

00361



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS /6**  
**BIOLÓGICAS**

**FACULTAD DE CIENCIA**

VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL  
DEL FITOPLANCTON EN LA  
REGIÓN SUROCCIDENTAL DEL  
GOLFO DE MÉXICO (1987-1988)

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)

**PRESENTA**

**RUTH LUNA SORIA**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIRECTOR DE TESIS: (DR. SERGIO LICEA DURÁN)

MÉXICO, D. F.

SEPTIEMBRE, 2002



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

La vida está sustentada en un gran número de interrelaciones, las actividades humanas no son la excepción. Para el logro de los objetivos de un individuo se requiere de la suma de muchas voluntades, especialmente en trabajos de investigación marina como es este caso. Las personas que trabajan dentro de este ambiente saben todo lo que implica, por lo tanto mis más sinceros **agradecimientos** a todas aquellas personas que de alguna forma participaron e hicieron posible este trabajo.

Es para mi un motivo de satisfacción el haber tenido la oportunidad de conocer grandes espíritus humanos, con el pretexto del desarrollo de esta tesis. Destacaron por su disposición y profesionalismo Ma. Eugenia Zamudio y Jorge Castro, a quien quedo eternamente agradecida.

Sin embargo la lista es larga y aún así no incluye a todos los participantes:

Dr. Sergio Licea Durán, director  
Dra. María Adela Monreal, Coodirectora

A las personas que fueron designadas como sinodales:

Dr. Jorge González González  
Dr. Fernando Chiang Cabrera  
Dr. Fernando Alvarez Noguera  
Dr. Eberto Novelo Maldonado  
Dr. Daniel León Alvarez

A los compañeros del laboratorio de fitoplancton y del ICMYL.

Raymundo Lecuanda Camacho, Margarito Álvarez Rubio, Jesús P. Soto Cadena, Carmen Trejo Luna, Eva Velásquez, David Delgado, Juan Pablo Torres Galván, Ignacio Palomar Morales, Yolanda Hornelas, José Luis Moreno, Blanca Rocio Tafoya Fernández, Bernardo Shirasago, Alma Padilla y Miguel Angel Alatorre y Roberto Cortés A.



...onzo a la Dirección General de Bibliotecas de la  
DNAM a difundir en formato electrónico e impreso el  
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Ruth Luna

Soria

FECHA: 7 Septiembre 2002

FIRMA: [Firma]

## ÍNDICE

	Páginas
Resumén.....	1
Introducción.....	2
Antecedentes.....	5
Área de estudio.....	6
Material y Métodos.....	10
Resultados.....	13
Discusión y Conclusiones.....	22
Literatura Citada.....	29
Número de figuras.....	12

# VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL FITOPLANCTON EN LA REGIÓN SUROCCIDENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO (1987-1988)

## RESUMEN

Se describe la variación espacio-temporal del fitoplancton a través de la abundancia de células y biomasa fitoplanctónica mediante la concentración de la clorofila *a*, en febrero-marzo, julio-agosto y noviembre-diciembre de 1987. El estudio está basado en el análisis de 667 muestras de clorofila *a* y 565 muestras de células fitoplanctónicas. Adicionalmente, se incorpora el análisis de la salinidad y la temperatura, las cuales permitieron caracterizar al área de estudio de una condición homogénea en febrero con alta salinidad y baja temperatura, a una condición estratificada en julio, con baja salinidad y alta temperatura, así como una situación intermedia en noviembre. Los resultados permiten identificar en la escala espacial cinco zonas localizadas en las proximidades de la Laguna de Alvarado, Río Coatzacoalcos, lagunas Carmen-Machona, Sistema de Ríos Grijalva-Usumacinta y Río Champotón. En cuanto a la variación espacio-temporal de la abundancia del fitoplancton, se encontró que los valores bajos se presentan en febrero (mínima: 350; máxima: 195,263 céls./litro; clorofila *a* mín: 0.02; máxima: 1.64 mg·m<sup>-3</sup>) y los mayores en julio (400 y 6,140,000 céls./litro; clorofila *a*: 0.05 y 6.56 mg·m<sup>-3</sup>). Los valores intermedios se observaron en noviembre (230 y 438,571 céls./litro; clorofila *a*: 0.02 y 9.84 mg·m<sup>-3</sup>). Respecto a la variación vertical, la mayor abundancia se observó entre la superficie y 30 m de profundidad con amplia oscilación de una época a otra. En febrero la mayor abundancia se ubicó a 10 m de profundidad; mientras que en julio es marcadamente mayor en la superficie y en noviembre entre superficie y 20 m de profundidad. Los cambios temporales en la abundancia del fitoplancton se atribuyen fundamentalmente a los vientos conocidos como "nortes" y al periodo de lluvias. En el primer caso, en febrero se observó homogeneidad de la temperatura y salinidad en la columna de agua; en el segundo caso, hay estratificación acentuada en julio especialmente en las proximidades de ríos y lagunas costeras; condiciones intermedias se presentan en noviembre al inicio de la época de "nortes" (octubre). La variación espacial observada fue contrastante en cada periodo y aún con amplias variaciones en una misma época, de difícil interpretación con los datos disponibles. Se concluye que existe una correspondencia entre los procesos alternos, estratificación y mezcla con la alta concentración de clorofila *a* y la abundancia de células fitoplanctónicas, así como cierta compatibilidad, entre la variación espacio-temporal de la clorofila *a* en superficie obtenida por muestreo discreto y la que se observa en las imágenes de satélite (Sea WiFS) tomadas en periodos similares de diferentes años.

## INTRODUCCIÓN

El fitoplancton representa un elemento muy importante en el entendimiento del ecosistema marino, como productor primario, por el hecho de ser el responsable del 95% de la producción primaria anual (De Vooy, 1979), también por la influencia que ejerce sobre el flujo global del CO<sub>2</sub> y otros importantes gases tales como el dimetil sulfato, además de ser generador de gran parte del oxígeno necesario para los diferentes procesos que ocurren en la biosfera y formar parte importante en la trama trófica (Freyer, 1979; Goudriaan y Ajtay, 1979).

La estimación de la producción primaria en el océano mundial ha tenido variaciones considerables en las últimas décadas, relacionadas principalmente con los métodos de extrapolación utilizados. Así, desde la introducción del método radioactivo (C<sup>14</sup>) de Steemann-Nielsen (1953) se estimó en 15 Gt C/año; Ryther (1969) en 20 Gt C/año; Koblentz-Mishke et al. (1970) en 23 Gt C/año; Platt y Subba Rao (1975) en 31 Gt C/año y De Vooy (1979) en 44 Gt C/año. Recientemente, Longhurst (1995), utilizando datos de clorofila a obtenidos por satélite estimó la producción primaria mundial entre 45 - 50 Gt C/año. De esta producción, una parte importante se lleva a cabo en la zona costera, favorecida por la interacción de diversos factores físicos (circulación, vientos, mareas, frentes y los fenómenos que tienen relación con los procesos de mezcla vertical), químicos (sales nutrientes) y geológicos (geomorfología de la costa, tipo de sedimentos, profundidad, etc.), los cuales influyen de manera directa sobre la

abundancia, distribución, persistencia y composición del fitoplancton (Harris, 1986; Duarte *et al.*, 1992)

Por otro lado, Gran (1931) y Sverdrup (1953), al estudiar los procesos relacionados con la transferencia de energía en la trama biológica, encontraron que donde hay un súbito cambio en la energía auxiliar, se propicia alta productividad biológica y lo explican en función de los procesos físicos en el océano (energía solar, vientos, descarga de los ríos, corrientes, turbulencia y patrones de estratificación). Este concepto fue retomado por Odum (1967 a, b), quien puso su atención en la manera en que el flujo y el refluo de la marea ayudaban a la productividad en una marisma. Por su parte, Margalef (1974, 1978) señala que la energía auxiliar que enriquece de nutrientes al agua en una surgencia es una energía que subsidia al fitoplancton. Él demostró que un modelo que relacione la fotosíntesis a la energía de surgencia sirve mejor para predecir la producción del fitoplancton que el modelo más complejo que involucre, luz, nutrientes y temperatura. Este tópico fue posteriormente explorado por Legendre (1981), Legendre y Demers (1984, 1985) y Legendre *et al.* (1986), quienes señalaron que la alta productividad biológica ocurre frecuentemente en lugares donde existe un súbito cambio de energía auxiliar, tales como en frentes oceánicos y termoclinas. Concluyen que, para que esto se produzca, debe existir una maquinaria en la interacción físico-biológica en las escalas de tiempo y espacio.

Posteriormente, Mann y Lazier (1996) observaron que este modelo se cumple en estuarios y en la plataforma continental, donde las corrientes, al interactuar con el fondo marino producen la mezcla, y los escurrimientos de agua dulce la estratificación. De forma similar como en una surgencia los vientos provocan la mezcla, y su

disminución permite el calentamiento de las aguas, produciendo estratificación. Así, la alternancia de mezcla vertical y estratificación es un mecanismo importante en la productividad biológica dentro del ecosistema marino. Es claro que en el lugar y en el tiempo donde se encuentra mayor producción de fitoplancton, se da la suma y síntesis de condiciones físicas que propician la acumulación de biomasa, debido a que los aspectos físicos determinan la escala espacial de los procesos ecológicos y los organismos determinan la del tiempo.

El estudio detallado de los procesos físicos costeros y su relación con la producción de fitoplancton es un tema complejo, ya que en el océano las variables tales como la temperatura, salinidad y densidad no cambian gradualmente con la distancia horizontal, sino que más bien se encuentran grandes regiones donde los gradientes horizontales son pequeños y colindan con regiones estrechas donde los gradientes horizontales son grandes. Las regiones estrechas con gradientes altos son conocidas como frentes oceánicos y gracias a esa gran discontinuidad se pueden identificar corrientes y masas de agua. Los frentes en el océano son variados en tamaños y diversos en orígenes, tan sólo estudiar uno de ellos plantea una estrategia específica, ya que cada uno tiene propiedades físicas y biológicas distintas.



## ANTECEDENTES

El estudio del fitoplancton en el sur del Golfo de México se inició en la década de los setentas a través de trabajos regionales. Al respecto, destacan las investigaciones cubano-soviéticas llevadas a cabo en la Sonda de Campeche y áreas adyacentes en las que se reportan sitios con abundancia de fitoplancton (Zernova, 1969; Khromov, 1965; Bessonov *et al.*, 1971; Krylov, 1974). Recientemente Okolodkov (*en prensa*) realizó un análisis con énfasis especial en fitoplancton de las investigaciones cubano-soviéticas realizadas entre 1964 y 1992. Otras investigaciones son las de Licea (1977, 1992), Licea y Santoyo (1991), Santoyo y Signoret (1973, 1975, 1977) y Avendaño y Sotomayor (1980), quienes han realizado observaciones cualitativas y cuantitativas del fitoplancton en esta región. Sobre aspectos de productividad están los trabajos de Jordan (1972), El-Sayed *et al.* (1972), El-Sayed y Tree (1980). También se han realizado observaciones puntuales sobre diversas especies de diatomeas y dinoflagelados. Así, Moreno, (1990) estudió el género *Coscinodiscus*; Moreno *et al.* (1993) morfología y taxonomía de *Chaetoceros diversus* ; Figueroa (1990) el de *Ceratium*; Licea (1994) sobre especies de *Thalassiosira*. Adicionalmente, cabe mencionar la existencia de diversos informes, tesis y resúmenes de congresos no publicados (Lara-Domínguez *et al.*, 1990).

Con relación a la percepción remota por satélites, es importante mencionar el trabajo de Muller-Karger *et al.* (1991), basado en varios años de observaciones de la clorofila a en el Golfo de México, obtenidas a través del instrumento denominado CZCS (Coastal Zone Color Scanner) a bordo del satélite Nimbus-7. En la actualidad, el

radiómetro SeaWiFS a bordo del satélite SeaStar es el sucesor mejorado del experimento CZCS y que fue puesto en órbita en 1997.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el SO del Golfo de México, (Fig. 1), en donde predomina la circulación ciclónica, la cual está principalmente asociada a las aguas del Canal de Yucatán. También muestran la existencia de un giro ciclónico, en febrero y marzo en la totalidad de la región, tendiendo a desvanecerse en abril; este giro produce un cambio en la dirección de la corriente. En mayo el giro desaparece y la circulación cambia de este a oeste; en agosto y septiembre predominan el conjunto de giros ciclónicos en toda la región y continúan hasta diciembre., (Nowlin, 1972; Merrel y Morrison 1981; Monreal-Gómez y Salas de León 1985, 1990). Shirasago-German (1991) coincide en parte con estas observaciones y añade que la circulación costera entre julio y diciembre va de este a oeste y se invierte al comenzar febrero.

Algunos ríos son particularmente importantes, tales como el río Coatzacoalcos y el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta. Estos ríos representan aproximadamente un tercio de toda la descarga fluvial de México (Tamayo, 1990), siendo el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta el segundo en cuanto al volumen de descarga en el Golfo de México, si se compara con el río Mississippi.

radiómetro SeaWiFS a bordo del satélite SeaStar es el sucesor mejorado del experimento CZCS y que fue puesto en órbita en 1997.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el SO del Golfo de México, (Fig. 1), en donde predomina la circulación ciclónica, la cual está principalmente asociada a las aguas del Canal de Yucatán. También muestran la existencia de un giro ciclónico, en febrero y marzo en la totalidad de la región, tendiendo a desvanecerse en abril; este giro produce un cambio en la dirección de la corriente. En mayo el giro desaparece y la circulación cambia de este a oeste; en agosto y septiembre predominan el conjunto de giros ciclónicos en toda la región y continúan hasta diciembre., (Nowlin, 1972; Merrel y Morrison 1981; Monreal-Gómez y Salas de León 1985, 1990). Shirasago-German (1991) coincide en parte con estas observaciones y añade que la circulación costera entre julio y diciembre va de este a oeste y se invierte al comenzar febrero.

