b). La contribución por el nanofitoplancton dominó en ambos transectos, el microfiteoplancton sólo fue significativo por debajo de los 50 m en las estaciones 56-35 y 56-25 y en las aguas superficiales de las estaciones 68-30 y 74-40 (Fig.12). La parte central de éstos transectos presentó condiciones más estratificadas reflejando una mayor estabilidad de la columna de agua, con concentraciones de clorofila a más bajas; seguido de un elevamiento de las isotermas hacia las estaciones 68-47.5 y 68-30, formando un pequeño domo de agua fría subsuperficial con aguas calidas en la superficie por influencia de las estaciones del extremo sur 74-50 y 74-40. La concentración de clorofila registró valores de  $0.3 \text{ mg cl a m}^{-3}$  en la estación 68-47.5 y máximas de hasta  $1.0 \text{ mg cl a m}^{-3}$  en la estación 68-30 (Figs.10b y 11b) a través de este domo. Las isotermas se hundieron rápidamente hacia las estaciones 74-

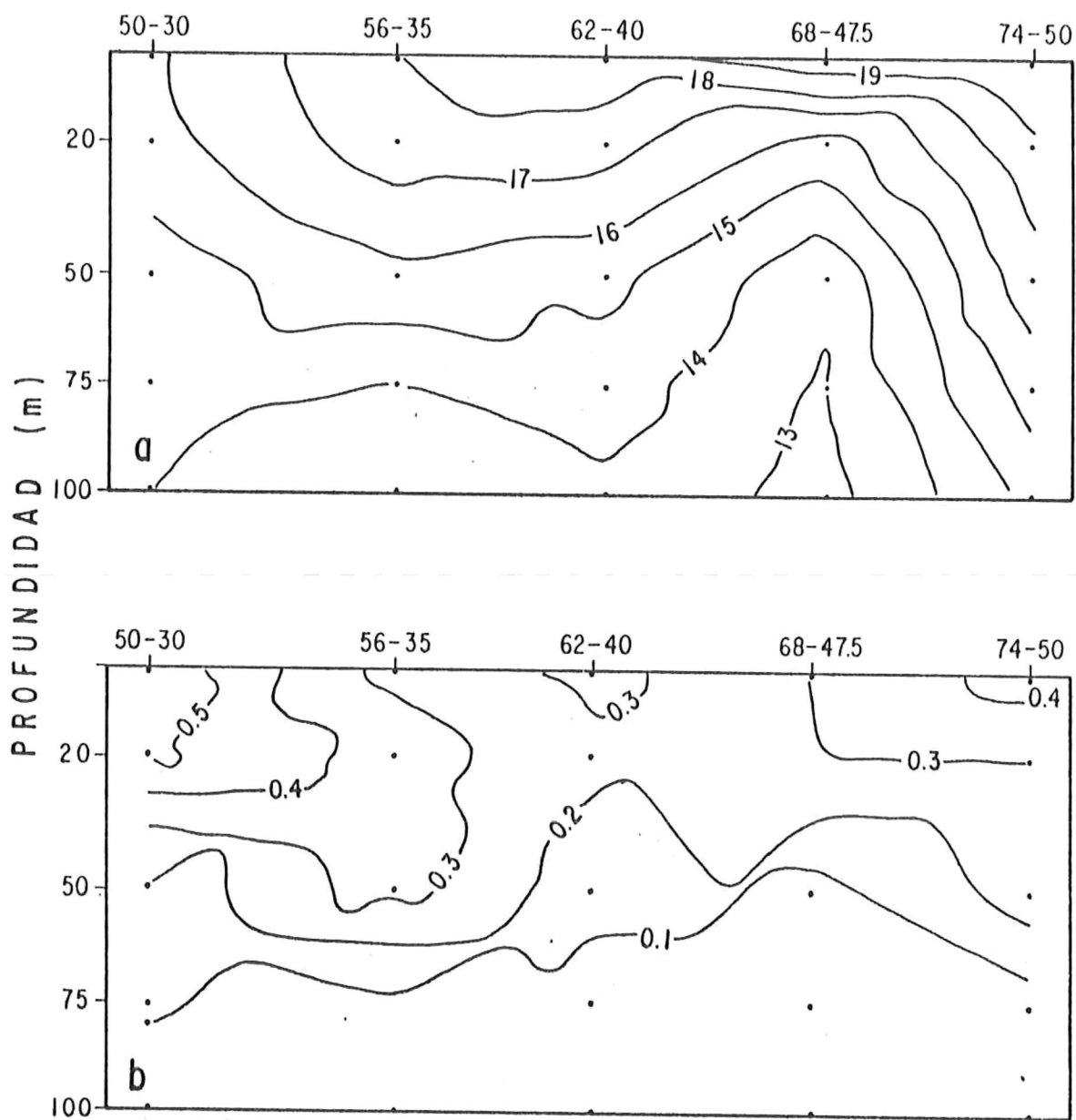


Figura 10. Isogramas de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) (a) y clorofila *a* ( $\text{mg chl } a \text{ m}^{-3}$ ) (b) del transecto A.

