



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BAJA CALIFORNIA**
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**PRODUCTIVIDAD ORGANICA PRIMARIA EN LA
REGION DEL DELTA DEL RIO COLORADO**



TESIS
que para obtener el Titulo de
OCEANOLOGO
presenta

OSCAR ALCIDES BAROCIO LEON

Ensenada, B.C., Diciembre de 1991

PRODUCTIVIDAD ORGANICA PRIMARIA EN LA REGION

DEL DELTA DEL RIO COLORADO

TESIS

QUE PRESENTA

OSCAR ALCIDES BAROCIO LEON

APROBADA POR:



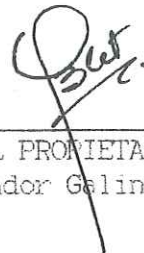
PRESIDENTE DEL JURADO

M. en C. Roberto Millán Núñez



SINODAL PROPIETARIO

M. en C. Ramón Cajal Medrano



SINODAL PROPIETARIO

Ocean. Salvador Galindo Bect

El presente trabajo forma parte del programa de investigación
"Delta Camarón" y del proyecto "Productividad fitoplanctónica y
bacteriana en la región del Delta del Río Colorado", de la Facultad de
Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. El proyecto
cuenta con apoyo de CONACYT, convenio No. D112-904320.

AGRADECIMIENTOS

Es mi privilegio agradecer:

* A todas las personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo desinteresado en la realización del presente trabajo, convirtiéndose en parte integrante del mismo.

* Deseo especialmente hacer patente mi gratitud a las siguientes personas, por su valiosa y efectiva colaboración:

M. en C. Roberto Millán Núñez

M. en C. Ramón Cajal Medrano

Ocean. Manuel Salvador Galindo Bect

M. en C. Eduardo Santamaría del Angel

Ocean. Victoria Orozco Borbón

Ocean. Martín Hernández Ayón

Ocean. Amilcar Cupul Magaña

* A la Facultad de Ciencias Marinas por el apoyo económico brindado a través de la Beca Tesis otorgada.

* Mi reconocimiento a la Cooperativa Venustiano Carranza por su aportación y respaldo para el desarrollo de los muestreos, así como a los pescadores que colaboraron solidariamente en los mismos.

DEDICATORIA

A MI MADRE

Por el inmenso amor y cuidado que siempre me has brindado. Por haberme dado la oportunidad de ser quien soy.

A CAROLOS Y SERGIO

Por todo lo que hemos compartido desde la infancia. Por el gran amor y cariño que les tengo.

A GABY

Por el placer de compartir mi vida contigo. Por motivarme a superar y lograr mis metas.

A MIS AMIGOS

Por compartir conmigo los momentos de alegría y prueba. Por haber tenido la inolvidable alegría de convivir con ustedes.

RESUMEN

Se llevaron a cabo dos diferentes diseños experimentales en el Delta del Río Colorado. El primero se efectuó de junio de 1989 a junio de 1990 y consistió en la determinación de la variación espacial de la concentración de clorofila "a" y abundancia fitoplanctónica en 6 campañas de muestreo efectuadas cada dos meses. Se incluyó en cada campaña de muestreo un registro circadiano de las variables mencionadas en una estación fija localizada en el estuario, efectuando un experimento de productividad orgánica fitoplanctónica mediante el método de ^{14}C . El segundo diseño experimental se efectuó en mayo de 1991 y consistió en la comparación de la variación espacial de la concentración de clorofila "a" y profundidad del disco de Secchi entre marea viva y muerta. También se efectuó una serie de tiempo de 8 días en una estación fuera del estuario, en la que se realizaron experimentos de productividad orgánica fitoplanctónica por el método de ^{14}C y toma de muestras para cuantificación de la concentración de clorofila a 3 horas diferentes del día. En la distribución espacial, los valores de la concentración de clorofila "a" y abundancia de fitoplancton fueron más altos en la costa de Baja California. Se encontró un gradiente de turbidez decreciente de norte a sur y se infiere que el fitoplancton de la región tiene la capacidad de adaptarse a la alta turbidez del medio, encontrándose concentraciones similares de clorofila "a" en las zonas más turbias que en las de menor turbidez. También se observó que por la turbidez tan elevada no se presenta fotoinhibición durante las horas de mayor irradiancia solar en la superficie del agua, presentándose las mayores razones de asimilación a mediodía. La corriente de marea resultó ser un factor importante en la distribución de la concentración de clorofila y abundancia de fitoplancton en la región. Por otro lado, estas corrientes son las causantes de la alta turbidez mediante la resuspensión de material, causando una menor producción orgánica de fitoplancton en las zonas que mas afectan.

INDICE GENERAL

PAG.

INDICE DE FIGURAS	I
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo.....	5
1.2. Descripción del área de estudio.....	6
2. MATERIALES Y METODOS	9
2.1. Primer diseño experimental.....	10
2.1.1. Clorofila "a".....	10
2.1.2. Fitoplancton.....	11
2.1.3. Productividad orgánica primaria.....	11
2.2. Segundo diseño experimental.....	12
2.2.1. Serie de tiempo de producción orgánica primaria y concentración de clorofila "a".....	12
2.2.2. Variación espacial de penetración de luz y concentración de clorofila "a".....	12
3. RESULTADOS	14
3.1. Primer diseño experimental.....	14
3.1.1. Mareas.....	14
3.1.2. Clorofila "a".....	14
3.1.2.1. Muestreo espacial.....	14
3.1.2.2. Registro circadiano.....	19
3.1.3. Fitoplancton.....	24
3.1.3.1. Muestreo espacial.....	24
3.1.3.2. Registro circadiano.....	26
3.1.4. Producción orgánica primaria.....	26
3.2. Segundo diseño experimental.....	29
3.2.1. Marea.....	29
3.2.2. Variación espacial.....	29
3.2.2.1. Penetración de luz.....	29
3.2.2.1.1. Disco de Secchi.....	29
3.2.2.1.2. Coeficientes de atenuación (kd).....	32
3.2.2.2. Clorofila "a".....	32
3.2.3. Series de tiempo.....	34
3.2.3.1. Producción orgánica primaria y razón de asimilación.....	34
3.2.3.2. Clorofila "a".....	37
4. DISCUSION	39
5. CONCLUSIONES	49
6. RECOMENDACIONES	50
7. BIBLIOGRAFIA	51

INDICE DE FIGURAS

I

FIG.	PAG.
1. Localización geográfica del área de estudio y ubicación de las estaciones del primer y segundo diseño experimental.....	7
2. Nivel de marea correspondiente al muestreo de junio de 1989.....	15
3. Nivel de marea correspondiente al muestreo de agosto de 1989.....	15
4. Nivel de marea correspondiente al muestreo de noviembre de 1989.....	16
5. Nivel de marea correspondiente al muestreo de febrero de 1990.....	16
6. Nivel de marea correspondiente al muestreo de abril de 1990.....	17
7. Nivel de marea correspondiente al muestreo de junio de 1990.....	17
8. Concentración de clorofila "a" en los diferentes meses muestreados en la costa de Sonora en el primer diseño experimental (est.1-8).....	18
9. Concentración de clorofila "a" en los diferentes meses muestreados en la costa de Baja California en el primer diseño experimental (est.12-17).....	18
10. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para agosto de 1989.....	20
11. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para noviembre de 1989.....	20
12. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para febrero de 1990.....	22
13. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para abril de 1990.....	22
14. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para junio de 1990.....	23
15. Conteos de fitoplancton en los meses de noviembre de 1989 y junio de 1990 para la región de Sonora en el primer diseño experimental (est.1-8).....	25
16. Conteos de fitoplancton en los meses de noviembre de 1989 y junio de 1990 para la región de Baja California en el primer diseño experimental (est.12-17).....	25
17. Registro circadiano de fitoplancton en la estación 8 para junio de 1989.....	27
18. Registro circadiano de fitoplancton en la estación 8 para noviembre de 1989.....	27
19. Producción orgánica primaria en la estación 8 para los diferentes meses muestreados en el primer diseño experimental.....	28
20. Nivel de marea correspondiente al muestreo de mayo de 1991.....	30
21. Comparación de la variación espacial de la profundidad del disco de Secchi durante marea viva y muerta en el segundo diseño experimental.....	31
22. Comparación de la variación espacial del coeficiente de atenuación de luz (kd) durante marea viva y muerta en el segundo diseño experimental.....	31
23. Comparación de la variación espacial de la concentración de clorofila "a" durante marea viva y muerta en el segundo diseño experimental (los muestreos se realizaron siempre durante el flujo).....	33
24. Serie de tiempo de producción orgánica primaria durante 8 días consecutivos en la estación J en el segundo diseño experimental.....	35

FIG.

PAG.

25. Serie de tiempo de razón de asimilación durante 8 días
consecutivos en la estación J en el segundo diseño experimental.....36
26. Serie de tiempo de clorofila "a" durante 8 días consecutivos
en la estación J en el segundo diseño experimental.....38

1: INTRODUCCION:

La región del Alto Golfo de California y en especial la zona del Delta del Río Colorado, es un ambiente de alta energía. Meckel (1975) menciona que antes de la intervención del hombre en el cauce del Colorado, los principales factores que contribuían a la alta energía de este medio eran el gran aporte del río y los intervalos de marea tan amplios (de más de 30 pies) que ocasionaban fuertes corrientes.

En 1983 se reporta que durante todo el año, e incluso en los meses más húmedos, toda el agua del Río Colorado es almacenada o desviada, y que normalmente ni una gota llega al final del río en el Golfo de California (Vandiver, 1984).

Aun cuando el aporte del río se ha visto mermado considerablemente, el sistema del Delta del Río Colorado sigue siendo un ambiente de muy alta energía en el cual se dan una serie de circunstancias muy particulares, entre las que se encuentra la alta turbidez de las aguas del Delta ocasionada por las fuertes corrientes (Meckel, 1975).

En el Golfo de California existen, durante todo el año, procesos de surgencia y mezcla por las fuertes corrientes de marea (Alvarez-Borrego, 1980), los cuales, al acoplarse funcionalmente a los procesos del Delta del Río Colorado, son los responsables de la alta fertilidad en el Alto Golfo de California (Martínez Rojas-Reynoso, 1990). El Delta del Río Colorado se considera también como fuente importante de energía física, flujo de nutrientes disueltos y materia orgánica particulada (Martínez Rojas-Reynoso, 1990).

En cuanto a las condiciones hidrológicas del Delta del Río

Colorado, Hernández-Ayón (1990) reporta las concentraciones de nutrientes para el periodo de junio de 1989 a mayo de 1990, con un intervalo anual promedio de nitratos de 16 a 37 μM , nitritos de 0.3 a 8.7 μM y silicatos de 39 a 66 μM . También menciona que estas concentraciones de nutrientes no son un factor limitante para la producción orgánica primaria y que los registros circadianos de nutrientes señalan la presencia de dos épocas estacionales, con valores menores en verano y mayores en invierno.

Para el mismo periodo, Martínez Rojas-Reynoso (1990) encontró tres épocas del año, de las cuales dos se encontraron perfectamente definidas con respecto a la temperatura del agua, y la otra fué de transición entre la fría y la cálida. A su vez menciona que la batimetría del Delta del Colorado es de gran importancia, ya que la poca profundidad permite que la temperatura atmosférica, los vientos, la evaporación y la resuspensión de los sedimentos influyan sobre la temperatura del agua, la salinidad y la concentración de oxígeno disuelto.

La producción camaronera en la región tiene una relación directa con la producción orgánica primaria, ya que éste es uno de los principales factores que soportan la cadena trófica que requiere el camarón para su desarrollo y subsistencia (Edwards, 1978). Sin embargo, diferentes autores reportan que la turbidez del agua es uno de los factores que limitan la productividad orgánica primaria en zonas costeras, aún en presencia de nutrientes, debido a que restringe la penetración de luz a los primeros centímetros de la superficie, comprimiendo la zona fótica (Lechuga-Deveze, 1977; Joint & Pomroy,

1981; Bonetto, 1983; Cloern, 1987; Davalos, 1989). ✓

La turbidez que presenta esta región nos inclina a esperar que la producción orgánica fitoplanctónica sea limitada por la poca penetración de luz en la columna de agua, aunque autores como Legendre *et al.* (1985) mencionan que la actividad fotosintética del fitoplancton, puede estar basada en variaciones de mezcla vertical (variaciones de las condiciones de luz en la capa de mezcla); y que además, la variación de la clorofila "a" puede sugerir la posibilidad de adaptaciones del fitoplancton a la luz y sombra por ciclos endógenos.

Los factores físicos que mantienen concentraciones altas de sólidos suspendidos en zonas muy turbias causan también una mezcla vertical rápida en la columna de agua (Joint, 1984). En estos casos, aunque la zona eufótica sea muy somera, todas las células fitoplanctónicas de la columna de agua reciben luz debido a la mezcla vertical intensa (Joint, 1984).

En zonas con escalas de tiempo de mezcla vertical cortas en comparación con el tiempo de generación del fitoplancton, la concentración de clorofila "a" generalmente se encuentra homogénea en la columna de agua durante todo el año (Uncles & Joint, 1983). Estas escalas de tiempo son de particular importancia, ya que la profundidad de mezcla es mucho mayor que la profundidad de la zona eufótica. No es factible que ocurra fotoinhibición en columnas de agua con mezcla rápida debido a que las células fitoplanctónicas experimentan condiciones de alta intensidad luminosa tan solo por períodos de tiempo muy cortos (Uncles & Joint, 1983). Los mismos autores mencionan que

aunado a lo anterior, la mezcla rápida parece no dar tiempo para que se dé una fotoadaptación de la población de fitoplancton.

Joint & Pomroy (1981 en Joint, 1984) estimaron la producción orgánica primaria anual en la parte interna del Canal Bristol, Inglaterra, la cual presentaba profundidades de disco de Secchi menores a 10 cm, siendo de $6.8 \text{ gCm}^{-2}\text{año}^{-1}$ y observaron que aún en las regiones más turbias había fitoplancton capaz de fotosintetizar a pesar de la aparente limitación severa de luz.

Recientemente, De la Peña-Nettel (1991) realizó un estudio en el Delta del Río Colorado en el cual se comprobó que el fitoplancton de esta región presenta adaptaciones a la turbidez del medio como son el aumento de la cantidad de clorofila "a" por célula, una mayor razón de asimilación y la adaptación del fitoplancton a regímenes de luz intermitente.

El presente trabajo se realizó dentro del proyecto de "Productividad Fitoplanctónica y Bacteriana en la Región del Delta del Río Colorado", en el programa "Delta Camarón". Este programa surgió como un apoyo científico que puede ser utilizado para la planeación de programas acuiculturales, dado que las capturas camaroneras han disminuido en los últimos años. De esta forma, este trabajo se enfoca a determinar las variaciones temporales de la productividad orgánica primaria en la región del Delta del Río Colorado, así como las variaciones espaciales y temporales de la biomasa fitoplanctónica con objeto de conocer mejor la dinámica ecológica de la zona.

1.1: OBJETIVO:

Analizar las fluctuaciones temporales y espaciales de biomasa fitoplanctónica; y temporales de productividad orgánica primaria, en la región del Delta del Río Colorado.

1.2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

La zona de estudio (Fig. 1), se encuentra localizada entre los 31°41' y 31°53' de latitud Norte y los 114°30' y 115°03' de longitud Oeste, entre los estados de Sonora y Baja California, en la región septentrional del Golfo de California. Presenta clima semicálido, muy seco, con temperaturas de 0°C a 55°C y promedio anual de 23°C, con lluvias especialmente en verano (Contreras, 1988).

El Alto Golfo de California posee una forma más o menos triangular (Lepley *et al.*, 1975). El contenido de sedimentos de origen continental fué acarreado en su mayoría por el Río Colorado, constituyendo un amplio delta sumergido en su mayor parte; su hundimiento alcanza aproximadamente 200 km, el cual parece estar relacionado a la última transgresión post-Pleistocénica, con rocas ígneas intrusivas y extrusivas del Cenozoico medio (Carranza-Edwards *et al.*, 1975). Presenta además una serie de fallas; una del Pleistoceno que provoca la separación en el desierto de Sonora y la otra del Mesozoico en Baja California separada de la cuenca por la Sierra Juárez y otras montañas (Meckel, 1975).