Algunos ríos son particularmente importantes, tales como el río Coatzacoalcos y el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta. Estos ríos representan aproximadamente un tercio de toda la descarga fluvial de México (Tamayo, 1990), siendo el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta el segundo en cuanto al volumen de descarga en el Golfo de México, si se compara con el río Mississippi.

Existen dos lagunas costeras que tienen un fuerte flujo hacia la costa, la de Términos es importante por su amplia comunicación con el mar a través de las bocas de Puerto Real y El Carmen, con un intervalo en la concentración de clorofila *a* de 0.3 a 8.2 mg·m<sup>-3</sup> (Day *et al.*, 1982). Se han observado pequeños giros ciclónicos frente a la boca del Carmen (Carranza-Edwards *et al.*, 1993 y Padilla-Pilotze *et al.*, 1990). La otra laguna es Alvarado, la cual recibe la descarga de los ríos Papaloapan, el Blanco y el Limón con un intervalo en la concentración de clorofila *a* de 3.2 a 10.6 mg·m<sup>-3</sup> (Lozano-Montes 1993). De acuerdo con García (1973), el clima es tipo Am; tibio y sub-húmedo en la época de lluvias de verano. Yáñez-Arancibia y Day (1982) mencionan que se presentan tres condiciones climáticas bien definidas: 1) época de secas, que va de febrero a mayo; 2) época de lluvias, de junio a septiembre, y 3) época de vientos, de octubre a febrero con vientos del norte, que llegan a velocidades de entre 90 y 130 km/h.

La dinámica de la bahía de Campeche está caracterizada por un giro ciclónico de meso-escala, el cual presenta variaciones espaciales y temporales; en algunos meses, este giro cubre casi por completo la bahía (Vázquez de la Cerda, 1993; Monreal-Gómez y Salas de León, 1990). Este giro de meso-escala es generado no solamente por el esfuerzo del viento, sino también por el flujo a través del Canal de Yucatán, que tiene una deflexión hacia la bahía y por la topografía de ésta.

En el sur de la Bahía de Campeche se distinguen tres épocas diferentes en cuanto a las condiciones ambientales e hidrográficas. La época de secas generalmente va de marzo a mayo, seguida de la época de lluvias, que ocurre de junio a septiembre y finalmente, la presencia de "nortes" que se lleva a cabo entre octubre y marzo. Cada

una de estas épocas da características muy especiales a la hidrología de la región, dado que en el sur de la bahía desembocan varios ríos importantes, entre otros el Río Coatzacoalcos (RC), el Sistema Grijalva-Usumacinta (SG-U) y el Río San Pedro y San Pablo. En particular el SG-U aporta aproximadamente un tercio del total de la descarga fluvial de México (Tamayo, 1990). Por otro lado, la Laguna de Términos (LT), lleva al mar la contribución que en ella tienen los ríos Candelaria, Palizada, Chumpán y Mamantel (Tamayo, 1990 op. cit.), así como la Laguna de Alvarado (LA) que recibe un gran aporte de los ríos Papaloapan, El Blanco y El Limón, cuya influencia se deja sentir en la plataforma continental en las proximidades de la laguna. En general, la descarga de los ríos en épocas de lluvias provoca la formación de un frente halino en la región próxima al SG-U (Czitrom *et al.*, 1986; Monreal-Gómez *et al.*, 1992). La localización del frente está influido por las corrientes costeras; en ciertos meses, cuando la corriente oceánica es intensa hacia el oeste, el frente se desplaza hacia el oeste del eje del SG-U (Monreal-Gómez *et al.*, 1992, Salas de León *et al.*, 1998).

En verano y principios de otoño, cerca de la desembocadura del SG-U se presenta el frente halino, ocasionado por la gran descarga fluvial y su encuentro con agua de características marinas. En la zona más alejada de la costa, durante el verano se presenta una picnoclina muy somera. Cuando llega la época de "nortes" se produce una mezcla vertical y la picnoclina se hunde. En este caso, se esperaría que el frente halino desapareciera; sin embargo, se ha observado el frente después del paso de un "norte" (Alatorre Mendieta *et al.*, 1987), lo cual indicaría que este frente es de carácter semi-permanente (Monreal-Gómez *et al.*, 1992)

Las condiciones hidrográficas descritas propician una circulación paralela a la costa y hacia el sur (Carranza-Edwards et al., 1993), en la plataforma continental de Campeche (Shirasago, 1991). El giro ciclónico de mesoescala puede considerarse como un mecanismo tal, que produce un ascenso de la piconclina (Salas de León y Monreal-Gómez, 1986), la cual genera transporte de materia orgánica favorable a la producción primaria (Pingree, 1978).

En vista de esa complejidad, este trabajo se enfoca desde la perspectiva de Legendre (1981), confirmada por Mann y Lazier (1996) referente a la existencia de un mecanismo básico que propicia la producción del fitoplancton, en una secuencia de eventos que ocurren dentro de una gran variedad de condiciones físicas en un amplio margen de escalas temporales, todo lo cual se traduce en una fuerte mezcla vertical, seguida de la estratificación de la columna de agua. De acuerdo a estos planteamientos, esta investigación tiene como objetivo fundamental conocer la variación espacio-temporal del fitoplancton, a través de su abundancia (biomasa y número de organismos) y distribución, asociada a las variaciones de temperatura y salinidad en la zona costera comprendida entre la laguna de Alvarado, Veracruz y el río Champotón, Campeche.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio forma parte de un proyecto a mediano plazo denominado OGMEX (Oceanografía del Golfo de México) el cual se inicio en 1987. Para este estudio, se utilizó la información obtenida en tres campañas oceanográficas realizadas a bordo del B/O "Justo Sierra" en la plataforma continental del SW del Golfo de México, en febrero/marzo (OGMEX I), en julio/agosto (OGMEX II) y en noviembre/diciembre (OGMEX III) de 1987.

La distribución de estaciones de muestreo se dispuso en 16 transectos perpendiculares a la costa sobre la plataforma y talud continentales, en el área comprendida entre los ríos Jamapa y Champotón (Fig. 1). En cada estación se realizaron observaciones de conductividad, temperatura y presión mediante un CTD (Conductivity, temperature, depth por sus siglas en Ingles) tipo Neil Brown Mark-IIIIB entre los intervalos de profundidad de superficie a 100 m, dependiendo de la profundidad total de cada estación. La distancia entre estaciones fue de entre 7.5 y 30 km y el tiempo total de las campañas fue de 13, 11 y 9 días, la salinidad fue obtenida de acuerdo a Fofonoff, N.P. y Millard, R.C. Jr., (1983). La relación de muestras obtenidas se ilustra en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación de campañas y muestras de clorofila a y células de fitoplancton Obtenidas.

Campañas: Oceanográficas	Fechas Año 1987	Número de estaciones	Número de muestras para Clorofila <u>a</u>	Número de muestras para células	TOTAL DE MUESTRAS
OGMEX I	26 febrero - 10 marzo	62	215	160	375
OGMEX II	27 julio - 6 agosto	70	240	237	477
OGMEX III	28 noviembre - 6 diciembre	62	212	168	380
TOTAL DE MUESTRAS			667	565	1232

Las muestras de agua se colectaron mediante una roseta con botellas Niskin de 2 litros de capacidad a las profundidades de 2, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150 y 200 m. De cada botella se obtuvieron 2 muestras, una que se destinó al conteo de células de fitoplancton, consistente en 250 ml que se preservaron con una solución de lugol a saturación con acetato de sodio (Lovegrove, 1960) y almacenadas en botellas oscuras; la otra muestra se destinó al análisis de la concentración de clorofila a, que se determinó con un fluorómetro Turner modelo 110, siguiendo el método de Yentsch y Menzel (1963); Holm-Hansen *et al.*, (1965) a bordo del buque oceanográfico "Justo Sierra". Para este estudio se eligieron los datos de clorofila a obtenidos a los niveles de 2, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad. Con los datos discretos de la concentración de clorofila a de superficie se realizaron interpolaciones, a fin de obtener la distribución horizontal en forma continua y poder compararla con una imagen de satélite obtenida a



través del Instituto de Geografía de la UNAM (datos SeaWifs: SeaStar-Orbview2 satélite) .

Los análisis de células cualitativos y cuantitativos, se llevaron a cabo con el método Utermöhl de 1931, referido en Hasle (1978). Para este estudio se utilizaron los datos obtenidos a 2, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad de la cuantificación total referente a la abundancia de organismos por unidad de volumen. Es importante aclarar que la diferencia existente entre el número de muestras para el análisis de la clorofila a y las destinadas a la cuantificación de células se debe a que durante la obtención, transporte y análisis de las mismas pueden sufrir daños, presentar errores en su etiquetación o perderse. Lo anterior afecta mayormente a las que se destinan a la enumeración de células.

Con el fin de conocer la variación temporal de la salinidad y temperatura se elaboró la figura 2 utilizando los datos obtenidos del CTD. La figura 3 se diseñó para conocer las condiciones hidrográficas de las regiones en que se localizaron los valores con mayor abundancia de fitoplancton (Laguna de Alvarado, Río Coatzacoalcos, Sistema Grijalva-Usumacinta, Laguna de Términos y Río Champotón)

## RESULTADOS

### Condiciones hidrográficas

Los perfiles termo-halinos muestran la homogeneidad de la columna de agua en febrero, así como estratificación acentuada en julio y una condición intermedia en noviembre con la termoclina más profunda (Figs. 2 a-f). Los registros anuales de temperatura oscilaron entre 20.00 y 29.50 °C . La temperatura menor se registró en febrero, oscilando entre 22.50 y 25.00 °C ; en contraste la mayor en julio, con una mayor variación entre 20.20 a 29.50, aunque de la superficie a 15 m de profundidad el intervalo se reduce, en la temperatura más alta (25.00 a 29.50 °C). En noviembre, por arriba de los 50 m se registra la mayor homogeneidad (25.00 – 26.00 °C) y de 50 a 100 m de presenta la termoclina, el intervalo va de 20.50 a 26.50 °C.

La profundidad a la que se encuentra la termoclina varía considerablemente; en julio, se localizó entre 15 y 85 m de profundidad, mientras que en noviembre se observó entre los 50 y 85 m. En cambio en febrero la columna de agua esta casi homogénea y los perfiles se pueden ordenar en dos grupos; el primero con temperaturas que van de 22.50 a 23.50 y el segundo con valores entre 23.50 a 25.00 °C.

La salinidad se comporta de forma inversa a la temperatura; es mayor en febrero (34.00 a 37.50), menor en julio (13.00 a 36.50) y en noviembre (32.00 a 37.50 ups) similar a la de febrero. La estratificación máxima se presenta en julio entre la superficie

y 20 m; en noviembre es menor la estratificación en superficie, pero penetra hasta los 40 m de profundidad y en febrero pocos perfiles la presentan.

En la figura 3 se muestra el comportamiento de los perfiles de salinidad y temperatura de diversas estaciones seleccionadas en cinco regiones, en que las abundancias de fitoplancton es mayor de 50,000 céls./litro y la concentración de clorofila  $a$  mayor de  $0.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Para fines prácticos el nombre de la región se adoptó de los sitios aledaños a la costa, mismos que se referirán a lo largo del texto. Enseguida se describen los aspectos más sobresalientes.

En febrero existe una tendencia hacia la homogeneidad de la columna de agua que se denota por la distribución vertical y horizontal de la temperatura y salinidad (Fig. 3). La menor temperatura ( $22.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se localizó hacia la región occidental (LA y RC) y se incrementa entre  $23.5$  y  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  hacia la región oriental Río Champotón (RCH). Los perfiles aledaños a la LA y el RC son los más homogéneos, con valores de temperatura entre  $22.5$  y  $23.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . En las regiones restantes se observó ligera estratificación en dirección vertical y gradientes en la horizontal, mayor el gradiente en las cercanías del SG-U, con valores entre  $22.5$  y  $24.2 \text{ }^\circ\text{C}$ . La región frente a la Laguna de Términos (LT) también registró gradiente horizontal pero con valores  $>$  de  $24.2$ - $25.0 \text{ }^\circ\text{C}$  por arriba de 30 m de profundidad y hacia abajo, en una de las estaciones desciende a  $23.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Frente al RCH, la variación va de  $23.5$  a  $25.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . En contraste, la salinidad se comporta de manera opuesta a la temperatura, la cual en la parte occidental es de 36 ups, en la región del SG-U disminuye ( $34.0$ - $36.0$  ups), aumenta en el extremo oriental ( $36.9$ - $37.2$ , RCH) y en la Laguna de Términos (LT) se presentan estaciones con

condiciones similares a las del sistema SG-U; así como otras a las del RCH. En las regiones LA y el RC, como en la temperatura la homogeneidad se presenta en sentido vertical y horizontal, con valores cercanos a 36.0 ups. En el SG-U se forma un *gradiente y estratificación con valores entre 34.0-36.0 ups*. En la LT el *gradiente se forma con valores de salinidad alta, 35.7-37.0 ups* y en el RCH, con un menor *gradiente y con la salinidad más alta, 36.9-37.2 ups*.