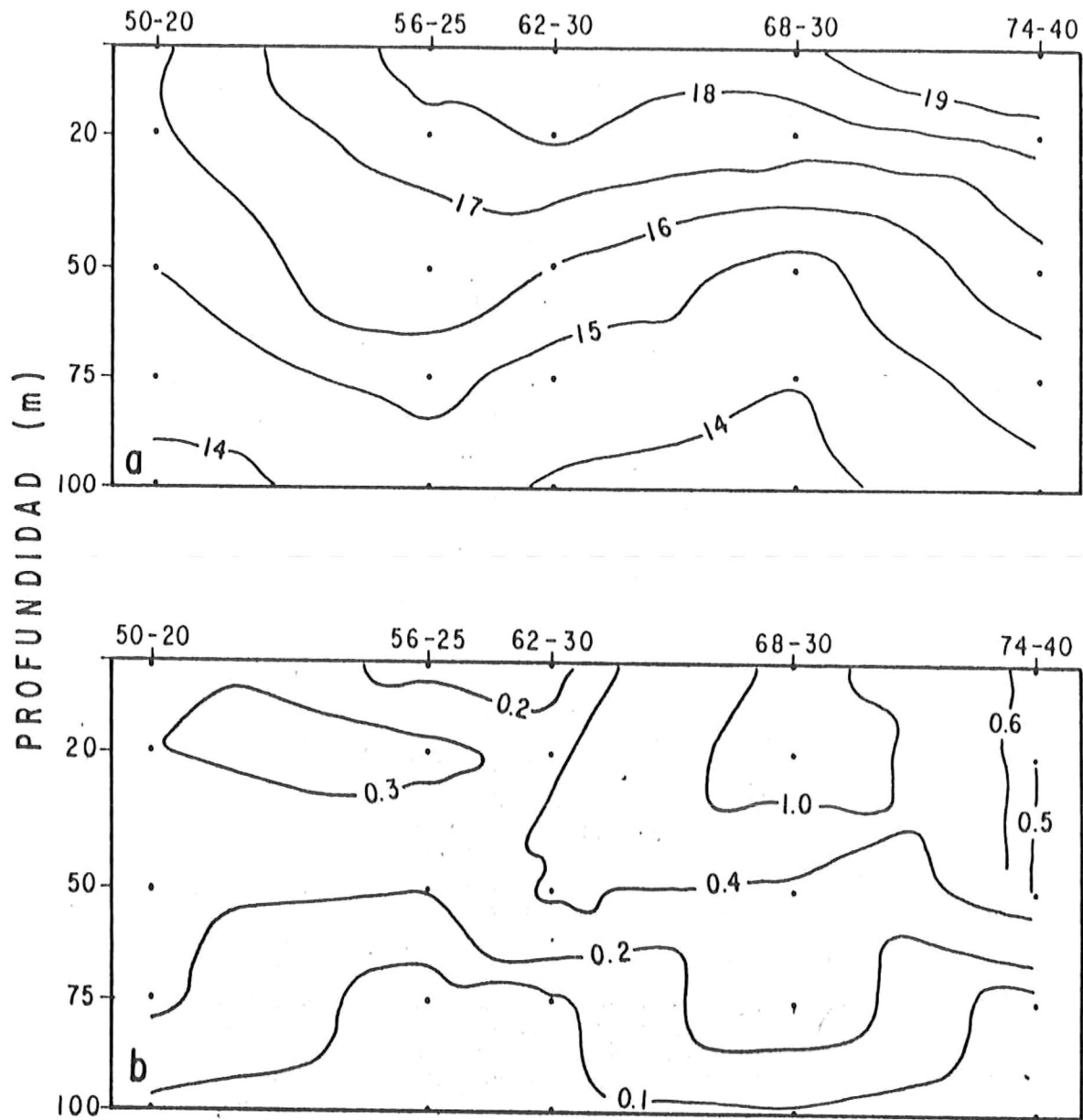


Figura 11. Isogramas de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) (a) y clorofila *a* ( $\text{mgchl a m}^{-3}$ ) (b) del transecto B.

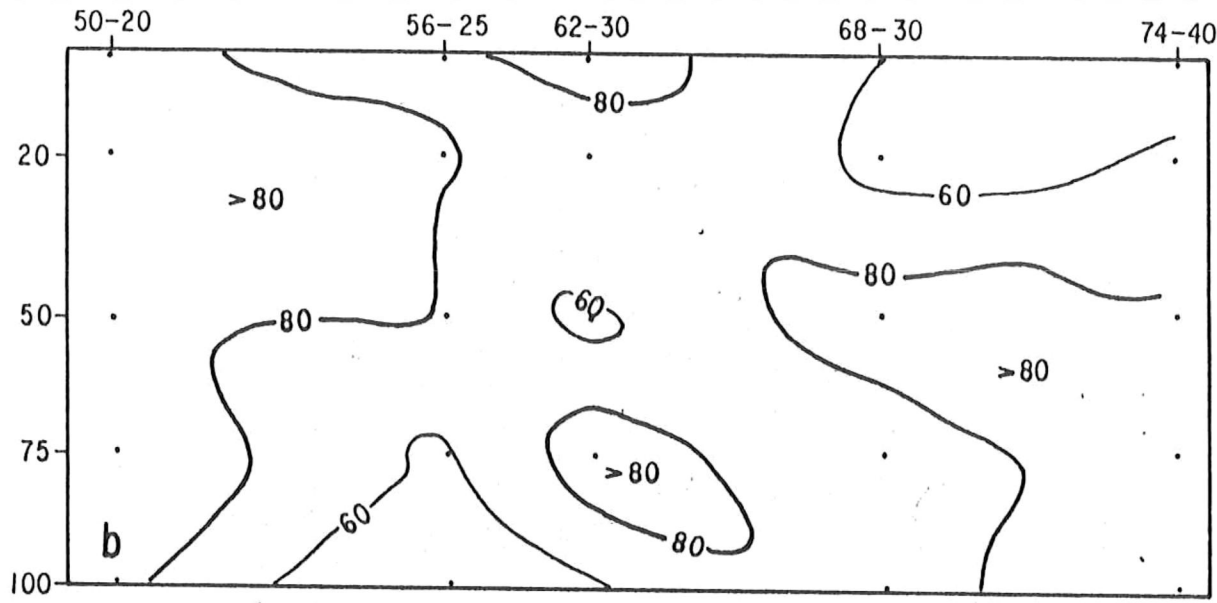
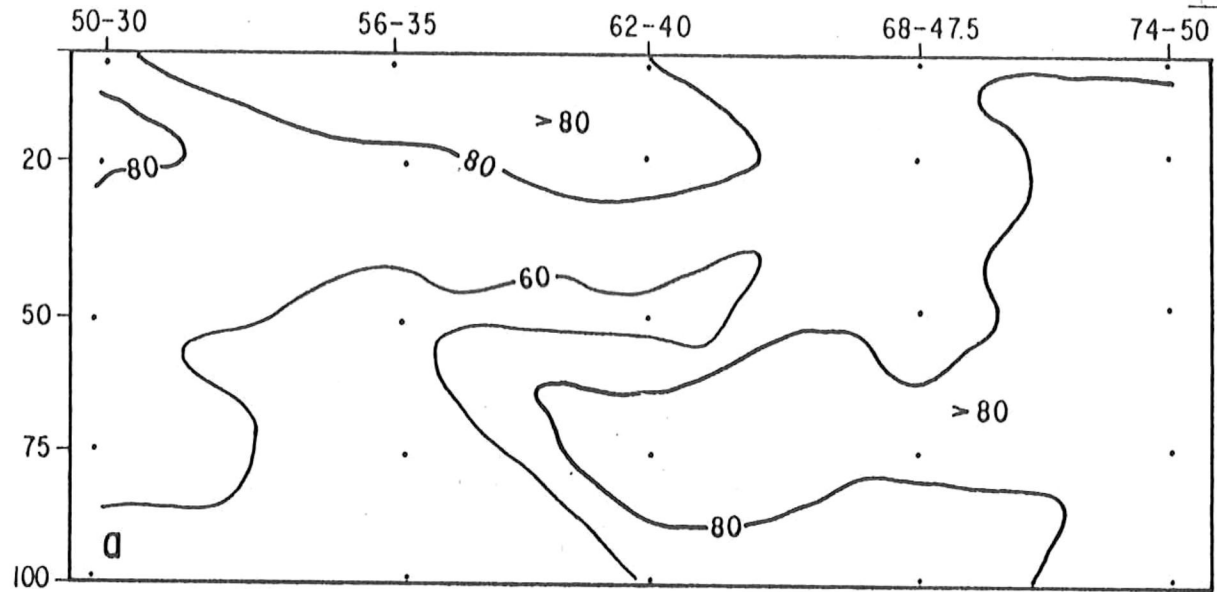


Figura 12. Isogramas de porcentajes en la biomasa ( $mg\text{cl}^{-1} m^{-3}$ ) del nanofitoplancton, del transecto A (a) y B (b).

50 y 74-40, manteniéndose valores de clorofila relativamente altos. En general, las distribuciones de las propiedades de los transectos a través del Golfo (C y D) concuerdan con los patrones de los transectos a lo largo del Golfo (A y B). Las isotermas presentaron elevaciones hacia las estaciones costeras (Figs.13a y 14a), presentándose aquí las máximas concentraciones de clorofila a de hasta  $2.0 \text{ mg cl a m}^{-3}$  (Figs.13b y 14b). Aunque la contribución del nanofitoplancton fue también dominante, las estaciones costeras, con excepción de la estación 68-47.5, presentaron valores de clorofila a significativa debida al microfitoplancton (Fig.15).

