

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS.

VARIACION DE LA PRODUCTIVIDAD ORGANICA PRIMARIA, CLOROFILA
Y SESTON EN LA ENSENADA NORTE DE BAHIA DE LOS
ANGELES, B.C. (INVIERNO DE 1987).

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA:
ALBINO MUÑOZ BARBOSA

ENSENADA, B.C., SEPTIEMBRE DE 1989.

RESUMEN

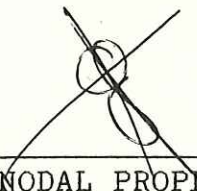
Con el objetivo de describir en forma general las variaciones de productividad orgánica primaria, clorofila y seston, bajo dos diferentes regímenes de mareas, se realizaron experimentos y muestreos cuasicontínuos en un punto de Bahía de los Angeles, B.C. durante nueve días en el invierno de 1987. Las profundidades de muestreo de clorofila y seston fueron superficie y 10 metros. La clorofila presentó concentraciones y fluctuaciones más altas en mareas vivas que en mareas muertas y su intervalo de variación fue de 0.25 a 9.70 mg clor. μm^{-3} . La variabilidad de la concentración de seston fue muy irregular. Algunos de los registros altos de material particulado presentaron más del 90% de materia orgánica y, en general, el material orgánico particulado promedió en superficie 56% y a 10 metros de profundidad 76%. La fertilización en aguas superficiales producida por los efectos de mezcla durante mareas vivas, no se reflejan inmediatamente después en la productividad primaria. Los altos valores de productividad primaria se encontraron conforme se estabilizó la columna de agua. Los registros más altos de productividad primaria se presentaron en el 50 y 25% de irradiancia en los tres días que se realizó el experimento en la columna de agua. La productividad integrada en mareas vivas fue, 17.59 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$; en mareas transicionales, 37.00 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ y en mareas muertas 69.27 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$.

VARIACION DE LA PRODUCTIVIDAD ORGANICA PRIMARIA, CLOROFILA
Y SESTON EN LA ENSENADA NORTE DE BAHIA DE LOS
ANGELES, B.C. (INVIERNO DE 1987).

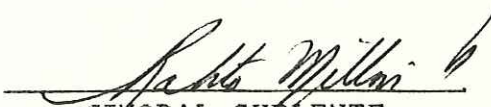
TESIS
QUE PRESENTA:
ALBINO MUÑOZ BARBOSA

APROBADA POR:


PRESIDENTE DEL JURADO
M.C. GILBERTO GAXIOLA CASTRO


SINODAL PROPIETARIO
Oc. JOSE ANTONIO SEGOVIA ZAVALA


SINODAL PROPIETARIO
M.C. GUILLERMO TORRES MOYE


SINODAL SUPLENTE
M.C. ROBERTO MILLAN NUNEZ


SINODAL SUPLENTE
Oc. FRANCISCO DELGADILLO H.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC todo el apoyo brindado y la beca-tesis que me otorgó, en especial al grupo de "Cuerpos Costeros de la Región Oeste-Central del Golfo", proyecto dentro del cual surgió este trabajo.

A la Secretaría de Educación Pública, la cual financió este estudio bajo convenio (87-01-0138).

Mi más profundo agradecimiento al M.C. Gilberto Gaxiola Castro por haber aceptado ser mi director de tesis; por su paciencia, apoyo, tiempo y amistad... muchas gracias.

A los sinodales: Oc. José A. Segovia Zavala, Oc. Francisco Delgadillo Hinojosa, M.C. Roberto Millán Nuñez y M.C. Guillermo Torres Moye; gracias a cuyas aportaciones y sugerencias el presente trabajo se enriqueció

Gracias, al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), por permitirme el uso de la computadora PRIME 400 con la cual se procesaron los datos y textos preliminares.

Al Oc. Salvador Velázquez Magaña, por su valiosa colaboración en el trabajo de campo.

Al Oc. Benjamín Martínez López por sus consejos amistad y, en particular, por su ayuda en la elaboración de los programas para el procesamiento de datos.

Al centro de cómputo del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, por facilitarme el uso de sus microcomputadoras y la impresora EPSON EX-800, mediante las cuales se procesó el texto final.

A todas las personas quienes de una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo, gracias.

A LA MEMORIA DE MI TIA MARY, quien fue una segunda madre para mi.

A MIS PADRES: MARTHA Y DANIEL

Por su confianza, paciencia e infinito amor.

A MIS HERMANAS: BERTHA, LILIANA Y MARILU

Por su comprensión, apoyo, amor y compañía.

A MI TIA ANA Y A MI PRIMA LILIA

Por haber estado, siempre, muy cerca de mi.

PARA TODOS ELLOS...CON TODO MI AMOR Y AGRADECIMIENTO.

El problema no consiste en la falta de
datos, sino más bien en nuestra incapacidad
de percibir las consecuencias de la
información que ya poseemos.

Jay W. Forrester

Technology Review, enero 1971.

INDICE

	Pag.
1 INTRODUCCION	1
1.1 Objetivo	4
2 MATERIALES Y METODOS.	5
2.1 Descripción del área de estudio	5
2.2 Métodos	7
2.3 Clorofila	8
2.4 Seston	8
2.5 Incubaciones con carbono 14	9
2.6 Descripción de los experimentos	12
2.6.1 Experimento 1	12
2.6.2 Experimento 2	12
2.6.3 Experimento 3	13
2.7 Determinación de la producción de oxígeno con las botellas claras y oscuras	14
3 RESULTADOS.	16
4 DISCUSION.	38
5 CONCLUSION.	56
6 LITERATURA CITADA	57

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
FIG. 1.- Localización del área de estudio y punto de muestreo	6
FIG. 2.- Serie de tiempo de marea	17
FIG. 3.- Serie de tiempo tiempo de velocidad y dirección del viento en el punto de muestreo	18
FIG. 4.- Serie de tiempo de Sigma-t medida en el punto de muestreo	20
FIG. 5.- Serie de tiempo de clorofila <i>a</i> en el punto de muestreo	22
FIG. 6.- Serie de tiempo de seston orgánico y total en el punto de muestreo	23
FIG. 7.- Variación diurna durante mareas vivas de productividad primaria, clorofila y razón de asimilación del fitoplancton	25
FIG. 8.- Variación diurna durante mareas muertas de productividad primaria, clorofila y razón de asimilación del fitoplancton.	27
FIG. 9.- Serie de tiempo de productividad primaria, clorofila y razón de asimilación del fitoplancton	29
FIG. 10.- Distribución vertical de la productividad primaria en tres periodos de marea	31
FIG. 11.- Distribución vertical de clorofila <i>a</i> en tres periodos de marea	33

FIG. 12.- Distribución vertical de la razón de asimilación del fitoplancton en tres periodos de marea	34
FIG. 13.- Espectros de varianza de marea, clorofila superficial y clorofila de diez metros de profundidad	37
FIG. 14.- Irradiancia incidente en la superficie en los días representativos de mareas vivas y mareas muertas	47

LISTA DE TABLAS

	PAG.
Tabla I Productividad primaria determinada con el método de producción de oxígeno en botellas claras y oscuras	35
Tabla II Concentraciones superficiales de clorofila <i>a</i> en algunas lagunas costeras del este y oeste del Golfo de California y de la costa oriental de la península de Baja California	41

1 INTRODUCCION

En el océano existen algas y algunas bacterias las cuales pueden sintetizar compuestos orgánicos de alta energía a partir de compuestos inorgánicos de baja energía, tales como agua y bióxido de carbono. La fuente de energía para estos organismos es la luz, o la energía química derivada de la oxidación de compuestos inorgánicos; tales organismos no requieren de compuestos orgánicos como una fuente de energía. A este tipo de vida se le llama "autotrófica" y cuando se considera el ciclo de materia orgánica en el océano, los organismos autótrofos son denominados "productores primarios". Al material sintetizado por los productores primarios se le define como "producción primaria" y a la producción primaria por unidad de tiempo en una unidad de volumen (o bajo una unidad de área) se le denomina "productividad primaria". Cuando se considera el papel de los productores primarios, se llega a la conclusión que es de suma importancia pues los compuestos orgánicos que ellos producen soportan la pirámide de organismos heterotróficos, (Parsons et al., 1977).

Las bahías y lagunas costeras son más productivas que las aguas oceánicas costeras, y éstas, más que los océanos abiertos. Esto debido a que en las lagunas costeras los sedimentos, los nutrientes disueltos en ellos, la materia orgánica y las bacterias

que ellos contienen son fácilmente recirculados por mareas y/o vientos resultando en un aumento de la productividad orgánica primaria (Vannuci, 1969).

Es importante el hecho de que las lagunas costeras son ecosistemas menos organizados que el mar adyacente y periódicamente ofrecen una gran cantidad de alimento que no puede ser consumido en la propia laguna, pues esas condiciones pueden soportar altos niveles de producción en un maricultivo (Margalef, 1969).

El Golfo de California está caracterizado por una serie de lagunas costeras las cuales en forma continua bordean la costa oriental, especialmente entre los 22 y 28 grados de latitud norte (Gilmartin y Revelante, 1978). Estas lagunas son mucho menos frecuentes en la costa occidental donde las grandes excepciones son: Bahía de los Angeles (no clasificada por Lankford, 1977), Bahía Concepción (clasificada tipo V: Tectónicas; depresiones y barreras producidas por fallas) y Ensenada de La Paz (clasificada tipo III: Plataforma de barrera interna; depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental).

En general, los estudios realizados en el golfo son a nivel mar abierto, produciéndose escasa o nula información sobre sus

lagunas, en especial las de la región occidental. Sin embargo, se puede plantear lo siguiente: en cuanto a oceanografía se refiere, el Golfo de California es mejor conocido en sus aspectos físicos y geológicos que en sus aspectos químicos y biológicos (Gilmartin y Revelante, 1978). Desde el tiempo de los primeros exploradores, al Golfo de California se le ha atribuido una marcada actividad fitoplanctónica (Cupp y Allen, 1938; Osorio Tafall, 1943). El incremento de esta actividad se cree es el resultado de dos factores importantes que introducen nutrientes en la zona eufótica: la ocurrencia de intensas surgencias en cabos e islas (Roden, 1964), y en menor grado, la mezcla inducida por mareas en los canales de las islas, especialmente en el alto golfo (Zeitzschel, 1969).

A causa de su dinámica e interacción con factores físicos, en el estudio de las lagunas costeras se usan estrategias metodológicas tales como las series de tiempo. De acuerdo con Castro-Montoya (1988), el análisis espectral de las series de tiempo es una de las herramientas que se han venido desarrollando en los estudios de comportamiento de variables, de esta forma se ha logrado obtener las tendencias de cambio y la periodicidad de las mismas, para posteriormente relacionarlas entre sí y tratar de explicar su comportamiento.

La importancia de estudiar el efecto de mezcla inducido por marea, reside en que esta última produce fertilización en las lagunas, derivándose una serie de procesos que generan un incremento en la productividad orgánica primaria. De tal forma que un mecanismo periódico de mezcla por mareas garantiza una fertilización y ésta, a su vez, dependiendo de las condiciones fisiológicas y biológicas del fitoplancton, da origen a una biomasa disponible a niveles tróficos superiores.

En general, este trabajo pretende determinar la variación de la productividad primaria a lo largo de una serie de tiempo de nueve días, durante invierno, en un punto de Bahía de los Angeles. La hipótesis planteada es que la mezcla inducida por mareas influirá en la variación de la productividad orgánica primaria.

1.1 Objetivo

Estudiar la influencia de la marea en las variaciones de la productividad orgánica primaria, clorofila y seston en una serie de tiempo de nueve días durante invierno.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 Descripción del área de estudio

Bahía de los Angeles se localiza a 650 km al sur del puerto de Ensenada B.C., en las coordenadas $28^{\circ}56'14''$ N y $113^{\circ}33'22''$ W (fig. 1). Se encuentra ubicada en la región oeste-central del Golfo de California, con una extensión de 10,750 hectáreas. Colinda al oeste con el poblado de punta prieta y al este sobre el Golfo de California con la Isla Angel de la Guarda y otras islas de menor extensión. A causa de que no hay mucha información acerca de aspectos meteorológicos para Bahía de los Angeles en forma particular, sólo se describirá la meteorología del golfo en su parte central alta.

El moderado efecto del océano pacífico sobre el Golfo de California es reducido por la casi ininterrumpida cadena montañosa de 1 a 3 kilómetros de alto a lo largo de la península de Baja California. El clima del golfo es por esto más continental que oceánico. En invierno la temperatura del aire disminuye hacia el interior mientras que en verano aumenta. Hay más precipitación en la costa este que en la oeste. La parte norte es seca y desértica con lluvias anuales de menos de 100 mm; a su vez, la parte sur alcanza los 1000 mm por año (Alvarez-Borrego, 1983).