En el estuario del Río Colorado, existen canales separados por barras de sedimentos que emergen en islas (Meckel, 1975), tales son los casos de la Isla Montague y la Isla Pelicano.

La zona adyacente a la Isla Pelicano es muy somera, por lo que se ve muy afectada por el clima y en general por las condiciones atmosféricas. Es una zona de máximos y mínimos en sus parámetros hidrológicos, con características muy variables (Alvarez-Borrego *et al.*, 1975; Martínez Rojas-Reynoso, 1990).

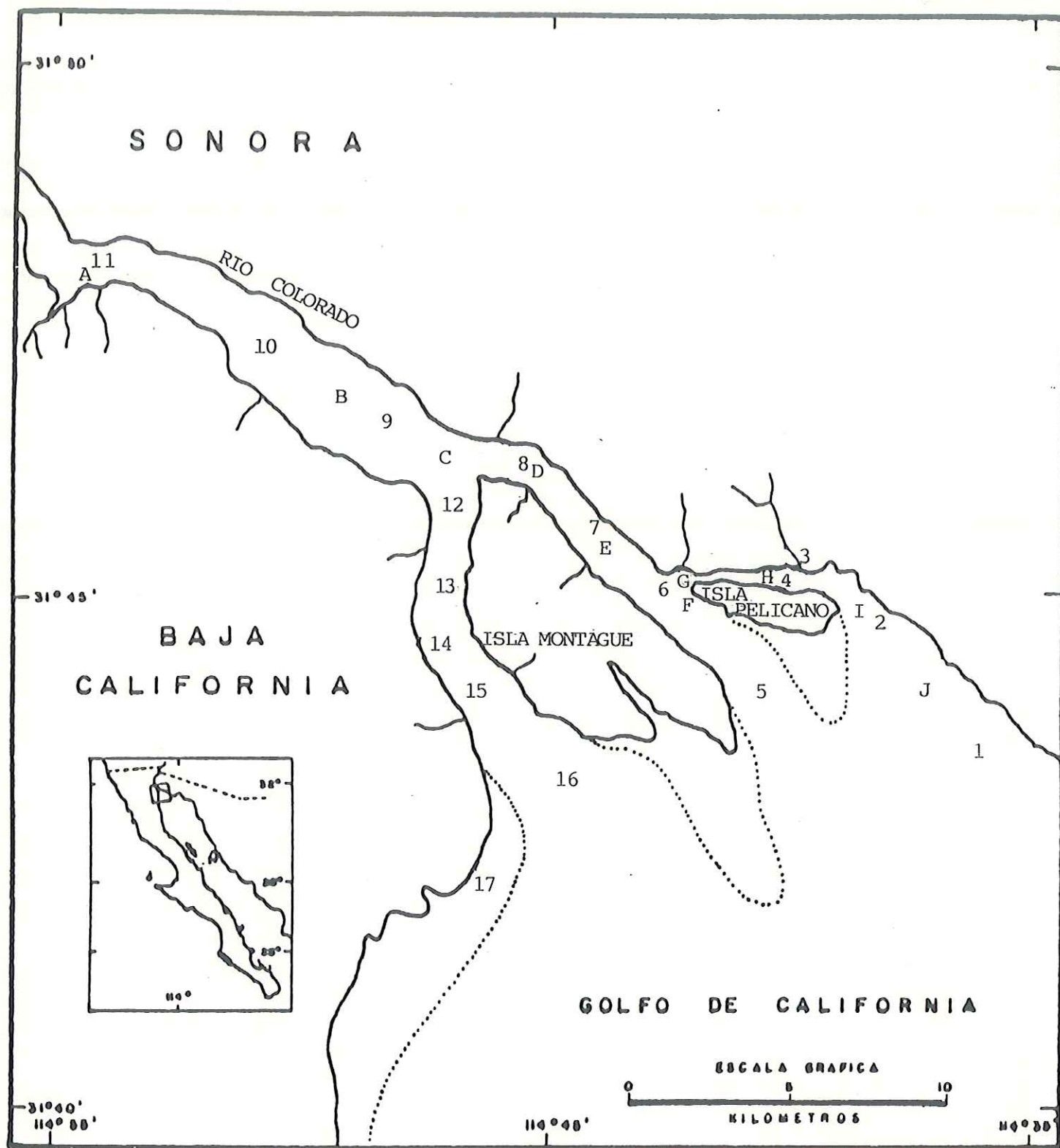


Fig. 2. Localización geográfica del área de estudio y ubicación de las estaciones del primer y segundo diseño experimental.

1 - 17 Estaciones del primer diseño experimental (Junio 1989 a Junio 1990).

A - J Estaciones del segundo diseño experimental (Mayo 1991).

Bourillon-Moreno *et al.* (1988) mencionan que la resuspensión de sedimentos del Río Colorado en esta región produce una alta turbidez en las aguas. Sin embargo, desde la construcción de una serie de represas en el Río Colorado, ubicadas en territorio de los Estados Unidos de América, el aporte del río se ha reducido mucho, manteniéndose la turbidez debido a las corrientes ocasionadas por las mareas tan amplias.

El contenido orgánico de estas aguas es muy alto, lo que ocasiona que la zona del extremo norte del golfo sea muy rica en bacterias, plancton, peces y crustáceos (Bourillon-Moreno *et al.*, 1988).

Las mareas en el golfo son predominantemente del tipo semidiurno, considerándose entre las de mayor amplitud del mundo (Bourillon-Moreno *et al.*, 1988).

La vegetación, es esparcida y restringida a lo largo del fondo lodoso que hay en la planicie deltaica (Meckel, 1975).

2. MATERIALES Y METODOS UTILIZADOS.

El presente trabajo consta de dos diseños experimentales. El primero se efectuó de junio de 1989 a junio de 1990 y se enfocó a la variación espacial y registros circadianos de la concentración de clorofila "a" y abundancia de fitoplancton de la zona, así como a efectuar las primeras estimaciones de producción orgánica primaria en la estación 8 (en el interior del estuario) (Fig. 1) durante un año con muestreos bimensuales.

El segundo diseño experimental se enfocó a realizar una serie de tiempo, en la cual se llevó un registro de la producción orgánica primaria y concentración de clorofila "a" 3 veces al día por 8 días consecutivos en la estación J (fuera del estuario) (Fig. 1). El efectuar la serie de tiempo en esta estación se debió a que la Cooperativa Venustiano Carranza facilitó uno de sus barcos para ser utilizado como plataforma de muestreo, el cual se encontraba anclado en ese punto. Se abarcó en este segundo diseño periodos de mareas muertas y vivas con el objeto de observar el efecto de la amplitud de marea en las variables mencionadas. Además se realizaron a la vez muestreos espaciales (uno en mareas vivas y el otro en muertas) de lecturas de disco de Secchi, perfiles de luz y toma de muestras para cuantificación de clorofila "a" a lo largo de la costa de Sonora y del estuario (estaciones A a J).

2.1: PRIMER DISEÑO EXPERIMENTAL.

El primer diseño experimental consistió en 6 campañas de muestreo que se llevaron a cabo cada dos meses en un período de un año a partir de junio de 1989 a junio de 1990. En cada campaña se realizó un muestreo espacial y un registro circadiano.

La zona de estudio consta de 17 estaciones (Fig. 1), distribuidas de tal forma que nos muestren el comportamiento espacial de las variables a estudiar.

Los muestreos espaciales se realizó en dos pangas que cubrieron las 17 estaciones simultáneamente en el menor tiempo posible durante el día. Una panga muestreó las estaciones del lado de Baja California y la otra las del lado de Sonora. Consistieron en toma de muestras para cuantificación de clorofila "a" y fitoplácton. Se tomaron también muestras para análisis de nutrientes, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto que correspondieron a los trabajos presentados por Hernández-Ayón (1990) y Martínez Rojas-Reynoso (1990).

Los registros circadianos se realizaron en la estación 8. Consistieron en toma de muestras para la cuantificación de las variables mencionadas en el muestreo espacial, cada dos horas por 24 horas. Se incluyó en cada registro circadiano un experimento de productividad orgánica primaria por el método del ^{14}C , mediante una incubación "*in situ*" en canasta.

2.1.1. CLOROFILA "a".

Se colectaron muestras de agua de mar en una botella Van Dorn de la cual se tomaron submuestras para cuantificación de clorofila y feofitina "a". Para su análisis se filtraron volúmenes de agua

muestreada de aproximadamente 250 ml, a través de filtros de celulosa de 0.45 μ m de luz de poro y 47 mm de diámetro. Los filtros fueron empacados en papel aluminio y congelados para su posterior análisis en el laboratorio. La clorofila "a" fue cuantificada mediante el método descrito por Lorenzen (1967), midiendo las absorbancias de los extractos en un espectrofotómetro Milton Roy Spectronic UV 1201. Se utilizaron las ecuaciones de Millán-Núñez & Alvarez-Borrego (1978) para calcular las concentraciones de estos pigmentos.

2.1.2. FITOPLANCTON.

Se colectaron muestras de agua de mar en botellas de plástico de 250 ml. y se almacenaron en un lugar protegido de la luz directa del sol.

El fitoplancton fue contado e identificado a nivel género mediante un microscopio invertido Zeiss IM (Max Erb Instrument Co.) utilizando la técnica de Uthermöhl (1958). Se reportan los siguientes grandes grupos taxonómicos: diatomeas pennadas, diatomeas centrales y dinoflagelados.

No fue posible contar el nanopláncton debido a la gran cantidad de sedimento que acompañaba a las muestras.

2.1.3. PRODUCTIVIDAD ORGANICA PRIMARIA.

Se realizó una incubación con ^{14}C en la estación 8 en cada registro circadiano. Se empleó el método de la botella clara y oscura descrito por Strickland & Parsons (1972), utilizando 1 μC de ^{14}C por botella. Se incubaron las botellas por un periodo aproximado de 1.5 horas y se filtraron a través de filtros de membrana de 0.45 μ m de luz de poro y 25 mm de diámetro. Se expusieron los filtros a vapores de HCl

concentrado y se depositaron en viales con 10 ml de líquido de centelleo de tipo Betafase.

Los viales de las muestras fueron analizados en un contador de centelleo líquido Beckman LS 5000 TD. Se obtuvo un listado de los conteos por minuto y la eficiencia de cada conteo, el cual se utilizó para calcular las desintegraciones por minuto necesarias para calcular los valores en $\text{mgC/m}^3/\text{hr}$.

2.2. SEGUNDO DISEÑO EXPERIMENTAL.

2.2.1. SERIE DE TIEMPO DE PRODUCCION ORGANICA PRIMARIA Y CONCENTRACION DE CLOROFILA "a".

En mayo de 1991 se realizó una serie de tiempo de 8 días en una estación fija denominada con la letra J (Fig. 1), utilizando como plataforma de muestreo un barco facilitado por la Sociedad Cooperativa Venustiano Carranza. En ésta se realizaron experimentos de productividad orgánica primaria por el mismo método utilizado en el primer diseño experimental, realizando una incubación "*in situ*" cada 4 horas durante el periodo de luz del día (8:00, 12:00 y 16:00 horas). Se tomaron al mismo tiempo muestras para el análisis de clorofila "a".

Esta serie de tiempo se comenzó en periodo de mareas vivas y se terminó en mareas muertas con el fin de observar el efecto del estado de marea en la producción orgánica primaria.

2.2.2. VARIACION ESPACIAL DE PENETRACION DE LUZ Y CONCENTRACION CLOROFILA "a".

Durante la serie de tiempo se realizaron dos muestreos espaciales que comprendieron las estaciones de la costa de Sonora y de la parte interna del estuario (estaciones A a J) (Fig. 1). El primero se efectuó

en mareas vivas (el 17 de mayo de 1991) y el segundo en mareas muertas (el 21 de mayo de 1991).

Los muestreos se realizaron en una panga empezando en la estación A y terminando en la J, durante el flujo de la marea en ambas fechas. Se tomaron muestras para cuantificación de clorofila "a" y lecturas de disco de Secchi. También se realizaron perfiles de luz mediante un irradiómetro sumergible modelo 200A de Kahl Scientific Instrument Co.

Las concentraciones de clorofila "a" fueron cuantificadas mediante el mismo procedimiento que en el primer diseño experimental.

3. RESULTADOS:

3.1. PRIMER DISEÑO EXPERIMENTAL.

3.1.1. MAREAS.

Cabe mencionar que los datos de marea fueron tomados de tablas de la Universidad de Arizona, E.U.A., correspondientes a Puerto Peñasco, Sonora, el cual se encuentra a una distancia aproximada de 100 kms del Golfo de Santa Clara. No se cuantificó el defase existente de Puerto Peñasco a la zona de estudio; sin embargo, según Navarro (comunicación prsonal) existe un retraso de 2 horas en la onda de marea de Santa Clara a la estación 8 (Fig. 1).

Las tablas de marea correspondientes a cada uno de los muestreos realizados se presentan en las Figs. 2 a 7, teniendo amplitudes que variaron entre aproximadamente 7 metros para el mes de abril de 1990 y de 3.5 metros para agosto de 1989.

3.1.2. CLOROFILA "a".

3.1.2.1. MUESTREO ESPACIAL.

La concentración de clorofila "a" encontrada en las estaciones del lado de Sonora fué particularmente mayor para los meses de agosto de 1989 (de 2.67 a 18.27 mgchl"a"/m³), con un promedio de 7.69 mgchl"a"/m³ y junio de 1990 (de 1.82 a 12.73 mgchl"a"/m³) con un promedio de 6.56 mgchl"a"/m³ (Fig. 8).

El mismo patrón fué encontrado para la costa de Baja California, con un promedio para el mes de agosto de 1989 de 6.28 mgchl"a"/m³ (de 2.23 a 9.82 mgchl"a"/m³) y para junio de 1990 de 7.28 mgchl"a"/m³ (de 3.64 a 10.91 mgchl"a"/m³) (Fig. 9).

En junio de 1989 se observaron valores homogéneos tanto en la

MAREA DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO

20 A 23 DE JUNIO DE 1989

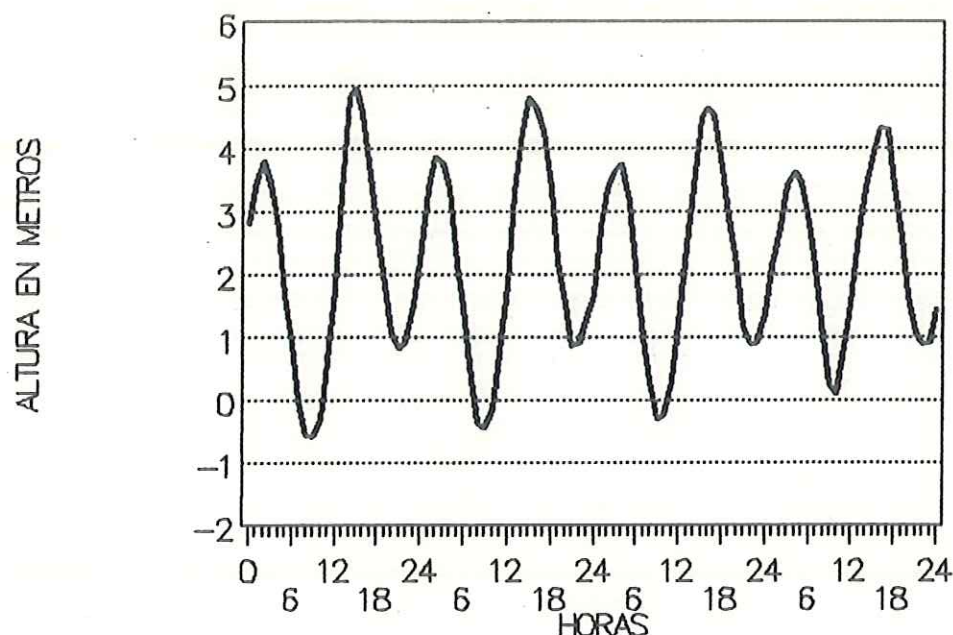


Fig. 2. Nivel de marea correspondiente al muestreo de Junio de 1989.
(Amplitud máxima de 5.5 m.)

