



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



**PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE LA CLOROFILA *a* A PARTIR DE LA
FLUORESCENCIA NATURAL Y SU RELACIÓN CON LA HIDROGRAFÍA EN EL
CAÑÓN DE CAMPECHE Y BANCO DE CAMPECHE, MÉXICO (JUNIO, 2002)**

TESIS
que para obtener el grado académico de

Maestra en Ciencias
(Biología Marina)

presenta

ELIZABETH DURÁN CAMPOS

Directora de Tesis: DRA. MARTHA SIGNORET POILLON
Comité tutorial: DR. DAVID URIEL HERNÁNDEZ BECERRIL
DR. MARTÍN MERINO IBARRA
DRA. MARÍA ADELA MONREAL GÓMEZ
DR DAVID ALBERTO SALAS DE LEÓN

México, D. F., 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

MI AGRADECIMIENTO A LA DRA MARTHA SIGNORET POILLON POR HABERME GUIADO DURANTE MI MAESTRÍA, HABERME APOYADO A LA REALIZACIÓN DE MI TESIS Y POR SER UNA GRAN PERSONA.

MI MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO AL DR. DAVID ALBERTO SALAS DE LEÓN POR HABERME DADO UN LUGAR EN SU LABORATORIO, POR HABERME DADO LA OPORTUNIDAD DE CONOCER LOS BUQUES OCEANOGRÁFICOS DE LA UNAM, POR SU APOYO RECIBIDO PARA LA REALIZACIÓN DE MI TESIS Y POR SER UNA PERSONA EXTRAORDINARIA Y FUERA DE LO NORMAL.

MI AGRADECIMIENTO A LA DRA. MARÍA ADELA MONREAL GÓMEZ POR HABERME APOYADO PARA LA REALIZACIÓN DE MI TESIS DANDOME CONSEJOS Y SUGERENCIAS PARA ENTIQUECER ESTE TRABAJO Y POR SER UNA PERSONA EXTRAORDINARIA.

MI AGRADECIMIENTO A LOS DOCTORES MARTÍN MERINO IBARRA Y DAVID URIEL HERNÁNDEZ BECERRIL POR HABERME APOYADO EN LA REALIZACIÓN DE MI TESIS Y POR HABERME FACILITADO SU EQUIPO Y LAS INSTALACIONES DE SUS LABORATORIOS.

MI AGRADECIMIENTO AL POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA POR TODO EL APOYO BRINDADO DURANTE MI ESTANCIA EN EL INSTITUTO.

ÍNDICE

	Página
Introducción	1
Antecedentes	3
Objetivo	5
Preguntas a resolver	6
Área de estudio	7
Materiales y método	8
Resultados y Discusión	13
<i>Masas de agua</i>	13
<i>Giro ciclónico</i>	16
<i>Nitratos</i>	19
<i>Oxígeno disuelto</i>	26
<i>Materia particulada suspendida</i>	28
<i>Distribución vertical de la clorofila <i>a</i></i>	34
<i>Composición General del Fitoplancton</i>	48
<i>Análisis estadístico</i>	49
<i>Implicaciones tróficas</i>	51
<i>Distribución horizontal de la clorofila <i>a</i></i>	52
Conclusiones	54
Referencias bibliográficas	56

RESUMEN

Se analizan y presentan los patrones de distribución de clorofila *a* (Chla) a partir de la fluorescencia natural y su relación con la hidrografía y con los nitratos en la capa superficial (0 a 200m) en el Cañón de Campeche y Banco de Campeche, Golfo de México (GM) en junio de 2002. Con los datos hidrográficos obtenidos con un CTD Neil Brown Mark III se determinó la estructura física de la columna de agua y el tipo de circulación presente en la zona. El análisis de los nitratos se realizó con un autoanalizador Skalar San Plus System. La concentración de Chla (mg m^{-3}) se obtuvo con un perfilador de fluorescencia natural (PNF-300). Los resultados muestran la presencia de cinco masas de agua (Agua Común del GM, Agua Subtropical Subsuperficial del GM, Agua Superficial tropical del Caribe, Agua Subsuperficial Subtropical del Caribe y Agua Intermedia Antártica) y una circulación anticiclónica-ciclónica. La concentración de nitratos se encuentra dentro del intervalo conocido para el GM (NO_3 de 0.1 a $10 \mu\text{mol L}^{-1}$). La concentración de Chla varió de 0.01 a 1.00 mg m^{-3} . Los picos máximos de la Chla tuvieron valores de 0.15 a 0.79 mg m^{-3} . Se identificaron dos tipos de perfiles verticales de Chla: a) un máximo profundo, en la zona del Cañón y b) un máximo asociado al fondo, sobre el Banco de Campeche. Los valores de la Chla más elevados se registraron en la zona del frente formado por el par de giros anticiclónico-ciclónico; mientras que los de la Chla integrada se presentaron en mayor cantidad en las zonas que no presentan influencia por el frente de los giros. Con base en sus concentraciones de la Chla la zona del Cañón presentó condiciones oligotróficas, mientras que en la zona del Banco fueron mesotróficas. Se concluye que la hidrodinámica en la zona de estudio contribuye en gran medida al comportamiento del fitoplancton y a la concentración de Chla.

ABSTRACT

The distribution patterns of chlorophyll *a* fluorescence and their relationship with the hydrography and nitrate in the surface layer (0- 200 m) in Campeche's Canyon y Campeche's Bank, Gulf of Mexico (G.M) in June of 2002 were investigated. A CTD Neil Brown Mark III was used to determine the physical structure of water column and the circulation type. An autoanalyzer Skalar San Plus System was used to determine the nitrate concentration. Chlorophyll measurements ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) were made, using a Profiler Natural Fluorescence (PNF-300) of Biospherical Instruments. The results obtained show five different types of water masses (common water of GM, SubTropical Subsurface Water of GM, Antarctic Intermediate Water, Tropical Surface Water of Caribbean y Subtropical Subsurface Water of Caribbean) and anticyclonic-cyclonic circulation. The nitrate concentration were similar for other seasons and regions of the GM (NO_3 from 0.1 to 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$). Chlorophyll *a* concentration ranged from 0.01 to 1 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. The deep maximums Chlorophyll was 0.15 a 0.79 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Two types of vertical profiles were identified: a) one deep maximum in the Canyon zone and b) one maximum associated to deep over de Campeche's Bank. The values of chlorophyll was highest in the area of the front formed by the pair anticyclonic.cyclonic gyre; whose of the integrate chlorophyll where presented at most in the area that are impacted by the front of the gyre. Based on concentration if Chlorophyll Canyon of conditions was oligotrophic and the Bank was mesotrophic. The conclusion are the hydrography determine the distribution of chlorophyll *a* concentration and phytoplankton behaviour.

INTRODUCCIÓN

La clorofila *a* (Chl*a*) es considerada como un indicador de la biomasa fitopláctica (Cowles *et al.* 1993). Su distribución vertical está directamente vinculada con la estratificación y mezcla de la columna de agua, el espesor de la capa eufótica y la disponibilidad de nutrientes a diferentes escalas de tiempo y de espacio, como resultado de diversos procesos hidrodinámicos tales como surgencias, frentes, giros ciclónicos y anticiclónicos.

La Chl*a* tiene la propiedad de emitir fluorescencia. A lo largo de décadas pasadas y hasta la fecha, la fluorescencia *en vivo* de la clorofila *a* ha sido usada extensamente en la oceanografía biológica como una estimación rápida de la biomasa fitopláctica, para inferir la actividad fotosintética y para medir la tasa de producción primaria (Falkowski y Kiefer, 1985; Falkowski, 1988, Kiefer *et al.* 1989 y Chamberlin *et al.* 1990).

La fluorescencia natural de la Chl*a* en el mar es la emisión de luz estimulada por el sol en una longitud de onda de 683 nm. Chamberlin *et al.* (1990) mencionan que la señal de la fluorescencia es suficientemente fuerte para ser detectada en la zona eufótica.

La fluorescencia natural de la Chl*a* debe ser considerada como una variable básica en el estudio de la distribución y crecimiento de las poblaciones fitoplácticas. El primero en considerar esta propiedad fue Lorenzen (1966) y la incorporó a métodos de registro en el mar. La fluorescencia *en vivo* permite estimar la biomasa del fitoplancton y su distribución en tiempo real, sin perturbar el medio (Kiefer *et al.* 1989). Los métodos de registro de la fluorescencia de la Chl*a* son diversos y en ocasiones han sido comparados con el método del ¹⁴C por diferentes autores (Aguirre, 2002).

La relación fluorescencia-fotosíntesis depende estrechamente de la irradianza, de la temperatura y de la concentración de nutrientes (Falkowski, 1988).

Respecto a los nutrientes, Libes (1997), señala que éstos tienden a presentarse en concentraciones muy bajas, a veces casi indetectables, en la superficie del océano, mientras que al ir aumentando la profundidad, van aumentando con ella. La picnoclina es una barrera de transición en donde muchas veces quedan atrapados los nutrientes (Libes, 1997). Una forma de

conducir los nutrimentos a la zona eufótica es por medio de los giros ciclónicos y las surgencias, entre otros. Los fosfatos, silicatos y nitratos presentan valores mínimos en la capa de mezcla, debido al consumo biológico y a la presencia de la termoclina (Merino, 1992).

Al morir, el fitoplancton es degradado, junto con otra fracción de materia orgánica proveniente del zooplancton y sus excretas, por las bacterias heterótrofas, las cuales remineralizan la materia orgánica con lo cual los nutrimentos quedan nuevamente disponibles para el fitoplancton. En el caso particular de las diatomeas, las frústulas se disuelven a lo largo de la columna de agua haciendo disponible otra vez el silicato (Libes, 1997).

En el sur del Golfo de México y el Mar Caribe se han podido obtener patrones de distribución vertical de la Chla y de la fluorescencia natural en la columna de agua (Salas de León *et al.* 2004; Signoret *et al.* 1998; Signoret *et al.* 2006). Los patrones identificados se vinculan con la hidrodinámica del sur del Golfo de México, la cual está altamente influenciada por la Corriente de Lazo.

El Cañón de Campeche se encuentra en el extremo occidental de la Bahía de Campeche. El cañón es un rasgo sobresaliente del talud continental el cual se limita por el escarpe del mismo nombre y cuyo origen está relacionado con la evolución tectónica de la zona. El cañón cuenta con grandes cambios de profundidad que van desde 200 a 2,000 m. El Cañón de Campeche presenta una circulación anticiclónica-ciclónica (Monreal Gómez y Salas de León, 1997; Salas de León *et al.* 2004; Signoret *et al.* 2006).

A pesar de que hay muchos avances en cuanto a estudios del fitoplancton y su fluorescencia *en vivo*, en México, éstos son muy escasos todavía.

Con la presente investigación se pretende identificar y caracterizar los patrones de distribución de Chla a partir de la fluorescencia natural en la zona del Cañón de Campeche y su relación con la hidrografía, los nitratos, la materia particulada suspendida (MPS) y la irradianza. La importancia de esta investigación radica en que se conoce muy poco de la zona, de sus procesos hidrodinámicos y como estos juegan un papel fundamental en la distribución del fitoplancton. Los procesos hidrodinámicos tienen repercusiones en los patrones de distribución de la clorofila *a* en los océanos; dichos patrones tienen

efectos directos en los procesos biológicos que ocurren en las redes tróficas marinas (Cullen *et al.* 1981).

ANTECEDENTES

Los estudios sobre el plancton en el sur del Golfo de México se iniciaron en la época de los 60's con las investigaciones de los rusos y cubanos (Okolodkov, 2003). Estos investigadores encontraron tendencias en los patrones de distribución de la biomasa fitopláctica y de la producción primaria y señalan que las regiones oceánicas del Golfo de México son oligotróficas, mientras que las masas de agua subsuperficiales del Caribe son más ricas en fitoplancton en comparación con el Golfo. Debido a las surgencias y a las descargas del Río Mississippi, el Banco de Campeche, la parte noroccidental del Golfo y la plataforma continental oeste de Florida, se caracterizaron por tener una producción relativamente alta en plancton y cambios irregulares en cuanto a la biomasa. Los investigadores rusos y cubanos concluyeron que los cambios espaciales en la distribución de la biomasa en el Golfo de México y Cañón de Campeche se asocian con la circulación ciclónica y anticiclónica de la zona (Okolodkov, 2003).

Asimismo, se han realizado varias investigaciones sobre aspectos ecológicos del fitoplancton, incluyendo datos sobre producción primaria (Cruz, 1971; Furnas y Smayda, 1987; Licea y Santoyo, 1991; Licea y Luna, 1999; Signoret *et al.* 1998) y sobre florística y taxonomía de ciertos grupos del fitoplancton (Hernández-Becerril *et al.* 2008; García, 2003 y Hernández-Becerril, 1998).

El método para registrar la fluorescencia de la Chla estimulada con luz solar (fluorescencia natural) ha sido ampliamente investigado y está bien documentado por diferentes autores (Cowles *et al.* 1993; Doerffer, 1993; Kiefer *et al.* 1989). El uso de este método ha probado ser un estimador confiable de la producción primaria en diferentes regiones de México (Cervantes *et al.* 2005; García y Máske, 1996; Stegmann y Lewis, 1997; Valdez *et al.* 1995).

En el sureste del Golfo de México se realizó un estudio sobre la producción primaria utilizando el método de la fluorescencia natural por estimulación solar, (Aguirre, 2002); en el cual se observó que éste brinda mediciones rápidas de la distribución y biomasa de fitoplancton marino. Se encontró que la distribución de la Chla y de la producción primaria no fue homogénea. Para aguas oceánicas los valores fueron del orden de 0.4 mg m^{-3}

y para aguas costeras de 2.3 mg m^{-3} . Los resultados obtenidos son similares a los calculados por otros autores utilizando diferentes métodos.

En la región central de la Bahía de Campeche se presenta una acentuada oligotrofia que está vinculada con la estratificación de las masas de agua (Licea y Santoyo, 1991). En la zona costera del sur de la Bahía de Campeche los valores de la biomasa fitopláctica son elevados mientras que en el Cañón de Campeche son valores bajos (Licea y Luna, 1999).

En la región del Cañón de Campeche Salas de León *et al.* (2004) han detectado la presencia de un giro anticiclónico asociado con uno ciclónico. Estos giros influyen sobre las concentraciones y distribución de la Chla y la materia particulada en suspensión. En este sentido, estos autores reportan la presencia de un gradiente térmico en el borde de la plataforma continental del Banco de Campeche el cual corresponde a un domo de bajo contenido de oxígeno cercano a la base de la capa de mezcla. La presencia de dicho domo ejerce un efecto importante sobre el contenido de Chla, en donde se forma un pico máximo profundo muy cercano al límite de la capa eufótica.

La abundancia del picofitoplancton en el sur del Golfo de México, incluyendo la región del Cañón de Campeche, fue analizada por Aquino (2005). Este autor señala que las mayores abundancias se presentan en la región asociada al sistema Grijalva-Usumacinta, seguido de la región con influencia del Río Coatzacoalcos y en último lugar, en las aguas oligotróficas del Cañón de Campeche.

La variabilidad de perfiles de Chla a partir de la fluorescencia natural en el oeste y centro del Golfo de México, fué estudiada por Signoret *et al.* (2006) quienes señalan que la profundidad de la termoclina coincide con los patrones de circulación ciclónica y anticiclónica en el borde del talud continental. Reportan que la concentración de clorofila *a* oscila entre 0.02 y 0.45 mg m^{-3} y la clorofila *a* integrada, entre 1.7 y 12.7 mg m^{-2} , con un aporte mayor de biomasa nanofitopláctica. Asimismo, reportan la presencia de cuatro tipos diferentes de distribución vertical de la Chla: a) presencia de un máximo profundo (95- 110m) asociado con el límite de la capa eufótica; b) distribución homogénea en la columna de agua; c) aparición de dos máximos o más, asociados con la termoclina y bajas irradianzas; d) existencia de una microcapa independiente de la termoclina y de la irradianza. Por último, resaltan la importancia de los

patrones de distribución vertical de la Chla para los consumidores primarios, como la disponibilidad de alimento para el zooplancton herbívoro.

García (2003) estudió la estructura del fitoplancton en función de la composición y abundancia del fitoplancton en el sur del Golfo de México y encontró 114 taxones de diatomeas de las cuales las 2 especies más representativas fueron *Nitzschia bifurcata* y *Nitzschia bicapitata*, 31 coccolitofóridos siendo la especie más sobresaliente *Emiliana huxleyi*, 32 dinoflagelados y 2 silicoflagelados.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este estudio es identificar y caracterizar los patrones de distribución de la Chla a partir de la fluorescencia natural y su relación con procesos hidrodinámicos en el Cañón de Campeche y Banco de Campeche, Golfo de México, en junio de 2002.

PREGUNTAS QUE SE PRETENDEN RESPONDER

¿Cuáles son los procesos hidrodinámicos presentes en la zona del Cañón de Campeche?

¿Cuál es el efecto de estos procesos sobre la distribución vertical de los nitratos?

¿Cuál es el efecto de estos procesos en la distribución vertical y horizontal de la Chla?

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se conoce como Cañón de Campeche y se localiza entre las latitudes 20° 12' y 21° 36' N y las longitudes 92° 24' y 93° 24' W (Fig. 1). Tiene una longitud de 125 km y una anchura de 55 km. El cañón es de origen tectónico (Weaver, 1950) y se encuentra en el lado oeste de la plataforma de Yucatán. Sobre el cañón fluye una corriente proveniente de la plataforma de Yucatán (Monreal Gómez y Salas de León, 1990). Durante el verano, cuando se genera la surgencia topográfica en el este de la plataforma de Yucatán se mueve agua fría y rica en nutrientes hacia el oeste, a lo largo de la pycnoclina sobre el Banco de Campeche (Merino, 1997). Esto provoca un transporte de masas de agua significativo que llega al Cañón (Furnas y Smayda, 1987). Al oeste del Cañón se forma un giro anticiclónico, el cual produce un hundimiento de las isotermas hasta 300 m de profundidad. El giro anticiclónico induce la formación de un giro ciclónico al sur del Cañón (Salas de León *et al.*, 2004).

La distribución vertical de la temperatura y de la salinidad muestra la existencia de una capa de mezcla de 40 m de espesor, la cual disminuye conforme se aproxima a la plataforma continental. La capa de mezcla se identifica con una temperatura de 29°C y salinidades que van de 36.20 a 36.40, características del Agua Común del Golfo (ACGM) (Salas de León *et al.*, 2004). Es importante hacer notar que los giros ciclónico y anticiclónico, así como, el afloramiento reportado por Salas de León *et al.* (2004) se manifiestan por debajo de los 40 m de profundidad.