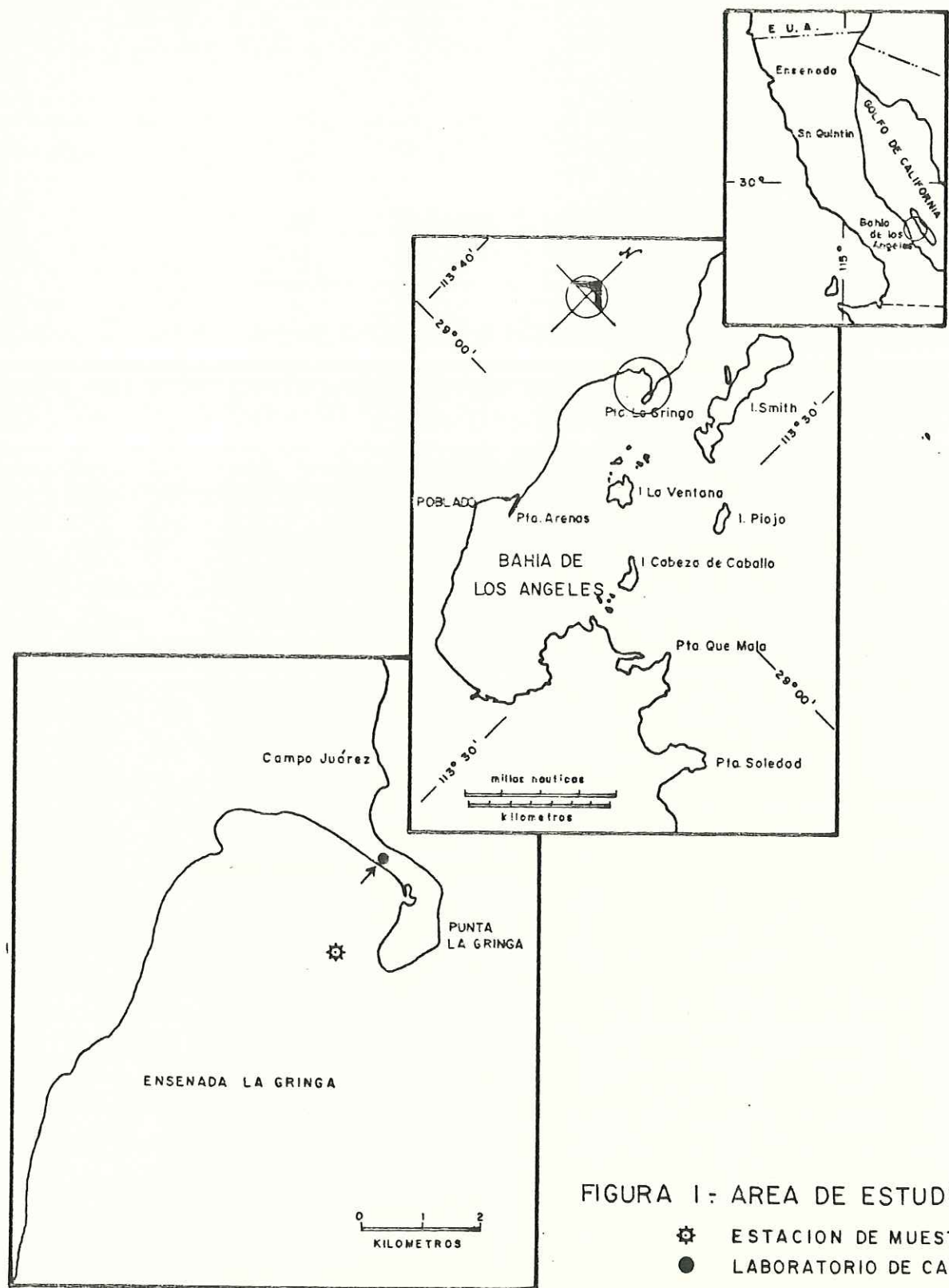


FIGURA 1: AREA DE ESTUDIOS

2.2 Métodos

La estación de muestreo se localizó frente a punta la gringa situada en la ensenada norte de Bahía de los Angeles (fig. 1). Los nueve días de muestreo y experimentación comprendieron del 25 de febrero al 5 de marzo de 1987. Se tomaron muestras superficiales y de 10 metros de profundidad para el análisis de clorofila y seston; además, se realizaron experimentos para determinar la productividad primaria. En esta serie de tiempo también se obtuvieron datos sobre: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, y nutrientes (fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos y amonio); los cuales están siendo procesados en otros trabajos.

Se obtuvieron datos de intensidad y dirección de viento, éstos se midieron en el punto de muestreo cada dos horas mediante un anemómetro manual KALHSICO.

Para tomar las muestras se usaron botellas Van Dorn de dos litros y una embarcación de fibra de vidrio de 15 pies de eslora. El filtrado de las muestras se realizó en un laboratorio en tierra (fig. 1), situado aproximadamente a dos kilómetros del punto de muestreo.

Para los experimentos de incubación con los métodos de carbono 14 y producción de oxígeno (botellas claras y oscuras), se usaron

dos sistemas de flotación para sostén de canastas de incubación, y botellas Van Dorn para colecta de muestras. Estas canastas de incubación están descritas por Merino Paredes (1987).

El presente trabajo incluye mediciones de clorofila, seston y productividad orgánica primaria; por lo tanto, es conveniente separar las metodologías para una mejor explicación

2.3 Clorofila

Durante nueve días y cada dos horas se tomaron muestras de superficie y 10 metros de profundidad mediante botellas Van Dorn. De éstas se tomaron submuestras de 250 ml en botellas de plástico, las cuales se transportaron a tierra en hieleras. El filtrado de las muestras se realizó en el laboratorio en tierra aproximadamente 15 minutos después de las colectas; para lo que se utilizaron filtros GF/C de 2.5 cm de diámetro los cuales se almacenaron en papel aluminio, etiquetaron y congelaron. El análisis se hizo en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la U.A.B.C. (I.I.O.), mediante el método fluorimétrico descrito por Holm-Hansen et al. (1965), con un fluorímetro TURNER 112.

2.4 Seston

Durante el mismo periodo, pero a intervalos de 12 horas (06:00 y 18:00 hrs.), se muestrearon con botellas Van Dorn los mismos

niveles (sup. y 10 m). Se tomaron submuestras de medio litro en botellas de plástico las cuales se transportaron a tierra en hieleras. Las muestras se filtraron aproximadamente 15 minutos después de las colectas a través de filtros de polycarbonato de 0.45 μ m de poro y 47 mm de diámetro, mismos que fueron previamente pesados, numerados y almacenados individualmente en cajas de petri (de plástico) de 50 mm de diámetro. Los filtros con muestra se regresaron a sus cajas y se congelaron. El análisis se realizó en el laboratorio del I.I.O. mediante el método gravimétrico descrito por Bance et al. (1963). Para determinar el peso del filtro y soston se usó una balanza analítica METTLER AE 160 con precisión de 0.01 mg. La porción orgánica se midió mediante la técnica de oxidación con H₂O₂ descrita por Peterson (1977).

2.5 Incubaciones con carbono 14

El periodo de experimentación de productividad orgánica primaria con carbono 14, incluyó del 25 de febrero al 5 de marzo. Del 25 al 27 de marzo se presentaron mareas vivas, del 28 de marzo al 2 de febrero mareas transicionales y del 3 al 5 de marzo mareas muertas. Para registrar la variabilidad diurna de la productividad en mareas vivas y muertas, se escogieron los días 27 de febrero y 5 de marzo respectivamente. Con el objeto de obtener los perfiles de productividad en la columna de agua en mareas vivas,

transicionales y muertas; se experimentó en los días 26 de febrero y, 1 y 3 de marzo respectivamente. En los días restantes, 25 y 28 de febrero y 2 y 4 de marzo, también se obtuvieron registros de productividad para posteriormente, junto con los datos de los días en que se hicieron experimentos específicos, obtener la variación de la productividad en toda la serie de tiempo.

Se realizaron tres diferentes experimentos, los cuales incluyeron lo siguiente. En los tres experimentos se incubaron tres réplicas por nivel y sólo en el primero se consideró una botella obscura para corregir la fijación por otra vía que no fuera fotosintética. Las incubaciones se hicieron en botellas de vidrio de 125 ml, que al ser llenadas estaban cubiertas por una franela negra para evitar el "shock" luminoso. Las muestras se inocularon con 100 μ l (2 μ Ci) de una solución comercial de $\text{NaHC}^{14}\text{O}_3$. La franela negra se retiró de las botellas ya inoculadas, estando fijas a las canastas de incubación y bajo la superficie del agua. Terminado el periodo de incubación, las muestras se filtraron a bordo de la embarcación con una bomba manual a través de filtros de membrana de 0.45 μ m de poro y 47 mm de diámetro. Los filtros se almacenaron en frascos para centelleo (de 20 ml), y se mantuvieron congelados hasta su análisis. Agregando antes una solución para centelleo, el conteo de la radiación B se hizo mediante un contador de centelleo

líquido BECKMAN LSC 100 en la institución SCRIPPS de Oceanografía por el grupo "Marine Research Life" en La Jolla California, E.U.A. Los cálculos del carbono asimilado se hicieron de acuerdo a Parsons et al. (1984).

Durante todos los experimentos se tomó una muestra de 125 ml por nivel para la determinación de clorofilas iniciales y sólo para el primer experimento y por nivel, se incubó una botella de la misma capacidad, para determinar los cambios en la concentración de clorofila durante el tiempo del experimento de incubación con carbono 14. Las clorofilas iniciales y de incubación se filtraron a bordo con una bomba de vacío manual, utilizando filtros de membrana de 0.45 μ m de poro y 47 mm de diámetro. Estos filtros se mantuvieron en frío hasta llegar al laboratorio en tierra, donde fueron congelados. Los análisis de clorofila se hicieron posteriormente en el laboratorio del I.I.O. mediante el método fluorimétrico descrito anteriormente. Las profundidades correspondientes a los porcentajes de irradiancia en los cuales se incubó, se determinaron mediante un fotómetro submarino KALHSICO 268WA310. Además, se llevó un registro de luz ambiental mediante un sensor de cubierta perteneciente al fotómetro antes mencionado.

2.6 Descripción de los experimentos

2.6.1 Experimento 1:

La razón de este experimento fue obtener la variación diurna de la productividad representativa de un día de mareas vivas (27 de febrero) y uno de muertas (5 de marzo). Este consistió de cinco incubaciones con carbono 14 durante el periodo de luz solar (de las 07:00 a las 18:00 hrs), cada una de las cuales a intervalos de, aproximadamente, dos horas. Las muestras se tomaron de las profundidades correspondientes al 100 y 10% de irradiancia con el objeto de obtener datos de productividad en la vecindad de las profundidades en las cuales se muestreó clorofila y seston. Estas muestras se inocularon como fue descrito anteriormente y se incubaron a las mismas profundidades de donde se tomaron.

2.6.2 Experimento 2:

Este se realizó con el fin de determinar la variación de la productividad a lo largo de la serie de tiempo, y de observar los cambios de la misma bajo diferentes regímenes de marea. Se llevó a cabo los días 25 y 28 de febrero (mareas vivas y transicionales) y 2 y 4 de marzo (mareas muertas). Consistió de incubaciones con carbono 14 durante dos horas aproximadamente, de muestras tomadas al 100 y 10% de irradiancia medida inmediatamente por debajo de

la superficie. La incubación y filtrado se llevó a cabo como se describió anteriormente. El experimento empezaba entre las 11:00 y 12:00 y terminaba entre las 13:00 y 14:00 horas con el objeto de tener la máxima intensidad luminosa y la menor variación posible. Este experimento se alternó un día sí y un día no con el tercero, haciendo excepción en los días representativos de mareas vivas y de muertas, en los cuales se llevó a cabo el primer experimento. Para elaborar una gráfica a lo largo de la serie de tiempo completa, se tomaron datos de los experimentos 1 y 3 de aproximadamente la misma hora y profundidad.

2.6.3 Experimento 3:

El objeto de éste fue determinar la variación de la productividad primaria integrada en la columna de agua, bajo diferentes regímenes de marea. Se realizó los días 26 de febrero (mareas vivas) y 1 y 3 de marzo (mareas transicionales y muertas respectivamente). Consistió de incubaciones con carbono 14 en la columna de agua durante dos horas aproximadamente, al 100, 50, 25, 10 y 1% de irradiancia medida por debajo de la superficie. El experimento empezaba entre las 10:00 y las 12:00 y terminaba entre las 12:00 y las 14:00 horas, con el objeto, nuevamente, de tener la máxima intensidad y la menor variación posible de la irradiancia.

2.7 Determinación de la producción de oxígeno con botellas claras y oscuras

El propósito fue comparar estos resultados con los obtenidos por el método del carbono 14 y con los datos de otros trabajos, que sólo reportan productividad basándose en esta metodología. El experimento se realizó dos veces: una en el día representativo de mareas vivas (27 de febrero) y otro en el día representativo de mareas muertas (5 de marzo). Para su realización, se muestreó del 100 y 10% de irradiancia con botellas Van Dorn provistas de una malla de 200 μm para evitar que entrara el macrozooplancton a las botellas BOD. Se llenaron 9 botellas BOD de 300 ml (6 claras y 3 oscuras) por nivel. Se fijaron tres botellas iniciales como lo indica el método descrito por Strickland y Parsons (1972); las tres claras restantes y las tres oscuras se incubaron a la profundidad de la cual fueron tomadas. El periodo fue aproximadamente igual al de luz solar (de las 06:00 a las 18:00 horas). Al término del periodo de incubación se fijaron inmediatamente. El análisis de todas las muestras se hizo tan pronto se llegó al laboratorio en tierra (aproximadamente 30 minutos después de haber terminado el periodo de incubación) mediante el método macrowinkler (Strickland y Parsons, 1972).

2.8 Análisis estadístico

Con el fin de encontrar alguna relación entre las variaciones diarias de marea y clorofila, se realizaron análisis espectrales de las series de tiempo pertenecientes a las dos variables. Para la obtención de los espectros se usó un algoritmo de la transformada rápida de Fourier y la computadora PRIME 400 del centro de cálculo del C.I.C.E.C.E.

3 RESULTADOS

Las alturas de marea para los nueve días de la serie de tiempo fueron tomadas del calendario de predicción de mareas del C.I.C.E.C.E. La curva de marea (fig. 2), presenta mayores fluctuaciones en los primeros días (mareas vivas) y relativamente menores en los últimos (mareas muertas). Sus máximas alturas las presenta generalmente de las 02:00 a las 04:00 y de las 12:00 a las 16:00 horas, y sus mínimas de 08:00 a 10:00 y de 18:00 a 22:00 hrs. aproximadamente. La amplitud máxima de la curva de marea fue el 26 de febrero (281.1 cm) y la mínima el 5 de marzo (126.0 cm).