MAREA DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO

22 A 25 DE AGOSTO DE 1989

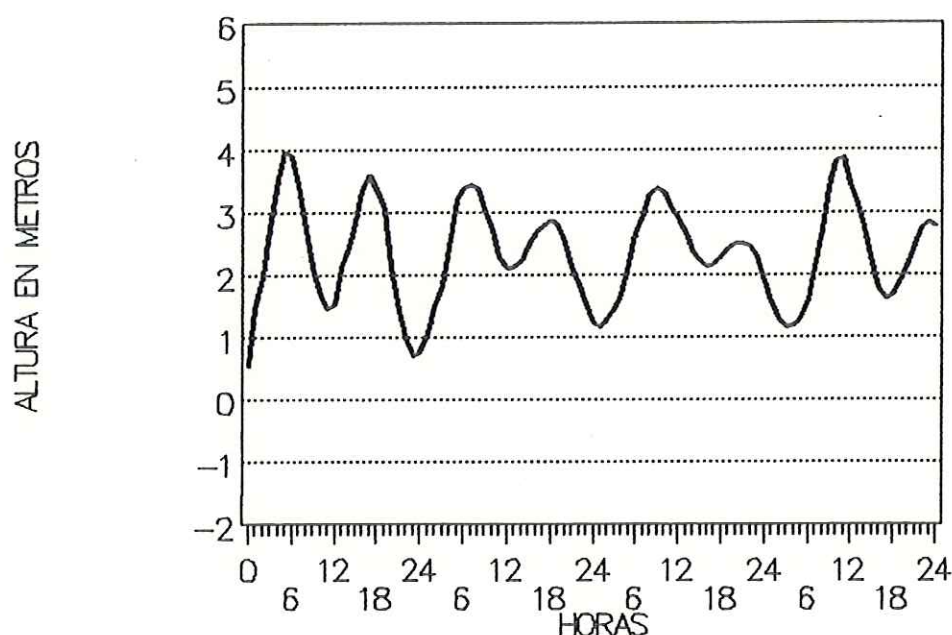


Fig. 3. Nivel de marea correspondiente al muestreo de Agosto de 1989.
(Amplitud máxima de 3.5 m.)

MAREA DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO

26 A 27 DE NOVIEMBRE DE 1989

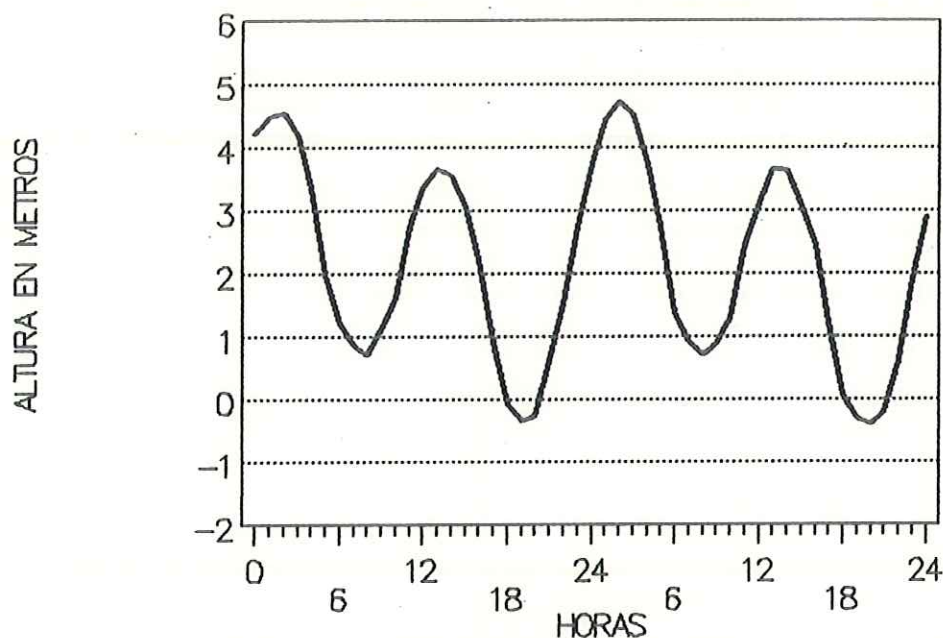


Fig. 4. Nivel de marea correspondiente al muestreo de Noviembre de 1989. (Amplitud máxima de 5.0 m.)

MAREA DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO

24 A 26 DE FEBRERO DE 1990

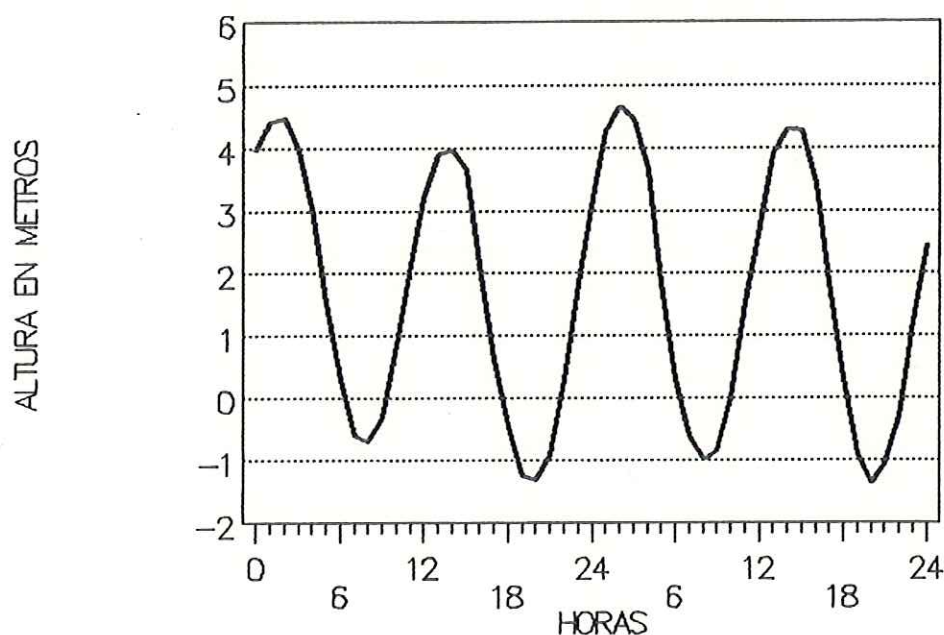


Fig. 5. Nivel de marea correspondiente al muestreo de Febrero de 1990. (Amplitud máxima de 5.8 m.)

MAREA DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO

25 A 26 DE ABRIL DE 1990

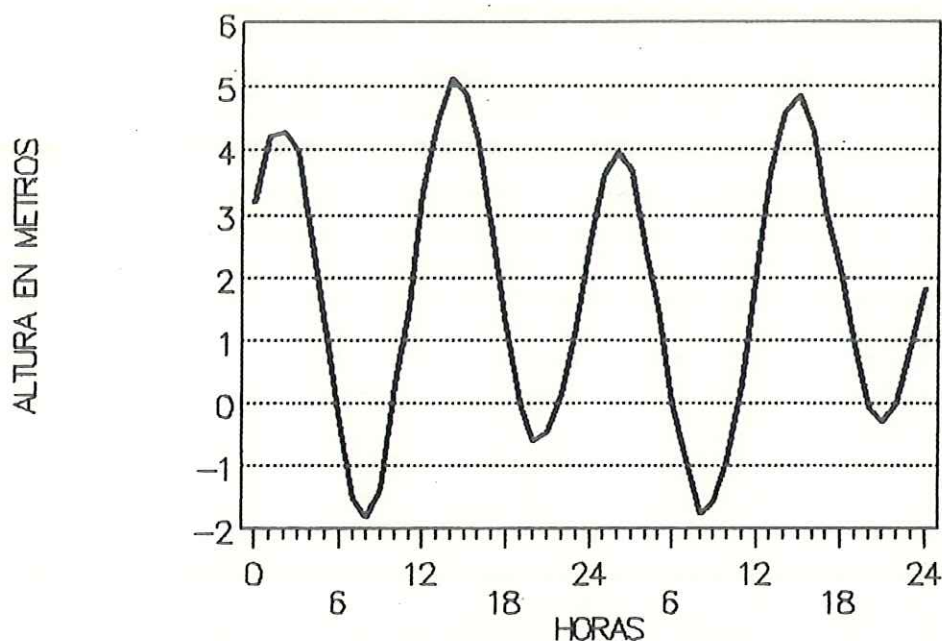


Fig. 6. Nivel de marea correspondiente al muestreo de Abril de 1990.
(Amplitud máxima de 6.9 m.)

MAREA DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO

20 A 21 DE JUNIO DE 1990

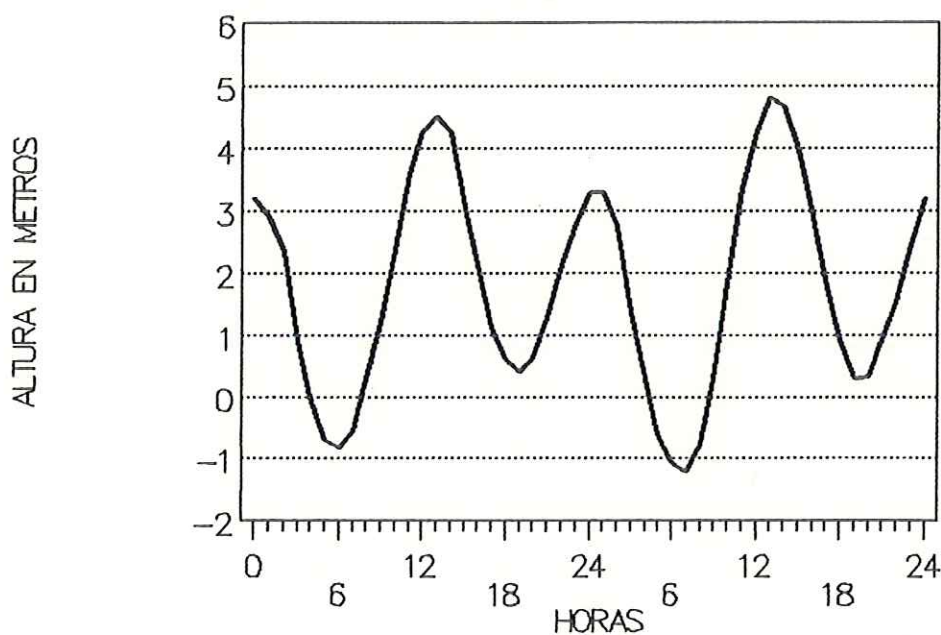


Fig. 7. Nivel de marea correspondiente al muestreo de Junio de 1990.
(Amplitud máxima de 6.3 m.)

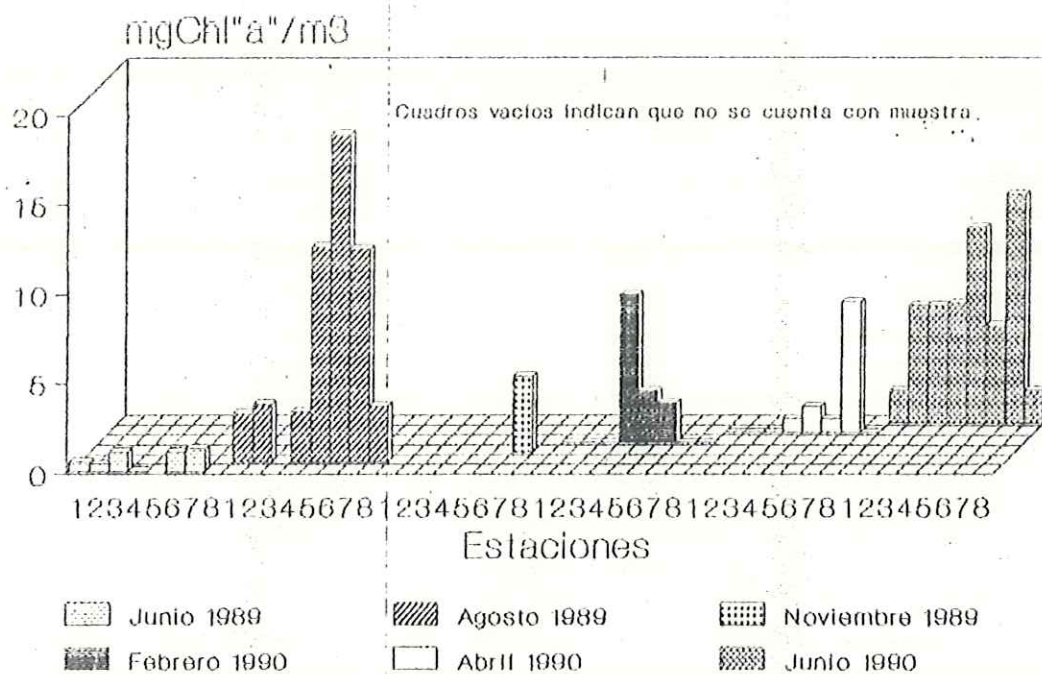


Fig. 8. Concentración de clorofila "a" en la costa de Sonora en el primer diseño experimental (est.1-8)

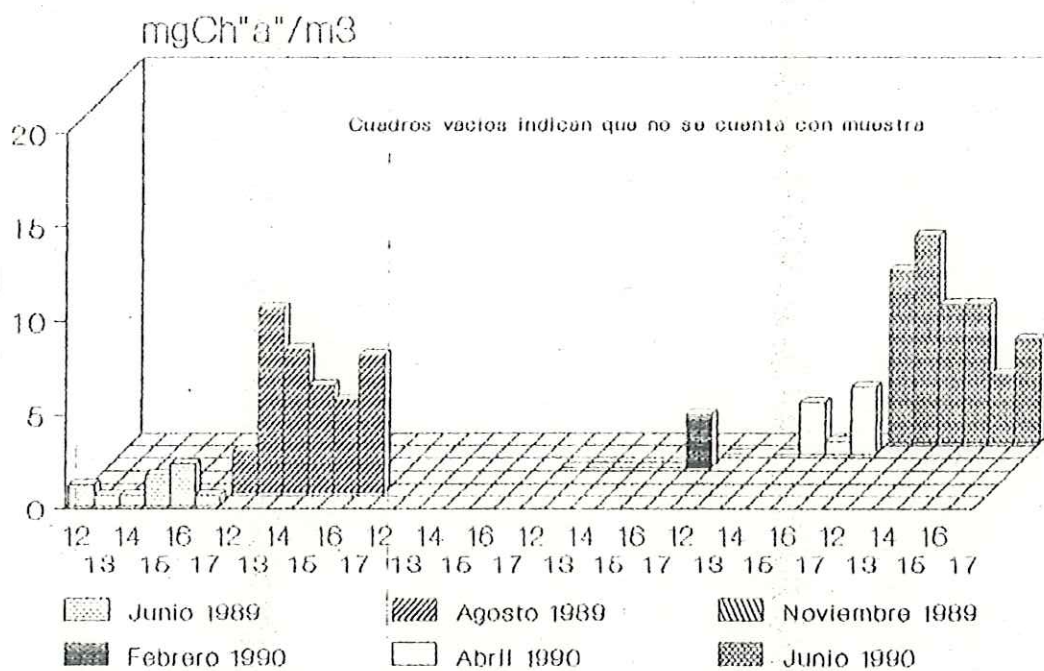


Fig. 9. Concentración de clorofila "a" en la costa de Baja California en el primer diseño experimental (est.12-17)

costa de Sonora como de Baja California, pero siendo relativamente bajos (de no detectables a $2.18 \text{ mgchl "a" / m}^3$).

En noviembre de 1989 se cuenta tan sólo con una muestra en la variación espacial, correspondiente a la estación 7 ($4.20 \text{ mgchl "a" / m}^3$). No es posible definir un comportamiento para éste mes por la escasez de muestras.

Se encontraron valores similares para los meses de febrero y abril de 1990. Estos valores fueron variables, encontrándose desde concentraciones no detectables hasta 8.24 mg / m^3 . La tendencia fué de encontrar valores bajos (menores a 2.5 mg / m^3), con valores mayores a 7.2 mg / m^3 en estaciones aisladas.

3.1.2.2. REGISTRO CIRCADIANO.

Los registros circadianos muestreadas mostraron una gran variabilidad en las concentraciones de clorofila "a" a lo largo del día. Se encontraron concentraciones desde no detectables hasta $64.03 \text{ mgchl "a" / m}^3$.