En julio (Fig. 3, parte media) se registró una mayor temperatura superficial (27.0-29.9 °C) y menor salinidad (14.0 a 36.0 ups); esta última aumenta de oeste a este; sin embargo, lo más sobresaliente es la estratificación termo-halina, particularmente en la LA y el RC, en que la termoclina se ubica entre 15 y 20 m de profundidad. En contraste, la salinidad tiende a ser homogénea debajo de 20 m de profundidad. El SG-U conserva el gradiente horizontal que se observó en febrero y se añade a éste el gradiente vertical, con la característica de que la termoclina se ubica a diferente profundidad en cada estación, además de presentar dos inflexiones casi en cada uno de los perfiles. La temperatura es ligeramente menor (22.0-28.0 °C) respecto a la parte oeste; mientras que la salinidad aumenta (30.0-37.0 ups), todo lo cual imprime a esta región una alta heterogeneidad, entre la superficie y 25 m de profundidad. En la LT la columna de agua es homogénea, con un ligero gradiente de salinidad. En el RCH se observó un fuerte gradiente y estratificación de temperatura (26.8 y 28.0°C) con escasa variación de la salinidad (entre 36.0 y 36.6 UPS).

En noviembre (Fig. 3, parte baja) los valores de temperatura son mayores a los de febrero pero menores a los de julio, siendo la oscilación termo-halina también

intermedia. La temperatura más baja 25.0 °C, se localiza en la LA, aumenta hacia el este a 26.0 °C y en el RCH desciende ligeramente a 25.8 °C. La salinidad máxima se registró en la LA y hasta el RC, con valores entre 36.2 y 36.4 respectivamente. En el SG-U se registró la mayor estratificación halina con valores que oscilaron entre 31.5 y 36.5 ups de superficie a 20 m de profundidad; en cambio la variación de la temperatura es mínima. En las regiones de la LT y el RCH la salinidad es alta (mínima 36.6 y máxima 37.4 ups), excepto en una estación que en superficie presentó 35.7 ups.

### Abundancia de organismos

La figura 4 ilustra la frecuencia de los datos de abundancia referidos en número de células/litro. Se observa que los valores oscilan entre 230 y 6'140,000 lo cual proporciona una idea de la magnitud de la variación en esta región. Para entender mejor la variación en el tiempo, los datos se agruparon con base en su frecuencia de manera convencional en cinco categorías:

1. Valores *típicos*, son los valores < de 9,999 cels./l que se presentan con más frecuencia en las tres épocas de muestreo.
2. Valores *comunes*, se ubican entre 10,000 y 49,999 céls/l, cuya frecuencia disminuye considerablemente; sin embargo, tienen amplia representación.
3. Valores *escasos* (frecuentes) se ubican entre 50,000 y 99,999 céls./l, se presentan en las tres épocas, pero con menor frecuencia en febrero.

4. Valores *raros* (*altos*), se ubican entre 100,000 y 499,999, son característicos de los muestreos de julio y noviembre.
5. Valores *excepcionales*, se ubican entre 500,000 y 7'000,000 de céls./l. Sólo se observaron en julio.

Las figuras 5 a 7 se elaboraron con el objeto de ilustrar paso a paso la distribución vertical en cinco niveles (superficie, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad) y la horizontal de cada época de muestreo. La abundancia y su distribución, es característica para cada zona y época de estudio.

En febrero la mayor frecuencia de datos son los valores inferiores a 9999 céls./l (valores *típicos*). Se observa que en el nivel de superficie el 50% corresponden a valores *comunes* y sólo hay 4 valores ubicados en la categoría de *escasos*. Es importante notar que los valores altos están desplazados hacia la región occidental de la desembocadura del RCH, boca oeste de la LT y entre las Lagunas Carmen y Machona (LCM) y el SG-U. En esta última región destaca la presencia de valores *raros* que van de la superficie hasta 50 m de profundidad como consecuencia de la descarga de estos ríos hacia la región occidental. A 10 m de profundidad, la abundancia de organismos se incrementa ligeramente en el RCH y la LT, disminuyendo ligeramente en el resto del área de estudio.

A 20 m la abundancia se reduce considerablemente, pero se conserva la distribución característica entre las LCM y el SG-U, es decir, los altos valores y su distribución.

Entre 30 y 50 m dominan los valores *típicos* y sobresale la presencia de tres datos con valores *raros* entre las LCM y el Río Grijalva.

En julio lo más característico es la delimitación de dos grandes regiones: 1) la occidental, entre las lagunas de Alvarado y Carmen-Machona y 2) la oriental (entre Laguna Carmen-Machona y Río Champotón. En la primera, están representadas todas las categorías, pero con mayor presencia los valores entre 51 mil a 7 millones, con cambios abruptos entre los sitios de muestreo y entre superficie y 10 m de profundidad (Fig. 6). También se puede inferir el efecto de la LA hacia la plataforma continental y con dirección hacia el Este; efecto que persiste hasta 10 m de profundidad. La situación inversa se presenta frente al RC, donde la mayor concentración de organismos ocurre a 10 m y se reduce gradualmente con la profundidad con un efecto perpendicular a la costa. En contraste en la segunda región, todos los valores son < de 50 mil cél./l de superficie a 50 m, excepto dos datos.

En el periodo de noviembre, la abundancia de organismos presentó valores intermedios entre febrero y julio, la abundancia oscilan entre 230 y 438,571 céls./l. (Fig. 7). Los valores altos se localizaron en superficie y 10 m de profundidad en las estaciones cercanas a regiones del SG-U, LT y RCH. En la primera región, los valores altos se sitúan hacia la plataforma continental; en la segunda, tanto hacia la plataforma como en la costa y en la tercera, se nota el efecto del RCH hacia el Oeste. En los tres casos la mayor concentración se registró a 10 m de profundidad con una reducción considerable a 20 m.

## Concentración de la Clorofila a

En las figuras 8a-c se ilustra la frecuencia de los datos de clorofila a  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Se puede observar que la variación de los valores oscila entre 0.02 y 9.84  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , con los valores más bajos en el muestreo de febrero. Para comprender mejor la distribución espacio-temporal se adoptó el mismo criterio que para la abundancia de organismos, es decir, que los datos se agruparon de manera convencional en cinco categorías que a continuación se describen:

1. Valores *típicos*, son los valores que oscilan entre 0.0 – 0.19  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , los cuales corresponden a los datos de mayor frecuencia en las tres épocas de muestreo.
2. Valores *comunes* se ubican entre 0.2 – 0.39  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , su frecuencia disminuye considerablemente; sin embargo, tienen amplia representación.
3. Valores *escasos*, se ubican entre 0.4 y 0.90  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  se presentan en las tres épocas, pero con menor frecuencia en febrero.
4. Valores *raros* se ubican entre 1.0 y 4.9  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , son valores característicos en julio y noviembre.
5. Valores *excepcionales*, se ubican entre 5.0 y 10.0  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , se observaron en julio y noviembre.

La menor concentración de clorofila a se observó en febrero con un valor máximo de 1.64  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; seguido por noviembre que aunque presenta valores > 6.0 y hasta 9.84  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , la mayor frecuencia es para los valores < 1.0  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; mientras que en julio hay mayor número de datos con cifras entre 1.0 y 5.0  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  y pocos datos < 0.4  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ .



En las figuras 9 a 11 se muestra la distribución vertical (superficie, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad) y horizontal de la clorofila a en cada época de muestreo. Mediante la observación de la concentración y distribución se nota que la combinación de éstas, es característica para cada zona y época de estudio.

En febrero los valores de clorofila a son bajos, especialmente hacia la región occidental; en contraste, la región oriental presentó los valores mayores, particularmente en los sitios cercanos a la costa próximos a las LCM, los ríos SG-U, LT y RCH. En cuanto a la distribución vertical, se observó que la mayor concentración ocurre a 10 m, disminuyendo gradualmente con la profundidad. A 50 m se encontró un valor de  $0.4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  en el límite de la plataforma entre el RC y las LCM.

En julio se observó la mayor concentración de clorofila a en toda el área de estudio, sobre todo hacia la región occidental en el nivel de superficie. Los valores *excepcionales* ( $5.0 - 10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) se localizaron frente a la LA y el RC. Datos entre  $0.4$  y  $4.9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  se encontraron entre las LCM y los ríos SG-U. Hacia la parte oriental se detectaron valores ligeramente altos frente a la LT y el Río Champotón. A 10 m la concentración se reduce considerablemente en la región occidental, aumentando hacia la región oriental. A 20 m continua la disminución y los valores más altos se localizan sobre parte media y al final de la plataforma continental, especialmente hacia la zona oriental, situación que se presenta a 30 m de profundidad. A 50 m todos los valores son inferiores a  $0.39 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

En noviembre se observan dos grandes cambios el primero se refiere a la disminución de la clorofila a; mientras que el segundo se relaciona con la distribución horizontal, ya que en la parte oriental del área de estudio se localizaron los valores más altos (Fig. 11). Por otro lado, la clorofila a desciende conforme aumenta la distancia a la costa; mientras que aumenta en la región costera comprendida entre Ciudad del Carmen y RCH, así como frente a los Ríos SG-U y muy especialmente entre estos últimos ríos y las lagunas LCM, donde se localizan los valores más altos desde superficie y hasta 30 m de profundidad. A 50 m cercano al límite de la plataforma continental en dirección a la Isla del Carmen hay un valor de  $0.46 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

#### Interpolaciones en superficie de la clorofila a

En la figura 12 se compara la imagen obtenida mediante la interpolación de datos discretos de la superficie (lado izquierdo de la figura) con una imagen de satélite (Sea WiFS), en los mismos períodos pero de diferentes años. En ella se observa que en general existe compatibilidad en cuanto a la época y la localización de las regiones con alta concentración de clorofila a.

La comparación de las dos figuras permite observar que en febrero la mayor concentración de clorofila a se localiza en la región oriental; en noviembre aumenta y se concentra en la misma región; mientras que en julio, los datos discretos indican alta concentración en la región oriental, situación difícil de observar en la imagen de satélite debido a la presencia de nubes en esta época del año. Esto evidentemente constituye una seria limitación, al menos en esta época del año.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

*La variación temporal de la temperatura y salinidad del agua que aquí se analiza se explica por dos grandes factores: las lluvias y los vientos denominados "nortes". La baja salinidad y estratificación halina de julio son consecuencia de la época de lluvias, que va de junio a septiembre. Esta situación fue estimada por el Programa Hidráulico Estatal, Tabasco 1988 (Vázquez-Gutiérrez, 1994).*

*La mayor salinidad y homogeneidad características de febrero y noviembre se deben a la mezcla producida por la acción de los llamados "nortes", que se inician en octubre y terminan en febrero (Hurlburt y Thompson 1980). Además, existe variación espacial de la salinidad y temperatura en cada uno de los tres muestreos, que permite identificar varias zonas dentro del área de estudio. Esta variación supone la participación de un mayor número de factores, como son el volumen de descarga de los ríos, el cual se ve de forma indirecta por la baja salinidad en la zona de descarga; la interacción con las lagunas costeras, entrada y salida de agua; también reflejada en la concentración de salinidad; la dirección de las corrientes costeras, la cual se infiere por la distribución de la salinidad; la profundidad, cuya influencia se ve en la parte somera de la zona este, debido a la cual existe una mayor evaporación, expresada como salinidad alta (37.0 ups) y mayor temperatura. Finalmente, la geomorfología de la costa, junto con las corrientes costeras, parece influir en la forma como se distribuye el agua que ingresa a través de los ríos y lagunas. Lo anterior requiere ser medido para poder hablar de su presencia en tiempo, espacio, así como de su intensidad.*

La suma de algunos de los factores antes señalados se puede ver en las condiciones que se presentan en la zona costera aledaña a la Lagunas de Alvarado y el RC en febrero y noviembre. Durante dichos meses parece no existir gran flujo de agua dulce, ya que la salinidad es de 36.0 ups. La intensa mezcla producida por los “nortes” (octubre a febrero), que diluyen la escasa cantidad de agua dulce que ingresa. Sin embargo, llama la atención la menor temperatura en esa zona. Se esperaría que, por tratarse de una región con mayor profundidad, el efecto del viento en cuanto a restarle calor fuera menor. Como no es así, se puede explicar por el efecto de un giro que se presenta al norte y acarrea agua más fría, cuyos efectos llegan hasta el RC.

Con base en datos de temperatura y salinidad el área de estudio puede dividirse en tres zonas: 1) la parte occidental, comprende la zona costera localizada entre la LA y el RC; donde existe mayor profundidad y menor salinidad; 2) una zona de transición, de las LCM al SG-U y 3) la zona localizada de la LT y hasta el RCH caracterizada por menor profundidad, mayor temperatura y salinidad.

Es notorio el incremento en la abundancia del fitoplancton durante el mes de julio, especialmente en la zona de la LA y RC, donde se registra la menor salinidad. Por otro lado, la marcada diferencia de abundancia entre superficie y 10 m con las restantes profundidades (20, 30 y 50 m) ponen de manifiesto la relación del crecimiento del fitoplancton con el ingreso de agua continental, la cual produce un fuerte gradiente vertical. Todo lo anterior es consistente con lo que señalan Banse y English (1994) y Longhurst (1995) en relación a lo que denominan energía auxiliar, la cual es responsable de los cambios súbitos que promueven el crecimiento del fitoplancton, así

como con lo que postulan Legendre, (1981) y Mann y Lazier (1996) en relación al mecanismo básico, consistente en la secuencia de estratificación y mezcla que propician la alta producción del fitoplancton.

