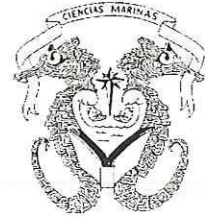


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA 031222



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLOGICAS

POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

“PRODUCTIVIDAD ORGANICA PRIMARIA Y CURVAS FOTOSINTESIS-IRRADIANCIA EN LA REGION DEL DELTA DEL RIO COLORADO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA:

ISRAEL LOPEZ POBLETE

Ensenada, B.C.

Julio, 2002

031222

**“PRODUCTIVIDAD ORGÁNICA PRIMARIA Y
CURVAS FOTOSÍNTESIS-IRRADIANCIA EN LA
REGIÓN DEL DELTA DEL RÍO COLORADO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA:

Israel López Poblete.

APROBADA POR:



Dr. Roberto Millán Núñez
Director



Dr. Eduardo Santamaría del Ángel



M.C. Manuel Salvador Galindo Bect.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar los estudio de maestría .

Al Dr. Roberto Millán Núñez por su apoyo y paciencia en la dirección de este trabajo y además por su forma de enseñar, amistad y consejos personales.

Al Dr. Eduardo Santamaría por sus acertadas críticas, recomendaciones, acompañarme a las salidas de campo e invitarme al postgrado.

Al M.C. Manuel Salvador Galindo por todo el tiempo que dedico a las revisiones, su gran disposición , dedicación y excelentes sugerencias para la realización de esta tesis.

A la Dra. Elizabeth Orellana, por apoyarme con asesoria material e instalaciones para la realización de los conteos .

A la Universidad Autónoma de Baja California, por apoyarme con personal e instalaciones para el desarrollo de esta tesis.

A la Facultad de Ciencias Marinas e Instituto de Investigaciones Oceanológicas, por la formación profesional y académica, que me otorgaron.

Y a todos mis amigos “El tomate”, Eric, Martha, Ivonne, Oscar, “El bobo”, Rodrigo, Pedro Cesar, Mark, Fabiola, Homero y alumnos por el apoyo incondicional que siempre me brindaron y comprendieron.

Dedicatoria.

A mi familia :

Rosalba e Israel

La razón y la fuerza de todo lo que hago.

A mis padres :

Eliseo y Victoria

Por que siempre están hay para apoyarme sin cuestionar

A mis hermanos :

Ivan y Nora

Por su incomparable ayuda y cariño

A la familia Nava:

Por su confianza y apoyo en todo momento

Resumen

Se realizaron experimentos de productividad orgánica primaria mediante incubaciones con ^{14}C a diferentes irradiancias en cada experimento, con la finalidad de generar curvas fotosíntesis-irradiancia (P-E), y así conocer los valores de (P-E) en la región del Delta del Río Colorado (DRC) y su relación con el régimen de mareas y época del año. Se realizaron 7 campañas de muestreo, 5 en el Golfo de Santa Clara y 2 en San Felipe, procurando siempre la condición de mareas vivas, se midió la irradiancia *in situ*, se determinó concentración de Clorofila y se realizaron conteos de abundancia fitoplanctónica, generando una clasificación de las campañas de muestreo en base a la época de muestreo. Se encontraron valores de producción orgánica primaria (POP), de $0.17 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ hasta $145.05 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$. La clorofila, fitoplancton y POP, estuvieron fuertemente regidas por los efectos de las corrientes de marea y régimen de irradiancia, con valores de medias de POP y Clorofila en general fueron más altos en las épocas frías en el Golfo de Santa Clara ($89.25 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y 4.27 mg m^{-3}) y más altas para San Felipe durante épocas cálidas ($6.46 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y 3.74 mg m^{-3}). El Golfo de Santa Clara presentó los valores más altos de fotosíntesis por unidad de clorofila (P^B) en época fría ($3.37 \text{ mgC mgCl a}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^2$) y cálida ($2.08 \text{ mgC mgCl a}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^2$). El fitoplancton presentó mayores abundancias en épocas frías y concentraciones entre las 11,200 y 161,000 cel/l y de 5,000 a 35,000 cel/l en épocas cálidas, compuesta principalmente por diatomeas penadas y centrales. Los valores más altos de las pendientes iniciales de la curva (α^B) se encontraron en el Golfo de Santa Clara en la condición de transición de mareas vivas a muertas en la época fría, con un valor medio de $0.031 \text{ mgC mgCl a}^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$, y de $0.019 \text{ mgC mgCl a}^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$, en época cálida con transición de muertas a vivas. Encontrando así que la POP en la región del DRC, está fuertemente controlada por los efectos que origina la marea.

INDICE

	Pag.
Introducción.....	1
Área de estudio.....	4
Objetivos.....	6
Metodología.....	6
Productividad orgánica primaria.....	7
Clorofila a.....	7
Curvas y parámetros P-E.....	8
Abundancia fitoplanctonica.....	8
Condiciones de marea.....	9
Irradiancias en la zona de estudio.....	12
Resultados.....	16
Productividad orgánica primaria.....	16
Clorofila a.....	25
Curvas y parámetros P-E.....	29
Abundancia fitoplanctonica.....	36
Discusiones.....	43
Conclusiones.....	52
Recomendaciones.....	53
Referencias.....	54
Apéndice I.....	58

Lista de figuras

	Pag.
Figura 1. Área de Estudio, y estaciones de muestreo (A) Santa Clara (B) San Felipe.....	2
Figura 2. Condición de la marea en las fechas de muestreo A) febrero de 1991, B) mayo de 1991, los experimentos están señalados con (■).....	10
Figura 3. Condición de la marea en las fechas de muestreo A) abril de 1998, B) noviembre de 1999, C) febrero del 2000, los experimentos están señalados con (■).....	11
Figura 4. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en febrero de 1991.....	19
Figura 5. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en mayo de 1991. El máximo para el Golfo de Santa Clara fue de $77.87 \text{ mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ el 20 de mayo las 00:00 hrs y para San Felipe fue de $27.787 \text{ mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ el 17 de mayo a las 16:00 hrs.....	20
Figura 6. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (♦) en abril de 1998.....	23

Figura 7.	Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (♦) en noviembre de 1999.....	23
Figura 8.	Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (♦) en febrero del 2000.....	24
Figura 9	Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de Chl <i>a</i> (mg m ⁻³), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en febrero de 1991. El máximo para el Golfo de Santa Clara fue de 75.37 mg m ⁻³ el 12 de febrero a las 12:00	27
Figura 10.	Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de Chl <i>a</i> (mg m ⁻³), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en mayo de 1991.....	28
Figura 11	Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de P ^B (mgC mg Chl <i>a</i> ⁻¹ h ⁻¹), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■), en febrero de 1991.	30
Figura 12	Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de P ^B (mgC mg Chl <i>a</i> ⁻¹ h ⁻¹), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en mayo de 1991.	31

Figura 13	Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de α^B ($\text{mgC mg Chl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en febrero de 1991.....	34
Figura 14	Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de α^B ($\text{mgC mg Ch } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en mayo de 1991.....	35
Figura 15	Abundancia de la estructura fitoplanctonica de los experimentos realizados en el Golfo de Santa Clara, en febrero de 1991.....	38
Figura 16	Abundancia de la estructura fitoplanctonica de los experimentos realizados en el Golfo de Santa Clara, en Mayo de 1991.....	39
Figura 17	Abundancia de la estructura fitoplanctonica de los experimentos realizados en el Golfo de Santa Clara, en noviembre de 1999.....	40
Figura 18	Abundancia de la estructura fitoplanctonica de los experimentos realizados en el Golfo de Santa Clara, en febrero del 2000.....	41

Lista de Tablas

Tabla I.	Irradiancias utilizadas con luz artificial para las diferentes campañas de muestreo; San Felipe en febrero y mayo de 1991; Santa Clara febrero 1991.....	13
Tabla II.	Irradiancias con luz artificial, utilizadas para la campaña de muestreo de Santa Clara, mayo de 1991.....	13
Tabla III.	Irradiancias de luz natural utilizadas para la campaña de muestreo en abril de 1998.....	14
Tabla IV.	Irradiancias de luz natural utilizadas para la campaña de muestreo de noviembre de 1999.....	14
Tabla V.	Irradiancias de luz natural utilizadas para la campaña de muestreo de febrero del 2000.....	15
Tabla VI.	Resultados de los Parámetros y condiciones de los muestreos.	42

Introducción.

El Delta del Río Colorado (DRC) se ha descrito como un área de alta productividad orgánica primaria (POP) y alto interés ecológico (León-Portilla, 1972). Se encuentra localizado entre los 31° 41' y 31° 53' de latitud Norte y los 114° 03' y 115° 03' de longitud Oeste, entre los estados de Sonora y Baja California, en la parte superior del Golfo de California (Fig. 1).

El DRC es una área de reproducción y crianza de especies económicamente importantes como lo son, el camarón (*Litopenaeus stylirostris* y *Farfantepenaeus californiensis*), la curvina boca amarilla (*Atractoscion nobilis*), lo que hace que el Alto Golfo de California (AGC), tenga una alta actividad pesquera. La producción camaronera en la región esta sostenida por la POP, ya que este es uno de los principales factores que soportan la cadena trofica para su desarrollo y subsistencia (Edwards, 1978).

El AGC es hábitat de especies consideradas en peligro de extinción, como lo son la totoaba (*Cynoscion macdonaldi*) y el delfín vaquita (*Phocoena sinus*) (Rojas-Bracho,1998), siendo estos aspectos solo algunos de los considerados para que esta zona fuera establecida por decreto presidencial el 10 de Junio de 1993 como “Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado”. Desde entonces se han atendido una gran diversidad de aspectos de manejo y protección en la reserva con el apoyo y participación en más de 50 proyectos de investigación básica y aplicada, además de diversas actividades con la colaboración y apoyo de instancias federales, organizaciones no-gubernamentales, instituciones de investigación y educación superior y organizaciones sociales y privadas (Campoy-Favela, 1999).

La sobre explotación del camarón, totoaba y otras especies comerciales, los efectos no cuantificados del cambio climático global sobre la variabilidad de especies marinas, aunados a la disminución del aporte de agua dulce por el Río Colorado han contribuido al decaimiento en la producción pesquera de la región (Programa de manejo reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado,1994), por lo que recientemente ha existido interés por parte de las sociedades cooperativas e iniciativa privada para establecer cultivos comerciales de camarón en zonas adyacentes al DRC (Orozco-Borbón, 1995).

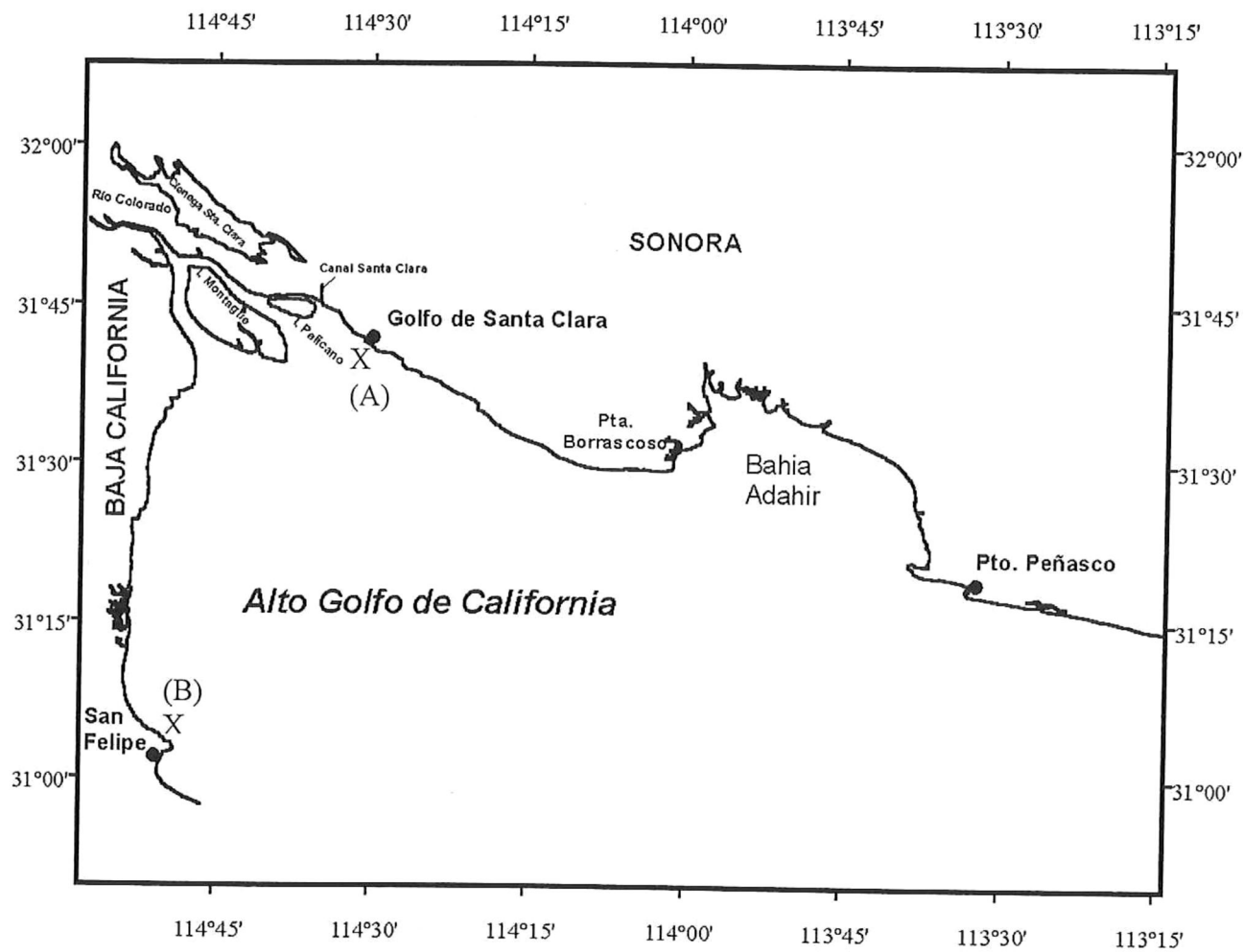


Figura 1. Área de Estudio, y estaciones de muestreo (A) Santa Clara (B) San Felipe.

Para el establecimiento de las zonas mas factibles para el cultivo de crustáceos como el camarón y moluscos bivalvos, se requiere de información científica básica como son factores fisicoquímicos, así como también la determinación espacio temporal de biomasa, además de conocer la capacidad de carga de la cadena alimenticia en un ecosistema, la cual puede ser evaluada mediante la estimación de la variación de los descriptores en su base autotrófica como son la abundancia fitoplanctonica; concentración de clorofila y la POP (factores ecológicos y biológicos) (Millán-Núñez, *et al* 1999).

El evento ecológico fundamental en el océano es la conversión de la energía solar en energía bioquímica, mediante el proceso de fotosíntesis (Platt *et al* , 1984), siendo la POP de gran importancia por su papel primordial en la cadena trófica en el mar. En consecuencia, las comunidades fitoplanctónicas con su alto dinamismo asumen una función principal en los ecosistemas marinos. La capacidad fotosintetizadora del fitoplancton no es una interacción elemental estímulo-respuesta, sino que esta estructurada por una serie compleja de eventos entre la fotosíntesis e irradiancia (Silva-Cota, 1987).

La POP en el DRC podría estar limitada por la poca penetración de la luz en la columna de agua, sin embargo se ha reportado que la actividad fotosintética fitoplanctónica está asociada a variaciones de mezcla vertical dando como resultado la adaptación del fitoplancton a la luz sombra por ciclos endógenos mediante cambios en la concentración de clorofila *a* por célula. (Beardall y Morris, 1967; Legendre *et al.*, 1985; Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1996). Perry *et al.*, (1981), establecen que existe una respuesta de las poblaciones fitoplanctónicas a las bajas intensidades de luz, la cual consiste en un aumento del tamaño de la unidad fotosintética.

La relación entre la fotosíntesis del fitoplancton e irradiancia luminosa se comporta generalmente como una curva en donde existe un incremento inicial más o menos lineal en la fotosíntesis con la iluminación creciente seguido por un máximo a irradiancias intermedias (P_m), el cual normalizado por unidad de clorofila se conoce como número de asimilación (P_m^B) (Torres-Moye, 1985).

La curva fotosíntesis-irradiancia (P-E) es la piedra angular dentro del estudio de la ecología del fitoplancton. Es empleada para analizar las respuestas de adaptación del fitoplancton a condiciones ambientales y en el modelado integral de la fotosíntesis dependiendo de la profundidad en la columna de agua (Yentsch, 1980).

Los cambios en los parámetros que caracterizan la relación P-E en poblaciones fitoplanctónicas naturales corresponden a características fisiológicas de los organismos y pueden ser relacionados a cambios en las variables ambientales (luz, nutrientes, temperatura, corrientes etc.), empleándose esta covariación para conocer la importancia relativa de las variables ambientales en la regulación de la fotosíntesis (Harrison *et al.*, 1980), por lo que el presente trabajo pretende contribuir al conocimiento de la POP de la región del DRC, así como la estimación de parámetros fotosintéticos: fotosíntesis máxima (P_m^B) y pendiente inicial de la curva (α^B).

Área de estudio

Las mareas en la región del DRC, al igual que en el AGC son predominantemente del tipo semidiurno, con intervalos de amplitud de aproximadamente 9 metros, considerándose entre las mayores del mundo (Bourillón-Moreno *et al.*, 1988). El AGC posee una forma casi triangular (Lepley *et al.*, 1975 en Mascorro, 1994). Carraquiry *et al.* (1992) establecieron que la asimetría entre el flujo y refluo es provocada por la fricción de la onda de marea con el fondo y bordes del estuario.

Álvarez-Borrego *et al.* (1975) mencionaron que el fondo del AGC tiene una topografía muy irregular, con una serie de canales y bajos con dirección noroeste, mejor desarrollados hacia lo que es la boca del Río Colorado.

En la región del DRC, la temperatura ambiental va desde los 0 a los 55° C con un promedio anual de 23° C, con lluvias especialmente en verano (Contreras, 1988). El clima es árido, con escaso periodo de lluvias y baja humedad, la tasa de evaporación promedio estimada para la parte norte del Golfo de California es de 0.9 mm año⁻¹ (Lavin y Organista, 1988), mientras que la precipitación promedio anual es solamente de 68 mm año⁻¹ (Miranda-Reyes *et al.*, 1990).

En el DRC, la concentración de nutrientes es alta y no es un factor limitante para la productividad orgánica primaria (Barocio-León, 1991), debido principalmente a que en este cuerpo costero la alta energía cinética turbulenta, mantiene en suspensión sedimentos terrígenos, dando como resultado la fertilización de las capas superiores (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1996).

La resuspensión de sedimentos en la zona del delta produce gran turbidez. Se han observado valores de coeficiente de extinción de la luz, tan bajos como -0.05 m^{-1} y una carga sedimentaria con máximos de 8 g/l (Zamora-Casas, 1993). A pesar de estas condiciones se han reportado valores de clorofila de 5 mg m^{-3} y máximos de productividad primaria de $76 \text{ mgC m}^{-3}\text{h}^{-1}$ (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1996). Esta alta productividad puede obedecer a mecanismos de fotoadaptación del fitoplancton que capta la energía solar eficientemente durante los breves instantes que los procesos turbulentos lo llevan hasta la superficie (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1996). Así mismo, se han encontrado biomasa bacterianas de $240 \text{ mgC m}^{-3}\text{h}^{-1}$, y tasas de crecimiento bacteriano extremadamente altas, lo que ha permitido definir este ecosistema como heterotrófico (Orozco-Borbón, 1995).

Hernández-Ayón (1993), reportó concentraciones de nutrientes para el periodo de Junio de 1989 a mayo de 1990, con un intervalo anual promedio de nitratos de 16 a $37 \mu\text{M}$, nitritos de 0.3 a $8.7 \mu\text{M}$ y silicatos de 39 a $66 \mu\text{M}$, también mencionando 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 2 épocas estacionales, con valores menores en verano y mayores en invierno.

Millán-Núñez *et al.*, (1999) llevaron a cabo un muestreo temporal por un periodo de ocho días consecutivos con toma de muestras de mar para la estimación de la concentración de clorofila y producción primaria, en una estación en el Delta del Río Colorado. Los valores de producción primaria en la serie de tiempo presentaron una tendencia a incrementarse durante la transición de la marea hasta de $76 \text{ mgC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. La variación de la concentración de clorofila y la productividad primaria están fuertemente regidas por los efectos ocasionados por las corrientes de marea (Barocio-León, 1991).

Objetivos:

Estimar la POP del fitoplancton y caracterizar la variación temporal de los parámetros fotosintéticos, P_m^B y α^B para 2 localidades en la Región del Delta del Río Colorado.

Metodología

Se realizaron 7 campañas de muestreo en la región del DRC, 5 se realizaron en la estación (A) ubicada en el Golfo de Santa Clara y 2 en la estación (B) ubicada en San Felipe (Figura 1), estos muestreos fueron clasificados según la época en que se realizaron, en fríos o cálidos, las fechas de muestreo fueron las siguientes:

Golfo de Santa Clara del 10 al 17 de febrero de 1991 (época fría).

San Felipe del 10 al 17 de febrero de 1991 (época fría).

Golfo de Santa Clara del 15 al 22 de mayo de 1991 (época cálida).

San Felipe del 15 al 22 de mayo de 1991 (época cálida).

Golfo de Santa Clara del 23 al 24 de abril de 1998 (época de transición de fría a cálida).

Golfo de Santa Clara del 21 al 24 de noviembre de 1999 (época fría).

Golfo de Santa Clara del 17 al 19 febrero del 2000 (época fría).

en las cuales la toma de las muestras fue siempre de manera subsuperficial (aprox. primeros 15 cm).

Las muestras fueron submuestreadas para la determinación de la POP, la concentración de clorofila *a*. y abundancia total del fitoplancton, se midió la irradiancia *in situ* para cada experimento. Se realizaron un total de 195 experimentos ubicados de la siguiente manera:

Golfo de Santa Clara en febrero de 1991, 44 experimentos

San Felipe en febrero de 1991, 44 experimentos

Golfo de Santa Clara en mayo de 1991, 41 experimentos

San Felipe en mayo de 1991, 43 experimentos

Golfo de Santa Clara en abril de 1998, 7 experimentos

Golfo de Santa Clara en noviembre de 1999, 8 experimentos

Golfo de Santa Clara en febrero del 2000, 8 experimentos

Los experimentos de San Felipe en febrero y mayo de 1991, Golfo de Santa Clara en febrero y mayo de 1991 y el de abril de 1998, fueron generados por el equipo de trabajo de el proyecto de investigación “Productividad fitoplanctónica y bacteriana en la región del Delta del Río Colorado”, de la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, el cual contó con el apoyo de CONACYT, con numero de convenio D112-904320. y los demás se realizaron con el apoyo de la UABC.

Productividad orgánica primaria

Las estimaciones de POP se realizaron mediante incubaciones por duplicado en botellas BOD de 125 ml, inoculadas con 3 μCi de $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ e incubadas a diferentes irradiancias durante 90 minutos; posterior a la incubación se llevo acabo el filtrado de las botellas con filtros de membrana con un poro de 0.45 μm y 25 mm de diámetro. Los filtros fueron expuestos a vapores de HCl concentrado, para la eliminación de ^{14}C no asimilado, para luego colocar los filtros en viales de centelleo, con 15 ml de Ecolume (solución de centelleo de tipo betafase), y fueron almacenados en un lugar fresco y oscuro, posteriormente en el laboratorio fueron leídos con un contador de centelleo Beckman LS 5000 TD y posteriormente, el calculo de la POP se realizo siguiendo los pasos del manual de Parsons *et al.*, (1985).