En agosto de 1989 se encontró el valor máximo durante el refluo de 18.89 mg / m^3 , siendo el promedio del registro circadiano de 6.21 mg / m^3 (Fig. 10).

En noviembre de 1989 se obtuvo un promedio de 6.26 mg / m^3 , presentándose el valor máximo durante el flujo (12.59 mg / m^3). En el refluo se observan también máximos de menor concentración (8.40 mg / m^3) (Fig. 11).

En el mes de febrero de 1990 se encontró la mayor concentración de clorofila "a" de todo el muestreo (64.03 mg / m^3). Este valor se registró durante el flujo a mediodía. Sin embargo, las concentraciones

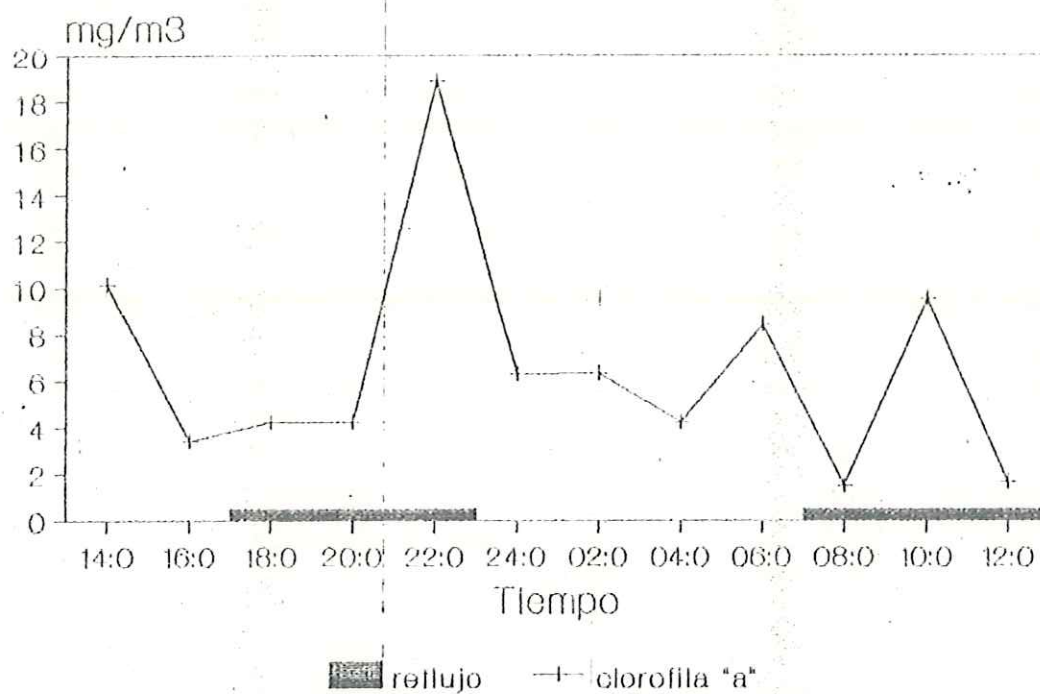


Fig. 10. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para Agosto de 1989.

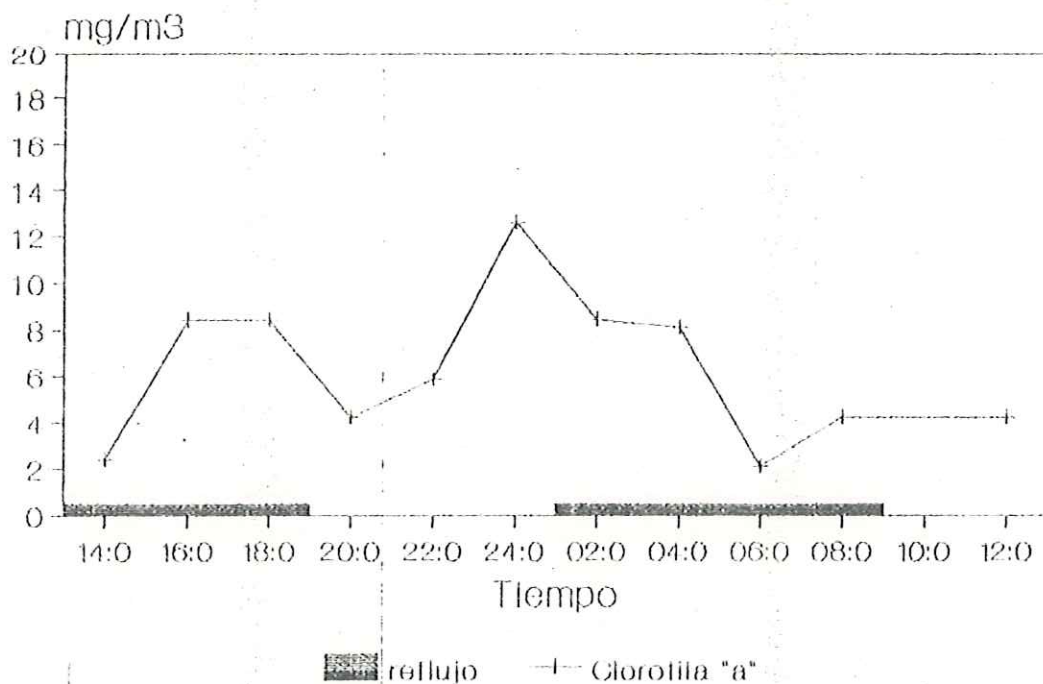


Fig. 11. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para Noviembre de 1989.

que siguieron al máximo mencionado no son mayores a 1.82 mg/m^3 , siendo en su mayoría concentraciones no detectables. Desafortunadamente, el mes de febrero es en el que se cuenta con menor número de datos en el registro circadiano debido a que las fuertes corrientes de marea impidieron la continua toma de muestras (Fig. 12). Por lo mismo, es el mes en el que se dió el mayor promedio (10.98 mg/m^3), ya que sólo se cuenta con 6 muestras de las cuales una fué el máximo ya mencionado.

En abril de 1990 se registró la concentración promedio más baja de clorofila "a" de los registros circadianos (2.11 mg/m^3). El valor máximo se presentó durante el reflujo siendo de 5.46 mg/m^3 y repetidamente la concentración de clorofila "a" no fué detectada, sobre todo durante el flujo (Fig. 13).

En junio de 1990 se registró un promedio de 5.59 mg/m^3 durante el registro circadiano, encontrándose los valores máximos durante el reflujo y los mínimos durante el flujo. El valor máximo registrado fué de 9.10 mg/m^3 (Fig. 14).

En general, en las series de tiempo se encontraron los valores máximos en periodo de reflujo y los mínimos durante flujo, con algunas excepciones. Los promedios de concentración de clorofila "a" se encontraron alrededor de 5.59 y $6.26 \text{ mgchl}^{\text{a}}/\text{m}^3$, exceptuando los meses de abril y febrero. En el primero, las concentraciones de clorofila "a" fueron mucho menores (promedio de 2.11 mg/m^3); y en el segundo, el promedio resultó ser el mayor (10.98 mg/m^3), debido en gran parte a que sólo se cuenta con 6 muestras en el registro y a que una de esas muestras corresponde a una concentración disparada de 64.03 mg/m^3 .

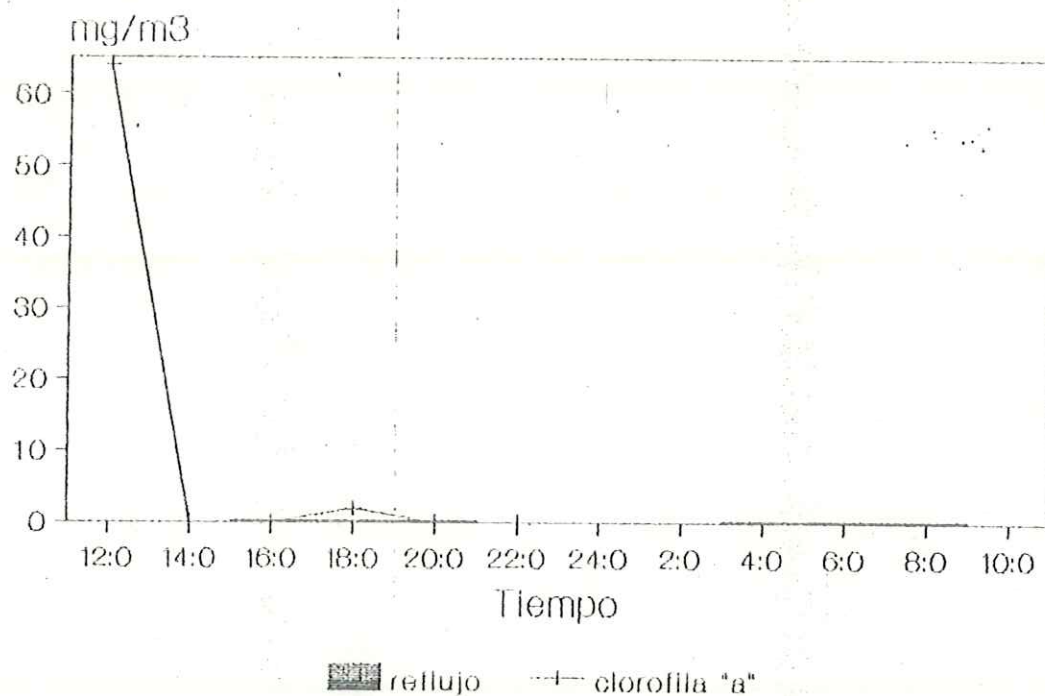


Fig. 12. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para Febrero de 1990.

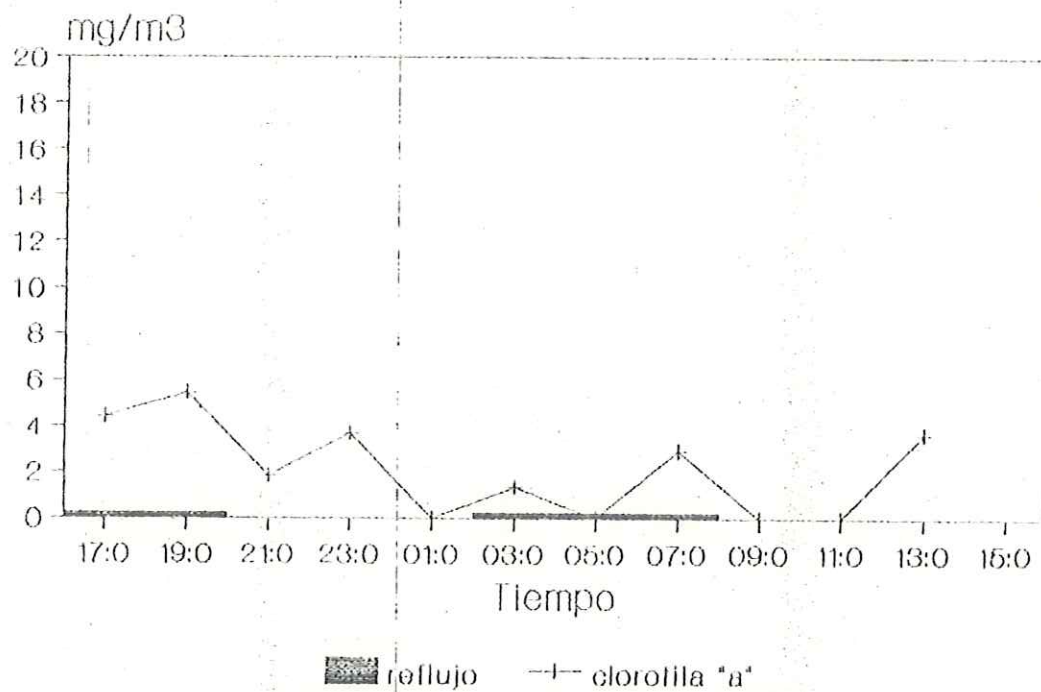


Fig. 13. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación 8 para Abril de 1990.

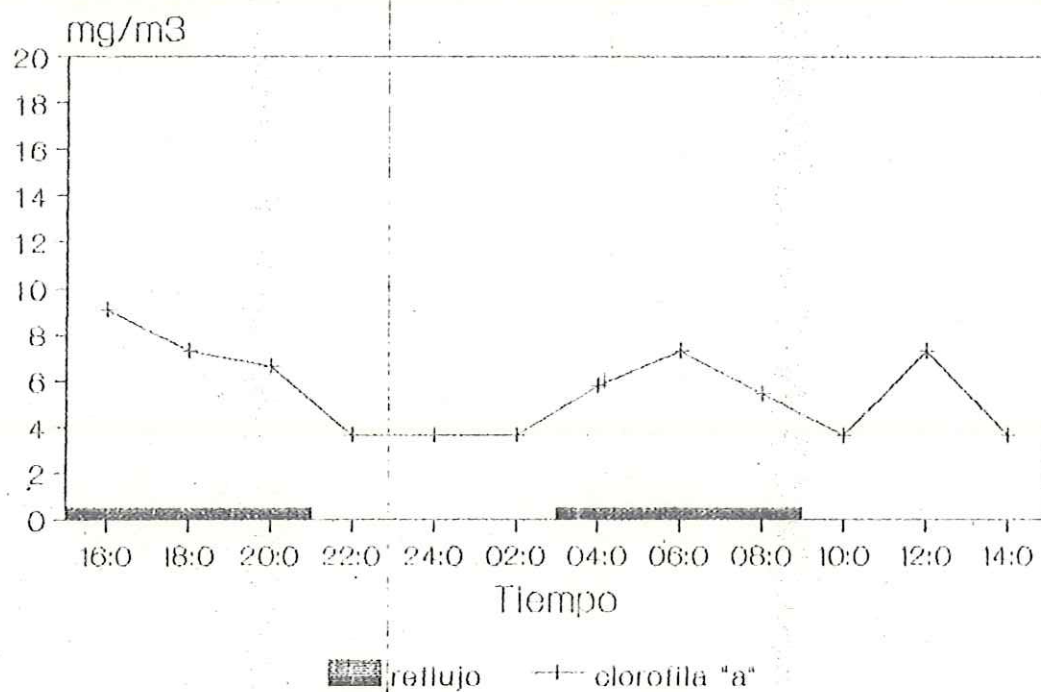


Fig. 14. Registro circadiano de clorofila "a" en la estación B para Junio de 1990.

3.1.3. FITOPLANCTON.

Solamente se cuantificaron dos de los meses muestreados (noviembre de 1989 y junio de 1990). Esto se efectuó basándose en lo reportado por Martínez Rojas-Reynoso (1990) y Hernández-Ayón (1990), quienes mencionan que las estaciones del año se encuentran bien diferenciadas en cuanto a temperatura y nutrientes en la zona de estudio. En nuestro caso se tomó el mes de noviembre de 1989 como representativo de la estación fría y el de junio de 1990 como representativo de la cálida.

3.1.3.1. MUESTREO ESPACIAL.

En cuanto a la variación espacial de la abundancia microfitoplanctónica no se encontró una diferencia clara entre los conteos de noviembre de 1989 y junio de 1990. El promedio del mes de noviembre fué ligeramente menor al de junio, siendo de 205.42 cel/mL, mientras que el de junio de 1990 fué de 235.17 cel/mL (Figs. 15 y 16). En ambos meses es notoria una mayor abundancia microfitoplanctónica en la costa de Baja California (promedio de ambos meses de 274.33 cel/mL) que en la de Sonora (promedio de ambos meses de 166.25 cel/mL).

De la distribución por grandes grupos taxonómicos se obtuvo que en general dentro del grupo de Diatomeas pennadas, *Thalassionema* y *Nitzschia* fueron los predominantes. Dentro del grupo de Diatomeas centrales los géneros más abundantes fueron *Coscinodiscus* y *Thalassiosira*, mientras *Gymnodinium* y *Prorocentrum* lo fueron para los Dinoflagelados.