Otros autores han encontrado resultados similares en la abundancia y distribución de organismos bentónicos en la región (Soto y Escobar-Briones 1995). En la Laguna de Alvarado la cual recibe una gran contribución de los ríos Papaloapan, El Blanco y El Limón, con una contribución de clorofila a de 3.2 - 10.6 mg·m<sup>-3</sup>, como una consecuencia de la cantidad de nitratos provenientes de la actividad agrícola (Lozano-Montes, 1993).

También es importante señalar la diferencia en cuanto a la abundancia del fitoplancton entre la parte occidental (LA, RC) con los valores altos y la oriental (LT, RCH) con baja abundancia. La salinidad, por su parte, se reduce ligeramente respecto a febrero y noviembre. La diferencia es notable, ya que la descarga del RC y el SG-U representa aproximadamente un tercio de toda la descarga fluvial dentro de las aguas costeras (Tamayo, 1990)

En contraste con lo observado en julio, en febrero la mayor abundancia se localiza en la zona este del área de estudio, no de forma continua sino en dos partes: en Champotón, donde la salinidad es alta (36.9 a 37.2 ups), la relativa alta abundancia (número de organismos y clorofila a) se presenta sólo en superficie y 10 m de profundidad; mientras que entre las LCM y el Sistema de Ríos SG-U se registra menor salinidad (34.3-36.0 ups), la alta abundancia se presenta de superficie y hasta los 50 m de profundidad. En

febrero la alta abundancia en un caso tiene que ver con salinidad baja (34.3-36.0 ups) y en el otro con alta salinidad (36.9 a 37.2 ups). Aun en el caso de febrero cuando existe mayor mezcla de agua, con la salinidad alta y la abundancia baja, parece existir relación entre ellas, por dos razones: en general los valores altos de abundancia y clorofila a están en la parte más próxima a la costa y principalmente de superficie-a 10 m de profundidad.

En noviembre, cuando recién se inicia la mezcla de la columna de agua, se observan varios hechos importantes: la abundancia es mayor que en febrero y se concentra hacia la zona este; existen valores altos hasta los 20 m de profundidad y por último, la distribución tiene un patrón parecido al de febrero, donde los valores altos se localizan principalmente en la parte más costera de los transectos. Lo anterior se puede explicar por el hecho de que la mezcla por los “nortes” que se inician en octubre, redistribuye el agua costera hacia la Plataforma Continental y hacia mayor profundidad (20 m) y, desde luego, su mayor efecto se siente hacia la zona somera (este), razón por la cual la abundancia del fitoplancton se extiende más sobre la Plataforma Continental. En este caso se ve la influencia de la LT, la cual es importante por su amplia comunicación con el mar a través de sus dos bocas, con una concentración de clorofila a entre 0.3 a 8.2  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (Day *et al.*, 1982).

Por lo antes expuesto se confirma que se trata de un ecosistema costero dinámico con gran variación espacial-temporal (Schirasago, 1991; Monreal-Gómez *et al.*, 1992; Czitrom *et al.*, 1986). Esta circunstancia da a esta región una condición única que le permite soportar la más importante pesquería comercial del Golfo de México.

La concentración de la clorofila a y su distribución, presenta patrones similares a los descritos para la abundancia de células, excepto en el mes de julio, en que los valores altos no se restringen a la zona oriental, sino que se extienden hasta el Río Champotón. A nivel de superficie es mayor la coincidencia entre la distribución de ambos parámetros; sin embargo, de 10 a 30 m de profundidad se pierde un poco la similitud. Desde luego que los rasgos generales como la mayor concentración en la superficie y hacia la zona occidental, así como la menor en la oriental se conservan. Tal situación se explica por el hecho de que la clorofila a se incrementa ya sea por un mayor número de células o por la mayor producción de clorofila en cada célula. Dicho en otras palabras, el monto de la clorofila a depende del número de células, el tipo y el estado fisiológico de las mismas.

Por otro lado, los parches de clorofila a que se detectaron a lo largo del límite de la Plataforma continental posiblemente están asociados a los frentes debidos a los patrones de circulación ciclónica establecidos por Merrel y Morrison 1981; Monreal-Gómez y Salas de León 1985,1990 y Nowlin, 1972, sin embargo, el alcance y la magnitud de tal influencia tendrán que determinarse.

Los resultados de clorofila a aquí presentados son compatibles con los patrones de pigmentos dados a conocer por Muller-Karger *et al.* (1991) para la región sur del Golfo de México. Sus conclusiones, usando diferentes ciclos de CZCS (Coastal Zone Color Scanner), nos permiten confirmar que los valores  $> 0.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  a lo largo de la costa sur del golfo son típicos en la región a través del año.

En cuanto a la compatibilidad de los resultados de clorofila a superficial con las imágenes de satélite (Sea WiFS) de los mismos períodos pero de diferentes años, es fácil comprender que así sea debido a varias razones. Una es metodológica; como parte de los diversos procedimientos dentro de la percepción remota, está la calibración de los aparatos que captan la señal del color del agua. El 30 % de los datos usados para dicha calibración (la del Sea WiFS) los obtuvieron durante 40 años en San Diego, en la parte norte de Punta Conception, del sistema de la Corriente de California que mejor se ha estudiado y dados a conocer por el programa CalCOFI. Se trata de una región dinámica y con una gran estructura trófica, que va desde la costa hasta el océano abierto. Los valores para esta región son de entre 0.05 a 22.3 mg·m<sup>-3</sup> de clorofila a (con esos y otros datos calibraron el aparato para las latitudes bajas y medias). El área de estudio aquí trabajada está justo dentro de esas latitudes y los valores obtenidos que van de 0.02 a 9.84 mg·m<sup>-3</sup> (Fig. 11), sólo se salen los menores a 0.05 franja dentro de la cual ya no es confiable la lectura del satélite (Aguirre-Gómez 2002). Por otro lado, la escala temporal y espacial de nuestros muestreos permite registrar fenómenos de amplio espectro, como los captados por el satélite y, lo más importante, la naturaleza presenta ciclos, con pequeñas o grandes variaciones pero siempre dentro de ciertos patrones o tendencias. Desde luego, también quedan evidenciadas las limitaciones de ambos métodos. El satélite en la zona costera tiene dos grandes limitantes: la turbidez, que impide recibir la señal por debajo de unos cuantos metros (en las mejores condiciones no rebasa los 10 m de profundidad) y el oleaje, el cual cambia la dirección de la luz. Otro factor que impide la captación de la señal y que no se presenta sólo en la costa, es la nubosidad, que afecta principalmente



durante la época de lluvias, como en nuestro caso en julio. Mientras que en los muestreos puntuales a escalas de varios kilómetros como en nuestro caso, requieren embarcaciones con independencia suficiente (cantidad de combustible, alimentos y alojamiento de personal) así como la disponibilidad de las personas para emprender proyectos de largo plazo, que proporcionen una visión panorámica en escala espacial y *temporal*.

En resumen, se puede observar una correspondencia entre los procesos alternos, estratificación y mezcla con la mayor concentración de la clorofila *a* y la alta abundancia de células fitoplanctónicas en el área de estudio.

Finalmente, se espera que esta investigación contribuya al entendimiento fundamental de las fuentes de variación en el ecosistema costero a meso-escala, así como a nivel regional. Sin embargo, se hace necesario relacionar la circulación costera con la variación espacio-temporal del fitoplancton.

## LITERATURA CITADA

Aguirre-Gómez, R., 2002. Los mares mexicanos a través de la percepción remota III.1. Instituto de Geografía, UNAM. Plaza y Valdés, S. A. de C. V. México, D. F. 93 p

Alatorre-Mendieta, A., F. Ruíz y D. A. Salas de León, 1987. Efectos del paso de frentes fríos atmosféricos sobre la Bahía de Campeche. *In: Memoria Reunión Anual 1987 Unión Geofísica Mexicana. Ensenada, México.* 186-193

Avendaño, S. H. y N. O. Sotomayor, 1980. Contribución al conocimiento del fitoplancton en la costa de Tamaulipas, México. Dir. Gral. Ocean. Secretaria de Marina, México. *Inv. Ocean., B-80-05.* 29 p.

Banse, K. y D. C. English, 1994. Seasonality of coastal zone color scanner phytoplankton pigment in the offshore oceans. *J. Geophys. Res.* 99 (C4): 7323-7345

Bessonov, N., O. González y A. Elizarov, 1971. Resultados de las investigaciones Cubano-Soviéticas en el Banco de Campeche. *In: UNESCO (Ed.), Coloquio sobre investigaciones y recursos del mar Caribe y regiones adyacentes. Curacao, Antillas Holandesas, Nov. 1968, UNESCO, París:* 317-323

Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz y A. Monreal-Gómez, 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology.* 112 : 257-269.

Czitrom, S.P.R., R. Ruiz, M.A. Alatorre y A. R. Padilla. 1986. Preliminary study of a front in the Bay of Campeche. Mexico, *In: J.C.N. Nihoul (Ed.), Marine interfaces hydrodynamics.* Elsevier Press. Amsterdam. 295-300

Day Jr., W.R., R.H. Day, M.T. Barreiro, F. Ley-Lou y J.C. Madden, 1982. Primary production in the Laguna de Términos, a tropical estuary in the southern Gulf of Mexico, pp 269-276. *In: P. Lasserre & H. Postma (Eds.), Coastal Lagoons.* Oceanologica Acta, 5 (4): 462 p.

De Vooy, CGN., 1979. Primary production in aquatic environments. *In: B. Boulin, E.T. Dengens, S. Kempe y P. Ketner (Eds.), The global carbon cycle.* J. Wiley & Sons, New York. 259-292 p.]

Duarte, C.M., M. Masó y M. Merino, 1992. The relationship between mesoscale phytoplankton heterogeneity and hydrographic variability. *Deep-Sea Res.* 39 (1): 45-54

El-Sayed , S. Z., W.M. Sacketi, L.M. Jeffrey, A. D. Fredericks, R.P. Saunders, P.S. Conger, G. A. Fryxell, K. A. Steidinger y S. A. Earle. 1972. *Chemistry, primary productivity and benthic algae of the Gulf of Mexico. Serial Atlas of the Marine Environmental.* Folio 22. American Geographical Society (ed.) 22 p.

El-Sayed, S. Z. y C. Trees, 1980. Ecological studies of phytoplankton in the Gulf of Mexico during NOAA/NMFS Oregon II cruise, Tech. Rep., 80-8-t, 55, Texas A&M Univ. College Station.

Figueroa, T. M. G., 1990. Sistemática y distribución del género *Ceratium* Schrank 1793, en el sur del Golfo de México. Tesis de Maestría, Fac. Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.: 51, Figs. 35. Tablas 9.

Freyer, H.D., 1979. Variations in the atmospheric CO<sub>2</sub> content. In: B. Boulin, E.T. Degens, S. Kempe and P. Ketner (eds.), *The global carbon cycle*. J. Wiley & Sons, New York. 79-99 p.

Fofonoff, N. P. y R. C. Millard, Jr., 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO Technical Papers in Marine Science No. 44, 53 pp.

García, E., 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. UNAM. México, 264 p.

Goudriaan, J. And G. L. Ajtay, 1979. The possible effects of increased CO<sub>2</sub> on photosynthesis. In: B. Boulin, E.T. Degens, S. Kempe & P. Ketner (Eds.), *The global carbon cycle*. J. Wiley & Sons: New York, 237-249

Gran, H.H., 1931. On the conditions for the production of plankton in the sea. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer.* 75: 37-46.

Harris, G.P., 1986. *Phytoplankton Ecology. Structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall, London, 384 p

Holm-Hansen, O., C.J. Lorenzen, R. W. Holmes and J. D. strickland, 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Intern. Explor. Mer.* 30: 3-15

Hurlburt, E. y J. D. Thompson, 1980. A numerical study of Loop Current intrusions and eddy shedding, *J. Phys. Oceanogr.* 10: 1611-1651.

Jordan, E., 1972. Comparación entre dos métodos para estimar productividad primaria en aguas litorales del Golfo de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 43 (1): 21-32. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.

Khromov, N. S., 1965. Distribution of plankton in the Gulf of Mexico and some aspect of its seasonal dynamics. In: A. S. Bogdanov (Ed.), *Soviet-Cuban Fishery Research*. Traducido del Ruso, Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem. 36-56 p.

Koblentz-Mishke, O.J., V.V. Wolkovinsky y J.G. Kabanova, 1970. Scientific Exploration of the South Pacific. *Nat. Acad. Sciences. Washington, D.C.* pp. 183-193

Krylov V. V., 1974. Distribución del fitoplancton y de las biocenosis plantónicas en el Banco de Campeche. *Rev. Invest. INP-*. 1:75-79.

Lara-Domínguez, A.L., G.J. Villalobos Zapata y E. Rivera Arriaga, 1990. Catálogo Bibliográfico de la región de la Sonda de Campeche. *EPOMEX Serie Científica*, 1:162 p.

Legendre, L., 1981. Hydrodynamic control of marine phytoplankton production: the paradox of stability, pp. 191-207. In: J.C.J. Nihoul (Ed.), *Ecohydrodynamics. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Liège Colloquium on Ocean Hydrodynamics*. Elsevier. Amsterdam.

Legendre L. y S. Demers, 1984. Towards dynamic biological Oceanography and Limnology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41, 2-19.