Para los primeros días de muestreo se observó una clara dominancia de vientos provenientes de SW con velocidades de hasta $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (fig. 3). El 27 de febrero no hubo una tendencia clara en cuanto a dirección y al final de este día se observa un periodo de calma. Casi toda la primera mitad del 28 de febrero no presenta actividad eólica, registrandose al final del mismo vientos de hasta $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ provenientes del NW. Durante el primero y 2 de marzo el comportamiento direccional es muy irregular, aunque se registran velocidades de hasta $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ con procedencia del NE. Durante el 3 y 4 de marzo se observó una clara predominancia de vientos

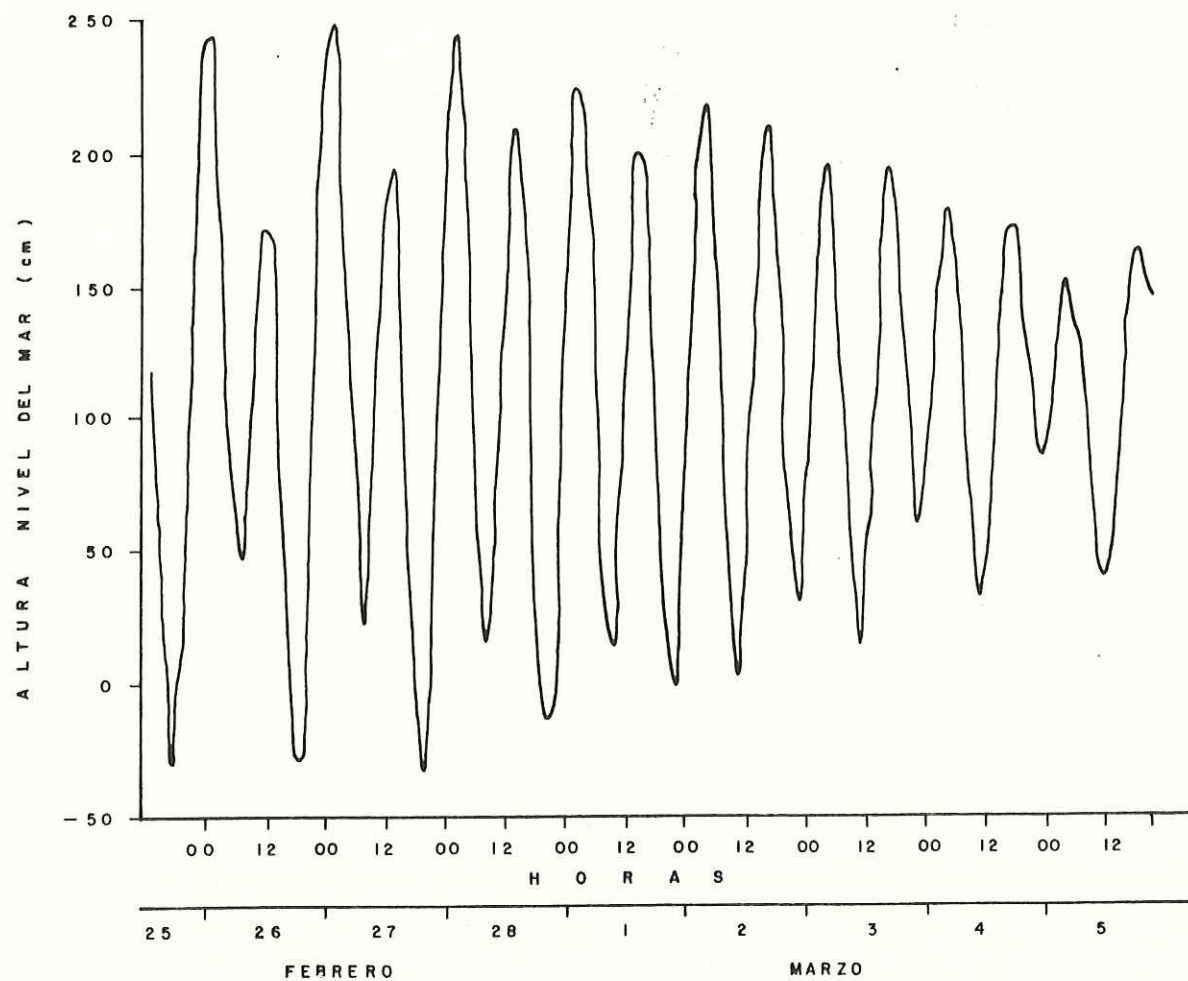


Fig. 2.- Variación de la marea durante el periodo de muestreo.

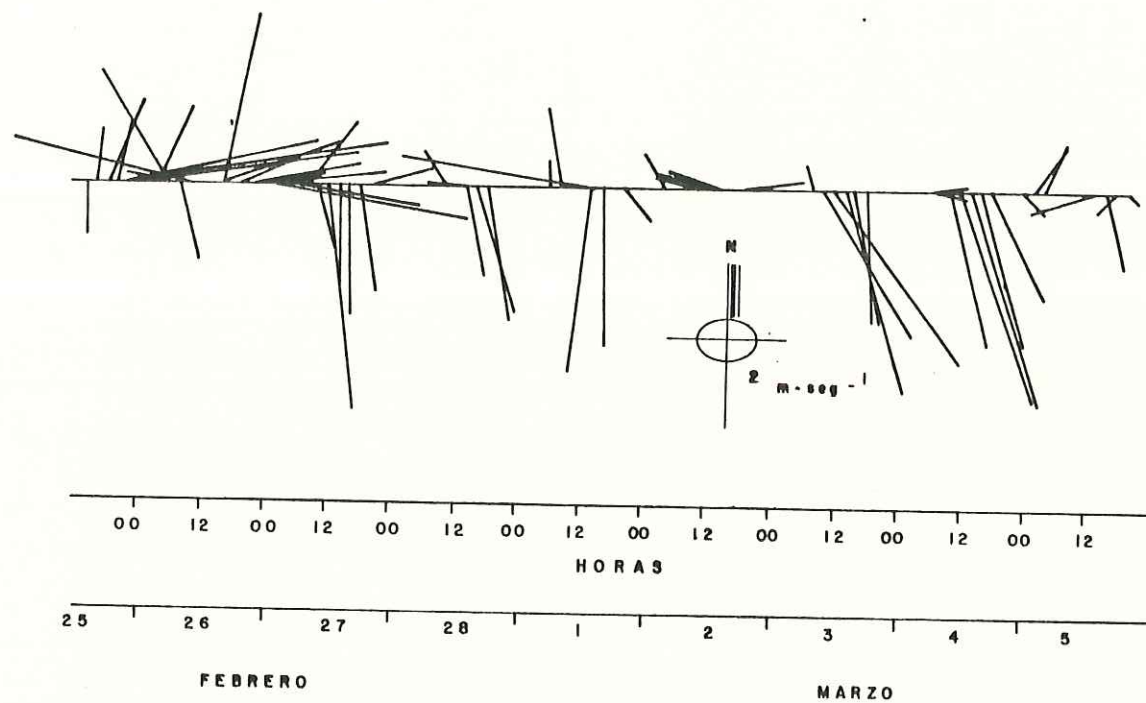


Fig. 3.- Variación de la velocidad y dirección del viento en el punto de muestreo

provenientes del NW con velocidades máximas de $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El 5 de marzo presentó muy poca actividad, alcanzando sólo una vez los $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, con viento que provenía del SE.

Los valores de sigma-t se calcularon en base a los datos de temperatura y salinidad proporcionados por López-Valdez (tesis en proceso). La curva de sigma-t (fig. 4), presenta en los primeros tres días de muestreo (25, 26 y 27 de febrero) una mezcla relativa, misma que se pierde por una tendencia a la estabilización en el cuarto (28 de febrero). En el quinto día de muestreo (1 de marzo), se produce inestabilidad debido a que la sigma-t superficial es mayor que la de diez metros de profundidad. Posteriormente se presenta en el sexto y séptimo días de muestreo (2 y 3 de marzo), la más fuerte tendencia a la estabilidad en la columna de agua. Esta estabilidad se pierde por la verificación de mezcla en los dos últimos días de muestreo (4 y 5 de marzo). Los valores de sigma-t de 10 metros, se mantienen dentro de un intervalo estrecho (de 25.967 a 26.231), lo que no sucede con los valores de superficie, los cuales fluctúan dentro de un intervalo más amplio (25.831 a 26.204) indicando mezcla y estabilidad en la columna de agua de esta serie de tiempo.

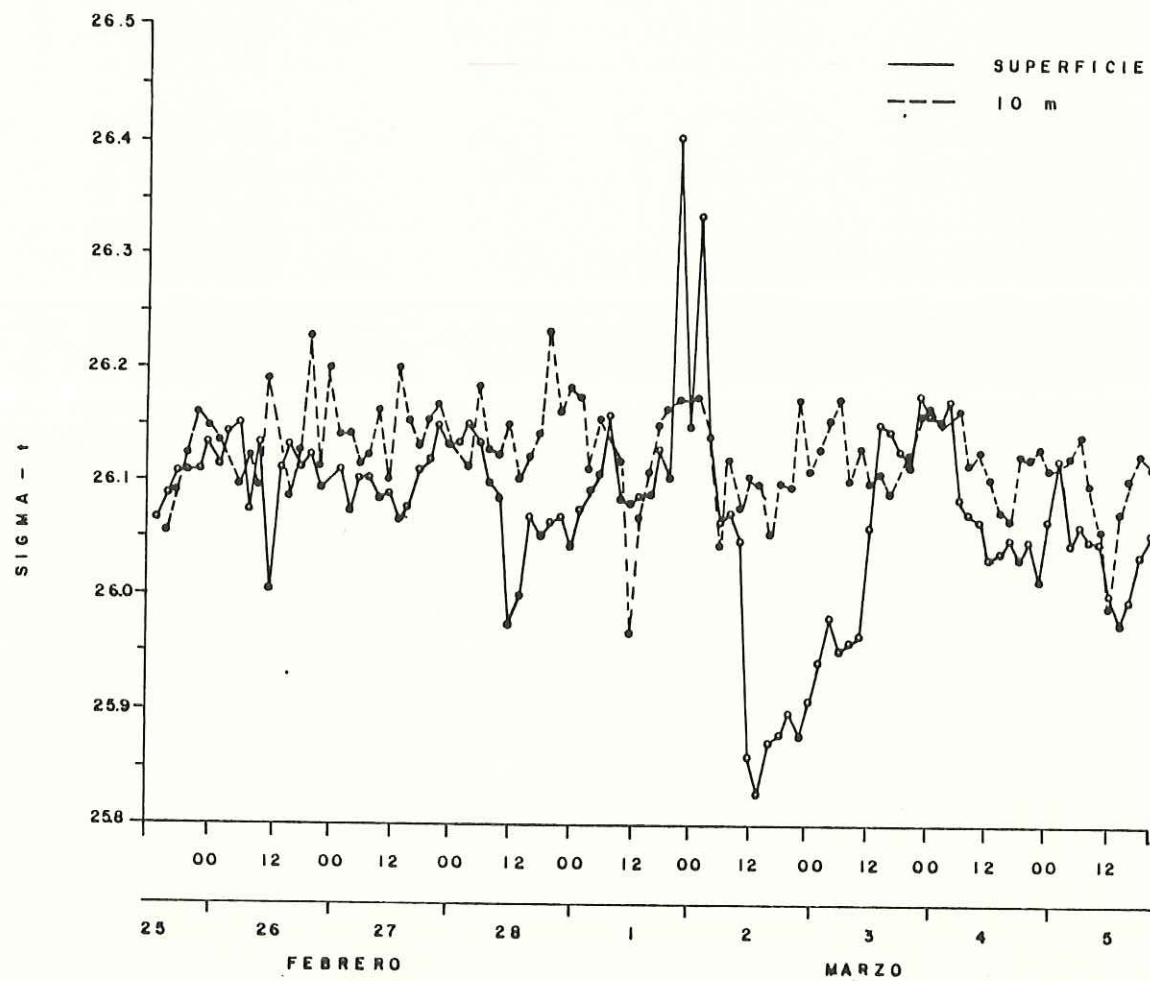


Fig. 4.- Serie de tiempo de Sigma-t medida en el punto de muestreo.

La concentración de clorofila *a* (fig. 5), mostró valores y variaciones mayores en mareas vivas que en mareas muertas (8.0 y 5.5 mg·m³ máximos respectivos), salvo un valor del 5 de marzo (comprendido en mareas muertas) el cual es el más alto de la serie (9.7 mg·m³). No es posible distinguir un patrón de variación de clorofila en particular, pero se observa que; en general, las concentraciones altas se dieron de la madrugada a principios de la mañana (00:00 a 06:00 hrs.) y de la media tarde a la noche (14:00 a 20:00 hrs.), las bajas concentraciones se midieron cercanas al medio día (10:00 a 12:00 hrs.) aproximadamente. Lo anteriormente citado se observa mejor en mareas vivas que en muertas, a causa de que en este último periodo las concentraciones son relativamente constantes y bajas en ambas profundidades. Las diferencias entre superficie y 10 metros para muestras de la misma hora, son más evidentes en mareas vivas que en muertas, excepto por el valor del 5 de marzo ya antes mencionado. En términos generales, las concentraciones de clorofila de superficie varían de 0.25 a 9.70 y las de 10 metros de 0.50 a 7.00 mg·m³.