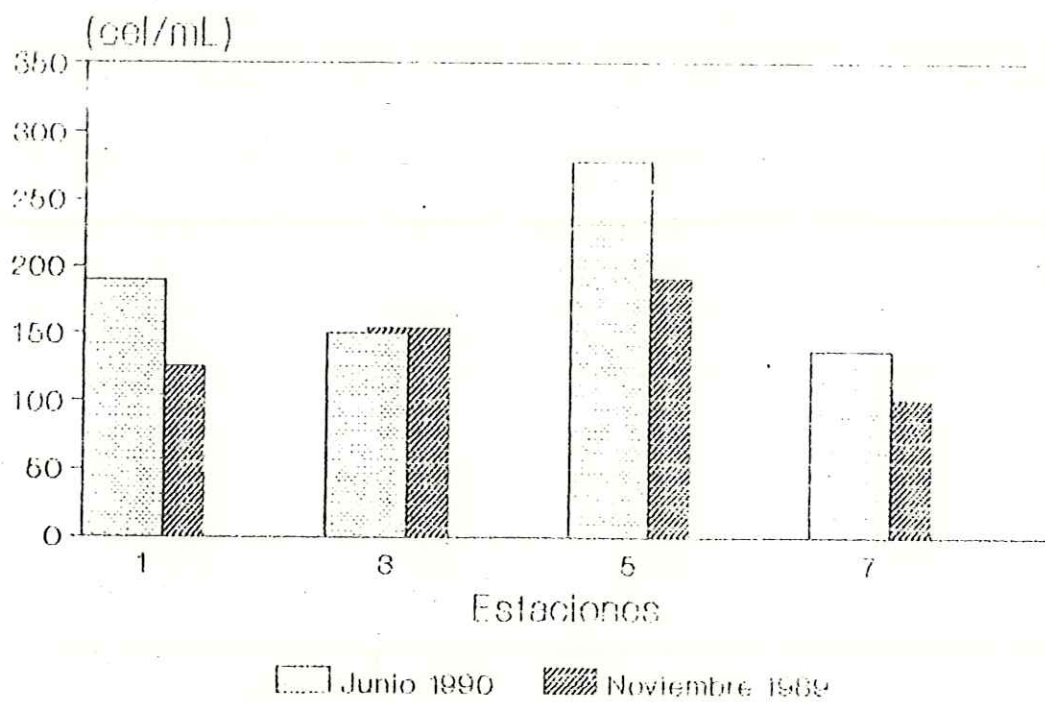


Fig. 15. Conteos de fitoplancton en los meses de noviembre de 1989 y junio de 1990 para la región de Sonora en el primer diseño experimental (est. 1-8).

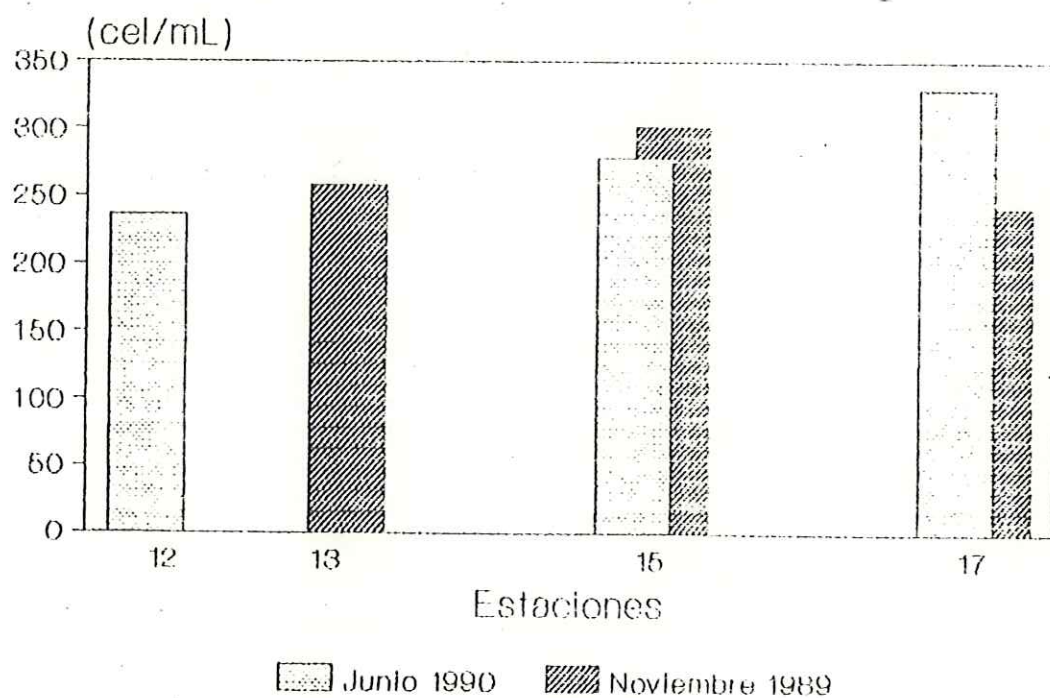


Fig. 16. Conteos de fitoplancton en noviembre de 1989 y junio de 1990 para la región de Baja California en el primer diseño experimental (est. 12-17).

3.1.3.2. REGISTRO CIRCADIANO.

La abundancia microfitoplanctónica en la serie de tiempo de junio de 1989 (estación del año cálida) tuvo fluctuaciones más amplias que la del mes de noviembre de 1989 (estación del año fría) (Figs. 19 y 20). En cuanto a la composición microfitoplanctónica hubo una abundancia relativa dominada principalmente por Dinoflagelados, esto es más notorio para el mes de junio (Fig. 18). En el mes de noviembre es evidente también la dominancia de Dinoflagelados, aunque las Diatomeas centrales presentaron abundancias relativas elevadas sobre todo en condiciones de reflujo (Fig. 17). El conjunto de Diatomeas (centrales y pennadas) fué siempre menor que los Dinoflagelados en junio, mientras que para noviembre casi en la mitad de las muestras el conjunto de Diatomeas es mayor que los Dinoflagelados.

3.1.4. PRODUCCION ORGANICA PRIMARIA.

Los resultados de la producción orgánica primaria en el primer diseño experimental (estación 8), dejan ver que en los meses muestreados hay un patrón decreciente (Fig. 19). Se presentó el valor medio máximo en el mes de agosto de 1989 ($13.99 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), con una variación de 12.01 a $17.44 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$ y el mínimo en junio de 1990 ($0.5 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), con una variación mínima de 0.47 a $0.56 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$. Los meses que mayor variación presentaron fueron febrero de 1990 (3.47 a $10.67 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$) y abril de 1990 (0.17 a $7.82 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$).

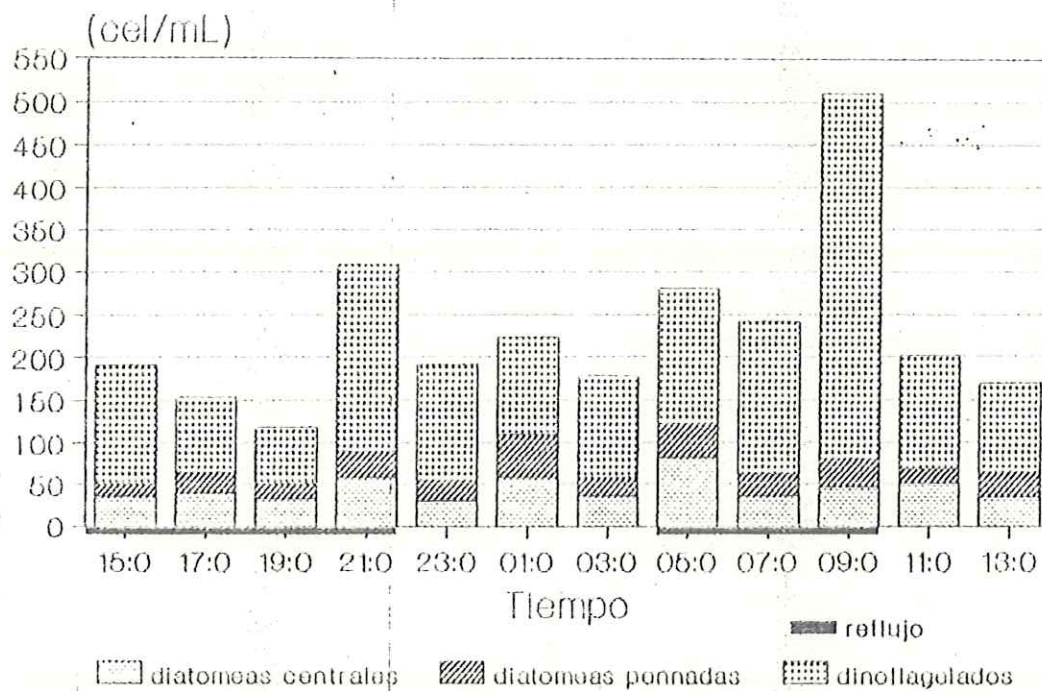


Fig. 17. Registro circadiano del fitoplancton en la estación 8 para Junio de 1989.

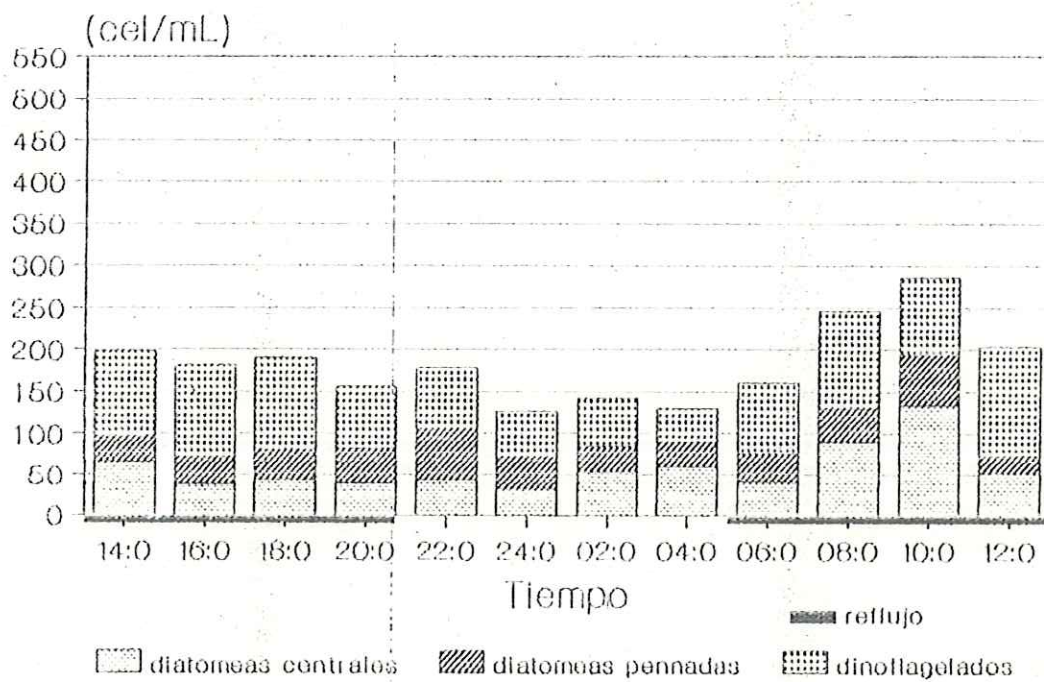


Fig. 18. Registro circadiano de fitoplancton en la estación 8 para Noviembre de 1989.

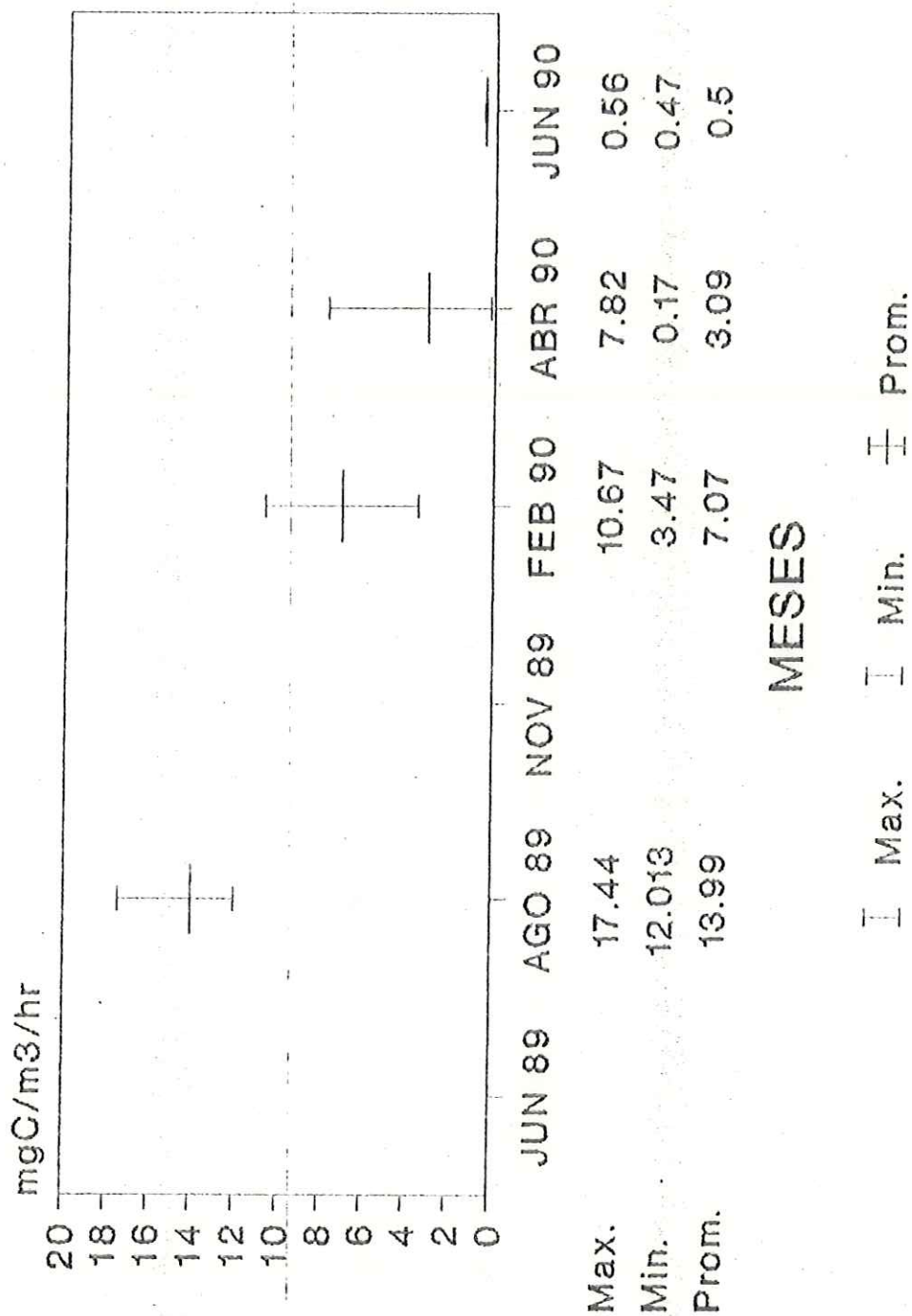


Fig. 19. Producción orgánica primaria en la estación 8 para los diferentes meses muestreados en el primer diseño experimental.

3.2: ~~SEGUNDO DISEÑO~~ SEGUNDO DISEÑO EXPERIMENTAL.

El segundo muestreo comprendió el periodo del 15 al 22 de mayo de 1991. Este periodo de 8 días abarcó tanto mareas vivas como muertas.

3.2.1. MAREA.

La mayor amplitud de marea se dió el primer día de muestreo con un valor de 6.5 m y el menor se presentó el día 20 de mayo con 1.5 m de amplitud (Fig. 20).

El muestreo espacial correspondiente a la marea viva se efectuó el día 17 de mayo, en el cual la mayor amplitud de marea fué de 5.0 m. El de la marea muerta se realizó el 21 de mayo siendo la mayor amplitud de este día de 2.5 m. La diferencia entre la mayor amplitud del muestreo de marea viva contra la mayor amplitud del de marea muerta fué de 2.5 m (50% de la amplitud del de marea viva).