Los experimentos de productividad en todas las campañas de muestreo fueron realizados por duplicado, por lo que se les aplicó a todos los experimentos una prueba de bondad de ajuste (χ^2) a un 95% de confianza, con la finalidad de verificar la existencia de diferencias entre en la replicas de cada experimento.

Clorofila *a*

Para la estimación de la concentración de clorofila *a*, en cada muestreo se tomaron 500 ml de agua de mar en botellas de propileno de alta densidad oscuras, esto

para proteger la muestra de los rayos del sol y evitar alteraciones de los pigmentos fotosintéticos, además se les adicionaron 3 gotas de una solución de carbonato de magnesio saturado para evitar el deterioro de la clorofila. Posteriormente las muestras fueron filtrados a través de filtros de nitrocelulosa de 0.45 μm de tamaño de poro y 47 mm de diámetro, utilizando una bomba de vacío (Millán-Núñez *et al.*, 1978). Los filtros usados fueron guardados en papel aluminio y congelados para su posterior análisis en laboratorio. Los filtros fueron colocados en tubos de plástico para centrifuga, aforados a 10 ml de acetona al 90% como solvente; se cubrieron con papel aluminio y se colocaron en refrigeración por 12 hrs. Después se centrifugaron durante 10 min. aproximadamente a 2500 rpm. Las muestras se leyeron a diferentes longitudes de onda (750, 665, 645, y 630 nm), en un espectrofotómetro marca Milton Roy Spectronic modelo 2000. El Cálculo de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos se realizó en base al sistema de ecuaciones descritas por (Millán-Núñez *et al.*, 1978). Es importante mencionar la pérdida de las muestras de las salidas realizadas en abril de 1998, noviembre de 1999 y febrero del 2000.

Curvas y parámetros P-E

Los valores de fotosíntesis fueron normalizados por unidad de clorofila *a* (P^B) para construir las curvas P-E, utilizando el modelo descrito por Jassby *et al.*, 1976.

$$P(I) = P_M (I/I_{opt}) \text{ EXP}^{(1-(I/I_{opt}))}$$

La α^B se determino mediante análisis de regresión simple de los valores de P^B e Irradiancia, para las 2 incubaciones de más baja irradiancia y suponiendo que P^B igual a cero cuando la Irradiancia igual a cero. P_m^B se determinó de las curvas P-E, calculando el promedio de los P^B más altos. Se generaron un total de 195 gráficos de POP ($\text{mgC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) vs. Irradiancia ($\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de las 7 campañas realizadas y otras 131 graficas normalizadas por unidad de clorofila *a* P^B ($\text{mgC mgCl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$) vs. Irradiancia ($\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de las salidas realizadas en 1991, ya que para estas se cuenta con valores de clorofilas.

Abundancia del fitoplancton

Para estimar la abundancia del fitoplancton, se tomó agua de mar en botellas Nalgene de propileno de alta densidad oscuras de 250 ml y se les agregó 2.5 ml de lugol

con acetato de sodio de acuerdo a Descolas-Gros (1978), después se cerraron las botellas herméticamente protegiéndolas de la luz. Las muestras fueron analizadas según la técnica Utermöhl, empleando un microscopio invertido marca Kal-Zeiss.

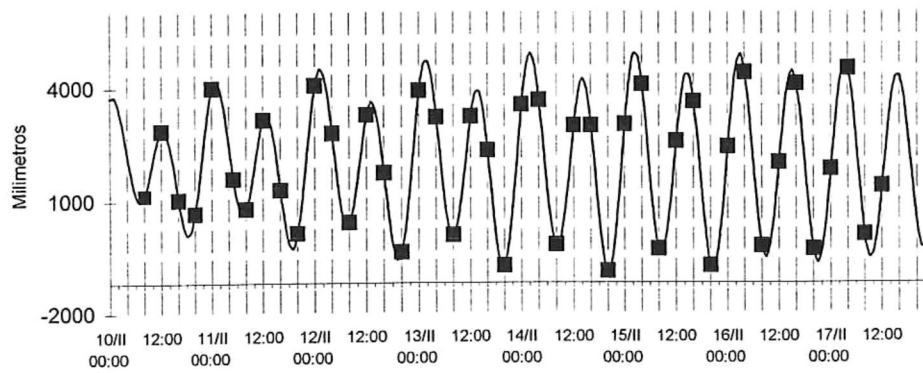
Los volúmenes de sedimentación se determinaron en base a la metodología sugerida por Santamaría-del-Ángel (1989), la cual contempla la estimación de los taxa bien representados en un volumen pequeño, en este caso de 5ml con un aumento de 200X, para taxa grandes. Para los taxa pequeños un aumento de 400X en un transecto diagonal. Se obtuvo abundancia a nivel genero, empleando para su identificación las guías de Cupp (1943), Licea-Duran (1974), Taylor(1976) y Vinyard (1979).

Por otro lado, se utilizaron también los datos de abundancia de fitoplancton generados por De la peña-Nettel (1991), para los meses de febrero y mayo de 1991, en los que la colecta de muestras se hizo cada 24 hrs, a las 8:00 hrs del día asignándole un número progresivo del 1 al 8 para cada periodo de muestreo.

Condiciones de marea

El muestreo realizado el 10 de febrero de 1991 se inició en condiciones de marea muerta, la cual cambio a marea viva hacia el cuarto día de muestreo que fue el 13 de febrero de 1991. (Figura 2A). El muestreo del 15 de mayo de 1991 se inició a las 8:00 hrs, en condiciones de mareas vivas, permaneciendo así hasta el 18 de mayo , cambiando a mareas muertas para el resto del muestreo (Figura 2B). El muestreo del 23 al 24 abril de 1998 se inició a las 11:00 hrs las condiciones del muestreo fueron de mareas vivas, siendo de mayor amplitud la condición de marea viva para el día 24 que para la del 23, se realizaron un total de 8 experimentos de POP (Figura 3A). El muestreo del 21 al 24 de noviembre de 1999 se inició a las 16:00 hrs, ubicándose toda la campaña de muestreo, bajo un a fuerte influencia de las mareas vivas, se realizaron un total de 8 experimentos de POP (Figura 3B). El muestreo del 17 al 19 de febrero del 2000 inició a las 8:00 hrs en condiciones de mareas vivas, iniciando esta condición el día 16 y llegando a su máximo el día 20, se realizaron un total de 8 experimentos de POP (Figura 3C).

A)



B)

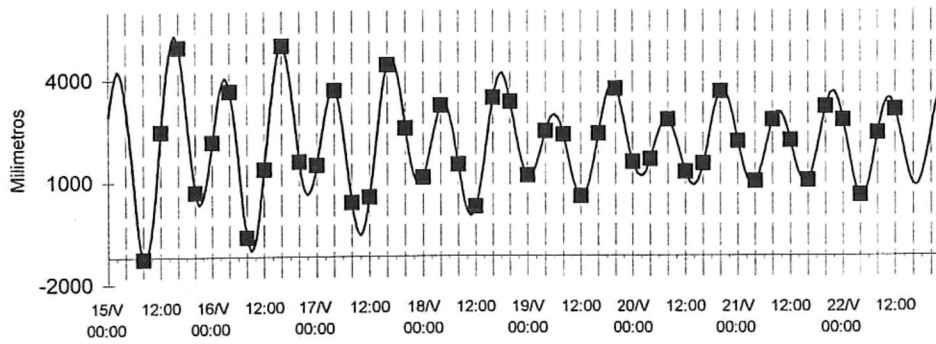


Figura 2. Condición de la marea en las fechas de muestreo A) febrero de 1991, B) mayo de 1991, los experimentos están señalados con (■).

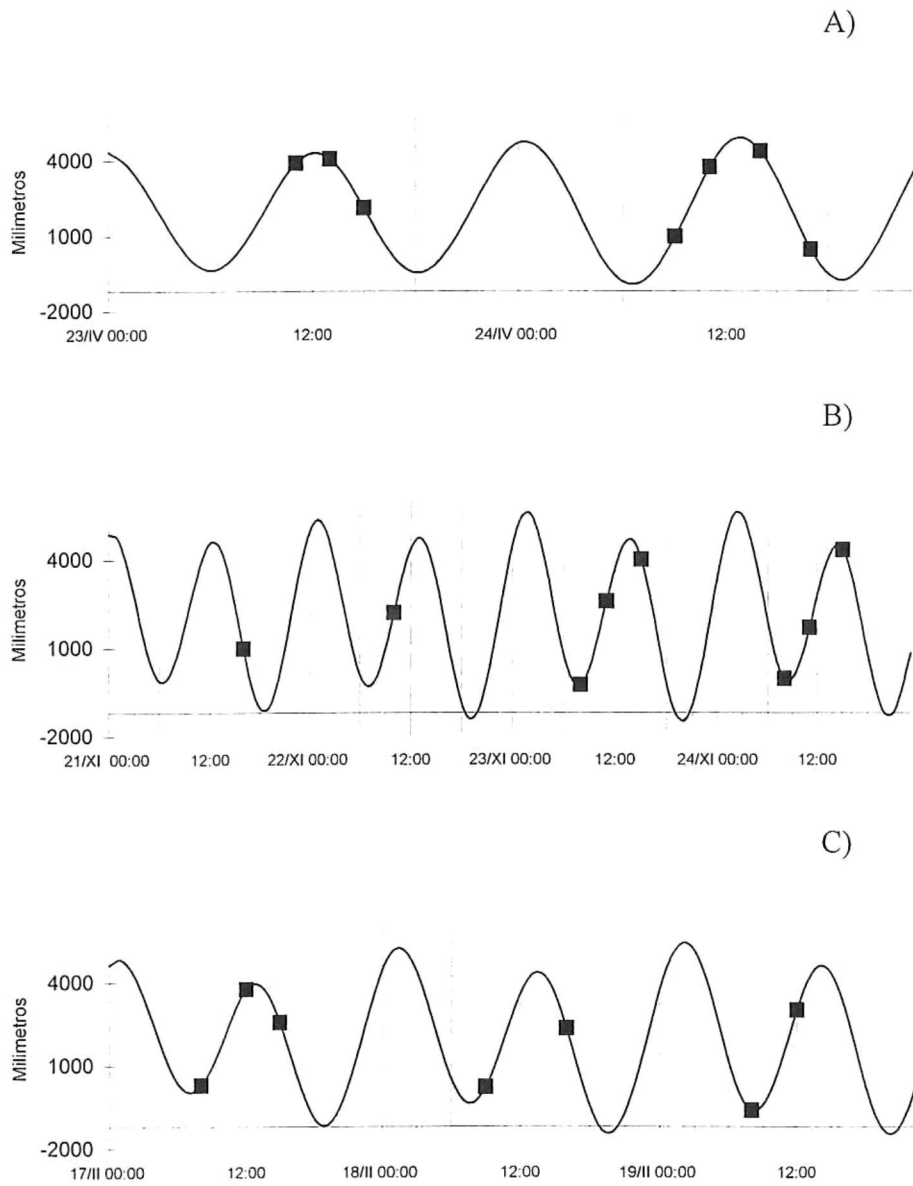


Figura 3. Condición de la marea en las fechas de muestreo A) abril de 1998, B) noviembre de 1999, C) febrero del 2000, los experimentos están señalados con (■).

Irradiancias en la zona de Estudio

A partir de las irradiancias medidas en el campo para cada una de las fechas de muestreo; se generaron tablas con sus correspondientes valores de la cantidad de luz, para cada uno de las celdas. En las campañas de muestreo de San Felipe para febrero y mayo de 1991 al igual que para el Golfo de Santa Clara en febrero, se utilizó luz artificial con un intervalo de irradiancia de 92 a 230 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabla 1), y en el Golfo de Santa Clara para mayo de 1991 de 38.5 a 340.6 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabla 2).

Para la campaña de muestreo realizada en abril de 1998 en el Golfo de Santa Clara los intervalos de irradiancia fueron de 67.6 a 1526.3 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ encontrándose estos valores dentro de los más altos de todas las campañas de muestreo (Tabla 3).

En lo referente a la campaña de muestreo realizada en El Golfo de Santa Clara para noviembre de 1999 se encontraron un intervalo de valores en irradiancia de 0.8 a 888.7 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (tabla 4), es importante mencionar que en el experimento en donde se registró la irradiancia de 0.8 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fue registrado a las 17:00 hrs de un día bastante nublado.

Para el muestreo realizado en febrero del 2000 en el Golfo de Santa Clara el intervalo de irradiancias fue de 9.7 a 1062.6 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabla 5). las condiciones generales fueron de nublados continuos.

Campaña de muestreo	Botella 1 40.21% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 2 60.38% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 3 80.43% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 4 100% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$
San Felipe febrero de 1991	92	138	184	230
San Felipe mayo de 1991	92	138	184	230
Santa Clara febrero de 1991	92	138	184	230

Tabla I. Irradiancias utilizadas con luz artificial para las diferentes campañas de muestreo; San Felipe en febrero y mayo de 1991; Santa Clara febrero 1991.

Campaña de muestreo	Botella 1 11.33% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 2 13.19% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 3 16.89% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 4 21.93% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 5 29.80% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 6 42.99% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 7 60.50% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Botella 8 100% $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Santa Clara Mayo de 1991	38.5	44.9	57.54	74.7	101.5	146.4	206.1	340.6

Tabla II. Irradiancias con luz artificial, utilizadas para la campaña de muestreo de Santa Clara, mayo de 1991.

% de luz	Exp 1 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 2 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 3 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 4 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 5 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 6 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 7 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Tubo 1 10%	135.2	152.6	119.8	88.9	148.8	139.1	67.6
Tubo 2 22%	297.5	335.8	263.5	195.5	327.3	306.0	148.8
Tubo 3 60%	811.4	915.8	718.7	533.2	892.6	834.6	405.7
Tubo 4 80%	1081.9	1221.0	958.3	711.0	1190.1	1112.8	541.0
Tubo 5 100%	1352.4	1526.3	1197.8	888.7	1487.6	1391.0	676.2

Tabla III. Irradiancias de luz natural utilizadas para la campaña de muestreo en abril de 1998.

% de luz	Exp 1 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 2 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 3 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 4 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 5 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 6 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 7 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 8 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Tubo 1 10%	0.8	64.9	27.8	66.5	7.7	9.3	71.1	13.9
Tubo 2 22%	2.1	178.5	76.5	182.8	21.3	25.5	195.5	38.3
Tubo 3 60%	5.8	486.9	208.7	498.5	58.0	69.6	533.2	104.3
Tubo 4 80%	7.7	649.2	278.2	664.6	77.3	92.7	711.0	139.1
Tubo 5 100%	9.7	811.4	347.8	830.8	96.6	115.9	888.7	173.9

Tabla IV. Irradiancias de luz natural utilizadas para la campaña de muestreo de noviembre de 1999.

% de luz	Exp 1 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 2 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 3 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 4 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 5 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 6 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 7 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Exp 8 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Tubo 1 10%	9.7	19.3	23.2	34.8	29.0	29.6	14.6	106.3
Tubo 2 22%	21.3	42.5	51.0	76.5	63.8	65.0	32.0	233.8
Tubo 3 60%	58.0	115.9	139.1	208.7	173.9	177.4	87.4	637.6
Tubo 4 80%	77.3	154.6	185.5	278.2	231.8	236.5	116.5	850.1
Tubo 5 100%	96.6	193.2	231.8	347.8	289.8	295.6	145.6	1062.6

Tabla V. Irradiancias de luz natural utilizadas para la campaña de muestreo de febrero del 2000.

RESULTADOS

Productividad Orgánica Primaria

Las campañas de muestreo realizadas en el Golfo de Santa Clara y San Felipe para febrero y mayo de 1991, fueron realizadas con luz artificial y en condición de transición de mareas vivas a muertas, para el caso de mayo y en condición de inicio a vivas para febrero, es importante mencionar que en las campañas de muestreo el valor máximo de irradiancia registrado fue de $230 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabla 1), y que en la realizada en el Golfo de Santa Clara en mayo de 1991 se registro un máximo de $340.6 \mu\text{Em}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabla 2).

En la campaña de muestreo realizada en San Felipe en febrero del 10 al 17 de 1991 los valores de productividad mas altos se encontraron en los experimentos 1, 13, 16 y 20 con valores de 4.61, 11.47, 5.03 y 4.23 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ (Figura 4), respectivamente, estando ubicados todos estos valores al final de el reflujó, lo que de alguna manera sugiere que el fitoplancton que estuvo expuesto a un alto y continuo flujo turbulento, al entrar a condiciones mas estables, incrementa su actividad fotosintética. A lo largo de toda la campaña de muestreo se observó un promedio de productividad máxima de $1.50 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$, y una media de $0.93 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ siendo estos valores los mas pequeños de todas las campañas de muestreo; el día 10 de febrero inicio la condición de mareas vivas estando a su máximo el día 14 (Figura 4), por lo que esta campaña es considerada como de mareas vivas, de los experimentos realizados un 37.2% fueron realizados en condición de reflujó y un 62.8% en la condición de flujo.

Para el Golfo de Santa Clara en febrero, del 10 al 17 de 1991 se encontraron los valores de productividad mas altos en los experimentos 1, 18, 41 y 44 con valores de 30.65, 46.42, 41.83 y 59.91 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ (Figura 4), respectivamente encontrando a través de toda la campaña de muestreo un promedio de productividades máxima de $18.30 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$, una media de $16.08 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$. Los dos primeros experimentos fueron realizados en condiciones de reflujó, motivo por el cual se podrían explicar los altos valores de POP encontrados, en los otros 2 experimentos no se dio el caso de la condición de reflujó,

aunque sus valores de POP fueron muy altos (Figura 4), esto pudiera deberse a que los experimentos se llevaron a cabo en la segunda mitad de condición de flujo, situación en la que empieza a perder fuerza la energía cinética turbulenta, lo cual tiene como resultado ambientes más tranquilos con altas concentraciones de nutrientes. En general los valores de POP mostraron un incremento al inicio de la condición de mareas vivas el cual fue disminuyendo paulatinamente, conforme transcurrió la condición de marea viva.

Haciendo una comparación entre los valores de POP registrados para San Felipe y Golfo de Santa Clara se encontró que para esta última los valores de POP tuvieron un coeficiente de correlación de 0.55 contra un 0.17 encontrado en San Felipe. Lo anterior deja suponer que para este caso existe una relación entre la marea y la POP más alta en el Golfo de Santa Clara que en San Felipe.

Para las campañas de muestreo realizadas en San Felipe y Golfo de Santa Clara del 15 al 22 mayo de 1991, la condición de la marea fue para el inicio del 15 al 17, de vivas, hacia la mitad, el día 18, se dió la transición a muertas y los últimos días del 19 al 22 ya fue en condición de mareas muertas.

Para la campaña realizada en San Felipe los valores de productividad más altos se encontraron en los experimentos 12, 15, 18, 19 y 39 con valores de 12.58, 27.70, 11.04, 13.45 y 10.82 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ (Figura 5), respectivamente, encontrando a través de toda la campaña de muestreo un promedio de máxima productividad de 6.63 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ y una media de 6.46 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ además de encontrar que un 53.3% de los experimentos se realizaron en condición de reflujos y un 46.7% en flujo; el valor más alto que fue el de el experimento 15 con un valor de 27.70 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ que se registró exactamente en el último flujo de la condición de mareas vivas, valor originado tal vez por una combinación entre la alta concentración de nutrientes y una disminución en las intensidades de las corrientes de marea, lo cual propicia una menor turbidez en el agua y por ende mayor cantidad de luz llega a los organismos fitoplanctónicos. De los experimentos de mayor producción en condición de flujo fueron el 15 el cual ya se discutió y el 18 los cuales fueron realizados hacia el final del flujo, punto caracterizado por una disminución de las corrientes de marea. Los otros 3 experimentos (12, 19 y 39) fueron realizados en condición de reflujos, en general los valores registrados para esta condición fueron muy homogéneos, el valor más alto

registrado, fue el de el experimento 19 con un valor de $13.45 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ registrado hacia el final de la condición de reflujos (Figura 5).

En lo referente al Golfo de Santa Clara, los valores de productividad mas altos fueron encontrados en los experimentos 8,13,14 y 29 con valores de 11.53, 14.27, 11.83 y $77.87 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (Figura 5), respectivamente encontrando a través de toda la campaña de muestreo un promedio de productividad máxima de $5.96 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y una media de $3.33 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, de los experimentos realizados en la campaña un 53.3% se realizaron en condición de reflujos mientras que el 46.7 % restante, en condición de flujo. El valor mas alto encontrado fue de $77.87 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, en el experimento 29 en condición de reflujos, valor que es un tanto complicado explicar su origen ya que haciendo una comparación entre experimentos en las mismas condiciones, como seria el caso del experimento 35 en el que la productividad fue tan solo de $3.09 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (Figura 5), estas diferencias solo pueden deberse a la distribución que usualmente presenta el fitoplancton, que es en forma de parches, que son transportados con rapidez por las corrientes de marea.

Con la finalidad de buscar un patrón o una relación entre la marea y la POP se realizo un coeficiente de correlación entre los datos obtenidos y la marea, encontrando una correlación para San Felipe de 0.39, mientras que para el Golfo de Santa Clara fue de 0.17.

Comparando los datos obtenidos para las 2 localidades se observa una tendencia en general de incremento de la POP, cuando la marea avanza de vivas a muertas, y fueron en general mas altos los valores para San Felipe que para Santa Clara.