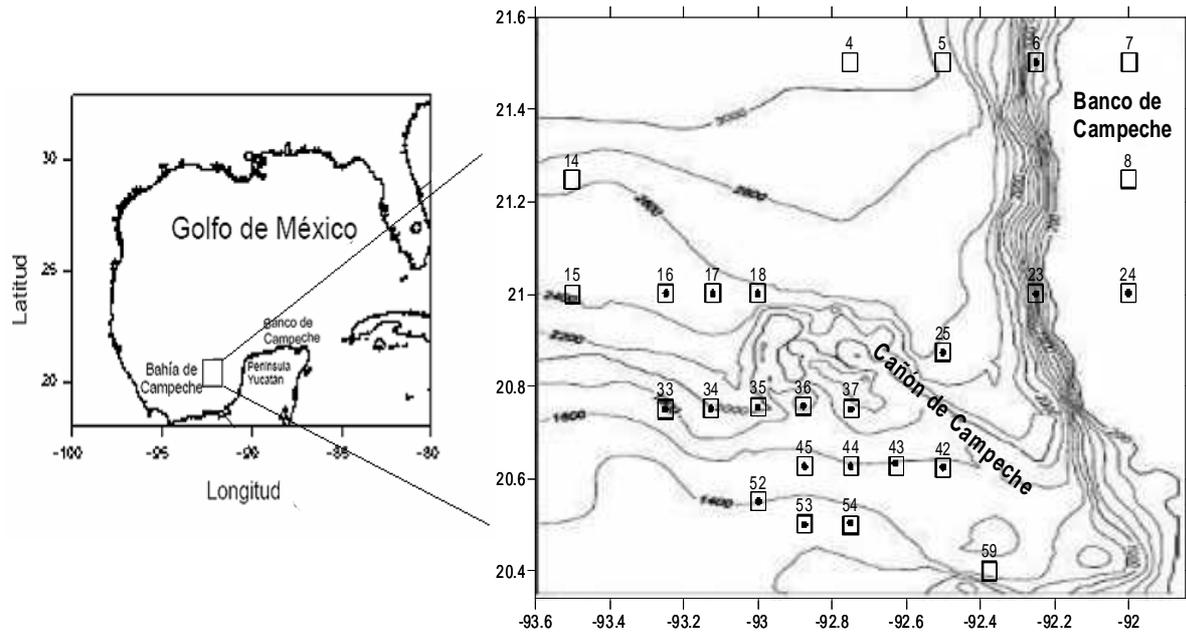


Figura 1. Localización de la zona de estudio y estaciones de muestreo efectuados en junio de 2002: PNF y CTD (□) y NO_3 (●) en el Cañón de Campeche y Banco de Campeche. Batimetría en metros (Modificado de Rosales, 2007).

MATERIALES Y MÉTODO

Se trabajó con perfiles de fluorescencia natural que se obtuvieron durante la campaña oceanográfica PROMEBIO VI (Procesos Oceánicos y Mecanismos de Producción Biológica en el sur del Golfo de México) llevada a cabo en el mes de junio de 2002, a bordo del Buque Oceanográfico “Justo Sierra” de la UNAM, con el objetivo de analizar los patrones de distribución de la biomasa fitopláctica en la porción sur del Golfo de México.

En las estaciones (Fig. 1) se registraron, en tiempo real, la temperatura, la irradianza fotosintéticamente activa (PAR) y la fluorescencia *en vivo* con un perfilador PNF-300 de Biospherical Instruments, hasta los 200 m de profundidad. El PNF-300 es un instrumento que posee sensores de temperatura, presión (profundidad), radiancia ascendente centrada en 683 nm (fluorescencia natural) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Cervantes *et al.*, 2005). A partir de la fluorescencia natural, los programas internos del perfilador proporciona las concentraciones de Chla en mg m^{-3} .

La concentración de Chla (mg m^{-3}) se calcula a partir de la siguiente fórmula (Chamberlain *et al.* 1990):

$$Chl = \frac{F_f}{^0 a_c(PAR) * \phi_f * E_o(PAR)}$$

Donde:

Chl = concentración de Chla (mg m^{-3})

F_f = fluorescencia natural ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{str}^{-1}$)

$^0 a_{c(PAR)}$ = coeficiente de absorción específico del fitoplancton ($\text{m}^{-2} \text{mg}^{-1}$)

Φ_f = fluorescencia (μE fluorescencia por μE absorbida)

E_o = irradianza escalar ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

A partir de la información obtenida con el PNF-300 se eliminaron los datos negativos y aquellos en donde se observaba que el perfilador se había

quedado registrando durante un periodo prolongado de tiempo a una misma profundidad. Se elaboraron perfiles verticales con el objetivo de visualizar la distribución vertical de la Chla y su relación con la temperatura y la PAR.

Con la finalidad de conocer la distribución horizontal de la Chla se integraron verticalmente los datos del PNF- 300 con ayuda de la siguiente fórmula:

$$(Cl_a)_i = \left(\sum_1^n Cl_a \right) / n$$

Donde:

i = metro de profundidad que se integra

n = número de lecturas de concentración de Chla contenidos entre la profundidad i e $i+1$.

Con la ayuda de un CTD Neil Brown Mark III se registraron datos de conductividad, temperatura y presión. Hoy en día este tipo de perfilador es uno de los instrumentos más utilizados para el registro en tiempo real de las variables físicas de la columna de agua (Fofonoff y Millard 1983).

Los datos provenientes del CTD con una razón de muestreo de 24 Hz, fueron convertidos en datos digitales por una unidad de grabación, la cual simultáneamente guarda los datos digitalizados en una computadora personal y a la vez son desplegados en forma gráfica. El procesamiento de los datos del CTD se realizó eliminando valores negativos. Una vez libres de todo error, los datos se graficaron en el programa SigmaPlot 10.0 lo cual permitió visualizar los perfiles de subida. Con estos datos se realizaron diagramas T-S para poder identificar las masas de agua que se encuentran presentes.

Los nitratos fueron analizados en un autoanizador de flujo segmentado (FSA) marca Skalar Sanplus System, el cual permite analizar un gran número

de muestras y tratar cada una de ellas de la misma manera dentro de condiciones de operación estrictamente prescritas y controladas. El volumen de muestra requerido para los análisis fue de 11 ml distribuidos en un canal dentro del autoanalizador en el cual se llevaron a cabo las reacciones colorimétricas. Posteriormente, se usaron detectores por los cuales se hace pasar una señal utilizando filtros de diferentes longitudes de onda para, finalmente, obtener la concentración de los NO_3 ($\mu\text{mol L}^{-1}$) (Sánchez 2006).

Para la determinación de la concentración de Chla en muestras discretas se aplicó el método fluorométrico de Lorenzen (1966), el cual consiste en la extracción de la clorofila usando como disolvente acetona al 90 %. Las muestras se obtuvieron con botellas General Oceanic de 30 litros de capacidad. Las profundidades de colecta de muestras de agua se seleccionaron considerando la profundidad de la termoclina, la profundidad del máximo de Chla proporcionada por el perfilador, la profundidad del límite de la capa eufótica y un nivel subsuperficial. Se filtraron dos litros de agua sobre filtros Whatman GF/F, de 0.7 μm de abertura de poro. Las lecturas se hicieron con un fluorómetro Sequoia-Turner-450, con filtros de excitación y emisión de 430 y 665 nm, respectivamente, previamente calibrado con clorofila pura.

Para la obtención de las características ecológicas de la capa eufótica se calculó el coeficiente de extinción de luz, la profundidad crítica y la capa de mezcla. El coeficiente de extinción de la luz en la columna de agua (k) se obtuvo de acuerdo a la fórmula de Lalli y Parsons (1997):

$$k = \frac{\ln(I_z) - \ln(I_o)}{z}$$

Donde:

I_z = La irradianza que se localiza en la profundidad total de la capa eufótica

z = Es la profundidad total de la capa eufótica

I_o = La irradianza incidente en superficie

La profundidad de la capa de mezcla que es la capa que se encuentra mas homogénea y abarca desde la superficie hasta donde se presenta el gradiente

máximo de temperatura. La profundidad crítica (D_{cr}) corresponde a aquella donde la fotosíntesis integrada de la columna de agua es igual a la respiración (Lalli y Parsons, 1997) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$D_{cr} = \frac{0.5I_o}{I_c k}$$

Donde:

I_c = Es donde se presenta el límite de la capa eufótica

k = Es el coeficiente de extinción.

I_o = La irradianza incidente en la superficie.

0.5= Es el multiplicador del 50% del PAR

Para la determinación del oxígeno disuelto se obtuvieron muestras de agua a diferentes profundidades con botellas General Oceanic montadas en la roseta. Se llenaron botellas DBO y el oxígeno disuelto se determinó con un oxímetro YSI 5000, previamente calibrado. Para las muestras de MPS se utilizaron botellas General Oceanic de 30L de capacidad. Se filtró un volumen de 10L sobre un filtro GF/F precalcinado y prepesado. Los filtros fueron secados, pesados y calcinados para obtener la fracción orgánica e inorgánica por diferencia de pesos.

Para la identificación de grupos del fitoplancton preservable se filtraron cuatro litros de agua a través de membranas Millipore de $0.45\mu\text{m}$ de abertura de poro con un diámetro de 47 mm, usando una bomba de vacío (Hernández-Becerril *et al.* 2008). Los filtros fueron enjuagados inmediatamente con agua destilada para eliminar la sal del agua de mar; se secaron a temperatura ambiente y se guardaron en cajas petri. En el laboratorio se cortaron cuadrados de 1cm x 1cm; se le puso aceite de inmersión (Cortés *et al.* 2001) y se revisaron al microscopio de luz para contar e identificar las especies. Para la determinación de las diatomeas se consultó el trabajo de Licea (1992); para los dinoflagelados, Bravo- Sierra (1998) y para los cocolitofóridos, Heimdal (1997).

Se realizó un análisis multivariado para observar la dependencia de la Chla con las otras variables registradas que son oxígeno disuelto, NO₃, MPS, temperatura y límite de la capa eufótica, se construyó un dendograma de las estaciones oceanográficas con los datos de los máximos de Chla, NO₃, oxígeno, MPS, profundidad de la termoclina y el límite de la capa eufótica. El análisis de conglomerados se efectuó usando el paquete de programas para computadoras *Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research* (PRIMER 6).

La profundidad de la termoclina, de la nitratoclina, del oxígeno disuelto y de la MPS se estableció en donde se viera el gradiente máximo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se discuten los resultados comenzando por la parte física de la columna de agua, que incluye masas de agua y tipo de circulación, posteriormente la parte química (nitratos y oxígeno), después la MPS y finalmente lo referente a la Chla, su distribución vertical y horizontal y su relación con las variables físicas y químicas.

Masas de agua

Una masa de agua se caracteriza por tener una salinidad, temperatura y densidad únicas. Se forman como resultado de la interacción océano-atmósfera y por mezcla de aguas de diferente procedencia y su configuración no es permanente (Libes 1997).

El diagrama T-S elaborado para este estudio muestra la presencia de 5 masas de agua diferentes: el Agua Común del Golfo de México (ACGM), el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México (AStSsGM), el Agua Superficial del Caribe tropical (CTSW), el Agua Subsuperficial Subtropical del Caribe (AS_tS_sC) y el Agua Intermedia de la Antártica (AIA); esta masa de agua se localiza desde los 800m de profundidad hacia zonas más profundas; para este estudio no se realizó ningún análisis (Fig. 2).

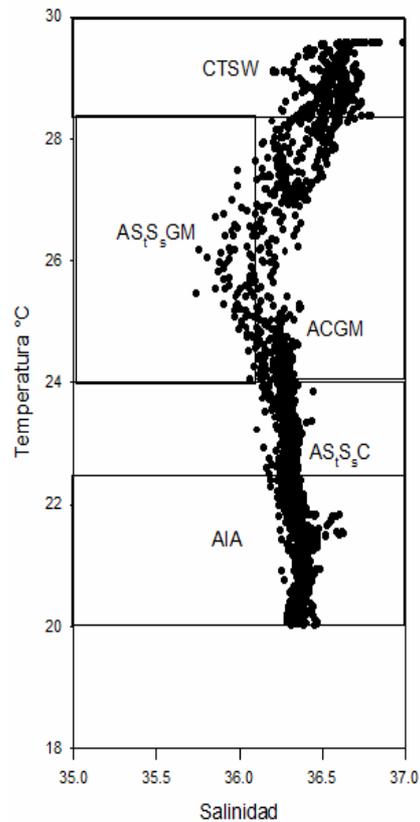


Figura 2. Diagrama T- S de las masas de agua en el Cañón de Campeche (junio 2002).

El ACGM se forma dentro del Golfo mediante dos mecanismos principales; durante los meses de tormentas invernales localmente conocidas como nortes se produce un enfriamiento, dando lugar a una mezcla convectiva (Elliott, 1982), formando así el ACGM; el mecanismo más importante en la formación de esta masa de agua es la colisión del giro anticiclónico proveniente de la Corriente de Lazo con el talud noroeste del Golfo de México y la plataforma continental de Tamaulipas (Vidal *et al.* 1992; Vidal *et al.* 1994a). El ACGM tiene salinidad y temperatura alrededor de 36.20 y 22.50 °C, respectivamente; esta masa de agua se localiza de los primeros metros de la superficie hasta los 150 m de profundidad. Es importante mencionar que actualmente en la región del Cañón de Campeche se han encontrado masas de agua provenientes del Caribe Mexicano (Vázquez de

la Cerda, 2004) (Fig.2). El Agua Superficial del Caribe tropical (CTSW), con salinidades mayores a 36.4 y temperatura mayor a 28°C, se forma fuera del Golfo y entra en éste por una capa superficial de la corriente de Yucatán; en el oeste del Banco de Campeche incrementa su temperatura y salinidad (Nowlin, 1972, Furnas y Smayda, 1987). El Agua Subsuperficial Subtropical del Caribe (AS_tS_sC) con salinidades de 36.4 a 36.6 y temperatura menor a 22.2 °C, se forma fuera del Golfo y se introduce por medio de la Corriente de Lazo; una parte de esta agua penetra al oeste del Golfo de México y otro volumen importante de esta masa forma parte del giro anticiclónico que se desprende de la corriente de Lazo (Aldeco *et. al.*, 2009).

EL AS_tS_sGM se debe a la mezcla de la capa de los 200 m durante el invierno (Elliott, 1982); con la presencia de los frentes fríos atmosféricos (“nortes”) en el Golfo de México que generan una pérdida de calor en las capas superiores, lo que provoca una disminución de la temperatura; en época de verano y secas se localiza en el Golfo por el desprendimiento de los giros anticiclónicos de la Corriente de Lazo (Vázquez de la Cerda, 2004). Esta masa de agua se caracteriza por tener salinidad y temperatura de 36.40 y de 22 °C, respectivamente (Nowlin, 1972) y se encuentra entre los 100 y los 150 m de profundidad.

Para la campaña PROMEBIO VI, que se realizó en junio del 2002, se tiene una capa de mezcla de 45 m, con una temperatura superficial de 29 °C. Los resultados de Salas de León *et al.* (2004) para la campaña realizada en agosto de 1999, muestran una capa de mezcla de 40 m de espesor, con una temperatura superficial de 29°C en el Cañón de Campeche, similar a la que se observó en la campaña de junio de 2002. La termoclina en todas las estaciones fue muy marcada y se presenta en las profundidades de 38 m en el Cañón de Campeche y de 21 m en el Banco de Campeche (Fig. 3).

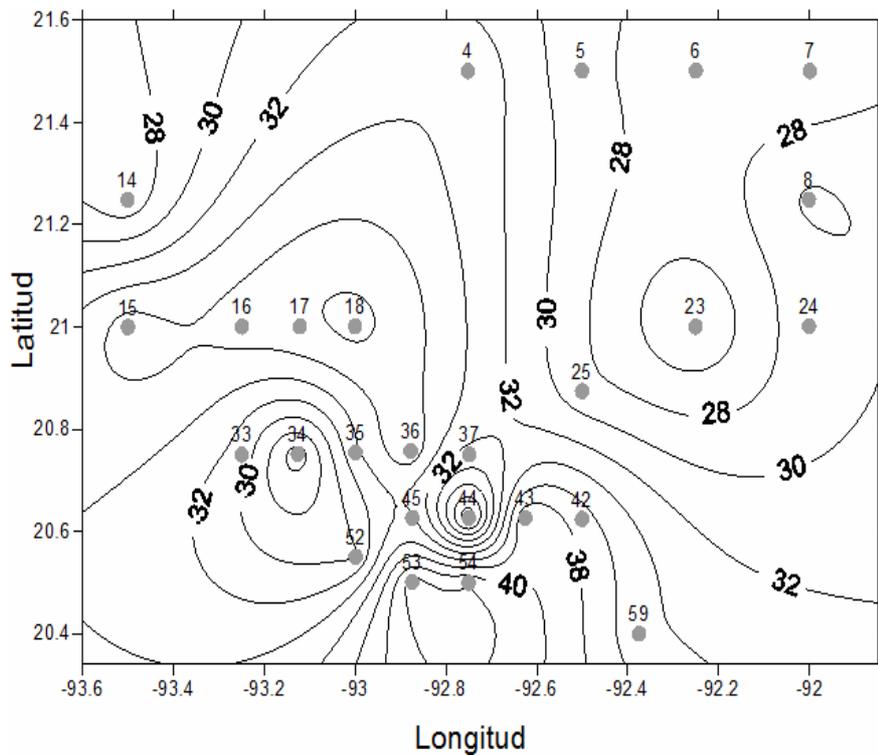


Figura 3. Topografía de la termoclina en el Cañón de Campeche y Banco de Campeche (junio 2002).

Giro ciclónico

El análisis de las isotermas es una de las herramientas más importantes para detectar la elevación o hundimiento de agua de diferentes temperaturas. En este caso se escogieron las isotermas de 15, 18.5 y 24°C en virtud de que son temperaturas donde se puede observar la presencia de giros. Salas de León *et. al.*, (2004) utilizaron la isoterma de 18.5°C para mostrar la presencia de giros en la región del Cañón de Campeche.

En general, el análisis de las 3 superficies isotermas mencionadas mostró que éstas son más someras en la región del Cañón de Campeche, en donde se puede

observar un ascenso de aguas frías (Fig. 4). Este tipo de estructuras sugiere una tendencia a la formación de un par de giros anticiclónico-ciclónico.

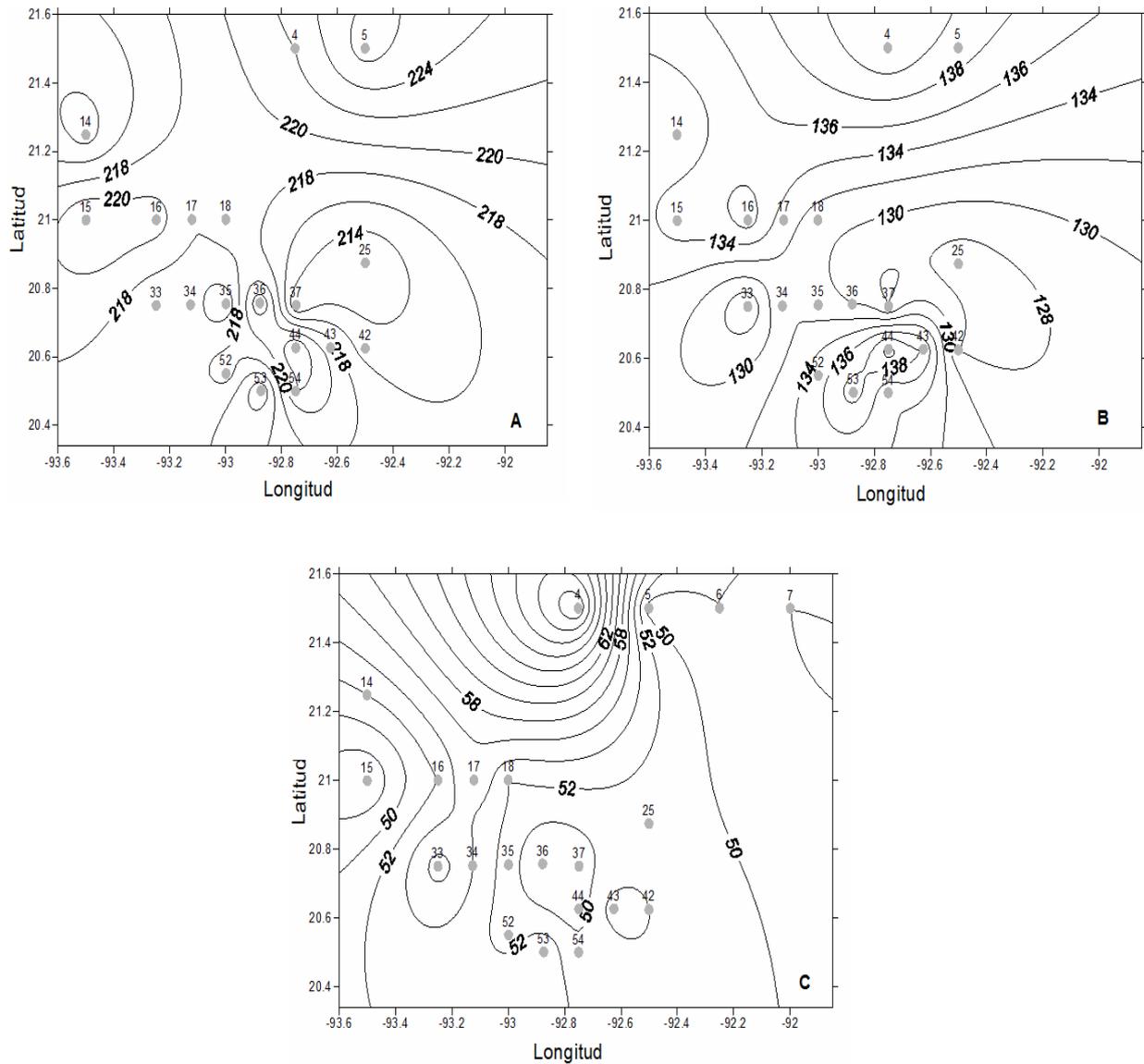


Figura 4. Isotermas de: A) 15 °C, B) 18.5 °C y C) 24 °C en la región del Cañón de Campeche (junio 2002).