3.2.2. VARIACION ESPACIAL.

3.2.2.1. PENETRACION DE LUZ.

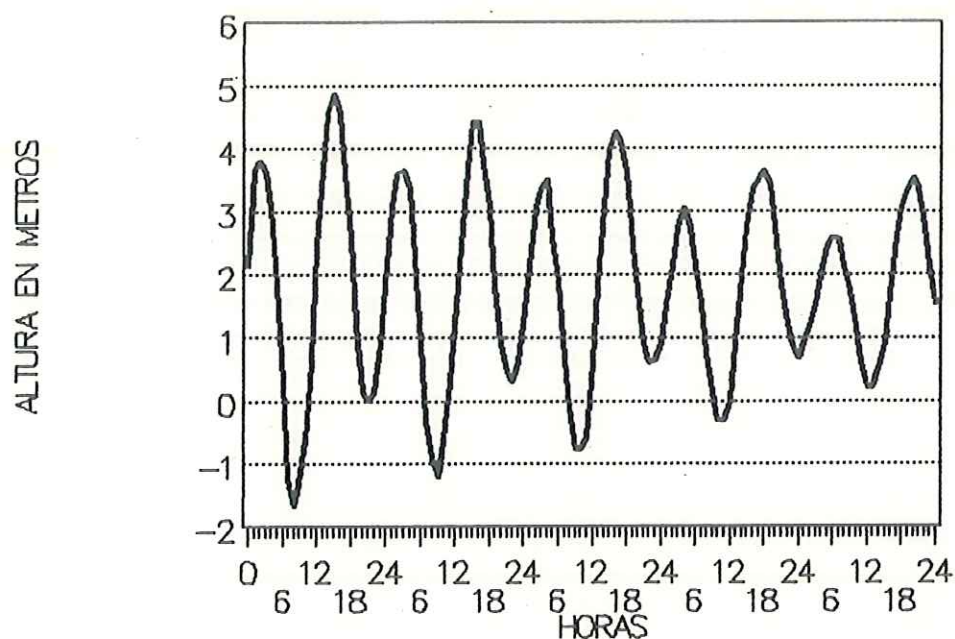
3.2.2.1.1. DISCO DE SECCHI.

Por las condiciones del medio, las lecturas de disco de Secchi fueron tomadas en centímetros, ya que en ocasiones casi era imposible tomar la lectura por las profundidades tan pequeñas (menores a 2 cm) a las que el disco se perdía de vista por la gran cantidad de material suspendido. Esto ocurría sobre todo en las estaciones localizadas en la parte norte del área de estudio.

De la comparación de los muestreos realizados en mareas vivas y muertas se pudo comprobar que la penetración de luz depende en gran parte del estado de marea. Esto se encuentra esquematizado en la Fig. 21, en donde se observa también que la penetración de la luz va decreciendo de sur a norte.

MAREA DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO

15 A 19 DE MAYO DE 1991



20 A 22 DE MAYO DE 1991

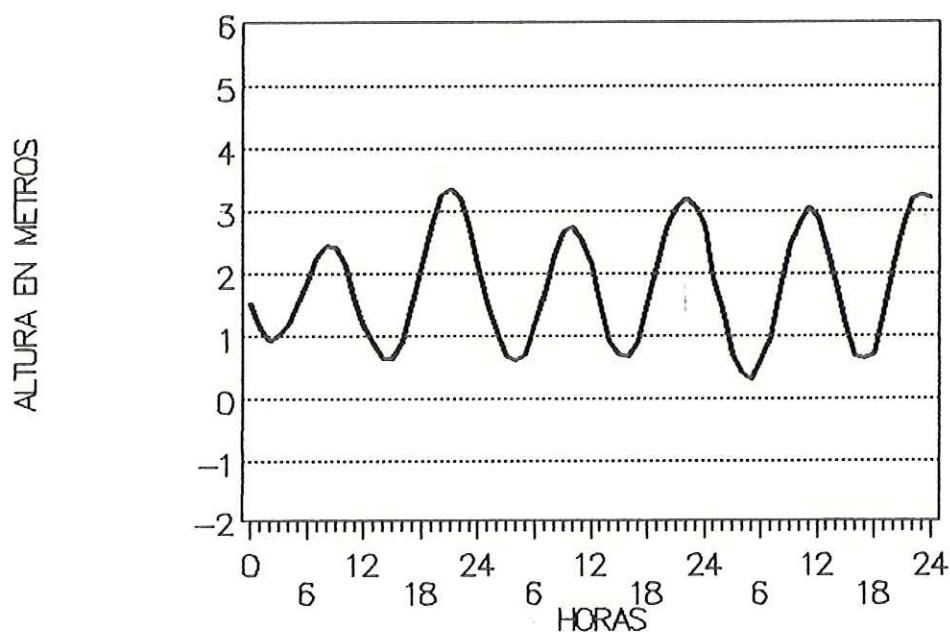


Fig. 20. Nivel de marea correspondiente al muestreo de mayo de 1991.

VARIACION ESPACIAL DEL DISCO DE SECCHI

MAYO DE 1991

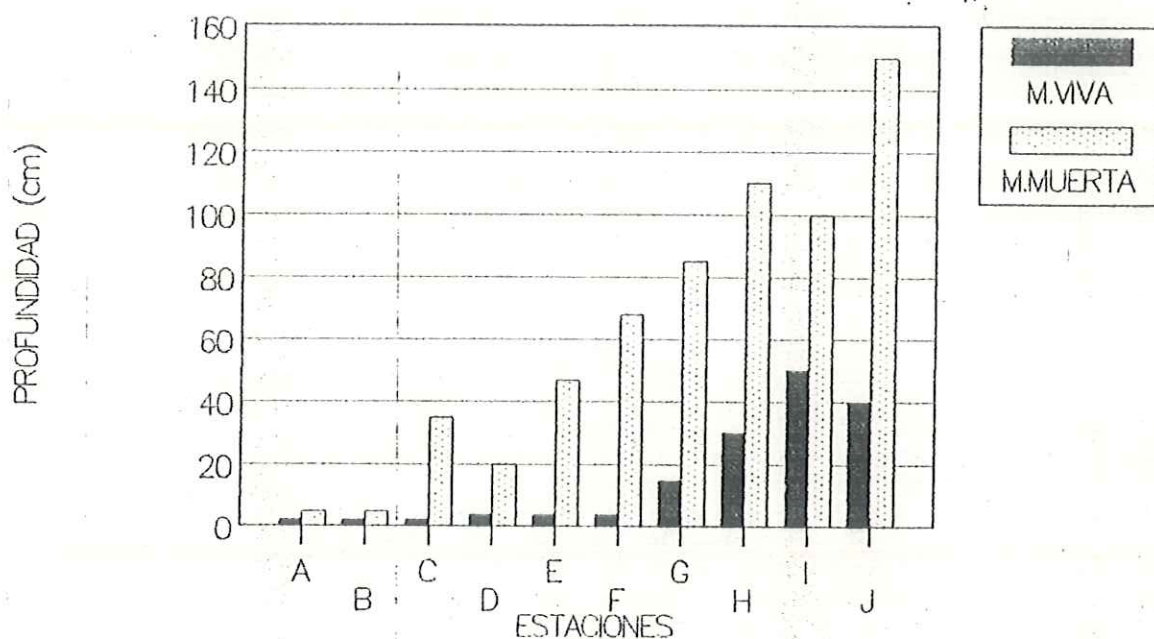


Fig. 21. Comparación de la variación espacial de la profundidad del disco de Secchi durante marea viva y muerta en el segundo diseño experimental.

VARIACION ESPACIAL DEL k_d

MAYO DE 1991

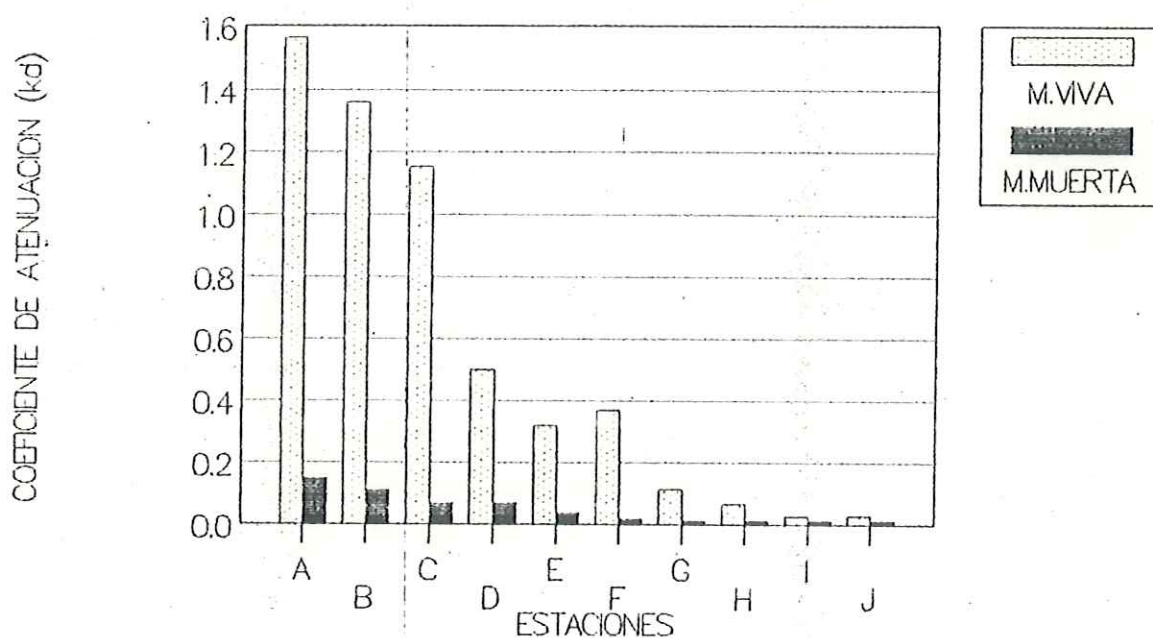


Fig. 25. Comparación de la variación espacial del coeficiente de atenuación de luz (k_d) durante marea viva y muerta en el segundo diseño experimental.

Los valores más altos fueron encontrados en la estación localizada más al sur, con aproximadamente 150 cm en marea muerta y 40 cm en marea viva. Los valores menores fueron encontrados en la estación localizada más al norte, en la parte interna del estuario, con aproximadamente 5 cm en marea muerta y menor a 2 cm en marea viva. Las estaciones localizadas entre estas dos extremas tuvieron un decremento gradual de sur a norte (Fig. 21).

3.2.2.1.2. COEFICIENTES DE ATENUACION (k_d).

De los perfiles de penetración de luz medidos con el irradiómetro, se calcularon los coeficientes de atenuación de luz (k_d) (Fig. 22) mediante la fórmula: $k_d = \ln(E_z/E_0)/(-z)$. Los resultados obtenidos mediante este factor coinciden con el patrón obtenido mediante el disco de Secchi, decreciendo de sur a norte. Esto se debe a que, por el contrario de las lecturas de disco de Secchi, al ser mayor el valor del k_d la penetración de luz es menor.

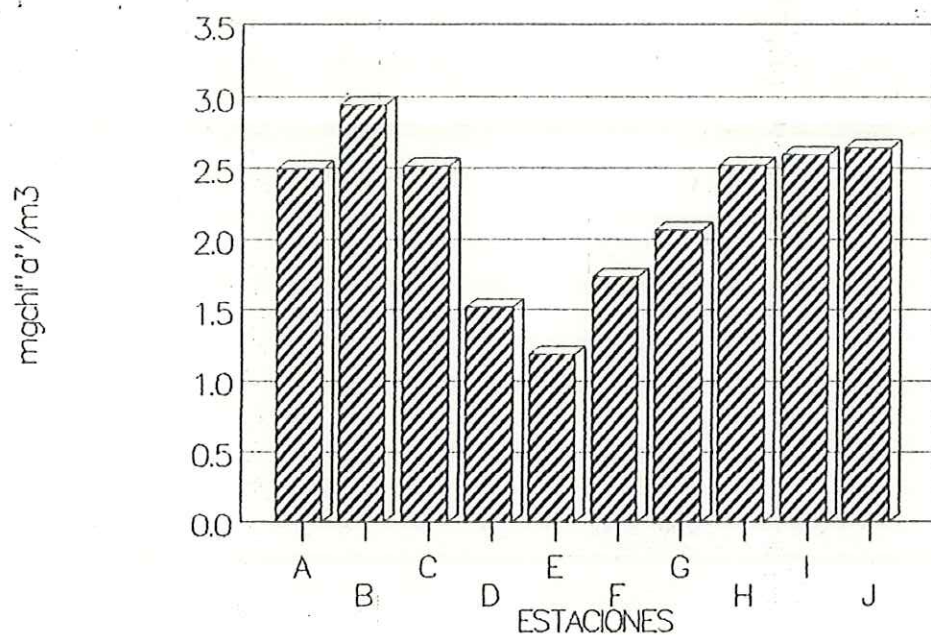
Los valores más altos fueron encontrados en la parte interna del estuario, siendo de aproximadamente 1.55 en marea viva y de 0.15 en marea muerta. Los valores más bajos se encontraron en la estación localizada más al sur con aproximadamente 0.012 en marea muerta y 0.025 en marea viva.

3.2.2.2. CLOROFILA "a".

En cuanto a la clorofila "a" se encontraron patrones prácticamente opuestos de mareas vivas a muertas (Fig. 23). En marea viva se encontró que la concentración de clorofila "a" es similar en las estaciones de la parte externa del estuario y de la parte interna del mismo (de 2.5 a 3 mg/m^3), pero en las estaciones intermedias se

VARIACION ESPACIAL DE CLOROFILA "a"

MAREAS VIVAS



MAREAS MUERTAS

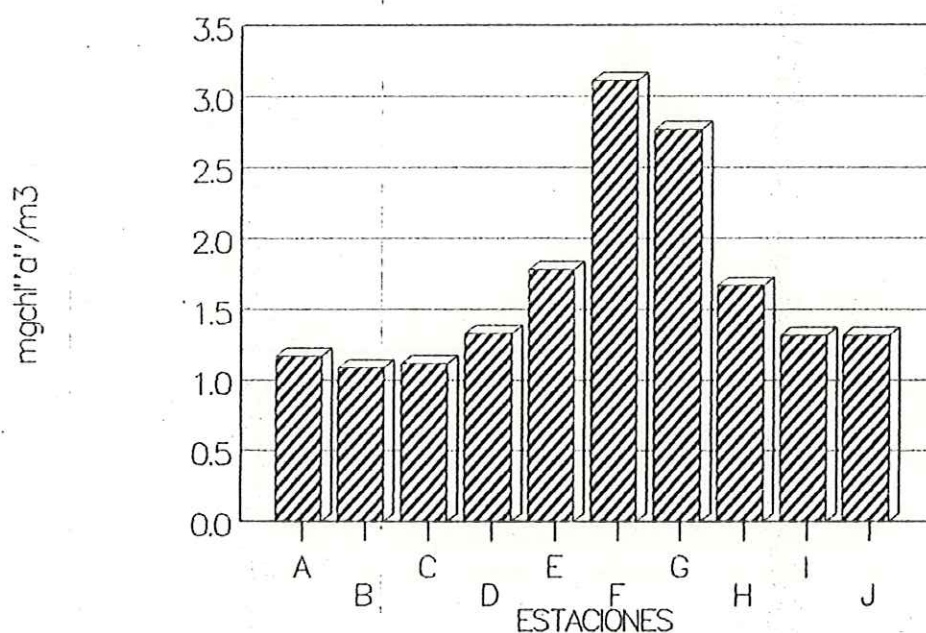


Fig. 23. Comparación de la variación espacial de la concentración de clorofila "a" durante marea viva y muerta en el segundo diseño experimental (los muestreos se realizaron siempre durante el flujo).

observan concentraciones menores (entre 1 y 2 mg/m^3).

En marea muerta el patrón es inverso, es decir, las concentraciones de la parte interna y externa del estuario siguen siendo similares entre sí (entre 1.0 y 1.5 mg/m^3), pero son más altas en las estaciones intermedias (3 mg/m^3).

3.2.3. SERIE DE TIEMPO.

3.2.3.1. PRODUCCION ORGANICA PRIMARIA Y RAZON DE ASIMILACION.

La producción orgánica primaria en el segundo diseño experimental (estación J) presentó un patrón definido con relación a la marea. En marea viva (amplitud de 6.5 m) se obtuvieron valores altos (50 a 55 $\text{mgC/m}^3/\text{h}$), alcanzando el máximo (de alrededor de 76 $\text{mgC/m}^3/\text{h}$) en la transición de marea viva a muerta (amplitud de 5 m). Los valores fueron decreciendo gradualmente hasta llegar al mínimo en marea muerta (amplitud de 2.5 m), con valores entre 35 y 40 $\text{mgC/m}^3/\text{h}$ (Fig. 24).