Legendre, L. y S. Demers, 1985. Auxiliary energy, ergoclines and aquatic biological production. *Naturaliste Can. (Rev. Écol. Syst.)* 112: 5-14

Legendre, L., S. Demers. y D. LeFaivre, 1986. Biological production at marine ergoclines, pp 1-54, In: J.C.J. Nihoul (Ed.), *Marine interfaces Ecohydrodynamics*. Elsevier. Amsterdam.

Licea, S., 1977. Variación estacional del fitoplancton de la Bahía de Campeche, México (1971.1972). *FAO Fish. Rep.*, 200: 253-273.

Licea, S., 1992. *Especies de diatomeas seleccionadas del sur del Golfo de México, estudiadas en microscopio de luz y electrónico*. Tesis Doctoral. Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. Proyecto Académico Especialización, Maestría y Doctorado en Ciencias del Mar. CCH-ILCMYL, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 66 p.

Licea, S. 1994. *Thalassiosira* species from the southern Gulf of México. In: *Memoirs of the California Academy of Sciences* (17), *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Diatom Symposium*, J.P. Kociolek, (Ed.). 311-335.

Licea, S. y H. Santoyo, 1991. Algunos aspectos ecológicos del fitoplancton de la región central de la Bahía de Campeche. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*. 18(2): 157-167.

Longhurst, A.R., 1995. Seasonal cycles of pelagic production and consumption. *Progress in Oceanography*. 36: 77-167.

Lovegrove, T. 1960. An improved form of sedimentation apparatus for use with an inverted microscope. *J. Cons. CIEM*, vol. 25, no.3, p. 279-84.

Lozano-Montes, H.M., 1993. Comparación hidrológica entre la laguna de Alvarado, Veracruz y Términos, Campeche, durante el ciclo anual de 1987. Tesis Prof. Fac. Ciencias, Univ. Nal. Autón. México, 43 p.

Mann, K.H. y J.R.N. Lazier 1996. *Dynamics of marine ecosystems Biological-Physical interactions in the Oceans*. Secon Editions. Blackwell Science, Inc. Oxford. pp 395.

Margalef, R. 1974. Asociación o exclusión en la distribución de especies del mismo género en algas unicelulares. *Mem. R. Acad. Cienc. Artes Barcelona* 42: 353-372.

Margalef, R., 1978. What is an upwelling system? Pp. 12-14, In: R. Boje and M. Tomczak (Eds.), *Upwelling Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin.

Merrel, W.J. Jr. y J.M. Morrison, 1981. On the circulation of the western Gulf of México with observation from April 1978. *J. Geophys. Res.* 86: 4181-4185.

Monreal-Gómez, M.A. y D.A. Salas de León, , 1985. Barotropic and baroclinic modes in the Gulf of México. In: V. Grieken & R. Wollast (Eds.), *Proc. Progress in Belgian Oceanogr. Res.* Brussels, 3.5 March, 1985: 81-91.

Monreal-Gómez, M.A. y D.A. Salas de León, 1990. Simulación de la circulación en la Bahía de Campeche. *Geofísica Int.* 29(2): 101-110.

Monreal-Gómez, M. A., D. A. Salas de León., A.R. Padilla-Pilotze y M.A. Alatorre-Mendieta 1992. Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche, México. *Ciencias Marinas.* 18(4): 115-133.

Moreno R. J. L., 1990. Morfología y Sistemática del género *Coscinodiscus* Ehrenber (Bacillariophyceae), en el sur del Golfo de México. Tesis de Maestría, Fac. De Ciencias, UNAM: México, D. F. 71, Figs. 151 p.

Moreno R. J.L., P. J. Soto, M.E. Zamudio, D.U. Hernández-Becerril y S Licea, 1993. Morphology and taxonomy of *Chaetoceros diversus* (Bacillariophyceae) based on material from the southern Gulf of Mexico. *Diatom Research*, 8, 419-428.

Muller-Karger, F.E., J. J. Wish, R.H. Evans y M.B. Meyers, 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of México as determined by satellites. *J. Geophys. Res.* 96 (7): 12645-12665.

Nowlin, W.D. Jr., 1972. Winter circulation patterns and property distributions. In: L.R.A. Capurro & J.L. Reid (Eds.), *Contributions on the physical oceanography of the Gulf of México*. Gulf Publ. Co., Houston: 3-52.

Odum, H.T., 1967 a. Biological circuits and marine systems of Texas,. In: T.A. Olson & F.J. Burges (Eds.), *Pollution and Marine Ecology*. Wiley, New York. pp. 99-157

Odum, H.T., 1967 b. Energetics of world food production, pp. 55-94. In: I.L. Bennett (chairman). *The World Food Problem*, a report of the President's Science Advisory Committee, Vol, 3. The White House, Washington, D.C.

Okolodkov, Y.B. A review of Russian Plankton Research in the Gulf of Mexico and the Caribbean in the 1960-1980s. *Hidrobiologica* (en Prensa).

Padilla-Pilotze, A.R., D. A. Salas de León y M. A. Monreal-Gómez, 1990. Evidence of a cyclonic eddy in the Bay of Campeche. *Cienc. Mar.* 16 (3): 1-14.

Pingree, R. D., 1978. Cyclonic eddies and cross-frontal mixing, *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 58, 955-963.

Platt, T. y D.V.Subba Rao, 1975. Primary production of marine microphytes, pp. 249-280. In: J.P.Cooper (Ed) Photosynthesis and Productivity in Different Environments. Cambridge University Press, Cambridge, UK

Ryther, J.H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. *Sci.* 166: 72-80.

Salas de León, D. A. y M. A. Monreal-Gómez. 1986. The role of the Loop Current in the Gulf of Mexico fronts. In: *Marine Interfaces Ecohydrodynamics*, J. C.J. Nihoul (Ed.), Elsevier Press, Amsterdam. 295-300.

Santoyo, H., y M. Signoret, 1973. Hidrología y fitoplancton en un transecto en la plataforma continental de la Bahía de Campeche, México (agosto 1972). *Rev. Lat-Amer. Microbiol.* 15: 207-215.

Santoyo, H., y M. Signoret, 1975. Variación nictemeral del fitoplacton en la Bahía de Campeche, México. *Rev. Lat-Amer. Microbiol.* 17: 567-596.

Santoyo, H., y M. Signoret, 1977. Diversidad y afinidad del fitoplancton en un ciclo nictemeral. *An. Centro Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 4 (1): 233-242.

Shirasago-Germán, B., 1991. *Hidrografía y análisis frontogenético en el sur de la Bahía de Campeche*. Tesis de Maestría, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. Proyecto Académico Especialización, Maestría y Doctorado en Ciencias del Mar. CCH-ILCMyL, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 141 p.

Soto L.A. y E. Escobar-Briones, 1995. Coupling mechanisms related to benthic production in the SW Gulf of Mexico, in: A. Ansell., C.J. Smith (Eds.), *Biology and Ecology of shallow waters*, Al Eleftheriou, Proc. 28th European Marine Biology Symposium Olsen & Olsen, Denmark, pp. 233-242.

Steemann-Nielsen, E., 1952. The use of radioactive carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for measuring organic production in the sea. *J. Cons.*, 18, 117-140

Sverdrup, H.U., 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *J. Cons. Perm. Int. Exp. Mer.* 18: 287-295.

Tamayo, J.L., 1990. *Geografía Moderna de México*. Trillas, México, 390 p.

Vázquez de la Cerda, A. M. 1993. *Bay of Campeche Cyclone*. Tesis de doctorado. Texas A&M University, College Station. 91 p.

Vázquez-Gutiérrez F., 1994. El sistema lagunar El Carmen-Pajonal-La Machona del estado de Tabasco: su hidrodinámica, la estabilidad de sus bocas y de su línea de costa, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México. 132 p.

Yáñez-Arancibia, A., y J.W. Day Jr., 1982. Ecological characterization of Términos Lagoon: a tropical lagoon estuarine system in the southern Gulf of Mexico. *Oceanol. Acta*. 5: 431-500.

Zernova, V. V., 1969. The horizontal distribution of phytoplankton in the Gulf of Mexico, *Oceanol.* 9(4): 565-574.



Fig. 1 Localización de los sitios de muestreo en el suroeste del Golfo de México. Las abreviaciones entre paréntesis se refieren en el texto como las cinco regiones con mayor abundancia de fitoplancton.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



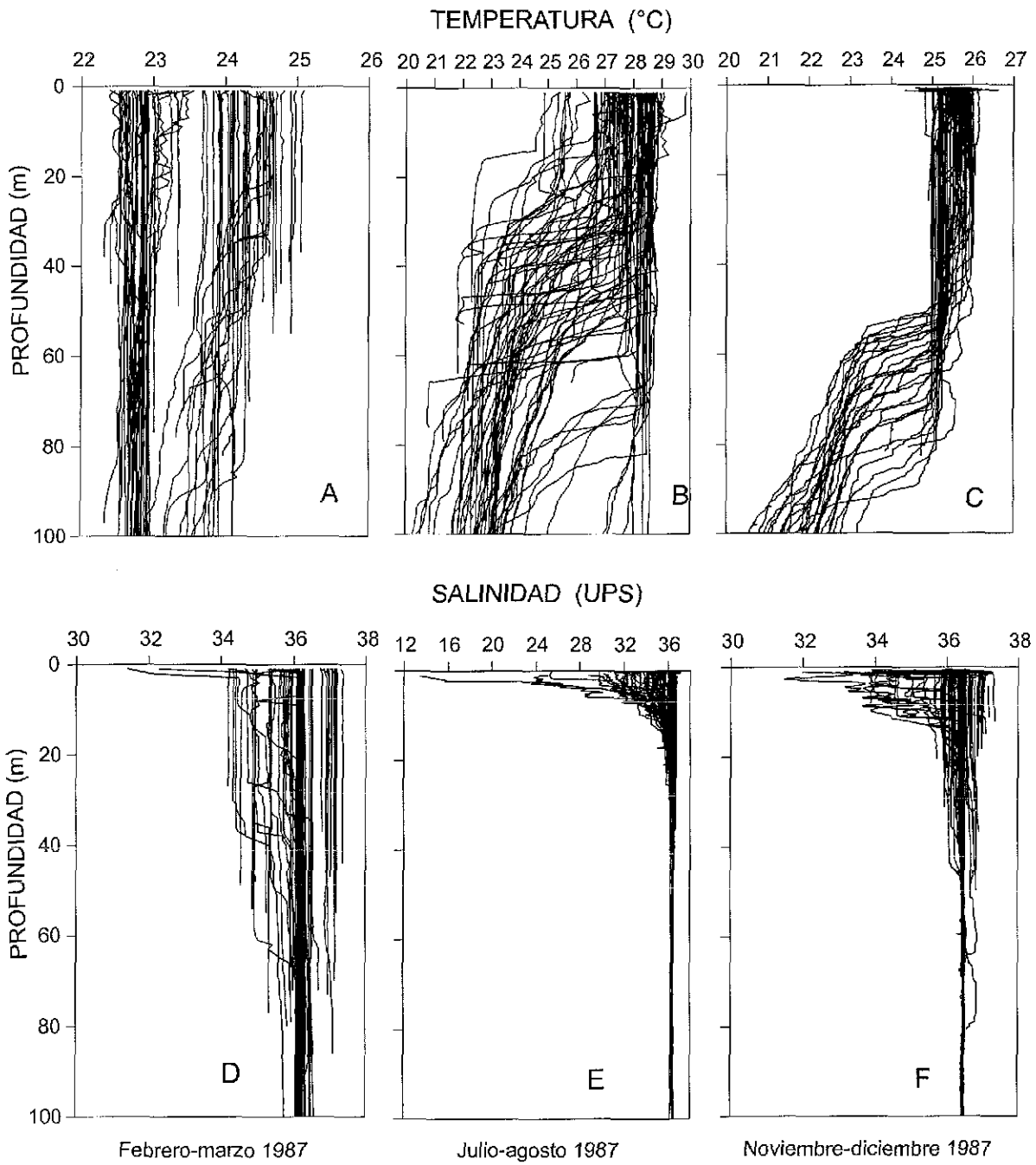
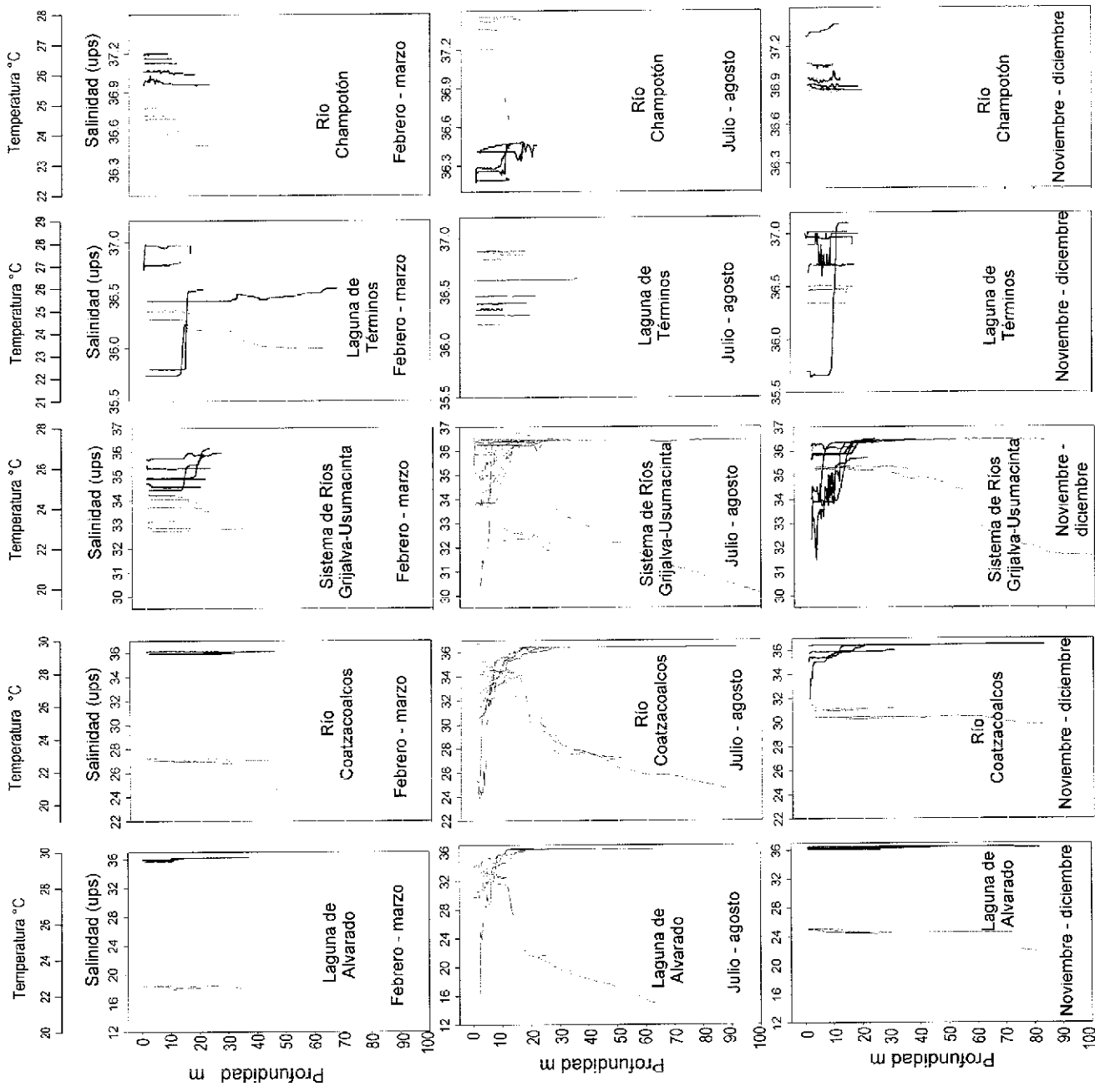