En la campaña realizada en abril los días 23 y 24 de 1998 en el Golfo de Santa Clara en condición de mareas vivas, se encontraron valores altos de POP para los experimentos 2, 3, 4, 6 y 7 con valores de 52.79, 45.12, 31.74, 71.30 y $27.53 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (Figura 6), respectivamente, encontrando a través de toda la campaña de muestreo un promedio de los máximos de productividad de $35.48 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y una media de $31.74 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ todos estos experimentos a excepción del 4 fueron realizados en condición de marea de reflujos, lo cual explica las altas producciones encontradas, aunado esto, a las altas irradiancias que

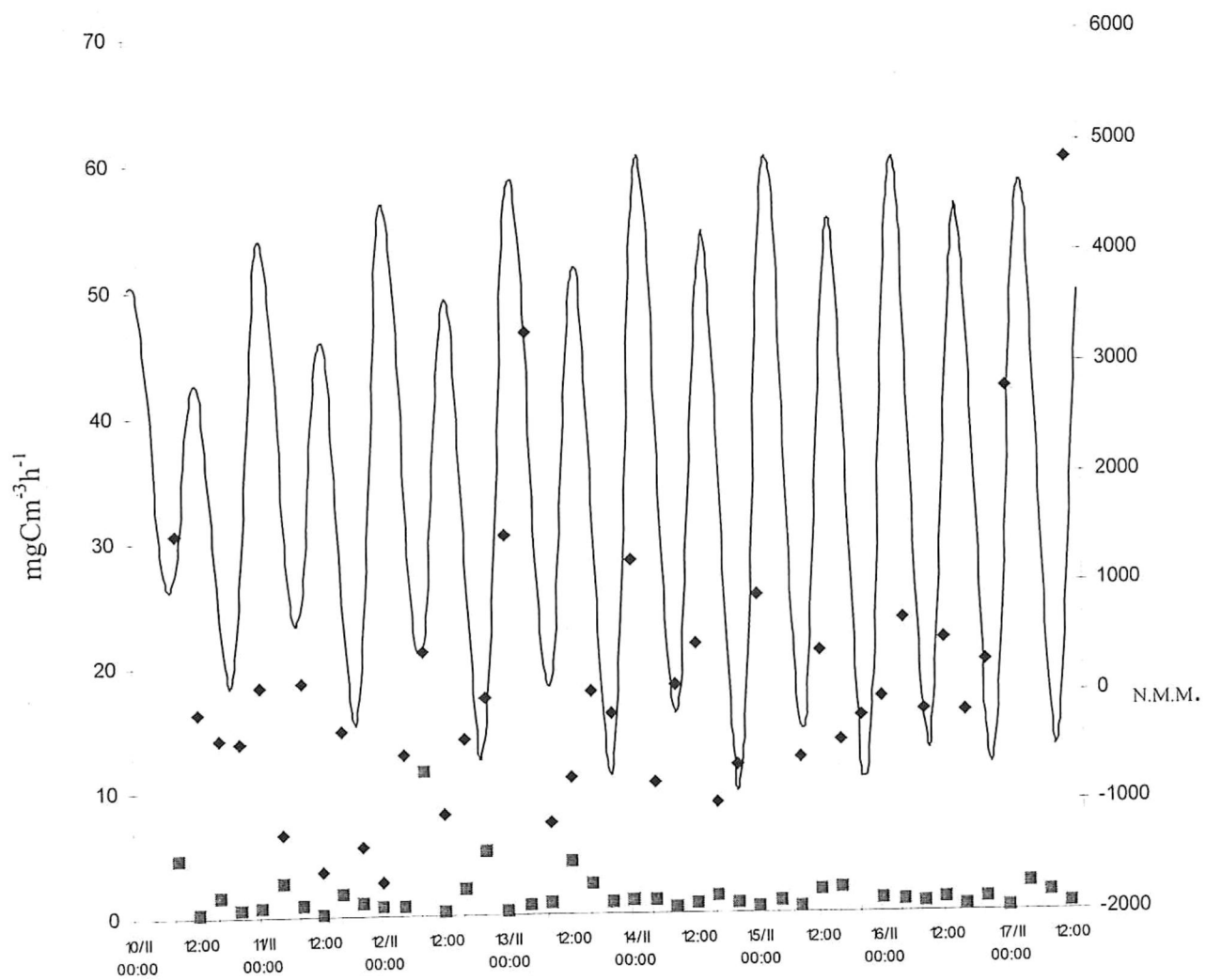


Figura 4. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (◆) y San Felipe (■) en febrero de 1991.

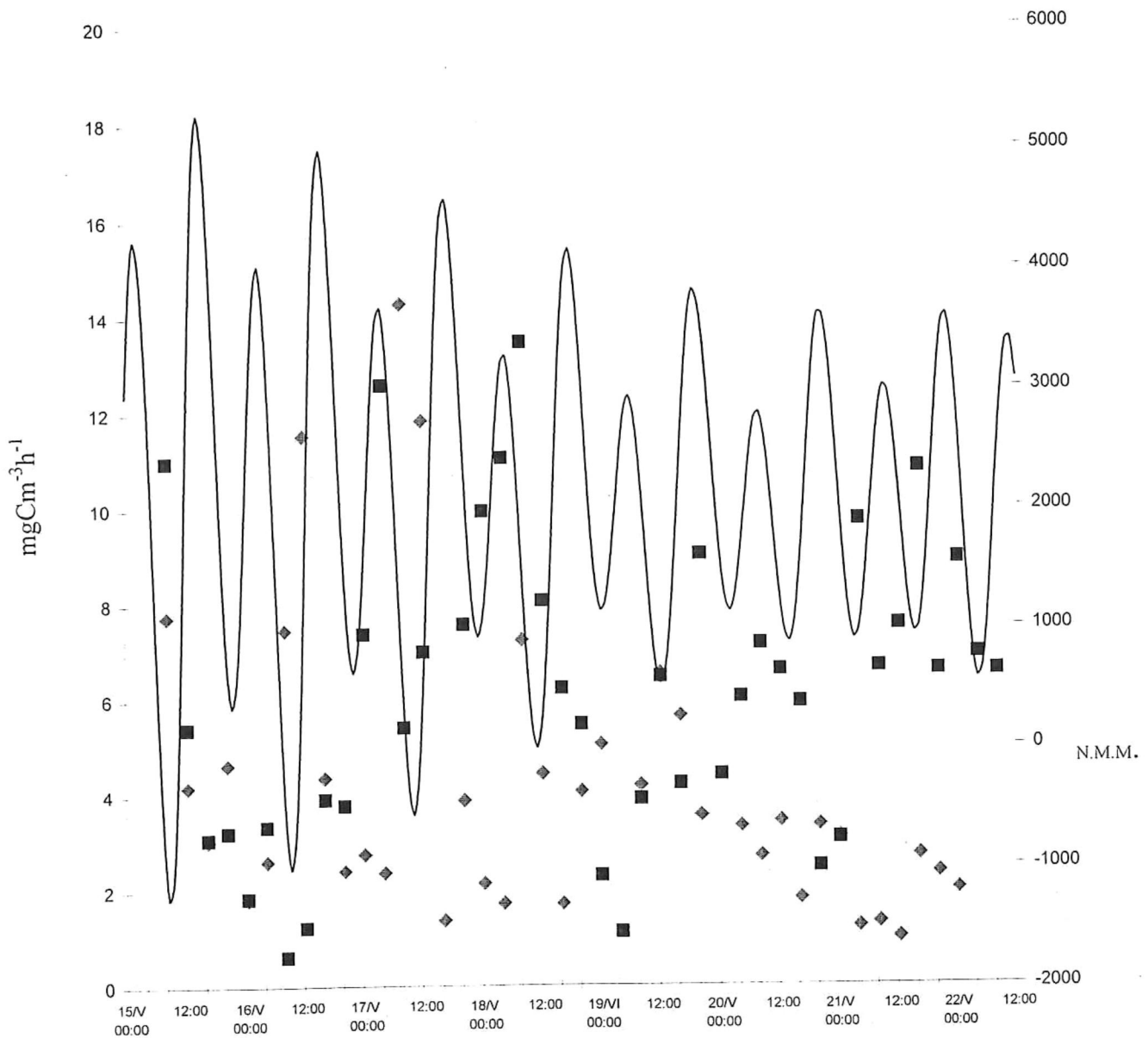


Figura 5. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (◆) y San Felipe (■) en mayo de 1991. El máximo para el Golfo de Santa Clara fue de $77.87 \text{ mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ el 20 de mayo las 00:00 hrs y para San Felipe fue de $27.787 \text{ mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ el 17 de mayo a las 16:00 hrs(fuera de la escala).

van desde los 152.6 a los 676.2 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ de luz natural. En el experimento 4 se encontró la mayor de las producciones en lo referente a la condición de marea de flujo tal vez por que para ese experimento se tuvo una irradiancia de 888.7 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ la cual podría ser considerada como alta en comparación con las demás, además de que el cambio de la condición de reflujó a flujo ocurrió a las 7:33 am. según las tablas de mareas, y la toma de la muestra se realizo a las 8:55 am. existe una diferencia de 1 hora 22 minutos aproximadamente.

El experimento 1 y 5 se realizaron en condiciones de flujo siendo estos experimentos los de menor productividad aunque con irradiancias de 135.2 y 1478.6 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabla 3) respectivamente, estos valores de irradiancia pueden ser considerados como muy altos haciendo una comparación con todas las demás campañas de muestreo, se encontró un promedio de 1217.1 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ a través de toda la campaña de muestreo.

Los experimentos realizados los días 21, 22, 23 y 24 de noviembre de 1999, en el Golfo de Santa Clara fueron en condición de mareas vivas a través de todo el muestreo, se encontraron valores de POP extremadamente altos en los experimentos 2, 4, 5 y 7 con valores de 145.05, 107.82, 99.65 y 124.88 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ (Figura 7), respectivamente, encontrando un promedio de máxima productividad de 73.25 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ y una media 89.25 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$, en esta campaña de muestreo los 3 valores mas altos fueron encontrados bajo condiciones de flujo, todos las muestras fueron tomadas durante la primera mitad de la condición de flujo, por lo que las velocidades de la corriente no fueron las máximas y tal vez el agua en ese punto tuviera influencia del reflujó anterior, aunado a esto, las irradiancias registradas para estos experimentos (2, 4 y 7) fueron las mas altas, de 811.4, 830.8 y 888.7 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabla 4) respectivamente, valores que fueron registrados durante el 22, 23 y 24 de noviembre de 1999, entre las 10:15 y 10:55 hrs del día, fue en estos únicos experimentos en donde se registro la menor cobertura de nubes. En el experimento 5 y 8 se encontraron altas producciones en condición de reflujó, con 99.65 y 78.86 $\text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ respectivamente a irradiancias de 96.6 y 173.9 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ respectivamente, debido quizás a que posiblemente la toma de muestra para la incubación coincidió con una alta concentración de fitoplancton, esto debido a la alta variación durante el ciclo semidiurno y a la distribución en forma de parches, que son transportados con rapidez por las corrientes

de marea; lo anterior es considerado debido a que en estos experimentos en especial en el que se registro un valor de irradiancia de $96.6 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$, (Tabla 4) el cual no es un valor muy alto, que fue registrado en condiciones de alta nubosidad, que presento el valor de producción mas alto, en contraste con el que presentó una irradiancia de $347.8 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ (experimento 3), y una producción de $10.55 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ (Figura 7) en condición de flujo. El valor mas pequeño de producción ($5.85 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$), que se registró fue en el experimento numero 1, el cual se realizo en condición de reflujos aunque a una hora no muy adecuada (16:00 hrs) ya que el sol estaba por ocultarse, y el valor que se registro de irradiancia fue de $9.7 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$, lo cual sugiere una fuerte influencia de la luz para este experimento.

En la ultima campaña de muestreo realizada en el Golfo de Santa Clara los días 17, 18 y 19 de febrero del 2000 en condición de mareas vivas, se estimaron valores altos POP en los experimentos 1, 2, 3 y 8 con valores de 64.78, 64.79, 72.71 y $93.32 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ (Figura 8) respectivamente, teniendo un promedio de máxima productividad de $55.48 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ y una media de $55.85 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$ para toda la campaña de muestreo, el valor mas alto fue encontrado en el experimento 8 en condición de flujo con un valor de irradiancia de $1062.6 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabla 5), seguido del experimento 3 en condición de reflujos a una irradiancia de $231.8 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabla 5). El promedio de irradiancias para esta campaña de muestreo es el mas pequeño de todas las campañas realizadas, con valor de promedio de $332.7 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$, en general para esta campaña de muestreo no existe una tendencia clara en cuanto a la POP, irradiancias, posición de la marea u hora del día, debido quizás a que la luz no fue lo suficientemente fuerte como para marcar una tendencia o una diferencia apreciable entre los experimentos, aunque si fue lo suficientemente fuerte como para propiciar POP de hasta $93.32 \text{mgCm}^{-3} \text{h}^{-1}$.

En los experimentos anteriormente discutidos (Golfo de Santa Clara en abril de 1998, noviembre de 1999 y febrero del 2000) se encontraron las mayores producciones orgánicas primarias debido talvez a que se realizaron en lo mas fuerte de la condición de mareas vivas, las incubaciones se realizaron con luz natural, a diferencia del golfo de Santa Clara y San Felipe para febrero y mayo de 1991.

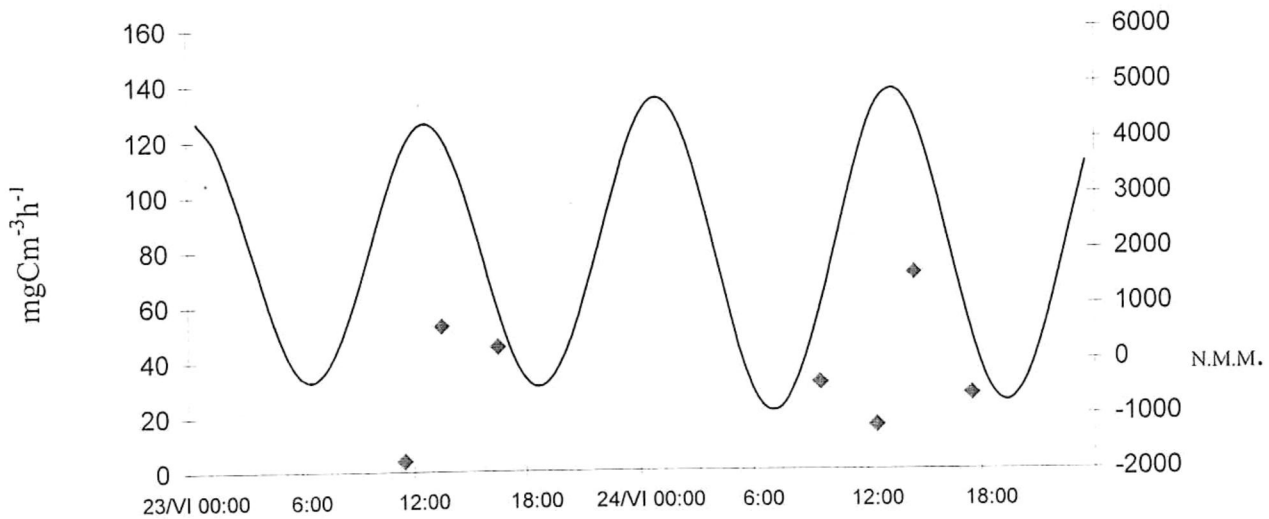


Figura 6. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (♦) en abril de 1998

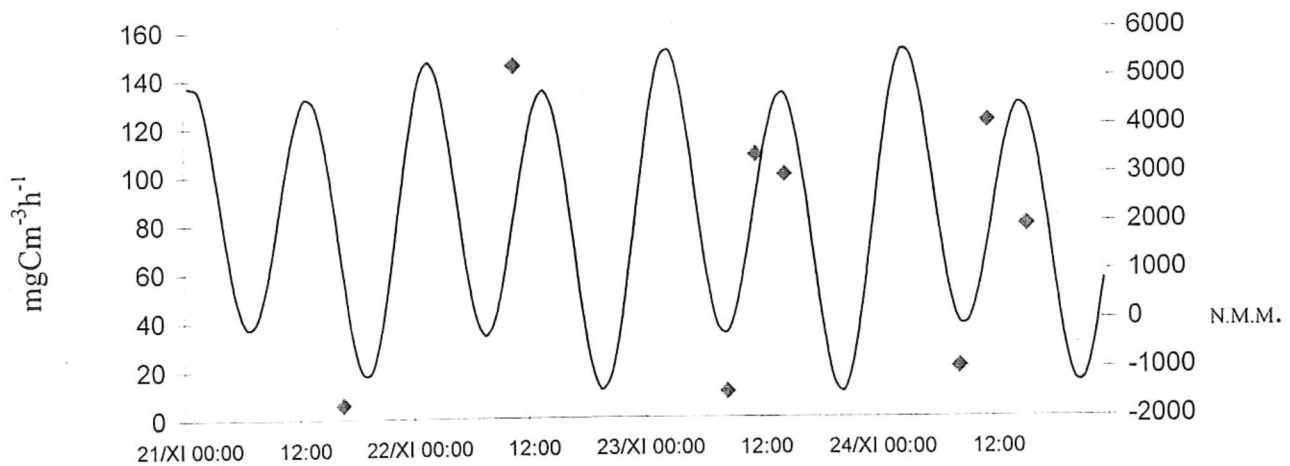


Figura 7. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (♦) en noviembre de 1999

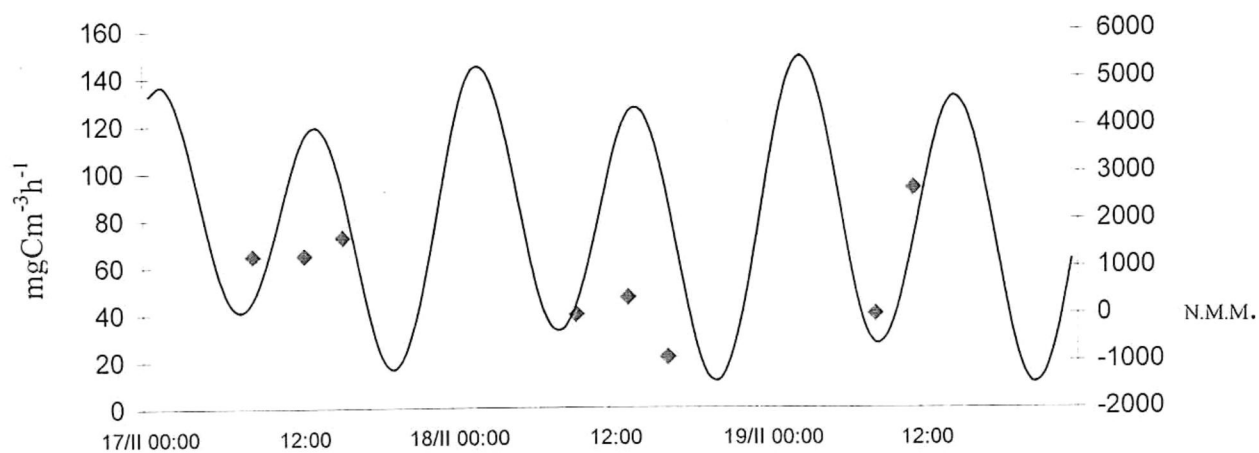


Figura 8. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de POP (asimilación de carbono), para Golfo de Santa Clara (\blacklozenge) en febrero del 2000.

CLOROFILA *a*

Para el Golfo de Santa Clara en febrero de 1991, se obtuvo una alta concentración de clorofila *a* (Chl *a*) en el experimento 14 a las 12:00 hrs, con un valor de 75.37 mg m^{-3} a diferencia del experimento 15, que presentó la menor concentración de clorofila *a* con valor de 2.40 mg m^{-3} (Figura 9), se obtuvo una concentración promedio a lo largo de toda la campaña de muestreo de 4.37 mg m^{-3} y una media de 4.27 mg m^{-3} , estos valores se obtuvieron excluyendo el valor obtenido del experimento 14. Fue raro encontrar un valor tan alto de Chl *a* en el punto de transición de mareas muertas a vivas ya que la tendencia mostrada por los valores (Figura 9), es la de un decremento en la concentración, esto ocurrió de las 00:00 hrs del día 12 de febrero hasta aproximadamente las 12:00 hrs del día 13, que fue cuando entro por completo la condición de mareas vivas, una vez entrada esta condición, las concentraciones de Chl *a* siguieron incrementándose hasta llegar a un máximo en la mitad de la condición de mareas vivas.

Para San Felipe en febrero de 1991, se obtuvo una concentración máxima de 3.20 mg m^{-3} en el experimento 43 realizado a las 8:00 hrs del día en condición de reflujo y un mínimo de concentración de 0.26 mg m^{-3} , se encontró una concentración promedio, a lo largo de toda la campaña de muestreo de 1.43 mg m^{-3} y una media de 1.33 mg m^{-3} (Figura 9). Los valores de Chl *a* para San Felipe, no muestran variaciones en sus valores tan marcadas como en Santa Clara, aunque los valores obtenidos para San Felipe, parece ser que presentan un comportamiento inverso al de las clorofilas de el Golfo de Santa Clara, muestran un incremento en la fase de cambio de la marea de muertas a vivas, el cual disminuye conforme avanza la condición de la marea hacia vivas. Del total de experimentos realizados en febrero para las 2 estaciones un 37.2 % se realizaron en reflujo y un 62.8 % en flujo

Para el Golfo de Santa Clara en mayo de 1991, el valor máximo observado fue de 23.52 mg m^{-3} (Figura 10) en el experimento 1, seguido de un valor de 22.18 mg m^{-3} en el experimento 27 y un mínimo de 0.53 mg m^{-3} encontrado en el experimento 23, se encontró una concentración promedio a lo largo de toda la campaña de muestreo de 5.45 mg m^{-3} y una media de 2.53 mg m^{-3} . Esta campaña de muestreo empezó en condición de mareas

vivas, iniciando la transición a muertas el día 19 a las 00:00 hrs, de esta hora hasta las 12:00 hrs del mismo día se registraron experimentos con altas concentraciones de Chl *a* (Figura 10) de entre los 20 y 24 mg m⁻³. Lo anterior deja suponer nuevamente que una alta concentración de nutrientes, una baja en el flujo turbulento y una menor carga sedimentaria, de alguna manera propician en algunos casos altas concentraciones de Chl *a*.

Para San Felipe en mayo de 1991, el valor máximo observado fue de 28.33 mg m⁻³ (Figura 10), registrado en el experimento numero 6 en condición de refluo y un mínimo de 2.13 mg m⁻³, se encontró una concentración promedio, a lo largo de toda la campaña de muestreo de 4.84 mg m⁻³ y una media de 3.74 mg m⁻³. Los datos no mostraron alguna tendencia o relación entre la concentración de Chl *a* y la marea, de hecho se realizaron coeficientes de correlación entre la marea y las concentraciones de Chl *a* y los valores mas bajos obtenidos fueron para San Felipe, con un coeficiente de correlación de Pearson (*r*) de 0.12 en mayo y 0.36 en febrero y para el Golfo de Santa Clara con un (*r*) de 0.36, para el mes de mayo y un 0.33 para febrero. Lo anterior dejaría suponer que la clorofila en el Golfo de Santa Clara esta mas relacionada con efectos de marea, que San Felipe. Del total de los experimentos realizados en las 2 campañas de mayo, un total del 53.3% se realizaron en condición de refluo y un 46.7 % en condición de flujo. Se observo una mayor concentración de clorofila *a* para el mes de Febrero que para Mayo en el Golfo de Santa Clara, aunque fue el caso contrario para San Felipe en donde se encontraron valores mas altos en mayo que en febrero.