El mismo patrón de circulación ha sido reportado por Salas de León *et. al.*, (2004) quienes utilizaron la isoterma de 18,5° C para identificar el tipo de circulación anticiclónica-ciclónica. Ellos encontraron que en la zona del Cañón de Campeche se forma un giro anticiclónico y a su lado un giro ciclónico, por debajo de la capa

de mezcla; se sabe que este tipo de estructuras se puede presentar no sólo en la superficie sino también por debajo de la termoclina como en este caso (Wang y Dewar, 2003; Fratantoni y Richardson, 2006). Diversos autores mencionan que la circulación anticiclónica- ciclónica es frecuente en los cañones (Rennie, *et al.*, 2008). También se menciona que la dirección y fuerza de esta circulación está dirigida por la fuerza de corrientes profundas y de la topografía que se presentan en los cañones (Nof, 1983; Salas de León *et. al*, 2004; Rennie, S., *et al.* 2008).

La formación de esta estructura anticiclónica-ciclónica se ve influenciada por la circulación ciclónica que se presenta en toda la Bahía de Campeche y por la penetración de un giro anticiclónico proveniente de la Corriente de Lazo que se introduce por el noroeste del cañón y por la topografía que se presenta en la zona de estudio; al penetrar agua proveniente del Banco de Campeche, en donde existen profundidades de aproximadamente 50 m, llega a una zona con profundidades de 2000 m formándose este tipo de circulación (Díaz Flores, 2004 y Monreal-Gómez y Salas de León, 1990, Salas de León *et. al.*, 2004).

Rennie, *et al.* (2008) mencionan que la formación del giro ciclónico en el Cañón de Perth, en el oeste de Australia, se debe a la corriente de Leuwin y a la interacción con la batimetría profunda del cañón. Nof (1983) menciona que la velocidad y el ancho del giro ciclónico en los cañones se deben a la batimetría y a la fuerza de las corrientes que ejercen sobre éstos.

El giro anticiclónico está ubicado a $20^{\circ}48' N$ y $93^{\circ}W$ con un diámetro de 62 km y el giro ciclónico está ubicado a $21^{\circ} 5' N$ y $92^{\circ} 5' 6' W$, con un diámetro aproximado de 70 km en el Cañón de Campeche y se presentan entre las profundidades de 50 hasta 200 m; el giro anticiclónico se puede observar hasta la profundidad de 300 m (Fig. 5) (Salas de León *et al.*, 2004; Rosales-Navarro, 2007).

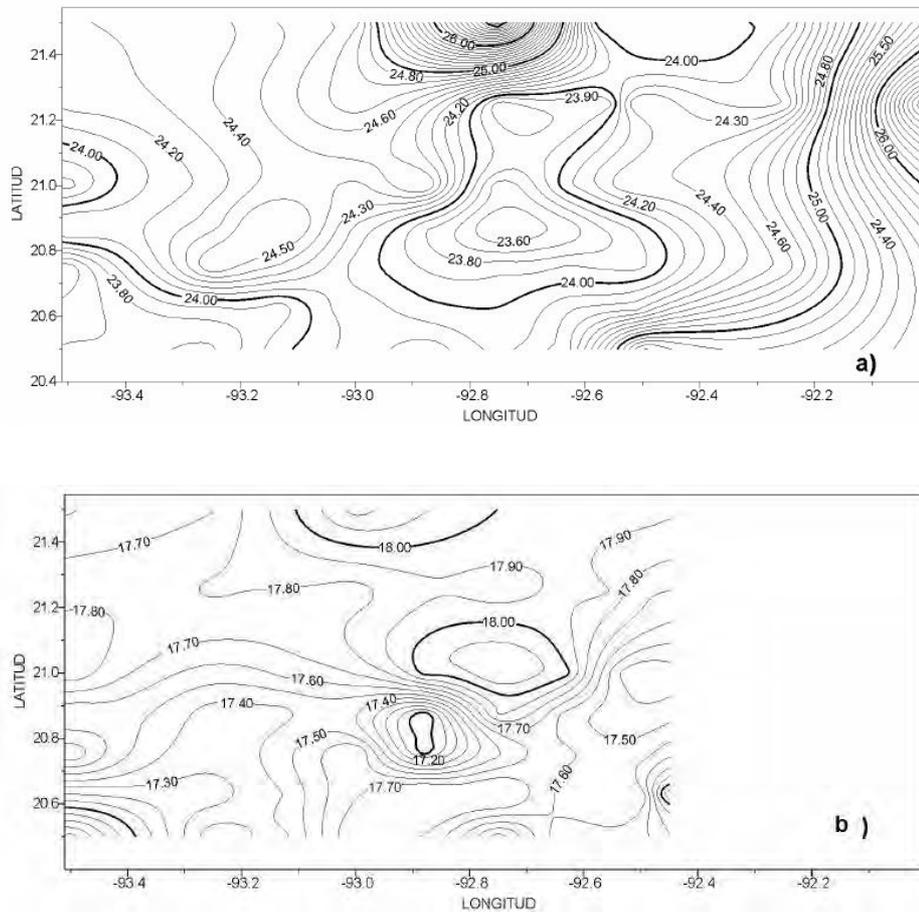


Figura 5. Distribución de temperatura: a) 50 m, b) 150 m de profundidad (Tomado de Rosales-Navarro, 2007).

Nitratos

Las concentraciones de los nitratos se encontraron dentro del intervalo conocido para el Golfo de México en la capa superficial, oscilando entre 0.1 y $14 \mu\text{mol L}^{-1}$ (De la Lanza-Espino, 2001). Merino (1992), reporta valores de nitrato entre 0.1 a $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ en la Plataforma de Yucatán.

La distribución vertical de los nitratos indica que la nitratoclina para el mes de junio, se presentó a los 80 m (Fig. 6), con casos especiales como fueron las

estaciones 6, 23 y 24 que se localizan sobre el Banco de Campeche, en donde se puede observar que la nutriclina se presentó arriba de los 40 m; son estaciones con una profundidad total aproximada de 55 m (Fig. 7).

Merino (1992) reporta en una zona influenciada por una surgencia la nitratoclina se localiza entre 10 y 140 m, lo que concuerda con la presente investigación, donde podemos observar que la nitratoclina se encuentra entre las profundidades de 150 m (Cañón de Campeche) y 22.5 m (Banco de Campeche). Es importante mencionar que las estaciones que se localizan en la periferia de los giros anticiclónico-ciclónicos presentan una nutriclina menos profunda que las estaciones que se localizan en el centro del giro esto se debe a que en el anticiclónico existe una convergencia y en el ciclónico se da una divergencia y ahí se forma un frente en donde existen plumas ricas en nutrientes, Chla y materia particulada (Salas de León, *et al.*, 2004).

Para esta investigación se observa que los máximos de Chla están asociados a la zona donde se presenta la nitratoclina en el Cañón de Campeche. Algunos autores concuerdan con lo encontrado. En el Cañón de Perth, Australia se localizó a la nitratoclina por debajo de los máximos de clorofila. Rennie, *et al.* (2008) mencionan que la presencia de los nutrientes a profundidades de 100, 200 y 300 m se debe en primer lugar a que la dinámica de circulación general de los cañones y sus flujos de corrientes forma una pequeña surgencia en las zonas profundas, generando un flujo de nutrientes a profundidades menores. Después, con ayuda de los giros ciclónicos sube a profundidades alrededor de 100 m; por arriba de estas profundidades los nutrientes son incorporados rápidamente por los organismos fotótrofos que se encuentran en la capa eufótica (Rennie, *et al.* 2008).

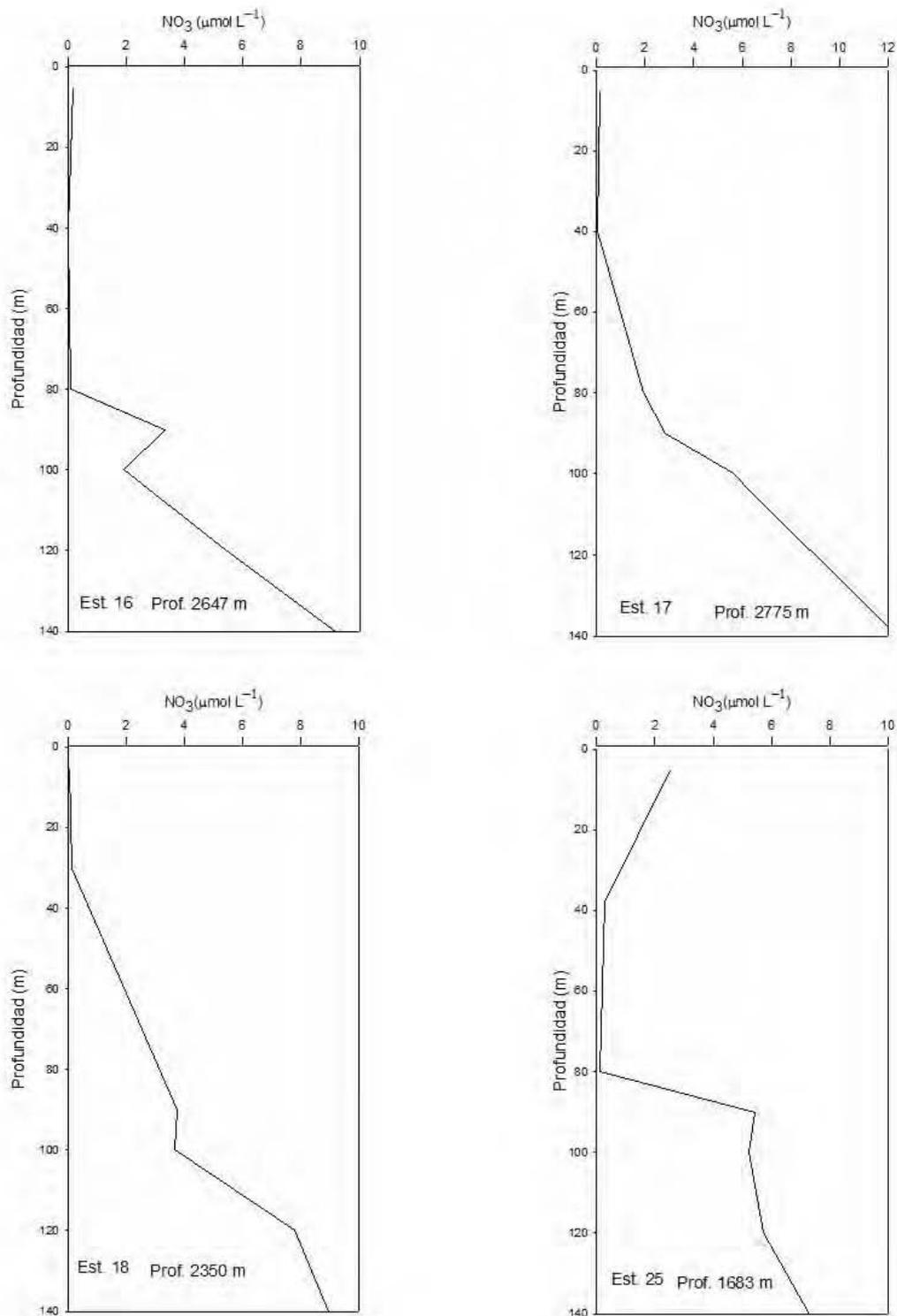


Figura 6. Distribución vertical de NO₃ en el Cañón de Campeche (junio 2002) (Continúa en 21,22 y 23).

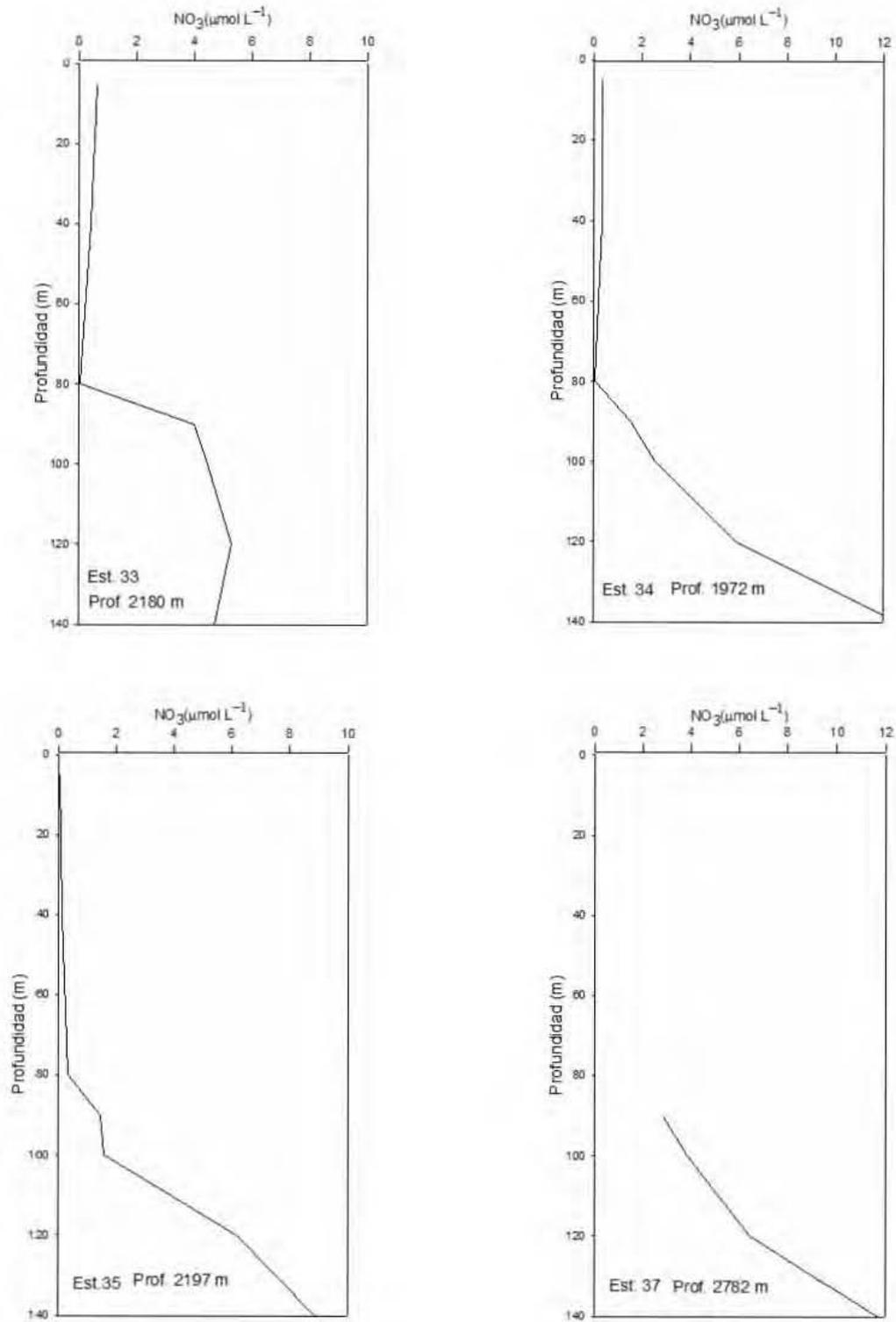


Figura 6. Distribución vertical de NO₃ en el Cañón de Campeche (junio 2002)
Continuación.

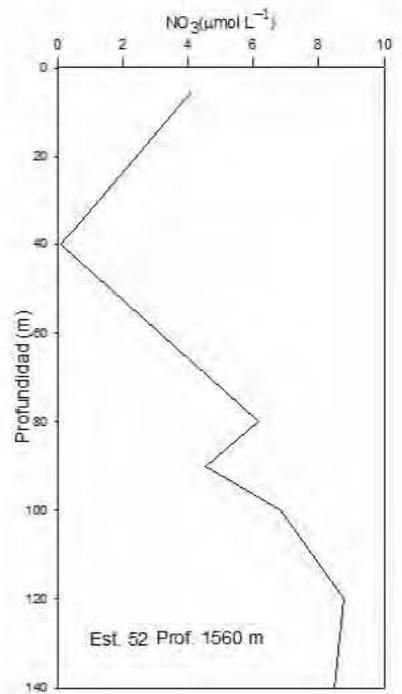
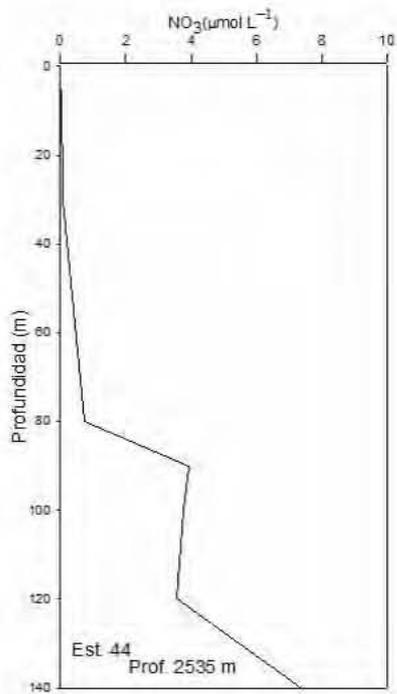
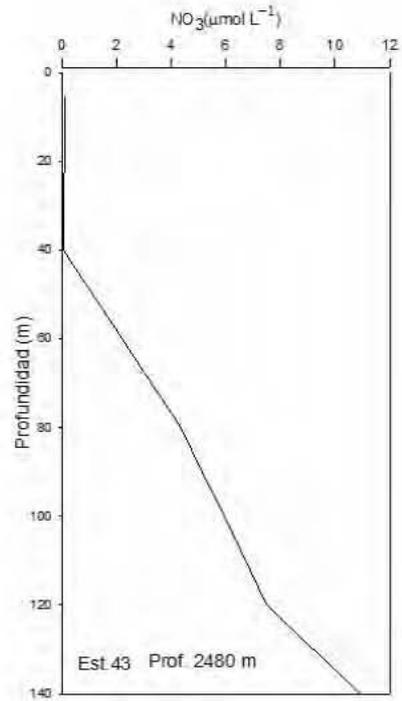
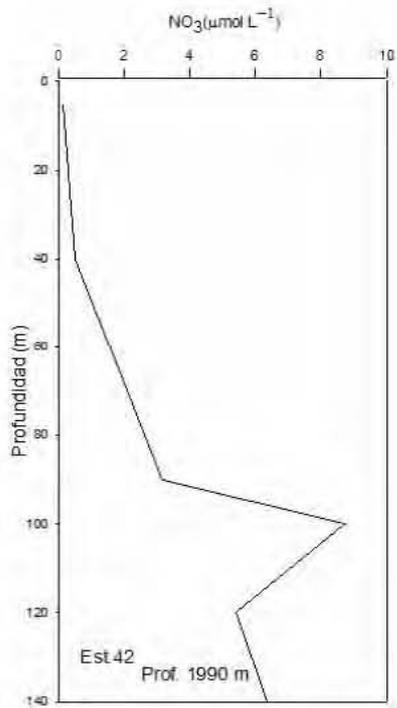


Figura 6. Distribución vertical de NO₃ en el Cañón de Campeche (junio 2002)
Continuación.