Fig. 2 A-F. Perfiles de temperatura (A, B y C en grados celsius) y salinidad (D, E y F en Unidades Prácticas de Salinidad) de datos obtenidos En todas las estaciones durante tres campañas (OGMEX).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 3. Perfiles de salinidad y temperatura de las estaciones seleccionadas de cinco regiones: Laguna de Alvarado, Río Coatzacoalcos, Ríos Grijalva-Usumacinta, Laguna de Término y Río Champotón.

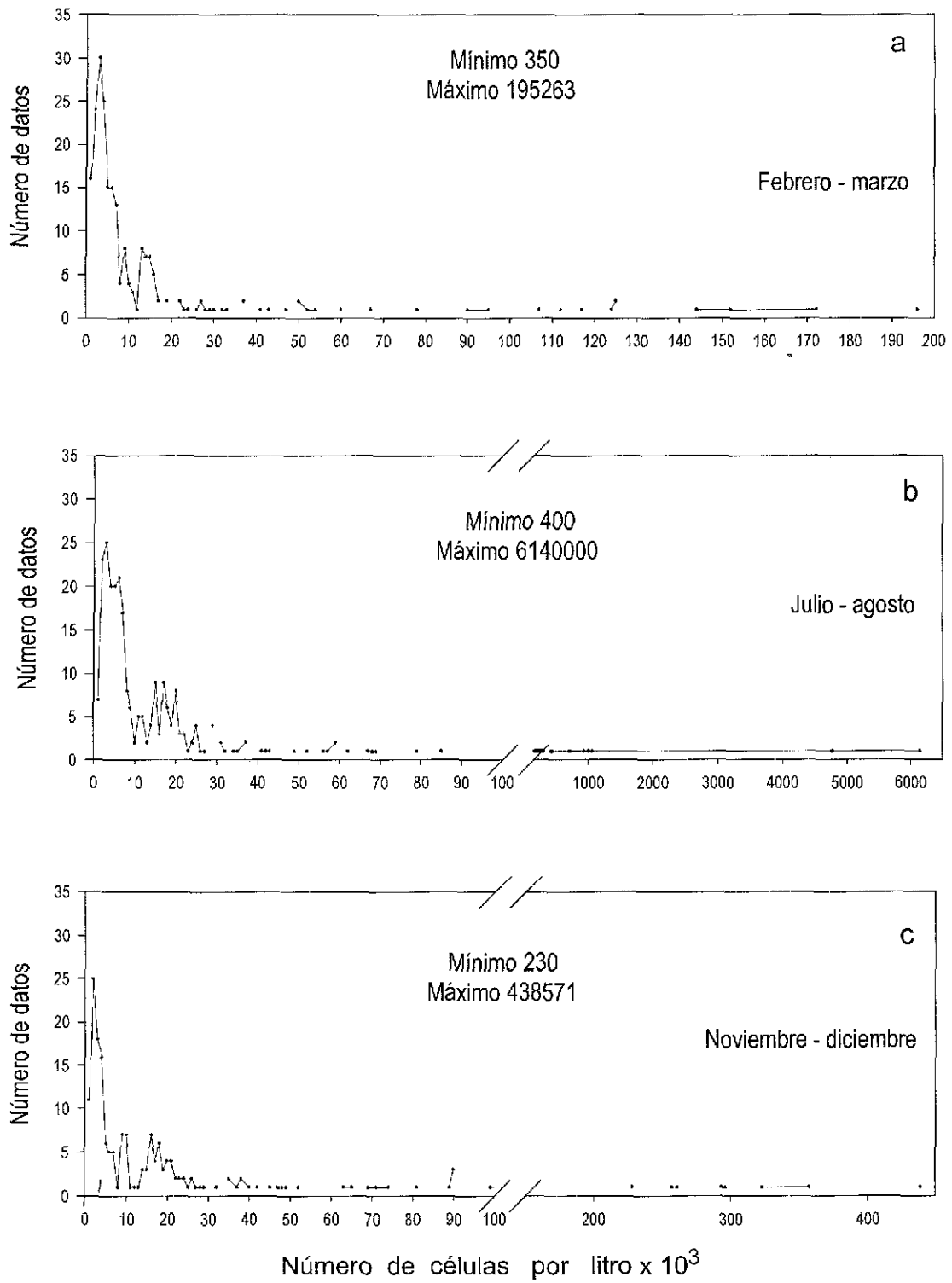


Fig. 4 Frecuencia de la densidad de organismos en número de células por litro x  $10^3$ , a) febrero-marzo; b) julio-agosto, c) noviembre-diciembre.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

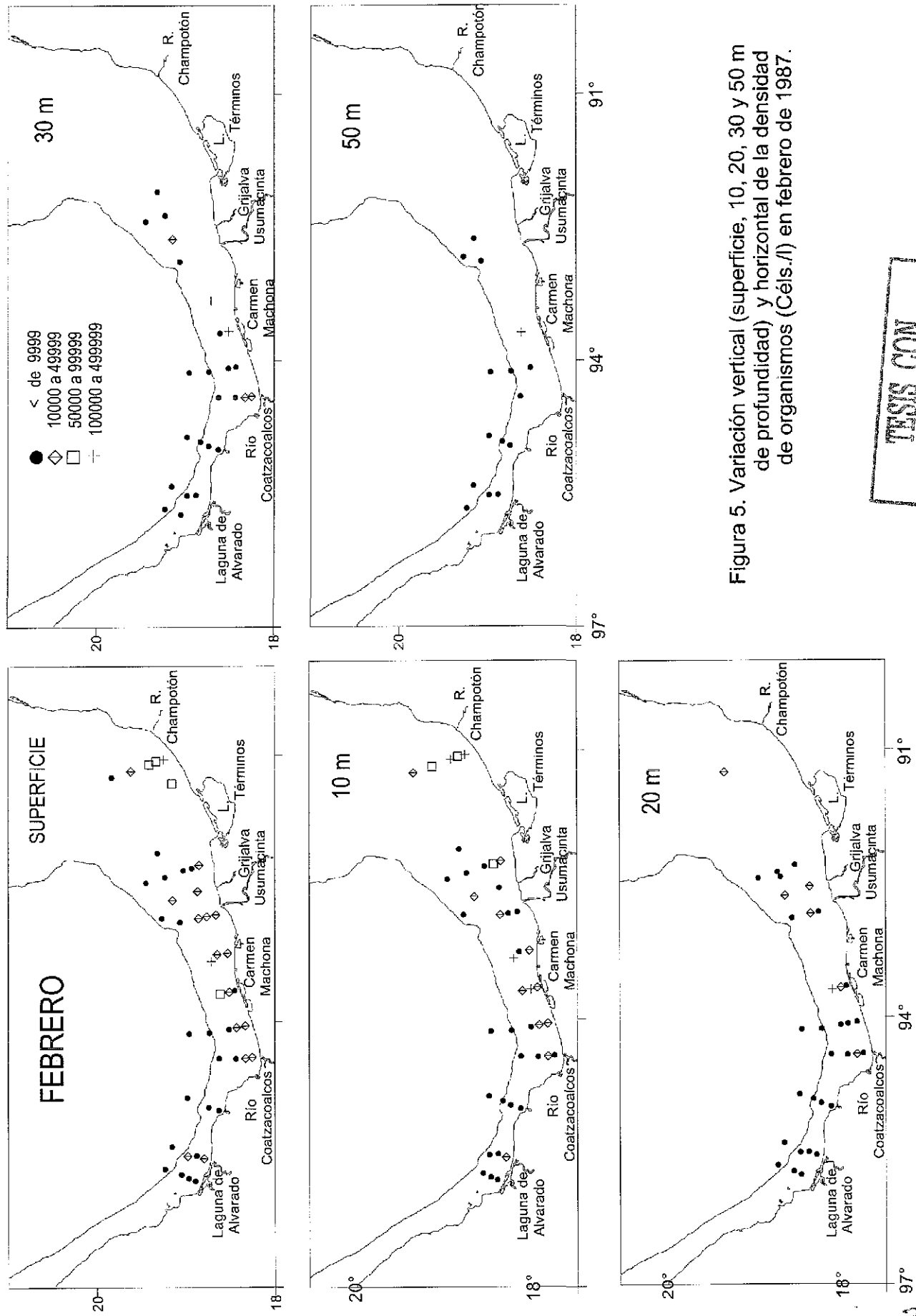


Figura 5. Variación vertical (superficie, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad) y horizontal de la densidad de organismos (Céls./l) en febrero de 1987.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

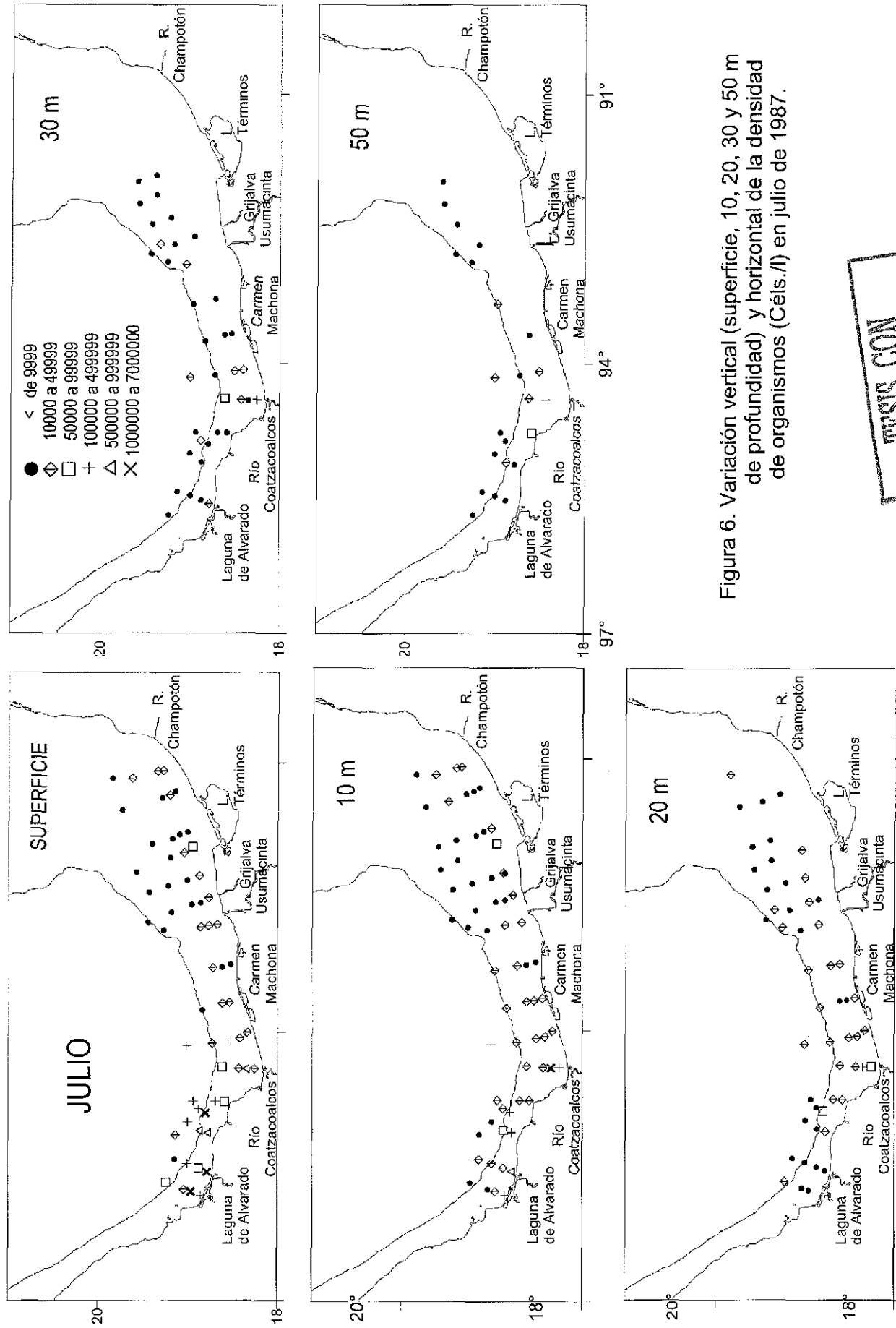


Figura 6. Variación vertical (superficie, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad) y horizontal de la densidad de organismos (Céls./l) en julio de 1987.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