Tanto en superficie como en 10 metros de profundidad, el seston orgánico tuvo una marcada influencia en las variaciones del seston total (fig. 6 a y b). Los valores más altos se registraron a 10 metros de profundidad. Los primeros tres días de muestreo (25,

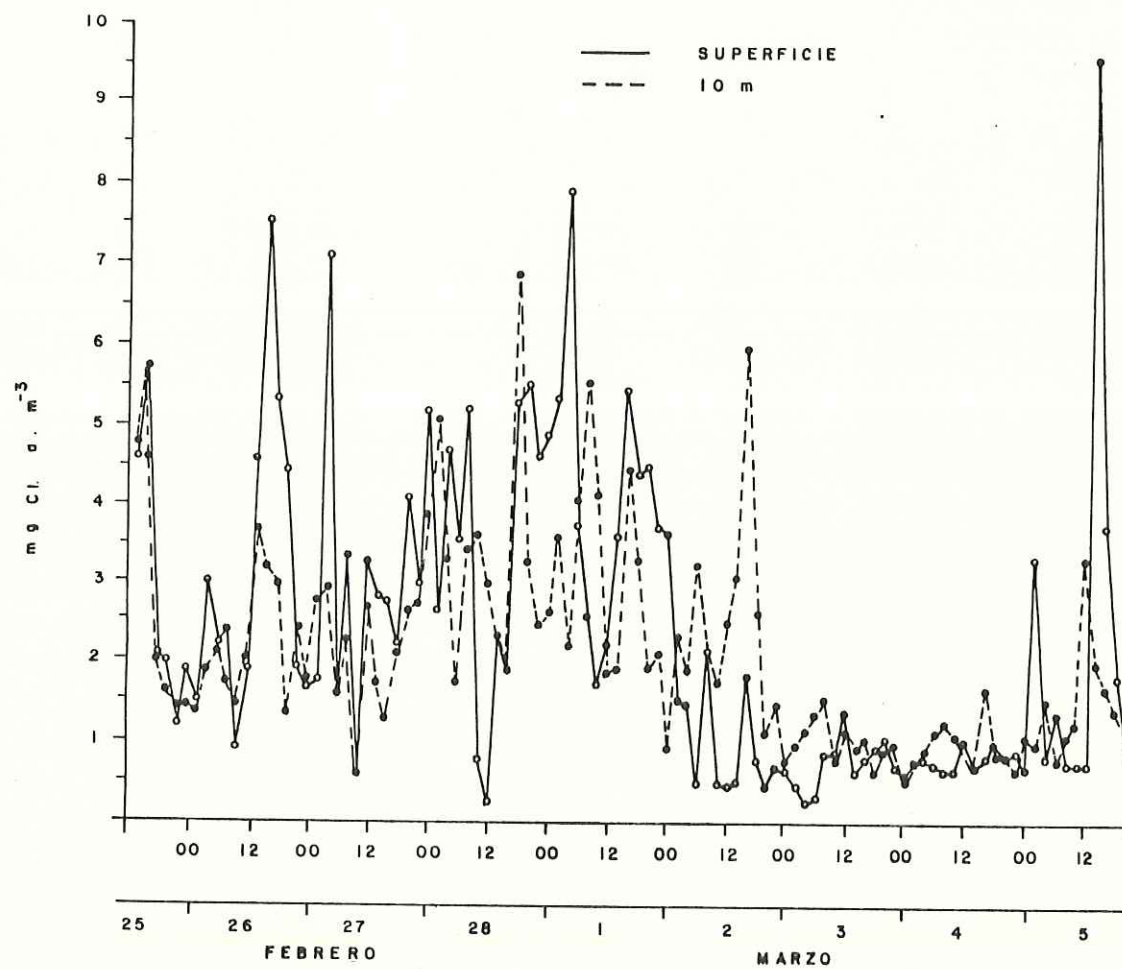


Fig. 5.- Serie de tiempo de clorofila *a* en el punto de muestreo.

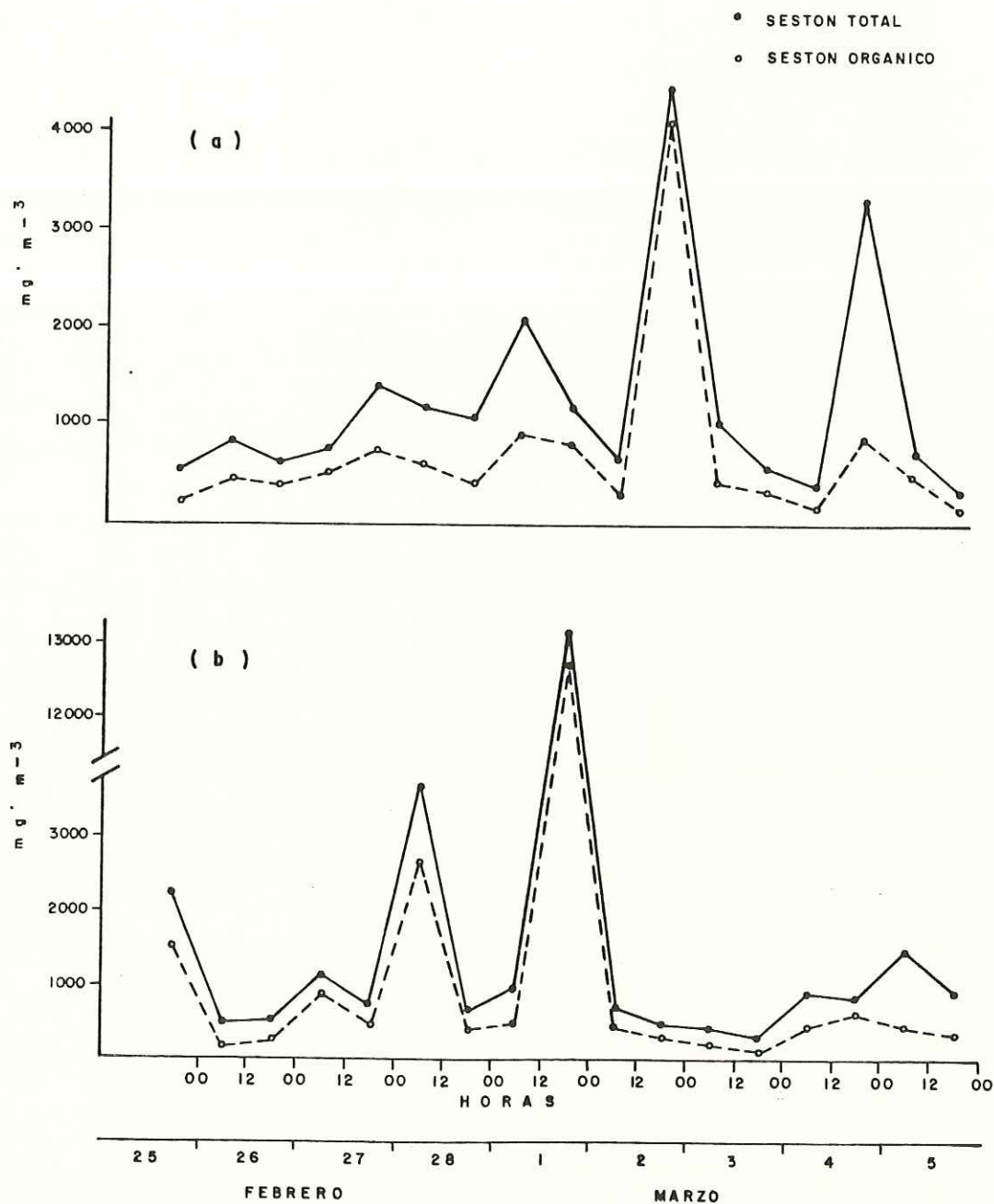


Fig. 6.- Serie de tiempo de seston orgánico y total (a) superficie y (b) 10 metros de profundidad.

26 y 27 de febrero), el seston de superficie y 10 metros presentan valores relativamente bajos. Las concentraciones de seston a 10 metros, alcanzaron sus valores más altos el 28 de febrero y 1 de marzo, mientras que las de superficie se registraron los días 1, 2 y 4 de marzo. Los intervalos de variación para seston total y orgánico fueron (en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) respectivamente: 0.32-4.38 y 0.20-4.14 para superficie y, 0.50-13.18 y 0.12-12.78 para 10 metros de profundidad.

La productividad primaria en el día representativo de mareas vivas fue mayor en el 100% de irradiancia que en 10% (fig. 7a), con valores máximos en el nivel del 100% a las 08:00 y 13:00 hrs. Los valores obtenidos (en $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) en el nivel del 100% van de 3.50 a 5.50, y en el 10% de 0.25 a 2.50. La productividad integrada con respecto al tiempo en este día en de mareas vivas fue: 33.5 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ en el 100% y 15.5 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ en el 10%. La clorofila del 100% mostró valores máximos a las 07:45 y 13:00 horas, mientras que el 10% los máximos se registraron a las 07:30 y 13:30 horas y sus mínimos a las 09:15, 12:45 y 15:15 horas (fig. 7b). Las concentraciones en el 100% van de 3.7 a 5.8 y en el 10% de 2.3 a 5.2 $\text{mg cla. a}\cdot\text{m}^{-3}$. La razón de asimilación de carbono por unidad de clorofila en el 100% de irradiancia, muestra un comportamiento relativamente constante, con un mínimo ligero entre las 11:00 y las

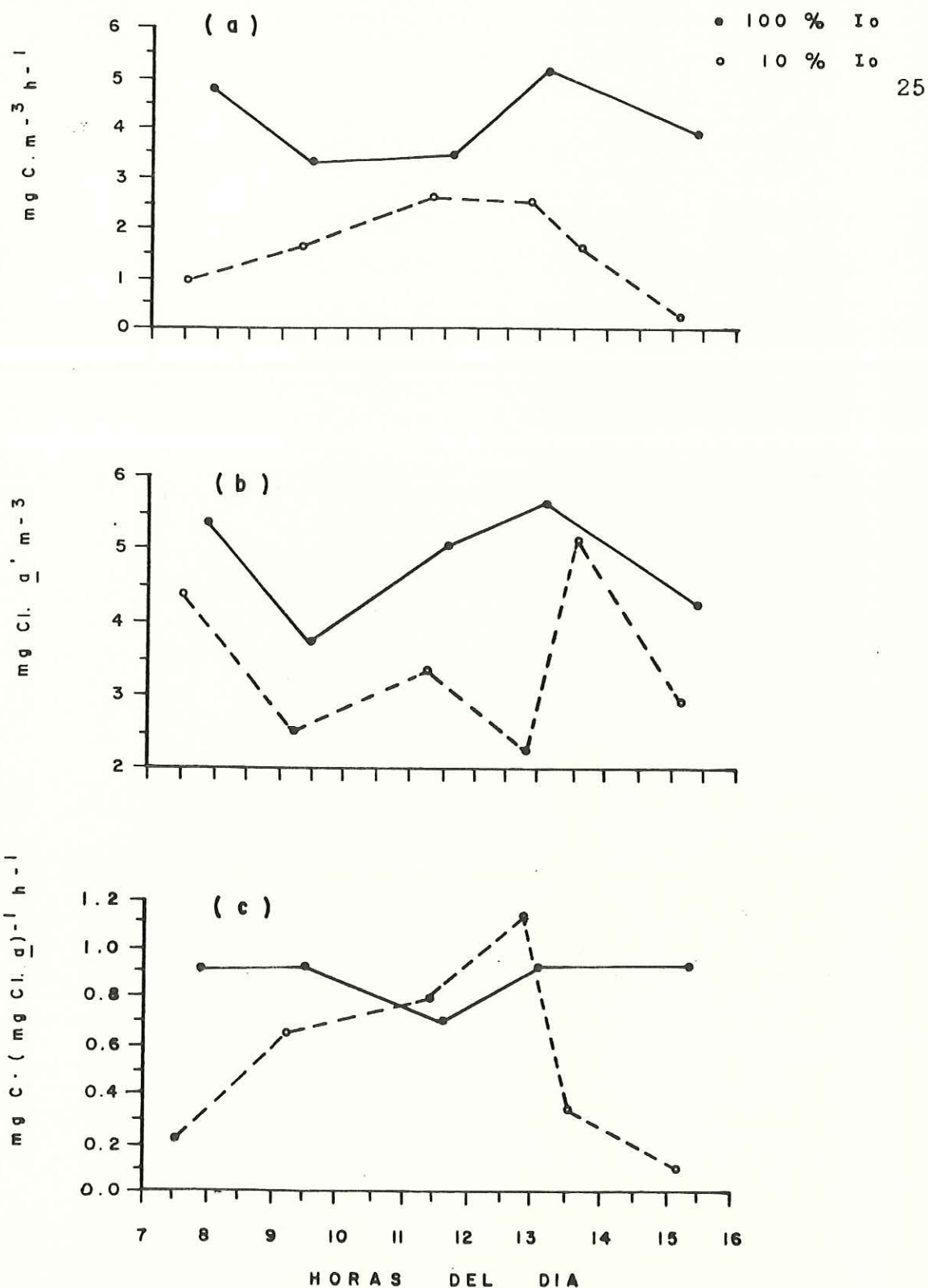


Fig. 7.- Variación diurna durante mareas vivas de productividad primaria, clorofila y razón de asimilación del fitoplancton. (a) productividad primaria, (b) clorofila y (c) razón de asimilación.

12:00 horas, asociado con un incremento en la clorofila (fig. 7c); sin embargo, esta misma razón en el 10% de irradiancia registra dos mínimos: a las 07:30 y 15:00 hrs., con un máximo cercano a las 13:00 horas, que sobrepasa al observado en el 100% a la misma hora. La razón de asimilación del fitoplancton ($\text{mgC} \cdot (\text{mg cl. a})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), varió en el 100% de 0.65 a 0.85 y en el 10% de 0.10 a 1.50.