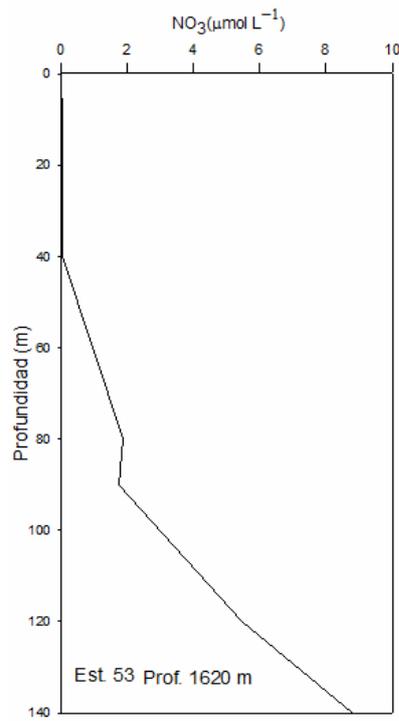


Figura 6. Distribución vertical de NO_3 en el Cañón de Campeche (junio 2002)
Continuación.

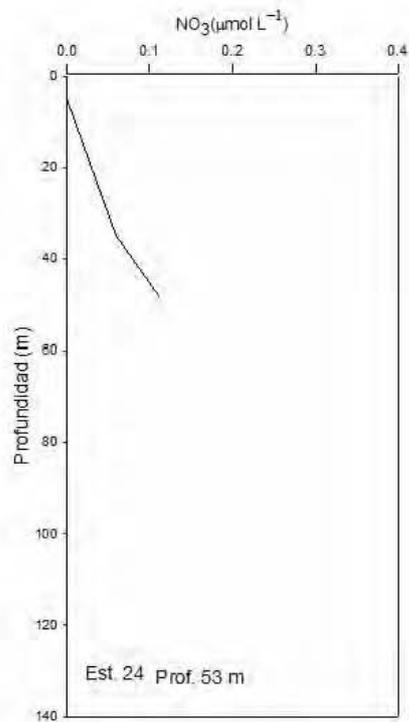
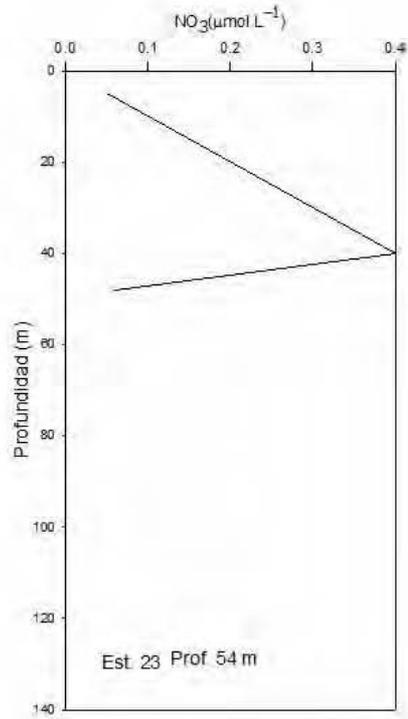
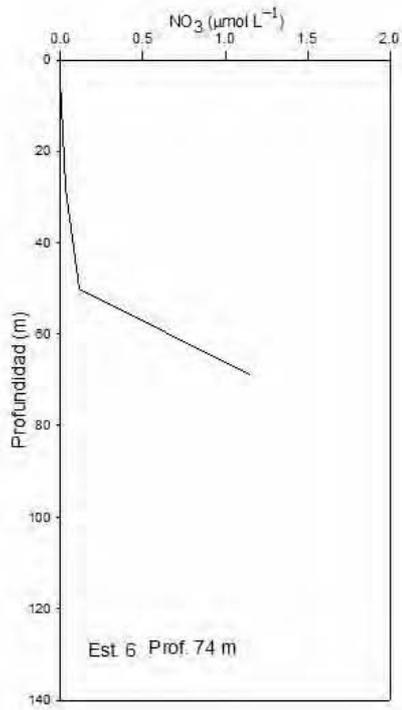


Figura 7. Distribución vertical de NO₃ en el Banco de Campeche (junio 2002).

Al analizar la topografía (Fig. 8) de la nitratoclina se observa que se encuentra más somera en la zona de los bordes de los giros anticiclónicos-ciclónicos; a profundidades de 80 y 150m. Los giros ciclónicos tienen la característica de ser divergentes por lo cual suben agua fría y rica en nutrientes a la zona eufótica a este proceso se le denomina como bombeo (Salas de León y Monreal-Gómez, 2005).

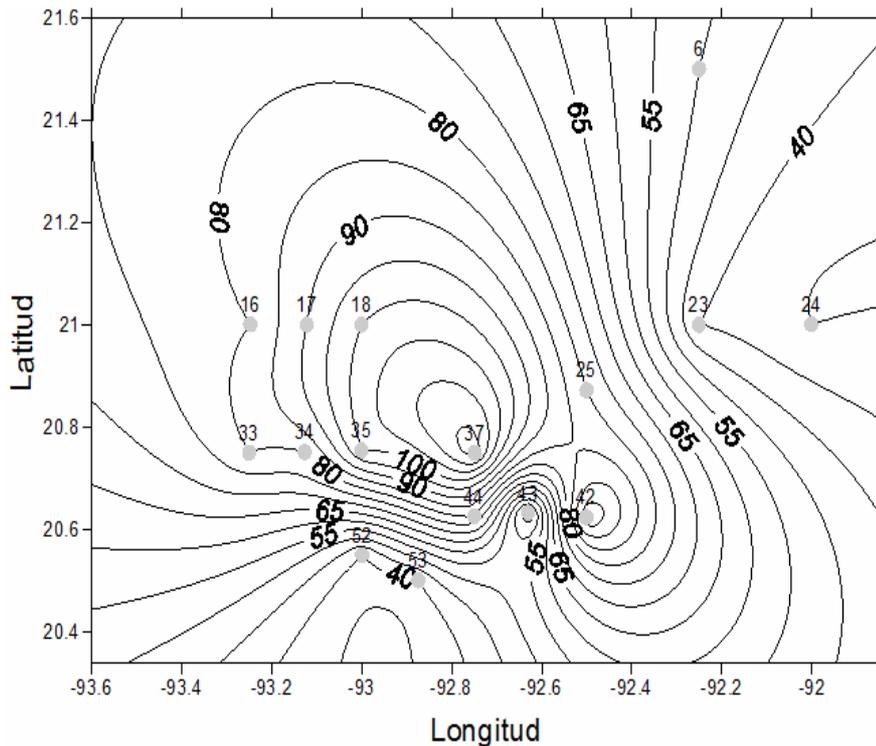


Figura 8. Topografía de la nitratoclina en el Cañón de Campeche y Banco de Campeche (junio 2002).

Oxígeno Disuelto

El incremento del oxígeno disuelto en la zona eufótica es, en parte, producto del balance entre la producción fotosintética y la respiración de todos los organismos. De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa una oxiclina profunda en la región central del Cañón de Campeche mientras que para la zona ubicada sobre la plataforma es más somera (Fig. 9).

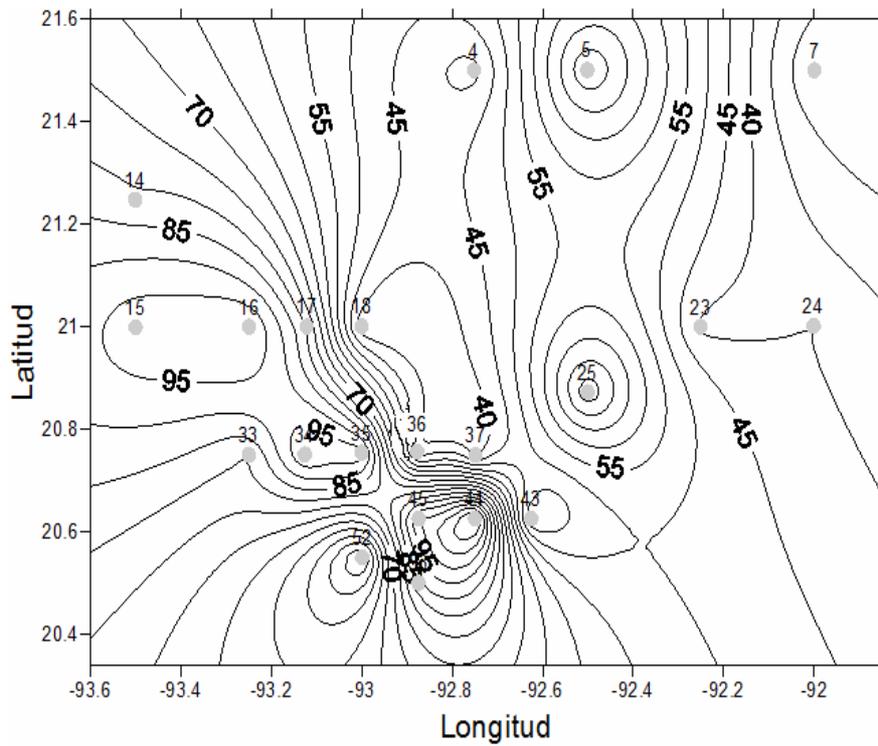


Figura 9. Topografía de la oxiclina en el Cañón de Campeche y Banco de Campeche (junio, 2002).

Los valores obtenidos en este trabajo muestran una variabilidad entre 2 y 5 ml L⁻¹, valores que coinciden con los reportados por Borodkin *et al.* (1995) en la misma zona, los cuales fueron de 4.7 a 5.6 ml L⁻¹. Asimismo, coinciden con los reportados por Aldeco *et al.* (2009); quienes reportan de entre 3.28 y 8.21 ml L⁻¹; estos autores mencionan que la concentración de oxígeno disminuye conforme se acerca al talud continental del Banco de Campeche.

Los máximos de Chla coincidieron con la zona donde se presentó la menor cantidad de oxígeno disuelto; así como, también con la nitratoclina que se dio entre los 60 y 80 m y presentan una clara independencia de la termoclina como lo reportado por Salas de León *et al.* (2004).

Para conocer las zonas con mayor cantidad de oxígeno se calculó el porcentaje de saturación del mismo de acuerdo a Libes (1997). Los resultados muestran que las estaciones ubicadas en el Cañón de Campeche se dividen en dos zonas. Las que se encuentran en los bordes donde se forma el frente entre los giros anticiclónico-ciclónico, las cuales están supersaturadas con valores de 110 a 120%. Las que se encuentran lejos de éste son saturadas con valores de 80 a 100%, mientras que las estaciones ubicadas en el Banco de Campeche son sobresaturadas con un valor de 112%; esto coincide con los datos que reportan Salas de León *et al.* (2004). Escobar- Briones *et al.* (2008) sugieren que existe un domo de agua intermedia con valores bajos de oxígeno sobre el borde del talud de Campeche y en el centro del Cañón, que juega un papel importante en los patrones biológicos que se encuentran en la zona (Aldeco *et al.* 2009).

Materia particulada suspendida

La abundancia y la composición química de la materia orgánica suspendida en los ambientes marinos está controlada por procesos físicos, químicos y biológicos que interactúan en las capas superficiales con diferentes fuentes de nutrimentos. El incremento de la materia orgánica está relacionado con el incremento en la producción biológica (Tselepidis *et al.* 2000).

Con el fin de comparar la MPS con los nitratos y el oxígeno disuelto se realizaron perfiles. En los perfiles ubicados en la zona del Cañón de Campeche (Fig. 10) y los perfiles ubicados en el Banco de Campeche (Fig. 11) se puede observar claramente que en donde existe una disminución de la MPS hay un aumento del oxígeno exceptuando los casos ubicados en el Banco de Campeche donde se encuentra una asociación con el fondo.

Los valores obtenidos de materia particulada suspendida estuvieron comprendidos entre 4 y 34 mg L⁻¹. Estos son del mismo orden de magnitud que los reportados por Salas de León *et al.* (2004) para la misma zona y época quienes mencionan

datos de entre 2.8 y 33.1 mg L⁻¹ y son más elevados que los obtenidos por Jacobs y Ewyng (1999) y Harris (1972) para zonas subtropicales en aguas oceánicas.

En seis estaciones sobre el Cañón la materia inorgánica sobre pasa a la materia orgánica, mientras que en las estaciones que se localizan en los bordes de los giros se presenta mayor materia orgánica; esto se asocia con el frente que se forma por la dinámica de los giros en los cuales se da una acumulación de material biológico (Salas de León *et al.*, 2004). Las estaciones que se localizan sobre el Banco de Campeche presentan mayor cantidad de materia orgánica entre las profundidades de 35 y 50 m, debido a que son zonas someras y están en contacto con el fondo y la MPS se puede resuspender más fácilmente.

La profundidad a la que se presentaron los valores máximos de la materia orgánica suspendida, para la mayoría de las estaciones, fue alrededor de 60 y 100 m y coincide con los máximos de Chla, esto se puede explicar debido a que existe una producción de material biogénico (Salas de León *et al.* 2004). La materia particulada disminuye por debajo de la capa eufótica debido a que en estas profundidades hay una mayor actividad microbiana que empieza a consumirla y a oxidarla y en zonas donde decrece el oxígeno la materia particulada suspendida aumenta (Salas de León, *et al.* 2004). En la tabla 1 se muestra los valores promedio de la materia orgánica e inorgánica en la columna de agua hasta los 120 m de profundidad.

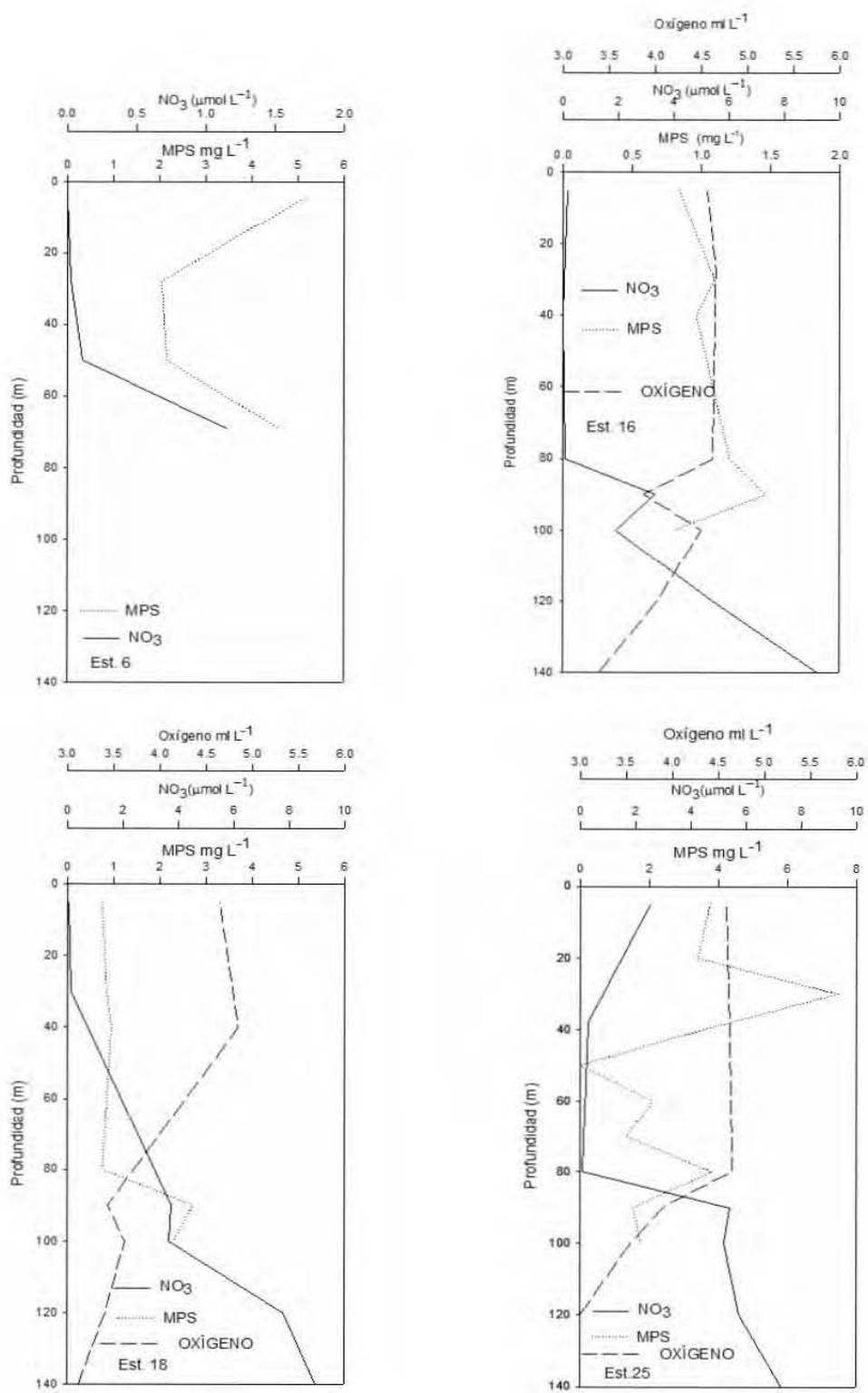


Figura 10. Distribución vertical de materia particulada suspendida, nitratos y oxígeno en el Cañón de Campeche (junio, 2002), (continua en 30 y 31)