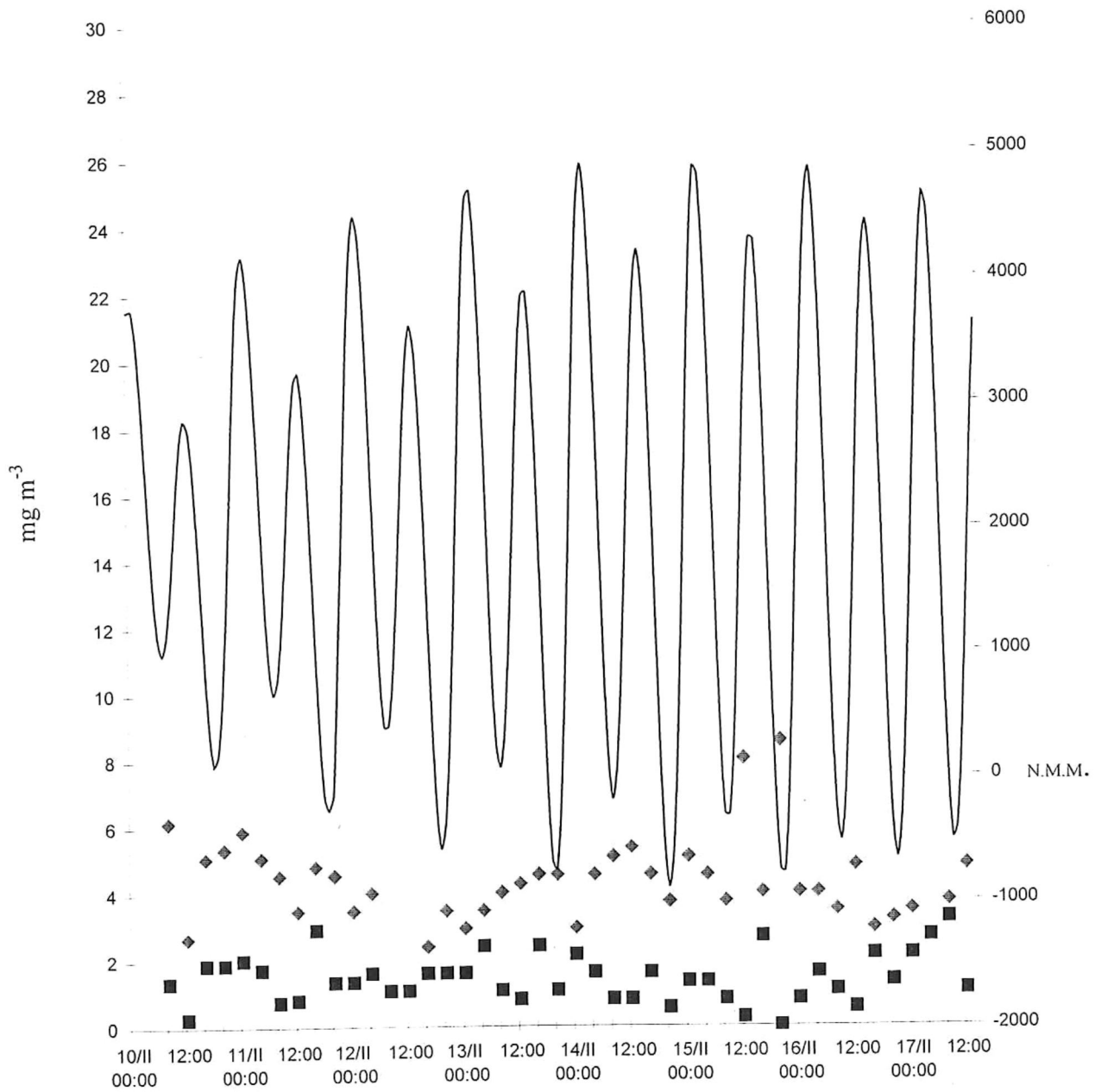


Figura 9. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de Chl *a* (mg m^{-3}), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en febrero de 1991. El máximo para el Golfo de Santa Clara fue de 75.37 mg m^{-3} el 12 de febrero a las 12:00 (fuera de la escala).

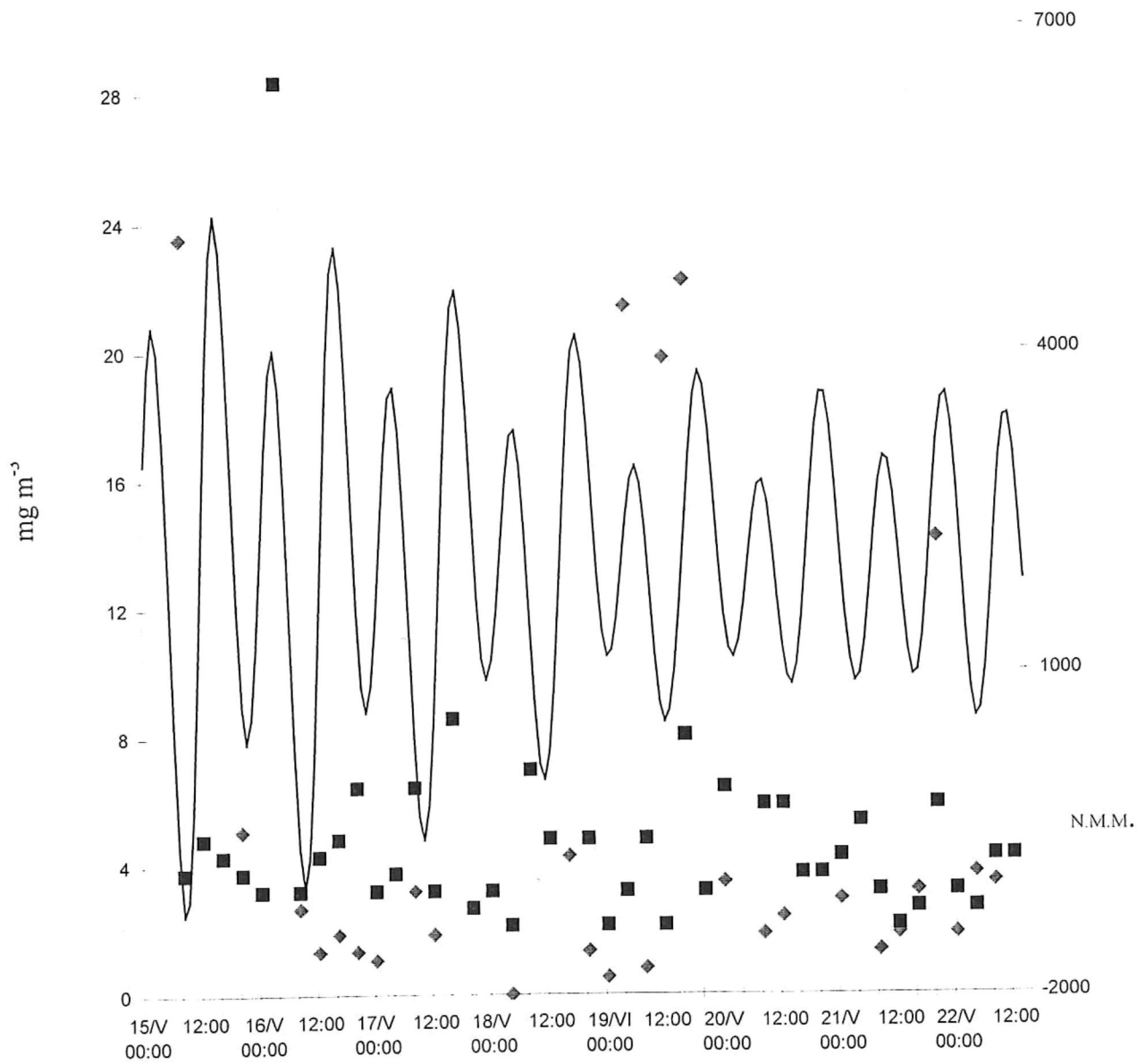


Figura 10. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de Chl *a* (mg m^{-3}), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en mayo de 1991.

Curvas y parámetros P-E.

Los valores de POP de las campañas realizadas en febrero y mayo de 1991 en San Felipe y Santa Clara fueron normalizados por unidad de clorofila *a* (P^B) para construir las curvas P-E. Los Valores de P^B encontrados en la campaña realizada en San Felipe para febrero de 1991 no presentaron mucha variación o relación con respecto a la marea a diferencia de los encontrados en el Golfo de Santa Clara (Figura 11), los cuales parecen de alguna manera tener mas relación con la marea. En San Felipe para febrero de 1991 se encontró un promedio de P^B de $0.93 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$ y una media de $0.58 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$, para Santa Clara en el mismo mes se observaron valores mas altos y con mas variación, presentaron un promedio de $4.22 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$ y una media de $3.37 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$. Los Valores de P^B encontrados en la campaña realizada en San Felipe para mayo de 1991, presentaron mucha mas variación en sus valores, con respecto al mes de febrero además, de presentar también valores mas altos de P^B (Figura 12) teniendo un promedio de $1.54 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$ y una media de $1.1 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$, por otra parte los valores de P^B encontrados en el Golfo de Santa Clara para mayo del mismo año presentaron un promedio de P^B de $3.91 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$ y una media de $2.08 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$, siendo estos valores mas pequeños que los encontrados en febrero.

Los datos sugieren que existe una diferencia en cuanto a la P^B de las 2 localidades estudiadas obteniendo mayores valores en el Golfo de Santa Clara que en San Felipe siendo mas marcada esta diferencia en el mes de febrero, de hasta 5 veces mayor, considerado como muestreo de épocas frías (Figura 11), por otra parte esta diferencia aparentemente no están marcada en épocas consideradas como cálidas, como seria el caso de mayo, en el que la diferencia en los valores de P^B es únicamente del doble para el Golfo de Santa Clara, con respecto a San Felipe (Figura 12). El Golfo de Santa Clara presento valores mas altos de P^B en el mes de febrero, pero San Felipe los presento en Mayo.

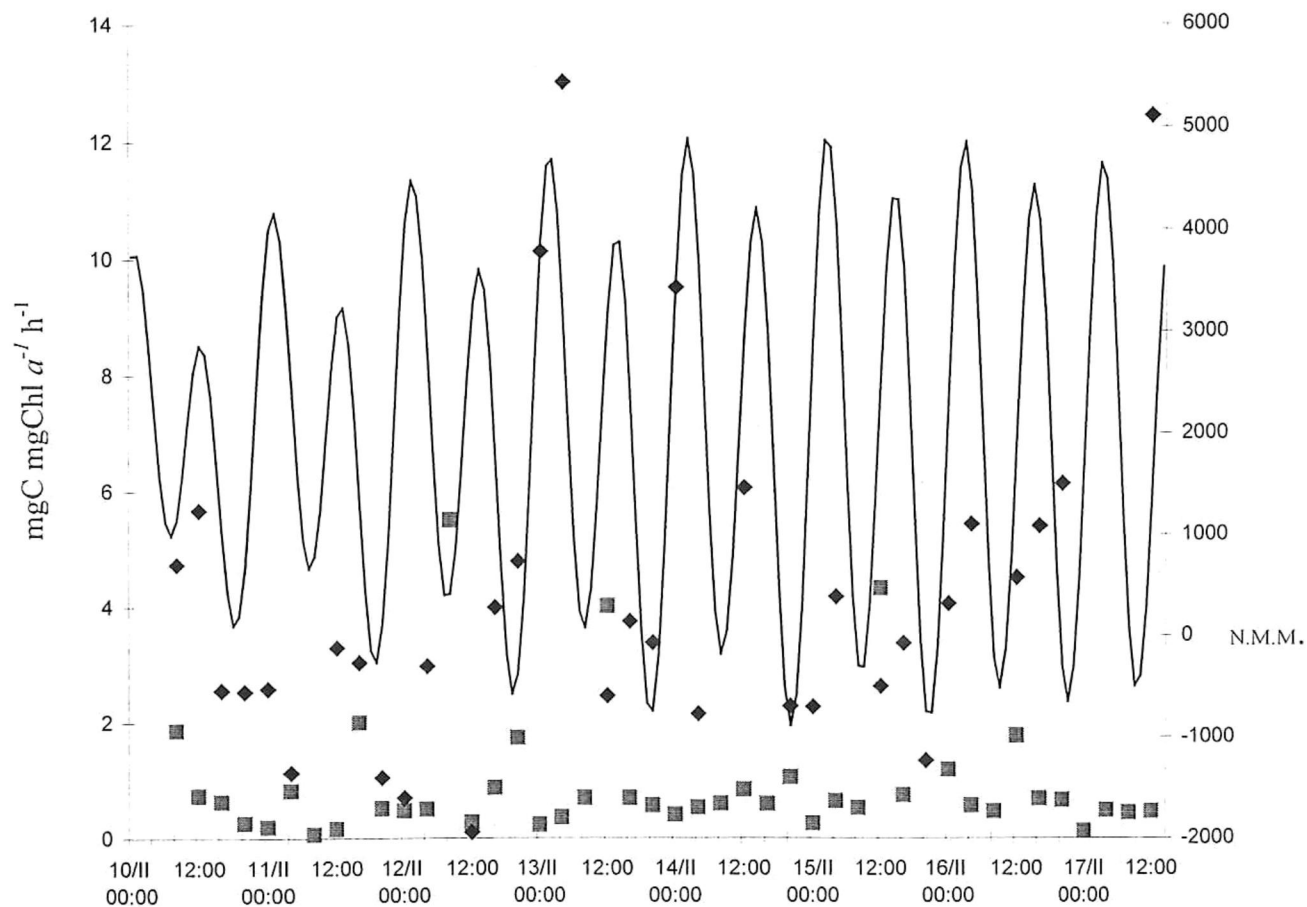


Figura 11. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de P^B ($\text{mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1}$), para Golfo de Santa Clara (\blacklozenge) y San Felipe (\blacksquare) en febrero de 1991.

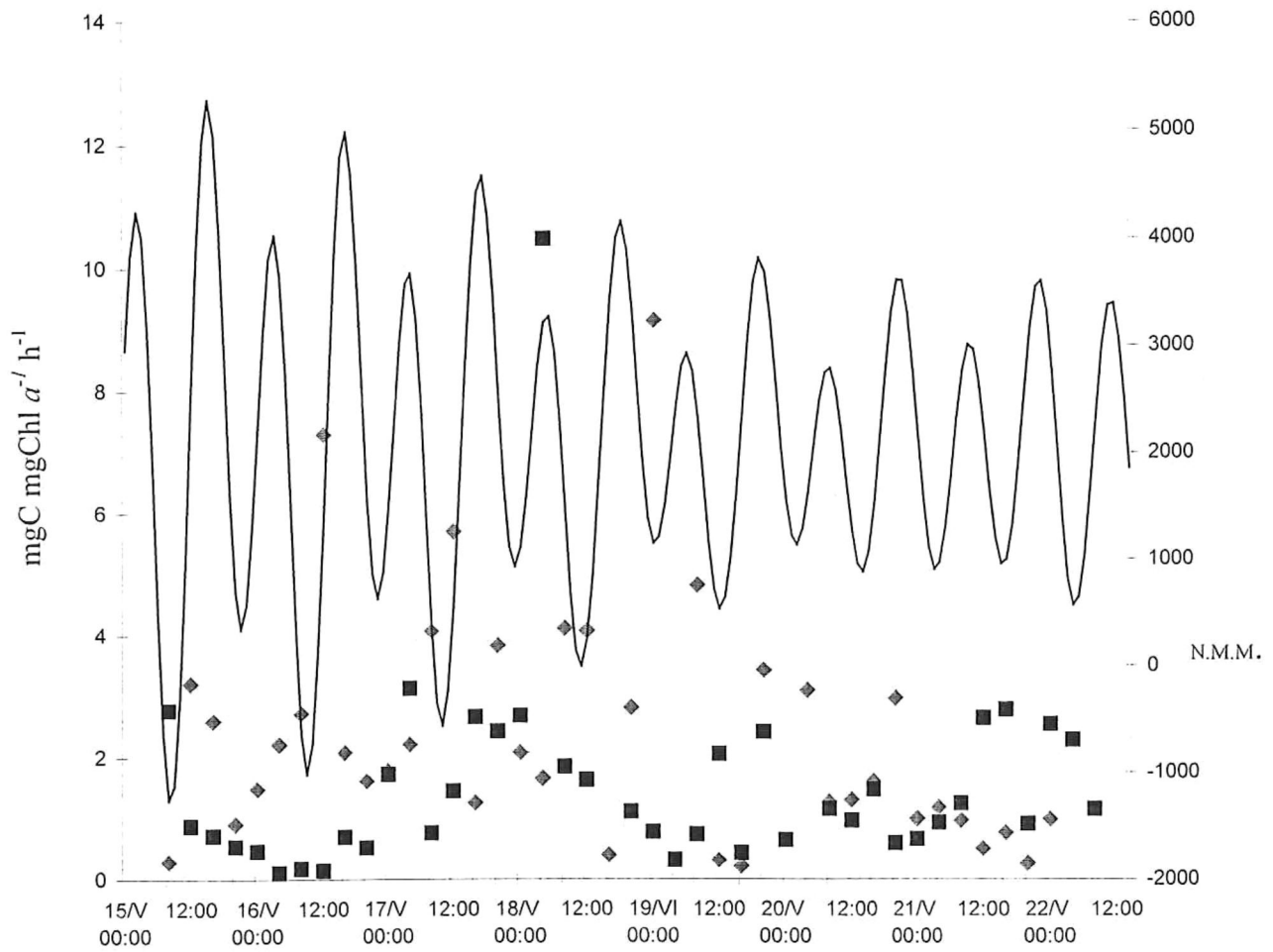


Figura 12. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de P^B ($\text{mgC mgChl } a^{-1} h^{-1}$), para Golfo de Santa Clara (◆) y San Felipe (■) en mayo de 1991.

Dado que la estandarización por unidad de clorofila solo puede llevarse a cabo mediante la utilización de valores de clorofila y asimilación de carbono, no fue posible realizar este paso para las campañas de muestreo realizadas en el Golfo de Santa Clara para abril de 1998, noviembre de 1999 y febrero del 2000.

En lo referente a las curvas Fotosíntesis-Irradiancia se generaron un total de 190 curvas fotosíntesis-Irradiancia, de las cuales 131 gráficos construidos de datos tomados de San Felipe y Santa Clara en febrero y mayo de 1991 estuvieron normalizados por unidad de clorofila a (P^B), teniendo para el Golfo de Santa Clara en febrero de 1991 un total de 41 gráficos, de las cuales el 90.48% se ajustó al modelo (Apéndice I), de la misma forma para San Felipe en la misma fecha se realizaron un total de 43 Curvas P-E de las cuales solo el 48.8 % se ajustó al modelo (Apéndice I).

Para el mes de mayo en el Golfo de Santa Clara se generaron 40 graficas P-E y se ajustó al modelo un total de 27.5 % y para San Felipe se realizaron 43 graficas P-E y solo el 65.11 % se ajustó (Apéndice I).

En la campaña de muestreo para el Golfo de Santa Clara en abril de 1998 se generaron un total de 7 gráficos de asimilación de carbono ($\text{mgC m}^{-3} \text{h}^{-1}$) vs. irradiancia ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de los cuales se ajustaron a el modelo utilizado, 5 gráficos, lo que representa un 71.42 % de la misma forma para el golfo de Santa Clara en el mes de noviembre de 1999 se generaron un total de 8 gráficos, de los cuales solo 5 se ajustaron al modelo y esto representa un 62.5 % .Y por ultimo , de la misma forma para el Golfo de Santa Clara en febrero del 2000 se crearon un total de 8 gráficos de los cuales se ajustaron al modelo 5 siendo estos un 62.5 % de todos. Del total de gráficos generados que fueron 190 se ajustaron al modelo un total de 113 que representan un 59.47 % (Apéndice I).

Los valores de α^B que se encontraron en San Felipe para febrero de 1991 (Figura 13), en condición de flujo fue de $0.0068 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ como promedio y una media de $0.0040 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$, en la condición de reflujó se encontró un valor pequeño, para el promedio, de $0.0039 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y una media igual a la de la condición de flujo, de $0.0040 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Del total de los experimentos un 58.8% se realizaron en condición de flujo y un 41.2% en reflujó. En el

Golfo de Santa Clara para el mismo mes en condición de flujo se encontró un promedio de la α^B de $0.032 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y una media de $0.026 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ en la condición de reflujo se encontró un valor promedio de $0.030 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y una media de $0.026 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$. El 62.7% de los experimentos se realizaron en condición de flujo y un 37.3% en reflujo. Haciendo una comparación entre los valores de las medias obtenidas se puede plantear que si existen diferencias en cuanto a los valores encontrados en las α^B siendo estos para el Golfo de Santa Clara hasta 6 veces mayores que San Felipe, lo que nos deja suponer que en el Golfo de Santa Clara los organismos fitoplanctonicos son mas eficientes en cuanto a la absorción de la energía luminosa que es transformada en energía fotoquímica, y es proporcional al numero de unidades fotosintéticas. El hecho de que son mas altos los valores de α^B en el Golfo de Santa Clara que en San Felipe se puede observar en la figura 13.

Los valores de α^B que se encontraron en San Felipe para mayo de 1991 (Figura 14), en condición de flujo fue de $0.010 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ como promedio y una media de $0.007 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$, en la condición de reflujo se encontró un promedio, de $0.009 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y una media para la condición de flujo, de $0.006 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Del total de los experimentos un 46.3% se realizaron en condición de flujo y un 53.7% en reflujo. En el Golfo de Santa Clara para el mismo mes en condición de flujo se encontró un promedio de la α^B de $0.015 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y una media de $0.007 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ en la condición de reflujo se encontró un valor promedio de $0.022 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y una media de $0.009 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$. El 37.5% de los experimentos se realizaron en condición de flujo y un 62.5% en reflujo. comparando los valores de las medias obtenidas en las 2 localidades sin considerar la situación de la marea, encontramos en San Felipe un valor promedio de α^B de $0.010 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ y una media de $0.006 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ lo que comparado contra el Golfo de Santa Clara que presento un promedio de $0.019 \text{ mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$

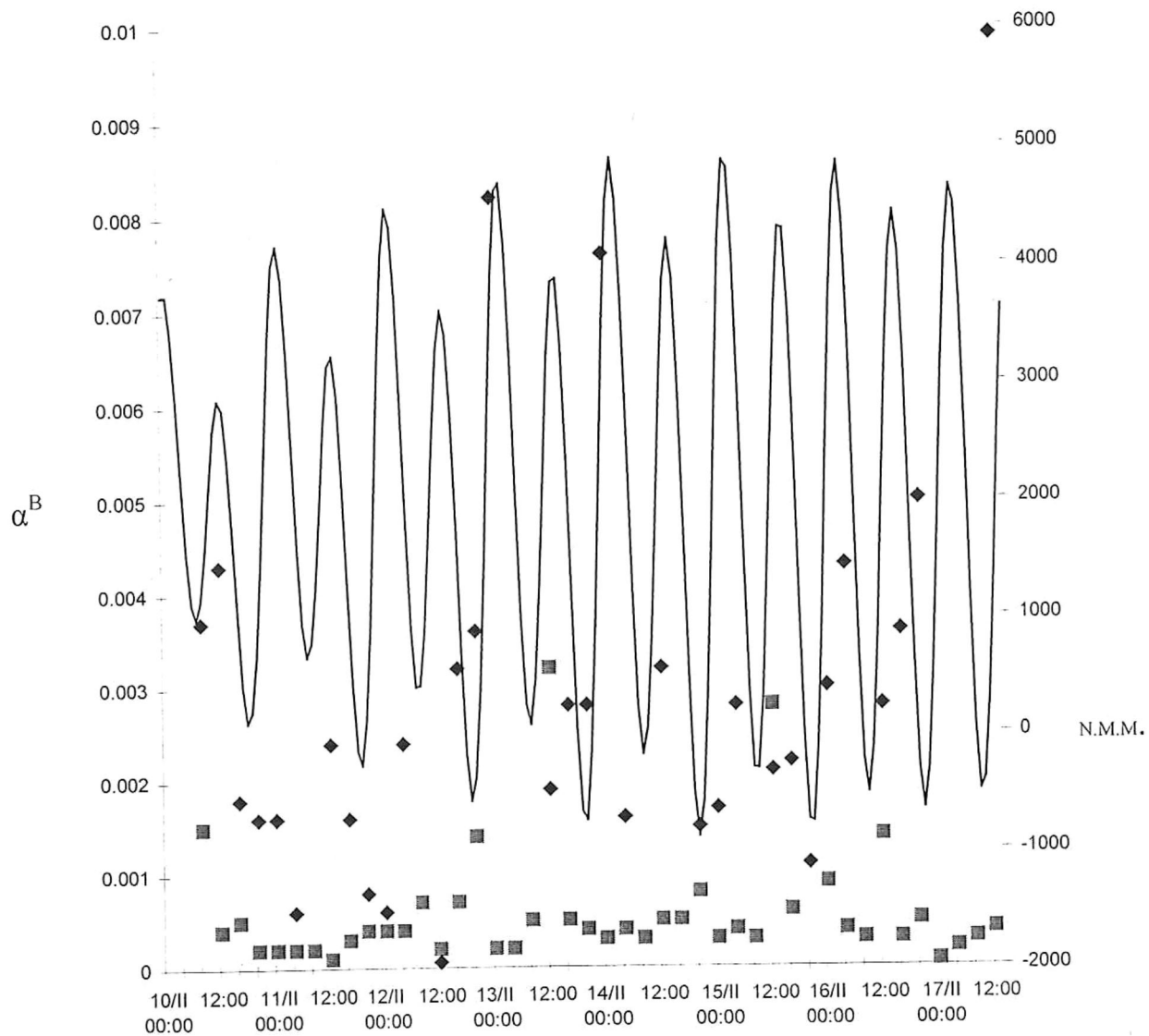


Figura 13. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de α^B ($\text{mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$), para Golfo de Santa Clara (◆) y San Felipe (■) en febrero de 1991.