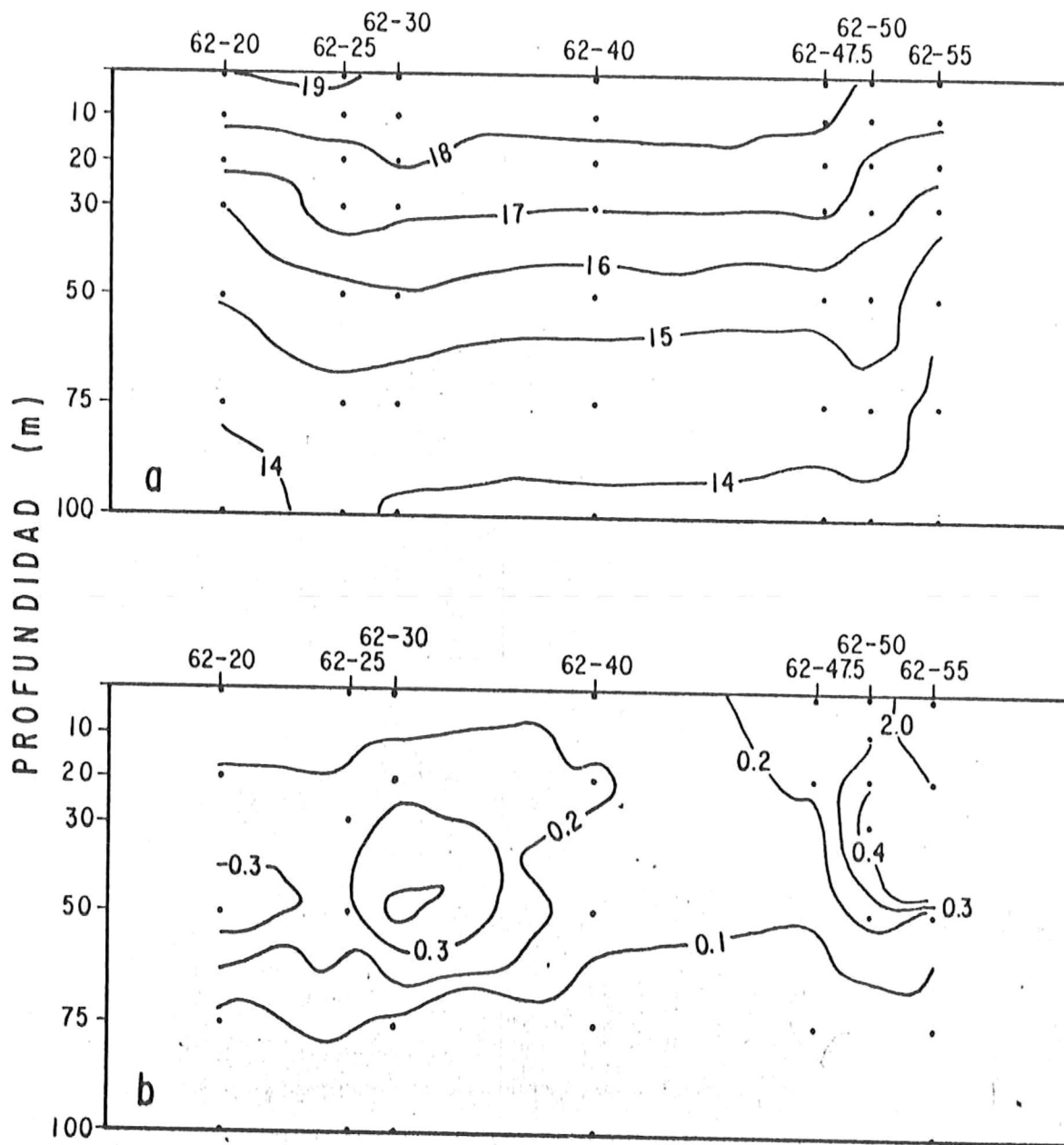


Figura 13. Isogramas de temperatura ( °C) (a) y clorofila *a* (mgchl *a* m<sup>-3</sup>) (b), del transecto C.

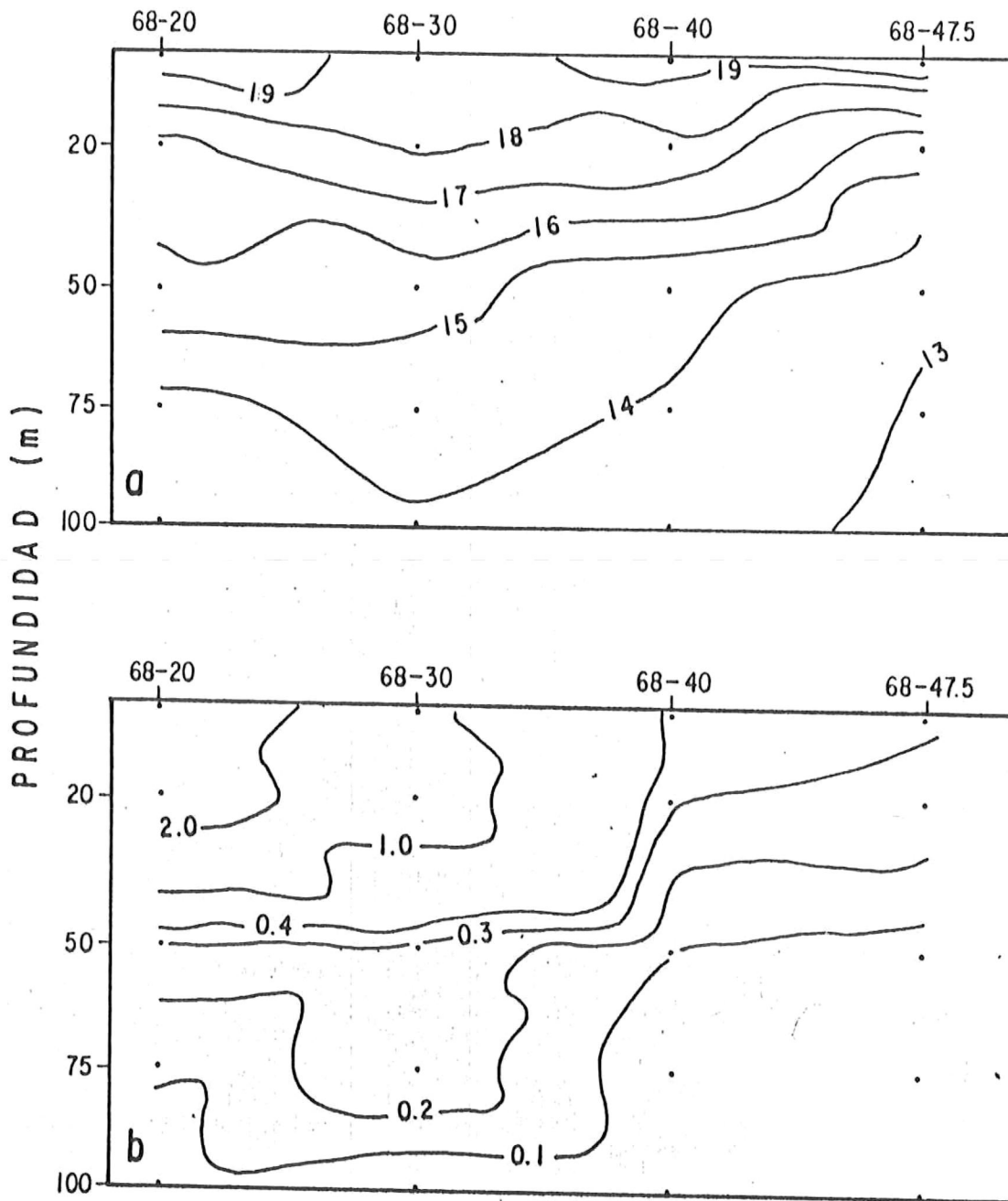


Figura 14. Isogramas de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) (a) y clorofila *a* ( $\text{mgchl a m}^{-3}$ ) (b), del transecto D.