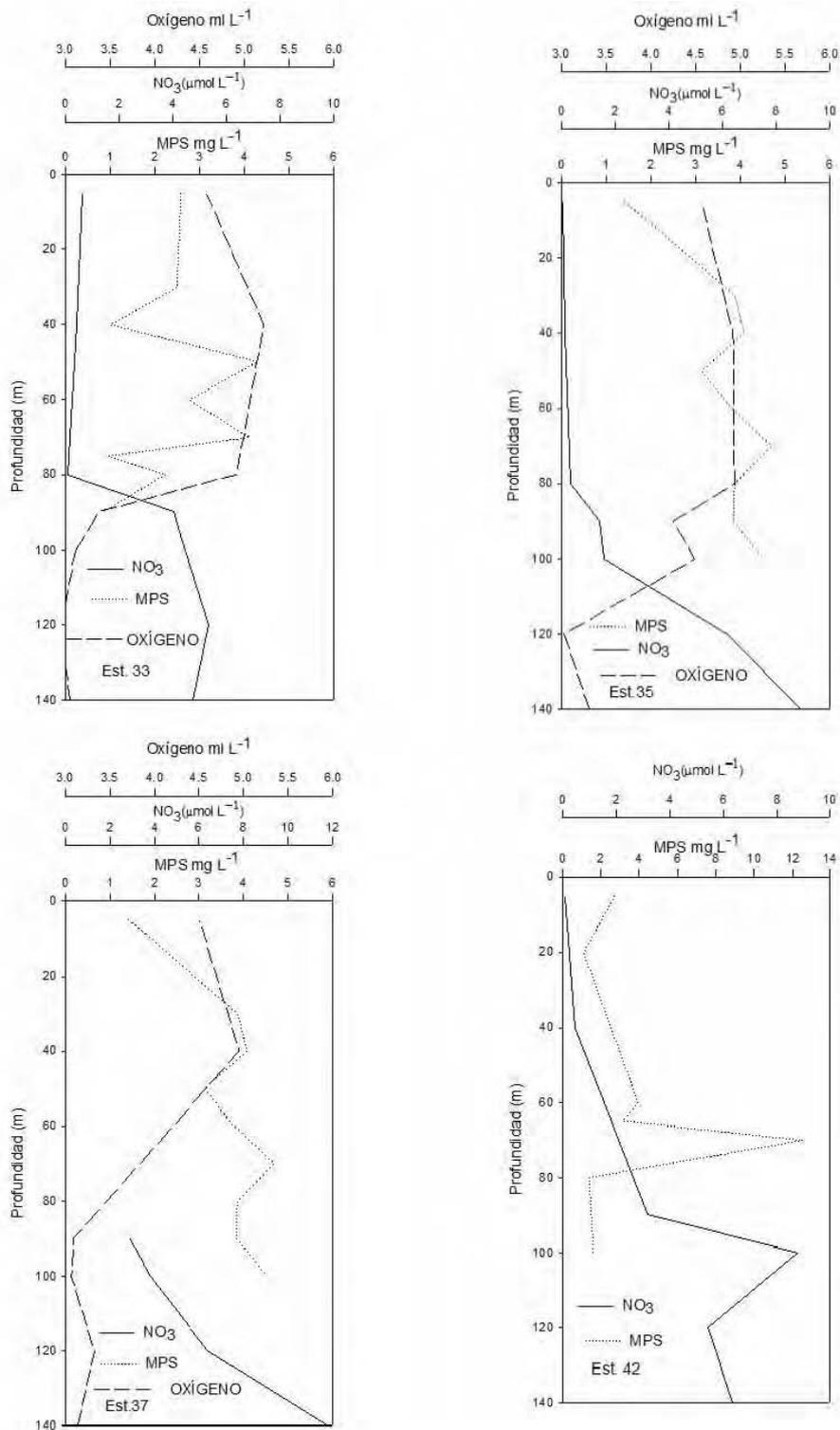


Figura 10. Distribución vertical de materia particulada suspendida, nitratos y oxígeno en el Cañón de Campeche (junio, 2002), Continuación

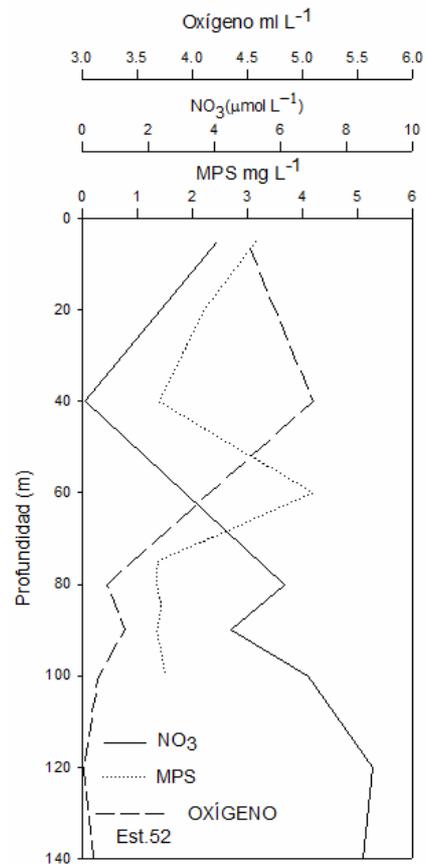
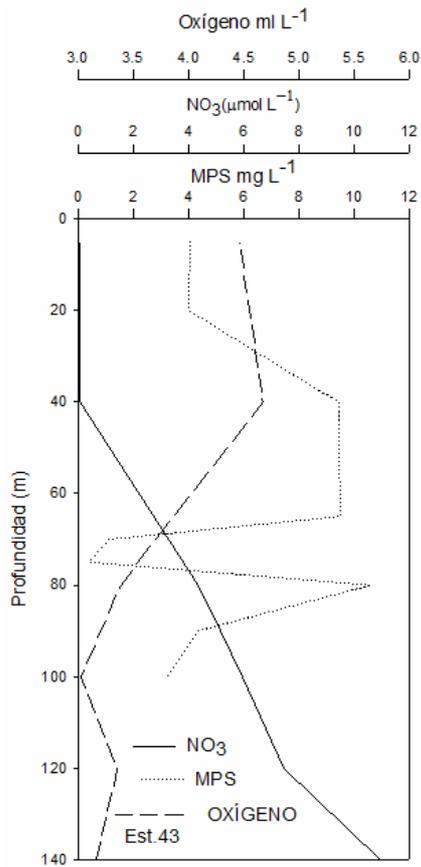


Figura 10. Distribución vertical de materia particulada suspendida, nitratos y oxígeno en el Cañón de Campeche (junio, 2002), Continuación

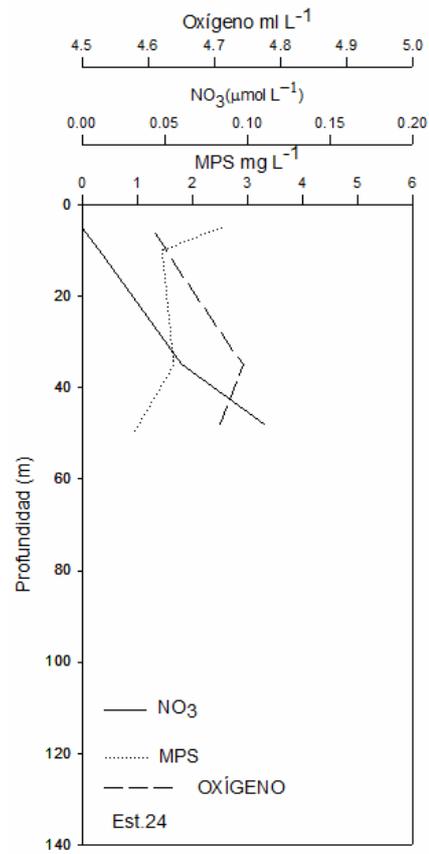
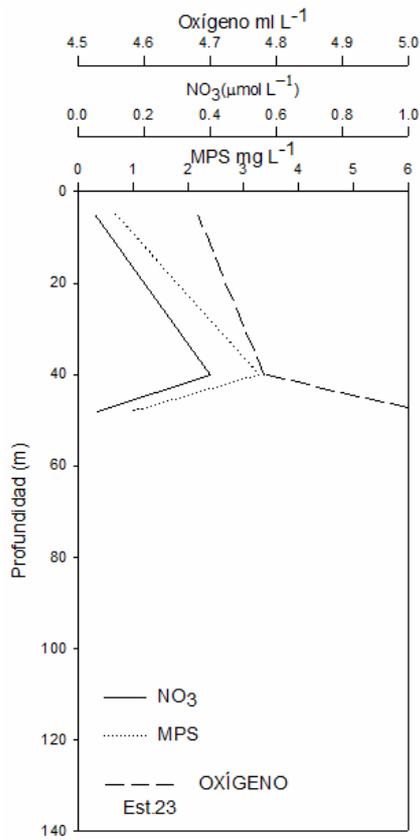


Figura 11. Distribución vertical de la materia particulada suspendida, nitratos y oxígeno en el Banco de Campeche (junio, 2002).

Tabla 1. Valores promedio de materia orgánica e inorgánica en el Cañón y Banco de Campeche (junio 2002).

Estación	Prof. Total (m)	M.O mg L-1	M.I mg L-1
4	2900	2.64	9.30
6	73	1.36	2.1
14	2580	1.15	0.78
16	2647	1.06	1.45
18	2350	0.65	0.74
23	54	0.67	1
24	53	0.93	0.71
25	1683	1	1.88
33	2180	1	1.31
35	2197	0.96	2.73
37	2782	1.1	2.36
42	1990	0.79	2.55
43	2480	0.86	4.33
52	1560	1.1	0.93

Distribución vertical de la Chla

A partir de los datos del perfilador de fluorescencia se obtuvo la topografía de los máximos de las clorofilas y los valores máximos de éstas para el Banco de Campeche y Cañón de Campeche (Fig. 12 y 13). Con los resultados se pudieron identificar dos tipos de patrones de distribución vertical de la Chla. El primero se registró en la zona central del Cañón de Campeche, con un máximo profundo entre 80 y 100 m relacionado con bajas irradianzas (1% de la irradianza incidente) e independiente de la termoclina y abarcan la zona de influencia por la masa de agua del AGCM; la cual sigue un patrón típico de zonas tropicales en donde se presentan máximos de Chla profundos asociados a un bombeo o surgencia de nutrimentos y que no presentan relación alguna con la termoclina o la capa de mezcla (Herbland y Voituriez 1979, Signoret *et al.* 1998). Los valores de la Chla

fueron del orden de 0.02 a 0.6 mg m⁻³, con algunas excepciones en donde se presentaron más de dos crestas (Fig. 14). La formación de éstos máximos profundos de Chla tiene varias explicaciones en donde destacan: a) una mayor densidad de células fitopláncticas derivadas de patrones de comportamiento y adaptación a profundidades vinculadas con la termoclina y nutriclina; b) elevadas tasas de crecimiento ante condiciones favorables a la división celular; c) una mayor cantidad de biomasa por hundimiento de los organismos o por procesos físicos de acumulación; d) mayor proporción de Chla en relación a la biomasa, derivada de una mayor eficiencia enzimática a determinadas irradianzas, en general bajas (Cullen *et al.* 1981). Diversos autores han señalado que los organismos responsables de la Chla en zonas profundas, cerca de la base de la capa eufótica, son formas pequeñas del nanoplacton como los coccolitofóridos y las fitoflageladas pequeñas los cuales prefieren zonas poco iluminadas pero con disponibilidad de nutrimentos (Cullen *et al.* 1981; Signoret *et al.* 2006; Hernández-Becerril *et al.* 2008).

Asimismo, se ha evidenciado que la formación de los picos máximos de Chla en la superficie están dados por organismos del microfitoplancton, generalmente resistentes a altas irradianzas y adaptados a bajas concentraciones de nutrimentos tales como algunas especies de dinoflagelados y diatomeas; por el contrario, los máximos profundos están dados por especies del nanofitoplancton, generalmente adaptado a bajas irradianzas y altas concentraciones de nutrimentos como son los coccolitofóridos (Margalef, 1978).

El segundo patrón se registró en el Banco de Campeche (Fig. 15), en donde se presentó un máximo por arriba de 50 m, asociado a la termoclina y cercano al fondo y se ubica en la zona influenciada por la masa de agua del ACGM y AS_tS_sGM; este pico se debe a que hay una gran mezcla de la columna de agua ayudando a la remineralización más rápida de los nutrimentos. Los valores de Chla fueron del orden de 0.04 a 0.6 mg m⁻³. La PAR en todos los casos presentó un decaimiento exponencial. El límite de la capa eufótica para el caso del Cañón

de Campeche se dió entre 80 y 120 m. En las estaciones someras, ubicadas sobre el Banco de Campeche, la capa eufótica abarcó toda la columna de agua.

La distribución vertical de las clorofilas discretas presentó un máximo profundo en la zona del Cañón mientras que las del Banco de Campeche mostraron un incremento cerca del fondo. Presentaron valores en un intervalo de 0.01 a 0.3 mg m⁻³; que al comparar con los perfiles obtenidos del PNF siguieron el mismo patrón que éstos.

Los máximos profundos se dieron cercanos al 1% de irradianza que usualmente se conoce como la zona en donde la producción neta es mayor que cero. Se midieron los parámetros físicos de la columna de agua con el fin de obtener las características ecológicas necesarias para el desarrollo del fitoplancton. En la tabla 2 se muestran los valores de la profundidad crítica (Dcr), coeficiente de extinción de la luz (k) y la capa de mezcla para el Cañón de Campeche y en la tabla 3 para el Banco de Campeche. La capa de mezcla fue menor en todas las estaciones que la profundidad crítica. Esto quiere decir que el fitoplancton puede crecer y dividirse, también nos ayuda para tener una idea de la composición del fitoplancton ya sea el caso para especies que se encuentran en zonas con estratificación y baja turbulencia, mientras que otras especies pueden ubicarse en zonas de mayor turbulencia y menor cantidad de luz (Huisman et al. 1996 y 1999 y Salas de León *et al.* 2004).

A los datos de la tabla se le saco la media y la desviación estándar con el fin de saber que diferencias había entre las zonas de investigación. Los resultado demostraron que las zonas son totalmente diferentes entre si no solo por que el Banco es menos profundo que el Cañón si no en los datos de clorofila en donde se puede ver claramente que la zona del Banco presenta los valores más altos, mientras que en el Cañón los datos de la clorofila integrada fue mayor esto se debe a que la zona es más profunda y existen más datos que en el Cañón.

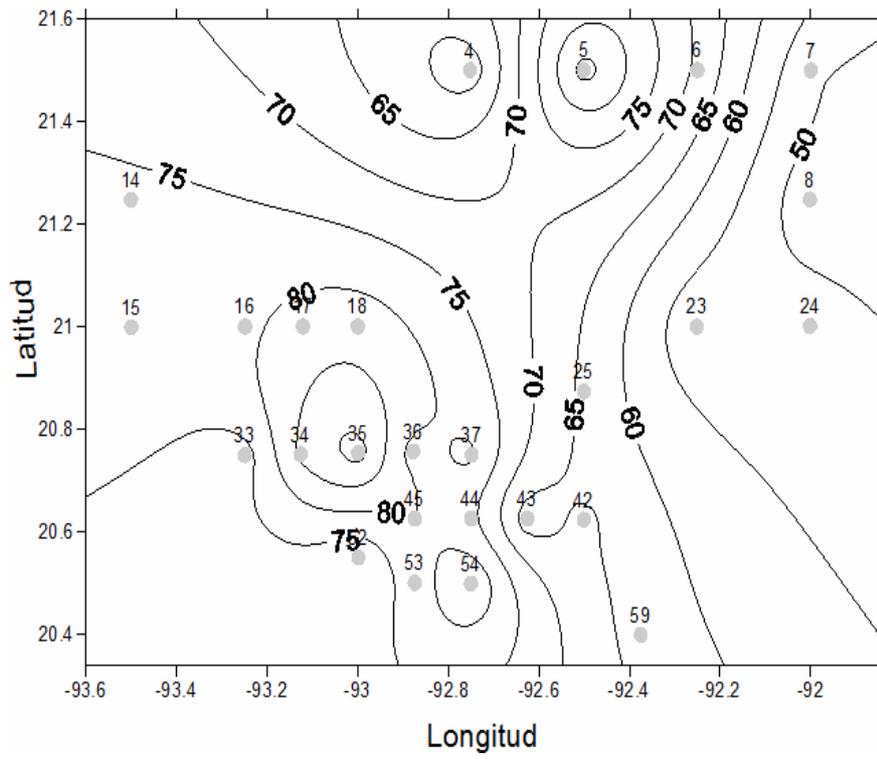


Figura 12. Topografía de los máximos de la Chla en el Cañón de Campeche y Banco de Campeche (junio, 2002).

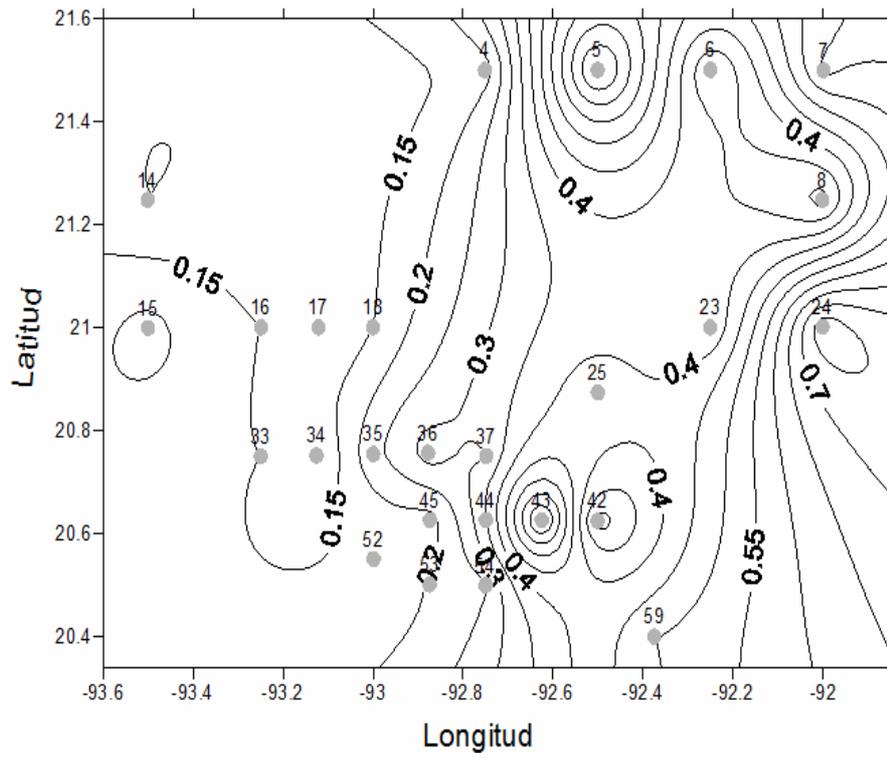


Figura 13. Valores de picos máximos de la Chl *a* en el Banco y Cañón de Campeche

Tabla 2. Características ecológicas de la capa eufótica en el Cañón de Campeche (junio, 2002).

	Est 4	Est 5	Est 14	Est 15	Est 16	Est 17	Est 18	Est 25	Est 33	Est 34	Est 35	Est 36	Est 37	Est 42	Est 43	Est 44	Est 45	Est 52	Est 53	Est 54	Est 59	Media
Profundidad total (m)	2900	264	2580	2230	2647	2775	2350	1683	2180	1972	2197	2287	2782	1990	2480	2535	1732	1560	1620	1702	760	2058
Límite de capa eufótica (m)	90	90	92	93	104	102	96	96	82	100	103	102	60	75	94	90	78	75	108	102	96	92
Coefficiente de extinción (k)	0.06	0.23	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
Irradianza incidente (I ₀) (μE cm ⁻² s ⁻¹)	373	272.4	65.3	572	1061	715	203	863	151	1142	587	368	25	125	1167	430	289	418	418	859	572	508
luz de compensación I _c = 1% I ₀ (μE cm ⁻² s ⁻¹)	0.7	7	1.6	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	6	2	1	1	1	1.7
Profundidad crítica D _{cr} (m)	1292	81	482	1000	1045	1338	1624	349	1093	980	1230	1454	437	1775	1080	666	1084	859	769	862	500	955
Profundidad de mezcla (m)	23	23	23	38	38	38	36	36	13	13	30	36	10	25	37	16	22	19	28	22	8	25
Clorofila integrada (mg m ⁻²)			4.6	7.2	8.2	8.6	7.8	9.6	1.7	1.7	7	5.4	1.5	2.5	7	3.4	1.5	2.8	2	7.6		5
Clorofila media			0.05	0.07	0.06	0.06	0.06	0.08	0.01	0.01	0.05	0.04	0.01	0.02	0.05	0.04	0.01	0.02	0.01	0.05		0.04
Profundidad del máximo de Chla (m)	46	76	72	69	65	74	76	43	68	73	77	69	73	56	65	68	73	68	72	78	57	67
Máximo de Chla (mg m ⁻³)	0.16	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.2	0.5	0.15	0.15	0.25	0.3	0.3	0.27	0.4	0.33	0.2	0.16	0.2	0.25	0.5	0.24
Irradianza en el máximo de Chla %	3.7	1.6	1.12	2.6	2.6	2.5	2.1	3.4	2.4	3.2	3.2	2.9	0.9	2.5	3.6	2.9	1.2	1.6	3	3.2	2.6	2.5
Temperatura en el máximo de Chla (°C)	23	22	22	22	21	22	22	22	23	23	23	22	22	21	22	22	22	23	23	22	22	22

Tabla 3. Características ecológicas de la capa eufótica en el Banco de Campeche (junio, 2002).