El patrón general fué el de encontrar el valor máximo diario a las 12:00 horas, siendo los valores de las 8:00 y 16:00 horas más variables en su comportamiento, pero casi siempre fué menor el de las 16:00 que el de las 8:00 horas.

La razón de asimilación mostró un comportamiento similar a la producción primaria en cuanto a la amplitud de la marea (Fig. 25). Los valores más altos fueron encontrados en la transición de marea viva a muerta (de 25 a 27 $\text{mgC/m}^3/\text{h}/\text{mgChl}^{\text{a}}$), y fueron decreciendo gradualmente hasta encontrarse el valor mínimo en marea muerta, de alrededor de 7 $\text{mgC/m}^3/\text{h}/\text{mgChl}^{\text{a}}$. En la marea más alta del muestreo se encontraron valores relativamente bajos (similares a los encontrados en marea muerta).

SERIE DE TIEMPO DE PRODUCCION PRIMARIA

MAYO 1991

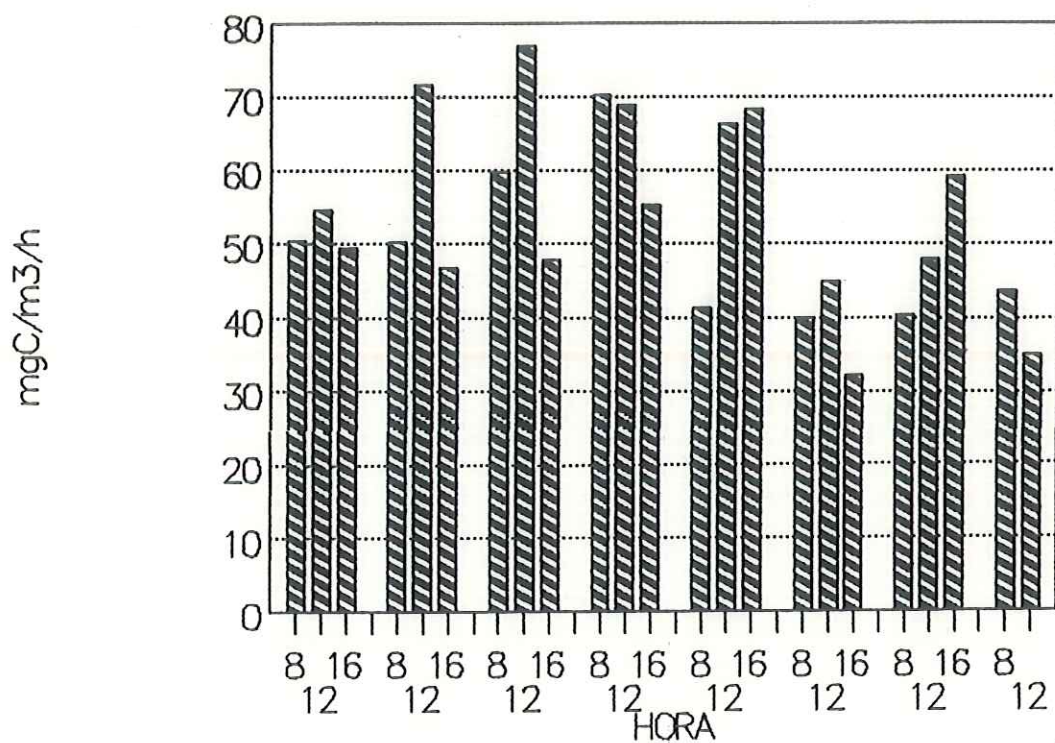


Fig. 24. Serie de tiempo de producción orgánica primaria durante 8 días consecutivos en la estación J en el segundo diseño experimental

SERIE DE T. DE RAZONES DE ASIMILACION

MAYO 1991

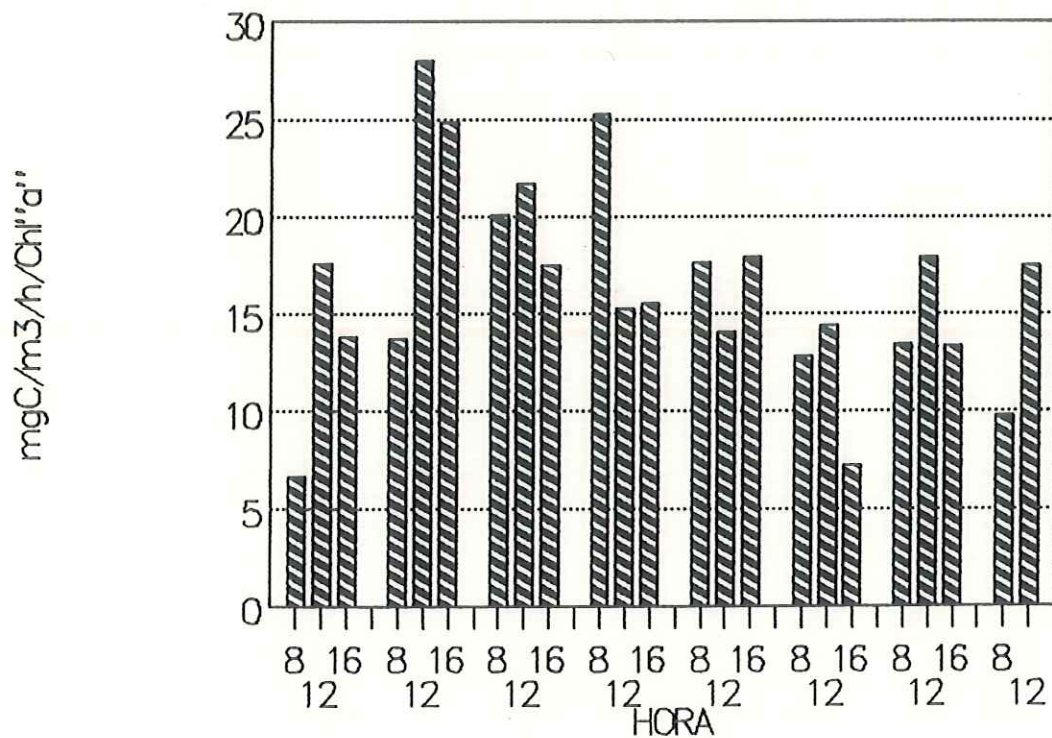


Fig. 25. Serie de tiempo de razón de asimilación durante 8 días consecutivos en la estación J en el segundo diseño experimental

En la mayoría de los días muestreados el máximo se encontró a mediodía, no encontrándose un patrón definido en los muestreos de la mañana (8:00 a.m.) y de la tarde (16:00 p.m.).

3.2.3.2. CLOROFILA "a".

En general, la concentración de clorofila "a" no presentó un patrón claramente definido. Sin embargo, se puede decir que predomina un comportamiento creciente con la transición de marea viva a muerta (Fig. 26).

El valor máximo se presentó el primer día de muestreo a las 8:00 horas llegando a los 7.5 mg/m^3 aproximadamente. Este valor fue claramente un dato que se disparó de la media del muestreo, ya que los demás valores oscilaron entre los 5 y 2 mg/m^3 aproximadamente.

Fue notorio también un comportamiento diario con relación a la subida y bajada de la marea, encontrándose los valores máximos diarios en marea baja y los mínimos en marea alta generalmente (Fig. 26).

SERIE DE TIEMPO DE CHL"a"

MAYO 1991

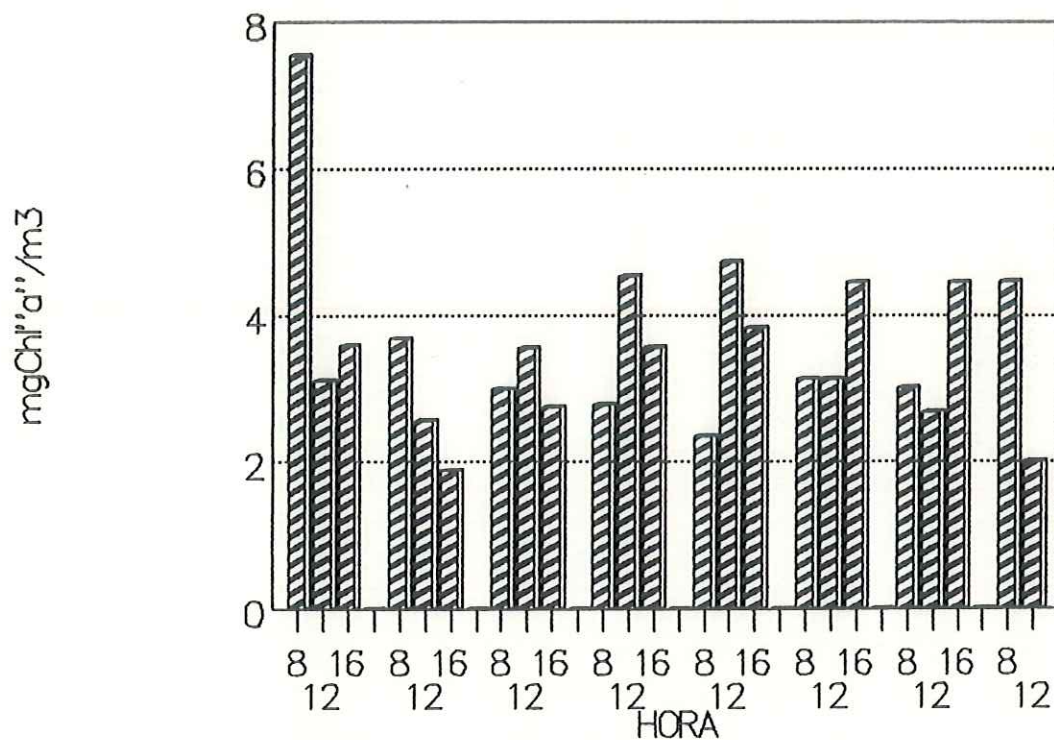


Fig. 26. Serie de tiempo de clorofila "a" durante 8 días consecutivos en la estación J en el segundo diseño experimental.

4. DISCUSION:

Es importante considerar, para la interpretación de resultados, que hay diferencias considerables en cuanto a las amplitudes de marea entre algunos muestreos (Figs. 2 a 7), ya que como menciona Bourillo-Moreno (1988), las mareas en esta zona son consideradas entre las de mayor amplitud del mundo. El que las mareas sean tan amplias y provoquen corrientes tan fuertes en el área de estudio se debe al estrechamiento gradual que presenta el alto Golfo de California, el cual se agudiza en el Delta del Río Colorado. La onda de marea pasa de una zona relativamente profunda con una anchura de algunas decenas de kilómetros a una somera que tan sólo presenta una anchura de unos 2 o 3 kms en su canal más grande (del lado de Baja California).

En cuanto al estado de marea, se tiene que en general la concentración de nutrientes y turbidez del agua es mayor en períodos de mareas vivas que en muertas, ya que Hernández-Ayón (1990) menciona que las concentraciones altas de nutrientes en la parte interna del estuario se deben en gran parte a la resuspensión de sedimentos del fondo y de las planicies inundadas por las corrientes generadas por mareas de amplitud grande. En cambio, en mareas de amplitud pequeña las corrientes de marea son mucho menores y las planicies de inundación no alcanzan a ser cubiertas por el agua. Las mayores concentraciones de nutrientes se presentan durante el reflujo.

Son muchos los factores físicos que intervienen en el estudio de la distribución espacial de fitoplancton y su variación temporal. Por un lado, se tiene que cuando hay mareas vivas la concentración de nutrientes tiende a ser mayor, pero también aumenta la turbidez del

medio limitando la penetración de luz en la columna de agua. En cambio, cuando la marea es muerta, disminuye la turbidez del agua, pero las concentraciones de nutrientes son menores. Hernández-Ayón (1990) menciona que las concentraciones más baja de nutrientes que reporta en la región no son limitantes para la producción primaria, por lo que es probable que la variación en la turbidez del agua tenga una mayor influencia en las poblaciones fitoplanctónicas que la variación de nutrientes.

El haber encontrado los valores máximos de clorofila "a" y producción orgánica primaria en agosto de 1989 pudo deberse a que en este mes se muestreó durante un período de mareas muertas, por lo que la relativamente poca turbidez del agua permitió una penetración de luz mayor en la columna de agua. Además, el mes de agosto es el mes en el que se registraron las temperaturas máximas del año (Martínez Rojas-Reynoso, 1990)

Sin embargo, las concentraciones relativamente altas de clorofila "a" encontradas en la variación espacial de junio de 1990 no se encuentran relacionadas con las mismas condiciones de marea. Tal vez esta sea la causa de haber encontrado el valor mínimo de producción orgánica primaria en este mes, a pesar de las concentraciones de clorofila "a" encontradas.

Se encontró que las concentraciones de clorofila "a" de junio de 1989 y de 1990 son sumamente diferentes aún cuando se muestreó en condiciones de marea similares en ambas fechas, lo cual indica que no hay un patrón general que se repita cada año, sino que puede haber grandes variaciones a lo largo del año, sobre todo debidas a la gran

variabilidad que se presenta en tan particular zona costera, ya que el desarrollo y distribución espacial y temporal del fitoplancton está fuertemente influenciado por las condiciones hidrológicas y factores físicos que intervienen en el medio acuático.

En las campañas de muestreo correspondientes al período de noviembre de 1989 a abril de 1990 (tres campañas), se encontraron en general concentraciones relativamente bajas de clorofila "a" en la variación espacial. Estas concentraciones bajas pueden deberse, además de a la turbidez tan elevada, a las relativamente bajas temperaturas del agua que se presentaron en estos muestreos. Martínez Rojas-Reynoso (1990) reportó las temperaturas que van de 15 a 25°C en el período mencionado, a comparación de las reportadas para los meses de junio y agosto de 1989, que van de 28 a 32°C.

En los registros circadianos de clorofila "a" es notoria la gran variabilidad existente en periodos de tiempo relativamente cortos. El patrón general fué el de encontrar los máximos de clorofila "a" durante el reflujo. Esto puede deberse a las concentraciones máximas de nutrientes en la parte interna del estuario (Hernández-Ayón, 1990) y a la adaptación que presenta el fitoplancton al someterse a regímenes pobres de luz por medio del aumento en la concentración de clorofila "a" por célula y aumento en la razón de asimilación (De la Peña-Nettel, 1991). Por lo anterior, es de esperarse que haya una importación de aguas con concentraciones de clorofila "a" relativamente bajas a la parte interna del estuario durante el flujo, y una exportación de aguas con concentraciones de clorofila "a" relativamente altas durante el reflujo. Es importante conocer los tiempos de residencia en las

diferentes regiones del delta para complementar esta información.

En los registros circadianos de los meses de agosto de 1989, abril de 1990 y junio de 1990 se encontraron concentraciones de clorofila "a" parecidas a las encontradas en los muestreos espaciales correspondientes. Desafortunadamente no se contó con muestras de la variación espacial de clorofila "a" en noviembre de 1989.

En febrero de 1990 no se pudo completar la toma de muestras del registro circadiano. Este fue el mes en el que se dió el máximo valor de clorofila "a" (64.03 mg/m^3), aunque ni en la variación espacial ni en el registro circadiano se encontraron concentraciones elevadas. Incluso fue el mes en el que se encontró con mayor frecuencia concentración de clorofila "a" no detectable (Fig. 12), lo cual hace de este mes el de mayor variabilidad.

Se asume que la circulación en el Delta del Río Colorado es rotatoria en el sentido opuesto a las manecillas del reloj, dándose la mayor importación de aguas "oceánicas" al sistema por el canal del lado de Sonora, y la mayor exportación de aguas del delta por el canal de Baja California (Hernández-Ayón, 1990). Este patrón no se evidenció en la distribución espacial de clorofila "a", ya que se presentaron concentraciones similares de ambos lados del delta en los meses muestreados. Sin embargo, en la distribución espacial de fitoplancton es notorio que en general en el canal del lado de Baja California se encontró un mayor número de células por mililitro que en el canal del lado de Sonora (noviembre de 1989 y junio de 1990). Esto indica que de alguna forma el fitoplancton tiene la capacidad de adaptarse a las condiciones tan limitadas de luz en la parte interna del estuario,

aprovechando las concentraciones altas de nutrientes de esta zona. De la Peña-Nettel (1991) también encontró que el fitoplancton de esta región tiene la facultad de adaptarse a condiciones de luz limitadas y muy cambiantes.