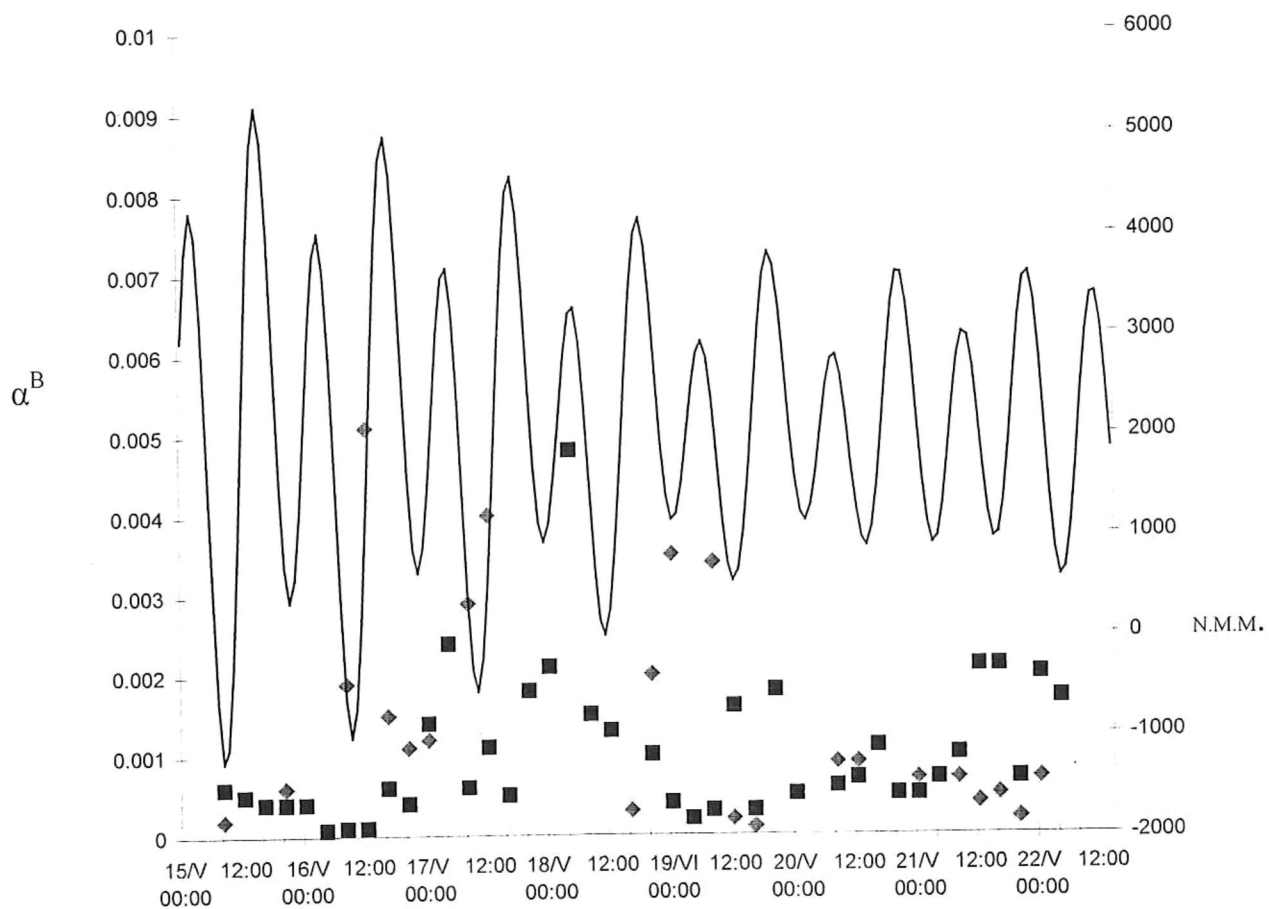


Figura 14. Serie de tiempo contra marea (altura en mm) de los valores obtenidos de α^B ($\text{mgC mgChl } a^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$), para Golfo de Santa Clara (♦) y San Felipe (■) en mayo de 1991.

y una media de $0.009 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^{-2}$ observa que son ligeramente mayores los encontrados en Santa Clara, en un 30%, contra un 500% como fue el caso en febrero, lo que deja suponer que existe una diferencia en los valores de α^B dependiendo de la localidad, época de muestreo y hasta situación de la marea.

Abundancia fitoplanctonica

La composición del fitoplancton solo pudo ser determinada para la estación A, ubicada en el Golfo de Santa Clara, en el muestreo de febrero de 1991, se encontró en un mayor porcentaje, diatomeas pennadas (*Thalassiothrix*, *Grammatophora*, *Pleurosigma* y *Plagiogramma*), constituyendo un 64% en promedio (Figura 15). Se obtuvieron intervalos de abundancia total de 15,000 a 160,000 cel L^{-1} y todos los experimentos fue realizada la toma a las 8:00 hrs y en condición de inicio del flujo excepto por el experimento 8 que fue en condición de reflujó. En la figura 15 se observa un incremento de la cantidad de diatomeas pennadas a lo largo de la campaña de muestreo en una relación aparente con el cambio de condición de mareas muertas a vivas (Figura 2), siendo esta relación inversa en el caso del nanoplancton, con respecto a la marea.

Para Golfo de Santa Clara en mayo de 1991 se encontró en forma general abundancia alta de nanoplancton, constituyendo en promedio un 42%. En los últimos muestreos disminuyó notablemente la abundancia de nanoplancton, sustituido por diatomeas centrales, principalmente por *Coscinodiscus* y *Chaetoceros*, tal vez debido a que los últimos muestreos se realizaron en condición de flujo, a diferencia de los 6 primeros, que fueron realizados hacia el final de condición de reflujó (Figura 2). se obtuvieron valores bajos de abundancia total comparados con febrero de 1991, con un intervalo de 5,000 a 35,000 cel L^{-1} . El grupo de dinoflagelados obtuvo la menor dominancia, estando representados por los géneros *Peridinium* y *Ceratium* en los experimentos 3, 4 y 6 (Fig 16). Es importante señalar que en el mes de mayo se encontró un porcentaje mayor de nanoplancton, tomando en cuenta los cuatro grupos principales, sin embargo si se toma en conjunto a las diatomeas en pennadas y centrales, estas fueron dominantes, y en especial para el experimento numero 7.

La composición para el muestreo en el Golfo de Santa Clara para noviembre de 1999, fue en mayor porcentaje de diatomeas pennadas principalmente *Amphora*, *Tabellaria*, *Lyrella*, *Nitzschia* y *Navicula*, constituyendo aproximadamente un 58% (Figura 17), en promedio global en segundo termino las diatomeas centrales con un 39.3% principalmente por *Actinocyclus*, *Coscinodiscus*, *Thalassiosira* y *Paralia*, siendo estas las que presentaron el mayor numero de células por cada especie aunque con una menor diversidad y en menor cantidad el grupo de los dinoflagelados y silicoflagelados con valores promedio de 2.17% y 0.69% respectivamente. Se obtuvieron intervalos de abundancia total de 13,100 a 76,600 cel L⁻¹, no se pudo establecer una tendencia o relación de la marea con los porcentajes de abundancias ya que los datos fueron muy homogéneos.

Para Golfo de Santa Clara en febrero del 2000 se encontró en forma general abundancia alta de diatomeas pennadas, formada en su mayoría por *Amphora*, *Tabellaria*, *Nitzschia*, *Achnanthes* y *Epithemia* constituyendo en promedio un 78.25% (Figura 18), seguido de diatomeas centrales, como *Coscinodiscus*, *Paralia*, *Actinocyclus* y *Actinophthychus*, se obtuvieron valores de abundancia total de 11,200 a 103,500 cel L⁻¹. El grupo de dinoflagelados y silicoflagelados obtuvieron la menor dominancia en ambos muestreos, estando representados los dinoflagelados de los géneros *Peridinium*. y *Ceratium*, con un 2.26% de igual manera para los Silicoflagelados representados por *Dictyocha*, con un 0.33%. al igual que en la campaña realizada en noviembre de 1999 no se pudo establecer un comportamiento en relación al flujo o reflujó de las mareas y mucho menos en relación al cambio de condición de mareas vivas a muertas o de muertas a vivas, debido a lo corto de las campañas de muestreo que fueron de tan solo de 3 días.

Con la finalidad expresar los resultados de una manera clara, que permita inferir o definir aspectos de el trabajo se construyo la tabla 6 en la que se pone de manifiesto información general de las campañas realizadas.

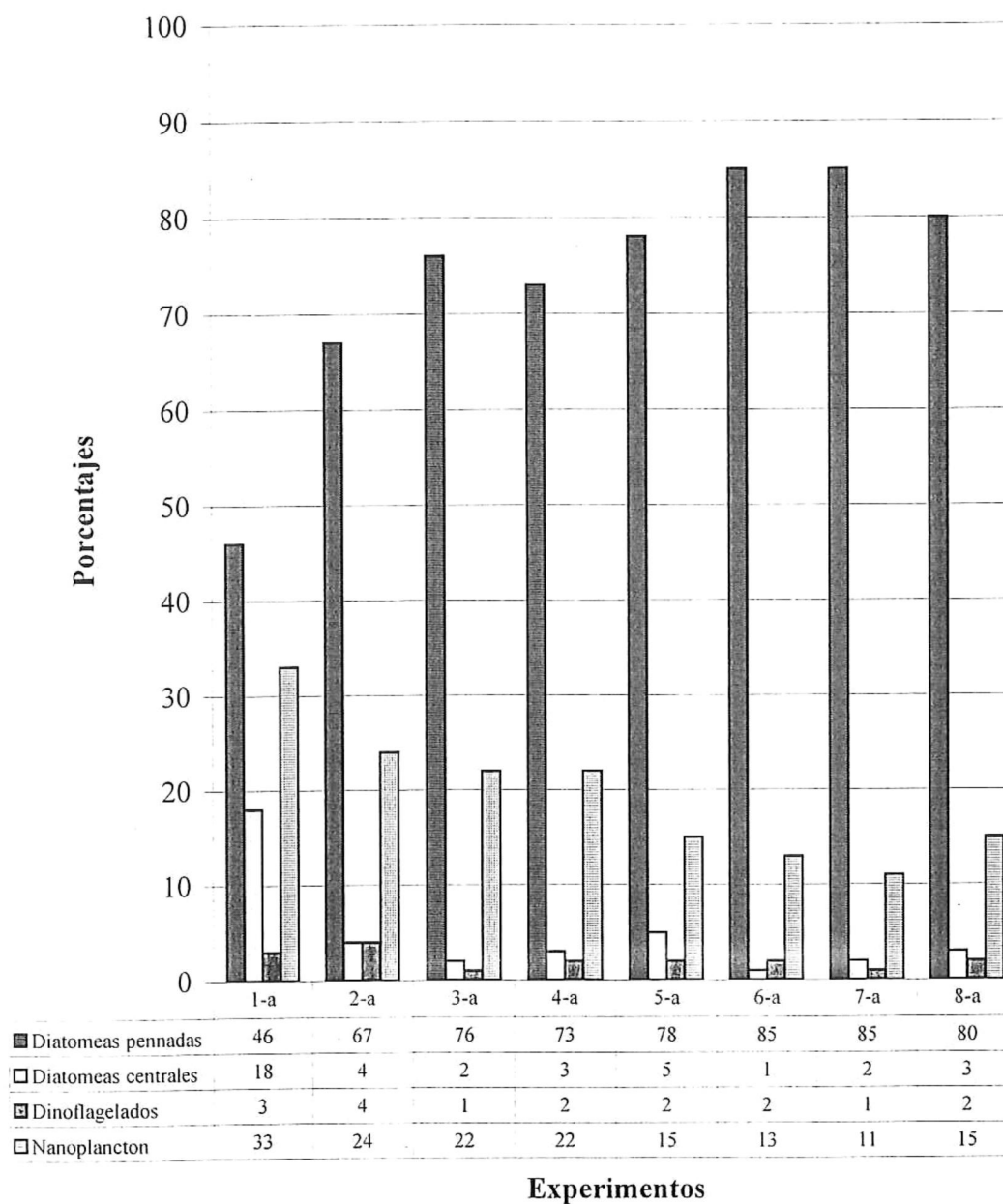


Figura 15. Abundancia de la estructura fitoplanctonica de los experimentos realizados en el Golfo de Santa Clara, en febrero de 1991

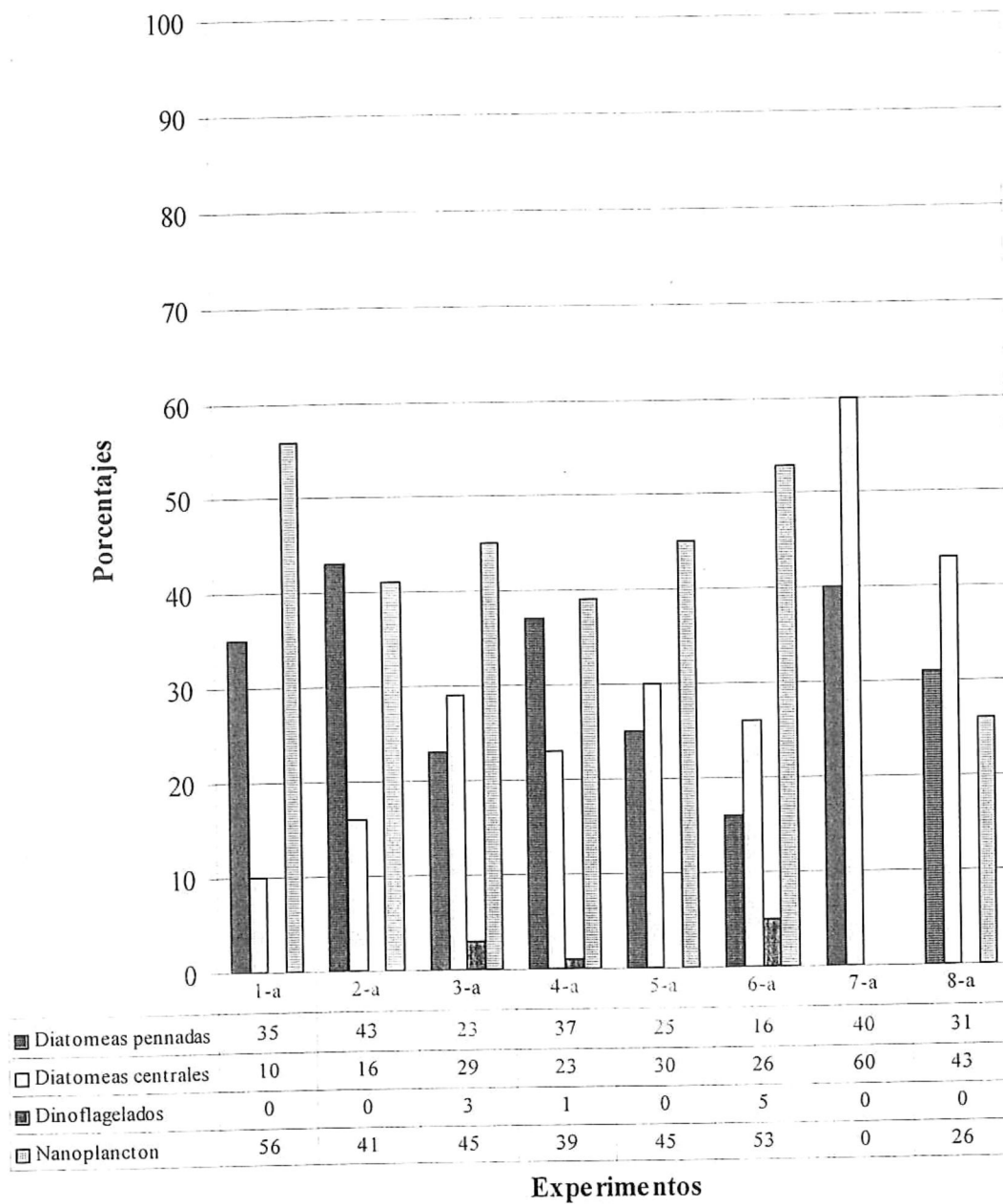


Figura 16. Abundancia de la estructura fitoplanctonica de los experimentos realizados en el Golfo de Santa Clara, en Mayo de 1991

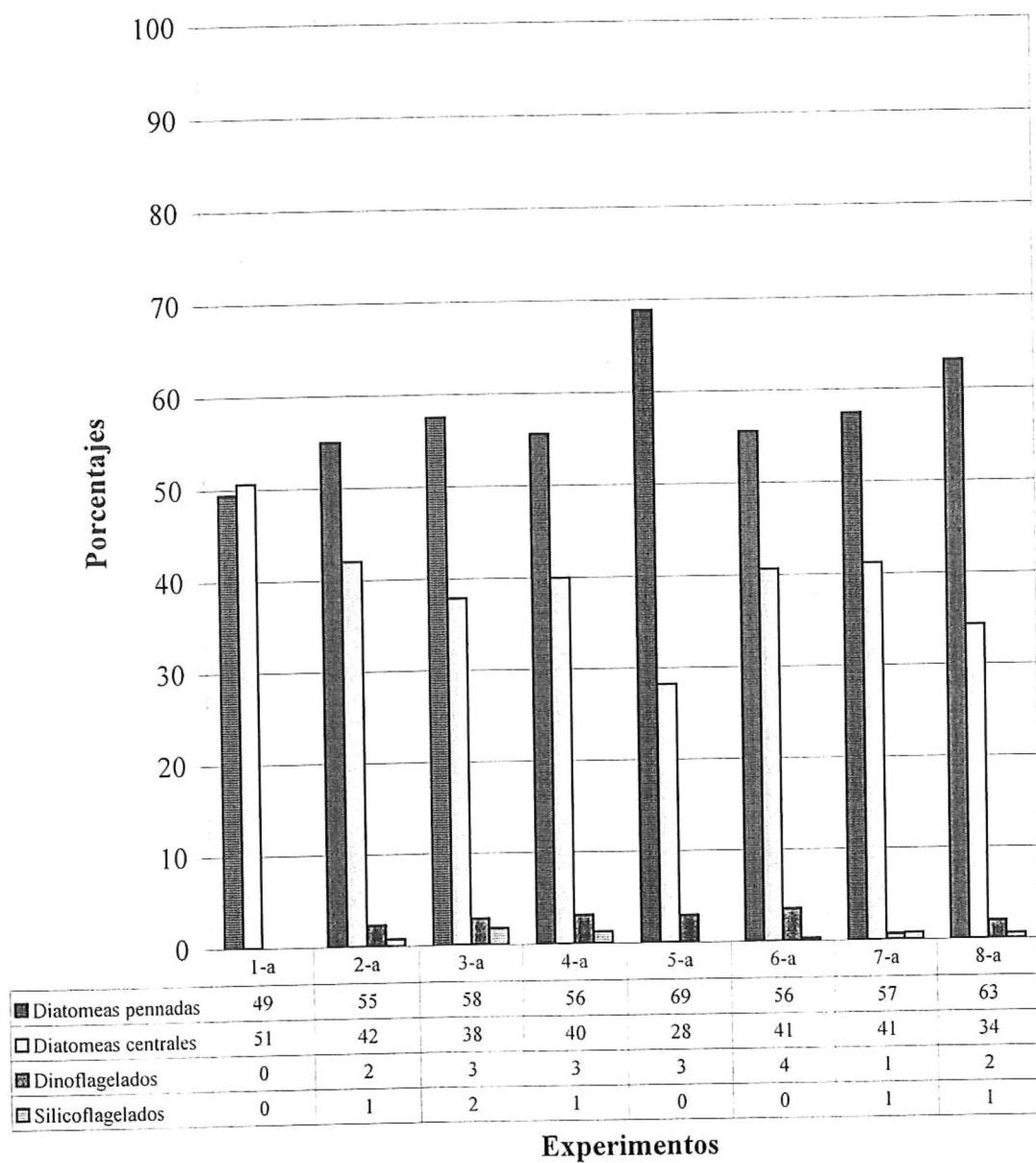


Figura 17. Abundancia de la estructura fitoplanctonica de los experimentos realizados en el Golfo de Santa Clara, en noviembre de 1999.