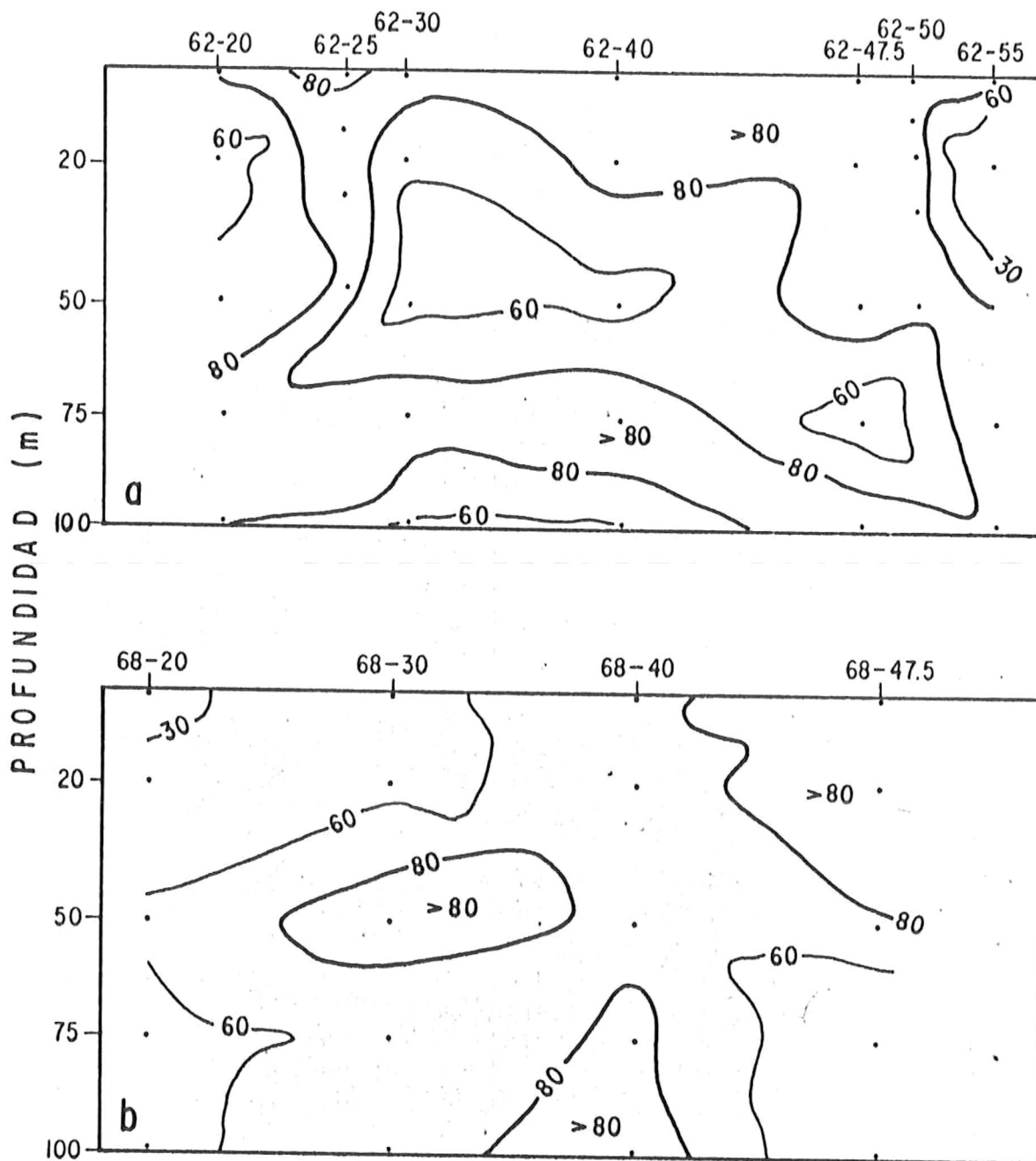


Figura 15. Isogramas de los porcentajes en la biomasa ( $\text{mg cl}^{-1} \text{m}^{-3}$ ) del nanofitoplancton de los transectos C (a) y D (b).

#### IV.- DISCUSIONES

La dominancia por clase de tamaño encontrada en este estudio fué del nanofitoplancton, tanto en productividad primaria (3 de 5 estaciones) (Fig 4, Tabla III) como en biomasa (16 de 19 estaciones) (Fig.3, Tabla II), siendo significativo el microfitoplancton sólo en tres estaciones. Sin embargo, los valores máximos de clorofila y productividad primaria se localizaron en las estaciones cercanas a la costa donde dominó el microfitoplancton, con excepción de una estación frente a Guaymas (Fig.3). La gran dominancia del nanofitoplancton sobre el microfitoplancton en las estaciones centrales se debió tal vez a que las poblaciones de nanofitoplancton contribuyen con más productividad al fitoplancton, en medios ambientes estables (estratificados), tendiendo a incrementarse la productividad de microfitoplancton en ambientes más inestables con alta mezcla por eventos de surgencias, corrientes de marea, etc. (Malone, 1980). Este estudio y los efectuados con anterioridad en el Golfo de California (Zeltschel, 1970; Berman, 1975; Valdez Holguin, 1986) corroboran la importancia del nanofitoplancton en la dominancia de las poblaciones del fitoplancton.

Las estaciones 56-15, 62-25 y 74-55 mostraron una correspondencia en cuanto al aporte en clase de tamaños en

la productividad y biomasa del fitoplancton (Tablas III y IV). Sin embargo las estaciones 62-50 y 68-30 no exhibieron correspondencias entre los porcentajes de nanofitoplancton y microfitoplancton con la productividad y biomasa, ya que en la estación 62-50 hubo una dominancia del microfitoplancton en la productividad primaria (77.31 %) pero una dominancia del nanofitoplancton en la biomasa (74.10). Por otro lado en la estación 68-30 se aprecia la dominancia en la productividad del nanofitoplancton (89 %) y una dominancia del microfitoplancton a la biomasa (68 %) (Tabla III), así como un máximo de productividad y biomasa al 1 y 10 % (Figs.7 y 8) de irradiancia, lo cual puede deberse a las diferentes capacidades de producción (P/B) de las fracciones del fitopláncton. Estas características parecen indicar la presencia de esporas ó estadios no vegetativos de algunas especies fitoplanctónicas. Esto apoya los resultados de Atilano Silva (1987) quien reportó una gran abundancia de esporas de diatomeas para el Golfo central desde mayo 1983. French y Hargraves (1980) han reportado que esporas de diatomeas exhiben en la obscuridad un alto nivel de clorofila y una baja capacidad fotosintética. Estos estadios se presentan en condiciones ambientales adversas, lo que les permite una recarga periódica durante la resuspensión a la zona eufótica generando un mecanismo de sobrevivencia y dispersión para

el microfitoplancton (Hargraves y French 1975). Según Garrison (1981) seguido a la presencia de esporas es común tener florecimiento de fitoplancton.