Hay que considerar que en los conteos de microfitoplancton no está considerado el nanoplancton, por lo que no se puede afirmar nada acerca de la concentración de clorofila "a" por célula, ya que De la Peña-Nettel (1990) encontró que el nanoplancton tiene una proporción importante en las poblaciones fitoplanctónicas de la región.

Los datos del presente trabajo muestran una tendencia a que el fitoplancton sea más abundante en la estación cálida que en la fría, lo que al parecer no coincide con lo encontrado por De la Peña-Nettel (1991). Esta discrepancia tal vez se deba a que en los conteos reportados por éste autor se incluye al nanoplancton también.

Los registros circadianos de fitoplancton muestran abundancias menos variables en la estación fría que en la cálida. También muestran los valores máximos durante el refluo, lo cual coincide con los datos de clorofila "a".

La alta producción orgánica primaria del mes de agosto de 1989 pudo deberse a las altas concentraciones de clorofila "a" encontradas en ese mes y por la mayor abundancia fitoplanctónica encontrada para la estación cálida, además de las pequeñas amplitudes de marea en que fueron realizados los muestreos (Fig. 3). Los meses de febrero y abril de 1990 presentan producciones primarias que se puede decir son proporcionales a las concentraciones de clorofila "a" encontradas para esos meses. El mes de junio de 1990 fue el único en el que no coincide

la concentraci^on de clorofila "a" con la producci^on primaria, ya que se obtuvieron concentraciones de clorofila "a" entre los 3.64 y 9.10 mg/m³ y la producci^on primaria reportada para este mes fue la mas baja del muestreo (0.5 mgC/m³/h). Esto se debe posiblemente a que en el momento de la toma de muestra para la incubaci^on con carbono 14 se haya coincidido con una masa de agua con baja abundancia fitoplanct^onica. Esto es posible si se toma en cuenta que en los registros circadianos se encontr^o una gran variabilidad, lo cual puede indicar que debido a la gran energ^ía del medio, la distribuci^on del fitoplancton en parches se sigue conservando. Los parches son transportados con gran rapidez por las corrientes, present^ándose en cuesti^on de horas muchas variaciones considerables en un punto fijo. Adem^ás, se observ^o que para la estaci^on c^álida las fluctuaciones de la abundancia fitoplanct^onica son mucho m^ás dr^ásticas que para la estaci^on fr^ía.

Se debe tomar en cuenta que de agosto de 1989 a febrero de 1990 (perⁱodo de 6 meses) no se cuenta con datos de producci^on org^ánica primaria, por lo que no fue posible observar el comportamiento de la misma en los meses de oto^ño y gran parte del invierno.

Una caracter^ística del primer dise^ño experimental es que fue realizado en una estaci^on en la que hay corrientes muy fuertes durante las interfases entre flujo y reflujo (estaci^on 8), lo cual provoca una mezcla intensa en la columna de agua, pudiendo variar considerablemente el contenido de fitoplancton y concentraci^on de clorofila "a" en periodos de tiempo relativamente cortos.

Considerando lo anterior y que la cuantificaci^on de la producci^on org^ánica primaria se bas^o unic^ámente en una incubaci^on por camp^aña de

muestreo, es factible que el resultado obtenido para alguno de los meses no sea representativo del comportamiento global. Por esto, el segundo diseño experimental se enfocó a estimar la variabilidad de la producción orgánica primaria a lo largo del día y con respecto a las condiciones de la marea (viva y muerta), así como a estimar las variaciones espaciales de la profundidad del disco de Secchi, coeficiente de atenuación de luz (K_d) y concentración de clorofila "a" en mareas vivas y muertas.

En el segundo diseño experimental se comprobó que la turbidez del agua tiene un incremento de sur a norte en el delta, lo cual se observa claramente en la variación espacial de la profundidad del disco de Secchi (Fig. 21) y del coeficiente de atenuación de luz (K_d) (Fig. 22). Esto se debe a la topografía del delta y a las bajas profundidades de los canales, especialmente los de la costa de Sonora, por donde se infiere que se da la mayor importación de aguas al sistema durante el flujo.

Las variaciones espaciales de clorofila "a" muestran patrones bien definidos tanto para el caso de marea viva como para el de muerta. En marea viva se observaron concentraciones de clorofila "a" similares en las estaciones localizadas más al norte (en el río) y en las localizadas más al sur (al sur del canal de la costa de Sonora) (Fig. 23). Sin embargo, las concentraciones de clorofila "a" de las estaciones localizadas en el canal fueron menores. Esto puede indicar que el fitoplancton tiene la capacidad de adaptarse a las condiciones del medio aún en las zonas más turbias del estuario, manteniendo concentraciones de clorofila "a" similares a las encontradas en aguas

de turbidez moderada. Esto concuerda con lo encontrado por De la Peña-Nettel (1991) quien encontró concentraciones ligeramente mayores de clorofila "a" para una estación más turbia que las encontradas para una de menor turbidez.

El descenso en la concentración de clorofila "a" en la parte del canal puede indicar que aún cuando existe una mezcla de agua intensa en todo el delta, se sigue conservando la distribución en parches, aunque tal vez en menor proporción. Esto mismo se observó para la marea muerta, en la que se encontraron las concentraciones más altas en las estaciones del canal (de alrededor de 3 mg/m^3), siendo similares las concentraciones al norte y sur del mismo, pero en concentraciones más bajas (entre 1 y 1.5 mg/m^3) que en el canal (Fig. 23).

Resumiendo lo anterior, se puede decir que el fitoplancton del Delta del Río Colorado puede tener la capacidad de adaptarse a condiciones de alta turbidez al grado que se encuentran concentraciones muy similares en las aguas más turbias (profundidades de disco de Secchi menores a 2 cm) que en las aguas menos turbias de la región. Además, la distribución del fitoplancton en parches se mantiene a pesar de la mezcla de agua tan intensa que se presenta en esta zona, aunque tal vez de forma menos marcada.

En cuanto a la serie de tiempo de producción orgánica primaria, ésta va en aumento al ir cambiando la marea de viva a muerta, alcanzando su máximo en la transición de marea viva a muerta para después decrecer hasta el mínimo en mareas muertas (Fig. 24). Este comportamiento indica que las condiciones en las que el fitoplancton tuvo mayor capacidad de fotosintetizar se dieron en mareas de

transición de viva a muerta, ya que el comportamiento de las razones de asimilación fue similar en cuanto a la marea (Fig. 25). También fue predominante el encontrar las mayores producciones y razones de asimilación a mediodía, lo cual indica que la turbidez y la mezcla vertical en la columna de agua evitan que haya una fotoinhibición durante las horas de mayor irradiancia solar.

Lo anterior coincide con lo afirmado por Uncles & Joint (1983), quienes mencionan que no es factible que ocurra fotoinhibición en columnas de agua con mezcla rápida debido a que las células fitoplanctónicas experimentan condiciones de alta intensidad luminosa tan solo por periodos de tiempo muy cortos.

Es importante hacer notar que los experimentos de producción orgánica primaria del segundo diseño experimental fueron realizados en una estación de menor turbidez que los del primer diseño, y que la estación en la cual se realizaron se encontraba fuera del estuario. Esta es la razón por la que los valores de producción orgánica primaria son mucho mayores en el segundo diseño experimental, ya que hay una gran diferencia en la turbidez de ambas estaciones. La estación 8 (del primer diseño experimental) equivale a la estación D (del segundo diseño experimental), por lo que al observar la Fig. 21 tenemos que en esta estación se presentan profundidades de disco de Secchi de alrededor de 5 cm en marea viva, mientras que en la estación J la profundidad del disco de Secchi es de aproximadamente 40 cm. Con esto observamos que en la estación 8 ó D (de alta turbidez) el fitoplancton aún tiene la capacidad de fotosintetizar, pero en menor proporción que en la estación J (menor turbidez).

Los valores de producción orgánica primaria encontradas en el segundo diseño experimental (estación J) son mayores a los encontrados en cuerpos costeros del Golfo de California como los reportados por Bustos-Serrano (1991) en Puerto Don Juan, B. C. para el verano de 1986. También son mayores a los encontrados en estuarios de la costa Atlántica de los Estados Unidos como los reportados por Turner, *et al.* (1979) para la parte interna y externa de un estuario de Georgia, quien encontró en sus múltiples muestreos valores menores a los $45 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, con un promedio de $20.2 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$. Los mismos autores reportan un promedio de $8.2 \text{ mgC/mgChl}a/\text{h}$ para la razón de asimilación, que al compararse con las encontradas en este trabajo (Fig. 25), resulta encontrarse alrededor de las mínimas.

Las concentraciones de clorofila "a" correspondientes a los datos de producción orgánica primaria y razones de asimilación tienen un comportamiento algo variable, predominando el patrón de presentarse las concentraciones más altas en marea baja y las menores en marea alta, lo cual concuerda con los resultados encontrados en el primer diseño experimental.

Las corrientes de marea incorporan nutrientes del fondo a la columna de agua; ocasionan una mezcla vertical intensa; resuspenden material particulado causando turbidez; y transportan a las poblaciones fitoplanctónicas con gran rapidez a lo largo y ancho del delta. Es por esto que se puede afirmar que las corrientes de marea son un factor importante en los procesos físicos y biológicos del Delta del Río Colorado.

5. CONCLUSIONES:

En la distribución espacial, las máximas concentraciones de clorofila "a" y abundancia de fitoplancton se presentan por lo general en la costa de Baja California en el Delta del Río Colorado.

Los máximos de clorofila "a" y fitoplancton se presentaron durante los meses de agosto 1989 y junio 1990.

Se encontró una mayor producción orgánica primaria en la parte externa del estuario (estación J) (máximo de $76 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$), pero en la parte interna del mismo (estación 8) se encontró que el fitoplancton es capaz de fotosintetizar a pesar de la severa limitación de luz (máximo en agosto de 1989 con $17.44 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$).

La turbidez del medio evita que haya fotoinhibición en las horas del día de mayor irradiancia solar en la región del Delta del Río Colorado, encontrando por lo general la máxima producción orgánica primaria y razón de asimilación en las horas de mayor irradiancia solar.

La distribución espacial y temporal de fitoplancton, clorofila "a" y producción orgánica primaria está regida por los ciclos de mareas, tanto de flujo-reflujo como de viva-muerta, además de las condiciones climáticas ambientales.

6: RECOMENDACIONES:

Las variaciones anuales de producción orgánica primaria están influidas por una serie de factores muy variables que ocasionan que la medición de las mismas se dificulten, por lo que recomiendo muestreos de mayor continuidad apoyados por series de tiempo que abarquen periodos de mareas vivas y muertas para cada mes del año.

La medición de la razón de mezcla vertical es importante en cuerpos de agua con las características del Delta del Río Colorado, ya que la zona fótica es mucho menor que la profundidad de mezcla vertical.

Es importante que los muestreos para cuantificación de clorofila vayan acompañados por muestreos para cuantificación de fitoplancton si se quieren estudiar las adaptaciones del mismo, ya que es importante el conocer en estos casos la cantidad de clorofila por célula.

Supongo que los tiempos de residencia dentro del estuario no deben ser muy grandes por las características de las corrientes observadas en el campo, pero sería de gran utilidad el conocerlos para poder consolidar algunas de las conclusiones que se han obtenido en los trabajos realizados en la región.

7: BIBLIOGRAFIA.

- Alvarez-Borrego, S., G. Ballesteros-Grijalva y A. Chee-Barragán. 1975. Hidrología del alto Golfo de California. II. Condiciones durante invierno, primavera y verano. *Ciencias Marinas*, 2(1):1-9
- Alvarez-Borrego, S. 1980. Ecología de lagunas costeras y mares adyacentes de Baja California. En: *Discusiones internas sobre labores de investigación y docencia*. CICESE. Ensenada, B. C. pp.130-137.
- Bonetto, C.A. 1983. Phytoplankton and primary production of the Parana Medio River. *ECOSUR*. 2(19-20), pp.79-102.
- Bourillón-Moreno, L., Cantú-Díaz, A. Barriga, F. Amborsi, F. Eccardi, E. Lira-Fernández, J. Ramírez-Ruiz, J. Velarde, E. González y A. Zavala-González. 1988. Islas del Golfo de California. Coedición Secretaría de Gobernación/U.N.A.M. México. pp.59-75.
- Bustos-Serrano, H. 1991. Productividad orgánica primaria de una laguna costera en el Canal de Ballenas del Golfo de California, verano de 1986. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C. pp.47.
- Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez-Estrada y T. R. Rodríguez. 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Centr. Cienc. del Mar y Limnol. U.N.A.M.* 2(1):81-88.
- Cloern, J.E. 1987. Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Research*. 7(11-12).
- Contreras, F. 1988. Las Lagunas Costeras Mexicanas. 2a. ed. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. México. pp.263.
- Dávalos, L., O.T. Lind, R.D. Doyle. 1989. Evaluation of phytoplankton-limiting factors in Lake Chapala, Mexico: Turbidity and the spatial and temporal variation in algal assay response. *Lake Reservoir Manage.* 5(2):99-104.
- De la Peña-Nettel, G. 1991. Influencia de la turbidez sobre la producción orgánica primaria en la región del Delta del Río Colorado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. pp.80.
- Edwards, R.R.C. 1978. Ecology of a coastal lagoon complex in Mexico. *Estuarine and Coastal Marine Sci. Academic Press, New York*. 6(1):75-92.
- Hernández-Ayón, J. M. 1990. Distribución espacial y registros circadianos de NO_3 , PO_4 y SiO_2 en el Delta del Río Colorado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C. pp.83.
- Joint, I.R. & Pomroy, A.J. 1981. Primary production in a turbid estuary. *Estuar. cstl. Shelf Sci.* 13:303-316.

- Joint, I.R. 1983. Development of an ecosystem model of a turbid estuary. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40(Suppl.1):341-348.
- Joint, I.R. 1984. The microbial ecology of the Bristol Channel. Mar. Pollut. Bull.; 15(2):62-66.
- Lechuga-Deveze, C.H. 1977. The organic primary production of La Paz Inlet, Baja California Sur. Resultados de las Investigaciones, pp.47-69.
- Legendre, L., S. Demers, J.C. Therriault y C.A. Boudreau. 1985. Tidal variations in the photosynthesis of estuarine phytoplankton isolated in a tank. Marine Biology; 88(3):301-309.
- Lepley, L.K., S.P. Vonder Haar, J.R. Hendrickson y R.G. Calderón. 1975. Circulation in the Northern Gulf of California from orbital photographs and ship investigations. Ciencias Marinas 2(2):86-93.
- Lorenzen C.J. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments spectrophotometric equations. Limnol. Oceanog. 12:343-346.
- Martínez Rojas-Reynoso, M.K. 1990. Distribución espacial y registros circadianos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el Delta del Río Colorado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C. pp.69.
- Meckel, L.D. 1975. Holocene Sand Bodies in the Colorado Delta Area, Northern Gulf of California. In: Broussard, M. L. Deltas: Models Exploration. Houston Geol. Soc. pp.555.
- Millán-Núñez, 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(2):41-52.
- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Sea Water Analysis. 2nd. edition. Fish Res. Bd. Can. Bull. 167. Canada. pp.310.
- Turner, R.E., S.W. Woo, H.R. Jitts. 1979. Phytoplankton production in a turbid, temperate salt marsh estuary. Estuarine and Coastal Marine Sci. 9:603-613.
- Uncles, R.J. & I.R. Joint. 1983. Vertical mixing and its effects on phytoplankton growth in a turbid estuary. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40(Suppl.1):221-228.
- Uthermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton Methodik. MittInt. Ver. Theo. angew Limnol. 9:1-38.
- Vandiver, W.B. 1984. Hydrology analysis of the Colorado River Floods of 1983. GeoJournal 9(4):343-350.