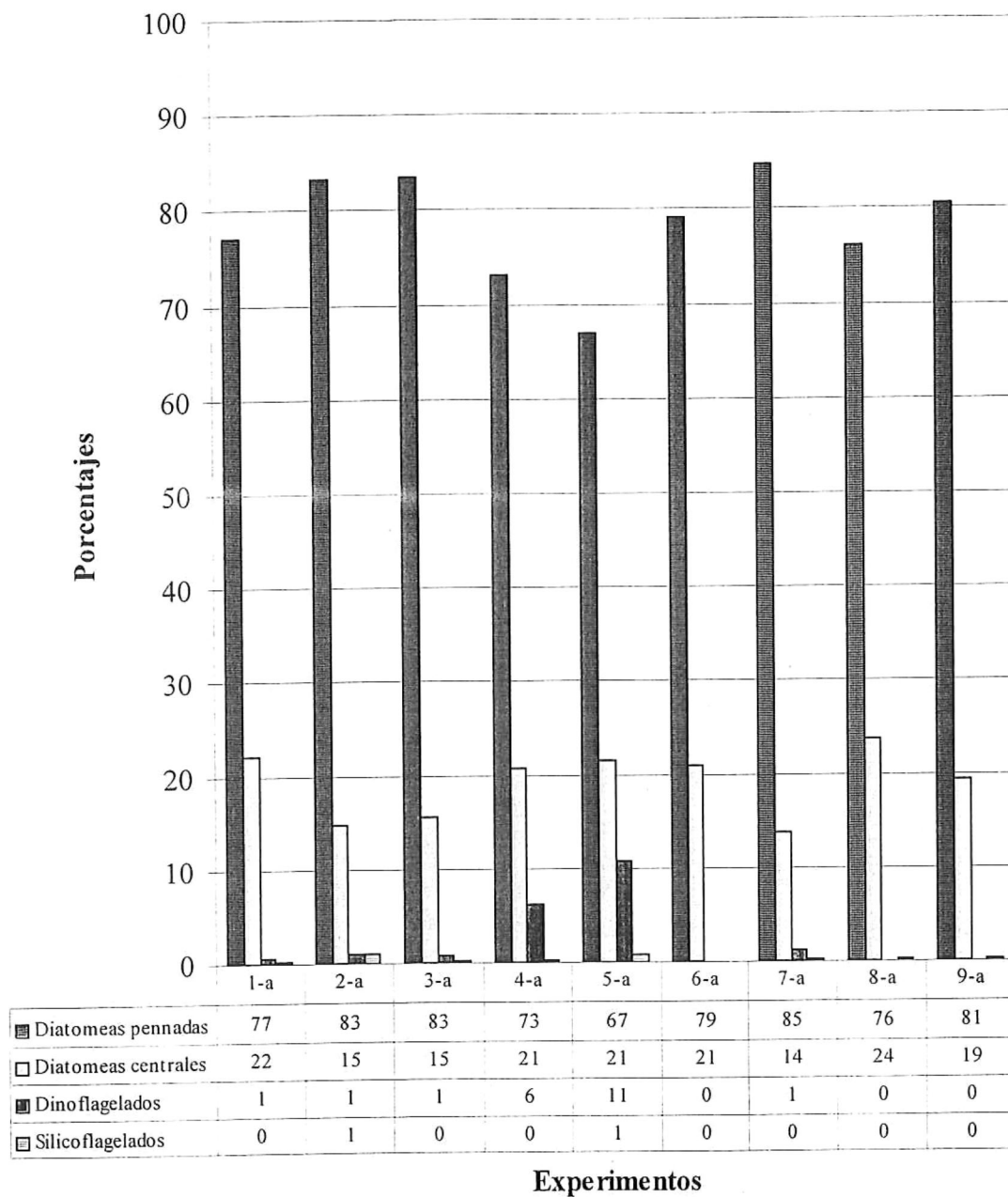


Figura 18. Abundancia de la estructura fitoplanctonica de los experimentos realizados en el Golfo de Santa Clara, en febrero del 2000

Campañas de muestreo	Época	Tipo de luz	Irradiancia máxima $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$	Condición de marea	% de Experimentos en flujo	% de Experimentos en reflujos	Promedio y media de POP $\text{mgC m}^{-3} \text{h}^{-1}$	Promedio y media de Chl α mg m^{-3}	Promedio y media de p^{B} $\text{mgCmgChl}\alpha^{-1} \text{h}^{-1}$	Promedio y media de α^{B} $\text{h}^{-1}\mu\text{E}^{-1}\text{m}^2$
San Felipe febrero de 1991.	Fría	Artificial	230	Muertas a vivas	62.8 %	37.2 %	1.5 0.93	1.43 1.33	0.93 0.58	0.0057 0.0040
Golfo de Santa Clara febrero de 1991	Fría	Artificial	230	Muertas a vivas	62.8 %	37.2 %	18.30 16.08	4.37 4.27	4.22 3.37	0.031 0.026
San Felipe mayo de 1991.	Cálida	Artificial	230	Vivas a Muertas	46.7 %	53.3 %	6.63 6.46	4.84 3.74	1.54 1.1	0.010 0.0065
Golfo de Santa Clara mayo de 1991.	Cálida	Artificial	340.6	Vivas a Muertas	46.7 %	53.3 %	5.96 3.33	5.45 2.53	3.91 2.08	0.019 0.009
Golfo de Santa Clara abril de 1998.	Templada	Natural	1391	Vivas	42.9 %	57.1 %	35.48 31.74	-	-	-
Golfo de Santa Clara noviembre de 1999.	Fría	Natural	888.7	Vivas	50%	50%	73.25 89.25	-	-	-
Golfo de Santa Clara febrero del 2000.	Fría	Natural	1062.6	Vivas	62.5 %	37.5 %	55.49 55.85	-	-	-

Tabla VI. Resultados de los Parámetros y condiciones de los muestreos

Discusiones

El evento ecológico fundamental en el océano es la POP (Platt *et al.*, 1984) de gran importancia por su papel preponderante en la cadena trófica en el mar, en consecuencia las comunidades fitoplanctónicas con su alto dinamismo asumen una función principal en los ecosistemas marinos. La capacidad fotosintetizadora del fitoplancton no es una interacción elemental estímulo-respuesta, sino que está estructurada por una serie compleja de eventos como flujos y reflujos de marea, tipo de mareas ya sean vivas o muertas, cantidad y calidad de luz, época del año y situación geográfica, en los que la relación P-E es primordial (Silva-Cota, 1987).

En este trabajo fue necesario establecer una diferencia entre los tipos de muestreo, en lo referente a la temperatura, con la intención de establecer si en realidad existen diferencias en la POP, abundancia de fitoplancton y parámetros P-E entre una época considerada como cálida y otra como fría. Una vez establecido lo anterior, se consideró que la temperatura del agua en la región DRC está controlada principalmente por la temperatura atmosférica debido a la poca profundidad, la cual permite a su vez que los vientos, la evaporación y la resuspensión de sedimento influyan marcadamente en la salinidad y la concentración de oxígeno disuelto (Contreras, 1988).

Dependiendo de la fecha en la que se realizaron las campañas, se les dio una clasificación de temperatura, en base a la época del año (descrita en la metodología), en la cual se coincide con Martínez-Rojas Reynoso (1990) que se señaló la existencia de dos épocas del año bien diferenciadas, una caliente con temperaturas del agua de 31.0° C en junio y agosto; otra fría con temperaturas del agua de 10.2 °C en diciembre y una tercera intermedia representada en el mes de abril con una temperatura del agua de 22.5° C de lo anterior se puede suponer que las lagunas costeras, que son zonas de poca profundidad, como lo es el DRC, la temperatura está controlada por condiciones atmosféricas como la temperatura del aire y los vientos.

En este trabajo se pudo establecer que en 1991 las mayores POP para el Golfo de Santa Clara se dieron en la época fría, con un promedio de 18.30 mgCm⁻³ h⁻¹ y una media de 16.08 mgCm⁻³ h⁻¹ a diferencia de San Felipe que ocurrieron en época considerada como Cálida con un promedio de 6.63 mgCm⁻³ h⁻¹ y una media de 6.46 mgCm⁻³ h⁻¹. Lo

anterior se observó bajo condiciones de luz artificial, a lo largo de varios días y en condiciones de mareas vivas a muertas en la época cálida y de muertas a vivas en la época fría, tal vez debido a esto los valores de los promedios y medias sean mas pequeños que los valores observados en las campañas realizadas en abril de 1998, con un promedio de $35.48 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y una media de $31.74 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$; noviembre de 1999, con un promedio de $73.25 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y una media de $89.25 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$; y febrero del 2000 con un promedio de $55.49 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ una media de $55.85 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, las cuales fueron realizadas en mareas vivas (Tabla 6).

Se observó que los mayores valores de POP se registraron en condiciones de mareas vivas, de la misma manera lo reportó, Barocio-León (1991), para una serie de tiempo que realizó en el DRC, que los valores de producción primaria mostraron una tendencia a decrecer de agosto de 1989 a junio de 1990, de 15.0 a $0.5 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, mientras que la productividad primaria en la serie de tiempo presentó una tendencia a incrementarse durante la transición de la marea, de muertas a vivas o de vivas a muertas, principalmente en una turbulencia moderada alcanzando valores de hasta $76 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, coincidiendo de esta forma con Álvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1978) los cuales mencionaron que una turbulencia moderada, produce valores de α^B y Pm^B mayores que con una fuerte turbulencia o estratificación, aunado a esto Millán-Núñez *et al.*, (1999) mencionaron lo notorio del comportamiento diario en la región del DRC, con relación a la marea, encontrándose valores altos de POP y Chl *a* durante el reflujó y mínimos durante el flujó, lo cual indica una influencia de las aguas del delta en reflujó.

Otro factor muy importante a considerar en cuanto a POP es el de la cantidad de luz y calidad de la misma, ya que en los muestreos realizados en 1991 para las 2 localidades se utilizó luz artificial con valores máximos de irradiancia de $230 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ para los muestreos de febrero y mayo en San Felipe, además de Golfo de Santa Clara en febrero, en el Golfo de Santa Clara para mayo, se utilizó una irradiancia máxima de $340.6 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$. En relación a la luz artificial la media de POP mas alta se encontró en el Golfo de Santa Clara en febrero de 1991 con un valor de $16.08 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ a una irradiancia de $230 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$, por otra parte con luz natural se encontraron valores mucho mas altos (Tabla 6), como el valor de media de POP para el Golfo de Santa Clara en noviembre de 1999 que fue de $89.25 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, en febrero del 2000 de 55.85 mgCm^{-3}

h^{-1} y el de abril de 1998 con $31.74 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, el cual se esperaba que fuera menor ya que se realizó en época de transición de fría a cálida.

Es importante mencionar que en las campañas realizadas en 1999 y 2000 se registraron valores bajos de irradiancia en algunos experimentos, (tablas 4 y 5) debido principalmente a las amplias coberturas de las nubes y nublados en los días de campaña, además de que también se realizaron experimentos por la mañana y al atardecer, teniendo bajas irradiancias en estos casos, a pesar de esto se encontraron valores muy altos de POP, probablemente debido a lo mencionado por Perry *et al.*, (1981) que establecieron la existencia de una respuesta de las poblaciones fitoplanctónicas a las bajas intensidades de luz, la cual consiste en un aumento del tamaño de la unidad fotosintética, todo esto como resultado de una respuesta adaptativa a la resuspensión de sedimentos en la zona del delta que produce gran turbidez y como consecuencia directa una menor penetración de la luz. A pesar de estas condiciones se han reportado valores de Chl *a* de 5 mg m^{-3} y máximos de productividad primaria de $76 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (Santamaría-del Ángel *et al.*, 1996). En contrandose en este trabajo un valor de productividad máximo de $145.05 \text{ mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y clorofila de 75.37 mg m^{-3} como los mas altos de todas las campañas de muestreo realizadas. Así mismo esta alta productividad también puede obedecer a mecanismos de fotoadaptación del fitoplancton, que capta la energía solar eficientemente durante los breves instantes que los procesos turbulentos lo llevan hasta la superficie (Santamaría-del Ángel *et al.*, 1996).

La utilización de la irradiancia depende de la capacidad del fitoplancton para absorberla y procesarla, y está en función de la composición de pigmentos del fitoplancton y de la calidad espectral de la luz, la calidad de las estimaciones de la productividad primaria depende sustancialmente de la calidad de los parámetros utilizados en los modelos y de su variación (Aalderink, 1997).

Las concentraciones de clorofila solo pudieron ser determinados para los muestreos realizados en febrero y mayo de 1991, en donde se pudo observar la misma tendencia encontrada para la POP, en cuanto a que los mayores valores de concentración de Chl *a* se encontraron en la época fría específicamente en el Golfo de Santa Clara y para la época cálida se encontraron en San Felipe, siendo pequeña la diferencia en la época cálida entre las 2 localidades, pero si muy grande en la época fría, siendo hasta 3 veces

mayor la concentración de Chl *a* de Santa Clara con respecto a San Felipe, un patrón similar encontró Millán-Núñez, *et al.*, (1999) los cuales realizaron series de tiempo de clorofila *a* y producción primaria en el DRC encontrando que para la clorofila en las estaciones de Sonora fue generalmente mayor en agosto de 1989 (de 2.6 a 18.2 mg m⁻³) y junio de 1990 (de 1.8 a 12.7 mg m⁻³), con promedios de 7.6 y 6.5 mg m⁻³, respectivamente; y por otro lado, para la costa de Baja California, con un promedio en agosto de 1989 de 6.3 mg m⁻³ (de 2.2 a 9.8 mg m⁻³) y en junio de 1990 de 7.3 mg m⁻³ (de 3.6 a 10.9 mg m⁻³), para la época cálida, en junio de 1990 el máximo fue de 9.1 mg m⁻³ y los mínimos se presentaron en flujo, encontrándose valores muy parecidos, en este trabajo para el Golfo de Santa Clara en mayo de 1991, entre 23.52 y 0.53 mg m⁻³ encontrado el máximo en condición de reflujos y una concentración promedio a lo largo de toda la campaña de muestreo de 5.45 mg m⁻³; para San Felipe en mayo de 1991, el valor máximo observado fue de 28.33 mg m⁻³ en condición de reflujos de un valor de 8.55 mg m⁻³ en el experimento 15 y un mínimo de 2.13 mg m⁻³, se encontró una concentración promedio, a lo largo de toda la campaña de muestreo de 4.84 mg m⁻³.

Durante las variaciones diurnas, la concentración de clorofila presentó gran variabilidad, con máximos en reflujos, para el Golfo de Santa Clara en febrero de 1991, se obtuvo una alta concentración de clorofila *a* encontrada en el experimento 14 con un valor de 75.37 mg m⁻³ a diferencia del experimento 15 que presentó la menor concentración de clorofila *a* que fue de 2.40 mg m⁻³, se obtuvo una concentración promedio a lo largo de toda la campaña de muestreo de 6.06 mg m⁻³, para San Felipe en febrero de 1991, una concentración máxima de 3.20 mg m⁻³ en el experimento 43, seguido de un valor de 2.67 mg m⁻³ encontrado en el experimento 32 y un mínimo de concentración de 0.26 mg m⁻³, se encontró una concentración promedio, a lo largo de todo el muestreo de 1.46 mg m⁻³; siendo más altos los valores promedio obtenidos en febrero para el Golfo de Santa Clara, que los obtenidos en todas las demás campañas de muestreo.

El hecho de encontrar las concentraciones de clorofila más altas en el Golfo de Santa Clara que es una zona que presenta una turbidez mayor que San Felipe, pudiera deberse a lo planteado por Beardall & Morris, (1976), los cuales mencionan que esto puede ser debido a que el fitoplancton proveniente de la parte menos turbia, al entrar

durante el flujo a la zona de alta turbidez incrementa el contenido de clorofila por célula, como una respuesta fisiológica a la adaptación a bajas irradiancias, por lo que al recolectar la muestra durante el reflujó, el fitoplancton contiene mayor clorofila por célula. Por tanto, es de esperarse que las aguas del delta importen de aguas adyacentes fitoplancton con bajas concentraciones de clorofila por célula en flujo, mientras que en reflujó se exporta fitoplancton con altas concentraciones de clorofila por célula hacia las zonas aledañas. Siendo de esta forma, la influencia de la marea un factor determinante en cuanto a la distribución de la POP y Chl *a* en la región del DRC, del mismo modo Barocio-León (1991) que realizo experimentos de POP, Chl *a* y abundancias en el Golfo de Santa Clara en 1990 menciona que las variaciones de la concentración de clorofila, abundancia del fitoplancton y POP estuvieron fuertemente regidas por los efectos ocasionados por las corrientes de marea.

Los valores mas altos de fotosíntesis por unidad de clorofila (P^B) se encontraron en el Golfo de Santa Clara, en época fría con un valor promedio de $4.22 \text{ mgC mgChl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$ y medio de $3.37 \text{ mgC mgChl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$, y en época cálida con transición de muertas a vivas un promedio de $3.91 \text{ mgC mgChl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$ y medio de $2.08 \text{ mgC mgChl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$. En San Felipe se presentaron valores mas pequeños, con un promedio de $0.93 \text{ mgC mgChl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$ y una media de $0.58 \text{ mgC mgChl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$, para la época fría y un valor promedio de $1.54 \text{ mgC mgChl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$ y medio de $1.1 \text{ mgC mgChl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$, para la época cálida, con transición de vivas a muertas (Tabla 6). Lo cual nos indica de una manera clara que entre las 2 localidades existen diferencias en cuanto a la producción fotosintética por unidad de clorofila siendo del Golfo de Santa Clara una zona mas productiva, aunque los datos de POP no lo demuestren así, en especial para el muestreo realizada en San Felipe en mayo de 1991 que aparentemente es mas productiva, ya que presenta un valor medio de asimilación de $6.46 \text{ mgC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ contra el encontrado en el Golfo de Santa Clara en mayo que es de $3.33 \text{ mgC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$.

El hecho de hacer una comparación entre los muestreos realizados en San Felipe en febrero y mayo de 1991 y los realizados en el Golfo de Santa Clara en los mismos meses es con la finalidad de establecer en que lugar y época son mas eficientes los organismos fitoplanctonicos en cuanto a la absorción de la energía luminosa, que es

transformada en energía fotoquímica y es proporcional al número de unidades fotosintéticas, una medida de esta eficiencia es el valor de la α^B , valor que fue más alto en la época considerada como fría y en especial para el Golfo de Santa Clara con un valor promedio de $0.031 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$ y medio de $0.026 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$ contra un valor máximo promedio para la época cálida de $0.019 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$ y medio de $0.009 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$, para la misma localidad. En San Felipe se encontraron valores de promedio y medias más pequeños teniendo para la época fría un valor promedio de $0.0057 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$ y media de $0.0040 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$ y para la época cálida un promedio de $0.010 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$ y media de $0.0065 \text{ mgC mgChl } \alpha^{-1} \text{ h}^{-1} \mu\text{E}^{-1} \text{ m}^2$ (Tabla 6). Es importante mencionar, que el hecho de proponer estos valores como los característicos de la localidad y de la época de muestreo sería una subestimación, ya que se obtuvieron estos valores utilizando bajas irradiancias de luz artificial, las cuales reflejaron valores de POP un poco más bajos a los encontrados en las incubaciones con luz natural, lo anterior sugiere que estos valores de α^B pueden ser todavía más altos y que los obtenidos en este trabajo pueden servir como primeras aproximaciones en la generación de más trabajos de este tipo y en especial en la región del DRC.

La abundancia fitoplanctónica en el mes de febrero de 1991 para el Golfo de Santa Clara, presentó dominancia de diatomeas pennadas (Figura 15), lo cual puede ser explicado por lo expuesto por Descolas-Gros (1978), el cual menciona que las taxa más abundantes en épocas invernales y que se encuentran en suspensión, son principalmente diatomeas pennadas y centrales; para mayo de 1991 en el Golfo de Santa Clara se presentó dominancia de nanoplancton en los primeros experimentos y de diatomeas centrales en los últimos experimentos (Figura 16). La abundancia de nanoplancton puede deberse a la época de muestreo, que fue en época cálida y son más abundantes estos organismos en aguas templado-cálidas, a diferencia de las diatomeas que no son tan abundantes en estas condiciones.

Sin embargo, en la transición de mareas vivas a muertas, se dió una dominancia de diatomeas centrales que pueden estar adaptadas a condiciones físicas del medio menos rigurosas, sin dejar de depender de la resuspensión y aunque fueron dominantes

los valores que presentaron de cel L^{-1} fueron muy pequeños en comparación con las demás campañas de muestreo.

Para el Golfo de Santa Clara en Noviembre de 1999 se encontró que la composición, fue en mayor porcentaje de diatomeas pennadas, constituyendo aproximadamente un 58%, en promedio global en segundo lugar las diatomeas centrales con un 39.3% (Figura 17) siendo estas las que presentaron el mayor número de células por cada especie aunque con una menor diversidad. Se obtuvieron intervalos de abundancia total de 13,100 a 76,600 cel L^{-1} , valores que ya son mas normales en comparación a los encontrados en la época cálida.

Para el Golfo de Santa Clara en febrero del 2000 se encontró que en forma general abundancia alta de diatomeas pennadas, constituyendo en promedio un 78.25%. (Figura 18), se obtuvieron valores de abundancia total de 11,200 a 103,500 cel L^{-1} . Observando así una mayor abundancia de diatomeas pennadas y centrales en la época denominada como fría, a diferencia de lo reportado por Millán-Núñez, *et al.*, (1999), los cuales mencionan que la variación espacial de la abundancia del fitoplancton no mostró una diferencia clara entre el muestreo de noviembre de 1989 (época fría) y el muestreo de junio de 1990 (época cálida) para ambos lados del delta. Sin embargo, mencionan que en general, en el canal de la costa de Baja California se encontró que la abundancia del fitoplancton fue mayor que en el lado de Sonora, con abundancias promedios de 274,000 y 166,000 cel L^{-1} , siendo estos valores altos en relación a los encontrados en este trabajo, por otra parte, en este trabajo desafortunadamente, no se pudo contar con las abundancias de San Felipe de los meses fríos y cálidos para poder así establecer una tendencia de la disminución de diatomeas pennadas y centrales planteada en esta discusión.

Cabe mencionar que no se encontró ninguna relación entre la cantidad de células por litro y la situación de la marea para las campañas de 1999 y 2000, posiblemente debido a lo descrito por Millán-Núñez, *et al.*, (1999), el cual menciona que pudiera ser ocasionado, por la distribución del fitoplancton durante las series de tiempo, ya que la distribución que presenta el fitoplancton es en forma de parches; aunado a lo anterior, puede existir un efecto de concentración mecánica ocasionado por la desaceleración de la corriente de marea debido a la topografía, de la misma forma estos procesos en las campañas de 1999 y 2000 contribuyeron a una alta concentración de materia orgánica y

sedimentos en las muestras de abundancias motivo, por el cual fue imposible determinar valores de nanoplancton.

Las concentraciones de células por litro registradas para los meses de febrero en 1991 y 2000 además de noviembre del 1999 coincidieron con épocas frías con valores de 15,000-160,000 cel L⁻¹, 11,200-103,500 cel L⁻¹, y 13,100-76,000 cel L⁻¹ respectivamente, a diferencia de mayo del 91 que es el único mes cálido del que se tiene registro con una concentración de 5,000-35,000 cel L⁻¹, lo que sugiere una mayor abundancia fitoplanctónica en los meses fríos a diferencia de los cálidos, este comportamiento podría ser ocasionado principalmente por incrementos en la temperatura del agua, que de alguna forma limita mayores concentraciones de diatomeas pennadas, ya que fueron estas en realidad las que disminuyeron en número provocando así la elevación de otros en relación al porcentaje. De lo anterior podemos relacionar la fisiología y cantidad de células, específicamente de diatomeas pennadas con valores más altos en las α^B .

En las tablas 3, 4 y 5 se encuentran registradas las altas Irradiancias utilizadas, irradiancias que al parecer no fueron lo suficientemente altas como para producir efectos de fotoinhibición en las poblaciones fitoplanctónicas, ya que en los gráficos de P-E., no se observaron, siendo esta la principal razón por la cual se utilizó el modelo descrito por Hassby y Platt en 1976, ya que este modelo se puede utilizar siempre y cuando no exista el efecto de fotoinhibición; Aalderink (1997) realizó un estudio comparativo de modelos matemáticos predictores de curvas P-E, en el que trató de encontrar el modelo que mejor se ajustaba al previamente descrito por Hassby y Platt, (1976) y algunos otros; haciendo énfasis en el problema de la correlación de parámetros y las consecuencias en la utilización de los mismos para la construcción de curvas P-E.; encontrando que a un 90% de nivel de confianza que entre los modelos utilizados no se pudieron encontrar diferencias entre uno con respecto de otro, en lo referente a cual se ajusta mejor, aunque los modelos entre sí muestran diferencias en los parámetros de correlación, siendo estos parámetros de correlación los que podrán mostrar un mejor ajuste en la curva.

Los modelos de Fotosíntesis-Irradiancias son en general relaciones meramente empíricas entre la intensidad de luz incidente y la fotosíntesis, Aalderink (1997), menciona que particularmente en aguas costeras turbias, como es el caso del Delta del

Río Colorado, es demasiado difícil conocer los requerimientos para una buena distribución en las observaciones sobre la curva.