La productividad primaria medida en el día representativo de mareas muertas (5 de marzo), en el nivel del 100% de irradiancia presentó valores bajos y constantes desde las 07:45 hasta las 12:00 hrs. (fig. 8a), punto en el cual empieza a subir alcanzando su único máximo a las 13:30 hrs. A su vez, la productividad medida en el 10% fue menor a la del 100%, con valores bajos y constantes durante todo el día. Los intervalos de variación en los niveles de 100 y 10% de irradiancia fueron respectivamente: 1.25 a 5.25 y 0.10 a 0.55 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$. La productividad integrada con respecto al tiempo en este día de mareas muertas fue: 17.2 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ en el 100% y 4.2 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ en el 10%. Las concentraciones de clorofila para ambos niveles fueron bajas y constantes (en el 10% ligeramente más altas que en el 100%) desde las 07:00 hasta las 12:00 hrs. (fig. 8b), en donde la concentración del 100% empieza a aumentar hasta el valor más alto medido a las 17:30 hrs., mientras que en el 10% sólo hay un aumento ligero. Los intervalos de variación

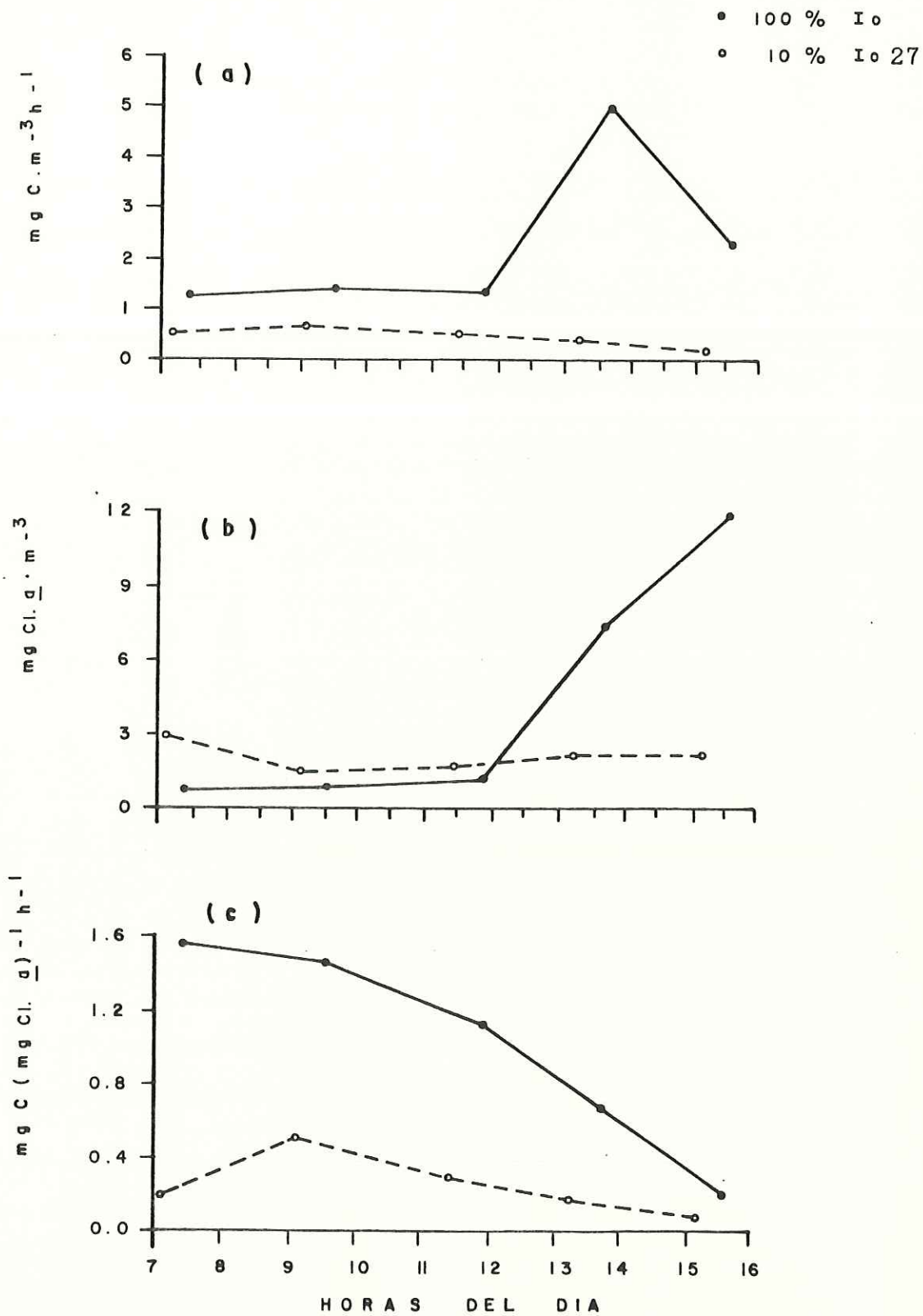


Fig. 8.- Variación diurna durante mareas muertas de productividad primaria, clorofila y razón de asimilación del fitoplancton. (a) productividad primaria, (b) clorofila y (c) razón de asimilación.

de clorofila del 100 y 10% de irradiancia fueron respectivamente: de 1.0 a 11.5 y de 1.9 a 3.0 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. La variación de la razón de asimilación de carbono por unidad de clorofila registró valores altos en el 100% de irradiancia y menores en el 10% al principio del día, los cuales disminuyeron en el transcurso del mismo alcanzando los valores más bajos entre las 15:00 y 16:00 hrs. (fig.8c) con tendencia inversa a la clorofila. Los intervalos de variación de esta razón ($\text{mgC}\cdot(\text{mg cl. a})^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) en los niveles del 100 y 10% fueron respectivamente: 0.30-1.55 y 0.90-0.50.

La variación de la productividad durante los nueve días de muestreo, presentó al inicio (25 de febrero), valores más altos en el 10% de irradiancia, cambiando en el 26 y 27 de febrero (mareas vivas) a valores superiores en el 100%; posteriormente, en los días 28 de febrero, y 1, 2 y 3 de marzo los valores altos se ubicaron en el nivel del 10%, para dominar los valores superficiales el 4 y 5 de marzo (fig. 9a). La variación de la concentración de clorofila mostró registros altos durante los días 25, 26 y 27 de febrero (mareas vivas), el 28 de febrero y 2 de marzo (mareas transicionales) se dan valores altos en el 10% aunque en el 1 de marzo se obtuvieron valores bajos en ambos niveles, y posteriormente, en el 3, 4 y 5 de marzo (mareas muertas) los valores altos se dan nuevamente en el 100% de irradiancia (fig.9b).

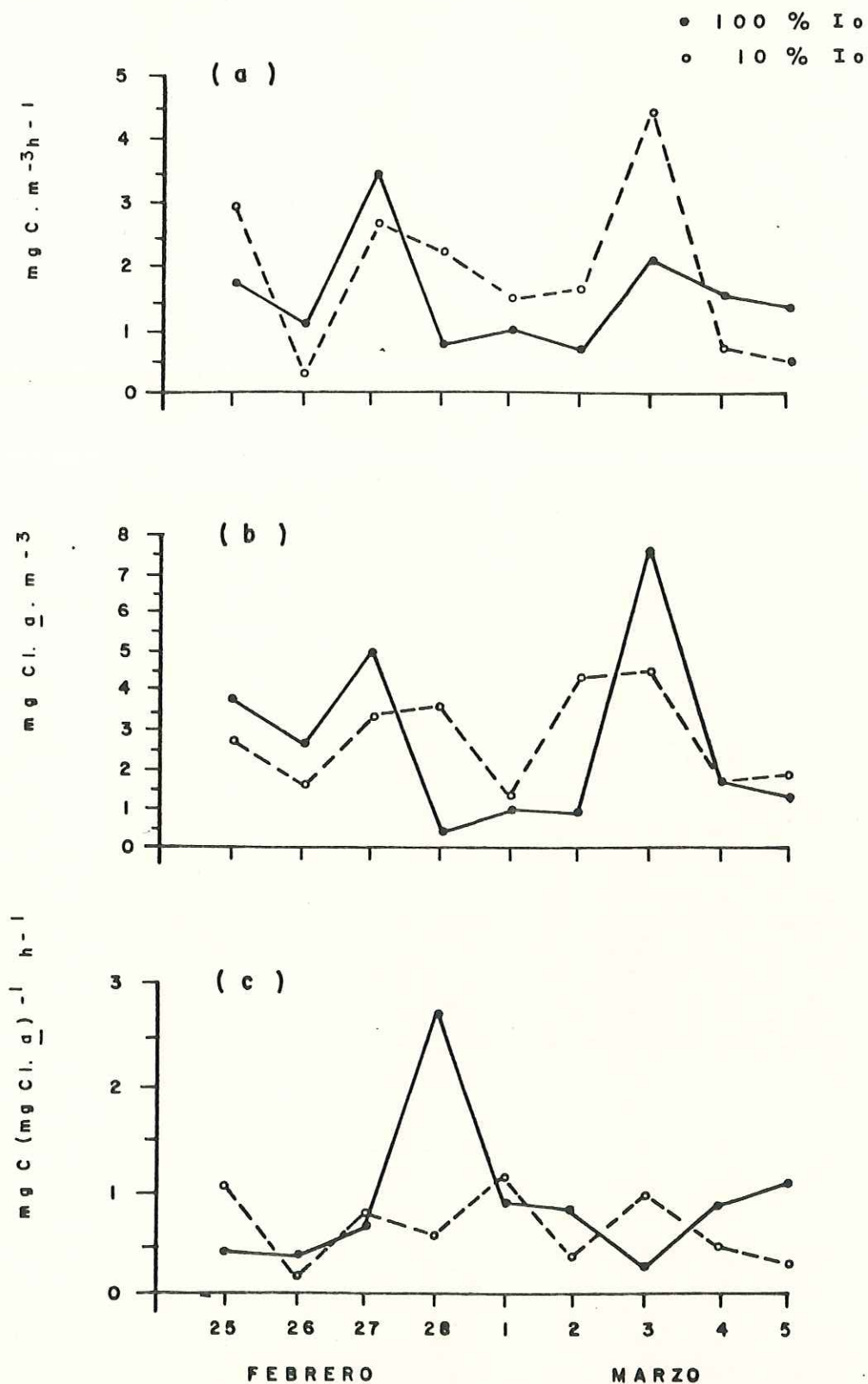
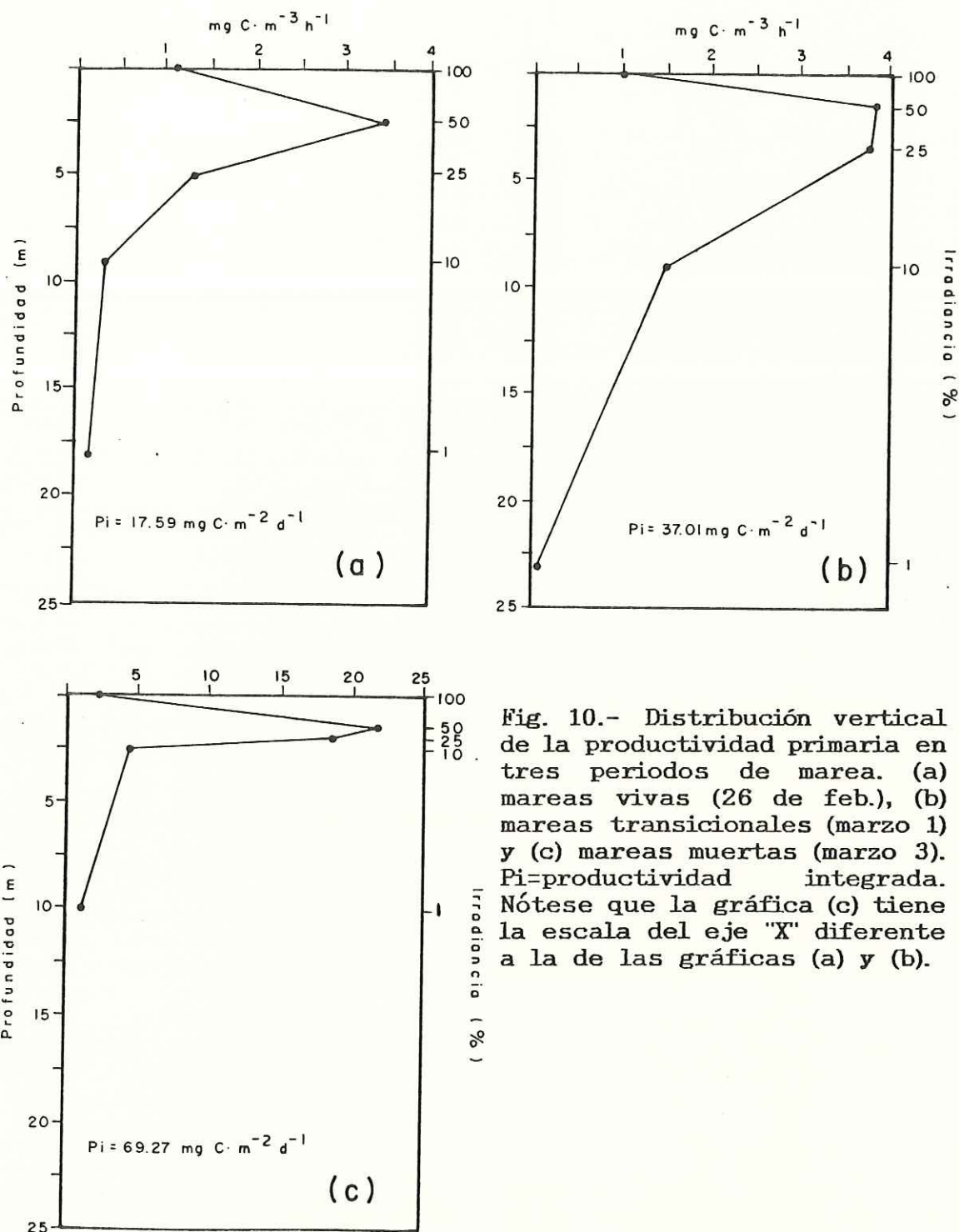


Fig. 9.- Serie de tiempo de productividad primaria, clorofila y razón de asimilación del fitoplancton. (a) productividad primaria, (b) clorofila y (c) razón de asimilación.

Los intervalos de variación del 100 y 10% fueron respectivamente: 0.3-7.9 1.0-4.6 mg cl. μm^{-3} . La razón de asimilación de carbono por unidad de clorofila ($\text{mgC}(\text{mg cl.}\mu)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), registró valores bajos y relativamente constantes durante los nueve días de muestreo en el nivel del 10% de irradiancia; sin embargo, aunque tuvo un comportamiento similar durante todos los demás días, el nivel del 100% mostró un máximo considerable el 28 de febrero (fig. 9c). Los intervalos de variación del 100 y 10% fueron respectivamente: 0.5-2.8 y 0.2-1.2 $\text{mgC}(\text{mg cl.}\mu)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$.