	Est 6	Est 7	Est 8	Est 23	Est 24	media
Profundidad total (m)	74	52.2	53.9	54	53	57.4
Límite de capa eufótica (m)	70	50	50	54	53	55.4
Coefficiente de extinción (k)	0.16	0.03	0.04	0.06	0.04	0.07
Irradianza incidente (I ₀) (μE cm ⁻² s ⁻¹)	126	152	131	189	378	195
luz de compensación I _c = 1% I ₀ (μE cm ⁻² s ⁻¹)	7	36	14	10	36	20.6
Profundidad crítica D _{cr} (m)	73	52	53	54	53	57
Profundidad de mezcla (m)	26	25	26	41	41	32
Clorofila integrada (mg m ⁻²)		4.1	3.3	4.4	4.6	4.1
Clorofila media		0.08	0.06	0.08	0.08	0.08
Profundidad del máximo de Chla (m)	58	51	46	50	50	51
Máximo de Chla (mg m ⁻³)	0.4	0.6	0.27	0.4	0.8	0.49
Irradianza en el máximo de Chla %	3.6	3.6	3	2.7	3.7	3.32
Temperatura en el máximo de Chla (°C)	22	24	24	24	23	23.4

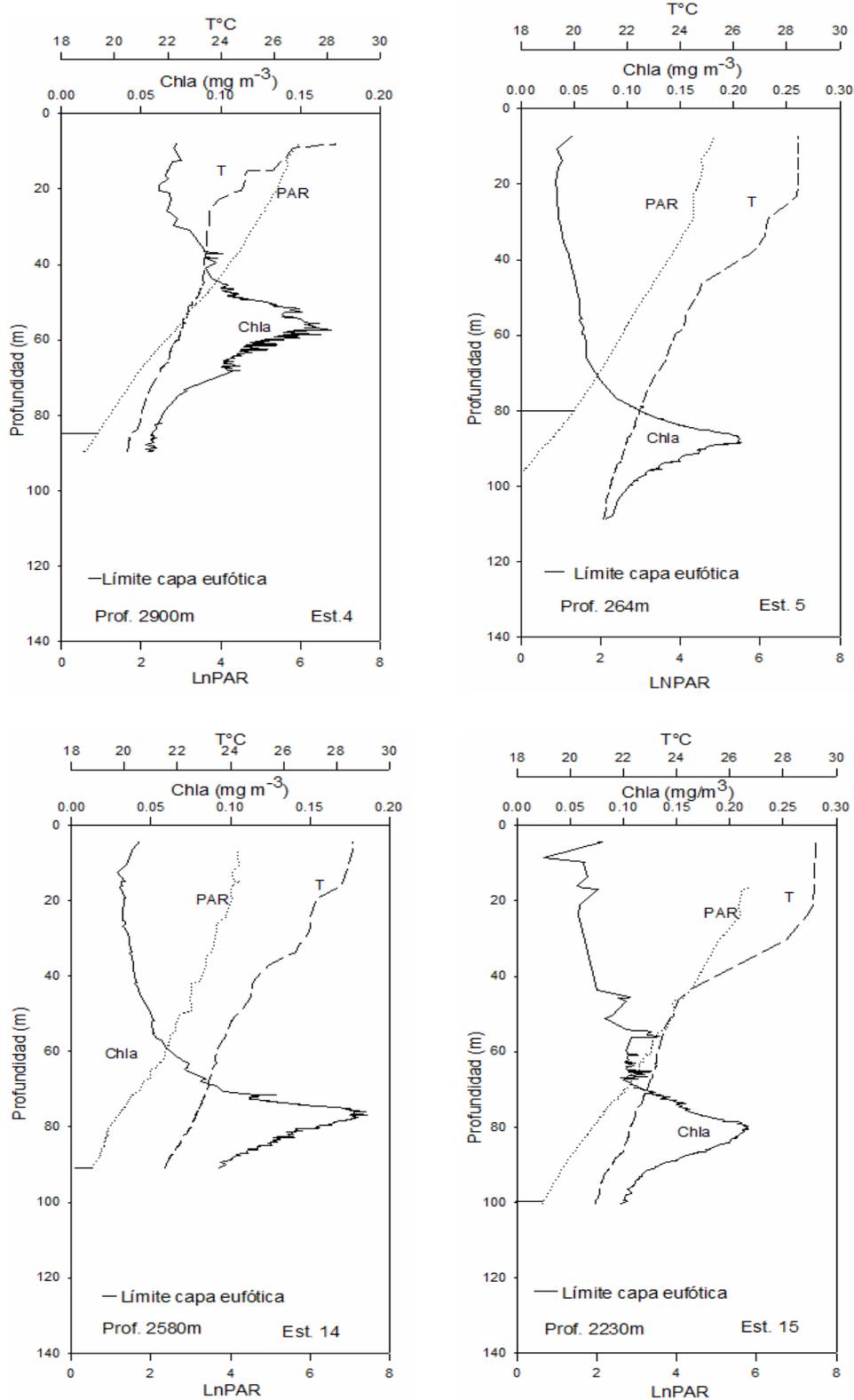


Figura 14. Distribución vertical de la temperatura, de la irradianza, de la Chla, en el Cañón de Campeche (junio, 2002) (Continúa en 40, 41, 42, 43 y 44)

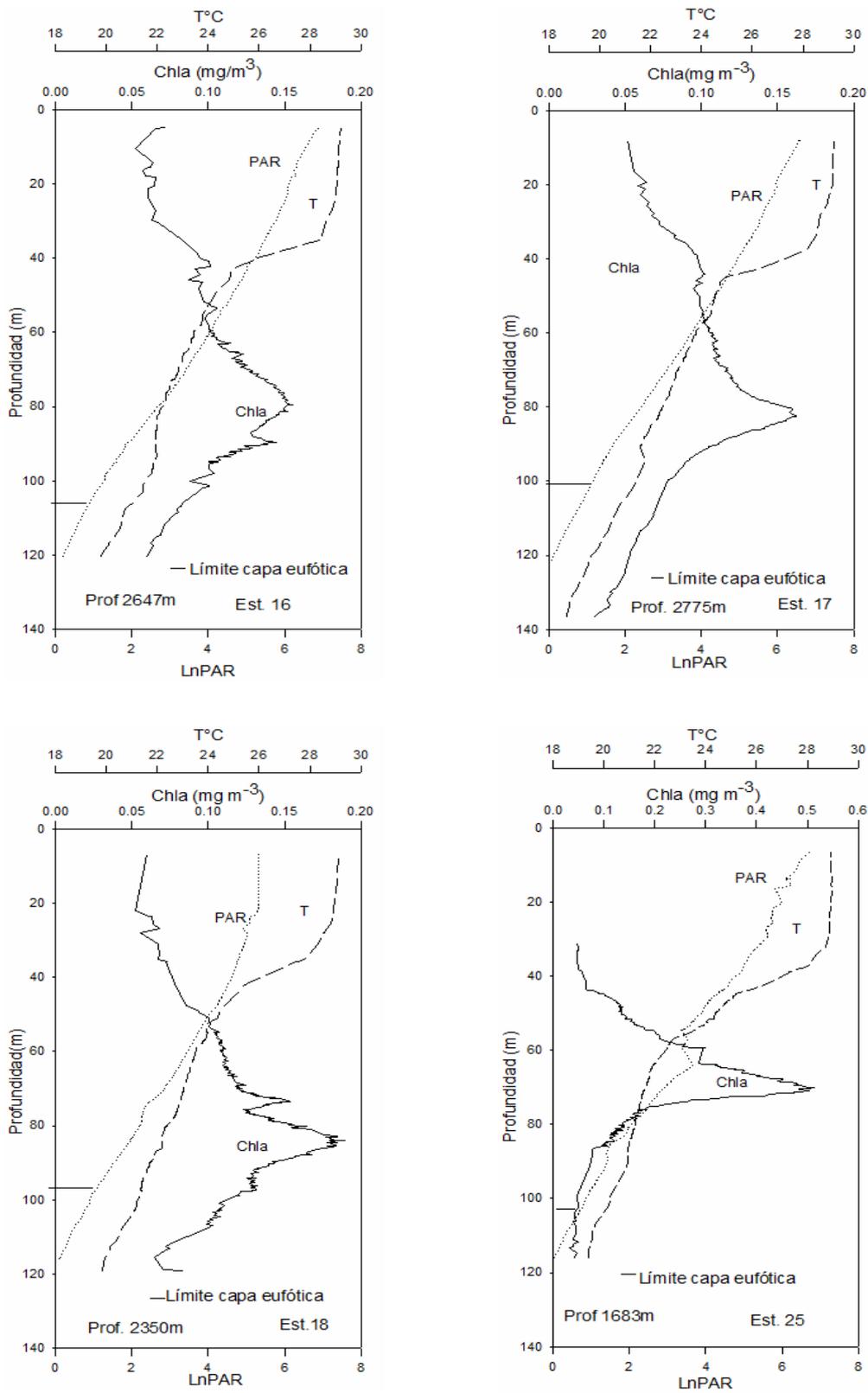


Figura 14. Distribución vertical de la temperatura, de la irradianza, de la Chla, en el Cañón de Campeche (junio, 2002) Continuación

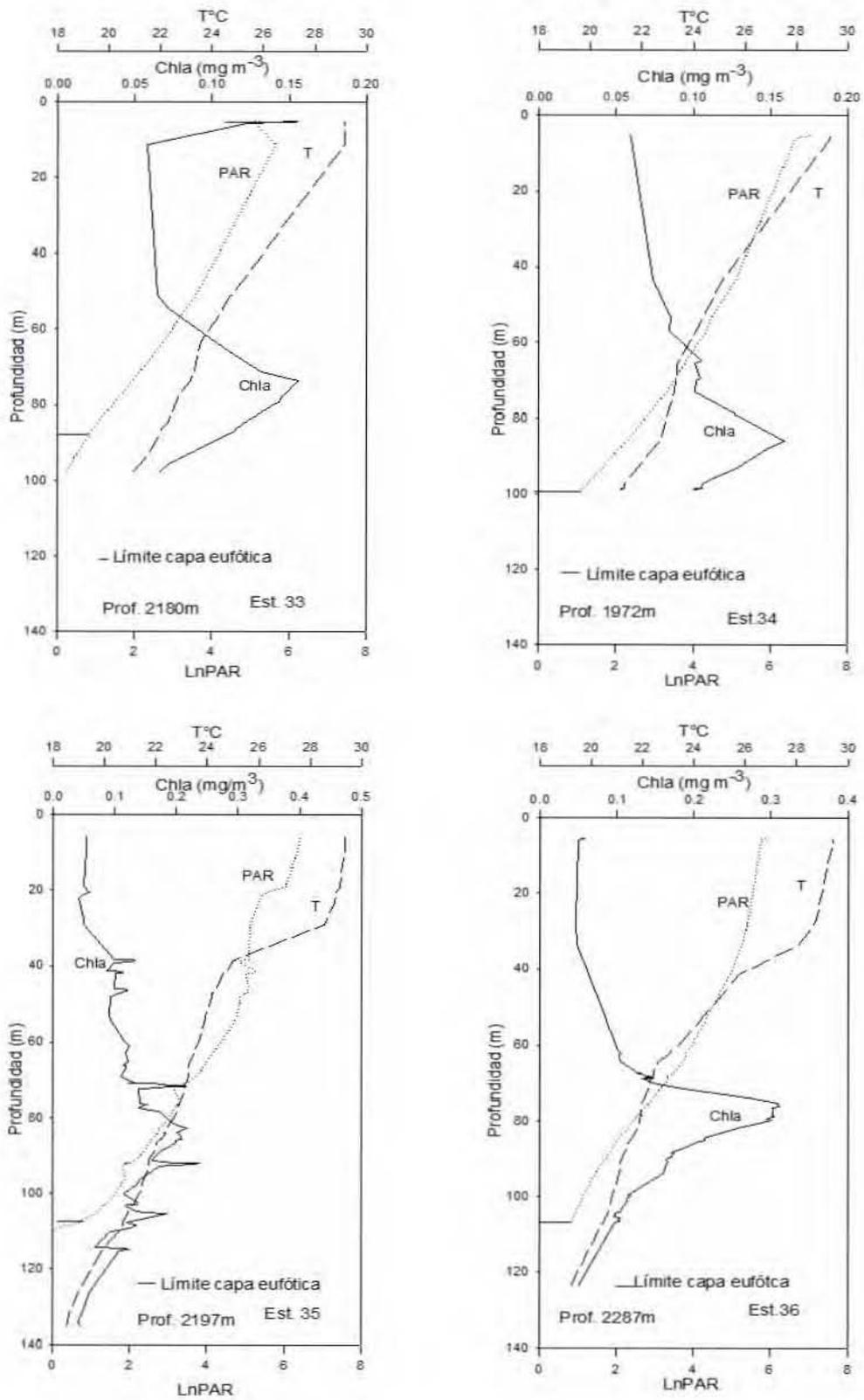


Figura 14. Distribución vertical de la temperatura, de la irradianza, de la Chla, en el Cañón de Campeche (junio, 2002) Continuación

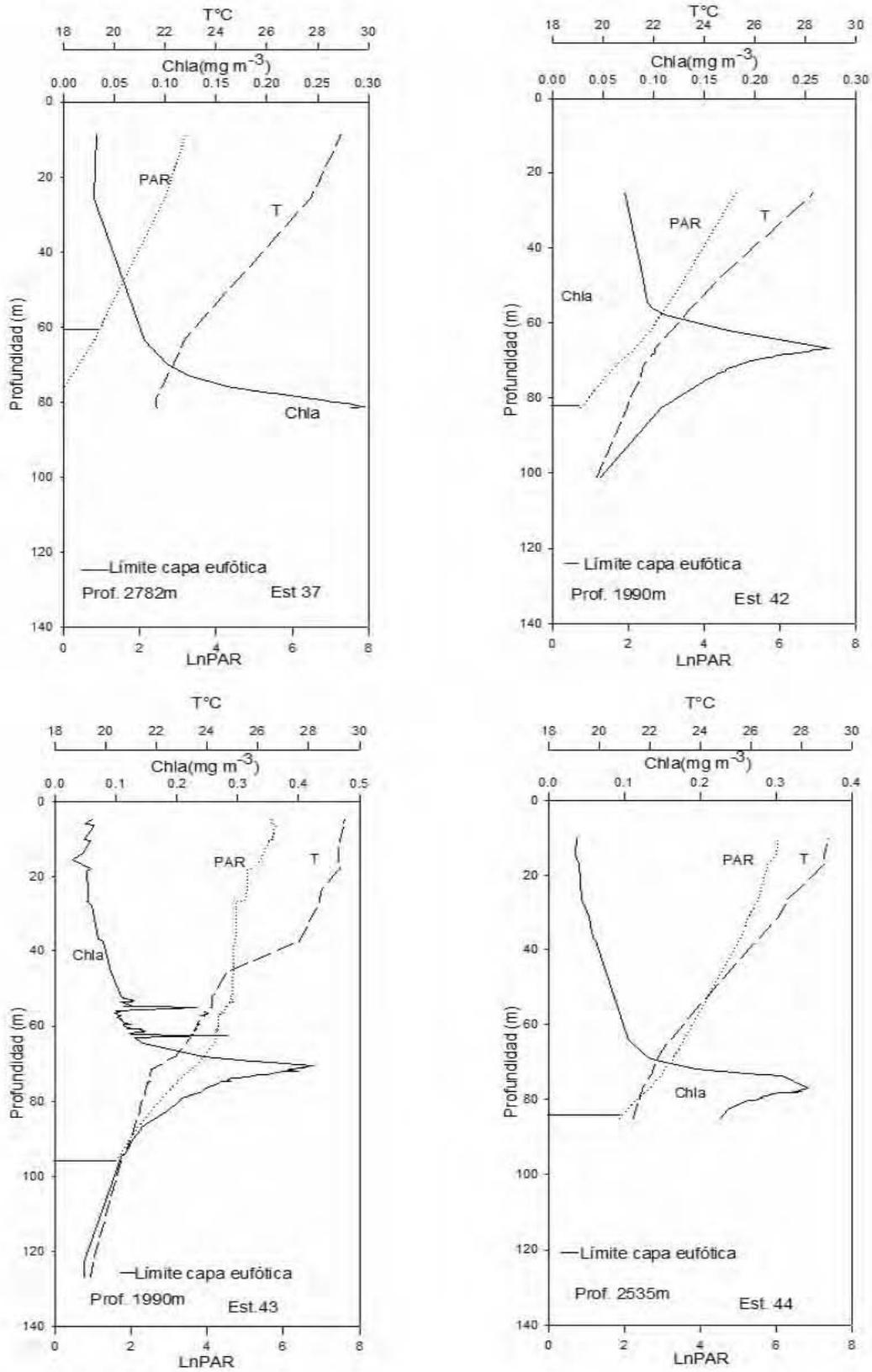


Figura 14. Distribución vertical de la temperatura, de la irradianza, de la Chla, en el Cañón de Campeche (junio, 2002) Continuación

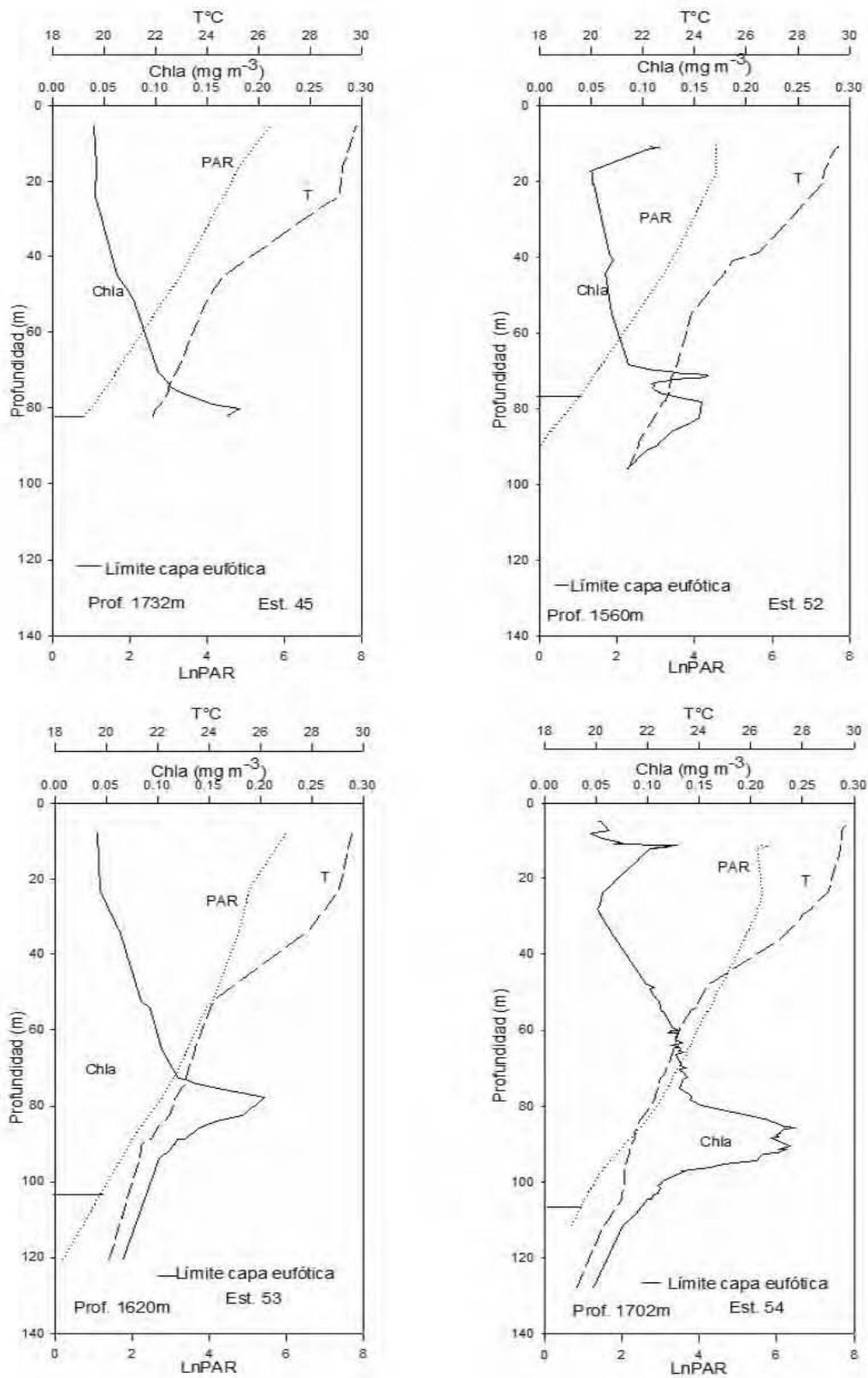


Figura 14. Distribución vertical de la temperatura, de la irradianza, de la Chla, en el Cañón de Campeche (junio, 2002) Continuación