En algunos casos en que los experimento no ajustaron a el modelo, fue debido a que la pendiente inicial mostrada por los experimentos tiene una pendiente muy suave, incluso con valores por debajo de los esperados por el modelo, aunque al final a irradiancias mayores los valores de productividad se incrementaran, aparentemente no presentan fotoinhibición, lo cual concuerda con lo reportado por Priscus *et al.*, (1983); Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1996), los cuales mencionan que el fitoplancton puede tener adaptaciones en medios turbios al fotosintetizar inmediatamente al ser expuesto a la luz, independientemente de la temperatura y las especies. además en condiciones de luz baja, se presentan cambios en los cloroplastos para captar más luz, y esto se da en escalas de tiempo relativamente cortas de minutos a horas (Ferris y Christian, 1991). Lo anterior debido quizás a que el fitoplancton puede presentar tasas bajas de fotosíntesis durante periodos de bajas irradiancias de luz, pero mantienen su habilidad de fotosintetizar inmediatamente al ser expuesto a condiciones de luz más favorables (Priscu y Goldman, 1983). Esto a consecuencia de que la eficiencia de conversión de energía luminosa decrece pero la actividad específica y el índice de utilización de luz aumentan con un incremento de la turbidez, lo cual constituye una adaptación fisiológica del fitoplancton a la sombra.

Conclusiones

En general la POP y la concentración de clorofila en la región del DRC son altos, con valores altos para las épocas frías, en el Golfo de Santa Clara, y los valores altos en épocas cálidas en San Felipe.

La POP y la concentración de clorofila en la región del DRC, están principalmente controladas por el régimen de irradiancia y mareas, siendo la combinación de estas las que determina la intensidad de los flujos turbulentos y turbidez.

Los valores mas altos de razones de asimilación (P^B) se encontraron en el Golfo de Santa Clara, tanto en época fría como cálida debido a que son organismos mejor adaptados a las condiciones del medio.

En el Golfo de Santa Clara, el fitoplancton presento una distribución en forma de parches; con mayores abundancias en épocas frías con concentraciones entre las 11,200 y 161,000 cel L^{-1} y de 5,000 a 35,000 cel L^{-1} en épocas cálidas, compuesto en su mayoría por diatomeas pennadas y centrales que son características de aguas frío-templadas. El fitoplancton en el DRC esta adaptado a las condiciones del medio como son flujos turbulentos y turbidez ocasionados por la marea.

Los valores mas altos de las pendientes iniciales (α^B) de las curvas P-E se encontraron en el Golfo de Santa Clara en la condición de transición de mareas vivas a muertas en la época fría y en época cálida en transición de muertas a vivas. En San Felipe se presentaron los valores de α^B mas pequeños, de aproximadamente un orden de magnitud menores a los encontrados en el Golfo de Santa Clara, teniendo para la época cálida valores mas altos que para la época fría.

Dado lo anterior se puede establecer que en la región del DRC los factores mas importantes que controlan la POP en orden de importancia son: historial de flujo fotonico, turbidez, mareas y época de muestreo.

Recomendaciones

La temperatura, la salinidad, cantidad de nutrientes, velocidad de las corrientes y cantidad de luz, en el delta presentan un comportamiento altamente variable en función de la marea en un ciclo de 24 hrs. por lo tanto, para una mejor descripción de este medio tan cambiante, en relación a la POP, clorofila, abundancia, pendientes iniciales de la curva y fotosíntesis por unidad de clorofila, es necesario realizar series de tiempo mas largas abarcando ciclos de mareas vivas y muertas, durante todos los meses del año.

Referencias :

- Aalderink R.H. and R. Jovin 1997. Estimation of the photosynthesis-irradiance (P-I) curve parameters from light and dark bottle experiments. *Journal of plankton Research*
- Álvarez-Borrego S., Flores-Báez y L.A. Galindo-Bect, 1975, Hidrología del Alto Golfo de California. II condiciones durante invierno, primavera y verano. *Ciencias marinas*, 2(2):21-36
- Álvarez-Borrego S., Rivera J. A., Gaxiola-Castro G, Acosta-Ruiz M.J. Schwartzlose R.A. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 5:53-71
- Barocio-León, O., 1991. Productividad orgánica primaria en la región del Delta del Río Colorado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
- Beardall J. and Morris, J. 1976. The concept of light intensity adaptation in marine phytoplankton experiments with *Phaeodactylum tricornutum*. *Marine Biology*. 3:377-387.
- Bourillón-Moreno, L., A. Cantú-Díaz Barriga, F. Ambrosi-Eucardi, E. Lira-Fernandez, J. Ramirez-Ruiz, E. Velarde-González, A. Zavala-González 1988. Islas del Golfo de California. Coedición Secretaria de gobernación. U.N.A.M., 2 (1):81-88
- Campoy-Favela 1999. Situación actual de la reserva de la biosfera, Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Instituto Nacional de Ecología / SEMARNAP. Av. Jalisco 903, San Luis Río Colorado, Sonora,
- Creitz, G.I. and F. A. Richards., 1955. The estimation and characterization of plankton population by pigments analysis III. A note on the use of "Millipore" membrane filter in the estimation of plankton pigments. *Journals Marine Res.* 14:211-215.
- Contreras, F. 1988. Las lagunas costeras mexicanas. Secretaria de pesca. Mexico .pp.263.
- Cupp, E. E. 1943. Marine diatoms of the west coastal of north america Scripps Institute Oceanogr. Bulletin. Vol. 5, pp.238
- De la Peña-Nettel, 1991. Influencia de la turbidez sobre la producción organica primaria en la región del Delta del Río Colorado. tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California., Ensenada México 1991
- Descolas-Gros, C. 1978 . Role de certaines especes de diatomeas dans la structure des

comunidades fitoplanctónicas. Tesis de doctorado de 3er. Ciclo. University de Paris VI. Pp. 85.

- Edwards, R. R. C. 1978. Ecology of coastal lagoon complex in México. Estuarine Coastal marine. Sci. Academic press. New York. 6(1):75-92
- Ferris, M. and Christian, R. 1991. Aquatic Primary Production in relation to microalgal responses to changing light: a review Aquat. Sci., 53(213); 187-217.
- Harrison, W.G. and T.Platt. 1980. Variations in the assimilation number of coastal marine phytoplankton: effects of environmental covariates. J. Plankton Res., 2:249-260.
- Hernández-Ayón. J. M., Galindo-Bect. M. S., Flores-Báez P. and Alvarez-Borrego. S., 1993. Nutrient concentrations are high in the turbid waters of the Colorado River Delta. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 37:593-602.
- Jassby, A.D. and Platt, T. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. Limnol. Oceanogr., 21, 540-547.
- Lavin M.F. and Organista S. 1988 Surface heat flux in the northern gulf of California. J. Geoph. Res. 93:14033-14038
- Legendre, L., Demers, S., Tharriault, J.C. and Baudreau, C.A. 1985. Tidal variation in Photosynthesis of estuarine phytoplankton isolated in a tank. Marine Biology., 83: 301-309.
- León-Portilla. 1972. Descubrimiento en 1540 y Primeras noticias de la Isla de Cedros Calafia 2:8-10.
- Lepley, L. K., S. P. Vonder-Haar, J.R. Hendrickson and R. G. Calderón. 1975. Circulation in the northern gulf of California from orbital photographs and ship investigations. Ciencias Marinas, 2(2): 86-93.
- Licea-Durán. S. 1974. Sistemática y distribución de diatomeas de la laguna de Agiabampo, Son./Sin., México. An. Centro Cienci. Del mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 1(1): 99-156.
- Mascorro-Segura R., 1994. Variación de la temperatura salinidad y oxígeno disuelto en dos localidades del alto golfo de California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
- Martines-Rojas-Reynoso., 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.

- Millán-Núñez R., S. Alvarez-Borrego (1978) Ecuaciones espectrofotométricas para la determinación de clorofilas a, b y c y sus feofitinas. *Ciencias Marinas*. 5:1 pp 475.
- Millán-Núñez, R., E. Santamaría-del-Ángel, *et al.*, (1999). El Delta del Río Colorado: Un ecosistema vivo ó muerto. *Ciencias Marinas* (1999), 25(4);509-524.
- Miranda-Reyes, F., S. Reyes Coca y J. García-López. 1990. Climatología de la región noroeste de México Parte I. Precipitación. Rep. Tec. EBA N. 3 CICESE, Ensenada Baja California, México.
- Odum, E.D. 1972. *Ecología*. Tercera edición. Ed. Interamericana .México D.F.
- Orozco-Borbón 1995. Producción y biomasa del bacterioplancton en el delta del Río Colorado y San Felipe, B.C., Golfo de California. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.
- Perry, M.J., M.C. Talbot, R. S. Alberte. 1981. Photo adaptation in marine phytoplankton: response of the photosynthetic unit. *Marine Biology* 62(2-3):91-101.
- Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M. 1985 A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon press, 174 pp.
- Platt, T., M.R. Lewis, and R. Geider. 1984. Thermodynamics of the pelagic ecosystem: elementary closure conditions for biological production in the open ocean. P. 49-84. In: M.J. Fasham (ed), *Flows of energy and materials in marine ecosystems: theory and practice* plenum.
- Priscus, J. C. and Goldman, C. R. 1983. Seasonal dynamics of the deep-chlorophyll maximum in castle Lake, California. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40: 208-214
- Programa de manejo reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. 1994. Sub programa de investigación científica y evaluación sistematica, 32 pp.
- Rojas-Bracho L., 1998. Evaluación genética y riesgo de endogamia en una especie endémica críticamente amenazada del Golfo de California : la vaquita (*Phocoena sinus* Norris y Mcfarland, 1958). Tesis Doctoral en Oceanografía Costera, Facultad de Ciencias Marinas, UABC. pp 113
- Santamaría-del-Ángel E., 1989. El Fitoplancton en lagunas costeras. Memorias de la mesa redonda "Análisis de la metodología para el estudio del plancton." Cuarta reunión de la sociedad mexicana de planctología. La Paz, B.C.S.
- Santamaría-del-Ángel E., R. Millán-Núñez, G. De la Peña-Nettel. 1996. Efecto de la

Turbidez en la productividad primaria en dos estaciones en el área del Delta del Río Colorado. *Ciencias Marinas* 2(2): 54-67.

Silva-Cota. S., 1987. Relación fotosíntesis-irradiancia del fitoplancton de verano de una laguna costera del noroeste de Baja California. Tesis de maestría en Ecología Marina. Centro de investigación científica y de educación superior de ensenada

Taylor. F. J. R., 1976. Dinoflagellates from the international indian ocean expedition. pp.234.

Torres-Moye. G., 1985. Variación de día a día de los parámetros fotosintéticos del fitoplancton en una zona de surgencia costera. Tesis de maestría en Ecología Marina. Centro de investigación científica y de educación superior de ensenada.

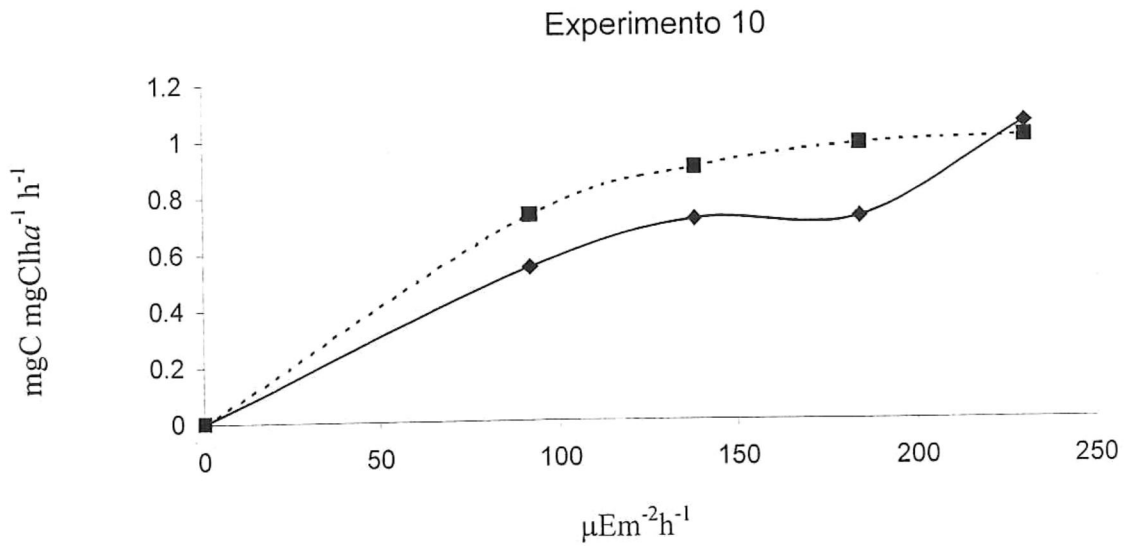
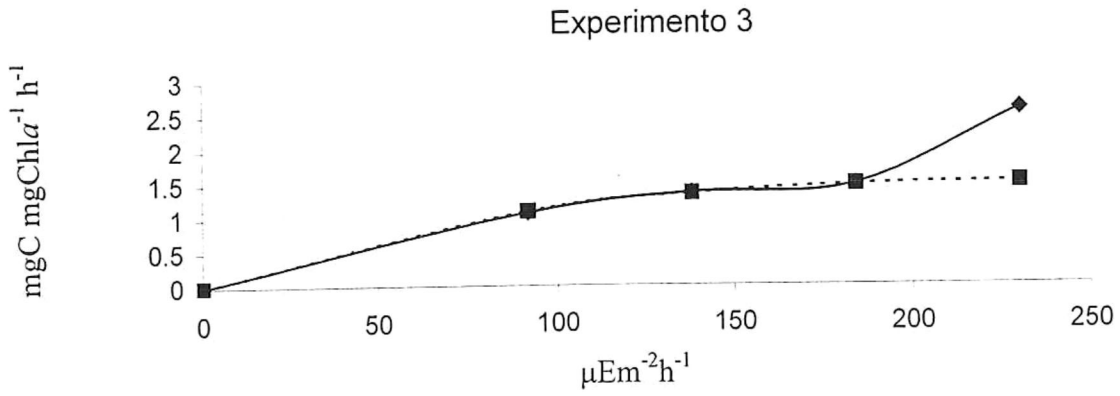
Vinyard, W. C., 1979. Diatoms of north america. Mad river Press, Eureka, Canada. Pp. 119

Yentsch. C.S., 1980. Light attenuation and phytoplakton phptosynthesis en: Morris I. (ed). *The physiological ecology of phytoplankton*.

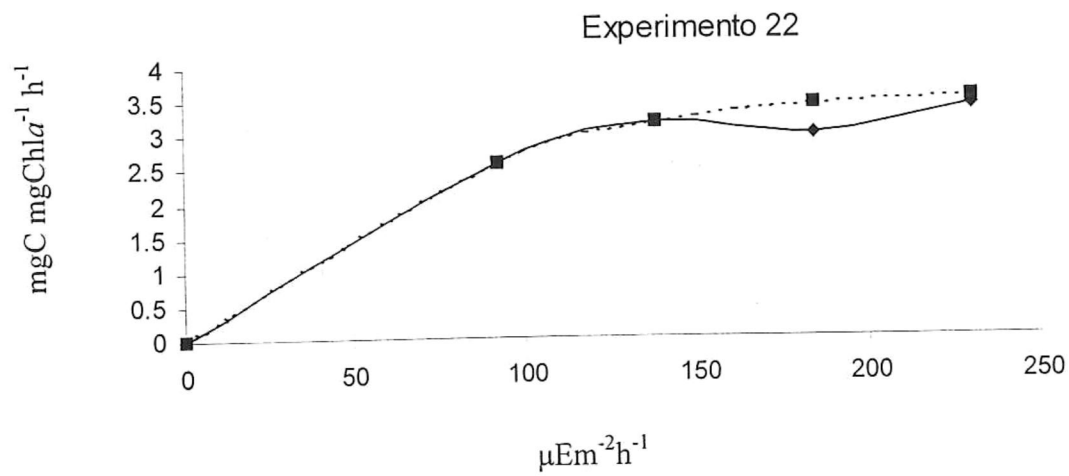
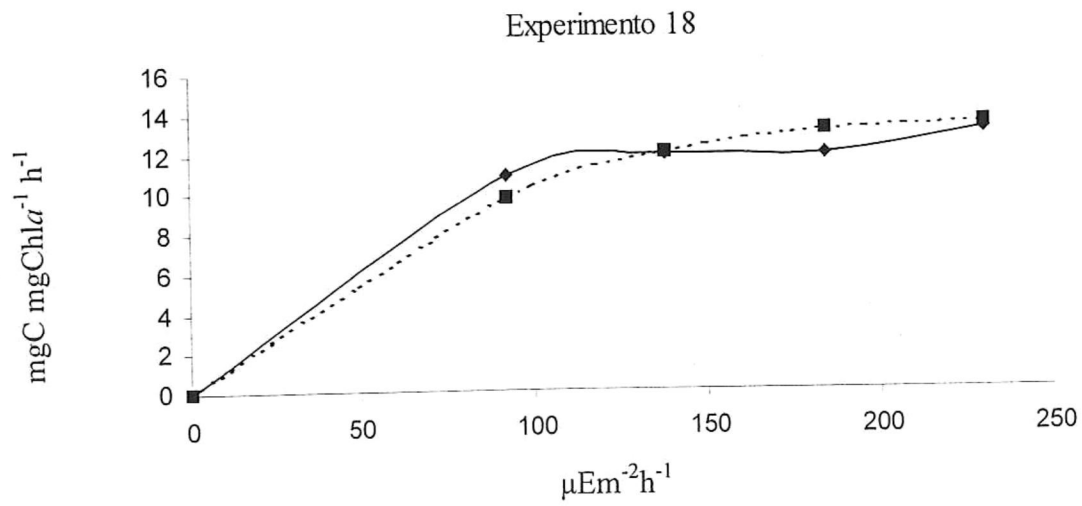
Zamora-Casas, C. 1993. Comportamiento del seston en la desembocadura del Río Colorado, Sonora-Baja California. Tesis de licenciatura. FCM-UABC .pp73

Apéndice I

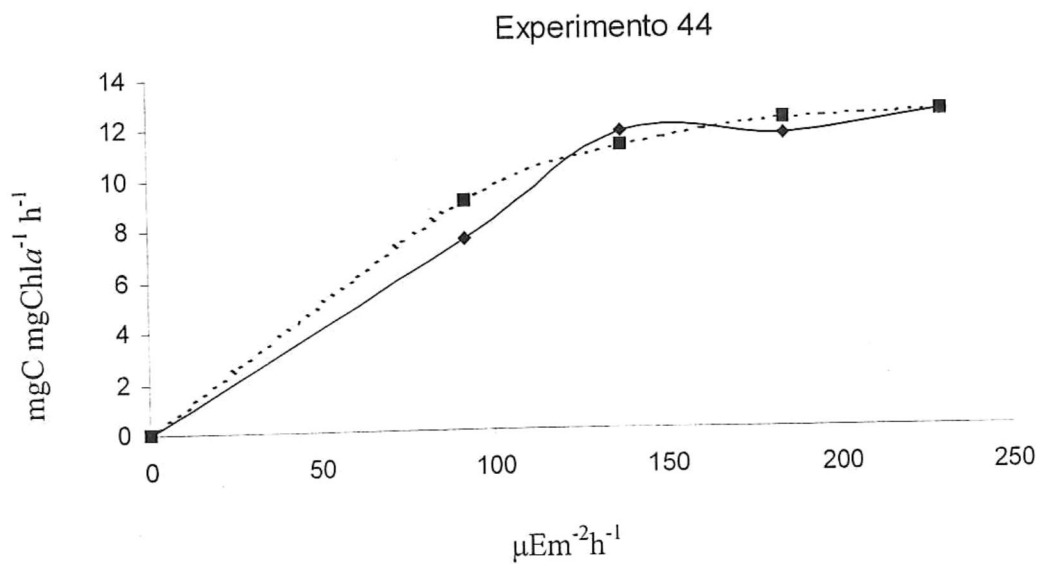
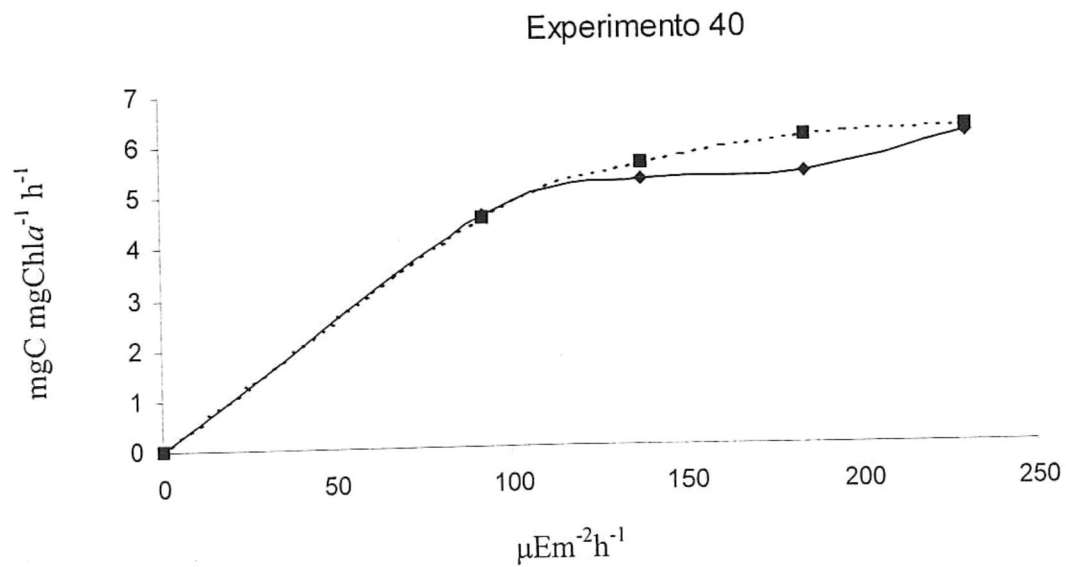
Gráficos de los experimentos de mejor ajuste al modelo de fotosíntesis-irradiancia para las campañas de muestreo en San Felipe febrero y mayo de 1991, Golfo de Santa Clara en febrero y mayo de 1991, abril de 1998, noviembre de 1999 y febrero del 2000.