Los registros más altos de productividad primaria para la columna de agua se midieron en los niveles de 50 y 25% en los tres días que se realizó este experimento (fig. 10 a, b y c). En el 50% del día 3 de marzo se registró la productividad más alta ($21 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), y en el 1% del 1 de marzo la más baja ($0.1 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$). Es clara la tendencia al aumento conforme se avanza al periodo de mareas muertas, tanto en productividad por metro cúbico como en la integrada. En la productividad integrada ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$), el 26 de febrero registró 17.59, y el 1 y 3 de marzo 37.01 y 69.27 respectivamente.

Los valores más altos de clorofila en la columna de agua se dieron en el 50 y 25% lo en el 1 y 3 de marzo (mareas transicionales



y muertas), y el 26 de febrero (mareas vivas) en el 25% I_0 (fig. 11 a, b y c). Los valores en $\text{mg cl. } \mu\text{m}^{-3}$ y $\text{mg cl. } \mu\text{m}^{-2}$ presentan la tendencia de aumento conforme se avanza hacia el periodo de mareas muertas; con las bajas concentraciones el 26 de febrero y las intermedias y altas el 1 y 3 de marzo respectivamente. La curva integrada de clorofila ($\text{mg cl. } \mu\text{m}^{-2}$), registró para el 26 de febrero 31.17 y para el 1 y 3 de marzo 37.52 y 78.96 respectivamente.

Los valores máximos de la razón de asimilación en la columna de agua variaron de un día representativo a otro (fig. 12 a, b y c), el 26 de febrero (mareas vivas) lo presentó en el 50% de irradiancia; el 1 de marzo (mareas transicionales) presentó un máximo constante desde el 100 hasta el 10%; y en el 3 de marzo (mareas muertas), se localizó en el 10%. En el 50% del día 26 de febrero, se registró la razón de asimilación más alta ($2.20 \text{ mgC}(\text{mg cl. } \mu)^{-1}\text{h}^{-1}$), y la más baja el mismo día en el 1% ($0.02 \text{ mgC}(\text{mg cl. } \mu)^{-1}\text{h}^{-1}$).

La productividad primaria determinada por el método de producción de oxígeno (Tabla I) durante mareas vivas (27 de febrero) al 100% de irradiancia fue 1.64 veces mayor que en mareas muertas (5 de marzo), y al 10% de irradiancia fue 14 veces mayor. Además no hubo gran diferencia entre la productividad primaria al 10 y 100% de I_0 para mareas vivas, pero sí fue muy diferente (aprox.

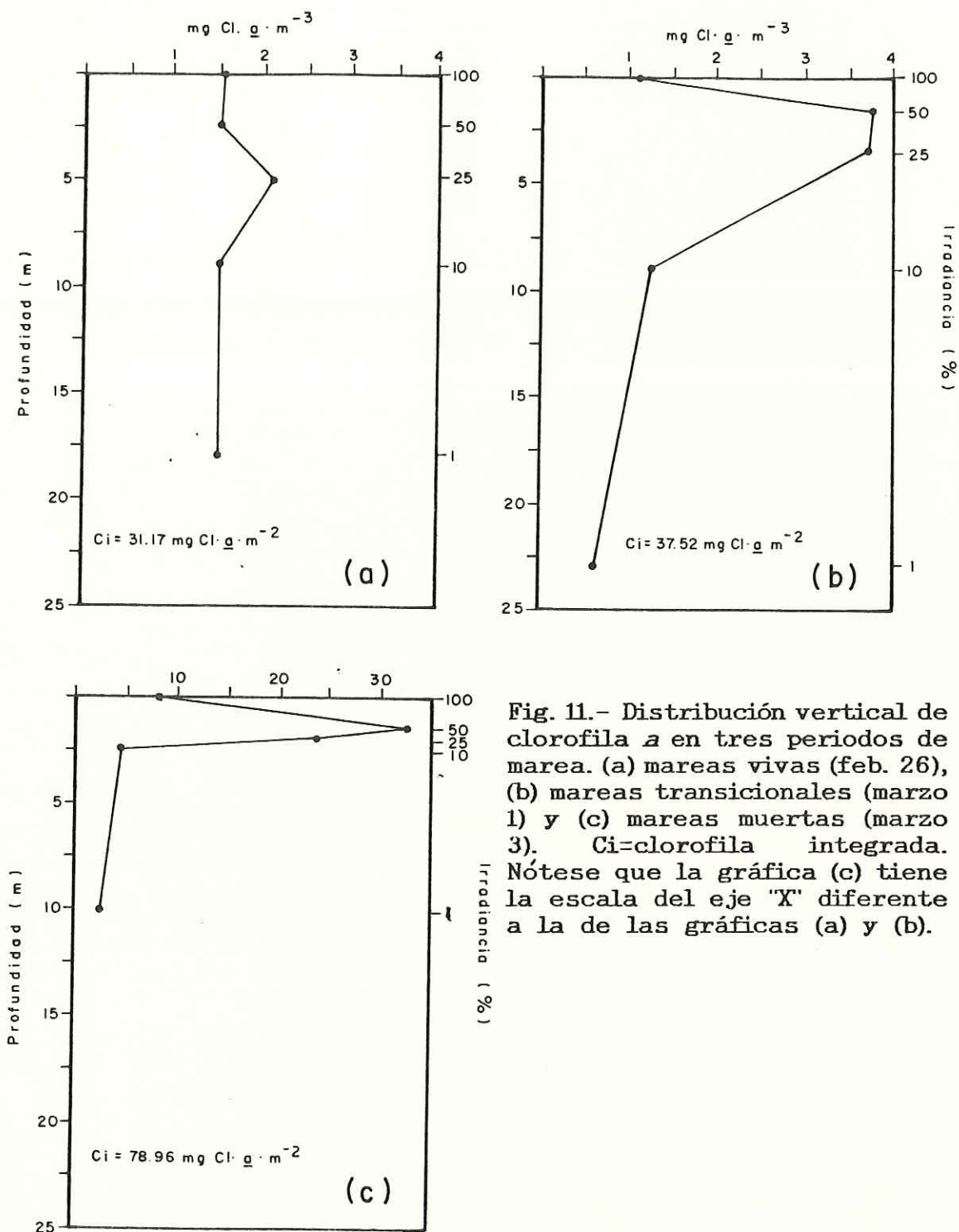


Fig. 11.- Distribución vertical de clorofila *a* en tres periodos de marea. (a) mareas vivas (feb. 26), (b) mareas transicionales (marzo 1) y (c) mareas muertas (marzo 3). C_i =clorofila integrada. Nótese que la gráfica (c) tiene la escala del eje "X" diferente a la de las gráficas (a) y (b).

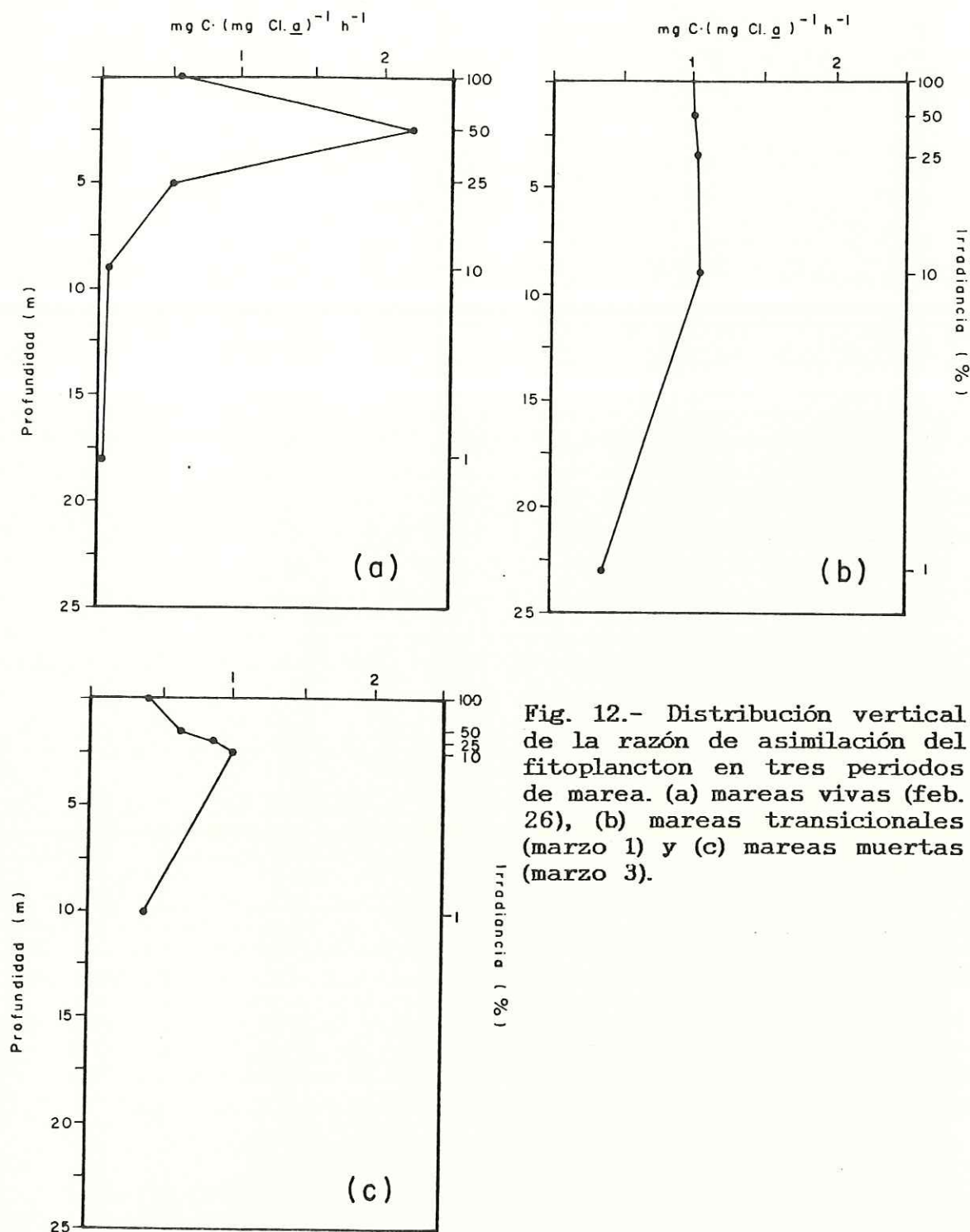


Fig. 12.- Distribución vertical de la razón de asimilación del fitoplancton en tres periodos de marea. (a) mareas vivas (feb. 26), (b) mareas transicionales (marzo 1) y (c) mareas muertas (marzo 3).

Tabla I.- Productividad primaria determinada con el método de producción de oxígeno en botellas claras y oscuras

FECHA	% IRRADIANCIA	$\text{mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$	$\text{mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$	$\text{mg C. m}^{-3} \text{ h}^{-1}$	$\text{mg C. m}^{-3} \text{ d}^{-1}$
27 DE FEBRERO	100 %	77.118	867.58	24.1386	271.55
	10 %	70.66	734.88	22.1176	230.02
5 DE MARZO	100 %	45.71	528.02	14.309	165.27
	10 %	3.7729	41.65	1.71	15.6453

10 veces mayor en superficie que en 10% I_0) para mareas muertas.

Los espectros de varianza, de marea y clorofila superficial, presentan picos característicos de frecuencias diurna y semidiurna (0.041 y 0.081 cph) (fig. 13 a y b), a su vez el de clorofila de 10 metros (fig. 13c), presenta un pico de frecuencia semidiurna y también presenta la diurna, aunque ésta última se encuentra "enmascarada" por una baja frecuencia debida a una posible variación de largo periodo.

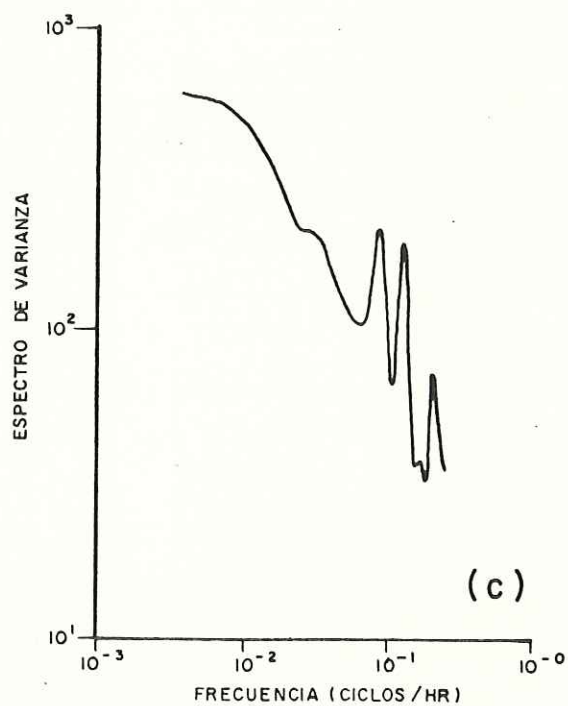
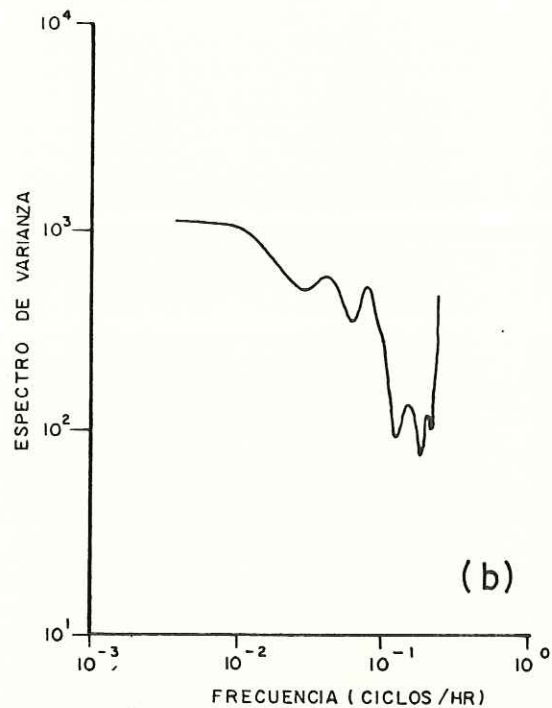
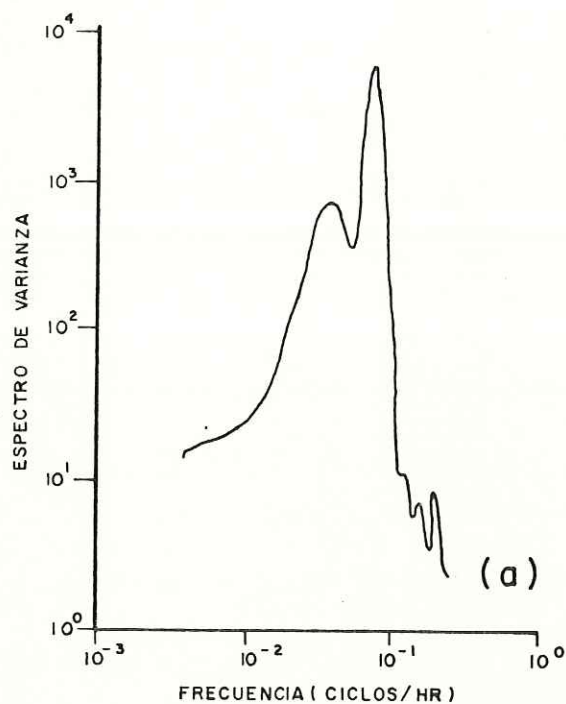


Fig. 13.- Espectros de varianza.
(a) marea, (b) clorofila
superficial y (c) clorofila de 10
metros de profundidad.