Las razones P/B (razones de asimilación) son un índice de la eficiencia de producción que posee el fitoplancton. Durante éste estudio los más altos valores de P/B (6.67, 4.2 y 2.27 mg C/mg cl<sub>a</sub> h ) correspondieron a las estaciones que aportaron mayor porcentaje a la biomasa por nanofitoplancton ( 80 %) (Tabla IV), mientras que aquellas estaciones que presentaron menores razones de P/B (1.53 y 0.47 mg C/mg cl<sub>a</sub> h ) se relacionaron con las estaciones que dominaron en la contribución por el microfitoplancton ( 70 %) (Tabla IV). Esto nos indica que el nanofitoplancton posee una mayor eficiencia de producción siendo uno de los factores que influyen para la dominancia de éste tamaño de clase. Esta característica del nanofitoplancton ha sido ampliamente documentada (Parsons y Takahashi, 1973; Malone, 1980; Bailey y Kirika, 1981; entre otros).

Valores de P/B (razones de asimilación) reportados para ésta región en invierno de 1981 (Gaxiola Castro et al. sometido) y verano de 1982 (Alvarez Borrego et al. sometido) han alcanzado rangos entre 0.84 - 7.3 mgC/mg cl<sub>a</sub> h . Valdez Holguín y Lara Lara (en prep.) han reportado rangos de valores desde 1.9 a 15.0 mg C/mg Cl<sub>a</sub> h para el

Golfo central y sur durante 1983-1984. Así pues, las razones P/B para marzo de 1985 fueron menores que los valores para los marzos de 1983 y 1984, cuando el Golfo se encontraba influenciado por el fenómeno de "El Niño".

El patrón de distribución en las propiedades de los Isogramas (Transectos A,B,C y D) (Figs. 9 a la 14) parece indicar que durante el periodo de muestreo se localizó un gran giro térmico (frente, remolino etc.). En general, las distribuciones de las propiedades de los transectos a lo largo y a través del Golfo (A,D y C,D) concuerdan mutuamente, presentando las isotermas condiciones estratificadas en la parte central seguido de un elevamiento de las isotermas hacia la periferia (Figs. 9a,10a,12a y 13a), con menores concentraciones de clorofila a en el centro del area muestreada y aumentando fuertemente hacia las costas y ligeramente hacia el norte y sur (Figs.3,4,9b,10b,12b y 13b) .

Para detectar la ocurrencia de procesos oceanográficos como son los giros, frentes, remolinos, plumas, se ha utilizado como una importante herramienta las imágenes de infrarojo por satélite. Este tipo de cambios en la superficie termal del Golfo de California han sido reportados con anterioridad por Badan et al. 1985, quienes mediante imágenes de satélite describieron frentes de aguas

frias que dependen de los regimenes de viento, prevaleciendo éstos giros o frentes durante primavera cuando predominan vientos de norte a sur los cuales forman un flujo libre que se extiende sobre la cuenca de Guaymas. Tambien describen la presencia de una pluma como la propuesta por Traganza et al. (1981) para la corriente de California donde la pluma de ésta surgencia atraviesa el Golfo hacia la costa opuesta.

Estudios recientes de frentes y/o giros térmicos en la Corriente de California mediante Imagenes de satélite, han demostrado la ocurrencia y características de éstos procesos oceanográficos como el descrito por Traganza et al. 1980, quienes encontraron una asociación entre frentes térmicos y frentes químico-biológicos. Traganza et al. (1981) encontraron la ocurrencia de florecimientos de microplancton adyacente a los fuertes gradientes de nutrientes y temperatura; ellos reportaron tambien que la duración de éstos procesos es de dias a semanas.

Haury et al. 1986 han concluido que las aguas centrales en los giros son usualmente más bajas en contenido de pigmentos que en las aguas dirigidas hacia la periferia. Pelaez y Mc Gowan (1986) tambien detectaron concentraciones de pigmentos bajas en giros alejados de la costa pero

entrelazados con estructuras de alta pigmentación en giros cercanos Inmediatamente a la costa.

Datos del programa CalCOFI desde 1949 e Imagenes de satélite recientes demuestran la ocurrencia de sistemas de giros naturales como una forma periódica en el sistema de la Corriente de California (Haury et al. 1986; Simpson et al. 1986), con una persistencia de días a semanas (Traganza et al. 1981). Con base en las Investigaciones de Badan et al. (1985) y nuestros resultados podemos Inferir que estos eventos son procesos periódicos, característicos del Golfo central, posiblemente con su mayor Intensidad durante Invierno-primavera.

Estos eventos han sido descritos como causa en el transporte de grandes masas de agua cercanas a la costa en grandes plumas o filamentos (Badan et al. 1985; Traganza et al. 1981; Haury et al. 1986). Estos procesos tienen una gran significancia en la distribución espacial de los organismos planctónicos (fitoplancton, zooplancton e ictioplancton). En particular en el Golfo central éstos eventos deben de ser responsables de la variabilidad de las areas de desove, alimentación y crecimiento de especies de Interés comercial como la sardina, la cual ha sido descrita

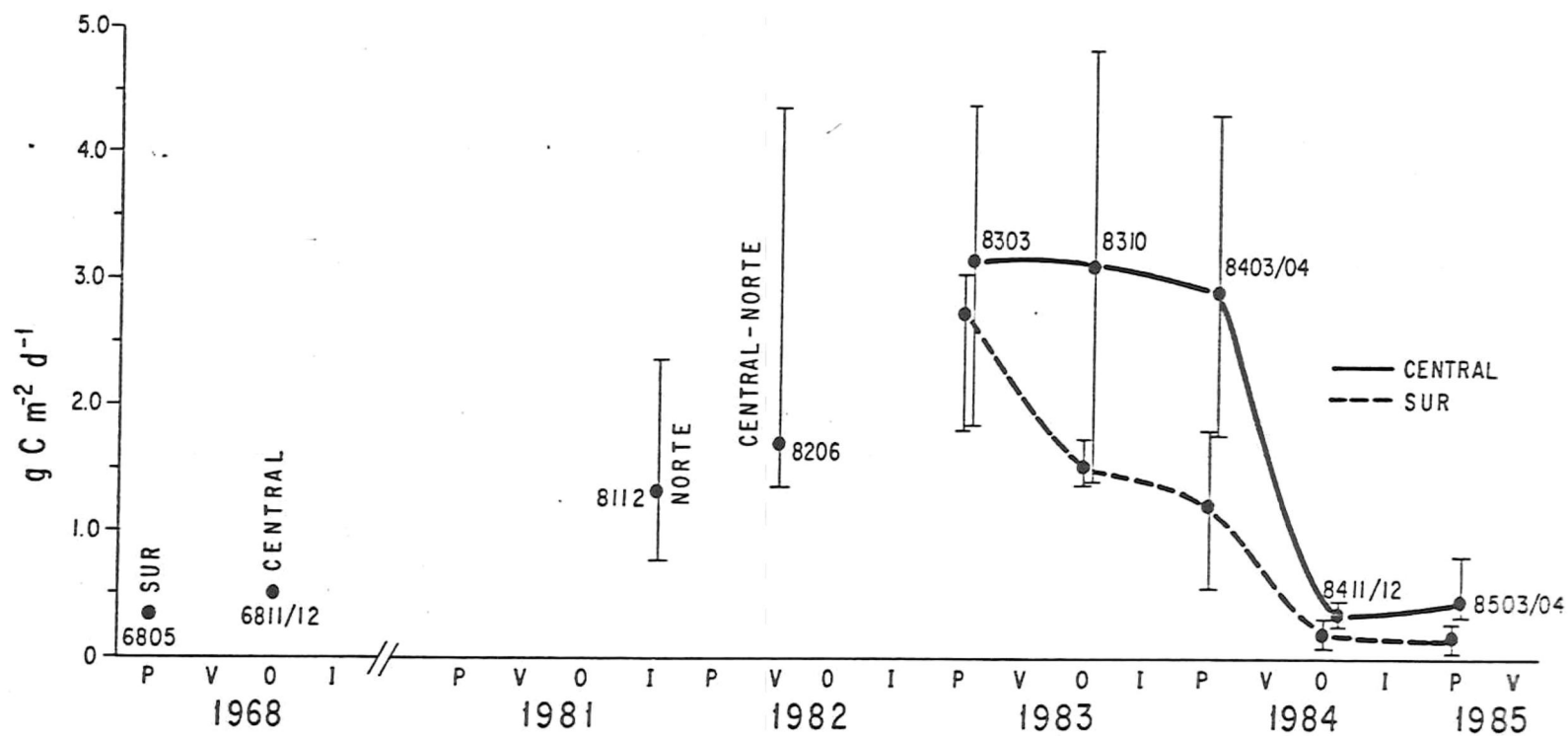
como el principal recurso pelágico de ésta zona. Esta variabilidad del medio ambiente debe determinar en gran medida el éxito del reclutamiento y por ende la magnitud de la pesquería de la sardina en el Golfo central.