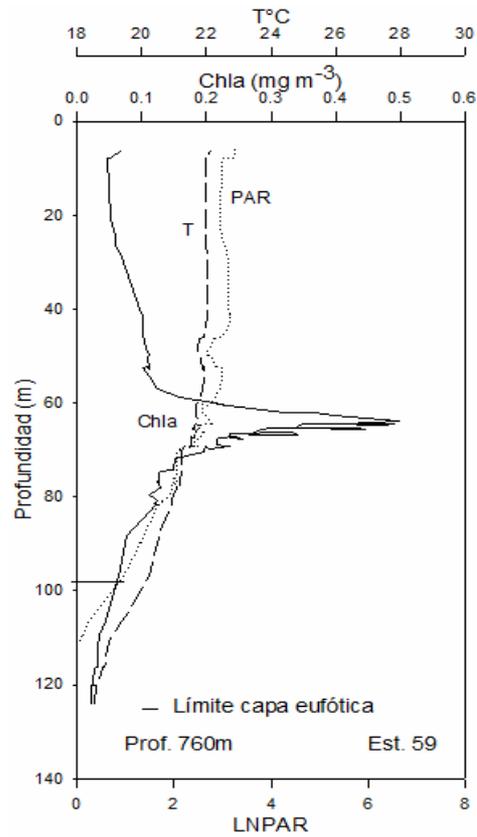


Figura 14. Distribución vertical de la temperatura, de la irradianza, de la Chla, en el Cañón de Campeche (junio, 2002) Continuación

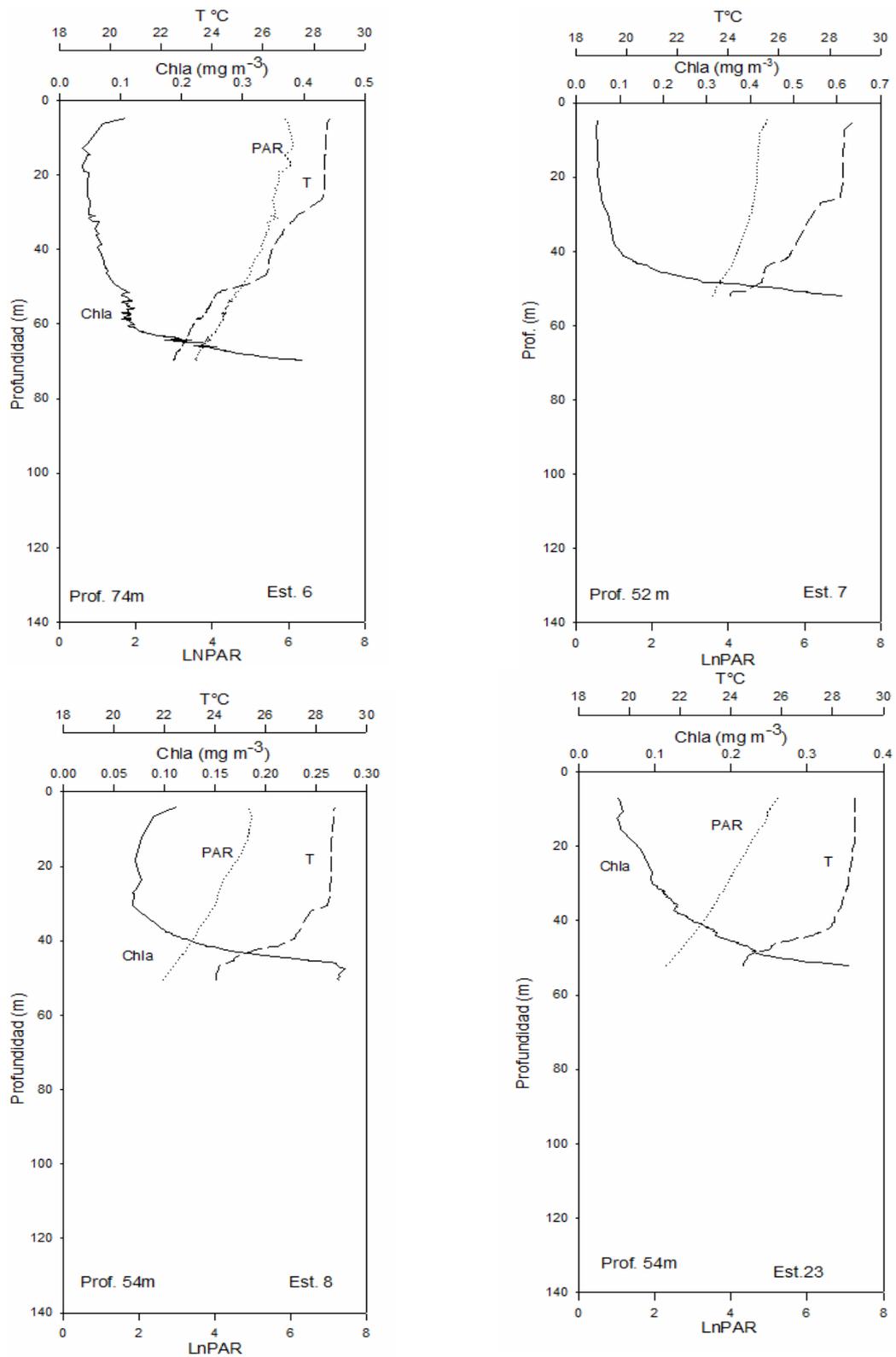


Figura 15. Distribución vertical de la temperatura, de la irradianza y de la Chla en Banco de Campeche (junio, 2002) (Continúa en 46).

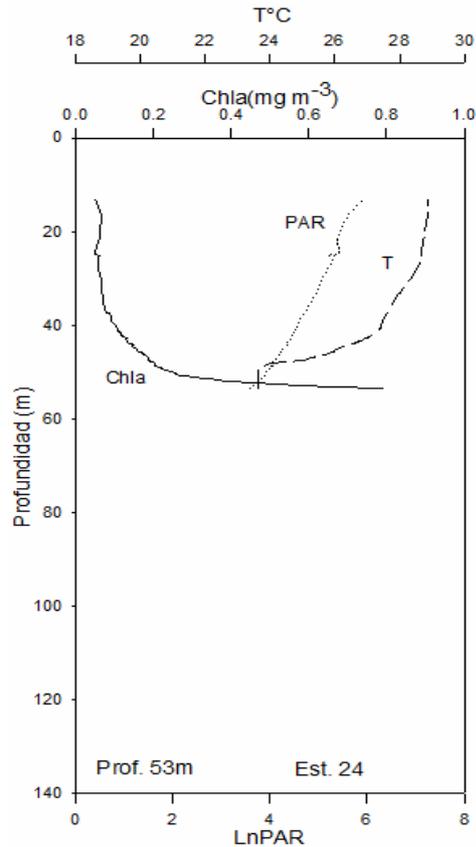


Figura 15. Distribución vertical de la temperatura, de la irradianza y de la Chla en Banco de Campeche (junio, 2002) Continuación

En el presente estudio se observó que la mayor concentración de Chla se dio en las zonas de la frontera entre los giros, en donde se forma un frente. Salas de León *et al.* (2004) observaron también que en el borde del giro ciclónico del Cañón de Campeche se presentaron concentraciones altas de Chla y de materia orgánica. Torner *et al.* (2003) encontraron que la zona en donde se presenta una interacción de giros anticiclónico-ciclónico se forman plumas que son ricas en clorofila *a*; esto se debe al aporte de nutrimentos que se dan en estas zonas.

Se ha observado que las zonas en donde se presentan giros ciclónicos la concentración de biomasa del plancton es más alta debido a que giros llevan nutrimentos a zonas más superficiales y, que el incremento en esta biomasa también se ve afectado por la intensidad de las corrientes siendo los bordes de

estos los más productivos (Biggs, 1992; Biggs *et al.* 1997; Gasca, 1999 y Rennie *et al.* 2008).

Se ha encontrado que en el Golfo de México se presentan frentes que se forman entre los giros anticiclónicos-ciclónicos y se puede observar allí la mayor concentración de la biomas planctónica (Zimmerman *et al.* 1999).

Composición general del fitoplancton

Con el objetivo de identificar qué organismos se encontraban en las profundidades en donde se presentaban los picos máximos de Chla, se revisaron las muestras cuatro estaciones, de las cuales sólo una se recolectó en el área del Banco de Campeche, las demás se ubicaron en el Cañón de Campeche.

En total fueron 20 muestras provenientes de diferentes profundidades: 5, 20, 40, 60 y 80 m. Los grupos identificados fueron dinoflagelados, diatomeas, cocolitofóridos y silicoflagelados. En todas las estaciones se registraron cocolitofóridos y dinoflagelados. En la estación ubicada en el Banco de Campeche se encontró una mayor abundancia de silicoflagelados. En la tabla 4 se muestra la presencia y ausencia de los organismos en todas las estaciones analizadas también se midió la media para saber qué tan diferentes fueron las dos zonas que se estudiaron. De 5 a 20 m se registró la mayor cantidad de organismos del microfitoplancton, generalmente resistentes a altas irradianzas y adaptados a bajas concentraciones de nutrimentos tales como algunas especies de dinoflagelados y diatomeas; también se registraron algunos dinoflagelados tecados y pocos cocolitofóridos. En la zona del Banco de Campeche además de éstos organismos se encontraron silicoflagelados. En 40 y 60 m, los máximos profundos de la Chla se relaciona con la presencia del nanofitoplancton, generalmente adaptado a bajas irradianzas y altas concentraciones de nutrimentos como son los cocolitofóridos (Margalef, 1978; Cullen, 1982). A 80 m, el grupo dominante fué el de los cocolitofóridos en todas las estaciones ubicadas en el Cañón de Campeche (Hernández- Becerril *et al.*, 2008 y Rennie *et al.* 2008).

De los coccolitofóridos encontrados las especies predominantes fueron *Emiliania huxleyi* y *Gephyrocapsa oceanica* y de las diatomeas que se encontraron fueron *Nitzschia bicapitata* y *Nitzschia bifurcata*. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Garcia (2003) y Hernández- Becerril *et al.* (2008) para la zona del sur del Golfo de México. Aldeco *et al.* (2009) para la misma zona reportan 66 especies de fitoplancton, siendo los dinoflagelados los de mayor abundancia en la zona.

Tabla 4. Grupos del fitoplancton en la zona del Banco y Cañón de Campeche

Estación	Región	Profundidad (m) de la muestra	Cocolitoforidos	Dinoflagelados	Diatomeas	Silicoflagelados
			Cel/l	Cel/l	Cel/l	Cel/l
24	Banco de Campeche	5	2000	2500	598	1700
		20	1580	2000	280	2000
		40	900	1600	100	2700
		50	500	900	59	2780
25	Cañón de Campeche	5	3020	220	1220	----
		20	1580	1900	280	----
		40	2000	2900	360	----
		80	4500	3600	30	----
33	Cañón de Campeche	5	2860	1000	2220	----
		20	1240	1600	760	----
		40	1470	2800	760	----
		60	2620	2600	320	----
43	Cañón de Campeche	5	3160	2300	90	----
		20	2328	1600	400	----
		40	2080	1980	520	----
		60	1700	2000	600	----
MEDIAS						
Banco de Campeche			1245	1750	259	----
Cañón de Campeche			2384	2077	605	----

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de conglomerado (cluster) (Fig. 16) comparando la profundidad de la termoclina, la profundidad de la oxiclina, la profundidad de la nutriclina, la profundidad de los máximos de Chla y el límite de la capa eufótica en la columna de agua.

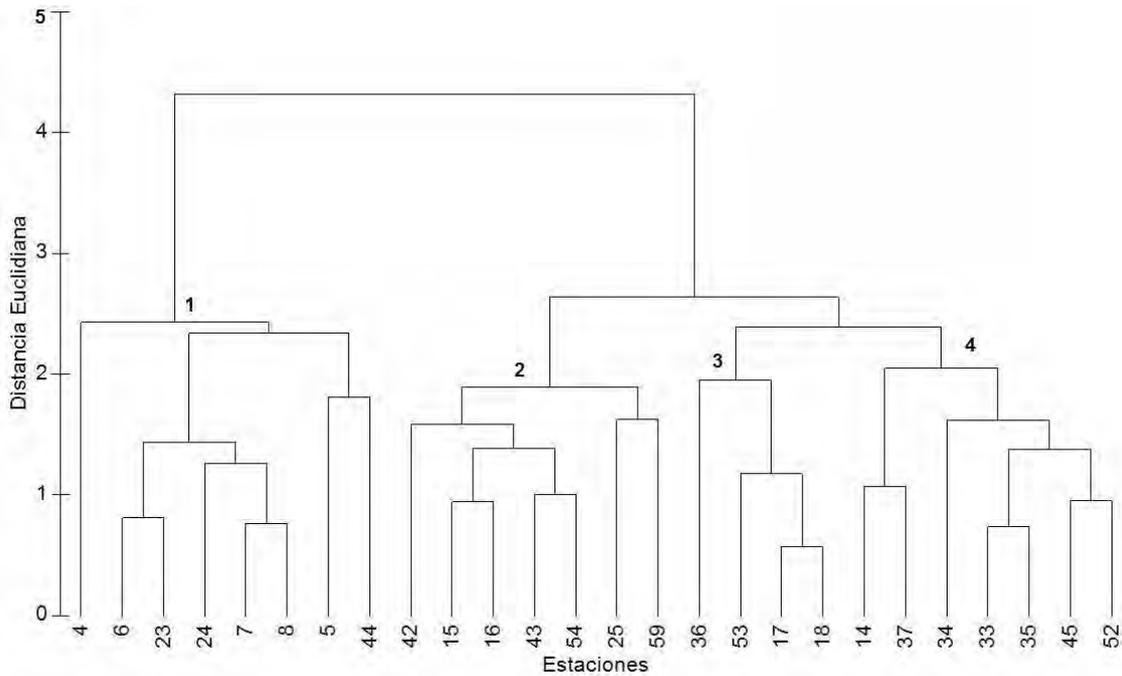


Figura 16. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados. Zona 1) ubicada en el Banco de Campeche, 2) zona del centro del giro ciclónico 3 y 4) ubicadas en el frente de los giros anticiclónico-ciclónico

El resultado del análisis (Fig. 16) muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en las profundidades de las variables medidas en las estaciones de muestreo. La asociación muestra tres grupos: el primero esta conformado por las estaciones 4, 5, 6, 7, 8, 14, 23, 24 y 44, el segundo 15, 16, 25, 42, 43, 54 y 59, el tercero por 17, 18, 36 y 53 y el cuarto 33, 34, 35, 37, 45, 52.

Es importante mencionar que la estación 14 no se ubica cerca del Banco de Campeche pero de acuerdo a las variables que se midieron presentó una similitud con esta zona; mientras que la estación 59 se asoció a las estaciones ubicadas en el centro del giro ciclónico.

Las estaciones que se ubicaron en el centro del giro ciclónico son estaciones que presentan una producción alta de Chla y una nitratoclina más somera, esto se debe a que los giros ciclónicos son responsables de una fertilización a la zona eufótica provocando un aumento en la producción biológica (Cruz *et al.* 2008).

La zona que se encuentra ubicada en los bordes donde se presenta un frente entre el giro anticiclónico-ciclónico corresponde a las estaciones que presentan una mayor concentración de Chla debido a que en estos frentes se forman plumas ricas en nutrientes que promueven la producción biológica, también se debe a que los centros de los giros son zonas que presentan una mayor fertilización de nutrientes pero existe una mayor turbulencia por lo cual los organismos del fitoplancton no pueden incorporar los nutrientes con mayor facilidad que como en los bordes (Salas de León *et al.* 2004).

Implicaciones tróficas

Los valores de clorofila *a* en los máximos fueron relativamente altos y corresponden a condiciones mesotróficas, de acuerdo con la clasificación de Koblentz-Miskhe y Vedernikov (1977). Según estos autores, los valores de Chla en aguas oligotróficas son de 0.09 a 0.15 mg m⁻³, en aguas mesotróficas de 0.15 a 1 mg m⁻³ y en aguas eutróficas más de 1.0 mg m⁻³.

Las estaciones que se localizaron sobre el Banco de Campeche (Fig. 15) presentaron valores de 0.05 a 1 mg m⁻³. De acuerdo a la clasificación citada anteriormente, en los máximos de Chla las condiciones pueden considerarse como mesotróficas mientras que en la superficie las condiciones serían oligotróficas. Para la zona localizada sobre el centro del Cañón de Campeche (Fig. 14) los valores de Chla en el máximo profundo fueron de 0.6 mg m⁻³; esta zona puede ser considerada como mesotrófica; mientras que en la parte superficial de la columna de agua, las condiciones serían oligotróficas(0.02mgm⁻³).

Los patrones de distribución vertical de la Chla que se presentaron anteriormente demuestran que en la zona central del Cañón de Campeche las condiciones de la columna de agua fueron oligotróficas salvo en los máximos de la Chla, donde las condiciones fueron mesotróficas.

El estudio de los patrones de distribución vertical de la biomasa fitopláctica es indispensable para evaluar el potencial productivo de los océanos y sus

implicaciones en las redes tróficas (Signoret *et al.* 2006); Mojica Ramírez (2003) para la zona del Cañón de Campeche, reporta en la época de secas que la biomasa zooplanctónica se localiza por debajo de los 60 m, y no presenta relación con la termoclina. La mayor concentración de biomasa se presenta en la frontera que se forma entre el giro anticiclónico y el ciclónico, debido a que la zona del centro del giro ciclónico es muy turbulento por lo que no es muy productivo mientras que en la periferia del mismo se registra la zona más productiva (Salas de León y Monreal-Gómez, 2005). Ramírez (2005) menciona que en las épocas de secas y de nortes en la zona del Banco de Campeche se presentó la menor cantidad de biomasa zooplanctónica; concluye que en la zona del giro ciclónico se presenta la mayor concentración de biomasa zooplanctónica.

Rennie *et al.* (2008) encontraron que la mayoría de los organismos que se localizaron en los máximos profundos de clorofila a son organismos migratorios como es el caso de los dinoflagelados.