4 DISCUSION

El comportamiento de la concentración de clorofila parece presentar una variación de periodo largo, pues en la primera mitad de la serie de tiempo (mareas vivas) se presentaron concentraciones altas y fluctuaciones amplias, y en la segunda mitad (mareas muertas), se registraron valores bajos y variaciones mínimas. Esta posibilidad puede explicarse en base a las corrientes inducidas por las mareas vivas, pues éstas pudieron resuspender células algales y nutrientes depositados en el fondo aumentando así la biomasa del fitoplancton. Millán Nuñez y Alvarez Borrego (1978), registraron una onda larga de clorofila con un periodo del orden de dos semanas en Bahía San Quintín, este comportamiento, afirman, muestra la alternancia de eventos de surgencia; proceso, éste último, que es un factor importante en la fertilización de esa bahía. Haciendo una analogía con el caso de Bahía de los Angeles, la surgencia como factor de fertilización se sustituye por el de mezcla inducida por la alternancia de mareas pero el resultado podría ser el mismo, una onda de largo periodo (aprox. 2 semanas). Otra posible explicación podría ser la del pastoreo, aunque en ésta última se tienen aún menos elementos de juicio para intentar probarla.

La clorofila superficial presentó concentraciones relativamente bajas al medio día y altas en la vecindad de la media noche. Este efecto de la irradiación solar no es muy claro debido a la marea, pues cuando las bajas y altas concentraciones coincidieron con el medio día y la media noche respectivamente, también se presentó que la marea bajaba en el caso del medio día y subía en el de la media noche.

Los análisis espectrales de las series de tiempo y clorofila sugieren una relación entre ambas variables, premisa que puede reforzarse mencionando que, en general, los picos altos de clorofila siguieron a los picos altos de marea y los mínimos de clorofila los picos bajos.

En bahía San Quintín, Millán Nuñez y Alvarez Borrego (1978), encontraron que la clorofila muestra cierta tendencia de variación semidiurna, e indican que esto quizá fue debido principalmente al efecto de marea, ya que los máximos de clorofila tienden a coincidir con los máximos de marea sin manifestarse a una hora en particular del día, lo cual indicaría una influencia más fuerte del ciclo de irradiación solar.

En la tabla II, se comparan las concentraciones de clorofila obtenidas en este trabajo con los de otras lagunas costeras del golfo de california y del Pacífico Mexicano.

Aunque la mayoría de los estudios presentados en la tabla II se hicieron en lugares y estaciones del año diferentes a las del presente trabajo, se puede discutir lo siguiente: de las cuatro lagunas del este del Golfo de California presentadas, tres superan las concentraciones de clorofila encontradas en Bahía de los Angeles para invierno y verano. Gilmartin y Revelante (1978), indican que las lagunas del este del golfo casi no presentan influencia de aguas costeras u oceánicas adyacentes; sin embargo, las lagunas costeras del oeste del golfo tienen una gran influencia del mar adyacente, lo cual no permite un desarrollo de verdadera flora local, factor que puede en un momento dado influir en la concentración de clorofila. Además, la mayoría de las lagunas de la costa este son muy poco profundas comparadas con Bahía de los Angeles, esto les permite una recirculación , más efectiva , de nutrientes del fondo a traves de mareas.

A causa de la baja frecuencia del muestreo de seston no es posible relacionar su comportamiento con la variación semidiurna

TABLA II - CONCENTRACIONES SUPERFICIALES DE CLOROFILA a EN ALGUNAS LAGUNAS COSTERAS DEL ESTE Y OESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y DE LA COSTA ORIENTAL DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA.

	LAGUNA	MINIMO ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	MAXIMO ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	REFERENCIA
OCEANO PACIFICO	ESTERO DE PUNTA BANDA	0.3	1.5	MILLAN-NUÑEZ Y ALVAREZ BORREGO (1978)
	BAHIA SAN QUINTIN	0.8	17.7	"
GOLFO DE CALIFORNIA (ESTE)	EL ESTERO DE LOBOS	3.4	6.7	GILMARTIN Y REVELANTE (1978)
	ESTERO DE LECHUGILLA	6.5	19.9	"
	BAHIA OHUIRA	8.3	12.5	"
	CANAL DE SALINACA	2.0	11.8	"
GOLFO DE CALIFORNIA (OESTE)	BAHIA WILLARD	0.3	16.78	MERINO-PAREDES (1987)
	BAHIA DE LOS ANGELES (VERANO)	0.3	8.3	CANINO-HERRERA (1989)
	BAHIA DE LOS ANGELES	0.3	9.6	PRESENTE TRABAJO

de la marea . Sin embargo, es probable encontrar alguna relación con la alternancia de mareas (vivas y muertas) presentes en esta serie de tiempo.

No se ve una tendencia clara de variación del seston asociada a los diferentes regímenes de marea (vivas, transicionales y muertas). Se esperaba que en mareas vivas se presentara una resuspensión considerable de material depositado en el fondo a causa de la turbulencia provocada; que posteriormente, en mareas transicionales, los valores altos de seston permanecieran o disminuyeran ligeramente; y finalmente, que en mareas muertas se observara una disminución del material en suspensión, debido a la sedimentación del mismo y/o a su aprovechamiento biológico. Sin embargo, los registros más altos se presentaron en mareas transicionales, con valores relativamente bajos en mareas vivas y muertas. Lo que impidió que la variación de seston no se presentara como se esperaba fue, probablemente, que Bahía de los Angeles es relativamente profunda (40 m prom.) y esto produce que los efectos provocados por la turbulencia, en cuanto a resuspensión de material del fondo se refiere, tardan un poco en reflejarse en las capas superficiales.

En la mayoría del comportamiento de seston, se presentó una relación entre las concentraciones altas y bajas de 10 metros de profundidad con las de superficie; de tal forma que, a una elevación en la concentración del seston de 10 metros le correspondió otra de menor magnitud en el de superficie, aunque esto no sucedió siempre. Lo anterior puede explicarse de la siguiente manera: al actuar las corrientes inducidas por la marea sobre el fondo resuspenden material sedimentado, ésto forzosamente se debe reflejar primero en las capas más profundas y posteriormente en las superficiales. Las concentraciones menores en superficie que en fondo, reflejan el efecto de gravedad y/o aprovechamiento biológico.

La variación del seston total estuvo marcadamente influenciada por el seston orgánico. Los picos grandes, tanto de superficie como de 10 metros de profundidad, contienen aproximadamente el 90% de contenido orgánico, promediando durante toda la serie de tiempo 56.85 y 76.86% en superficie y fondo respectivamente.

En general, la proporción de contenido orgánico en el seston de superficie fue menor que en el de 10 metros de profundidad. En todos los días que se registraron proporciones bajas de contenido orgánico en superficie, hubo vientos que, por su dirección e

intensidad, pudieron transportar material terrígeno inorgánico a la bahía, el cual influyó determinantemente en tales proporciones. Como excepción, se registra un alto contenido orgánico superficial el 2 de marzo, día en el cual hubo ausencia o muy baja intensidad de viento. Por su parte, el seston de 10 metros de profundidad, por la misma profundidad, fue influido en menor grado por el transporte eólico y en un grado superior por la resuspensión de material orgánico del fondo.

Canino-Herrera (1989), encontró que en un periodo de mareas vivas en Bahía de los Angeles, el seston orgánico forma la mayor parte del seston total, y argumenta que esto se debe principalmente a un aporte de carbón orgánico terrígeno y/o detrítico del fondo.

En el presente trabajo, el porcentaje de seston total correspondiente a clorofila superficial fue, en promedio, 0.26% con un intervalo de variación de 0.02-0.90%; y en 10 metros de profundidad, el promedio fue 0.27% con un intervalo de variación de 0.03-1.15%. Esto es comparativamente mayor a lo encontrado por Zeitzschel (1970), pues el reporta para una estación en la vecindad de la Isla Angel de la Guarda a profundidades de 6 y 11 metros: 0.10 y 0.11% respectivamente, con un promedio para el Golfo de California de $0.10 \pm 0.11\%$ para la misma época del año.

Esto indica que aunque en Bahía de los Angeles el contenido de clorofila *a* en seston es superior al del Golfo de California, la cantidad no es lo suficientemente representativa como para influir significativamente en la variación del material particulado en suspensión. Por otro lado, en esta serie de tiempo, no se advierte ninguna relación entre las variaciones de clorofila y seston como para asociarlas de alguna forma.

Zeitzschel (1970), encontró para la misma estación en la costa de la Isla Angel de la Guarda, que el porcentaje de seston correspondiente a detritus fue 79.42 y 82.07 para 6 y 11 metros de profundidad respectivamente. También menciona que el promedio para el Golfo de California es de 88.60 ± 7.10 , y en base a estos resultados afirma que es muy claro que la principal porción de seston es detritus. Aunque este trabajo no evaluó detritus, lo anterior sugiere que el seston en Bahía de los Angeles está compuesto principalmente por detritus; el que probablemente, en parte, fue resuspendido del fondo por la mezcla vertical provocada por mareas.

En los niveles de 100 y 10% de irradiancia hubo mayor productividad primaria en el día representativo de mareas vivas (fig. 7a), que en el de muertas (fig. 8a). Esta misma productividad

tuvo una estrecha relación con la concentración de clorofila en ambos días (figs. 7b y 8b), por lo que ésta última pudo influir en forma determinante en el comportamiento de la productividad. Partiendo del hecho de que los nutrientes no fueron limitantes en estos dos días (Durand-Sarmiento, tesis en proceso), uno de los factores más importantes de la variación de la productividad primaria, aparte de la clorofila, fue la irradiación solar, pues ésta se presentó con mayor intensidad y continuidad en el día de mareas vivas que en el de muertas (fig. 14).

No obstante que el día representativo de mareas muertas mostró desde su inicio y hasta las doce horas valores bajos de clorofila, irradiancia y productividad; su razón de asimilación de carbono por unidad de clorofila en el mismo periodo de tiempo (fig. 8c), fue igual o superior al que se observó en el día representativo de mareas vivas (fig. 7c). Esto pudo ser causado por la turbulencia existente en mareas vivas, pues ésta pudo transportar al fitoplancton de capas profundas, acondicionado a bajas irradiancias, a capas superiores (10 metros y superficie), aumentando así la cantidad de clorofila pero disminuyendo la razón de asimilación debido a fotoinhibición. Mientras en el día representativo de mareas muertas, aun cuando la estabilidad de la columna no era marcada, la relativa disminución de la turbulencia permitió al fitoplancton