En éste estudio los valores de productividad del Golfo central variaron de 0.087 a 0.828 g C m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> (Tabla III). Estas tasas de producción son muy parecidas a las reportados por Jitts (1969), quien durante mayo de 1968 en la región sur reportó valores de 0.30 - 0.43 gC m<sup>2</sup>día<sup>-1</sup>; y las de Zeltzschel (1969) en éste mismo año durante noviembre - diciembre en la región central con valores de 0.37-0.95 g C m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>.

Para diciembre de 1981 Gaxiola Castro et al. (1985) reportaron valores de productividad primaria de 0.75 - 1.86 g C m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> para la región central y norte del Golfo. Alvarez Borrego et al. (1987) durante Junio 1982 reportaron rangos de productividad primaria de 0.8 - 2.4 g C m<sup>-2</sup>día<sup>-1</sup>. Lara Lara et al. (1984) reportaron para el Golfo central en marzo y octubre de 1983 promedios de productividad primaria de 3.1 g C m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> y 1.8 g C m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente.

Valdez Holguin (1986) estudió las tasas de producción del Golfo bajo la influencia de el pasado evento de "El Niño" 1982-1983. El registró valores máximos de producción de hasta  $4.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en marzo de 1983 y de  $4.3 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  para marzo de 1984. Sus conclusiones fueron que bajo la influencia del fenómeno "El Niño" el Golfo incrementa sus tasas de producción en comparación con épocas normales.

Estos valores bajos de productividad primaria en primavera de 1985 en un periodo normal del Golfo, en comparación con las primaveras 1983 y 1984 (bajo la influencia del evento "El Niño") (Fig.16) apoyan las conclusiones de Valdez Holguin (1986) y Lara Lara et al. (1984) sobre el enriquecimiento en la producción primaria del Golfo durante eventos de "El Niño". Esta respuesta del Golfo es muy importante, ya que las principales áreas de surgencia de América presentan reducciones drásticas en la producción total del ecosistema pelágico.



Resumen de los valores promedios históricos y actuales de la productividad primaria para el Golfo de California. Las barras indican el rango de valores reportados. Tasas de productividad para 6805 y 6811/12 tomados de Zeitschel, 1970; 8112 de Gaxiola Castro et al (1986); 8206 de Alvarez Borrego y Gaxiola Castro (en prensa); 8303, 8310 y 8403/04 de Valdez Holguín y Lara Lara (en prep.); 8411/12 de Bazán Guzmán y Lara Lara (en prep.); y 8503/04 éste estudio.

## V.- CONCLUSIONES

La dominancia en las clases de tamaño del fitoplancton fué del nanofitoplancton, tanto en productividad primaria como en biomasa, coincidiendo con los estudios efectuados con anterioridad en el Golfo de California, así como de otros medios ambientes.

El patrón de las distribuciones espacio-verticales parece indicar la presencia de un giro térmico en la parte central del Golfo de California (cuenca de Guaymas), ya que presenta características en la distribución de clorofila *a* y temperatura muy similares a las reportadas en estudios realizados por investigaciones recientes en la Corriente de California, así como en el mismo Golfo central. Estos procesos tienen una alta influencia en la fertilidad del Golfo central.

Las tasas de productividad primaria registradas durante éste estudio apoyan las conclusiones de Valdez-Holguin (1986) y Lara-Lara et al. (1984) sobre el enriquecimiento en la producción primaria del Golfo de California durante eventos de "El Niño".

VI.- LITERATURA CITADA.

Alvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. In: Ketchum, B.H. (ed.), Estuarine and Enclosed Seas, Elsevier, Amsterdam. pp. 427-449.

Alvarez-Borrego, S., G. Gaxiola-Castro, D.V. Hernandez-Becerril. 1987. The relationship between photosynthesis and Irradiance for Gulf of California phytoplankton. Pacific Science. 41 (en prensa).

Alvarez-Borrego, S. y J.R. Lara-Lara, en prensa. The pelagic ecosystem of the Gulf of California. Memoirs of the Workshop sponsored by the American Association of Petroleum Geologists. Feb., 1986.

Alvarez-Borrego, S. y R. Schwartzlose, 1979. Masas de agua del Golfo de California. Ciencias Marinas, 6(1 y 2), 42 - 63.

Atiliano Silva, H. M., 1987. Composición y estructura de la comunidad del fitoplancton en silíceo en el Golfo de California en marzo de 1983. Tesis Licenciatura, F.C.M., 161.

Badan-Dangon, A.F., C.J. Koblinsky, and T. Baumgartner, 1985. Spring and summer in the Gulf of California

- observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8, 13 - 22.
- Baumgartner, T. y N. Christensen, 1985. Coupling of the Gulf of California to large - scale Interannual climatic variability. *J. Mar. Res.* 43, 825-848.
- Baumgartner, T., V. Ferrelra Bartrina, H. Schrader, y A. Soutar. 1985. A 20 years varve of siliceous phytoplankton variability in the central Gulf of California. *Marine Geology*, 64, 113 - 129.
- Bailey - Watts, A.E. and A. Kirika, 1981. The assesment of size variation in loch leven phytoplankton methodology and some of its uses in the study of factors influencing size. *Jour. of Plank. Res.* 3(2), 261 - 282.
- Beardall, J. and I. Morris, 1975. Effects of envloromental factors on photosynthesis patterns in Phaeodactylum tricornutum (Bacilliarophyceae). II. Effect of oxygen. *J. Phycol.* 11, 430-4.
- Berman, T. 1975. Size fractionation of natural aquatic populations associated with autotrophic and heterotrophic carbon uptake. *Marine Biology*, 33, 215 - 220.

- Braun, J.G., I. Orzaiz, J.D. Armas de, y F. Real, 1985. Productividad y biomasa del ultraplankton, nanoplankton y fitoplankton de red en aguas de las Islas Canarias. Bol. Inst. Esp. Oceanog., 2(1), 192-204.
- Brockel, von K. 1981. The Importance of nanoplankton within the pelagic Antarctic ecosystem. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5, 61 - 67.
- Brooks, J.L. y S.I. Dodson. 1965. Predation, body size and composition of plankton. Science, 150, 28 -35.
- Cole, B.E., J.E. Cloern, A.E. Alpine. 1986. Biomass and productivity of three phytoplankton size classes in San Francisco Bay. Estuaries, 9 (2), 117 - 126.
- Cupp, E.E. and Allen, 1938. Plankton diatom of the Gulf of California obtained by Allan Hancock Pacific Expeditions of 1937. The Univ. South. California. Publ. 3, 61 - 74.
- Durbin, E.G., R.W. Krawiec and T.J. Smayda. 1975. Seasonal studies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay (USA). Marine Biology, 32, 271 - 287.