Distribución horizontal de la Chla

Con el fin de identificar los patrones de distribución horizontal de la Chla se integró la concentración de la misma en la columna de agua. Los resultados obtenidos muestran concentraciones comprendidas entre 1 y 10 mg m⁻². En la tabla 5 se muestran los valores de la integración para cada sitio de muestreo, la profundidad de integración y la relación entre ambos, la cual brinda información relevante del potencial productivo de la columna de agua debido a que es diferente integrar una columna de agua con una profundidad de 50 m a una con una profundidad de 150 m.

Las concentraciones más altas (valores de 9.6 mg m⁻²) fueron registradas en la zona central del Cañón de Campeche lo que concuerda con el frente formado entre el borde de los giros anticiclónico-ciclónico reportado en la sección anterior. Las concentraciones menores (1.5 mg m⁻²) se presentaron en el centro del giro ciclónico (Fig. 17).

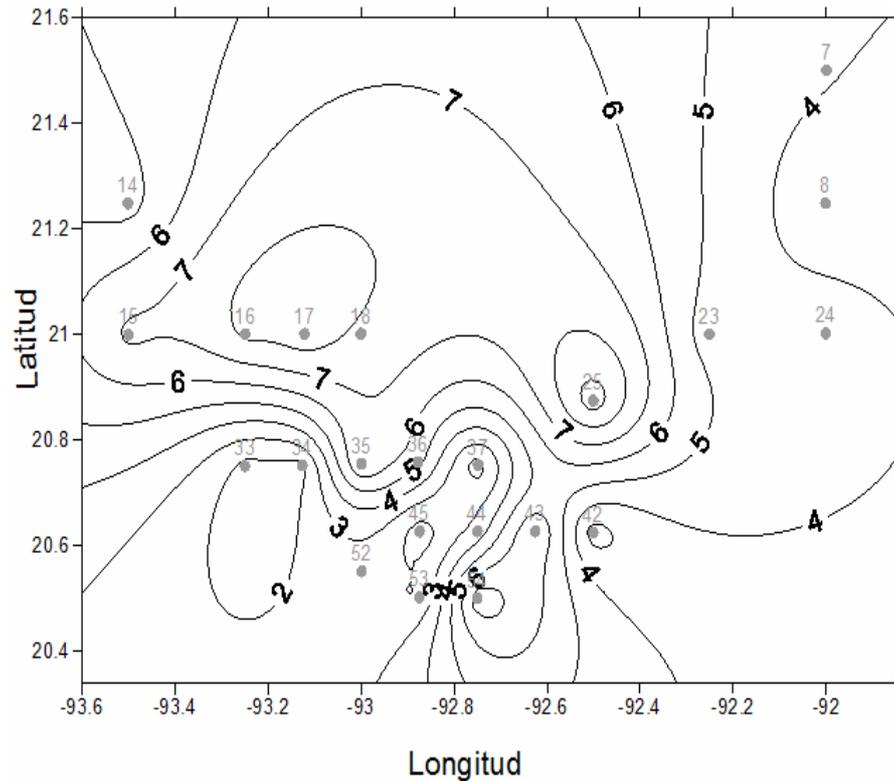


Figura 17. Distribución de clorofila a verticalmente integrada (mg m^{-2}) en el Cañón de Campeche y Banco de Campeche (junio, 2002).

Los intervalos de Chla por unidad de área reportados en este trabajo concuerdan con los reportados por Biggs y Sánchez (1997) para áreas costeras del Golfo de México. Estos autores señalan valores que van de 6 a 10 mg m^{-2} .

Salas de León *et al.* (2004) presentan valores de 8.6 a 13.3 mg m^{-2} para la zona del Cañón de Campeche bajo influencia de la circulación ciclónica. Asimismo, Signoret *et al.* (2006) reportan valores del orden de 9.3 hasta 12.7 mg m^{-2} en la región central y oeste del Golfo de México en coincidencia con una circulación ciclónica.

Para la plataforma de Yucatán, región bajo la influencia de aguas de surgencia, se han reportado valores de hasta 65 mg m^{-2} (Signoret *et al.* 1998). El-Sayed *et al.* (1972) encontraron valores promedio para todo el Golfo de México de 12.4 mg m^{-2} .

Los resultados obtenidos en este estudio muestran la evidencia y la importancia de los giros ciclónicos como procesos que promueven la producción biológica al igual que las zonas en donde se presentan frentes entre giros anticiclónicos- ciclónicos como es el caso del Cañón de Campeche. Al ser procesos divergentes originan un ascenso de aguas subsuperficiales, frías y ricas en nutrimentos, promoviendo una mayor producción en la zona en la que se presenta estos frentes.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos para este trabajo se concluye lo siguiente:

En el Cañón de Campeche y Banco de Campeche se muestra la presencia de cinco masas de agua (Agua Común del Golfo de México, Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México, Agua Superficial Subtropical del Caribe, Agua Subsuperficial Subtropical del Caribe y Agua Intermedia Antártica). Los procesos físicos, químicos y biológicos aquí estudiados corresponde solamente a las dos masas de agua primeras ya que éstas se encuentran de los 0 a 200 m de profundidad.

El patrón de circulación en el Cañón de Campeche estuvo dominado por un par de giros anticiclónico-ciclónico, los cuales se localizan desde los 40 a los 300 m de profundidad. La nitratoclina se ubico a menor profundidad en la zona del frente formado por el par de giros anticiclónico-ciclónico que en el resto de cañón.

Se observaron dos tipos de patrones de distribución de la Chla: a) un máximo profundo ubicado en el Cañón de Campeche y b) un máximo asociado al fondo en la zona del Banco de Campeche.

El patrón encontrado en el Cañón de Campeche corresponde a una estructura típica tropical caracterizada por máximos profundos de Chla y de materia particulada suspendida ubicados a la misma profundidad que la nutriclina y el mínimo de oxígeno.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que los picos máximos profundos (67 m) de Chla se que forman por debajo de la termoclina (40 m) se deben al desplazamiento vertical de las comunidades del fitoplancton hacia regiones más profundas en donde existe una mayor concentración de nutrimentos.

En el Banco debido a menor profundidad (54 m) se encontró un máximo asociado al fondo.

La distribución de los valores de los picos y de la Chla fueron contrastantes; los mayores valores de los picos se presentaron en el frente de los giros anticiclónico-ciclónicos, mientras que las máximas Chla integradas se ubicaron en el centro del giro ciclónico y en las zonas que se localizan alejadas del giro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, G., R. 2002. Producción primaria en el sur del Golfo de México estimada a partir de fluorescencia natural. *Hidrobiológica* 12 (1): 21-28

Aldeco, J., Monreal- Gómez, A., Signoret, M., Salas de Leon, D., D. Hernández-Becerril. 2009. Subsurface anticyclonic eddy, fronts and *Trichodesmium* spp occurrence eddies over the Campeche Canyon region, Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas* 35 (4)

Aquino, A. 2005. *Determinación de pigmentos accesorios y de la densidad celular del picofitoplancton en el sur del Golfo de México*. Tesis de Maestría (Biología Marina). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 52p

Biggs, D., C. 1992. Nutrients, plankton and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysics Research*. 97: 2143-2154

Biggs, D., C., Sánchez, L., L. 1997. Nutrient enhanced primary productivity of the Texas- Louisiana continental shelf. *Journal of Marine Systems* 11 (3-4): 237-247

Borodkin, S. O., Makkaveev, P. N., 1997. The variability of the dissolved inorganic carbon and oxygen in the Gulf of Mexico' s surface water. *Oceanology*. 37 (2): 201-205

Bravo- Sierra E. 1998. *Composición del fitoplancton de red en Bahía Banderas, México, 1990-1991*. Tesis de Maestría facultad de Ciencias UNAM, México. 144 p

Cervantes, R., Verdugo, J., Váldez, E. 2005. Modelo estacional de producción primaria estimada mediante fluorescencia natural en una región costera del Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 15 (1): 79-87

Chamberlin, W., S., Booth, C., R., Kiefer, D., A., Morrow, J., H., Murphy, R., C. 1990. Evidence for a simple relationship between natural fluorescence, photosynthesis, and chlorophyll in the sea. *Deep Sea Research* 37 (6): 951-973

Cortés, M, Y., Bollman, J., Thierstein, H, R. 2001. Coccolithophore ecology at the HOT station ALOHA, Hawaii. *Deep Sea Research II* 48: 1957-1981

Cowless, T., Desiderio, R., A., Never, S. 1993. In situ characterization of phytoplankton from vertical profiles of fluorescence emission spectra. *Marine Biology* 115: 217-222

Cruz, A. 1971. Estudios del plancton en el Banco de Campeche. En: Coloquio sobre investigaciones y recursos del Mar Caribe y regiones adyacentes. UNESCO, París, 375-383

Cruz, G., R., Monreal-Gómez, A., Nicolaevich, S. 2008. Efectos de los vórtices en sistemas acuáticos y su relación con la química, biología y geología. *Interciencia* 33 (10) 741-746

Cullen, J.J. 1982. The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll *a*. *Canadian Journal of Aquatic Science* 39: 791-803.

Cullen J., Eppley W. 1981. Chlorophyll maximum layers of the Southern California bight and possible mechanisms of their formation and maintenance. *Oceanologica Acta* 4: 23-32

De la Lanza- Espino, G. 2001. *Características físico- químicas de los Mares de México*. Instituto de Geografía, UNAM

Díaz Flores M., A. 2004. *Estudio de las corrientes en la Bahía de Campeche utilizando un perfilador Acústico Doppler (ADCP)*. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM. México, DF. 67p

Doerffer, R. 1993. Estimation of primary production by observation of solar-stimulated fluorescence. *ICES mar Science Symposium* 197: 104-113

Elliot, B., A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography* 12 1292-1309

EL-SAYED, S., Sacket, W., Jeffrey, A., Fredericks, R., Saunders, P., Conger, G., Fryxell, K., Steidinger, K., Earle, S. 1972. Chemistry, Primary Productivity and Benthic Algae of the Gulf of Mexico. In: (V. Bushell) Serial Atlas of Marine Environment Folio 22. *American Geographical Society, Nueva York*. 29 p. y 6 láminas

Escobar- Briones, E., Estada- Santillán, E. L., Legendre, P. 2008. Macrofauna density and biomasa in the Campeche Canyon, Southwestern Gulf of Mexico. *Deep Sea Reserach*. Part. II: Tropical Studies in Oceanography: The deep Gulf of Mexico Benthos Program, 55 (24-26): 2679-2685

Falkowski, P. 1988. Ocean productivity from space. *Nature* 335: 205

Falkowski, P., Kiefer, D. 1985. Chlorophyll a fluorescence in phytoplankton: relationships to photosynthesis and biomass. *Journal of Plankton Research* 7: 715-731

Fofonoff, N., P., Millard, R., C. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO. *Technical papers on Marine Science*, 44 -53

Fratantoni, D. M., Richardson, P. L. 2006. The evolution and demise of north Brazil Current rings. *Journal Physical Oceanography* 36: 1241-1264

Furnas, M., Smayda, T., J. 1987. Inputs of subthermocline waters and nitrate onto the Campeche Bank. *Continental Shelf Research* 7: 161-175

García Reséndiz, A., 2003. *Estructura del fitoplancton y su relación con las condiciones oceanográficas en el sureste del Golfo de México, abril 2000*. Tesis de Licenciatura en Biología. UNAM, México, DF. 46p

García, M., Máske, H. 1996. The relationship of solar stimulate natural fluorescence and primary productivity in Mexican Pacific waters. *Limnology and Oceanography* 41: 1697-1710

Gasca, R. 1999. Siphonophores (Cnidaria) and summer mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 65 (3): 397-408

Harris, J., E. 1972. Characterization of suspended matter in the Gulf of Mexico: Spatial distribution of suspended matter. *Deep Sea Research* 19. 719-726

Heimdal, B, R. 1997. Modern Coccolithophorids. pp. 731- 830. En: Thomas, C, R. (Ed). *Identifying Marine Phytoplankton* Academic Press, San Diego

Herbland, A. B. Voituriez, 1979. Hydrological structure analysis for estimating the primary production in the tropical Atlantic Ocean. *Journal of Marine Research* 37: 87-101

Hernández-Becerril, D. 1998. Morphological study of the marine planktonic diatom genus *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) in the plankton from the southern Gulf of Mexico. *Botanica Marina* 41: 505-519

Hernández-Becerril, D., Resendiz, J., Salas de León, D., Monreal Gómez, A., Signoret, M., J. Aldeco. 2008. Nanoplankton fraction in the phytoplankton structure in the southern Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas* 34(1): 77-90

Huisman, J. 1999. Critical deep and critical turbulence: Two different mechanisms for the development of phytoplankton blooms. *Limnology and Oceanography* 44 (7): 1781-1787

Huisman, J., Van- Oosteeve P., Weissing, F., J. 1996. Species dynamics in phytoplankton blooms: Incomplete mixing and competition for light. *Am. Nature* 154: 46-68

Jacobs, M., B., Ewing, M. 1969. Suspended particulate matter: Concentration in the major oceans. *Sciences* 163, 380- 383

Kiefer, D., Chamberlin, W. S., Booth, C. 1989. Natural fluorescence of chlorophyll *a*: relationship to photosynthesis and chlorophyll concentrations in the western south pacific gyre. *Limnology and Oceanography* 34: 868-881

Koblentz-Mishke, O. J., Vedernikov, V. I. 1977 *Primary production*. In: Vinogradov, M.E (ed) *Oceanology*. 2. Biological productivity. Nauka, Moscu. p 399.

Lalli, M., C, Parson, R. T. 1997. *Biological oceanography an introduction*. The open university (ed). Oxford, 307 p

Libes, S. 1997. *An introduction to marine biochemistry*. John Wiley & Sons (ed) New York, 732 p

Licea, S. 1992. *Especies de diatomeas seleccionadas del Sur del Golfo de México, estudiadas en microscopio de luz y electrónico*. Tesis doctorado Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

Licea, S., Luna, R. 1999. Espatio-temporal variation of phytoplankton on the continental margin in the SW Gulf of Mexico. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 49, 83-99

Licea, S., Santoyo, H. 1991. Algunas características ecológicas del fitoplancton de la región Central de la Bahía de Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México 18 (2): 157-167

Lorenzen, C. J. 1966. A method for continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. *Deep Sea Research* 13, 223-227

Margalef, R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta* 1: 493-509

Merino, M. 1992. *Afloramiento en la plataforma de Yucatán*. Tesis Doctoral (Oceanografía Química). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, México, DF. 249p

Merino, M. 1997. Upwelling on the Yucatán shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine Systems* 13(1-4): 101-121

Mojica, R., E. 2003. *Variabilidad de la biomasa zooplanctónica en la región del Cañón de Campeche durante la campaña PROMEBIO-I (5 al 21 de agosto 1999)*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM, México, DF. 54p

Monreal- Gómez, A., Salas de León, D. 1990. Simulación de la circulación en la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional* 29: (2). 101-111

Monreal, A., Salas de León, D. 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: M, F., Lavin (ed), *Contribuciones a la oceanografía de México*. Monografía no, 3. *Unión Geofísica Mexicana* 183-199

Nof, D. 1983. The translation of isolated cold eddies on a sloping bottom. *Deep Sea Research* 30 (2A): 171- 182

Nowlin, W. D., 1972. Winter circulation patterns and property distributions. In: *Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of México Vol. II*, edited by L. R. A. Capurro y J.L. Reids Gulf Publishing Company, 3-52

Okolodkov, Y. B. 2003. Una revisión de investigaciones rusas del plancton en el Golfo de México y Mar Caribe en los 1960- 1980' s. *Hidrobiológica* 13 (3): 207-221

Ramírez, V. 2005. *Distribución de la biomasa zooplanctónica en la región del Cañón de Campeche en fin de temporada de nortes*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM, México, DF. 81p

Rennie, S., Hanson, C. E., McCauley R. D., Pattiaratchi C., Burton, J., Bannister, C., Jenner, M.-N., Jenner. 2008. Physical properties and processes in the Perth Canyon, Western Australia: Links to water column production and seasonal pygmy blue whale abundance. *Journal of Marine Systems* 77 (1-2): 21-44

Rosales N. I. 2007. *Hidrografía y corrientes geostroficas en la region del Cañón de Campeche*. Tesis de Maestría en Ciencias. UNAM, México, DF. 89p

Salas de León, D. A., Monreal Gómez, M. A., Signoret M., Aldeco, J. 2004. Anticyclonic-cyclonic eddies and their impact on near-surface chlorophyll stocks and oxygen supersaturation over the Campeche Canyon, Gulf of México. *Journal of Geophysical Research* 109: 1-10, doi: 10.1029/2002JC001614

Salas de León, D. A., Monreal Gómez, M. A. 2005. Procesos físicos que influyen en la productividad biológica de los mares mexicanos. *Ciencia Oct-Dic* 49-59

Sánchez, R. 2006. *Dinámica vertical y temporal de los nutrientes (N, P, Si) en un lago monomítico cálido tropical: Alchichica, Puebla, México*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 96p.

Signoret, M., Bulit, C., Pérez, R. 1998. Patrones de distribución de la clorofila a y producción primaria en aguas del Golfo de México y del Mar Caribe. *Hidrobiológica* 8 (2): 81-88

Signoret, M., Aldeco J., Bareiro, M. 2006a. Variabilidad de perfiles de clorofila a obtenidos por fluorescencia natural en el oeste y centro del Golfo de México en junio de 1999. *Hidrobiológica* 16(3): 221-232

Signoret, M., Monreal- Gómez, M. A., Aldeco, J., Salas de León, D. A. 2006b. Hydrography, oxygen saturation, suspended particulate matter, and chlorophyll-a fluorescence in an oceanic region under freshwater influence. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 69 (1-2): 153-164

Stegmann, P., Lewis, M. 1997. Shipboard measurements of phytoplankton production and solar stimulate fluorescence rates in the Norwest Atlantic. *Continental Shelf Research* 17: 743-760

Torner, M., Kirwan, A. D., Poje, A. C., Kantha, L. H., Müller- Karger, F. E., Jones, C. K. R. T. 2003. Chlorophyll dispersal by eddy- eddy interaction in the Gulf of Mexico. *Journal Geophysical Research* 108 C4, 3105. doi: 10.1029/2002JC001499,2033

Tselepides, A., Zervaskis, V., Polychronaki, T., Donavaro, R., Chronis, G. 2000. Distribution of nutrients and particulate organic matter in relation to the prevailing hydrographic features of the Cretan Sea (NE Mediterranean). *Prog. Oceanogr.* 46, 113-142

Valdez, J., Gaxiola, G., Cervantes, R. 1995. Productividad Primaria en el Golfo de California, calculada a partir de la relación entre la irradiancia superficial y clorofila de la zona eufótica. *Ciencias Marinas* 21: 311-329

Vázquez de la Cerda. 2004. Análisis descriptivo de las masas de agua oceánicas que arriban al Golfo de México. En: Caso, M., Pistanty, I., Ezcurra, E. (Comp). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. México. 626 p.

Vidal, M. V. V., Vidal, F. V., Pérez Molero, J. M. 1992. Collision of a loop current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of México. *Journal of Geophysical Research* 97(C2), 2155-2172

Vidal, M. V. V., Vidal F. V., Hernández, A. F., Meza, E., Zambrano, L. 1994. Winter water mass distribution in the western Gulf of Mexico affected by colliding anticyclonic ring. *Journal Oceanography* 50 559-588

Wang, G., Dewar, W., K. 2003. Meddy-seamount interactions: Implications for the Mediterranean salt tongue. *Journal Physical Oceanography* 33: 2446-2461

Weaver, P. 1950. Variation in history of continental shelves. *Bulletin of the American Association of Petrology and Geology* 34: 351-360

Zimmerman, R., A., Biggs, D., C. 1999. Patterns of distribution of sound-scattering zooplankton in warm and cold-core eddies in the Gulf of Mexico, from a narrowband acoustic Doppler current profiler survey. *Journal of Geophysical Research* 104 (c3): 5251-5262