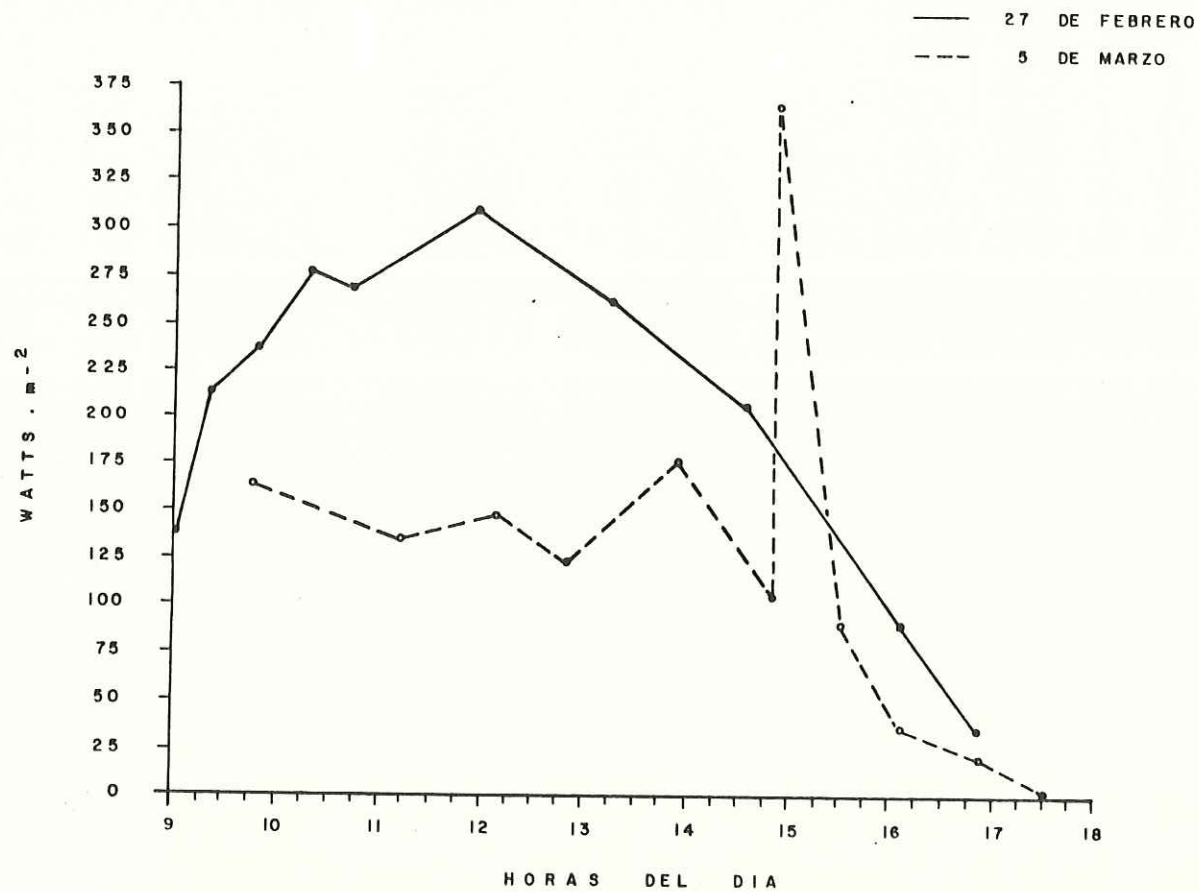


Fig. 14.- Irradiancia incidente en la superficie durante los días representativos de mareas vivas y mareas muertas.

un mayor tiempo de residencia en las profundidades a las cuales se encontraba, acondicionandose así a las irradiancias existentes y aumentando su razón de asimilación, aun cuando sus concentraciones de clorofila fueron inferiores y su irradiancia menos continua e intensa.

En los niveles de 100 y 10% de irradiancia, las diferencias de productividad primaria entre los días representativos de mareas vivas y mareas muertas, parecen ser reguladas principalmente por una acción combinada de turbulencia e intensidad de luz. No es posible con los datos disponibles indicar cuál de los dos factores es el más importante.

La productividad orgánica primaria durante los nueve días de muestreo, en los niveles de 100 y 10% de irradiancia, presentó un comportamiento un tanto irregular (fig. 9a). En los primeros cuatro días hubo diferencias de dominancia, en cuanto a mayor productividad se refiere, entre los dos niveles; es decir, en el primer día el valor más alto se registró en el 10% de irradiancia, en el segundo y tercer días en el 100%, y en el cuarto nuevamente en el 10%. Lo anterior pudo ser causado por la irregularidad de la luz en esos días, pues del primero al tercero se presentó cielo nublado con esporádicas apariciones del sol. A partir de cuarto y hasta

el séptimo día la dominancia se presentó en el 10%, para que en los dos últimos días se presentara nuevamente en los registros del 100%. La regularidad del cuarto al séptimo días se puede explicar en base a que esos mismos días fueron soleados; es decir, similares en cuanto a condiciones de irradiancia, lo cual propició estabilidad en cuanto a dominancia entre los dos niveles se refiere.

La productividad orgánica primaria y la clorofila, mantienen una estrecha relación en los niveles de 100 y 10% de irradiancia durante la serie de tiempo (figs. 9 a y b). El comportamiento de las curvas de productividad y clorofila es similar, aunque no son proporcionales, lo que indica que otro factor importante tiene cierta influencia, este factor podría ser el estado fisiológico del fitoplancton u otro, pues no se observa ninguna relación clara con los nutrientes.

La serie de tiempo muestra un valor de razón de asimilación máximo en el 10% de irradiancia del 28 de febrero (mareas transicionales), esto puede ser debido a una irradiancia óptima en ese nivel o a una buena condición fisiológica del fitoplancton. Canino-Herrera (1989), en Bahía de los Angeles (verano), registra máximos de razón de asimilación en mareas transicionales y lo atribuye a un mejor estado fisiológico del fitoplancton.

En síntesis, la variación de la productividad orgánica primaria en los niveles de 100 y 10% de irradiancia de esta serie de tiempo, parece estar controlada en forma combinada por la intensidad de luz, la concentración de clorofila y posiblemente por la condición fisiológica del fitoplancton o algún otro factor no determinado en este trabajo.

Las curvas de productividad primaria en la columna de agua (fig. 10 a, b y c), están directamente relacionadas con sus similares de clorofila (fig. 11 a, b y c); lo cual ubica a la clorofila como un factor importante en las variaciones de la productividad primaria en la columna de agua. Tanto en productividad primaria como en clorofila, la tendencia al aumento conforme se avanza hacia el periodo de mareas muertas es clara.

El incremento, así en productividad primaria como en clorofila, de febrero 26 a marzo 1 no es drástico; sin embargo, el del 1 al 3 de marzo es muy brusco en ambas. Los altos índices de productividad y clorofila registrados el 3 de marzo, fueron causados por la presencia de una marea roja en el momento del muestreo y parte de la experimentación. Este evento de marea roja se puede aceptar como "normal" de acuerdo a Gilbert y Allen (1943), quienes afirman que los florecimientos de fitoplancton, en el Golfo de California,

ocurren comunmente en febrero y marzo.

En mareas muertas, la marea roja fue la causante de la elevación de la productividad; sin embargo, si se observan los resultados de la productividad integrada en los días 26 de febrero (mareas vivas) y 1 de marzo (mareas transicionales), se comprobará que existió una tendencia al aumento antes de la presencia de la marea roja. Canino-Herrera (1989), también registra valores de productividad integrada más altos en mareas muertas que en vivas, durante el verano, en el mismo punto de Bahía de los Angeles.

Partiendo del hecho que la mezcla vertical producida por mareas vivas puede inducir turbulencia, se puede plantear lo siguiente: en general, hubo mayor productividad integrada en mareas muertas que en mareas vivas, y el promedio, para la columna de agua, de la razón de asimilación fue también menor en mareas vivas. La causa de este comportamiento pudo ser, que la turbulencia existente en mareas vivas transportó al fitoplancton a lo largo de la columna de agua continuamente, sin darle tiempo suficiente para que se acondicionara a los cambios de luz, lo que influyó en la disminución de su productividad.

Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego (1986), encontraron máximos de razón de asimilación muy bajos en aguas superficiales del pacífico

mexicano. La posible explicación que sugieren es que esos máximos eran en realidad de aguas sub-superficiales que habían sido traídas a la superficie un poco antes del muestreo, y el cambio rápido a irradiancias fuertes disminuyó la razón de asimilación. Muy probablemente, lo anterior suceda también en sentido contrario; es decir, fitoplancton de superficie puede ser llevado a capas sub-superficiales por turbulencia, y el cambio brusco de altas a bajas irradiancias disminuya la razón de asimilación.

Alvarez-Borrego y Gaxiola Castro (1988), indican que, al parecer la turbulencia más fuerte y frecuente durante invierno, causa valores de razón de asimilación más bajos en el alto Golfo de California que con turbulencia intermedia y/o menos frecuente al final de primavera o principio de invierno. Así mismo, mencionan que la turbulencia causa un flujo de nutrientes hacia la zona eufótica, y una adaptación de fitoplancton sub-superficial a irradiancias superiores a las que podría experimentar en las profundidades de las cuales se colectó. Esto indica, que durante el proceso de adaptación del fitoplancton a irradiancias superiores, este puede disminuir su razón de asimilación debido a fotoinhibición; posteriormente, aumentará esa misma razón conforme la turbulencia disminuya y se pueda adaptar a las condiciones de luz.

Coté y Platt (1983), mostraron que agentes físicos causantes de turbulencia, tales como tormentas, pueden alterar dramáticamente las especies y composición estructural de las comunidades fitoplanctónicas de aguas costeras. Estos mismos autores reportan valores bajos de razón de asimilación después de una tormenta; posteriormente, estos mismos valores se incrementaron al doble en aproximadamente diez días.

Con apoyo en todo lo anterior, se puede decir que la productividad en la columna de agua varió principalmente en función de la concentración de clorofila y la turbulencia en la columna misma, presentandose valores bajos en el periodo turbulento (mareas vivas), y valores altos durante turbulencia menos intensa (mareas transicionales y muertas). Generalizando aún más, se puede mencionar que los valores de productividad orgánica primaria, clorofila y razón de asimilación del fitoplancton; indican que el efecto de la fertilización en Bahía de los Angeles causada por mareas no es inmediato, es necesario esperar a que haya una cierta estabilidad, en cuanto a dinámica en la columna de agua se refiere, para que los beneficios se hagan patentes.

Los valores de productividad orgánica primaria obtenidos con el método de producción de oxígeno (botellas claras y oscuras),

en los niveles de 100 y 10% de irradiancia durante los días representativos de mareas vivas y muertas (tabla I), muestran un comportamiento similar a los obtenidos en los mismos días y niveles con el método de carbono 14; es decir, presentan mayor productividad en mareas vivas que en muertas. Sin embargo, las productividades obtenidas con el método de producción de oxígeno superan hasta por 18 veces a las de carbono 14. Por otro lado, los valores de carbono 14 integrados a lo largo del día son hasta 14 veces menores que sus similares obtenidos por el método de producción de oxígeno.

Las diferencias entre lo obtenido por ambos métodos son debidas a las causas de error de los mismos, principalmente a las del método de oxígeno. Cuando se comparan resultados obtenidos por el método de producción de oxígeno con los de cualquier otro método, se debe tomar en cuenta lo siguiente: el cociente fotosintético, razón entre las moléculas de oxígeno liberado y el CO_2 asimilado, no es necesariamente igual a 1. Esto es verdad para la síntesis de hexosas pero para la síntesis de lípidos es 1.4, y para proteínas puede variar dependiendo de la fuente de nitrógeno; por ejemplo, 1.5 si es $\text{NH}_3\text{-N}$, 1.6 si es $\text{NO}_3\text{-N}$ el cual es rico en oxígeno. Bajo condiciones naturales no es fácil determinar el cociente fotosintético y generalmente 1.2 es aceptado. Por su parte el método de carbono 14, aunque también tiene sus fuentes de

error, es una buena técnica y puede alcanzar una precisión de $\pm 5\%$ cuando se realiza correctamente. Su sensibilidad es de 50 a 100 veces superior a la del método de oxígeno (Strickland, 1960).

5 CONCLUSIONES

El régimen de marea influyó en la concentración y variación de la clorofila *a* en la columna de agua, con los mayores valores durante mareas vivas

La influencia del ciclo de marea sobre la concentración de clorofila *a* fue más evidente en mareas vivas, con altas concentraciones durante pleamar y menores en bajamar.

El seston total durante el muestreo estuvo dominado por la fracción orgánica en más del 50%, con los más altos valores en las capas sub-superficiales

La productividad primaria durante el día ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$), determinada en los dos regímenes de marea, fue aproximadamente de dos a cuatro veces mayor para mareas vivas en relación a los valores determinados para mareas muertas.

La productividad primaria en la columna de agua ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) durante mareas muertas fue cuatro veces mayor que en mareas vivas y dos veces mayor que en mareas transicionales.

- Gilmartin, M. and N. Revelante, 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Estuarine and Coastal Marine Science*. 7, 23-47.
- Holm-Hansen, O., C.J. Lorenzen, R.W. Holms and J.D.H. Strickland, 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 30:3-15.
- Lankford, R.R., 1977. Coastal lagoons of México their origen and clasification. *Estuarine Processes*. Vol. 2 Ed. M. Wiley. Academic Press, New York. pp. 182-215.
- Margalef, R., 1969. Comunidades plantónicas en aguas litorales. *Memorias sobre el Simposio Internacional sobre lagunas costeras*. UNAM., UNESCO. México, D.F. Nov. 28-30, pp. 545-562.
- Merino Paredes, I.M., 1987. Variación estacional de la producción primaria, clorofila y seston en Bahía Willard, costa oeste del Golfo de California. Tesis de licenciatura. FCM UABC (México) 68 pp.
- Millán Nuñez, R. y S. Alvarez Borrego, 1978. Series de tiempo de clorofilas a, b y c, y sus feofitinas en las bocas de dos lagunas costeras. *Ciencias Marinas* 5, 41-52.
- Osorio Tafall, B.F., 1943. El mar de Cortés y la productividad fitoplanctónica de sus aguas. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN*. 3: 73-118.
- Parsons, T.R., Y. Maita y C.M. Lalli, 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Sea Water*. Pergamon Press, New York. 173 pp.
- Parsons, T.R., M. Takahashi y B. Hargrave, 1977. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press, New York. 332 pp.

- Peterson, R.E., 1977. A study of suspended particulate matter. Artic Ocean and Northern Oregon Continental Shelf. Ph. D. Tesis. Oregon State University. pp. 122.
- Roden, G.I., 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. En Marine Geology of the Gulf of California. Simposio (Van Andel, T.H. y Shor, G.G. eds) American Association of Petroleum Geologists Memoir 3.
- Strickland, J.D.H., 1960. Measuring the Production of Marine Phytoplankton. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, No. 122.
- Strickland J.D.H. an T.R. Parsons, 1972. A Practical Hand Book of Sea Water Analysis. Zend. ed. Bull. Fish. Res. Bd. Canada 167 pp.
- Vannuci, M., 1969. What is know about production potential of coastal lagoons. Memorias del Simposio Internacional sobre lagunas costeras. UNAM., UNESCO. México, D.F. Nov., 28-30, pp 557-577.
- Zeitzschel, B., 1969. Primary Productivity in the Gulf of California. Marine Biology 3, 201-207.
- Zeitzschel, B. 1970. The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. Marine Biology 7, 305-318.