- Dussart, B. H. 1965. Les différentes catégories de plancton. *Hidrobiologia*. 26: 72-74.
- Edler, L. (ed). 1979. Recomendations for marine biological studies in the Baltic Sea. The Baltic Marine Biologists. Publication No. 5, 38 pp.
- Eppley, R.W., J.N. Rogers and J.H. Mc Carthy. 1969. Half - saturations constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol Oceanogr.* 14, 912 -920.
- French, F.W. and P.E. Hargraves. 1980. Physiological characteristics of plankton diatom resting spores. *Marine Biology Letters*, 1, 185-95.
- Garrison, D.L., 1981. Monterrey Bay phytoplankton. II. Resting spore cycles in coastal diatom populations. *Jour. & Plank. Res.* 3, 137-56.
- Gaxiola - Castro, G., S. Alvarez - Borrego, y A. Chagoya - Guzman. 1985. Photosynthetic parameters and productivity of Gulf of California winter phytoplankton. *CIBCASIO transactions*.
- Gendrop-Funes, V., M.J. Acosta-Ruiz, and R.A. Schwartzlose. 1978. Distribucion horizontal de clorofila "a" durante la primavera en la parte norte del Golfo de

California. Cienc. Mar., 5(1): 71 -89.

Gilbert, F.Y. y W.E. Allen. 1943. The phytoplankton of California obtained by the E.W. Scripps in 1939 and 1940. J. Mar. Res. 5, 89 - 110.

Gilmartin, M. and N. Revelante. 1978. The Phytoplankton characteristics of the barriers Islands Lagoon of the Gulf of California. Estuar. Coast. Mar. Sci. 7(1), 29 -47.

Granados - Gallegos, J.L. y R.A. Shwartzlose, 1977. Corrientes superficiales en el Golfo de California. En memorias V congreso Nacional de Oceanografía. Guaymas Son. México, 22 - 25 de Octubre 1974. 271 - 285.

Hargraves, P.E. and F. French. 1975. Observations on the survival of diatom resting spores. Belh. Nova Hedw. 53, 229-38.

Haury, L.R., Simpson, J.J., Pelaez, J., Koblinsky, CH.J. and Wiesenhan, D. 1986. Biological consequences of a recurrent eddy of Point Conception California. Journal of Geophysical Research, 91, 937-956.

Hernandez-Becerril, D. 1985. Estructura del fitoplancton del Golfo de California. Ciencias Marinas, 11, 23 - 38.

- Joint, I.R., N.J.P. Owens, y A.J. Pomroy. 1986. Seasonal production of photosynthetic picoplankton and nanoplankton in the Celtic Sea. *Marine Ecology*. 28, 251 - 258.
- Lara - Lara, J.R., J.E. Valdez Holguin, y L.C. Jimenez Pérez. 1984. Plankton studies in the Gulf of California during the 1982 - 1983 El Niño event. *Tropical Ocean Atmosphere Newsletter*, 28, 16 - 17.
- Malone, T.C. 1971a. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. *Limnol Oceanogr.* 16, 633 - 639.
- Malone, T.C. 1971b. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in the California Current system. *Fishery Bulletin*, 69, 799-820.
- Malone, T.C. and M.B. Chervin. 1979. The production and fate of phytoplankton size fractions in the plume of the Hudson river, New York big. *Limnol. and Oceanogr.* 24, 683 - 693 pp.
- Malone, T.C. 1980. Algal size. En: I. Morris (ed). *The physiological ecology of phytoplankton*. pp. 433 - 463. University of California Press. Berkeley.

- Malone, T.C. and P.J. Neale. 1981. Parameters of light-dependent photosynthesis for phytoplankton size fractions in temperate estuarine and coastal environments. *Marine Biology*, 61, 289 -297.
- Mandell E.F., P.R. Burkholder, T.E. Doheny, y R. Brody. 1970. Studies of primary productivity in coastal waters of southern Long Island, New York. *Mar. Biol.* 7, 153 - 160.
- Martin, J.H. 1970. Phytoplankton - zooplankton relationships in Narragansett Bay IV: Seasonal importance of grazing. *Limnol. Oceanogr.* 15, 413 - 418.
- Millan-Nuñez, E. 1986. Distribucion y composicion del fitoplancton en el Golfo de California, durante 1982-1984. Tesis Maestria, CICESE, 65.
- Parsons, T.R. & M. Takahashi. 1973. Environmental control of phytoplankton cell size. *Limnol. Oceanogr.* 18, 511 - 515.
- Pelaez, J. and J.A. Mc Gowan. 1986. Phytoplankton pigment patterns in the California Current as determined by satellite. *Limnol Oceanogr.* 31, 927-950.

- Putt, M. and B.B. Prézellin. 1985. Observations of diel patterns of photosynthesis in cyanobacterias and nanoplankton in the Santa Barbara Channel during "el Niño". Journ. of Plank. Res. 7, 779 - 790.
- Roden, G.I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. Pacific Sci. 12, 21 - 45.
- Roden, G.I. y G.W. Groves, 1959. Recent oceanographic in the Gulf of California. J. Mar. Res. 18, 10 - 35.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California in: T.J. H. Van Andel and G.G. Shor Jr. (Eds) Marine Geology of the Gulf of California: A symposium Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 3. 30 - 58.
- Ryther, J.H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. Science, 166, 72 - 76.
- Shepard, F.P. 1950. 1940 "E.W. Scripps" cruise to the Gulf of California part III. Submarine topography in the Gulf of California. Mem. Geol. Soc. Amer. 43, 1-32.
- Simpson, J.J., C.J. Koblinsky, J. Pelaez, L.R. Haury, and Wiesenhan, D., 1986. Temperature - plant pigment optical relations in a recurrent offshore mesoscale eddy near Point Conception California. Journ. of Geophys. Res. 91, 919 - 936.

- Smayda, T.J. 1965. II on the relationship between  $^{14}\text{C}$  assimilation and the diatom standing crop. Bull Inter - Am. Trop. Comm. 9, 467 - 531.
- Steemann-Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for measuring organic production in the sea. J. Cons. Explor. Mer. 18, 117 - 140.
- Steemann-Nielsen, E. and E.A. Jensen. 1957. Primary oceanic production. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Report 1, 49 - 136.
- Stevenson, M.R. 1970. On the physical and biological oceanography near the entrance to the Gulf of California, October 1966-August 1967. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 4, 389-504.
- Strickland, J.D.H., y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis Bull. Fish. Res. Bd. Can. 167. 2a. ed., 311 pp.
- Sverdrup, H.V. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion of the cruise of the E.W. Scripps in February and March, 1939. Sixth Pac. Sci Cong. 1939. Proc. 3, 161 - 166.