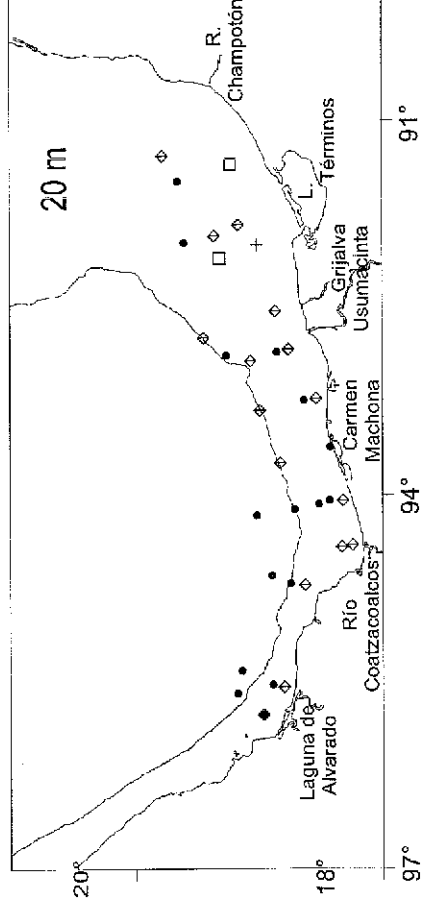
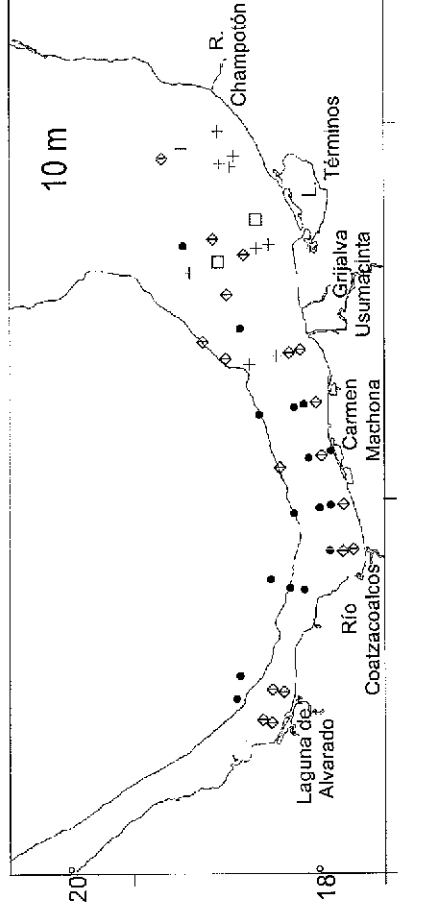
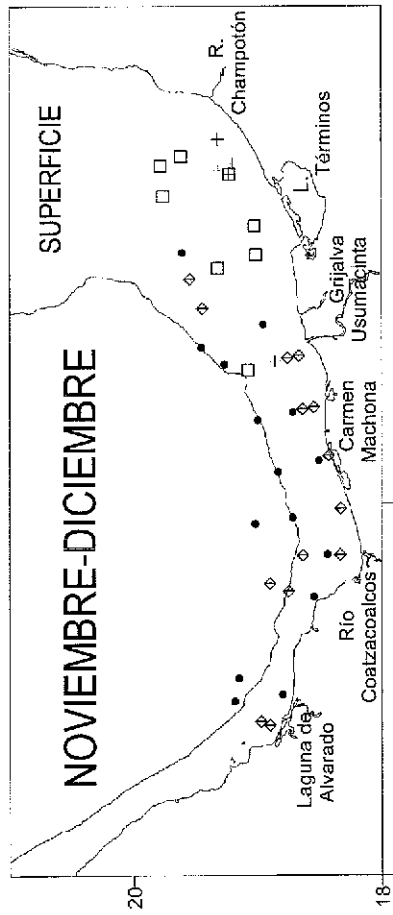
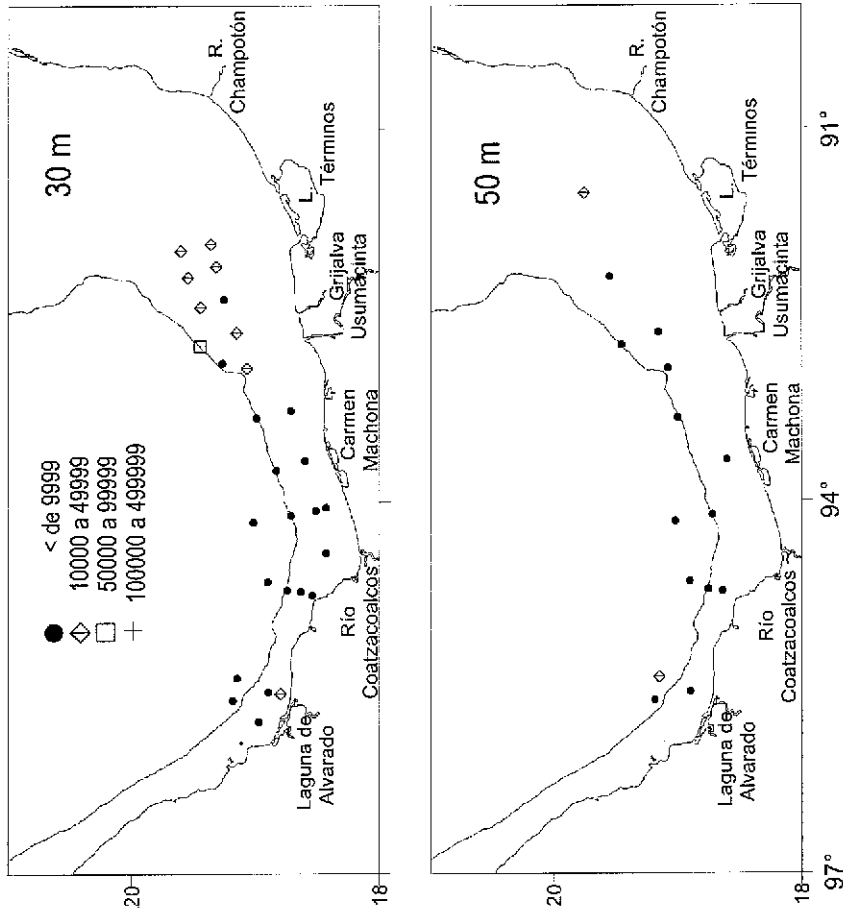


Figura 7. Variación vertical (superficie, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad) y horizontal de la densidad de organismos (Céls./l) en noviembre de 1987.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

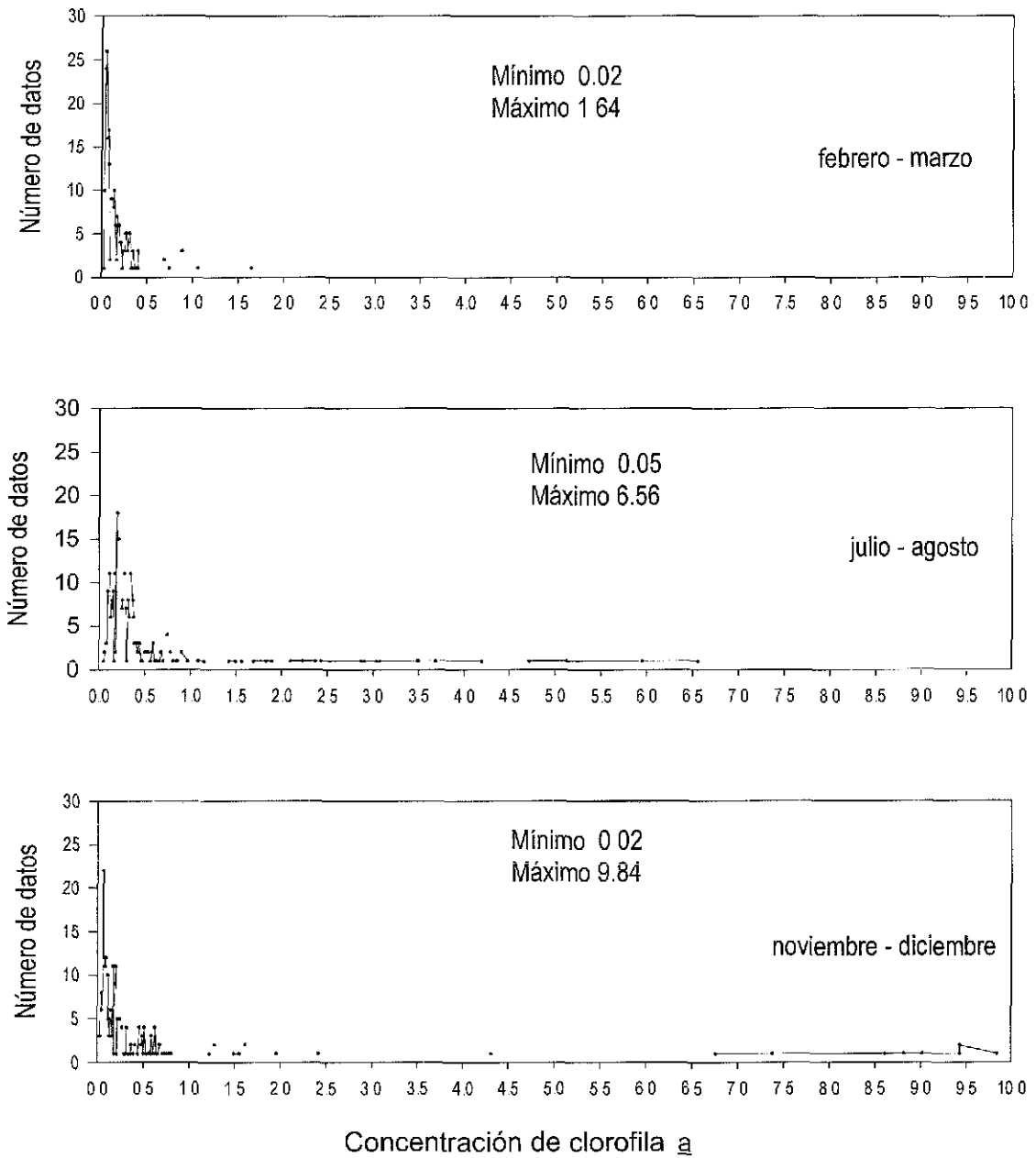


Fig. 8. Frecuencia de los valores de la concentración de clorofila  $a$  ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )  
 a) febrero-marzo; b) julio-agosto; c) noviembre - diciembre

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

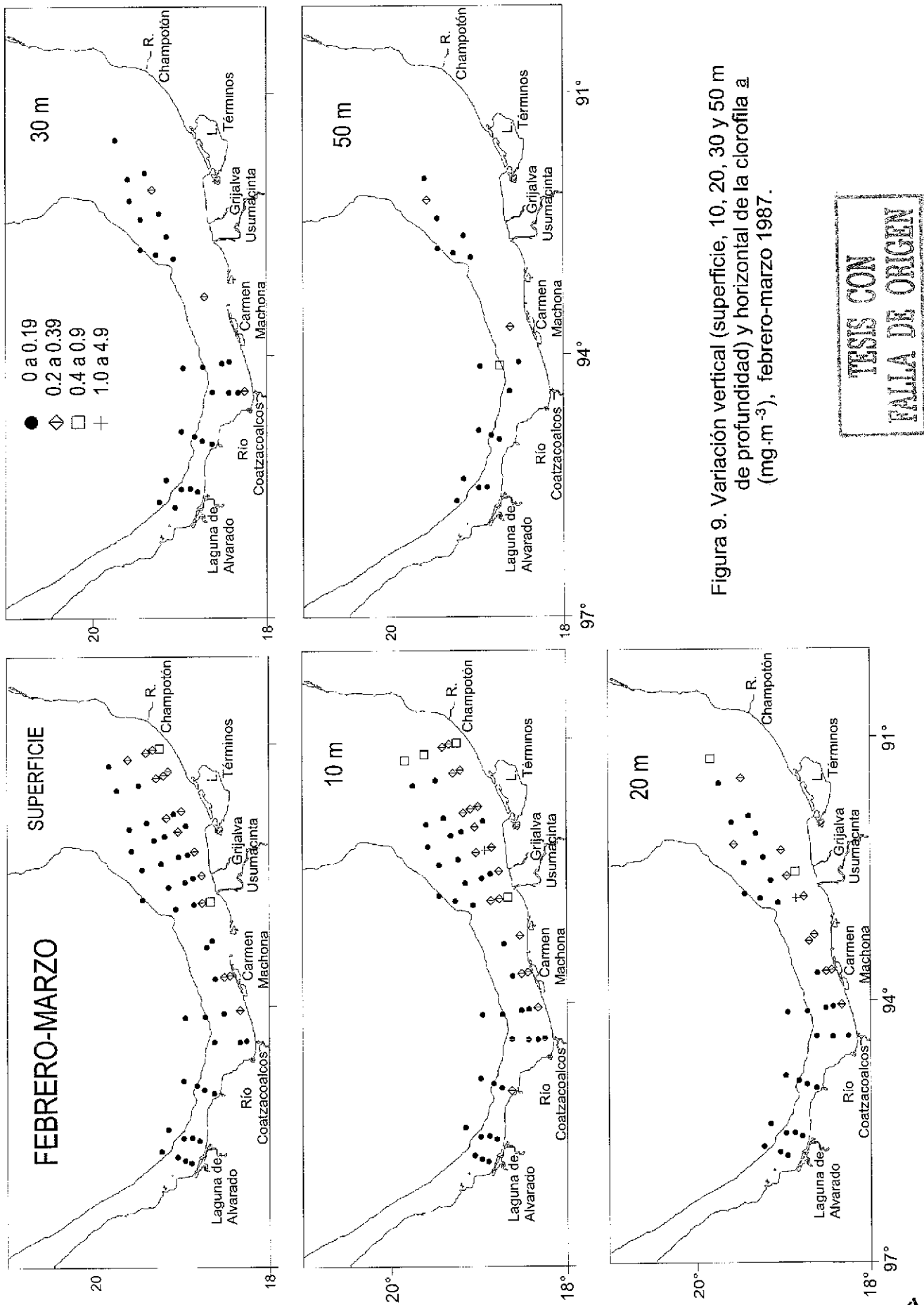


Figura 9. Variación vertical (superficie, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad) y horizontal de la clorofila *a* ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), febrero-marzo 1987.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