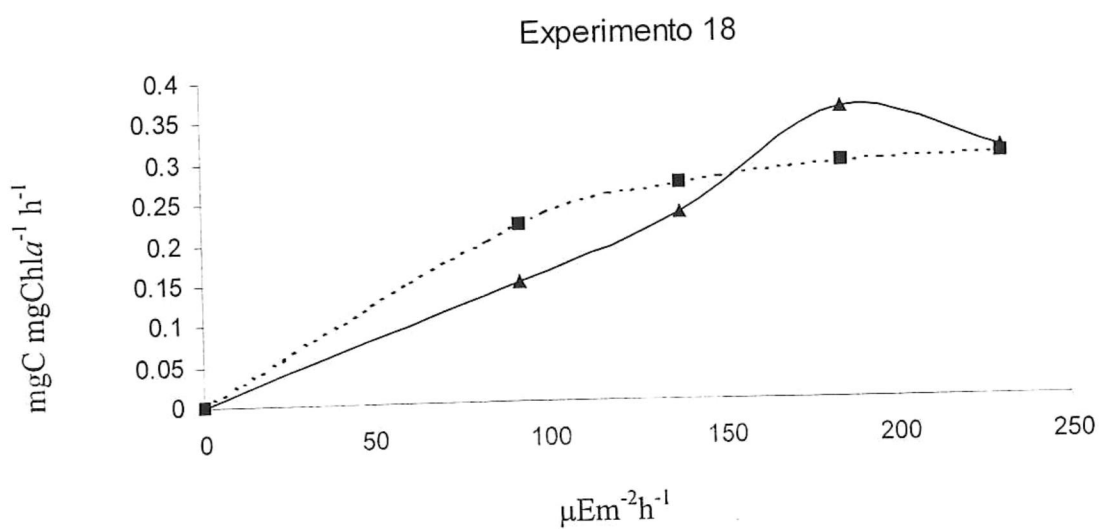
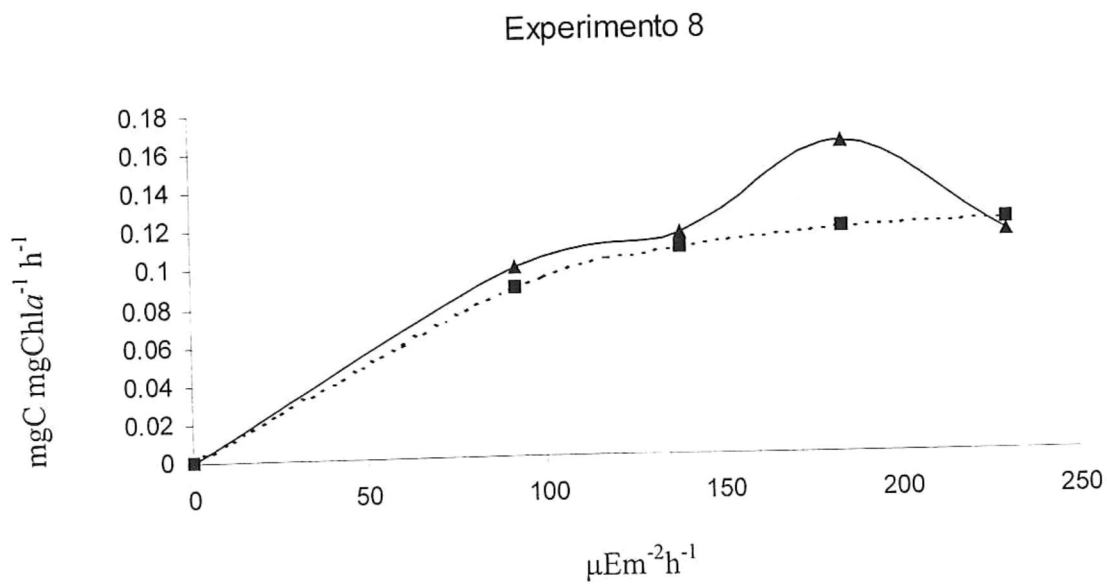
Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campaña de muestreo en el Golfo de Santa Clara para Febrero de 1991, experimentos 3 y 10



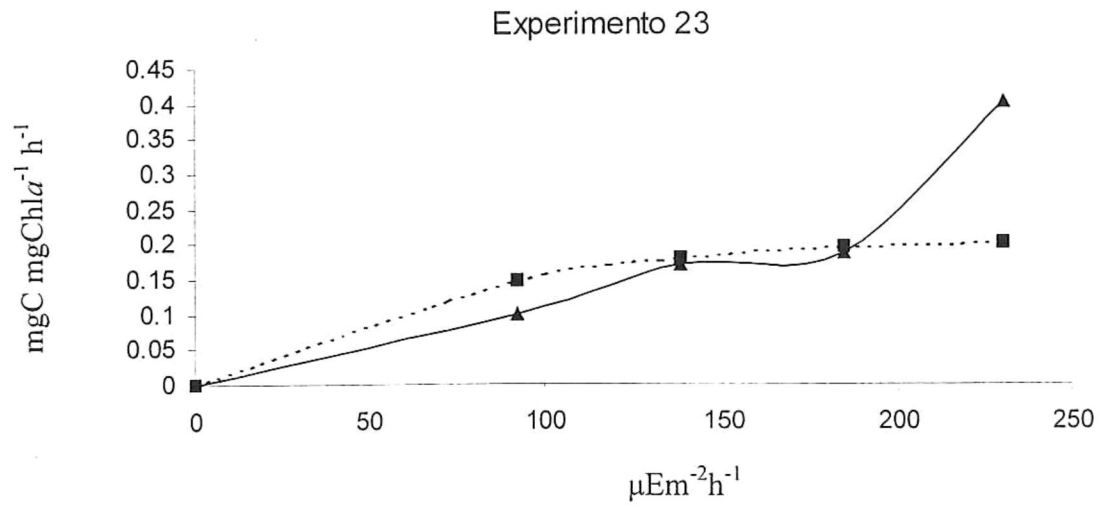
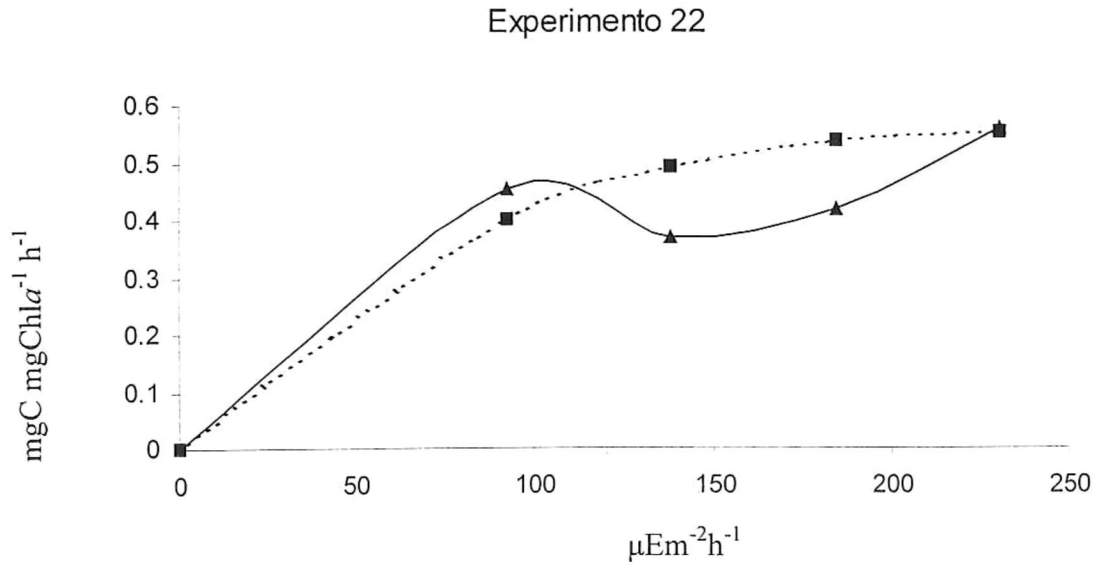
Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campana de muestreo en el Golfo de Santa Clara para Febrero de 1991, experimentos 18 y 22



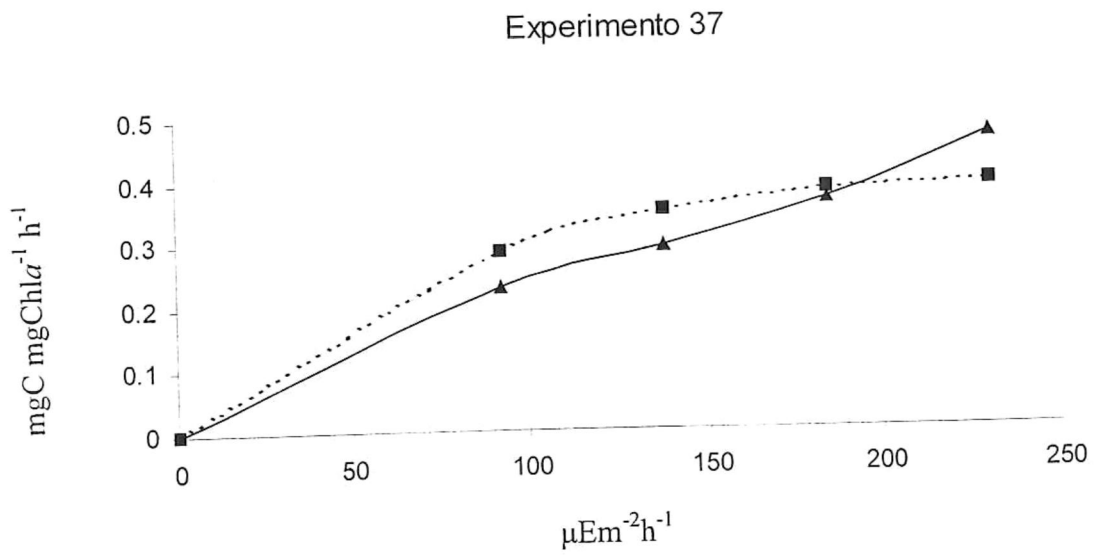
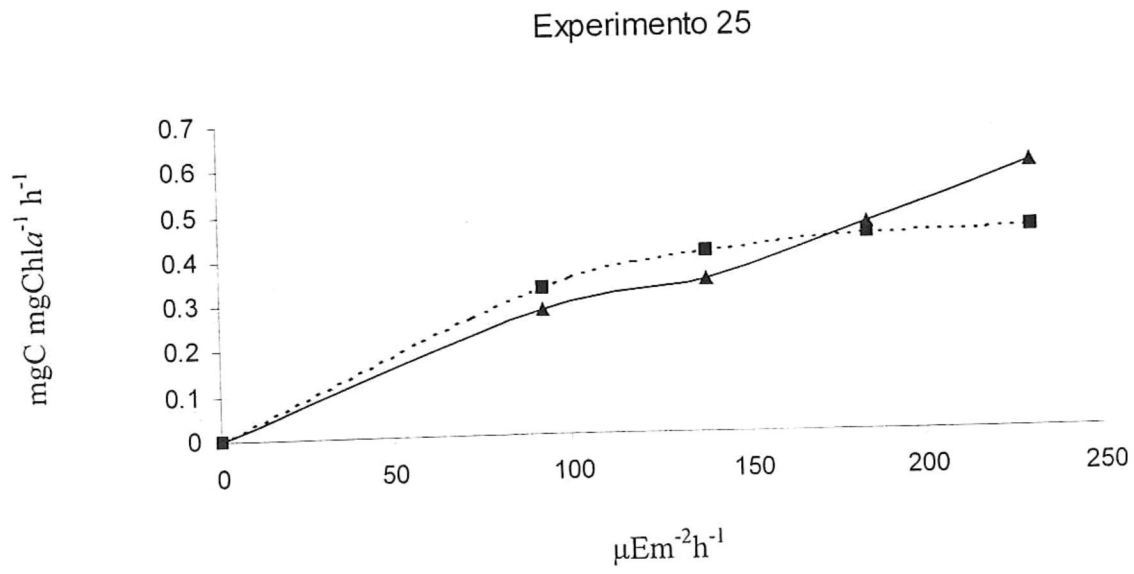
Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campana de muestreo en el Golfo de Santa Clara para Febrero de 1991, experimentos 40 y 44



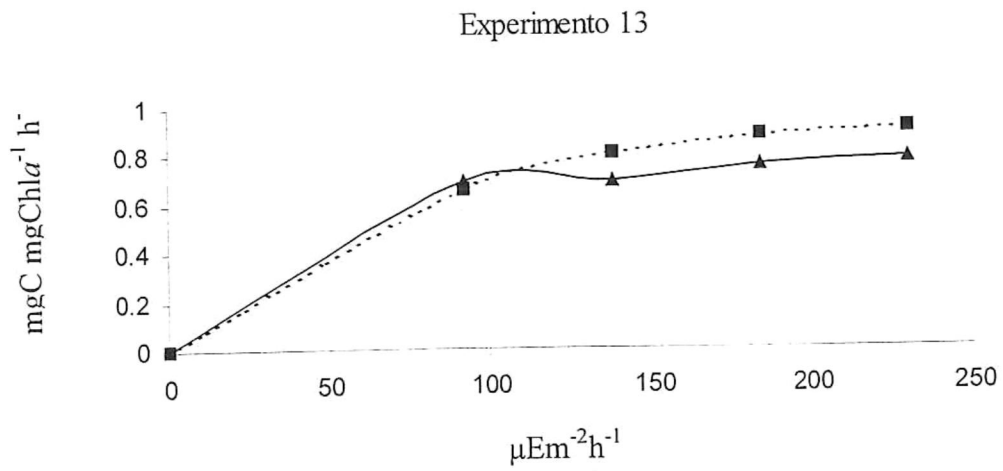
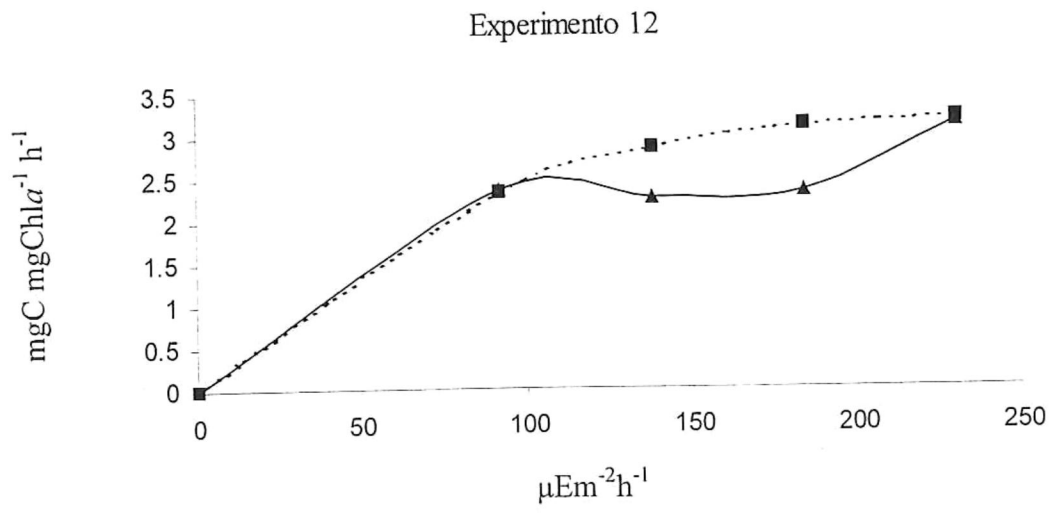
Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campana de muestreo en San Felipe para Febrero de 1991, experimentos 8 y 18



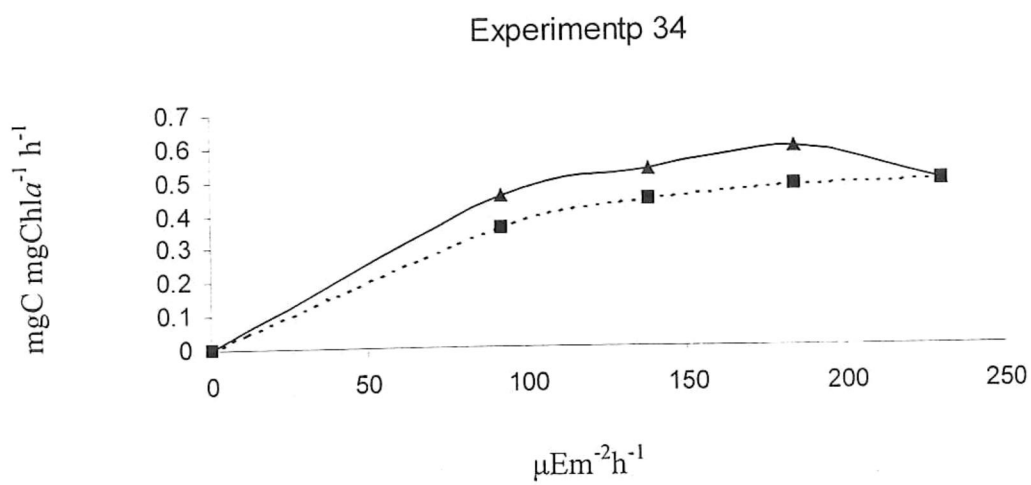
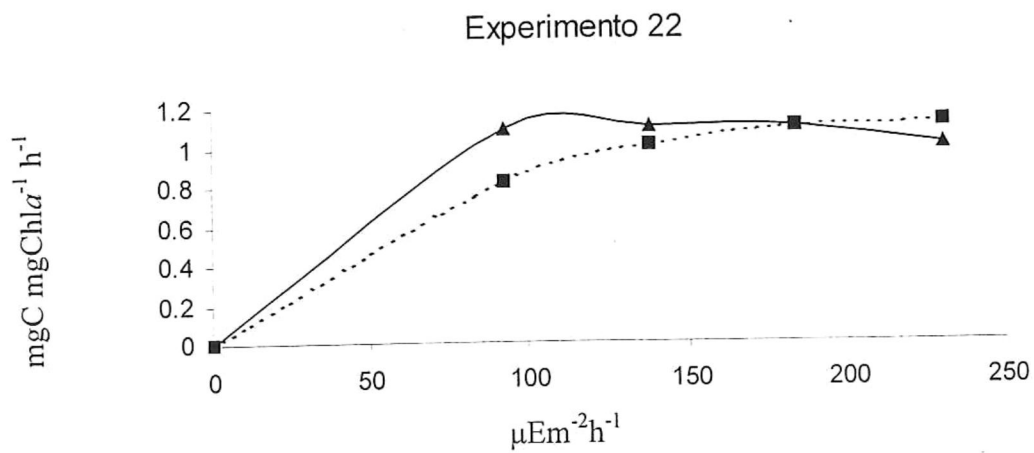
Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campana de muestreo en San Felipe para Febrero de 1991, experimentos 22 y 23



Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campana de muestreo en San Felipe para Febrero de 1991, experimentos 25 y 37



Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campana de muestreo en San Felipe para Mayo de 1991, experimentos 12 y 13



Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campana de muestreo en San Felipe para Mayo de 1991, experimentos 22 y 34

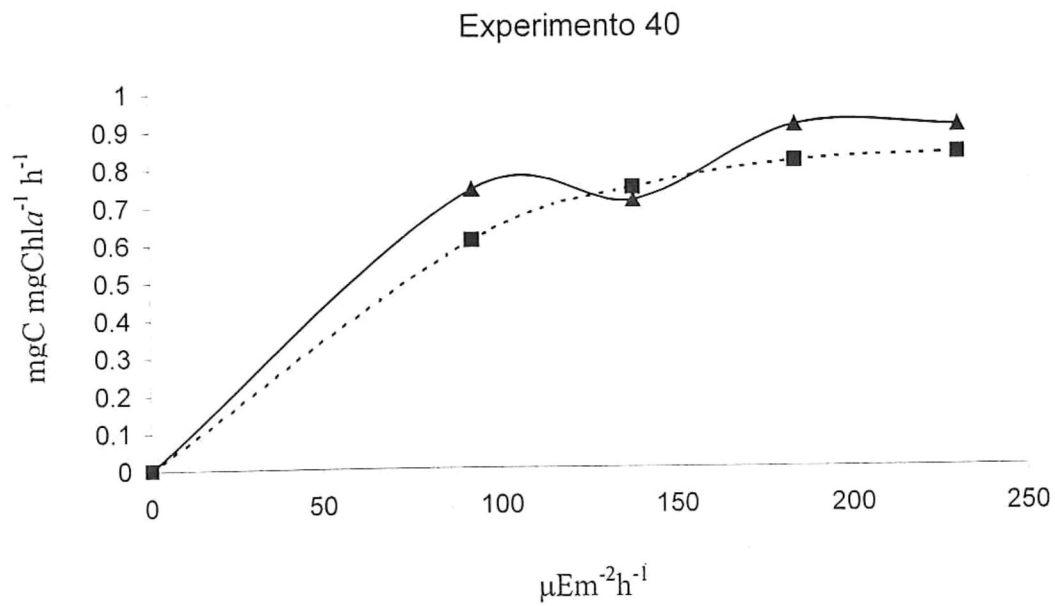
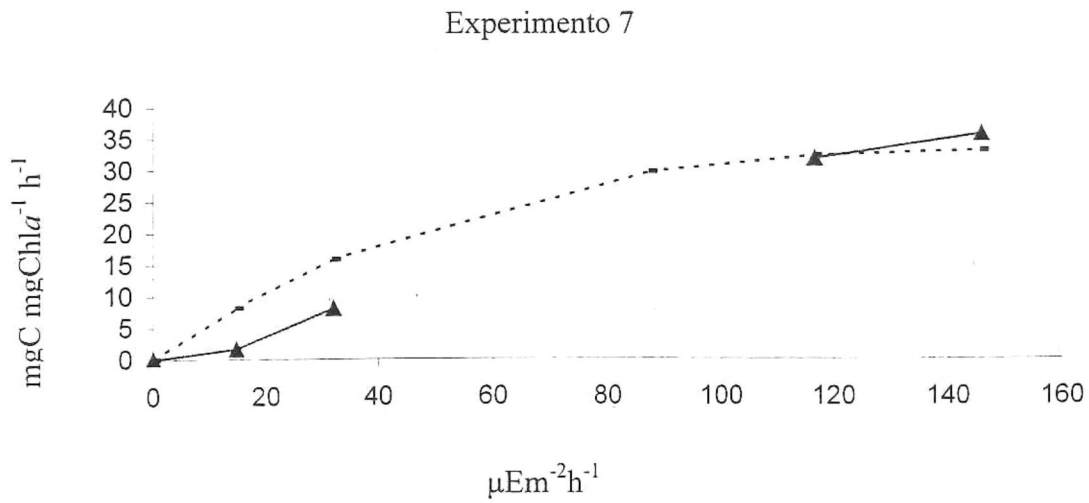
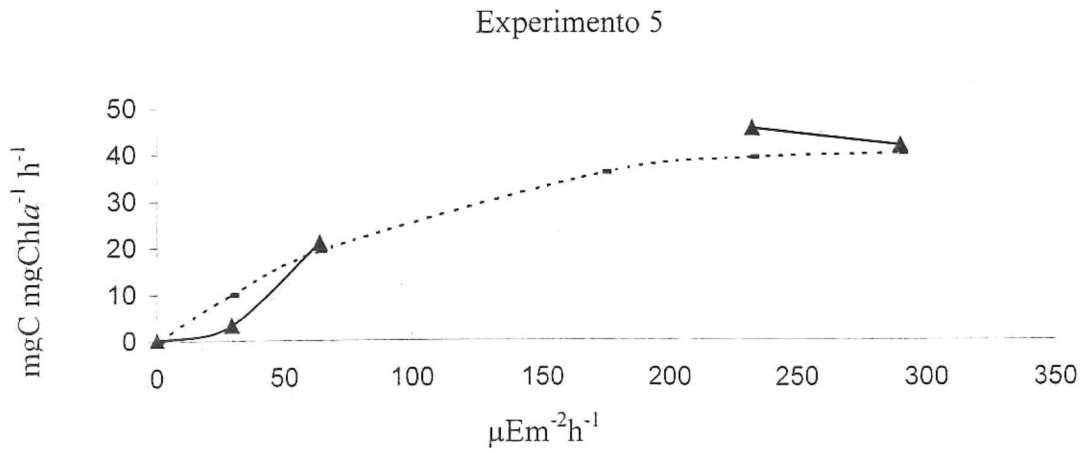


Gráfico de mejor ajuste al modelo para la campana de muestreo en San Felipe para Mayo de 1991, experimento 40



Gráficos de mejor ajuste al modelo para la campaña de muestreo en el Golfo de Santa Clara para febrero del 2000, de los experimentos 5 y 7