- Takahashi, M. and Blenfang, P.K. 1983. Size structure of phytoplankton biomass and photosynthesis in subtropical Hawaiian waters. *Marine Biology*, 76, 203 - 211.
- Traganza, E.D., J.C. Conrad, and L.C. Breaker. 1981. Satellite observations of a cyclonic upwelling system and grant plume in the California Current. In: F.R. Richards (ed.), Coastal Upwelling, American Geophysical Union, Washington, D.C.: 228-241.
- Traganza, E.D., D.A. Nestor and A.K. Mc Donald. 1980. Satellite observations of a nutrient upwelling off the coast of California. *Journal of Geophysical Research*, 85, 4101-4106.
- Valdez - Holguin, J.E., 1986. Distribucion de la biomasa y productividad del fitoplancton en el Golfo de California durante el evento de El Niño 1982 - 1983. Tesis Maestria, CICESE, 92.
- Valdez Holguin, J.E. y J.R. Lara Lara. En prep. Produccion primaria en el Golfo de California: efectos del evento de El Niño 1982-1983.
- Vollenweider, R.A. 1965. Calculations models of photosynthesis - depth curves and some implications regarding day rate estimates in primary productivity

In aquatic environments (C.R. Goldman, ed.). Ist. Ital. Idrobiol. 18 Suppl. University of California Press., Berkeley. 464 pp.

Walsh, J.J. 1976 Herbivory as factor in patterns of nutrient utilization in the sea. Limnol. Oceanogr. 21, 1 - 13.

Yentsh, C.S. and D.W. Menzel, 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence. Deep Sea Research. Vol 10: 221 - 231.

Zeltzschel, B. 1969. Primary productivity in the Gulf of California. Mar. Biol. 3, 201 - 207.

Zeltzschel, B. 1970. The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. Mar. Biol. 7, 305 - 318.

## APENDICE A1

El método descrito aquí es para estimar el contenido de clorofila a en base a la técnica fluorimétrica sugerida por Yentsch y Menzel (1963) descrita por Strickland y Parsons (1972):

$$\text{mg cl } \underline{a} \text{ m}^{-3} = (\text{LFC} - \text{LFAC}) \times \text{fa} \times V^{-1} \times v \quad ( 1.1 )$$

donde:

LFC = Lectura del fluorímetro corregida.

LFAC = Lectura del fluorímetro acidificada.

fa = Factor de corrección.

en ventana 1X es igual a 0.0003194 (para nuestro aparato).

en ventana 3X es igual a 0.0001125 (para nuestro aparato).

V = Volumen de muestra filtrada (litros).

v = Volumen del extracto (acetona) en mililitros (ml).

## APENDICE A2

Para determinar los porcentajes de irradiancia en la columna de agua (100, 50, 25, 10, y 1 %) se usó la ecuación basada en la ley de Lamber Beer:

$$I_z = I_s e^{-kz} \quad ( 2.1 )$$

donde:

$I_z$  = Intensidad de luz a determinada profundidad (  $W m^{-2}$  )

$I_s$  = Intensidad de luz medida en la superficie dentro del agua (  $W m^{-2}$  ).

$k$  = Coeficiente de atenuación de la luz (  $m^{-1}$  ).

$z$  = Es la profundidad en la columna de agua (  $m$  ).

Para obtener el coeficiente de atenuación de la luz (  $k$  ), se despeja la ecuación anterior ( 2.1 ).

$$\ln I_z / I_s = -k z$$

$$-k = \frac{\ln I_z / I_s}{z}$$

$$k = \frac{\ln I_s - \ln I_z}{z} \quad ( 2.2 )$$

APENDICE A2 (cont.)

Mediante el fotómetro submarino Khalsico modelo No 268WA311 se obtuvieron las Intensidades de luz (  $W m^{-2}$  ) a cuatro diferentes profundidades ( 0, 5, 10 y 15 m ). Con ésto se obtuvieron cuatro valores de coeficiente de atenuación para promediarse ( K ). Después se despejó la ecuación ( 2.2 ) para determinar las profundidades que correspondían a los porcentajes de Irradiancia ( 100, 50, 25, 10 y 1 % ):

$$z = \frac{\ln I_s - \ln I_z}{K} \quad ( 2.3 )$$

donde:

z = La profundidad buscada ( m ). a cierto porcentaje de luz ( 50, 25, 10 y 1 % )

I<sub>s</sub> = 100 % de Irradiancia ( superficie ).

I<sub>z</sub> = Porcentajes de Irradiancia ( 50, 25, 10 y 1 % ).

## APENDICE A3

Para estimar las tasas de producción se utilizó la ecuación descrita por Strickland y Parsons (1972):

$$\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1} = \frac{\text{Rs} - \text{Rb} \times \text{W} \times 1.064}{\text{R} \times \text{N}} \quad ( 3.1 )$$

donde:

Rs = desintegraciones por minuto de la muestra (dpm).

Rb = desintegraciones por minuto de un testigo.

W = contenido del agua de mar de carbono-12.

El factor 1.064 es para corregir la diferencia en peso de Isotopos del Carbono - 14 y el Carbono - 12.

N = Es el tiempo de incubación en horas.

R = Actividad del carbono-14 agregado a cada muestra

Con esta ecuación (3.1) se obtienen los valores de productividad en  $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  para cada intensidad de luz (100, 50, 25, 10 y 1 %) en la zona eufótica. Después se generó un perfil vertical de productividad y mediante el uso de papel milimétrico se integra el área comprendida dentro del perfil para obtener la producción de la zona eufótica en  $\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

## APENDICE A4

Para estimar la producción diaria se utilizó el siguiente procedimiento. Durante el día de muestreo se realizaron lecturas de la intensidad de la luz a bordo utilizando el fotómetro submarino, aproximadamente cada 2 horas, desde las 06:00 hasta antes de oscurecer (17:00 horas). Esto con el fin de estimar la curva diaria de irradiancia.

Para esto se obtuvieron mediante la ecuación de Veilleinweider (1965) las intensidades de luz a las diferentes horas del día (06:00 a 17:00).

$$i_t = 0.5 I_{max} ( 1 + \text{Cos } 2\pi t^i ) \quad ( 4.1 )$$

Mediante el fotómetro se obtuvo la lectura de irradiancia más alta (L) a una hora determinada para obtener la intensidad máxima durante el día ( $I_{max}$ ).

Despejando de la ecuación anterior (4.1) para obtener la intensidad máxima ( $I_{max}$ ).

$$I_{max} = 2 i_t / ( 1 + \text{Cos } 2\pi t^i ) \quad ( 4.2 )$$

APENDICE A4 (cont.)

donde:

$I_t$  = Intensidad de luz a un tiempo conocido medido mediante el fotometro y es igual a  $E$  ( $W m^{-2}$ ),

$$E (W m^{-2}) = L \times f \times 10^{-3} \times 238 \times 10 \quad (4.3)$$

donde:

$L$  = Lectura en el fotómetro

$f$  = factor de correccion para cierta escala (10K).

El resto de los valores son dados para el fotómetro para transformarse a unidades de  $W m^{-2}$ .

$$2\pi = 360 \text{ grados.}$$

$$t' = \frac{t - d}{d} \quad (4.4)$$

$t$  = hora de la lectura del fotómetro.

$d$  = tiempo de duración de las horas-luz (12)

Con esto se obtiene la Intensidad máxima ( $I_{max}$ ) (4.2) que se substituye para obtener las Intensidades luminosas a las diferentes horas del día ( $I_t$ ) (4.1), para así obtener la curva de Irradiancia durante el día.

## APENDICE A4 (cont.)

Al obtener ésta curva se integra mediante papel milimétrico el area bajo la curva para obtener la Irradiancia durante el día ( $W m^{-2} d^{-1}$ ).

Con la curva se obtiene la Irradiancia total durante el día ( $W m^{-2} dia^{-1}$ ), para después obtener la Irradiancia durante el tiempo que duró en Incubación cierta muestra (2 - 4 horas), luego asumiendo una relación directa entre Irradiancia y fotosíntesis se calcula a partir de la producción en  $mg C m^{-2} h^{-1}$ , la productividad diaria en  $mg C m^{-2} dia^{-1}$ .