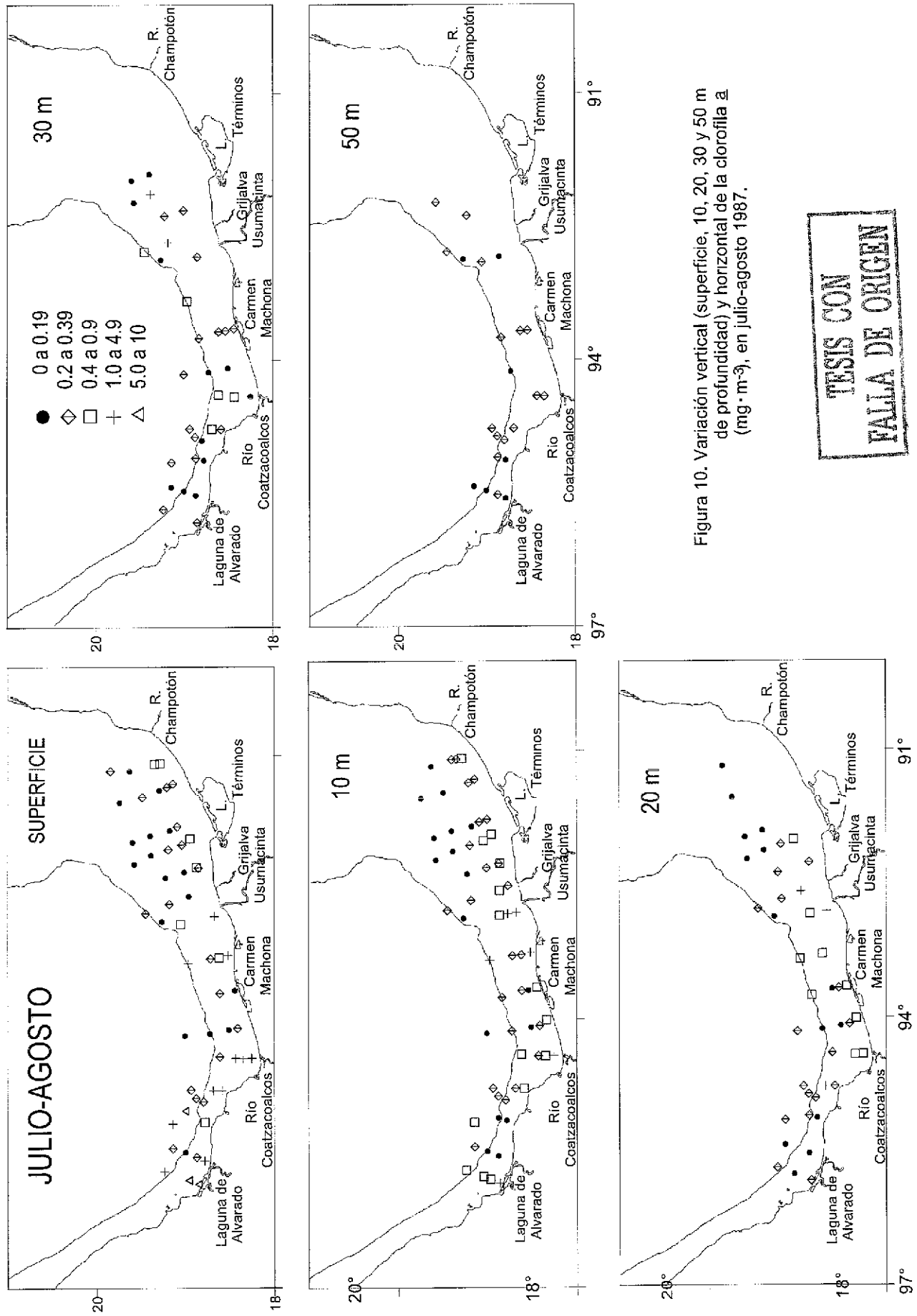


Figura 10. Variación vertical (superficie, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad) y horizontal de la clorofila *a* ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), en julio-agosto 1987.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

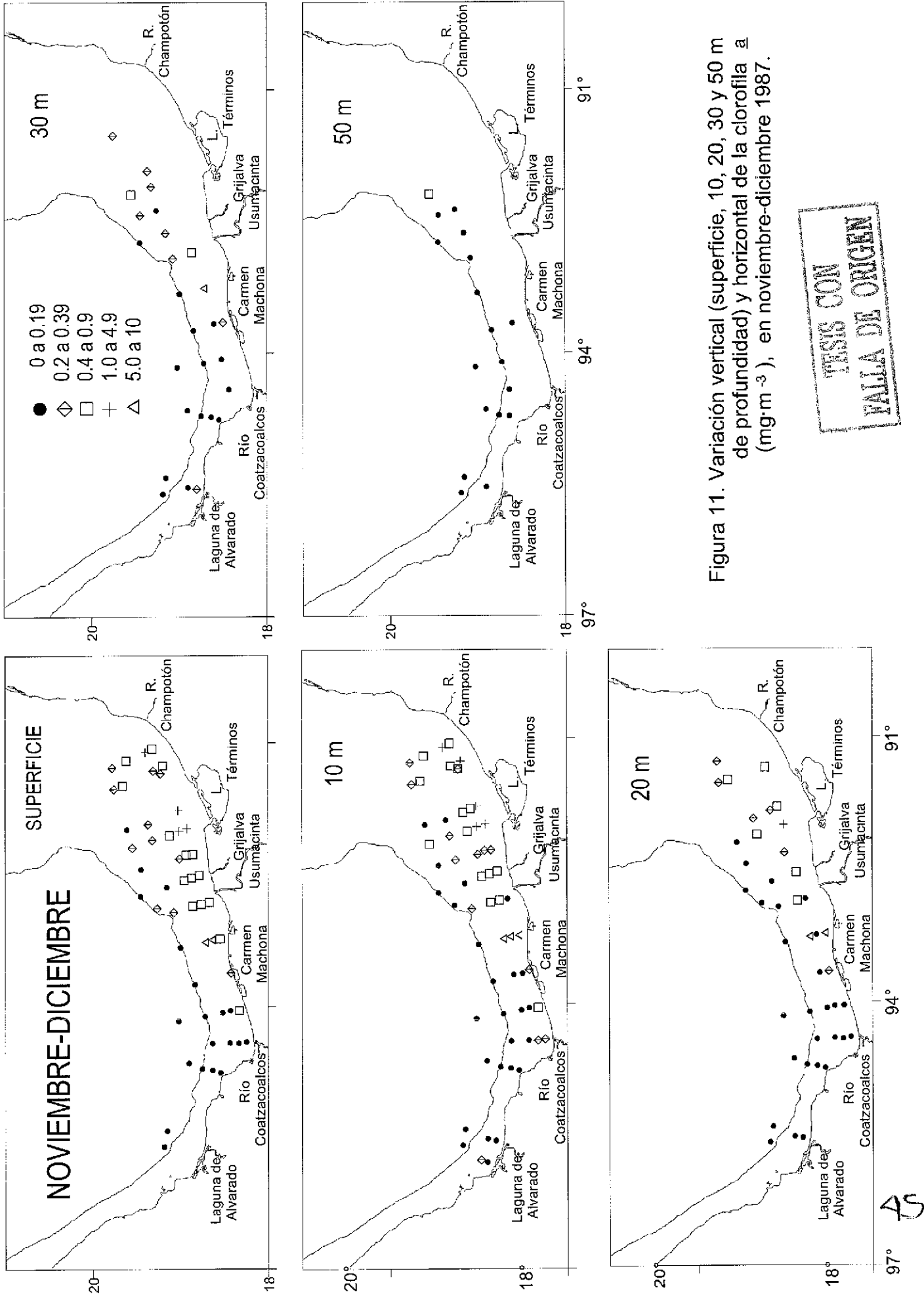


Figura 11. Variación vertical (superficie, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad) y horizontal de la clorofila  $a$  ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), en noviembre-diciembre 1987.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

AS

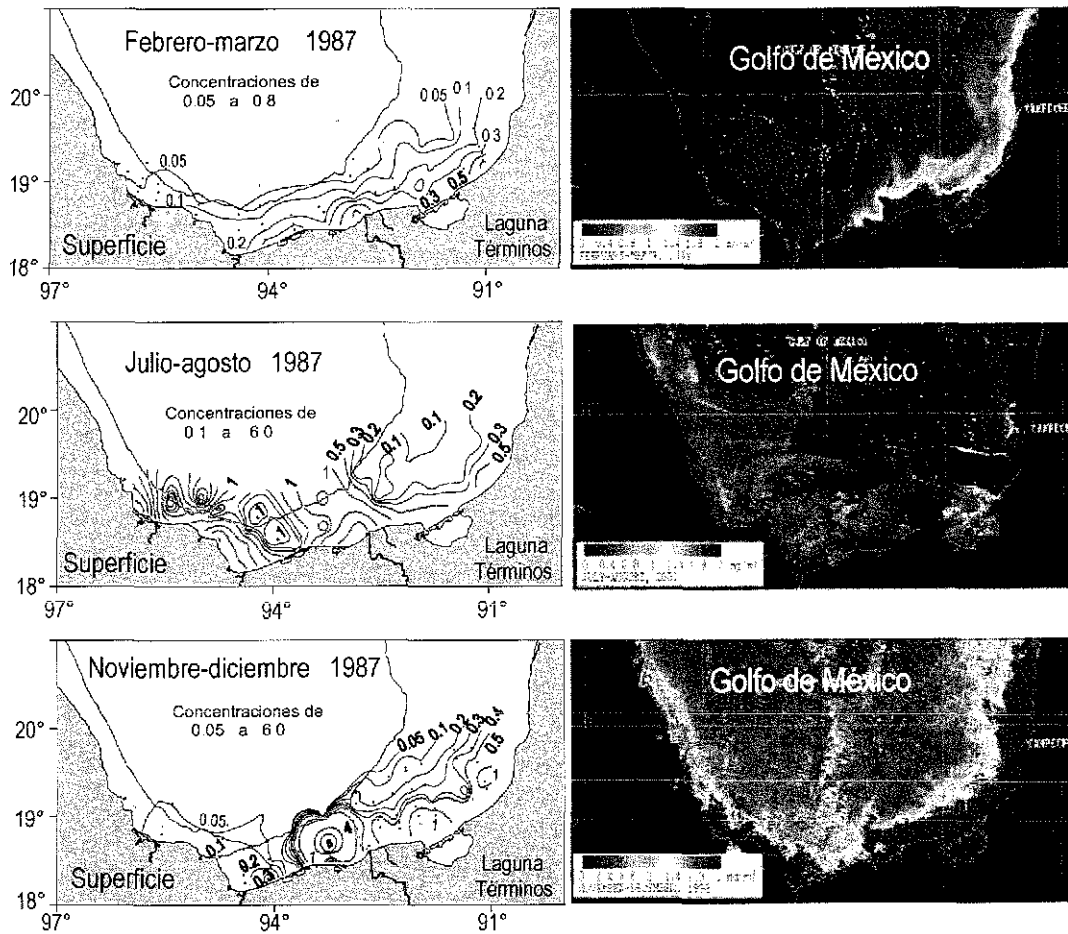


Figura 12. Comparación de la distribución de la clorofila a en superficie. Porción derecha imágenes de Sea WiFS en los mismos periodos de diferentes años. Parte superior febrero-marzo 2000; media julio-agosto 2001; inferior noviembre-diciembre 1998. En la parte izquierda las líneas verdes muestran los valores de 0.5 mg m<sup>-3</sup> y mayores (los puntos indican la posición de las estaciones de muestreo).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN