



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



# **DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LA BIOMASA ZOOPLANCTÓNICA EN LA REGIÓN MARINA DE INFLUENCIA DEL RÍO COATZACOALCOS**

## **T E S I S**

que para obtener el grado académico de

**Maestro en Ciencias del Mar y Limnología  
(Oceanografía Física)**

**P r e s e n t a**

**ROMÁN RODOLFO VERA MENDOZA**

**Director de Tesis: Dr. David Alberto Salas de León**

**Comité Tutorial: Dr. César Flores Coto  
Dr. Xavier Chiappa Carrara  
Dr. Samuel Enrique Gómez Noguera  
Dra. Martha Juana María Signoret Poillon**

**México, D.F. octubre del 2007**



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.

## DEDICATORIA

*A mis padres, quienes saben desde donde están, que lo que hago es para que se sigan sintiendo orgullosos de sus hijos:*

*Isidoro Vera Mosqueda y Beatriz Mendoza Álvarez †*

*A mi esposa he hijos, a quienes amo y son parte fundamental de mi vida:*

*Mary, Uriel y Aldo*

*A mis hermanos, que son mi apoyo:*

*Ernesto, Margarita, Javier, Pepe, Laura, Alfredo, Joaquín, Chela, Gabriel y Pedro*

*Y a toda mi demás familia y amigos.*

## **A G R A D E C I M I E N T O S**

Quiero expresar mi agradecimiento al Doctor David Alberto Salas de León, por la dirección en este trabajo, su gran disposición y apoyo incondicional.

Al Doctor Cesar Flores Coto, por permitirme trabajar con el material biológico del laboratorio de zooplancton, así como por sus comentarios acertados en el desarrollo del trabajo de investigación.

A los demás miembros del comité tutorial: Doctores Xavier Chiappa Carrara, Samuel Enrique Gómez Noguera y Martha Juana María Signoret Poilon, por sus muy acertadas recomendaciones, mismas que fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

Al personal del laboratorio de oceanografía física, por su apoyo, en especial al M.C. Miguel Ángel Díaz Flores.

Al personal del laboratorio de zooplancton, por su asesoría en el procesamiento de muestras biológicas (Faustino, Mary, Toño y Balbina).

Al personal de la coordinación de posgrado del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, quien siempre estuvo en la mejor disposición de orientarme en la realización de todos los trámites administrativos (Gaby, Diana, Chantal y Lupita).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada durante mis estudios.

A la Secretaría de Marina, por darme la oportunidad de superarme académicamente, en otorgarme el tiempo necesario.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVO .....	7
Objetivo general .....	7
Objetivo particular .....	7
ANTECEDENTES .....	8
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	9
MÉTODOS Y MATERIALES .....	13
Campañas oceanográficas .....	13
Obtención de muestras biológicas .....	15
Obtención de datos físicos .....	15
Obtención de datos acústicos .....	16
Procesamiento de datos biológicos .....	16
Procesamiento de datos físicos .....	17
Estimación de la Intensidad Acústica Absoluta (IAA) a partir de datos de ADCP .	18
Estimación de biomasa zooplanctónica a partir de datos de IAA .....	22
Procesamiento de la información .....	22
RESULTADOS .....	25
Distribución vertical de variables físicas y biomasa zooplanctónica (obtenida a partir de muestras capturadas con redes) .....	25
PROMEBIO 2 (nortes, 1999) .....	25
PROMEBIO 3 (secas, 2000) .....	28
PROMEBIO 4 (secas, 2001) .....	32
PROMEBIO 5 (lluvias, 2001) .....	35
PROMEBIO 7 (nortes, 2001) .....	38
PROMEBIO 9 (lluvias, 2004) .....	40
Distribución horizontal de biomasa zooplanctónica (obtenida a partir de muestras capturadas con redes) y variables físicas .....	42
PROMEBIO 2 (nortes, 1999) .....	42
PROMEBIO 3 (secas, 2000) .....	49

PROMEBIO 4 (secas, 2001) .....	55
PROMEBIO 5 (lluvias, 2001) .....	61
PROMEBIO 7 (nortes, 2001) .....	67
PROMEBIO 9 (lluvias, 2004) .....	71
Biomasa zooplanctónica obtenida a partir de datos de IAA obtenida con ADCP ...	76
Corrientes marinas .....	78
Resultados de las pruebas estadísticas .....	80
Análisis de varianza múltiple (ANOVA) .....	80
Matriz de similitud .....	82
Análisis de componentes principales .....	83
DISCUSIÓN .....	84
CONCLUSIONES .....	89
REFERENCIAS .....	90

## RESUMEN

Se estudió la hidrodinámica y la biomasa de zooplancton en la región de influencia de la descarga del río Coatzacoalcos (ROFI) en dos temporadas de nortes (6 a 19 de noviembre de 1999 y 19 de febrero a 4 de marzo de 2003), dos temporadas de secas (8 a 19 de abril de 2000 y 16 a 29 de abril de 2001) y dos temporadas de lluvias (10 a 20 de octubre de 2001 y 24 de junio a 13 de julio de 2004), con el objeto de determinar los patrones de distribución y abundancia de la biomasa zooplanctónica y su dependencia de las variables físicas. Los datos físicos usados fueron temperatura, salinidad, densidad relativa o sigma-t y velocidad y dirección de las corrientes. Las biomásas fueron obtenidas a partir de muestras de organismos capturados con redes de apertura – cierre y de datos de intensidad acústica absoluta del eco de un perfilador acústico de corrientes (ADCP). Los resultados muestran que la pluma del río Coatzacoalcos está modulada por las épocas de lluvias y nortes. La pluma del río Coatzacoalcos forma un giro anticiclónico al este de la desembocadura y otro ciclónico de menor escala al oeste. Las corrientes medidas con el ADCP ( $10^3 \text{ mm s}^{-1}$ ) muestran que en la región se forman permanentemente dichos giros. La posición vertical de la termoclina, picnoclina y haloclina están determinadas por la mezcla inducida por el viento y el espesor de la pluma del río Coatzacoalcos. La distribución del zooplancton se encuentra modulada por los parámetros físicos de la región. Las mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica se encuentran al oeste de la desembocadura del río Coatzacoalcos, próximas a la costa y en la capa de mezcla. Estacionalmente, es durante la época de lluvias que se tienen las mayores biomásas. La variable que más influyó en la distribución espacial y temporal de la biomasa zooplanctónica fue la salinidad. Hay diferencias significativas en las biomásas zooplanctónicas entre las mismas temporadas de diferentes años.

## ABSTRACT

The hydrodynamic patterns and zooplankton biomass were studied in the region of influence of the Coatzacoalcos river discharge (ROFI) in two winter cold fronts seasons (“Nortes”) (November 6 to 19, 1999 and February 19 to March 4, 2003), two dry seasons (April 8 to 19, 2000 and April 16 to 29, 2001) and two rainy seasons (October 10 to 20, 2001 and June 24 to July 13, 2004), in order to determine the abundance and distribution of the zooplankton biomass and their dependence on the physical variables. The physical variables considered were temperature, salinity, relative density or sigma-t and currents speed and direction. The biomass was obtained from samples of organisms captured with opening - closing nets and from absolute acoustic intensity data of the echo of an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). The results show that the Coatzacoalcos river plume is modulated by the rainy and winter cold fronts seasons (Nortes). The Coatzacoalcos river plume forms an anticyclonic eddy at its east and a smaller cyclonic at its west; this allows us to say that dynamically, this river plume is conducted as a big river plume. The currents ( $10^3 \text{ mm s}^{-1}$ ) measures with the ADCP show that the region is highly dynamic. The vertical position of the thermocline, pycnocline and halocline are modulated by the mixed layer thickness induced by the winter cold front winds and by the thickness of the Coatzacoalcos river plume. The distribution and abundance of the zooplankton biomass in the study region are modulated by the physical parameters. The largest concentrations of zooplankton biomass are west to the Coatzacoalcos river plume, next to the coast, and at the base of the clines. Seasonally the highest biomasses were found during the rainy season. The variable that more influences in the spatial and temporal distribution of the zooplankton biomass was salinity. There are significant differences between same seasons of different years.

## INTRODUCCIÓN

En el sur del Golfo de México existen altas concentraciones de organismos zooplanctónicos debido a la gran influencia de agua dulce (Flores Coto *et al.*, 1988). Las regiones marinas de influencia de agua dulce, como la que se encuentra enfrente del Río Coatzacoalcos, son llamadas ROFI's por sus siglas en inglés (Regions Of Fresh Water Influence). Estas son de interés por su particular régimen hidrodinámico entre la costa/estuario y la amplia plataforma marina.

Los ríos proveen una amplia capa de agua de menor densidad que tiende a fluir hacia el mar sobre una capa de agua más salina y densa causando cierta estratificación contraria al viento, la marea, los esfuerzos laterales y la mezcla inducida por las olas. Todos estos factores ocasionan un régimen de flujo muy importante para los organismos planctónicos. La estratificación de los ROFI's (Fig. 1) puede estar relacionada con los esfuerzos del flujo ocasionados por los gradientes horizontales de densidad, la mezcla vertical ocasionada por las mareas, los vientos y por la advección debida a las fuerzas de marea y las corrientes costeras. Los modelos numéricos simples basados en estos procesos de forzamiento han demostrado las características esenciales de la forma de los ROFI's y la importancia que el patrón de corrientes y densidades puede tener en la distribución y abundancia del zooplancton (Dauvin *et al.*, 1998).

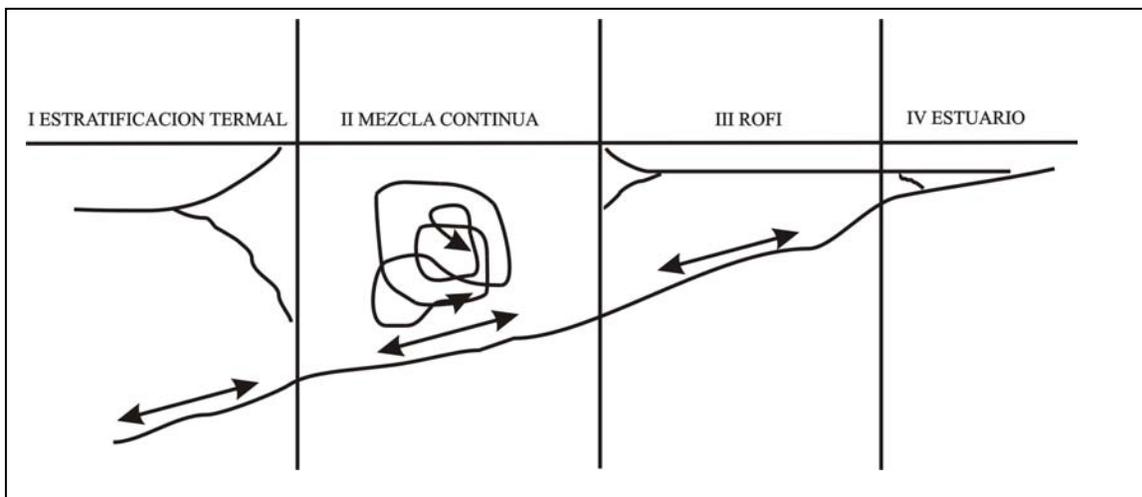


Fig. 1 Sección vertical de un ROFI. (Tomado de Dauvin *et al.*, 1998)

Los cambios en la mezcla turbulenta, estratificación, disponibilidad de nutrientes y abundancia de material orgánico pueden dar origen a florecimientos importantes. Las consecuencias de la estratificación en el reclutamiento o dispersión del plancton son poco conocidas, pero la estratificación intermitente de muchos ROFI's parece tener consecuencias importantes para las poblaciones de microorganismos, favoreciendo la reproducción de éstos (Huthnance, 1997).

Los ecosistemas acuáticos litorales que poseen estas propiedades físicas han sido estudiados por numerosos científicos en todo el orbe y una de las conclusiones más sobresalientes es el hecho de considerarlos como los sistemas naturales más productivos del mundo (Contreras, 1993).

El zooplancton es el principal elemento que transfiere la energía y la biomasa del fitoplancton hacia los niveles tróficos superiores. En este sentido, el papel de los herbívoros del zooplancton, adquiere una importancia relevante dentro de la estructura ecológica de los ambientes marinos (Sverdrup, 1970).

Hoy en día se da una gran importancia al estudio del plancton como entidad dinámica. Ninguna población de animales es estática y la del zooplancton es muy fluctuante, tanto a corto como a largo plazo. Cualquier alteración de los factores que influyen sobre una población producirá, de alguna manera, un cambio en ella. Es por ello que gran parte de las investigaciones realizadas en el estudio del zooplancton, tienen por objeto descubrir de qué modo los cambios en los factores ambientales les afectan y qué cambios se esperarían en él como consecuencia (Wickstead, 1979).

Mediante el estudio del zooplancton se puede estimar la productividad general y el estatus ecológico de un sistema. Por lo que la explotación directa del zooplancton por el hombre debe estar precedida de un conocimiento integral de su ecología, del posible efecto de su explotación en la trama trófica local y en las pesquerías. De hecho, la biomasa zooplanctónica sostiene parcialmente varias de las principales pesquerías mundiales y por ello la extracción de zooplancton no debe hacerse de manera indiscriminada (Cifuentes *et al.*, 1997).

Otro aspecto relevante del zooplancton es el hecho de que su distribución, su composición y abundancia son producto de un conjunto de condiciones físicas y biológicas. Por ello, la presencia de ciertas especies o grupos de especies en determinada zona representa también la ocurrencia de ciertas condiciones. De este modo, varios de estos organismos pueden ser considerados como indicadores de condiciones oceanográficas (Bratkovich, 1988) o de la presencia de una determinada masa de agua.

El estudio de la biomasa, distribución y agregación del zooplancton da información crucial para entender a la comunidad planctónica marina y el método más utilizado para estudiar el zooplancton tanto cualitativa como cuantitativamente es a través de su captura con redes, las cuales anteriormente se usaban como único recurso. Este método permite determinar el intervalo de talla de los organismos recolectados con base en la apertura de malla. Además, si se le adiciona un contador de flujo se puede determinar la densidad de organismos por unidad de volumen. No obstante, se presentan inconvenientes como las variaciones en el tamaño de malla de la red, la obstrucción de la red (UNESCO, 1979; Omori e Ikeda, 1984), el cálculo del flujo por este medio puede dar resultados erróneos al no considerar el flujo vertical (Burd y Thomson, 1993), la información que proporcionan es limitada al realizar muestreos muy puntuales que pretenden integrar grandes áreas horizontales (Ashjian *et al.*, 1994), representan un alto costo, se toma sólo un pequeño número de muestras y requieren mucho tiempo para obtener y procesar dichas muestras.

Últimamente, los avances tecnológicos han generado nueva información que ha contribuido sustancialmente al entendimiento de ciertos procesos oceánicos a diferentes escalas. Uno de estos avances se ha dado en el dominio de la hidroacústica, que se basa en la percepción remota mediante el sonido, debido a la propiedad que éste tiene de viajar grandes distancias con poca atenuación en el océano (Boltovskoy, 1981; Gómez Gutiérrez *et al.*, 1998; Galarza Macias, 1998; Salas de León *et al.*, 2005).

Desde 1970 se ha utilizado la acústica para estudiar la abundancia y patrones de distribución del zooplancton, pero su uso en un principio no fue muy difundido ya que la reducción y análisis de datos era complejo, haciendo que este método fuera costoso y difícil de

llevar a cabo. Además, los datos acústicos que se obtenían, excluían análisis de interés ecológico (Holliday, 1977; Greenlaw, 1979; Flagg *et al.*, 1989; MacLennan y Simmonds, 1992; Kirsh *et al.*, 2000).

Es hasta la década de los 80's en que se produjo el primer perfilador acústico basado en el efecto Doppler, abreviado como ADCP por sus siglas en inglés (Acoustic Doppler Current Profiler), que se abrió la posibilidad de desarrollar nuevas formas de utilizar la acústica en ecología marina. Este tipo de perfiladores ha dado a los biólogos la capacidad de estudiar el zooplancton de una manera diferente, al generar datos biológicos y físicos simultáneamente, dando una buena estimación de su abundancia y de cómo interactúan las estructuras físicas y biológicas (Flagg *et al.*, 1989).

# OBJETIVOS

## Objetivo general

Estimar la dependencia de la distribución, variación espacial y temporal de la biomasa zooplanctónica, de las variables físicas que generan estructuras frontales debidas a las descargas del Río Coatzacoalcos.

## Objetivos particulares

- Determinar la variable física que tiene mayor influencia en la distribución y abundancia del zooplancton.
- Determinar el área con mayor abundancia zooplanctónica.
- Estimar la época del año donde se obtienen las mayores biomásas zooplanctónicas.
- Estimar si existe diferencia significativa de biomasa zooplanctónica entre campañas de iguales temporadas.

## ANTECEDENTES

Se ha observado que para el sur del Golfo de México los valores más altos de biomasa y abundancia zooplanctónica se registran en áreas de la zona costera con influencia de los sistemas fluvio-lagunares (Flores Coto *et al.*, 1988; Collins Pérez, 1990; Ortuño Manzanares, 1996; Salas de León *et al.*, 1998) con una marcada tendencia a ubicarse entre los 20 y 60 m de profundidad (Collins Pérez, 1990) donde la variación espacio-temporal de la biomasa y abundancia zooplanctónica es afectada por el patrón de corrientes de mesoescala (Salas de León *et al.*, 1998; Lara López, 2003).

Los valores más altos de abundancia zooplanctónica e ictioplanctónica en el sur de la Bahía de Campeche se han registrado en la zona nerítica, mientras que los más bajos se han observado sobre el talud continental y en la zona oceánica. Asimismo, de la zona costera hasta la isóbata de los 50 m aproximadamente los taxa predominantes son Engraulidae, Carangidae, Scianidae y Bothidae entre otros (Flores Coto *et al.*, 1988).

En primavera, debido a la corriente que entra por el canal de Yucatán y que se extiende hacia el oeste de la Bahía de Campeche, existe un desplazamiento de los frentes ribereños hacia el oeste y como consecuencia se tienen núcleos de mayor abundancia zooplanctónica e ictioplanctónica con el mismo patrón de distribución (Flores Coto *et al.*, 1988; Sanvicente Añorve, 1990; Salas de León *et al.*, 1998).

Los estudios sobre el zooplancton en la región marina enfrente del Río Coatzacoalcos son muy escasos. Sólo se encontró un trabajo sobre este tema (e.g. Bozada y Páez, 1987) en el cual se observó que las mayores densidades del ictioplancton se encontraron en zonas neríticas costeras a temperaturas superficiales que van desde los 26.2 hasta 28.9 °C y salinidades desde 27.1 hasta 37 y que la época de mayor concentración fue en primavera y la de menor durante el invierno.

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio está emplazada en la región costera inmediata a la desembocadura del Río Coatzacoalcos entre los 18° y 19° N y 94° y 95° W (Fig. 2).

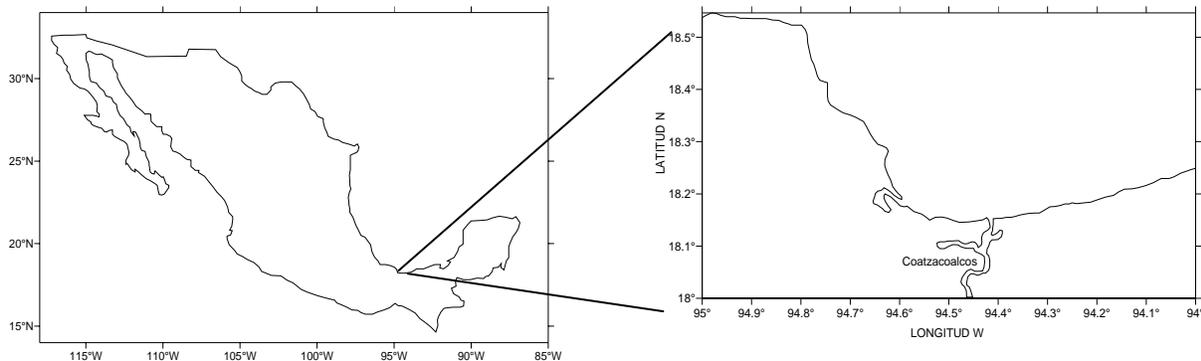


Fig. 2 Area de estudio.

El Río Coatzacoalcos es uno de los ríos más caudalosos de la República Mexicana con una descarga promedio de  $493 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  y máxima de  $6737 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Riverón Enzástiga, 2007). Su cuenca ocupa casi toda la vertiente norte del Istmo de Tehuantepec. Nace en la Sierra Atravesada en el estado de Oaxaca y después de correr hacia el oeste, tuerce hacia el norte y luego al noreste para desembocar en la parte sur del Golfo de México.

En la región marítima de Coatzacoalcos, la plataforma continental se extiende hacia el norte hasta llegar a una distancia de 65 km aproximadamente con una pendiente fuerte entre 100 y 200 m de profundidad.

La circulación en la Bahía de Campeche es predominantemente ciclónica (Vázquez de la Cerda, 1979; Monreal Gómez y Salas de León, 1990) y es provocada por la formación de un giro en la parte este de la bahía durante los meses de agosto y septiembre, el cual persiste hasta diciembre, desplazándose hacia el oeste. Existe también la influencia de una corriente que

proviene del Banco de Campeche y que está formada por aguas de la corriente y la surgencia de Yucatán (Hernández Téllez *et al.*, 1993).

La temperatura en la superficie oscila entre 24 °C y 29 °C, sin marcadas diferencias estacionales (Villalobos y Zamora, 1975; Padilla Pilotze *et al.*, 1986). Existen también aportes de aguas continentales por lo general más frías, estableciendo gradientes térmicos verticales en la zona costera (Villalobos y Zamora, 1975; Czitrom Bauss *et al.*, 1986; Monreal Gómez *et al.*, 1992).

Durante el otoño y el invierno se forma una capa de mezcla superficial ancha por el efecto de los “Nortes”, que provoca el descenso de la temperatura desde la superficie hasta 150 m (Monreal Gómez y Salas de León, 1990; Gio Argáez, 2000). En el verano, la profundidad de la capa de mezcla establecida durante el otoño y el invierno se ve adelgazada por las altas temperaturas superficiales, creando un fuerte gradiente vertical, además de la presencia de fuertes termoclinas (Licea y Luna, 1999).

La variación de los valores de salinidad es más intensa que la de la temperatura. Aguas de bajas salinidades llegan al Banco de Campeche en primavera y verano desde el noreste con la Corriente de Yucatán (Bogdanov, 1969).

El Río Coatzacoalcos presenta un volumen de descarga variable. El promedio de la precipitación anual en la cuenca del río es de 2780 mm. El aporte fluvial del Río Coatzacoalcos desplaza un volumen anual de 18381 millones de m<sup>3</sup>, que puede ir desde 410 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en temporada de secas hasta 6737 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en temporada de lluvias (Riverón Enzástiga, 2007).

El clima en la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano y precipitación media anual de 1100 a 2000 mm (García, 1973). Los vientos tienen una dirección predominante del este-sureste durante todo el año con velocidades de 4 m s<sup>-1</sup>, excepto en los meses de noviembre a marzo, cuando predominan vientos del norte-noroeste formados por masas de aire polar conocidos localmente como “Nortes” cuyas velocidades pueden variar desde 25 hasta 36 m s<sup>-1</sup> (Gutiérrez Estrada, 1977).

La batimetría en la zona de estudio es de 5 m de profundidad en la desembocadura del Río Coatzacoalcos, incrementándose con la distancia de la costa, hasta llegar a los 900 m en el límite de la zona de estudio (Fig. 3).

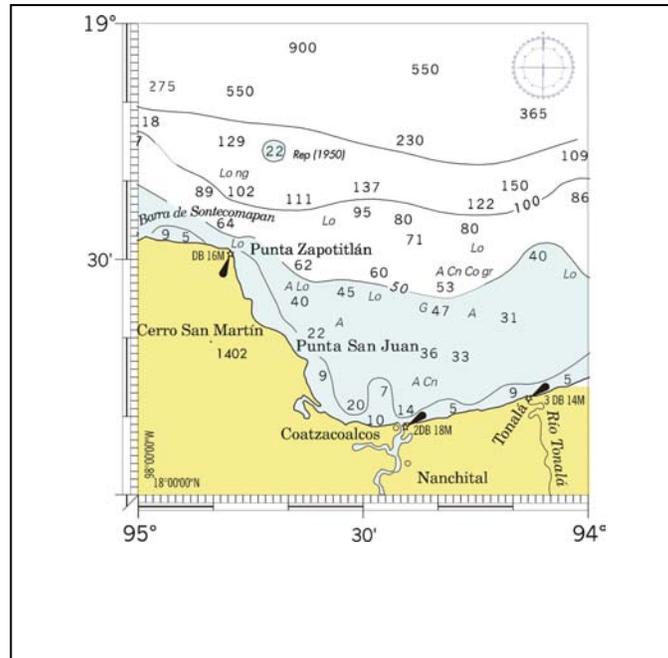


Fig. 3 Batimetría (m) de la zona de estudio. Tomada de la Carta Náutica S.M. 030 de la Secretaría de Marina – Armada de México.

El tipo de mareas que se presenta en Coatzacoalcos, es mixta semidiurna (Secretaría de Marina, 2006). De 1999 a 2004 el valor máximo de las pleamares se registró en los meses de septiembre – octubre y el valor mínimo de las bajamares se presentó durante los meses de junio – julio (Fig. 4)

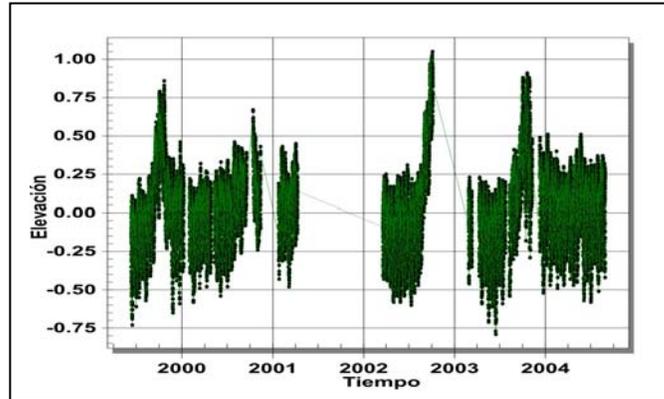


Fig. 4 Alturas (m) horarias, de mareas de 1999 a 2004 de Coatzacoalcos, Ver. (Gráfica proporcionada por el Departamento de Mareografía de la Secretaría de Marina – Armada de México).



## METODOS Y MATERIALES

### Campaññas oceanográficas

La información biológica y física que se analizó en el presente trabajo, proviene de seis campañas oceanográficas realizadas en el sur del Golfo de México a bordo del Buque Oceanográfico “Justo Sierra” de la Universidad Nacional Autónoma de México (Tabla 1), como parte del proyecto: “Procesos Oceánicos y Mecanismos de Producción Biológica en el Sur del Golfo de México” (PROMEBIO).

Tabla 1  
Campaññas oceanográficas, fechas, temporada del año y tipo de muestreo

<b>Nombre de la Campaña</b>	<b>Fecha</b>	<b>Temporada</b>	<b>Tipo de muestreo</b>
PROMEBIO - 2	6 al 19 de noviembre de 1999	Nortes	Redes
PROMEBIO - 3	8 al 19 de abril del 2000	Secas	Redes y ADCP
PROMEBIO - 4	16 al 29 de abril del 2001	Secas	Redes
PROMEBIO - 5	10 al 20 de octubre del 2001	Lluvias (Descargas)	Redes
PROMEBIO - 7	19 de febrero al 4 de marzo del 2003	Nortes	Redes
PROMEBIO - 9	24 de junio al 13 de julio de 2004	Lluvias	Redes

Las estaciones se distribuyeron en función del posible eje de la pluma del río (Fig. 5). Cabe mencionar que las gráficas de la figura 5 representan la ubicación de las estaciones de muestreo del zooplancton obtenido por el método de redes a nivel de 0 a 10 metros de profundidad, por lo que en algunas de estas estaciones dadas las características batimétricas de la zona no se obtuvieron datos de niveles más profundos.

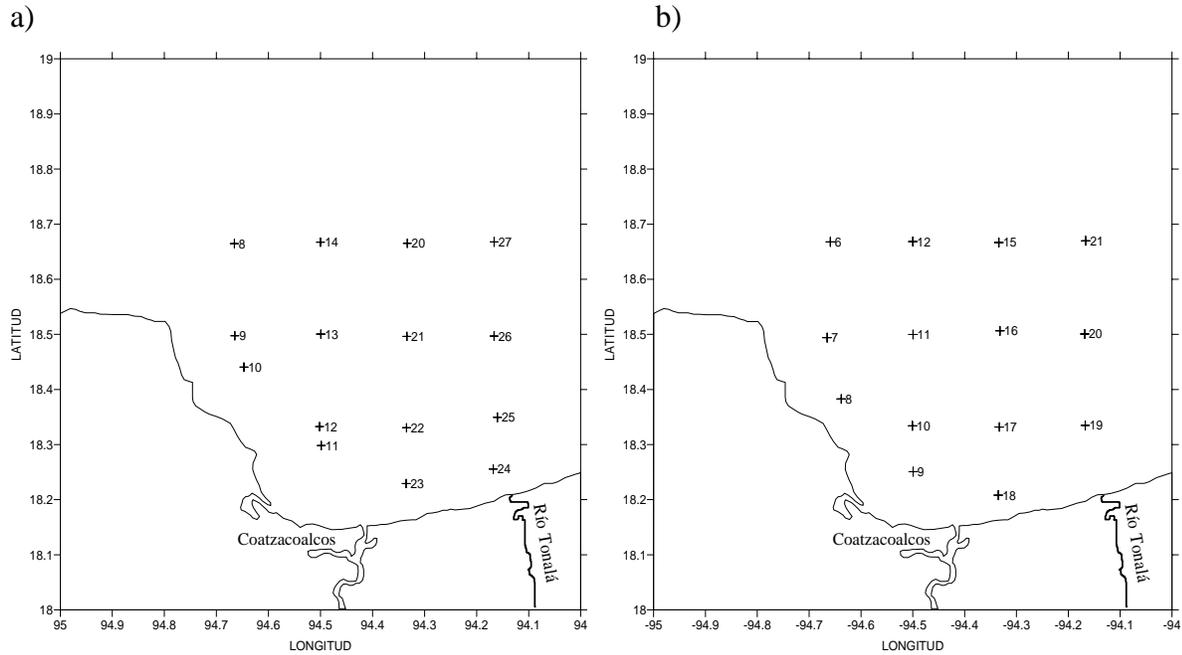


Fig. 5 Ubicación y número de las estaciones de muestreo de la zona de estudio, durante las campañas: a) PROMEBIO 2 (Nortes, 1999) y b) PROMEBIO 3 (Secas, 2000).

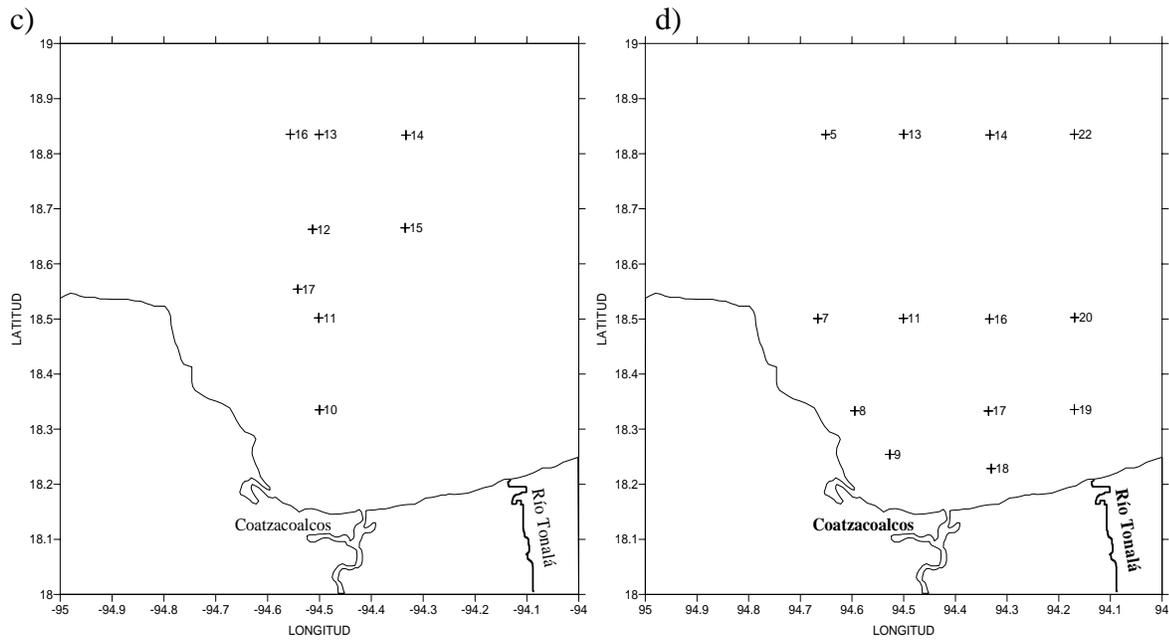


Fig. 5 cont. Ubicación y número de las estaciones de muestreo de la zona de estudio, durante las campañas: c) PROMEBIO 4 (Secas, 2001) y d) PROMEBIO 5 (Lluvias, 2001).

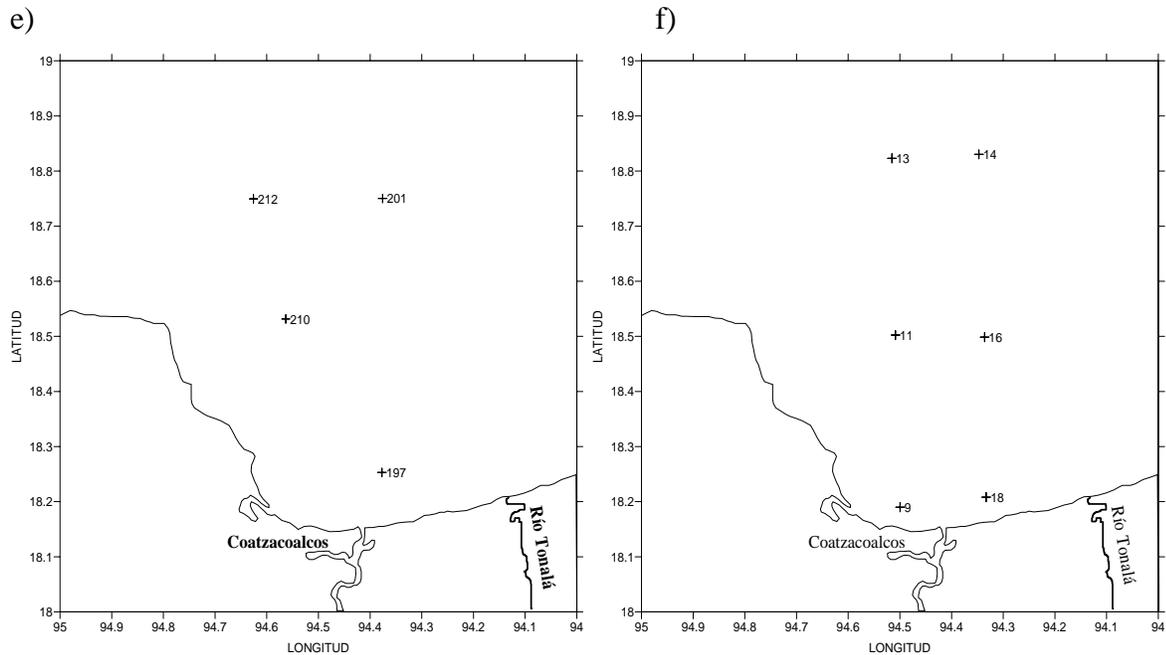


Fig. 5 cont. Ubicación y número de las estaciones de muestreo de la zona de estudio, durante las campañas: e) PROMEBIO 7 (Nortes, 2003) y f) PROMEBIO 9 (Lluvias, 2004).

### Obtención de muestras biológicas

Las muestras de zooplancton, fueron obtenidas con redes de apertura-cierre de 500  $\mu\text{m}$  de luz de malla y con una boca de 75 cm de diámetro. Se realizaron muestreos mediante arrastres circulares a diferentes profundidades: 0-10 m, 10-20 m, 20-30 m, 40-60 m, 60-80 m y 80-100 m, con un tiempo de muestreo de 15 minutos.

Se utilizaron contadores de flujo en la boca de cada una de las redes para conocer el volumen de agua filtrado y de esta forma poder obtener la densidad de organismos recolectados por unidad de volumen. Los organismos se fijaron con formaldehído al 4 % y después se trasvasaron a alcohol etílico al 70 %, para su preservación.

### Obtención de datos físicos

Los datos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), presión (db) y conductividad ( $\text{microSiemens cm}^{-1}$ ) fueron obtenidos con un CTD (Conductivity, Temperatura and Depth) General Oceanic modelo Neil Brown Mark IV, cuyo sensor de presión fue modificado de acuerdo a las recomendaciones del

Experimento de Circulación del Océano Mundial (WOCE 1990-2002). El CTD se programó para tomar un dato de temperatura, presión y conductividad cada 0.25 s. La velocidad a la que se bajó el CTD fue de  $1 \text{ m s}^{-1}$ , con lo que se obtuvieron datos cada 25 cm de la columna de agua. Los datos obtenidos en las diferentes campañas se depuraron de forma tal que fueran confiables. Con los datos resultantes, se calculó la salinidad y densidad relativa o sigma-T ( $\sigma_T$ ) usando los polinomios propuestos por la UNESCO (Fofonoff y Millard, 1983).

### **Obtención de datos acústicos**

Los datos acústicos fueron obtenidos sólo para la campaña PROMEBIO 3 (Secas, 2000), ya que esta campaña en particular, presentó mayor número de datos de biomasa obtenida por el método de redes, lo que hacía posible comparar sus valores, con los datos de biomasa estimados por el método acústico. Se obtuvieron mediante un perfilador acústico Doppler ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) marca RD Instruments modelo RD-VM0075 Mark II, diseñado para instalación fija en buques, con una frecuencia de la onda de sonido de 75 kHz. Este ADCP emite 0.7 pulsos por segundo con 16 m de longitud. Los 8 primeros metros son considerados de incertidumbre por el ruido que genera el buque; por lo que los datos son confiables después de los primeros 8 m. El equipo es capaz de perfilar o medir hasta 665 m de profundidad, con un mínimo de 8 celdas, un máximo de 128 celdas y una resolución de  $0.25 \text{ mm s}^{-1}$  en la velocidad. La intensidad del eco posee una precisión de  $\pm 8 \text{ dB}$  antes de calibrarse y de  $\pm 3 \text{ dB}$  al calibrarse, una incertidumbre estadística de  $\pm 5 \text{ dB}$ , con un intervalo dinámico de 80 dB y una resolución típica de 0.45 dB (dependiendo de la temperatura del sistema).

### **Procesamiento de datos biológicos**

A todas las muestras de zooplancton obtenidas por el método de redes, se les determinó el peso húmedo como una estimación de la biomasa, con ayuda de una balanza analítica y una bomba de succión para eliminar el exceso de agua siguiendo el método recomendado por Zavala García y Flores Coto (1989).

El peso seco estima la biomasa de manera más precisa que el peso húmedo. Sin embargo, este método implica la destrucción de las muestras inutilizándolas para realizar otro tipo de análisis. Es por ello que Wiebe (1988) desarrolló un intenso trabajo para encontrar la relación que existe entre el peso húmedo, el volumen desplazado, el peso seco y la cantidad de carbono, con ellos determinó fórmulas que permiten hacer conversiones entre las variables antes mencionadas.

El peso húmedo obtenido se transformó a peso seco a partir de la ecuación de Wiebe (1988):

$$\text{Log}_{10}(PS)=2.107+1.053 \text{Log}_{10}(PH)$$

Donde *PS* es el peso seco y *PH* es el peso húmedo.

### **Procesamiento de datos físicos**

A partir de los datos de temperatura, salinidad, densidad relativa ( $\sigma\text{-t}$ ) y profundidad, se construyeron planos y perfiles de cada una de las variables a las profundidades en que se tomaron las muestras de zooplancton.

Para la obtención de los datos acústicos de la campaña PROMEBIO 3 (secas, 2000) se utilizó el programa DAS, el cual permite controlar las funciones del ADCP y los parámetros del perfil. En cuanto al procesamiento de datos del ADCP, se convirtieron los archivos de binario a ASCII con el programa LOGDAS (versión 1.03) y se creó una matriz con los datos del eco o Acoustic Gain Control (AGC) y cada variable requerida en la fórmula de transformación a Intensidad Acústica Absoluta (IAA en dB), así como datos de posición, profundidad y otros parámetros de control. Esta matriz se procesó en un programa en Turbo Basic para obtener la IAA y generar matrices que las contengan junto con la latitud, longitud, hora, fecha, profundidad y biomasa.

En zonas con profundidades menores a 600 m, el ADCP almacena la información de las componentes este-oeste y norte-sur de la velocidad aparente del fondo (bottom tracking) que

corresponde a la velocidad real del buque con signos contrarios. Con la finalidad de obtener la velocidad absoluta de las corrientes marinas, a las velocidades registradas con el ADCP se le restan las velocidades aparentes del fondo. Con los resultados se construyeron planos de distribución de las corrientes en forma vectorial.

Dado que las lecturas del ADCP registradas son cada 16 m a partir de los 20 metros de profundidad, se estimaron las velocidades absolutas de las corrientes marinas por medio del ADCP para las profundidades de 20 m, 36 m, 52 m, 68 m y 84 m a fin de que coincidieran lo más posible con los niveles de profundidad donde se obtuvieron las muestras de zooplancton por el método de redes (10-20 m, 20-30 m, 40-60 m, 60-80 m y 80-100 m).

### Estimación de la Intensidad Acústica Absoluta (IAA) a partir de datos de ADCP

Para efectuar la transformación de la amplitud del eco de la señal acústica a IAA se aplicó la siguiente fórmula proporcionada por RD Instruments (1996):

$$IAA = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\left[ 4.47 \times 10^{-20} k_2 k_s (T_x + 273) \left( 10^{\frac{K_c (E - E_r)}{10}} - 1 \right) \right]}{c P K_1 10^{\frac{-2\alpha R}{10}}} \right\}$$

Donde:

<i>IAA</i>	Intensidad Acústica Absoluta (db)
<i>K<sub>2</sub></i>	factor de ruido del sistema
<i>K<sub>s</sub></i>	constante del sistema
<i>T<sub>x</sub></i>	temperatura en tiempo real del transductor (°C)
<i>K<sub>c</sub></i>	factor de conversión para la intensidad del eco (dB)
<i>E</i>	intensidad del eco (conteo)
<i>E<sub>r</sub></i>	ruido térmico electrónico de referencia (conteo)
<i>R</i>	direccionamiento del intervalo a la profundidad de la celda (m)
<i>c</i>	velocidad del sonido en cada celda (m s <sup>-1</sup> )

$P$	longitud del pulso transmitido
$K_I$	potencia real del sonido en el agua (W)
$\alpha$	coeficiente de absorción del sonido por el agua (dB m <sup>-1</sup> )

De las variables anteriores,  $K_2$  es proporcionada por RD Instrument y  $K_S$  es una constante del sistema.

$$K_C = \frac{127.3}{T_e + 273}$$

Donde  $T_e$  es la temperatura (°C) en tiempo real del equipo electrónico en el buque.

$$Er = Erc(a) + (1 + a)(292 + 0.1337Te) + (1 - b)(27.3 + 0.1Tx)$$

donde

$$a = \frac{T_e + 273}{T_{ec} + 273} \quad b = \frac{T_x + 273}{T_{xc} + 273}$$

$T_{xc}$  es la temperatura (°C) del transductor al momento de su calibración y  $T_{ec}$  es la temperatura (°C) de los componentes electrónicos durante su calibración,  $E_{rc}$  es el ruido térmico durante la calibración.

$$K_I = \left[ \frac{(V_s \times a) - b}{c} \right]^2 \times K_{IC}$$

Donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son constantes dadas en el manual de RDI.  $K_{IC}$  es la corriente aplicada al calibrar el equipo en la fábrica (proporcionada por RDI) y  $V_s$  es el voltaje ocupado en tiempo real.

$$R = \left[ \frac{B + (P - D)/2 + (N \times D) + (D/4)}{\cos^\phi} \right] \times \frac{c'}{1475.1}$$

$B$  es el blanco después del pulso (m),  $P$  es la longitud del pulso transmitido (m),  $D$  es el tamaño de la celda (m),  $\theta$  es el ángulo de cada uno de los transductores con respecto a la vertical (grados),  $N$  es el número de celda y  $c'$  es el promedio ponderado de la velocidad del sonido ( $\text{m s}^{-1}$ ) entre el transductor y la celda.

Este método, como se puede observar, implica la calibración cuidadosa del ADCP, con atención particular a la medición del nivel de ruido de cada uno de los emisores, así como de la temperatura de los transductores al momento de calibrar el equipo. Con base en esto, se pueden dar estimaciones de la IAA con un 95 % de confianza ( $\pm 1.5$  dB). La compañía RDI, que es el fabricante del equipo utilizado, da una explicación clara del nivel de ruido existente que afecta a los valores de IAA y que ya están corregidos, ya que la IAA es sensible a la temperatura de los componentes electrónicos y de los transductores del ADCP.

Por otro lado, es importante considerar el cálculo del coeficiente de absorción del sonido ( $\alpha$ ). Esto es debido a que la zona de estudio presenta regiones de frentes (descarga del Río Coatzacoalcos) así como fenómenos de mesoescala (giro ciclónico) lo cual implica una mayor variación en la absorción del sonido (Wade y Heywood, 2001). Diversos estudios han mostrado que la absorción del sonido en el océano es producida por el agua pura, el ácido bórico y el sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) (Urik, 1983). Para calcular  $\alpha$  se utilizó la fórmula dada por François y Garrison (1982).

$$\alpha = \underbrace{\left( \frac{A_1 P_1 f_1 F_1}{f_1^2 + F^2} \right)}_{\text{Acido Bórico}} + \underbrace{\left( \frac{A_2 P_2 f_2 F^2}{f_2^2 + F^2} \right)}_{\text{MgSO}_4} + \underbrace{(A_3 p_3 F^2)}_{\text{Agua Pura}} \quad \text{dB km}^{-1}$$

Donde la dependencia en la presión está dada por  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$ , la relajación de la frecuencia esta dada por  $f_1$  y  $f_2$  y la frecuencia de emisión del sonido esta dada por  $F$ .

La contribución de los diferentes componentes esta dada de la siguiente forma:

Acido bórico

$$A_1 = \frac{8.86}{c} \times 10^{(0.78 \times pH - 5)} \quad \text{dB km}^{-1} \text{ kHz}^{-1}$$

$$P_1 = 1$$

$$f_1 = 2.8 \left( \frac{S}{35} \right)^{0.5} \times 10^{(4 - 1245/\theta)} \quad \text{kHz}$$

MgSO<sub>4</sub>

$$A_2 = 21.44 \times \frac{S}{c} (1 + 0.0257T) \quad \text{dB km}^{-1} \text{ kHz}^{-1}$$

$$P_2 = 1 - 1.37 \times 10^{-4} \times D + (6.2 \times 10^{-9} D^2)$$

$$f_2 = \frac{8.17 \times 10^{(8 - 1990/\theta)}}{1 + 0.0018(S - 35)} \quad \text{kHz}$$

Agua Pura

$$P_3 = 1 - 3.83 \times 10^{-5} D + 4.9 \times 10^{-10} D^2; \quad \text{Para } T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_3 = 4.937 \times 10^{-4} - 2.59 \times 10^{-5} T + 1.45 \times 10^{-7} T^2 - 6.5 \times 10^{-10} T^3 \quad \text{dB km}^{-1} \text{ kHz}^{-2};$$

para  $T > 20^\circ\text{C}$

y

$$A_3 = 3.964 \times 10^{-4} - 1.146 \times 10^{-5} T + 1.45 \times 10^{-7} T^2 - 6.5 \times 10^{-10} T^3 \quad \text{dB km}^{-1} \text{ kHz}^{-2}$$

Donde  $c$  es la velocidad del sonido ( $\text{m s}^{-1}$ ) y está dada como:

$$c = 1412 + 3.21T + 1.19S + 0.0167D$$

$T$  es la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $S$  es la salinidad,  $D$  es la profundidad (m) y  $\theta$  es la temperatura en grados Kelvin.

El coeficiente de absorción se determinó tomando en cuenta la cercanía a cada una de las estaciones de CTD. Para el caso del pH, se utilizó un valor constante de 8, debido a que dicha variable influye más en ambientes no marinos (Wade y Heywood, 2001).

### **Estimación de biomasa zooplanctónicas a partir de datos de IAA**

A fin de estimar la relación de la biomasa zooplanctónica obtenida por métodos acústicos contra las variables físicas, se transformaron los datos de IAA, obtenidos en cada estación de CTD a biomasa en peso seco para la campaña PROMEBIO 3 (Secas, 2000). La biomasa se calculó usando la fórmula de Lara López (2003):

$$\text{Log}_{10}(PS) = 6.1115 + 0.05518 \times IAA$$

Donde  $PS$  es la biomasa en peso seco; esta fórmula fue obtenida mediante una correlación entre la  $IAA$  y la biomasa en peso seco obtenido mediante arrastres de redes de la cual se obtuvo una  $R^2$  de 0.48, que aunque es baja por diversos factores que explica Lara López (2003) en su trabajo, es aceptable ya que muestra un nivel de significancia muy aceptable, además de que presenta la misma tendencia descrita por otros investigadores.

### **Procesamiento de la información**

Con los resultados se elaboraron matrices conteniendo datos de fecha, posición geográfica, hora, profundidad, temperatura, salinidad, densidad relativa y biomasa obtenida por los métodos de redes y biomasa obtenida por el método acústico. Debido a que los datos de las biomasa zooplanctónicas obtenidas por método biológico, no son continuos, sino que se tomaron en diferentes Intervalos de profundidades (10 a 20m, 20 a 30 m etc.), se tomó la temperatura, salinidad y densidad relativa, correspondientes a la profundidad media en que se obtuvieron, a fin de que coincidieran dichos datos para los análisis estadísticos que se realizaron.

Se crearon perfiles verticales de diferentes variables físicas para cada uno de los transectos y se sobrepusieron los valores de biomasa determinados a partir de datos de redes en cada uno de ellos.

Para poder observar la correspondencia de los datos de biomasa con respecto a las diferentes variables físicas a diferentes niveles de profundidad se elaboraron gráficos de dispersión horizontal.

A fin de poder determinar las diferencias significativas en la distribución temporal y espacial de la biomasa zooplanctónica obtenida por el método de redes y la existencia en la influencia de las variables físicas se efectuaron los siguientes análisis estadísticos:

- Análisis de Varianza Múltiple (ANOVA). Este análisis se realizó, para determinar la diferencia significativa de las biomazas zooplanctónicas entre campañas oceanográficas (temporalidad). Para realizar lo anterior, se agruparon los datos de biomasa de los diferentes niveles por campaña en columnas y posteriormente se realizó una prueba Anova unifactorial entre los datos de dos campañas de acuerdo al número de combinaciones que se describen en la tabla 2.

Tabla 2

Combinaciones que existen para la realización de la prueba ANOVA

Campaña (época del año)	PROMEBIO 2 (nortes, 1999)	PROMEBIO 3 (secas, 2000)	PROMEBIO 4 (secas, 2001)	PROMEBIO 5 (lluvias, 2001)	PROMEBIO 7 (nortes, 2003)
PROMEBIO 2 (nortes, 1999)					
PROMEBIO 3 (secas, 2000)					
PROMEBIO 4 (secas, 2001)					
PROMEBIO 5 (lluvias, 2001)					
PROMEBIO 7 (nortes, 2003)					
PROMEBIO 9 (lluvias, 2004)					

Cabe mencionar que antes de realizar la prueba Anova, a cada conjunto de datos se les realizó la prueba de Kolgomorov-Smirnov para comprobar que tuvieran una distribución normal, lo cual fue confirmado satisfactoriamente.

- Matriz de similitud. Que establece el grado de similitud entre variables o estaciones. El coeficiente de similitud usado en el análisis fue el de distancias euclidianas.
- Análisis de componentes principales (PCA). El PCA establece un arreglo de puntos de muestreo en un espacio multidimensional, en el cual los puntos son proyectados en función de su mejor ajuste con las variables o dimensiones que componen el espacio.

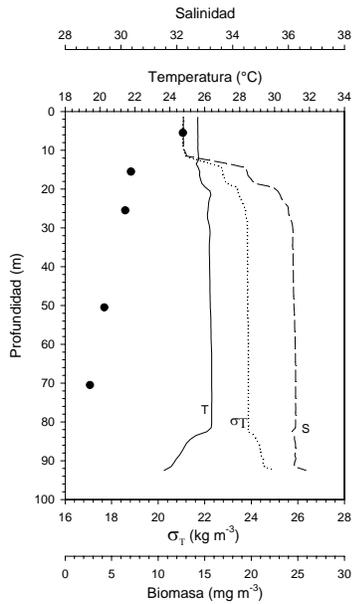
## RESULTADOS

### **Distribución vertical de variables físicas y biomasa zooplanctónica (obtenida a partir de muestras capturadas con redes)**

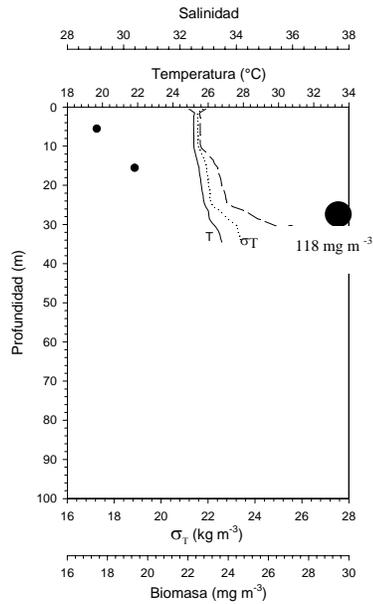
PROMEBIO 2 (nortes, 1999)

La distribución vertical de las variables físicas (temperatura, salinidad y densidad relativa) en la columna de agua durante la campaña de nortes de 1999 (Fig. 6 y Tabla 3) muestra una termoclina entre los 10 y 12 metros de profundidad, así como una haloclina y picnoclina a los 10 metros de profundidad. En las estaciones 12, 22 y 24 no se logró distinguir estas clinas. Con respecto a la biomasa zooplanctónica se puede observar que los valores máximos se registraron en las clinas o por arriba de estas, es decir en la capa de mezcla. El valor más alto fue en la estación 10 a 25 m de profundidad ( $116.89 \text{ mg m}^{-3}$ ). Mismo que esta muy por arriba del promedio de los demás, tal vez debido a que en esa estación y a esa profundidad hay gran concentración de materia orgánica. El valor mínimo se obtuvo en la estación 20 con una biomasa de  $0.24 \text{ mg m}^{-3}$ .

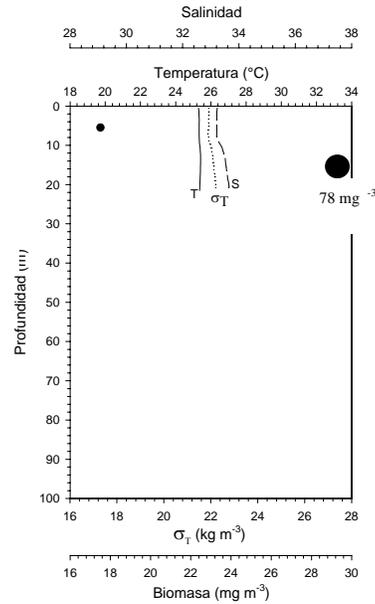
a) Estación 8



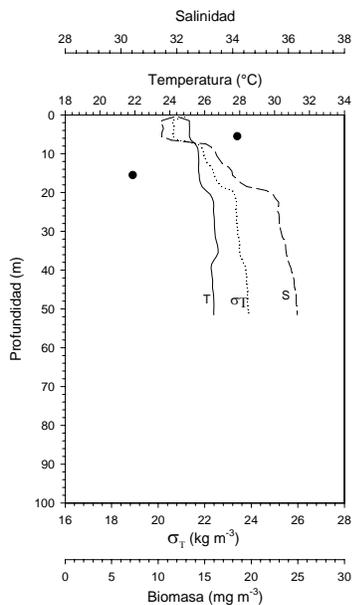
b) Estación 10



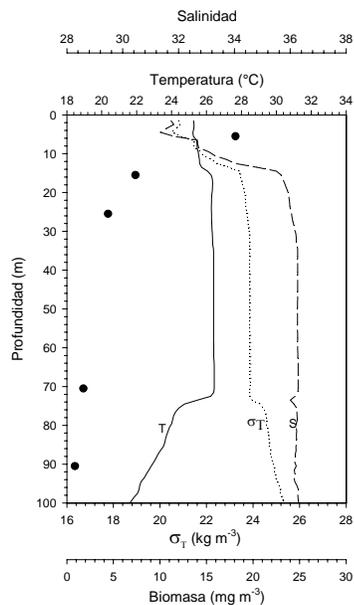
c) Estación 12



d) Estación 13



e) Estación 14



f) Estación 20

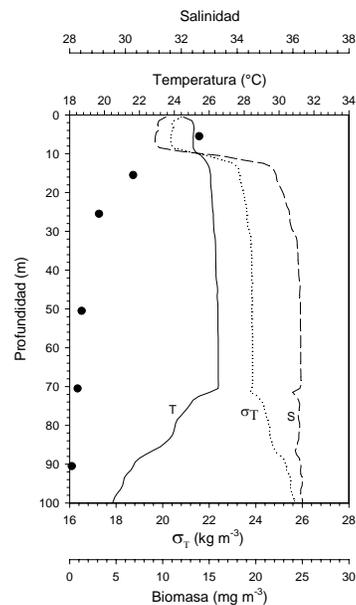
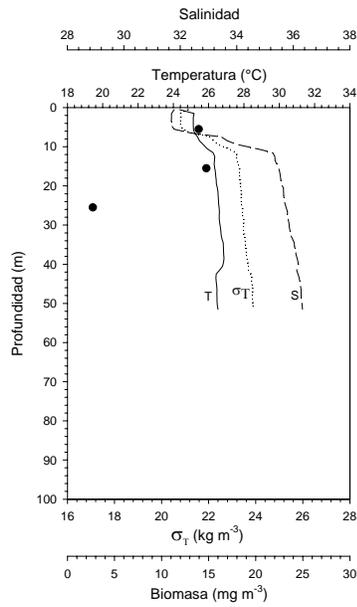
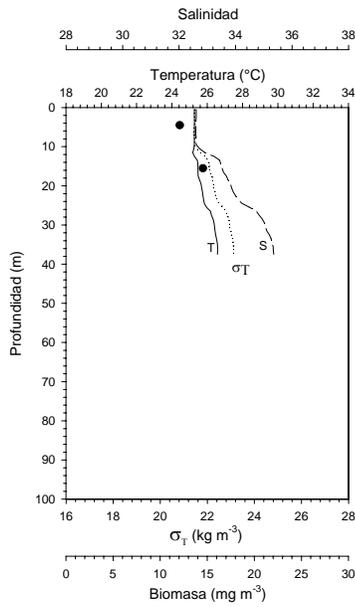


Fig. 6 Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 2 (época de nortes, 1999).

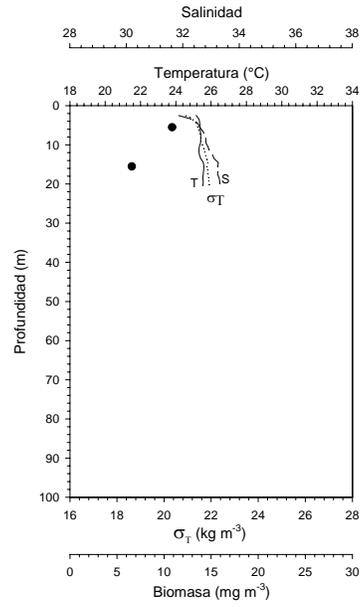
g) Estación 21



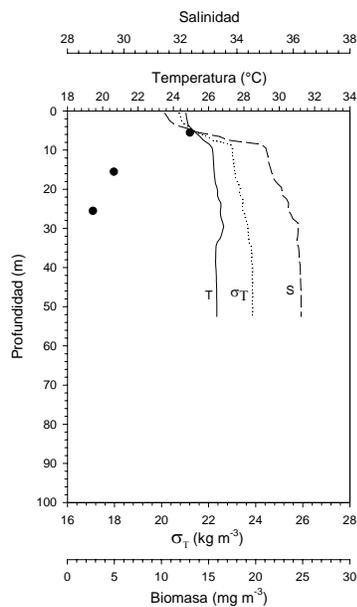
h) Estación 22



i) Estación 24



j) Estación 26



k) Estación 27

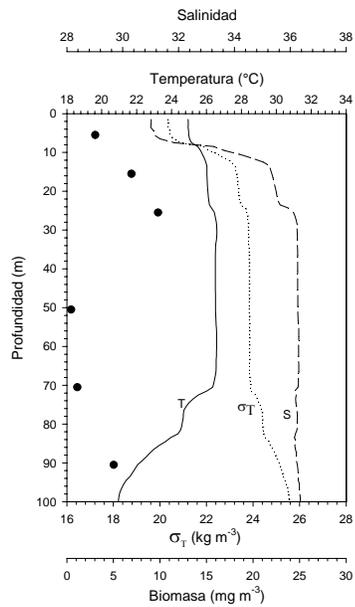


Fig. 6 cont. Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 2 (época de nortes, 1999).

Tabla 3

Profundidad (m) de clinas (termoclina, haloclina y picnoclina), valores máximos y mínimos de biomasa ( $\text{mg m}^{-3}$ ) con sus profundidades (m), para la campaña PROMEBIO 2 (nortes, 1999)

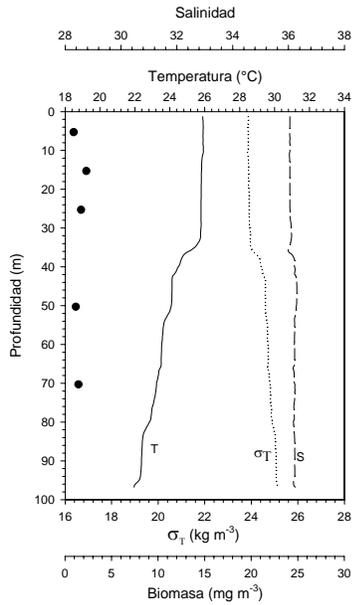
Estación	Profundidad de termoclina (m)	Profundidad de haloclina (m)	Profundidad de picnoclina (m)	Biomasa máxima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa máxima (m)	Biomasa mínima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa mínima (m)
8	12	10	10	12.35	5	2.67	70
10	-	25	25	116.89	25	17.47	5
12	-	-	-	76.73	15	4.03	5
13	-	10	10	18.50	5	7.25	15
14	10	10	10	18.12	5	0.87	90
20	10	10	10	13.92	5	0.24	90
21	-	10	10	19.77	15	2.70	5
22	-	-	-	14.54	15	12.08	5
24	-	-	-	10.85	5	6.58	15
26	-	10	10	13.02	5	2.72	25
27	10	10	10	9.8	25	0.47	50

#### PROMEBIO 3 (secas, 2000)

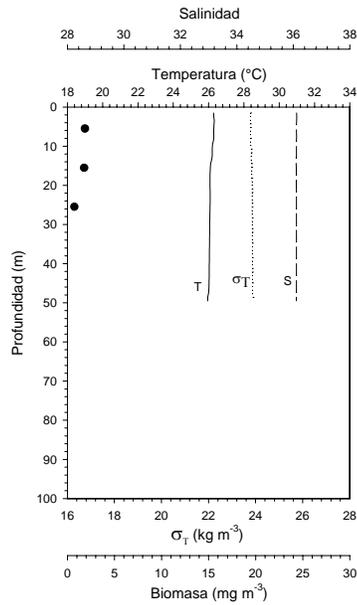
La termoclina, y picnoclina se encuentran entre los 30 y 45 m de profundidad en las estaciones 6, 11, 12, 15, 16, 20 y 21. En ninguna estación se observó la haloclina, por lo que se deduce que la densidad relativa esta gobernada por la temperatura. En las estaciones 7, 8, 9, 10, 17, 18 y 19 no se observaron clinas. En las estaciones que presentaron clinas, los valores máximos de la biomasa zooplanctónica al igual que en la campaña anterior se registraron por encima o al nivel de éstas. Se puede observar que en las estaciones donde no hay clinas se encuentran valores máximos de biomasa a niveles inferiores, lo que nos hace suponer que las clinas tienen influencia en la abundancia del zooplancton. El valor máximo de biomasa

zooplanctónica de  $20.40 \text{ mg m}^{-3}$  se registró en la estación 18 a una profundidad de 5 m y el valor mínimo de  $0.14 \text{ mg m}^{-3}$  se obtuvo en la estación 12 a 70 m de profundidad (Fig. 7 y Tabla 4).

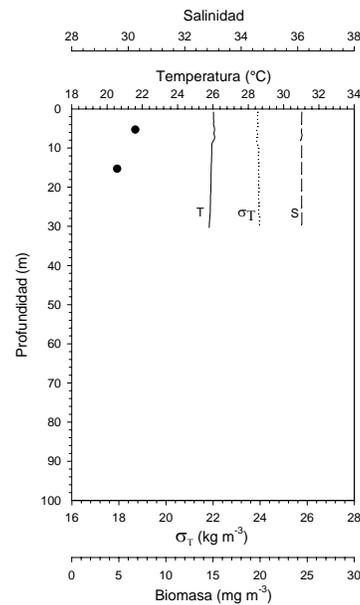
a) Estación 6



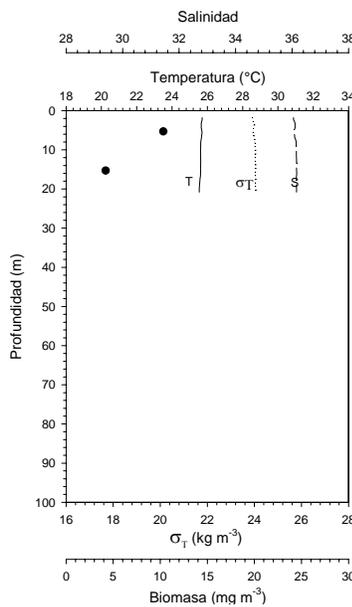
b) Estación 7



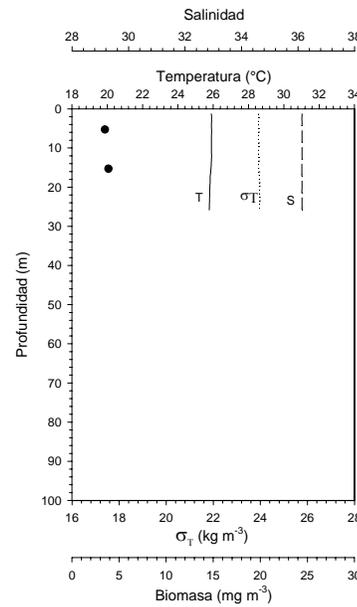
c) Estación 8



d) Estación 9



e) Estación 10



f) Estación 11

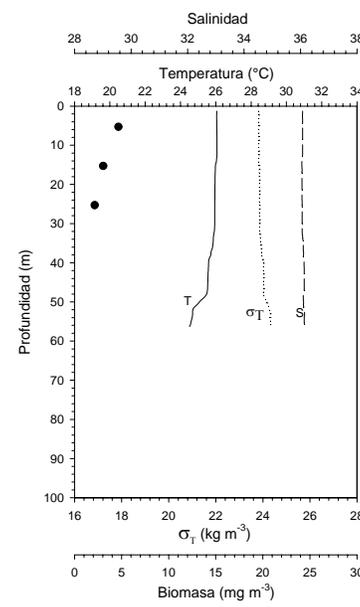
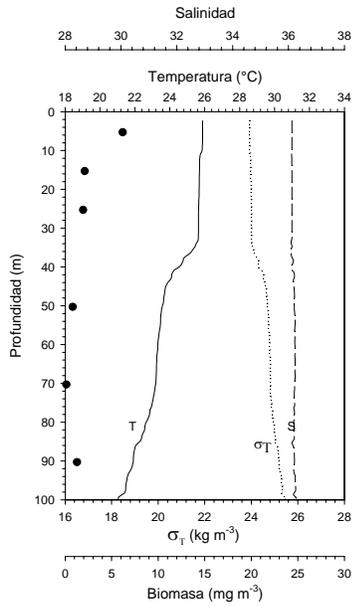
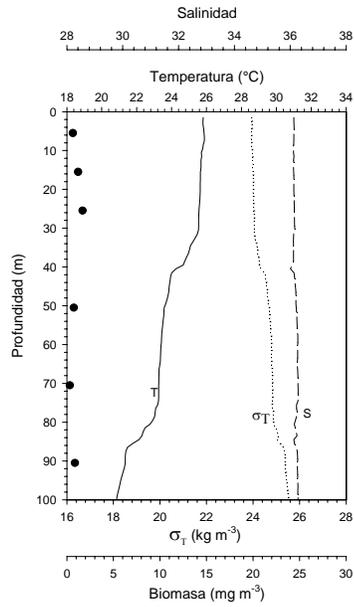


Fig. 7 Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 3 (época de secas, 2000).

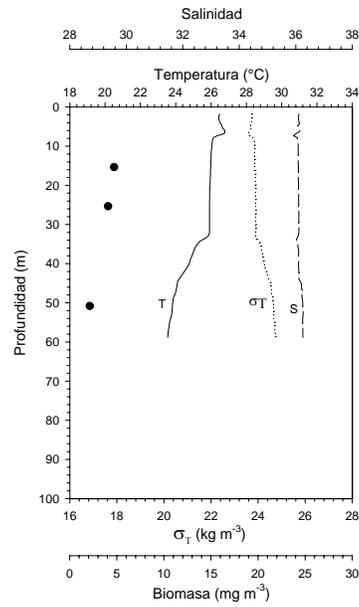
g) Estación 12



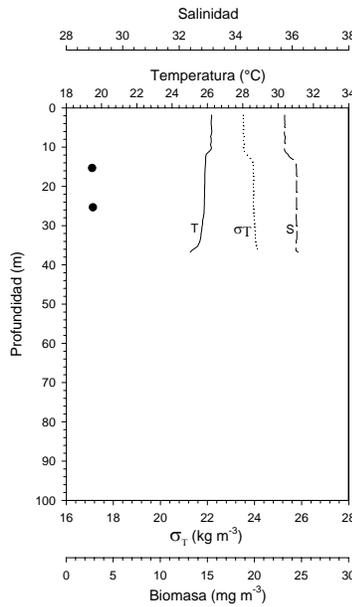
h) Estación 15



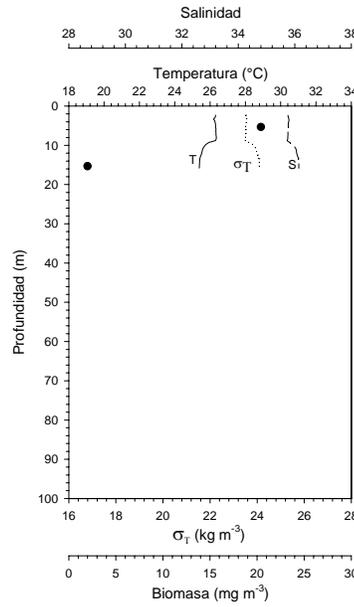
i) Estación 16



j) Estación 17



k) Estación 18



l) Estación 19

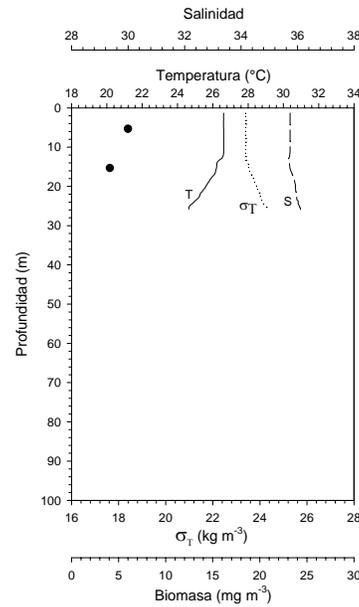
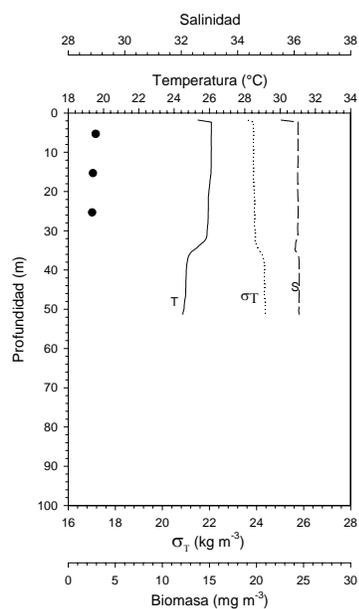


Fig. 7 cont. Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 3 (época de secas, 2000).

m) Estación 20



n) Estación 21

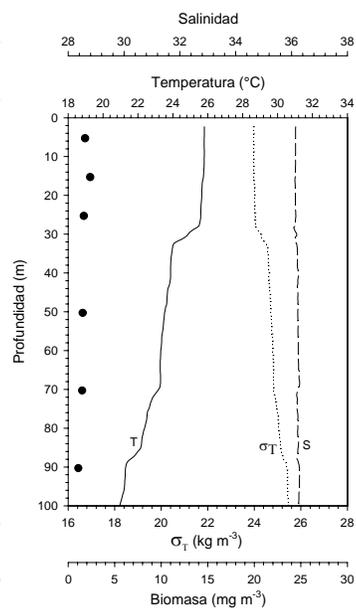


Fig. 7 cont. Perfiles verticales de temperatura (°C, línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 3 (épocas de secas, 2000).

Tabla 4

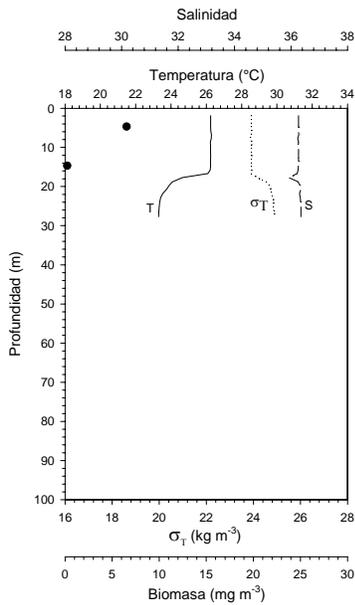
Profundidad (m) de clinas (termoclina, haloclina y picnoclina), valores máximos y mínimos de biomasa ( $\text{mg m}^{-3}$ ) con sus profundidades (m), para la campaña PROMEBIO 3 (secas, 2000)

Estación	Profundidad de termoclina (m)	Profundidad de haloclina (m)	Profundidad de picnoclina (m)	Biomasa máxima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa máxima (m)	Biomasa mínima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa mínima (m)
6	35	-	35	2.29	15	0.94	50
7	-	-	-	1.87	15	0.75	25
8	-	-	-	6.75	5	4.83	15
9	-	-	-	10.33	5	4.21	15
10	-	-	-	3.88	15	3.50	5
11	48	-	48	4.67	5	2.14	25
12	35	-	35	6.18	5	0.14	70
15	30	-	30	1.70	25	0.32	70
16	35	-	35	4.72	15	2.13	50
17	-	-	-	2.85	25	2.77	15
18	-	-	-	20.40	5	1.99	15
19	-	-	-	6.0	5	4.08	15
20	35	-	35	3.93	5	2.54	15
21	28	-	28	2.37	15	1.09	90

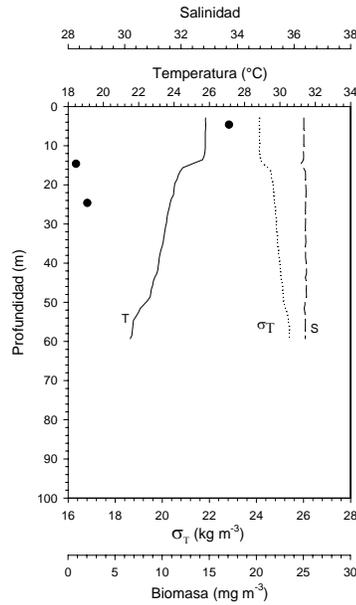
PROMEBIO 4 (secas, 2001)

La termoclina y picnoclina se observaron aproximadamente entre los 10 y 18 m de profundidad. La haloclina sólo se presentó en la estación 17 a una profundidad de 10 m. Las máximas biomazas zooplanctónicas ( $6.11 \text{ mg m}^{-3}$  y  $17.11 \text{ mg m}^{-3}$ ) se registraron por arriba de las clinas en todas las estaciones de muestreo a excepción de las estaciones 12, 15 y 17, donde la máxima biomasa se observó por debajo de éstas a 90 m, 50 m y 25 m de profundidad con  $12.82 \text{ mg m}^{-3}$ ,  $6.11 \text{ mg m}^{-3}$  y  $12.62 \text{ mg m}^{-3}$  respectivamente (Fig. 8 y Tabla 5).

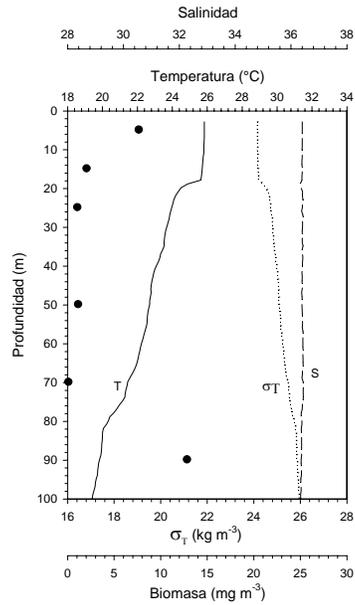
a) Estación 10



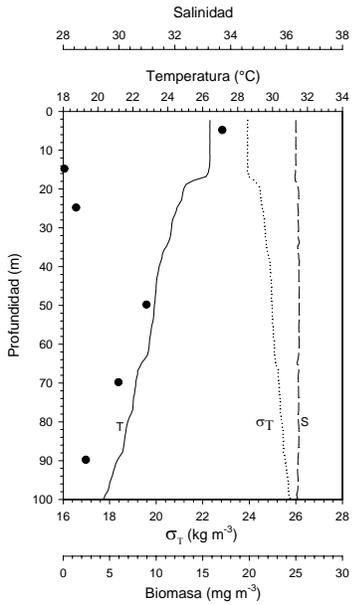
b) Estación 11



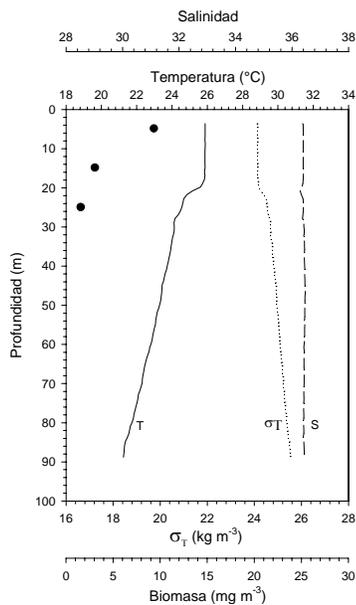
c) Estación 12



d) Estación 13



e) Estación 14



f) Estación 15

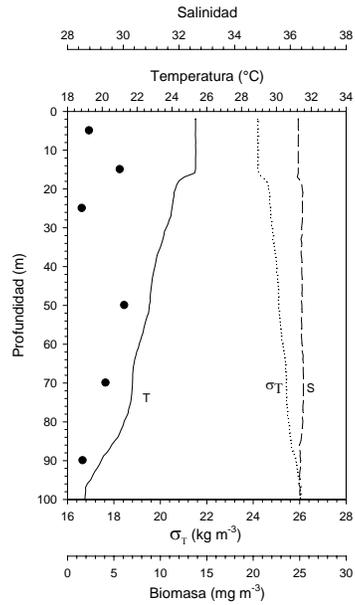
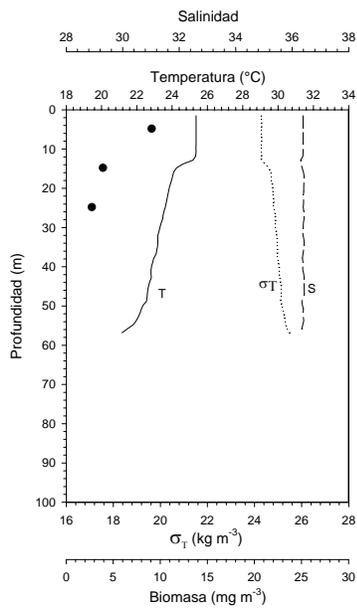


Fig. 8 Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 4 (época de secas, 2001).

g) Estación 16



h) Estación 17

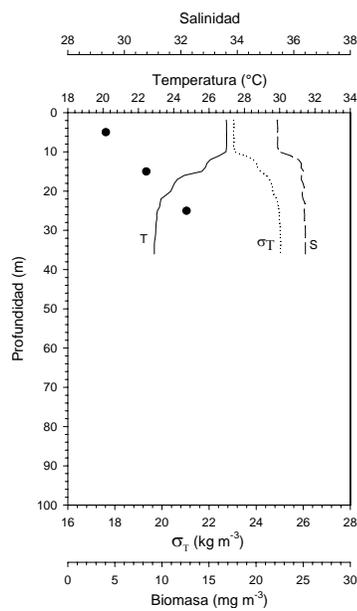


Fig. 8 cont. Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 4 (época de secas, 2001).

Tabla 5

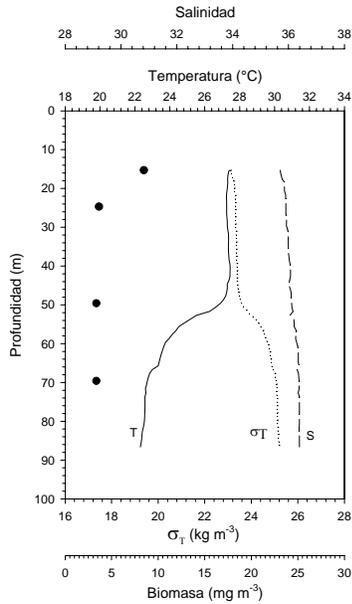
Profundidad (m) de clinas (termoclina, haloclina y picnoclina), valores máximos y mínimos de biomasa ( $\text{mg m}^{-3}$ ) con sus profundidades (m), para la campaña PROMEBIO 4 (secas, 2001)

Estación	Profundidad de termoclina (m)	Profundidad de haloclina (m)	Profundidad de picnoclina (m)	Biomasa máxima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa máxima (m)	Biomasa mínima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa mínima (m)
10	18	-	18	6.54	5	3.23	15
11	18	-	18	17.09	5	0.85	15
12	18	-	18	12.82	90	0.09	70
13	18	-	18	17.11	5	0.14	15
14	18	-	-	9.35	5	1.57	25
15	18	-	18	6.11	50	1.54	90
16	12	-	12	9.08	5	2.74	25
17	10	10	10	12.62	25	4.05	5

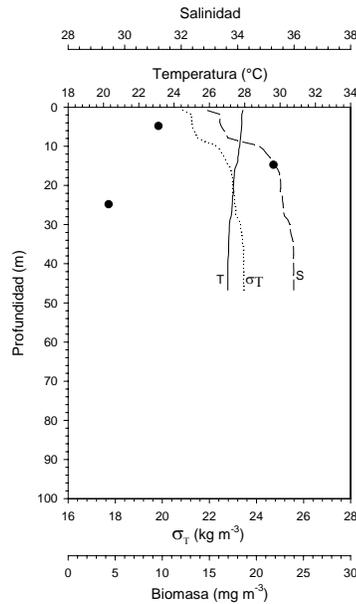
#### PROMEBIO 5 (lluvias, 2001)

La termoclina se presentó a los 50 m de profundidad en las estaciones 5, 13 y 19, y a los 30 m en la estación 14. La haloclina sólo se presentó en la estación 7 a los 10 m de profundidad. La picnoclina se presentó a los 50 m en la estación 5, a los 10 m en la estación 7 y a los 30 m en la estación 14. Con respecto a la distribución vertical de la biomasa zooplanctónica, se observó que las máximas registradas en estas estaciones de muestreo, van de  $8.47 \text{ mg m}^{-3}$  a  $74.40 \text{ mg m}^{-3}$ ; mismas que se encuentran por arriba de la termoclina y picnoclina. Las biomásas mínimas que van de  $0.46 \text{ mg m}^{-3}$  a  $4.30 \text{ mg m}^{-3}$  se encuentran por debajo de las clinas (Fig. 9 y Tabla 6).

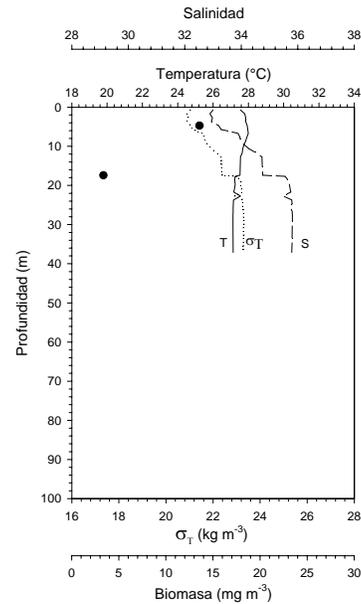
a) Estación 5



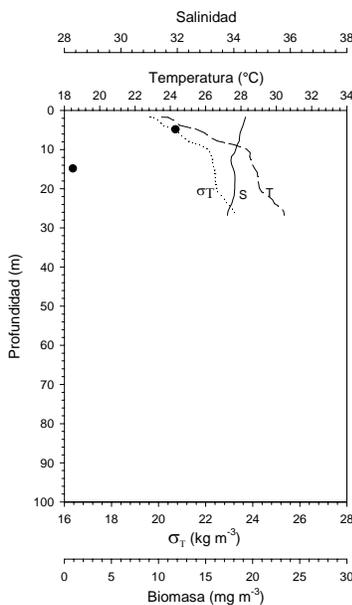
b) Estación 7



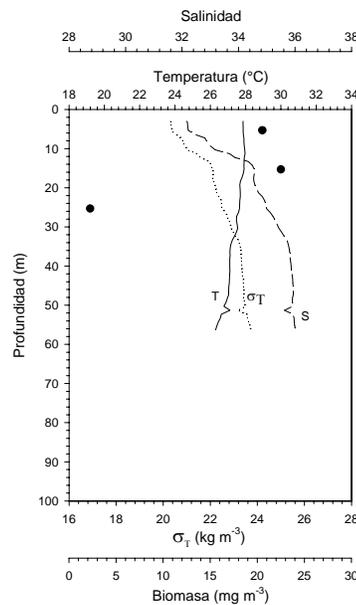
c) Estación 8



d) Estación 9



e) Estación 11



f) Estación 13

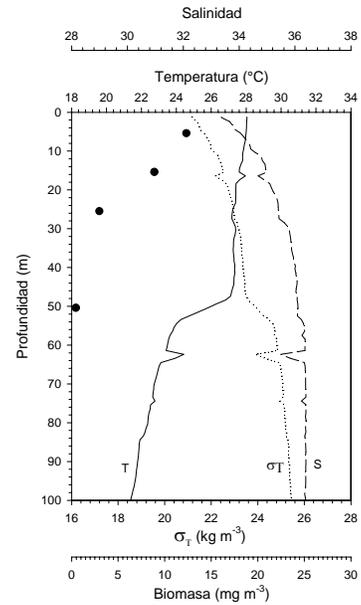
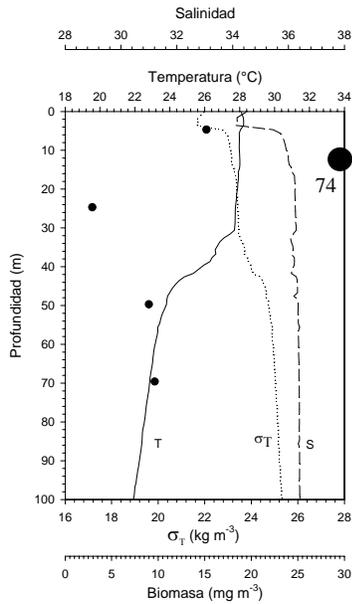
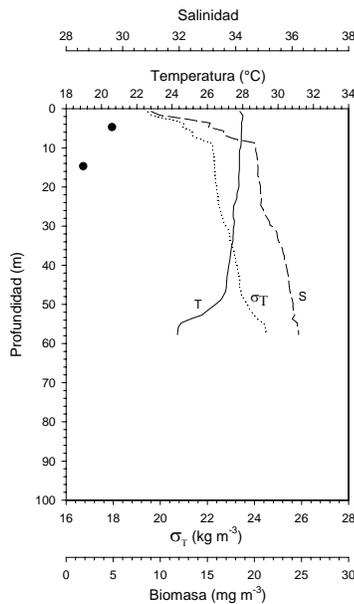


Fig. 9 Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias, 2001).

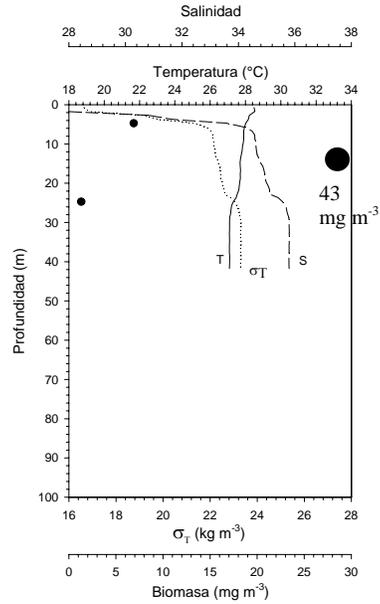
g) Estación 14



h) Estación 19



i) Estación 20



j) Estación 22

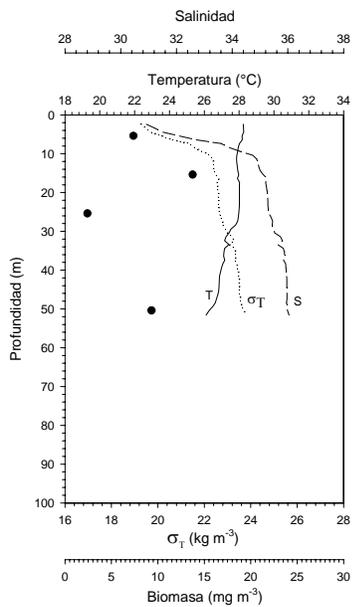


Fig. 9 cont. Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias, 2001).

Tabla 6

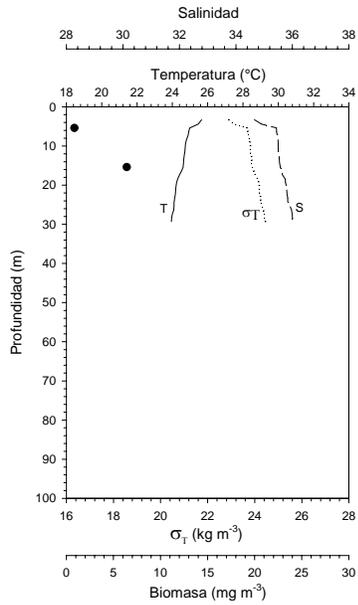
Profundidad (m) de clinas (termoclina, haloclina y picnoclina), valores máximos y mínimos de biomasa ( $\text{mg m}^{-3}$ ) con sus profundidades (m), para la campaña PROMEBIO 5 (lluvias, 2001)

Estación	Profundidad de termoclina (m)	Profundidad de haloclina (m)	Profundidad de picnoclina (m)	Biomasa máxima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa máxima (m)	Biomasa mínima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa mínima (m)
5	50	-	50	8.47	15	3.36	70
7	-	10	10	21.81	15	4.30	25
8	-	-	-	13.57	5	3.36	15
9	-	-	-	11.81	5	0.91	15
11	-	-	-	22.51	15	2.25	25
13	50	-	-	12.33	5	0.46	50
14	30	-	30	74.41	10	2.92	25
19	50	-	-	4.88	5	1.82	15
20	-	-	-	43.43	15	1.32	25
22	-	-	-	13.75	15	2.42	25

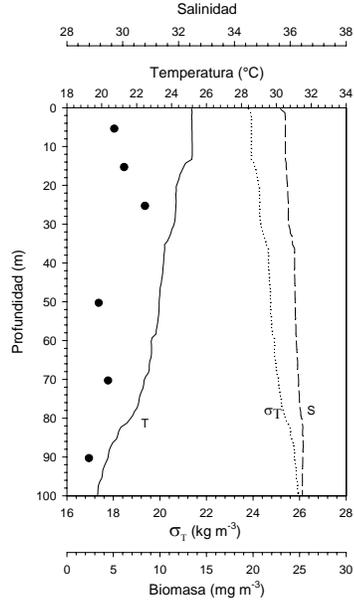
PROMEBIO 7 (nortes, 2001)

Durante esta campaña no se observaron clinas en las estaciones de muestreo, por lo cual los valores máximos de biomasa no siempre estuvieron en los primeros niveles de profundidad. El valor máximo registrado de biomasa zooplanctónica fue de  $8.40 \text{ mg m}^{-3}$  en la estación 201 a la profundidad de 25 m y el valor mínimo fue de  $0.40 \text{ mg m}^{-3}$  en la estación 212 a 90 m de profundidad (Fig. 10 y Tabla 7).

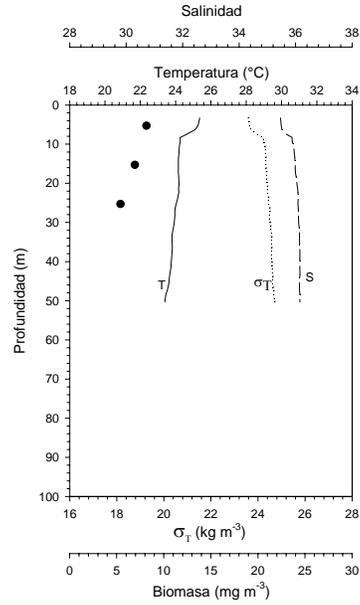
a) Estación 197



b) Estación 201



c) Estación 210



d) Estación 212

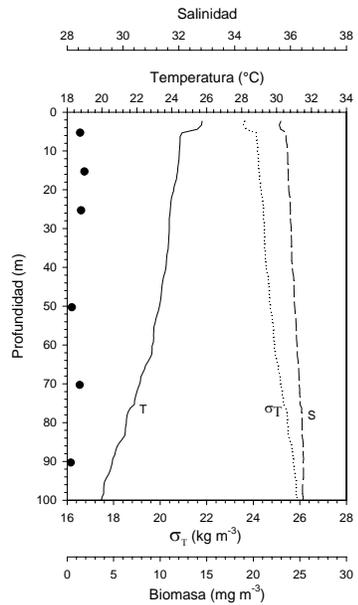


Fig. 10 Perfiles verticales de temperatura (°C, línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T (Kg m<sup>-3</sup>, línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco (mg m<sup>-3</sup>, puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 7 (épocas de nortes, 2003).

Tabla 7

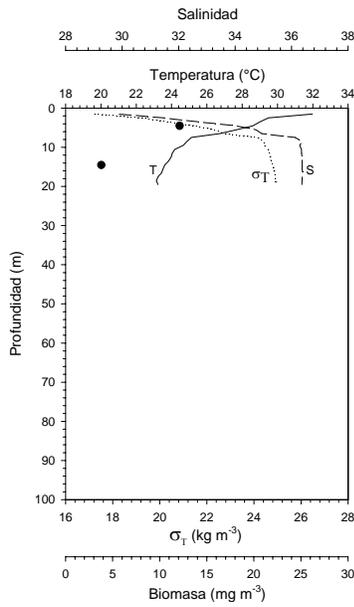
Profundidad (m) de clinas (termoclina, haloclina y picnoclina), valores máximos y mínimos de biomasa ( $\text{mg m}^{-3}$ ) con sus profundidades (m), para la campaña PROMEBIO 7 (nortes, 2003)

Estación	Profundidad de termoclina (m)	Profundidad de haloclina (m)	Profundidad de picnoclina (m)	Biomasa máxima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa máxima (m)	Biomasa mínima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa mínima (m)
197	-	-	-	6.42	15	0.85	5
201	-	-	-	8.40	25	2.38	90
210	-	-	-	8.16	5	0.51	25
212	-	-	-	1.87	15	0.40	90

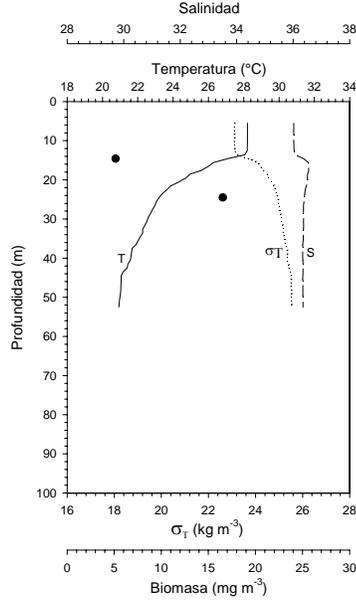
#### PROMEBIO 9 (lluvias, 2004)

En esta campaña, la biomasa máxima de zooplancton, al igual que en la mayoría de las campañas anteriores, se registró sobre la capa de mezcla. La termoclina y picnoclina se observaron entre los 10 y 25 m de profundidad. La mayor biomasa obtenida fue de  $17.25 \text{ mg m}^{-3}$  en la estación 14 a los 15 m de profundidad y la menor fue de  $0.90 \text{ mg m}^{-3}$  en la misma estación a los 25 m de profundidad (Fig. 11 y Tabla 8).

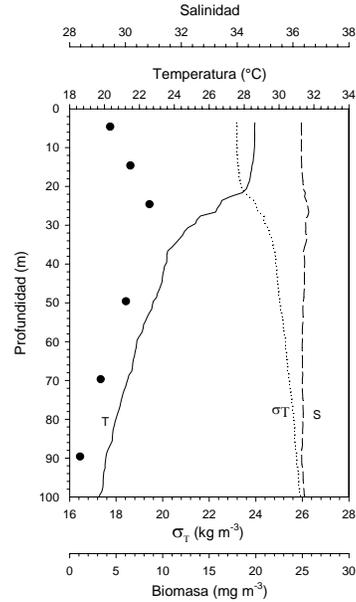
a) Estación 9



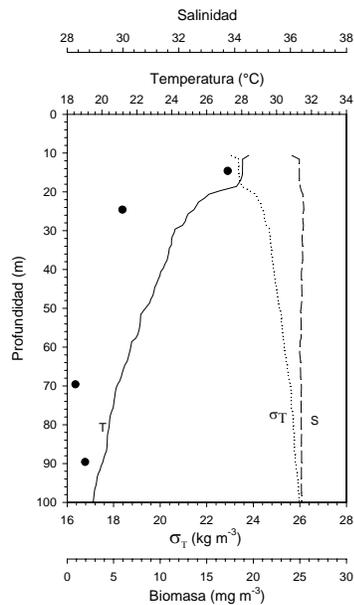
b) Estación 11



c) Estación 13



d) Estación 14



e) Estación 16

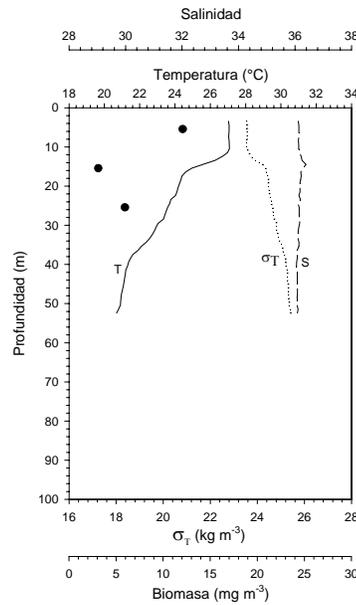


Fig. 11 Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), sigma-T ( $\text{Kg m}^{-3}$ , línea punteada) y biomasa zooplanctónica expresada en peso seco ( $\text{mg m}^{-3}$ , puntos negros) registrados durante la campaña PROMEBIO 9 (época de lluvias, 2004).

Tabla 8

Profundidad (m) de clinas (termoclina, haloclina y picnoclina), valores máximos y mínimos de biomasa ( $\text{mg m}^{-3}$ ) con sus profundidades en m, para la campaña PROMEBIO 9 (lluvias, 2004)

Estación	Profundidad de termoclina (m)	Profundidad de haloclina (m)	Profundidad de picnoclina (m)	Biomasa máxima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa máxima (m)	Biomasa mínima ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Profundidad de la Biomasa mínima (m)
9	-	-	-	12.11	5	3.79	15
11	15	-	15	16.54	25	5.16	15
13	20	-	20	8.59	25	1.12	90
14	20	-	20	17.25	15	0.90	25
16	10	-	10	12.09	5	3.11	15

### Distribución horizontal de biomasa zooplanctónica (obtenida a partir de muestras capturadas con redes) y variables físicas

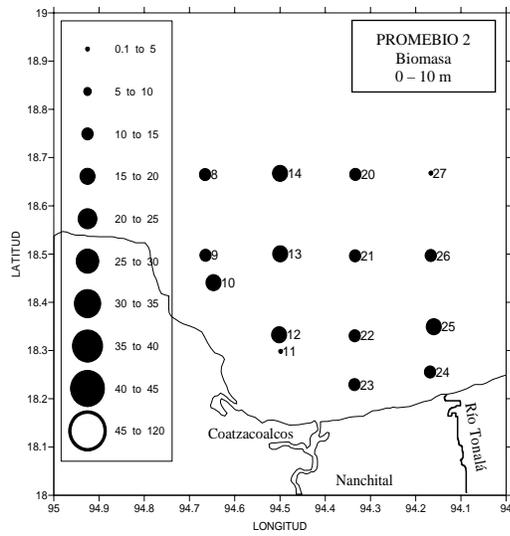
La escala que se escogió para la esquematización de la biomasa zooplanctónica en círculos negros fue de 5 en 5 hasta  $45 \text{ mg m}^{-3}$ . Después de esto, como los valores por arriba de  $45 \text{ mg m}^{-3}$  son muy pocos, se representaron con un círculo blanco mostrando el valor de biomasa obtenido en el centro.

#### PROMEBIO 2 (nortes, 1999)

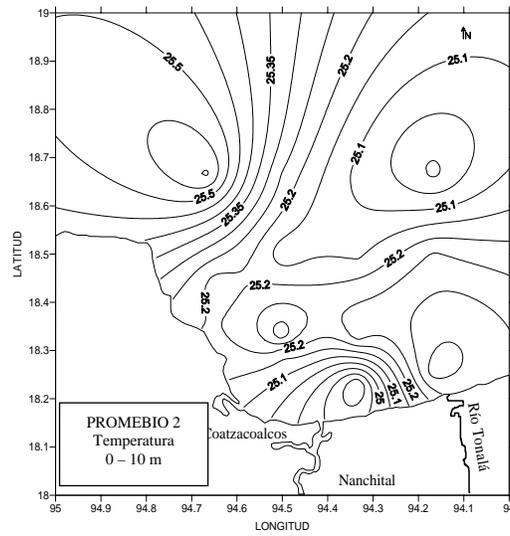
En lo referente a la distribución horizontal de la biomasa zooplanctónica y de las variables físicas (temperatura, salinidad y densidad relativa) a diferentes niveles de profundidad, se observó que la biomasa zooplanctónica registrada durante esta campaña, en el nivel de 0 a 10 m de profundidad presenta una abundancia relativamente homogénea entre las estaciones, con valores que van desde  $15 \text{ mg m}^{-3}$  a  $20 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 12 a). La distribución de las variable físicas, coinciden en la presencia de un núcleo de valor bajo, ligeramente a la derecha de la

desembocadura del Río Coatzacoalcos con valores de 25 °C para temperatura, 31 para salinidad y 20 Kg m<sup>-3</sup> para densidad relativa (Fig. 12 b, c, y d).

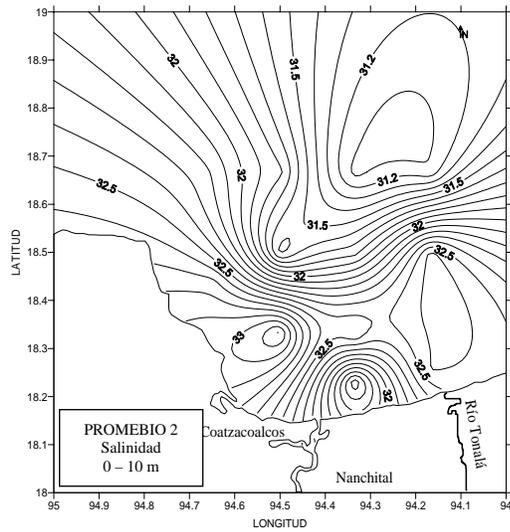
a)



b)



c)



d)

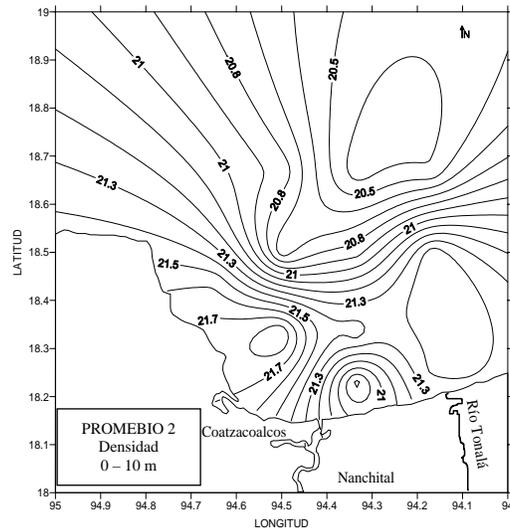


Fig. 12 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica (mg m<sup>-3</sup>), b) temperatura (°C), c) salinidad, y d) densidad relativa (Kg m<sup>-3</sup>), nivel de 0 - 10 m durante la campaña PROMEBIO 2 (época de nortes, 1999).

En la capa de 10 a 20 m de profundidad, los valores más altos de biomasa se presentaron en las estaciones 10 y 12 con  $17.5 \text{ mg m}^{-3}$  y  $76.72 \text{ mg m}^{-3}$  respectivamente (Fig. 13a). Específicamente en la estación 12 se observó una biomasa muy por arriba de las obtenidas en las otras estaciones. Con respecto a la distribución de las variables físicas, se observó que los valores presentan una distribución uniforme horizontal, de menor a mayor conforme se alejan de la costa. Los valores de temperatura van de  $25.3$  a  $26.1$  °C, los de salinidad de  $33.2$  a  $35.2$  y los de la densidad relativa de  $21.8$  a  $23.35 \text{ kg m}^{-3}$  (Fig. 13 b, c, y d)

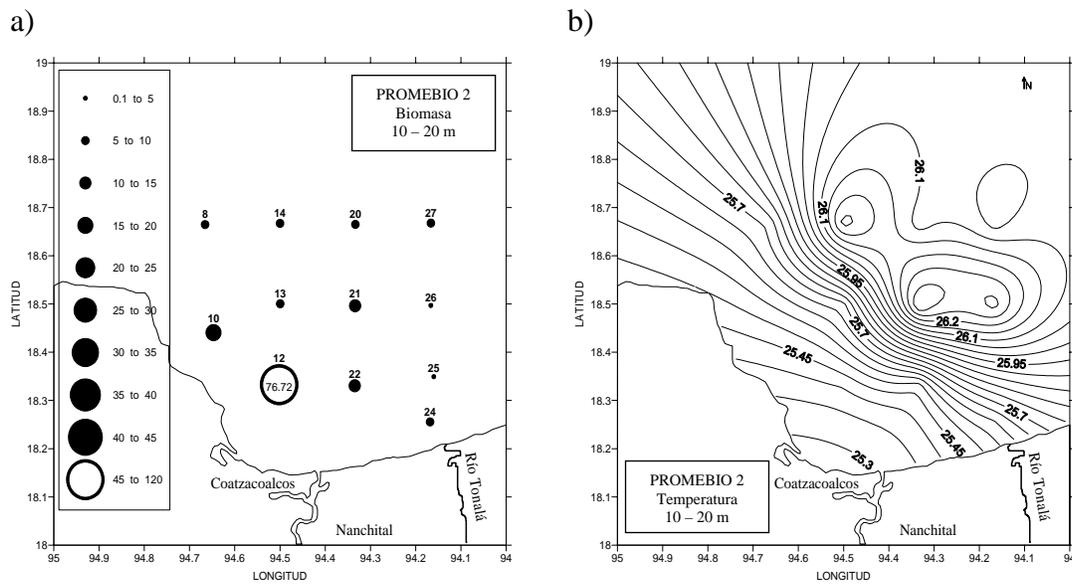


Fig. 13 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad, y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 10 - 20 m durante la campaña PROMEBIO 2 (época de nortes).

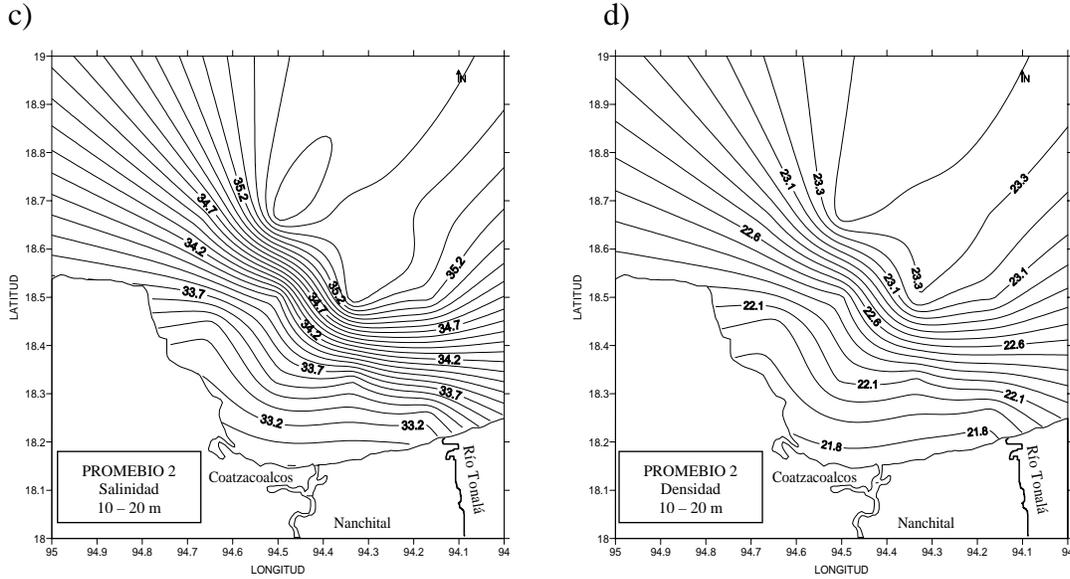


Fig. 13 Cont. Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad, y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 10 - 20 m durante la campaña PROMEBIO 2 (época de nortes).

En el nivel de 20 a 30 m de profundidad, se observó que los valores mayores de biomasa se registraron en las estaciones 8 ( $6.46 \text{ mg m}^{-3}$ ), 27 ( $9.80 \text{ mg m}^{-3}$ ), 9 ( $7.21 \text{ mg m}^{-3}$ ) y 10 ( $116.88 \text{ mg m}^{-3}$ ). En esta última fue donde se presentó la mayor biomasa, muy por arriba de las anteriores (Fig. 14a). Este máximo de biomasa coincide con la presencia de un núcleo de menor valor de las variables físicas (temperatura  $25.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , salinidad  $33.9$  y densidad relativa  $22.3 \text{ kg m}^{-3}$ ) (Fig. 14 b, c, y d).

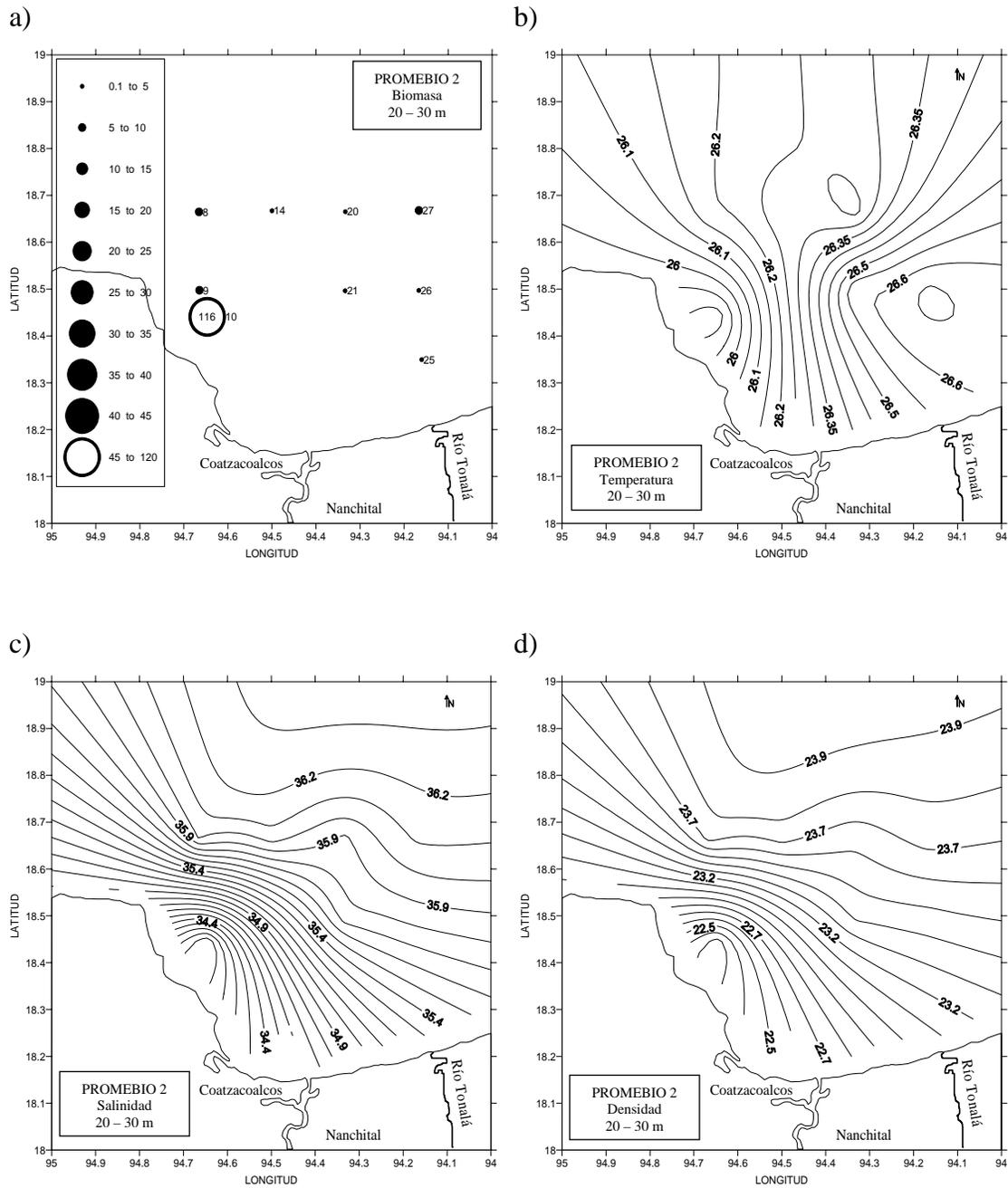


Fig. 14 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 20 - 30 m durante la campaña PROMEBIO 2 (época de nortes, 1999).

Para los niveles de muestreo cuyas profundidades son de 40 a 60 m, 60 a 80 m y 80 a 100 m no se elaboraron mapas de isolíneas debido a las pocas estaciones de muestreo. En el nivel de

40 a 60 m de profundidad, la biomasa mayor se obtuvo en la estación 4 con un valor de  $4.22 \text{ mg m}^{-3}$  y el menor en la estación 27 con  $0.46 \text{ mg m}^{-3}$ . Las variables físicas en las 3 estaciones de muestreo en este nivel presentaron valores muy similares entre sí. La temperatura fue de  $26.32 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $26.49 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $26.52 \text{ }^\circ\text{C}$ , la salinidad de 36.19, 36.26 y 36.27 y la densidad relativa de 23.84, 23.83 y  $23.82 \text{ kg m}^{-3}$  para las estaciones 8, 20 y 27 respectivamente (Fig. 15 a). El intervalo de biomasa para el nivel de 60 a 80 m de profundidad fue de  $0.86 \text{ mg m}^{-3}$  a  $2.67 \text{ mg m}^{-3}$ , el de temperatura, de  $26.35 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $26.50 \text{ }^\circ\text{C}$ , el de salinidad, de 36.24 a 36.28 y el de densidad, de  $23.81 \text{ kg m}^{-3}$  a  $23.89 \text{ kg m}^{-3}$  (Fig. 15 b). Para el nivel de 80 a 100 m, la mayor biomasa se registró en la estación 27 con un valor de  $5.037 \text{ mg m}^{-3}$  y la menor en la estación 20, con  $0.24 \text{ mg m}^{-3}$ . La temperatura mayor fue de  $22.83 \text{ }^\circ\text{C}$  en la estación 14, la salinidad mayor fue de 36.29 en la estación 20 y la sigma-t mayor fue de  $25.30 \text{ Kg m}^{-3}$  en la estación 20 (Fig. 15 c).

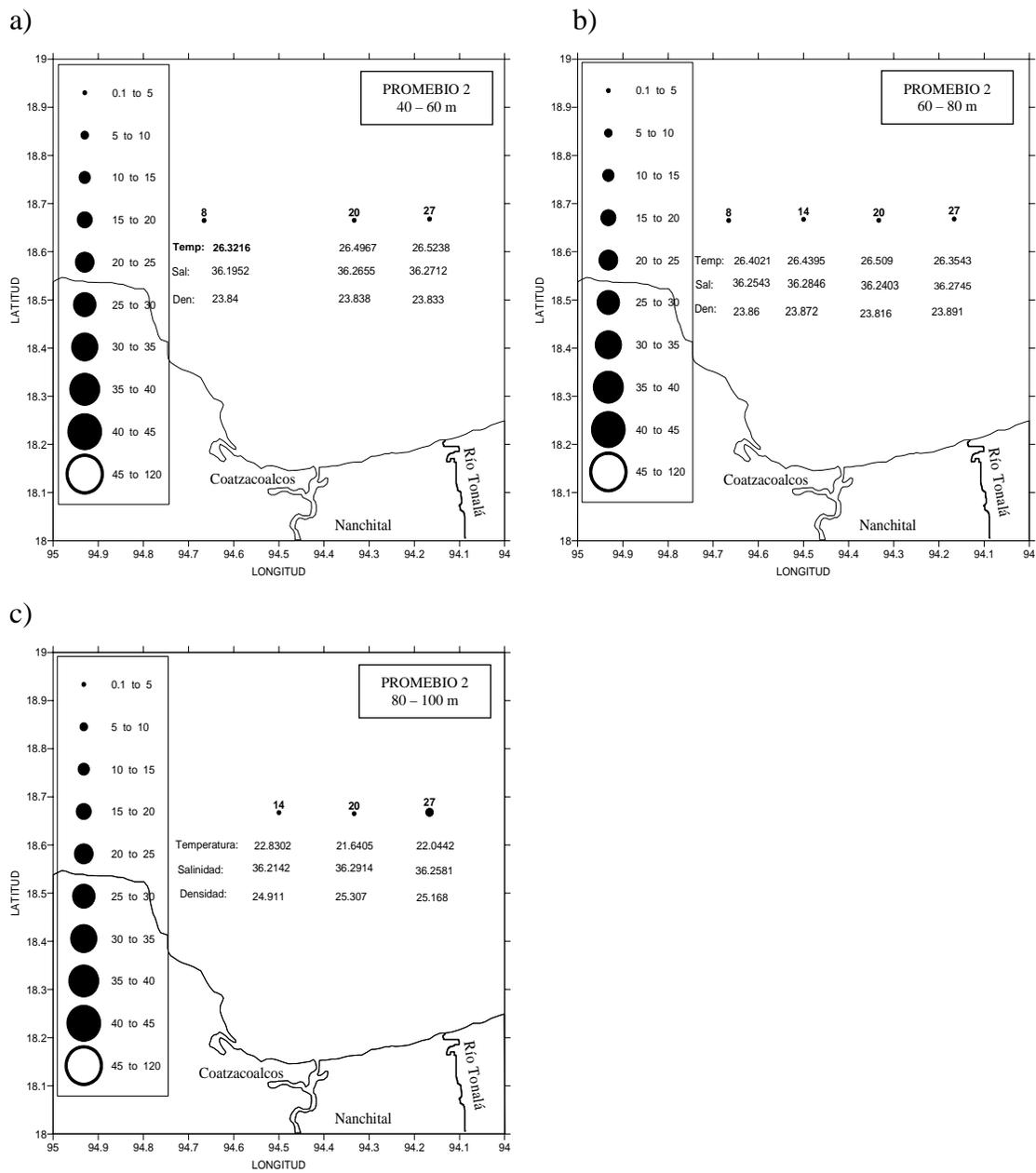
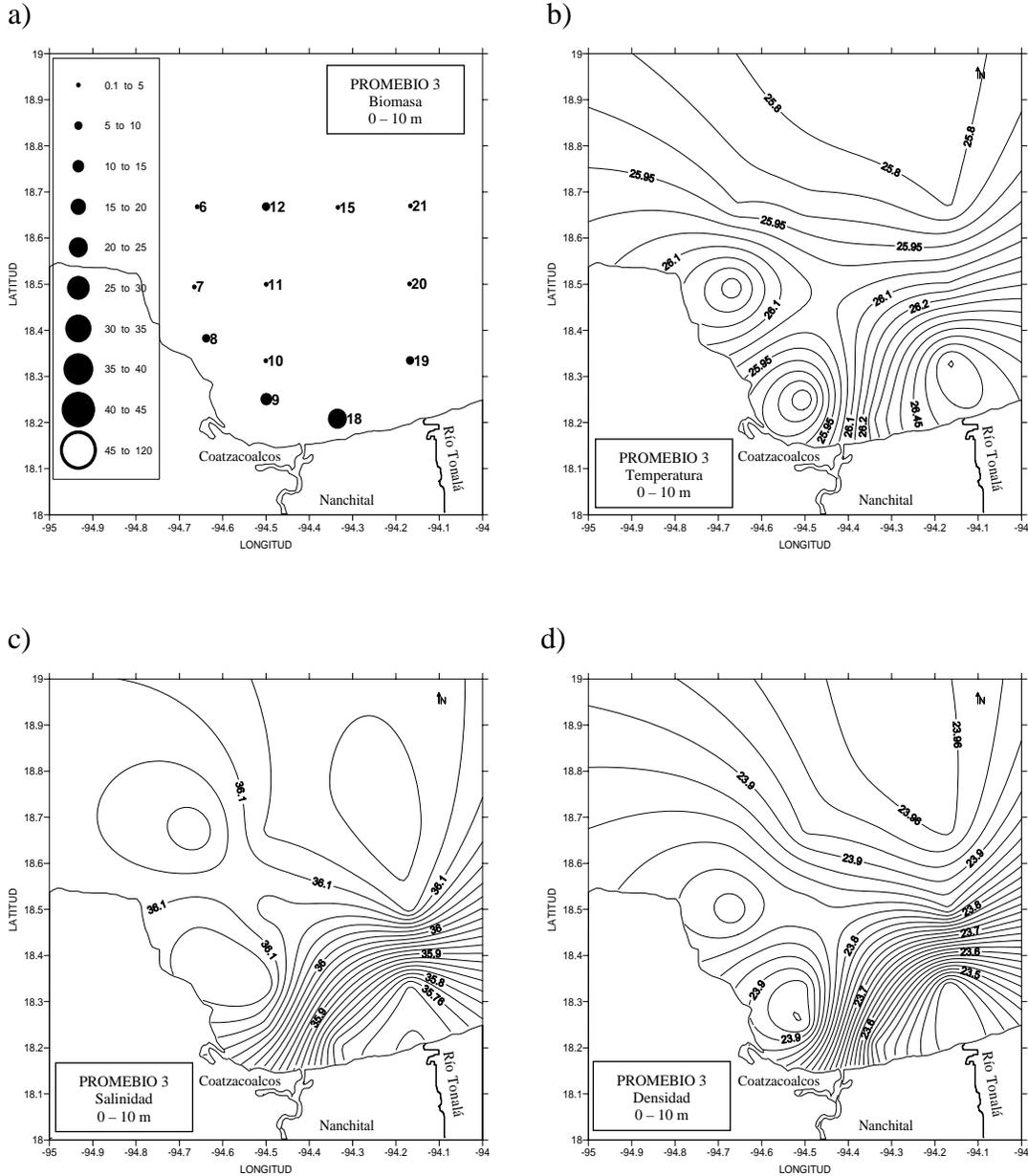


Fig. 15 Distribución horizontal de: biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad y densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), a profundidades de a) 40 - 60 m, b) 60 - 80 m y c) 80 - 100 m durante la campaña PROMEBIO 2 (época de nortes, 1999).

### PROMEBIO 3 (secas, 2000)

Para esta campaña, en la capa de 0 a 10 m de profundidad, la mayor concentración de biomasa se encontró en las estaciones 9 y 18, con valores de 10.33 y 20.40 mg m<sup>-3</sup> respectivamente, mismas que se encuentran cercanas a la costa (Fig. 16 a). En los planos de temperatura y densidad se observó una distribución similar entre estas variables, lo cual nos indica que la temperatura influyó más que la salinidad en la densidad. La temperatura presentó los valores más altos en tres núcleos cercanos a la costa, con valores de 26.25 °C, 25.75 °C y 26.55 °C (Fig. 16 b), la salinidad presentó dos núcleos de alta concentración también cercanos a la costa, con valores de 36.12 y 35.76 (Fig. 16 c) y la densidad relativa tres núcleos con valores de 23.80 Kg m<sup>-3</sup>, 23.92 Kg m<sup>-3</sup> y 23.4 Kg m<sup>-3</sup> (Fig. 16 c).



frente a la desembocadura del río Tonalá con un valor de 35.75; la mayor salinidad se registró frente al Río Coatzacoalcos con valores de 36.16 (Fig. 17 c). La densidad relativa presentó sus valores más altos en frente de la desembocadura del Río Coatzacoalcos con valores de 24.3  $\text{Kg m}^{-3}$  y los más bajos frente al río Tonalá con valores de 23.5  $\text{Kg m}^{-3}$  (Fig. 16 d).

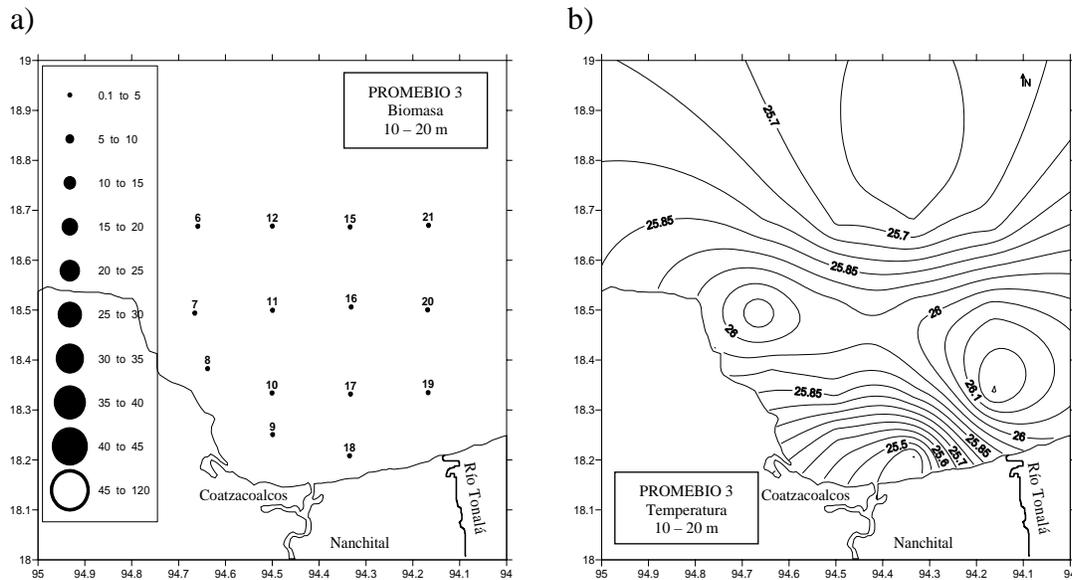


Fig. 17 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 10 - 20 m durante la campaña PROMEBIO 3 (épocas de secas, 2000).

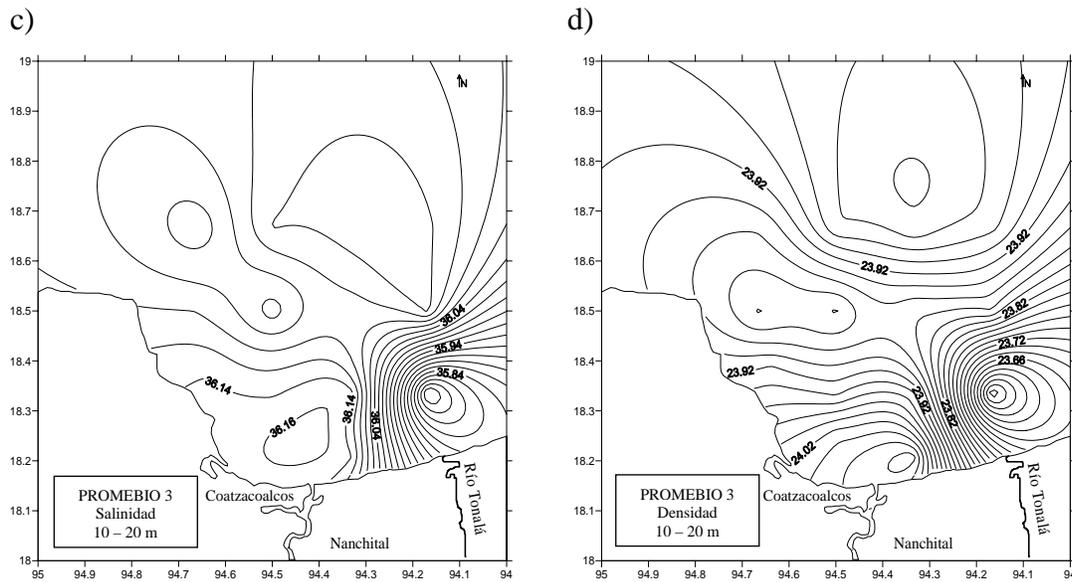


Fig. 17 Cont. Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 10 - 20 m durante la campaña PROMEBIO 3 (épocas de secas, 2000).

A nivel de 20 – 30 m, los valores de la biomasa zooplanctónica entre las estaciones, son muy similares en un intervalo de  $0.75 \text{ mg m}^{-3}$  en la estación 7 a  $2.5 \text{ mg m}^{-3}$  en la estación 20, a excepción de la estación 7 que tiene una biomasa de  $4.07 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 18a). La temperatura presentó sus valores mayores ( $26.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) cerca de la costa oeste, disminuyendo conforme se aleja uno de ésta, hasta llegar a  $25.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo que infiere poca descarga de agua del Río Coatzacoalcos (Fig. 18 b). La salinidad tuvo sus mayores valores en el lado este de la zona de estudio ( $36.15$ ) disminuyendo hacia el lado contrario, hasta llegar a  $36$  (Fig. 18 c). La densidad relativa presentó una distribución inversa a la de la temperatura, el mayor valor estuvo lejos de la costa oeste ( $24.05 \text{ kg m}^{-3}$ ) y el menor cerca de la costa este ( $23.86 \text{ kg m}^{-3}$ ) (Fig. 18 c).

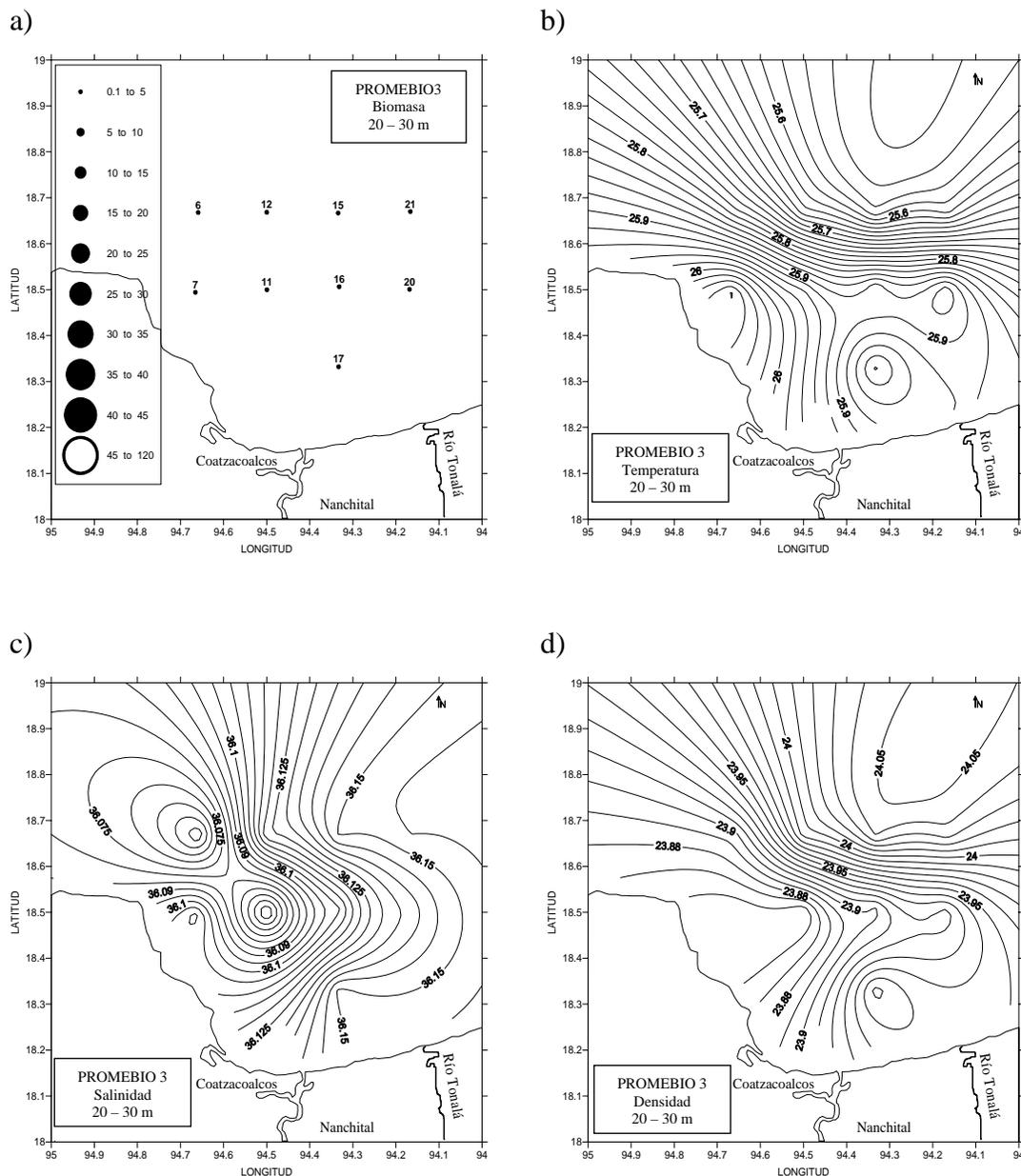


Fig. 18 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 20 a 30 m durante la campaña PROMEBIO 3 (épocas de secas, 2000).

La biomasa zooplanctónica y las variables físicas se mantuvieron con poca variación entre las estaciones en los niveles de 40 – 60 m, 60 – 80 m y 80 – 100 m (Fig. 19 a, b y c). La distribución de la biomasa en los tres niveles de muestreo estuvo en el intervalo de  $0.13 \text{ mg m}^{-3}$  en la estación 12 del nivel 60 – 80 m a  $2.13 \text{ mg m}^{-3}$  en la estación 16 del nivel 40 – 60 m. La

temperatura se registró en el intervalo de 21.28 °C, en la estación 21 nivel 80 – 100 a 24.07 °C estación 6 del nivel 40 – 60. La salinidad se distribuyó de 36.20 en la estación 21 nivel 40 – 60 a 36.28 en las estaciones 21 nivel 80 – 100 y estación 15 nivel 60 – 80. La densidad relativa registró su valor menor siendo este de 24.59 Kg m<sup>-3</sup> en la estación 6 nivel 40 – 60 y el mayor de 25.40 Kg m<sup>-3</sup> en la estación 21 nivel 80 – 100 m.

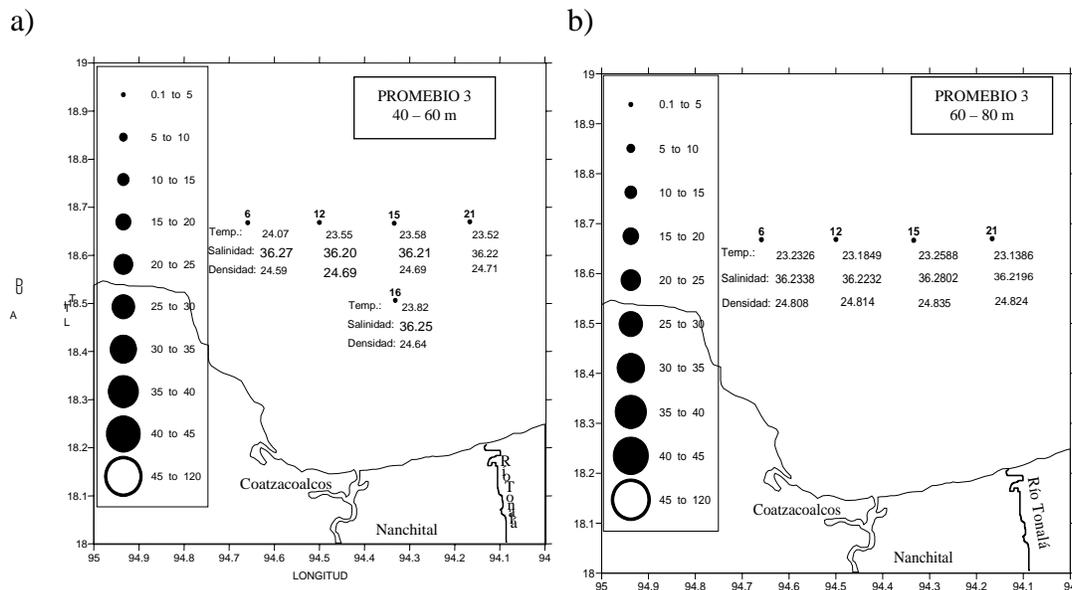


Fig. 19 Distribución horizontal de: biomasa zooplanctónica (mg m<sup>-3</sup>), temperatura (°C), salinidad y densidad relativa (Kg m<sup>-3</sup>), nivel de a) 40 a 60 m, b) 60 a 80 m y c) 80 a 100 m durante la campaña PROMEBIO 3 (épocas de secas, 2000).

c)

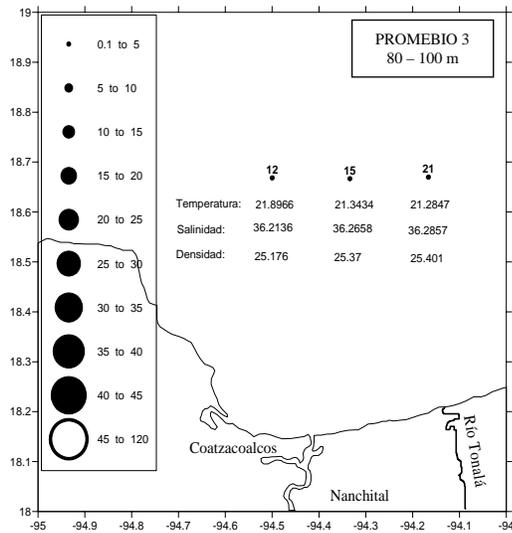


Fig. 19 Cont. Distribución horizontal de: biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad y densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), a nivel de a) 40 a 60 m, b) 60 a 80 m y c) 80 a 100 m durante la campaña PROMEBIO 3 (épocas de secas, 2000).

#### PROMEBIO 4 (secas, 2001)

En el nivel de 0 – 10 m de profundidad se observó que la mayor concentración de biomasa zooplanctónica se encontró en las estaciones 11 y 13 con valores de  $17.09$  y  $17.10 \text{ mg m}^{-3}$ , respectivamente (Fig. 20a). El valor alto de biomasa obtenido en la estación 11 coincide con un núcleo de alta temperatura ( $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), baja salinidad ( $35.5$ ) y baja densidad ( $23.15 \text{ Kg m}^{-3}$ ) (Fig. 20 b, c y d).

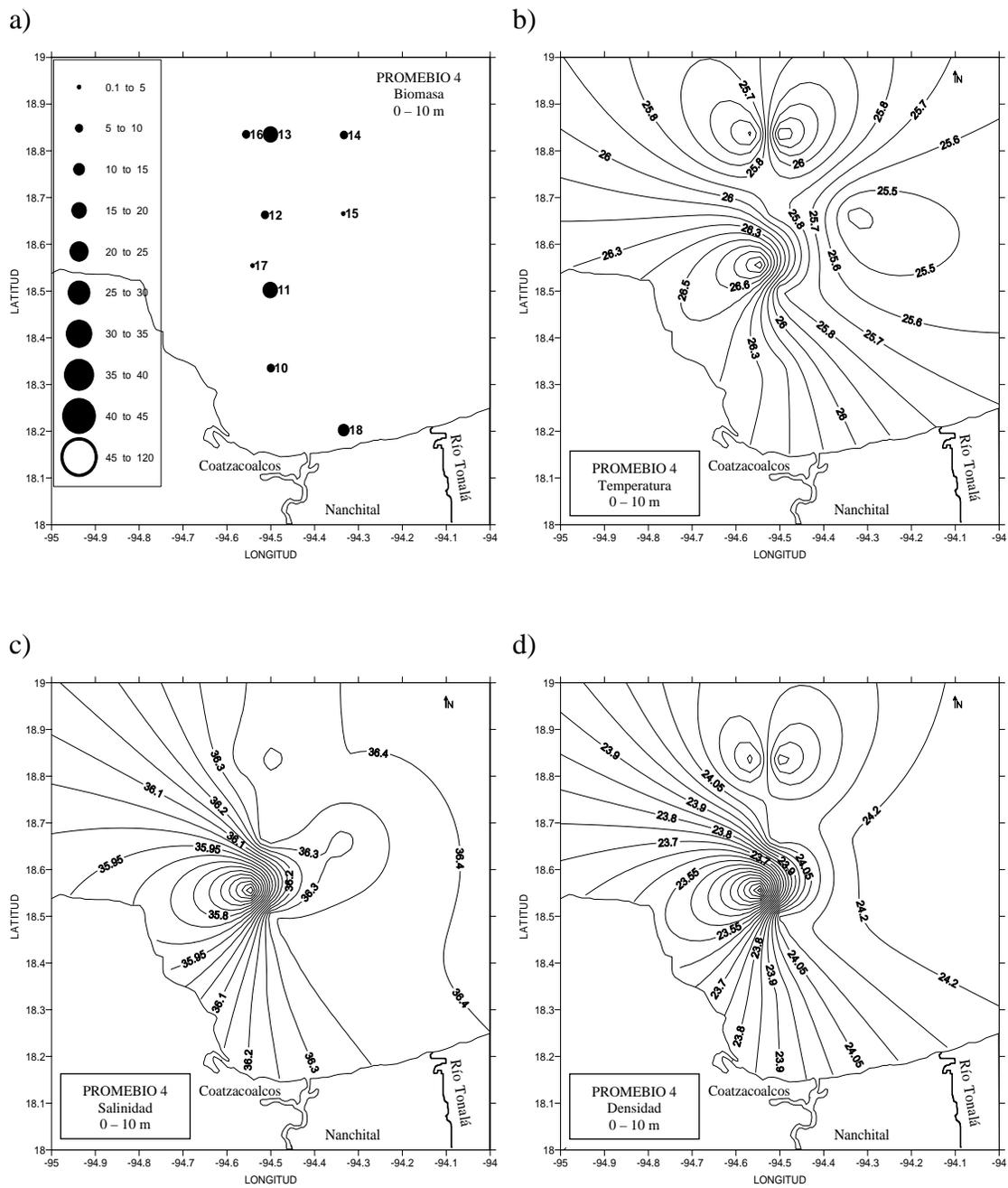


Fig. 20 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), a nivel de 0 a 10 m durante la campaña PROMEBIO 4 (época de secas, 2001).

En el nivel de 10 - 20 m, la mayor biomasa se registró en las estaciones 17 y 15 con un valor de  $8.34 \text{ mg m}^{-3}$  y  $5.62 \text{ mg m}^{-3}$ , respectivamente (Fig. 21a). En las otras estaciones de

muestreo, la biomasa casi no presentó diferencia significativa entre ellas; el intervalo fue de  $0.14 \text{ mg m}^{-3}$  a  $3.9 \text{ mg m}^{-3}$ . La temperatura y densidad relativa registraron sus valores máximos en las estaciones cercanas a la costa ( $26.2^\circ\text{C}$  y  $24.4 \text{ kg m}^{-3}$ ) (Fig. 21 b y c) a diferencia de la salinidad, donde se observaron sus máximos ( $36.38$ ) en la zona más alejada a la misma. (Fig. 21 c).

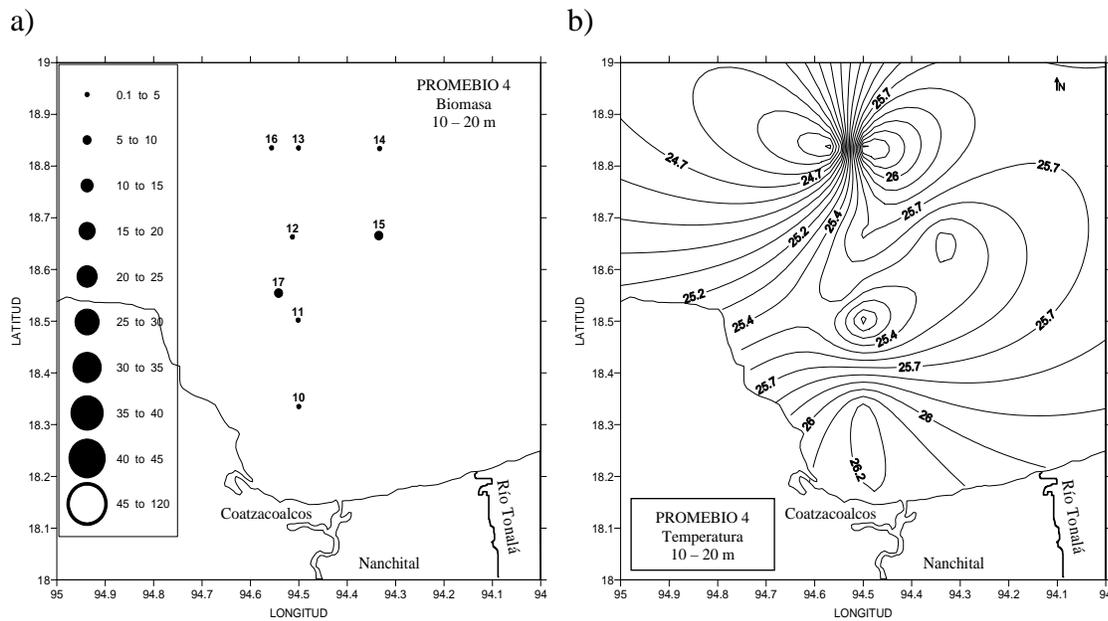


Fig. 21 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^\circ\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 10 a 20 m durante la campaña PROMEBIO 4 (época de secas, 2001).

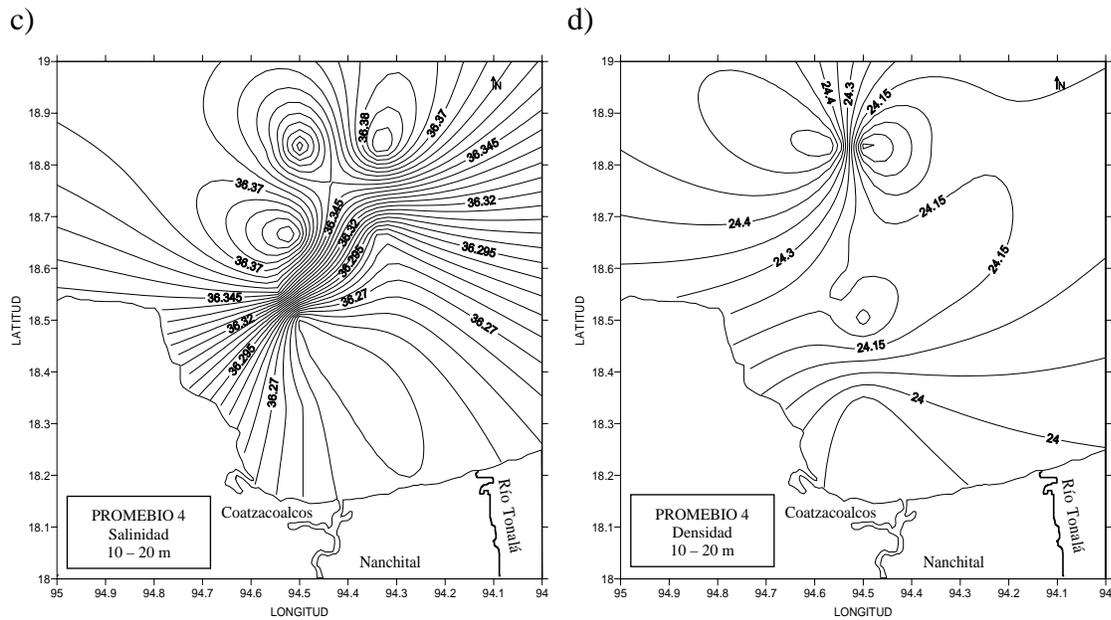


Fig. 21 Cont. Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 10 a 20 m durante la campaña PROMEBIO 4 (época de secas, 2001).

En el nivel de 20 – 30 m de profundidad se registró la mayor biomasa ( $12.62 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la estación 17 (Fig. 22a). Este valor coincidió con un núcleo de baja temperatura ( $23.10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), baja salinidad ( $36.75$ ) y alta densidad ( $24.92 \text{ Kg m}^{-3}$ ) (Fig. 22 b, c y d).

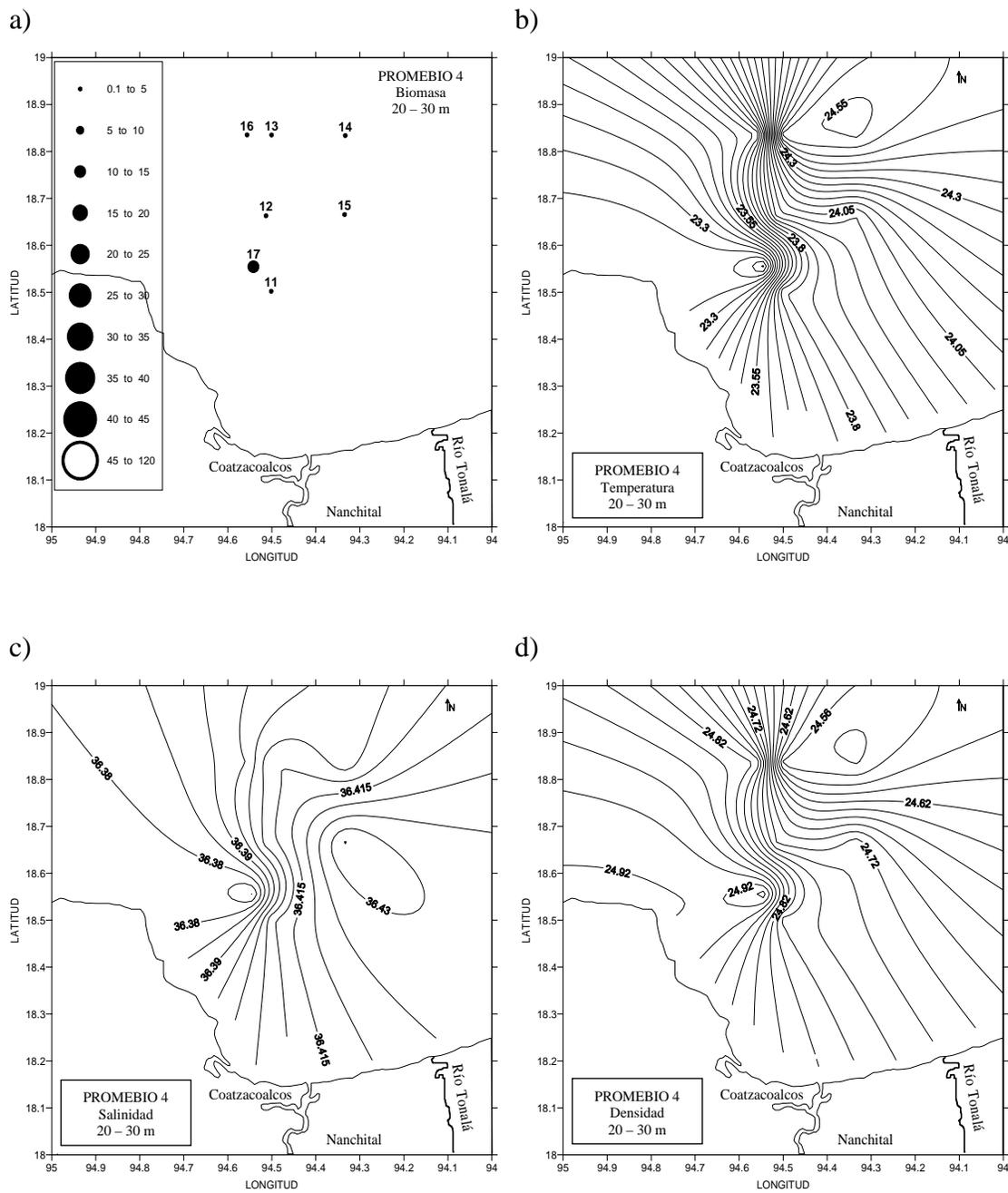


Fig. 22 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), a nivel de 20 a 30 m durante la campaña PROMEBIO 4 (época de secas, 2001).

Para los niveles de 40 – 60 m y 60 - 80 m de profundidad (Fig. 23 a y b) la mayor concentración de biomasa se registró en la estación 13 de ambos niveles, con valores de 8.96 y

5.95 mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, mientras que en el nivel de 80 – 100 m de profundidad, el máximo de biomasa, se observó en la estación 12 con un valor de 12.82 mg m<sup>-3</sup> (Fig. 23 c). Debido a que hay pocas estaciones de muestreo para estos niveles, no se pudieron realizar los mapas de distribución para las variables físicas. Sin embargo, se pueden observar sus valores para cada estación en la figura 23.

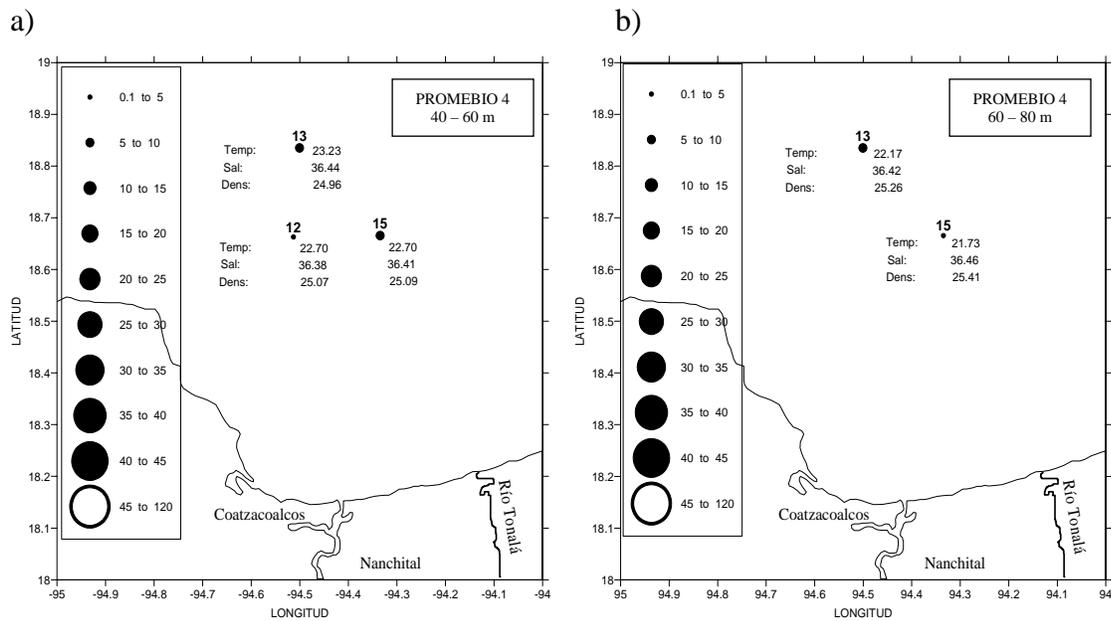


Fig. 23 Distribución horizontal de: biomasa zooplanctónica (mg m<sup>-3</sup>), temperatura (°C), salinidad y densidad relativa (Kg m<sup>-3</sup>), nivel de a) 40 a 60 m, b) 60 a 80 m y c) 80 a 100 m durante la campaña PROMEBIO 4 (época de secas, 2001).

c)

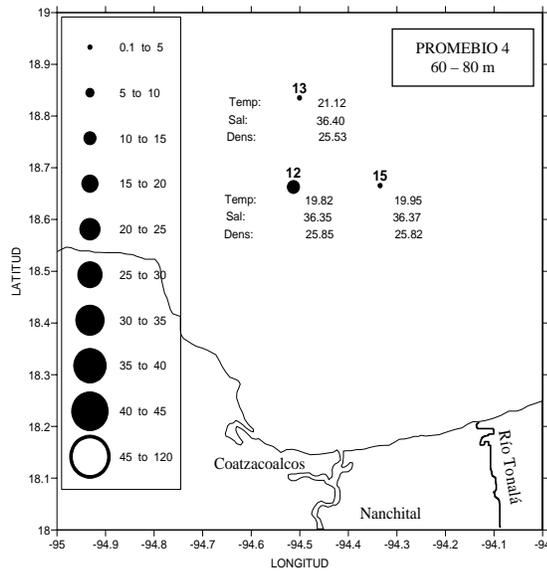


Fig. 23 Cont. Distribución horizontal de: biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad y densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de a) 40 a 60 m, b) 60 a 80 m y c) 80 a 100 m durante la campaña PROMEBIO 4 (época de secas, 2001).

#### PROMEBIO 5 (lluvias, 2001)

En la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias, 2001) de 0 – 10 m de profundidad (Fig. 24) los valores máximos de biomasa se encontraron en las estaciones 11 ( $20.54 \text{ mg m}^{-3}$ ), 16 ( $30.12 \text{ mg m}^{-3}$ ) y 17 ( $20.64 \text{ mg m}^{-3}$ ), mismos que coinciden con el lugar donde se observaron núcleos de baja salinidad ( $32.2$ ) y densidad relativa ( $20.4 \text{ Kg m}^{-3}$ ), no encontrándose a simple vista, alguna relación con la temperatura, la cual presenta un núcleo con valor de  $28.20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  frente a la desembocadura del Río Coatzacoalcos y otro núcleo de  $27.84 \text{ }^{\circ}\text{C}$  en la parte oeste de la costa.

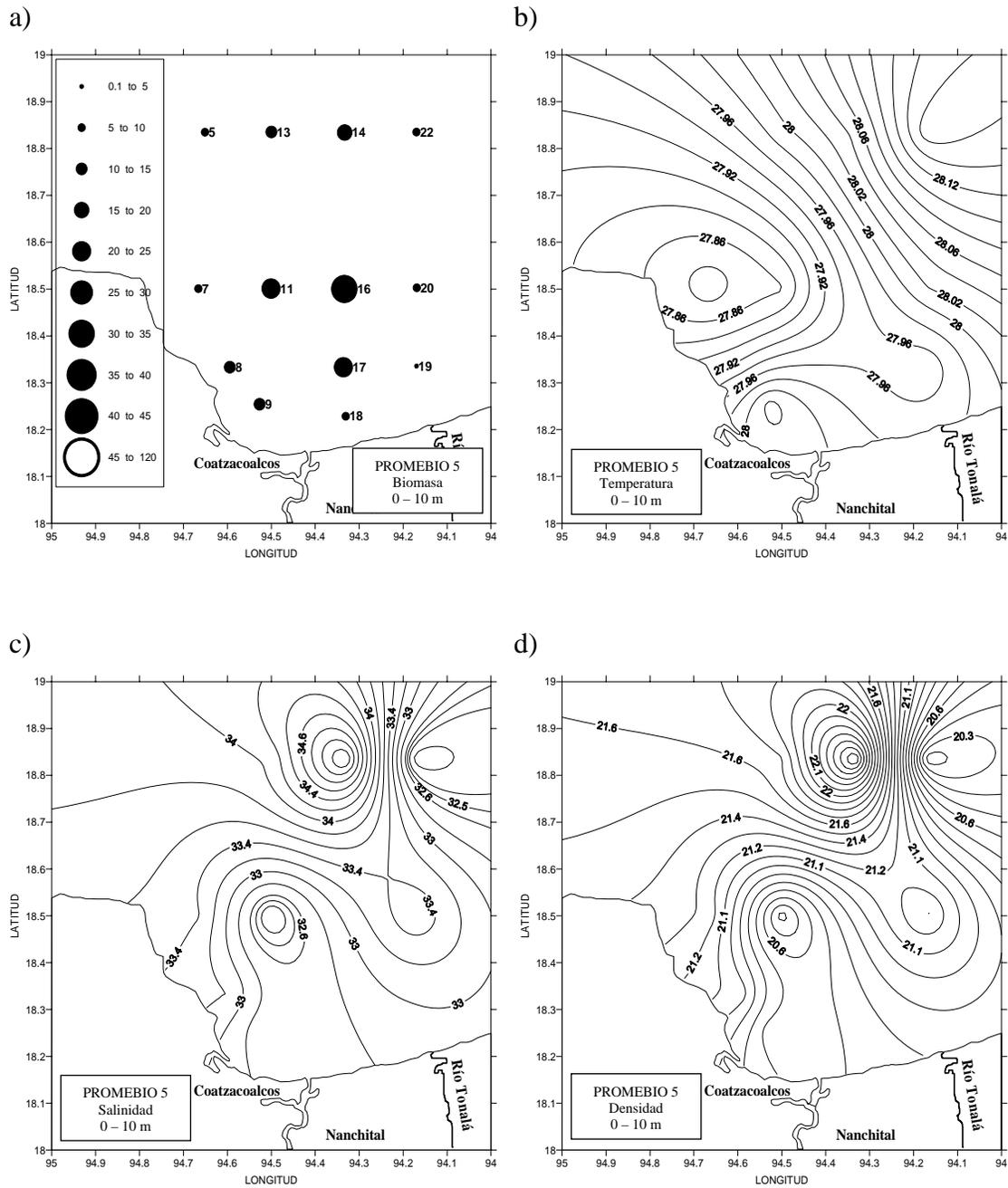


Fig. 24 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplantónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 0 a 10 m durante la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias, 2001).

En el nivel de 10 – 20 m de profundidad (Fig. 25), en varias estaciones hubo bastante biomasa zooplantónica, aunque el valor máximo se observó en la estación 14 con  $74 \text{ mg m}^{-3}$ , mismo que coincide con núcleos de alta salinidad (36) y densidad ( $23.2 \text{ Kg m}^{-3}$ ) y que sobrepasa

por mucho el valor promedio de biomasa registrado en el área de estudio. Esta abundancia tal vez se debió a que como era época de lluvias, aumentó la descarga del Río Coatzacoalcos abasteciendo de bastantes nutrientes para la producción del fitoplancton, que a su vez sirve de alimento al zooplancton herbívoro. Con respecto a la temperatura se observó una distribución casi uniforme, existiendo un aumento de oeste a este con temperaturas que van de 27.4 a 28 °C.

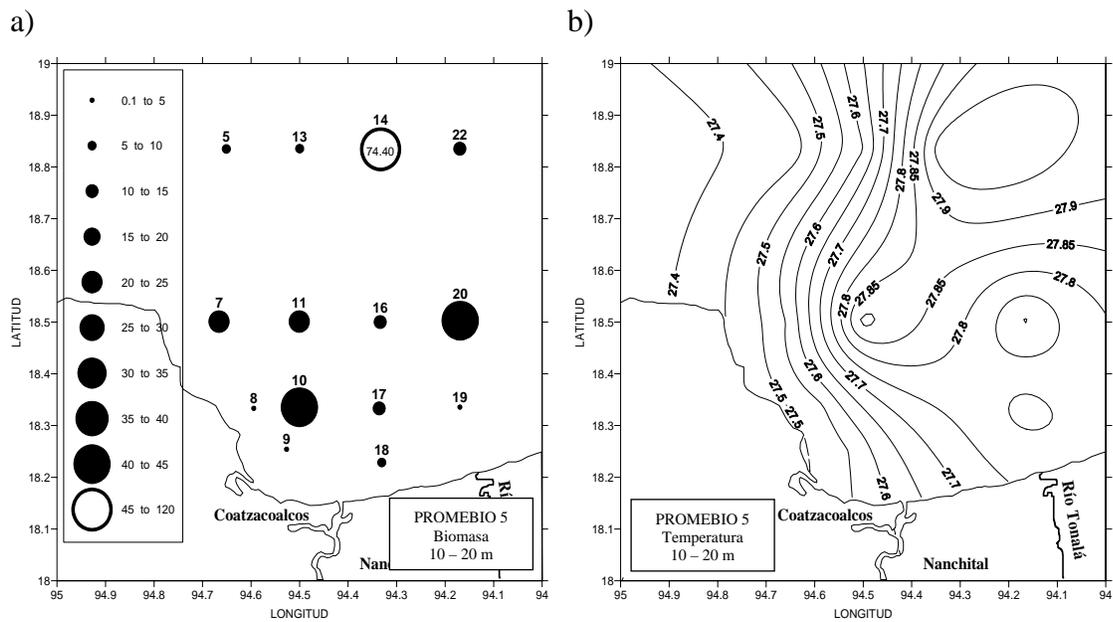


Fig. 25 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), a nivel de 10 a 20 m durante la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias, 2001).

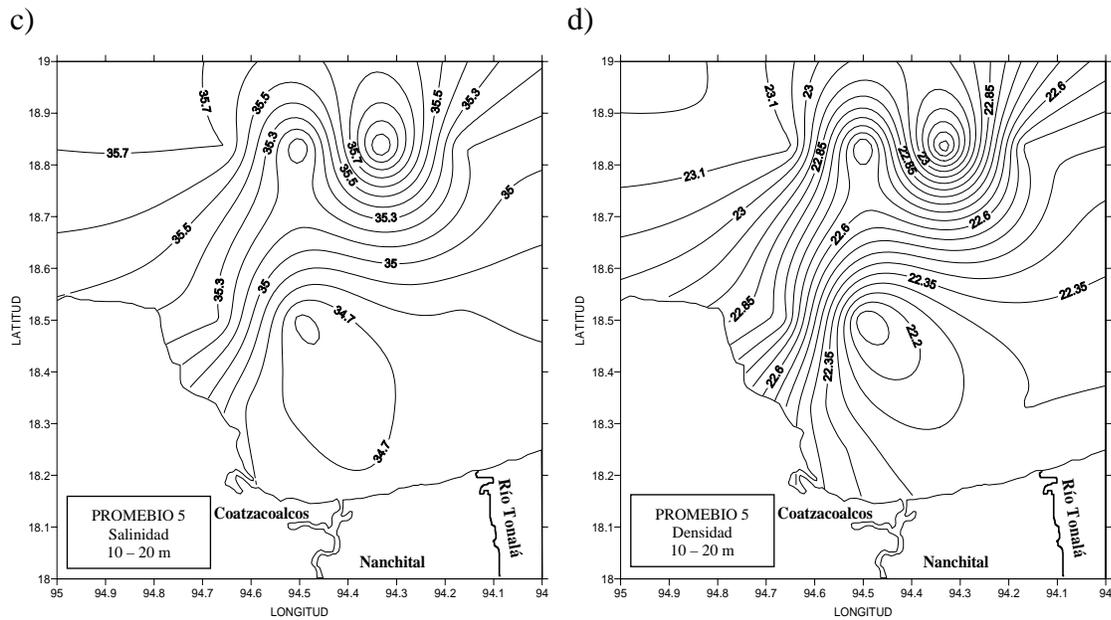


Fig. 25 Cont. Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 10 a 20 m durante la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias, 2001).

La distribución de la biomasa de zooplancton fue muy homogénea a la profundidad de 20 – 30 m (Fig. 26). El intervalo de valores de biomasa que se registró fue de  $1.32 \text{ mg m}^{-3}$  en la estación 20 a  $4.78 \text{ mg m}^{-3}$  de la estación 16. En cuanto a la distribución de las variables físicas, se observó que existe un núcleo de alta temperatura ( $27.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), baja salinidad (35) y baja densidad relativa ( $22.5 \text{ Kg m}^{-3}$ ), el cual coincide con el valor más alto de biomasa zooplanctónica registrado en la estación 16.

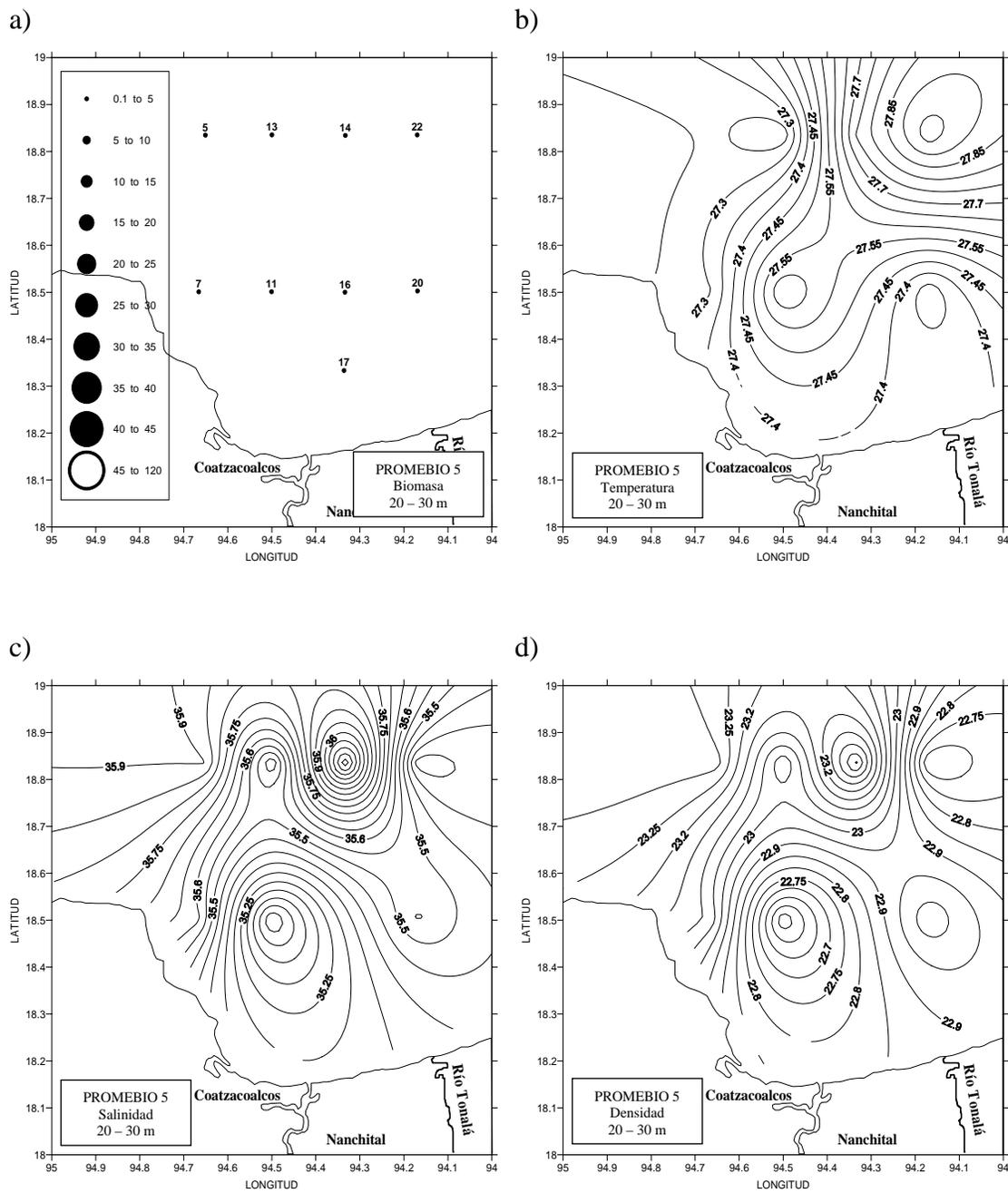


Fig. 26 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplantónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 20 a 30 m durante la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias, 2001).

El valor máximo de biomasa a la profundidad de 40 – 60 m se observó en la estación 22 ( $9.32 \text{ mg m}^{-3}$ ) (Fig. 27 a), a la profundidad de 60 - 80 m en la estación 14 ( $9.63 \text{ mg m}^{-3}$ ) (Fig. 27

b) y a la profundidad de 80 – 100 m en la estación 5 ( $2.45 \text{ mg m}^{-3}$ ) (Fig. 27 c). Debido al poco número de estaciones para estos niveles no se realizaron mapas de distribución de las variables físicas, por lo que los valores de temperatura, salinidad y densidad relativa de las estaciones muestreadas, se pueden observar en la figura 27.

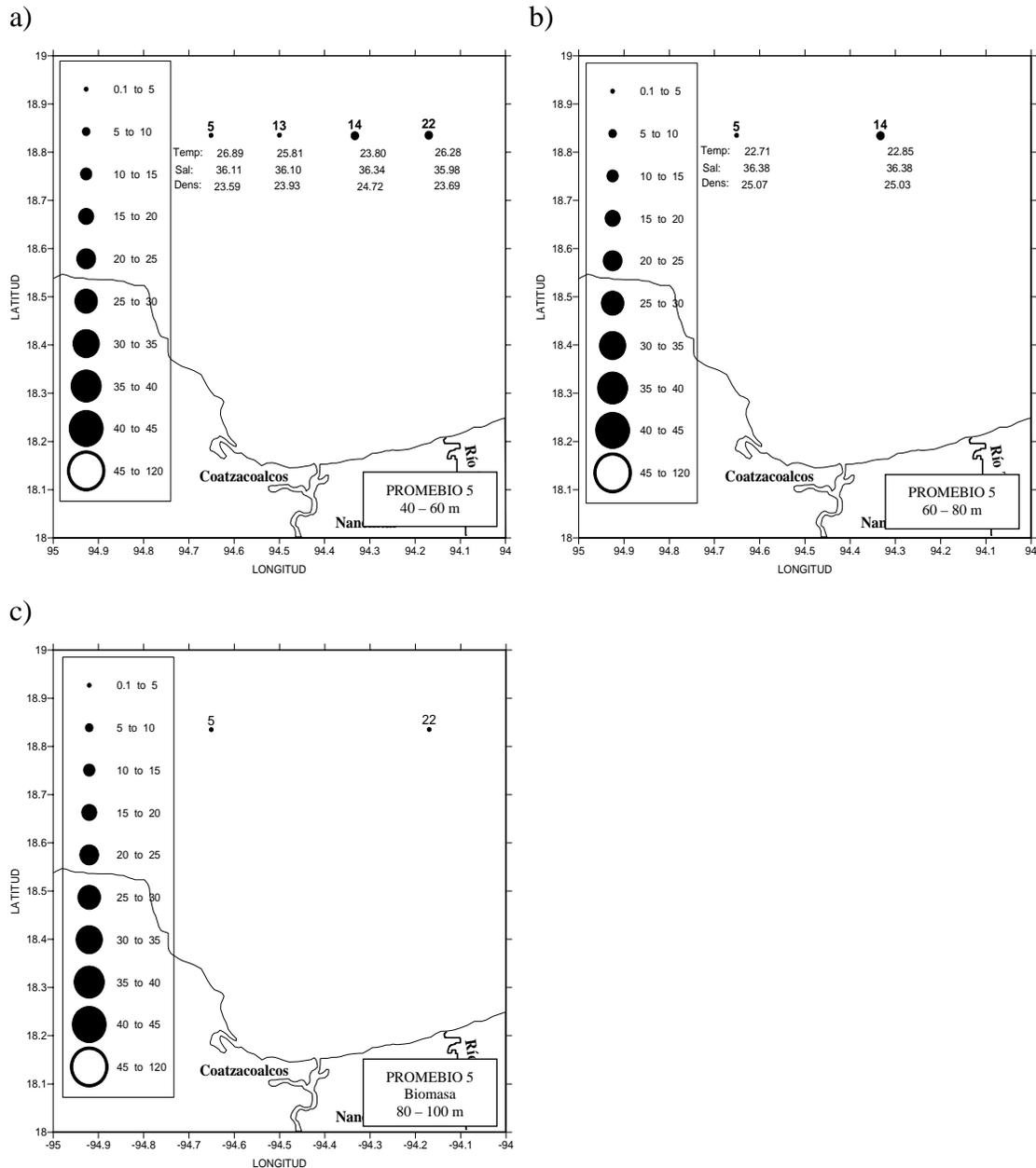


Fig. 27 Distribución horizontal de biomasa zooplantónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad y densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de: a) 40 a 60 m, b) 60 a 80 m y c) 80 a 100m durante la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias, 2001).

## PROMEBIO 7 (nortes, 2003)

Para la campaña PROMEBIO 7 (época de nortes, 2003), en la profundidad de 0 – 10 m, la máxima biomasa se registró en la estación 210 con un valor de  $8.16 \text{ mg m}^{-3}$  y la mínima en la estación 197 con un valor de  $0.84 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 28 a). La posición de la estación 210, donde existe la máxima biomasa de zooplancton, coincide con un núcleo de alta temperatura ( $25.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y baja densidad ( $23.64 \text{ Kg m}^{-3}$ ) (Fig. 28 b y d). La salinidad presenta una distribución uniforme, incrementando su valor de la zona más cercana a la costa ( $35.44$ ) hacia la más alejada ( $35.88$ ) (Fig. 28 c).

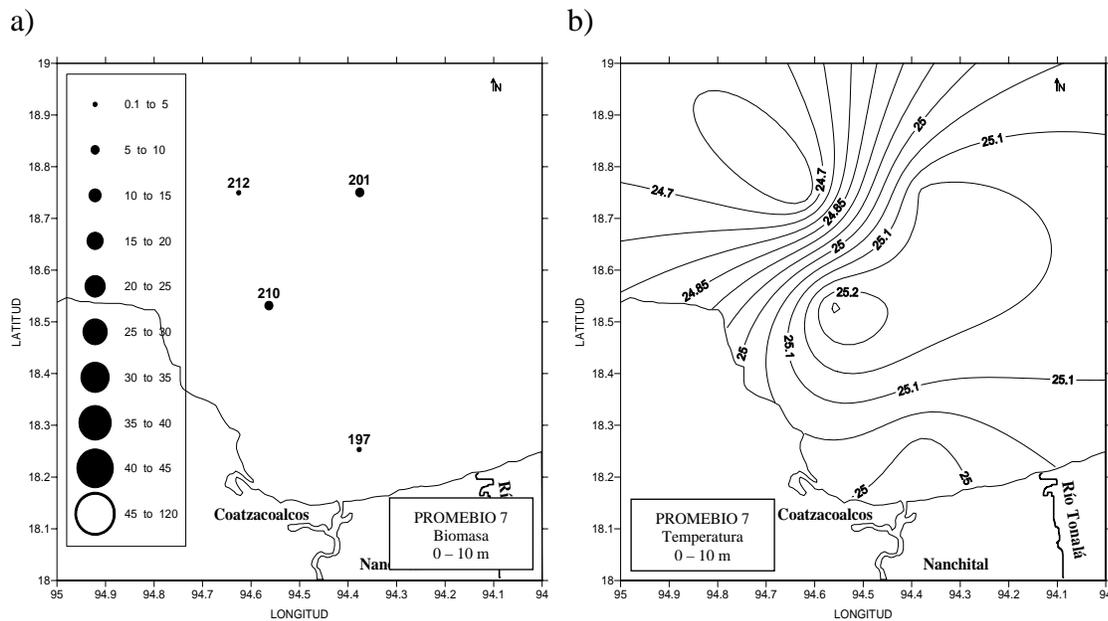


Fig. 28 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^\circ\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 0 - 10 m durante la campaña PROMEBIO 7 (época de nortes, 2003).

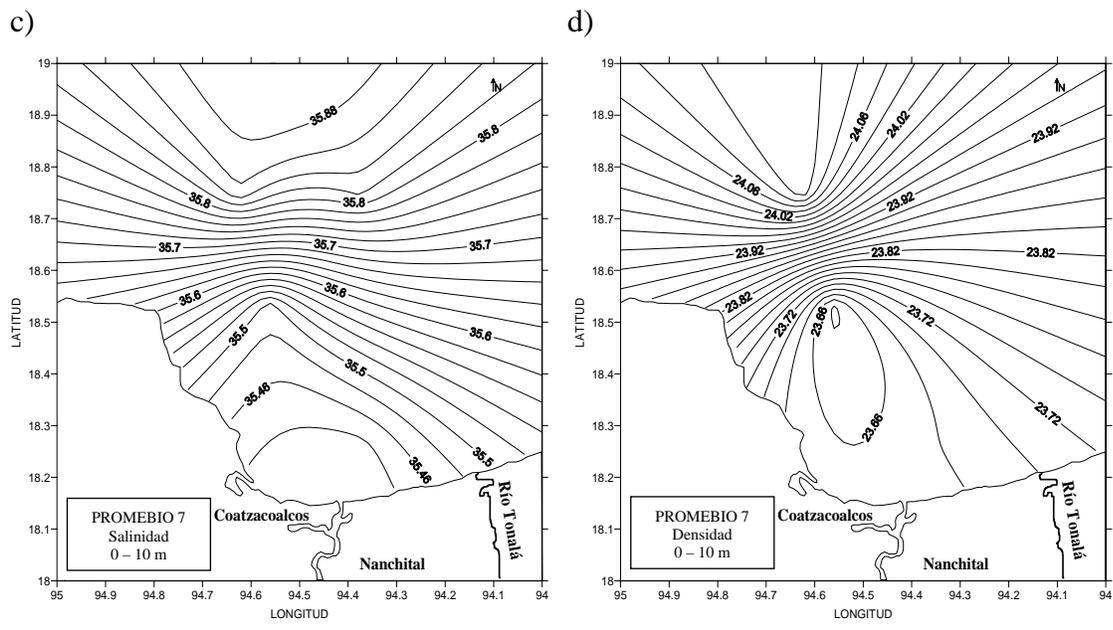


Fig. 28 Cont. Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 0 - 10 m durante la campaña PROMEBIO 7 (época de nortes, 2003).

En la profundidad de 10 – 20 m, la mayor biomasa zooplanctónica se registró en la estación 210 con un valor de  $6.9 \text{ mg m}^{-3}$  y la menor en la estación 212 con  $1.86 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 29 a). El valor máximo de biomasa coincide con núcleos de baja temperatura ( $24.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), alta salinidad ( $35.96$ ) y densidad relativa ( $24.32 \text{ Kg m}^{-3}$ ) (Fig. 29 b, c y d).

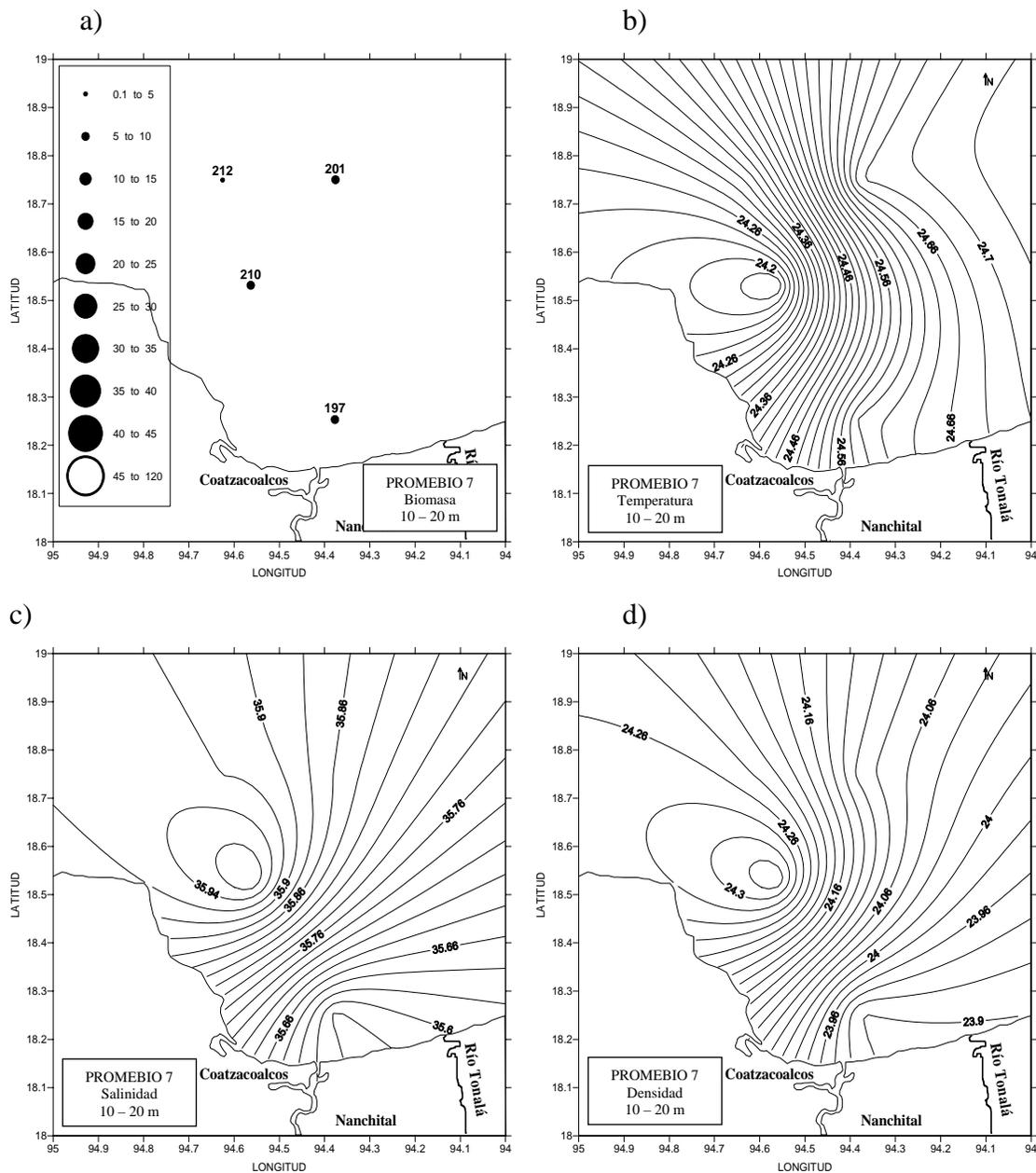


Fig. 29 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplantónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 10 - 20 m durante la campaña PROMEBIO 7 (época de nortes, 2003).

Entre los niveles de 20 a 30 m, 40 a 60 m, 60 a 80 m y 80 a 100 m, la máxima biomasa zooplanctónica se registró de 20 a 30 m de profundidad en la estación 210 con un valor de de  $8.39 \text{ mg m}^{-3}$  (Fig. 30). Con respecto a las variables físicas se observó que la mayor temperatura ( $24.25^{\circ}\text{C}$ ) se registró en la estación 201 a la profundidad de 20 – 30 m y la menor en la misma estación a la profundidad de 80 – 100 m con un valor de  $20.35^{\circ}\text{C}$ . Asimismo, en la estación 201

y profundidad de 80 – 100 m se observó la mayor salinidad (36.44) y densidad relativa (25.77 Kg m<sup>-3</sup>)

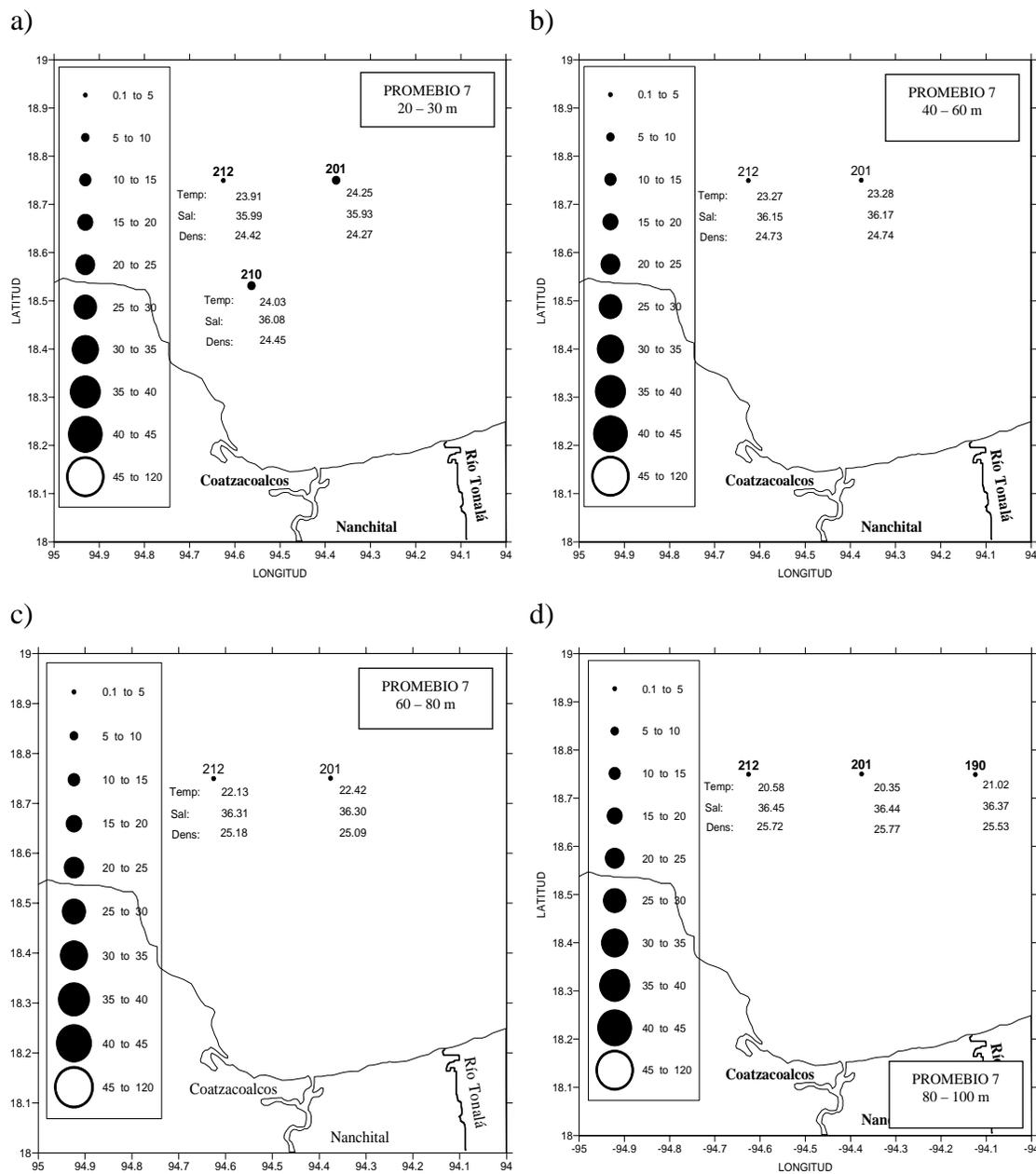


Fig. 30 Distribución horizontal de biomasa zooplantónica (mg m<sup>-3</sup>), temperatura (°C), salinidad y densidad relativa (Kg m<sup>-3</sup>), a profundidad de: a) 20 - 30 m, b) 40 - 60 m, c) 60 - 80 m y d) 80 - 100 m durante la campaña PROMEBIO 7 (época de nortes, 2003).

## PROMEBIO 9 (lluvias, 2004)

En la campaña PROMEBIO 9 (época de lluvias, 2004), a nivel de 0 – 10 m de profundidad (Fig. 31 a) la biomasa zooplanctónica presentó su mayor concentración en la estación 14 con un valor de  $16.33 \text{ mg m}^{-3}$  y la menor en la estación 13 con  $4.35 \text{ mg m}^{-3}$ . La temperatura presentó un gradiente de oeste a este de  $28.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 30 b). La salinidad aumentó conforme se alejaba uno de la costa de 34.2 a 36.5 (Fig. 31 b) y la densidad relativa también fue menor en la costa con valor de  $21.6 \text{ kg m}^{-3}$  (Fig. 31 c).

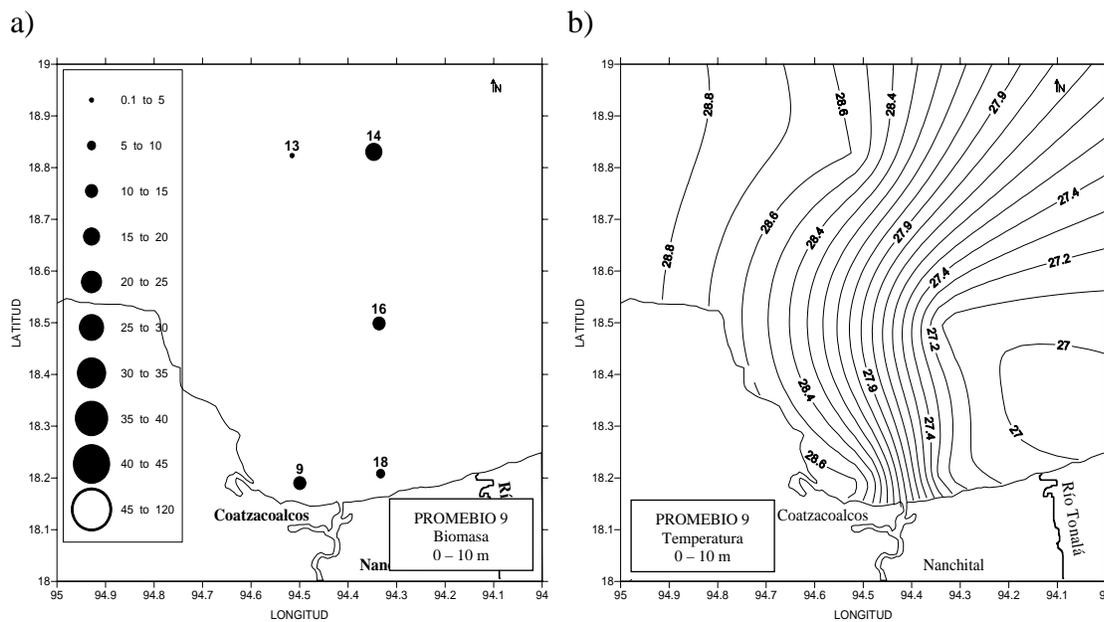


Fig. 31 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 0 a 10 m durante la campaña PROMEBIO 9 (época de lluvias, 2004).

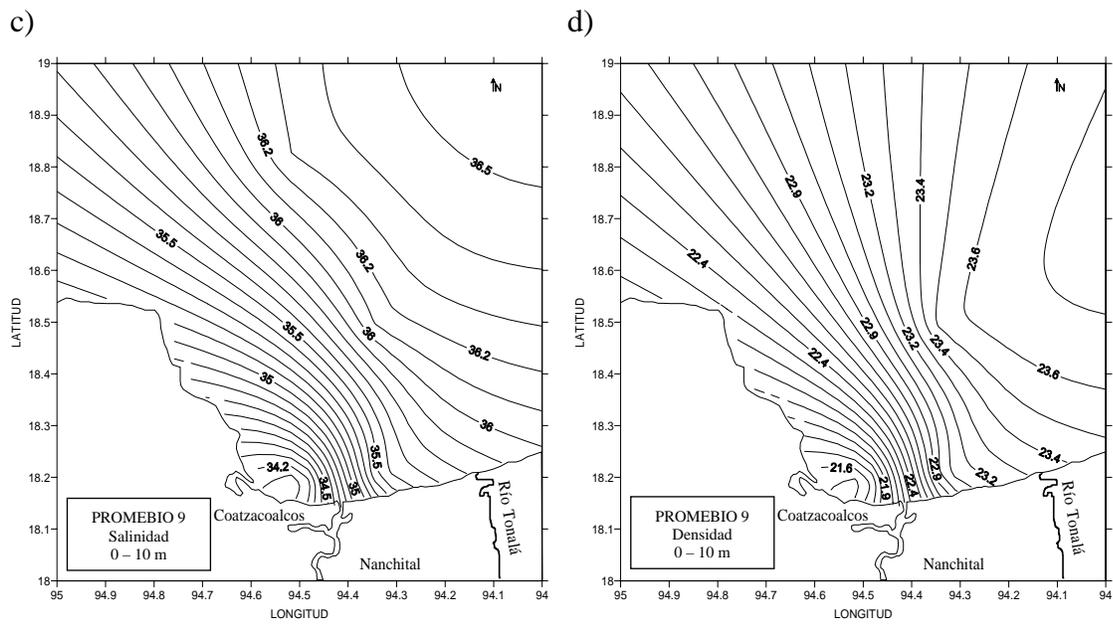


Fig. 31 Cont. Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), nivel de 0 a 10 m durante la campaña PROMEBIO 9 (época de lluvias, 2004).

A la profundidad de 10 – 20 m, la máxima concentración de biomasa zooplanctónica se observó en la estación 14 con un valor de  $17.25 \text{ mg m}^{-3}$  y la menor en la estación 16 con  $3.11 \text{ mg m}^{-3}$ . Las variables físicas presentan una distribución uniforme, no observándose núcleos de mayor o menor concentración. Los valores de temperatura de la costa hacia el mar fueron de  $23.6^{\circ}\text{C}$  a  $28.4^{\circ}\text{C}$ . La salinidad se distribuyó de 36.37 a 36.31 y la densidad de  $24.8 \text{ Kg m}^{-3}$  a  $24.4 \text{ Kg m}^{-3}$ . (Fig. 32)

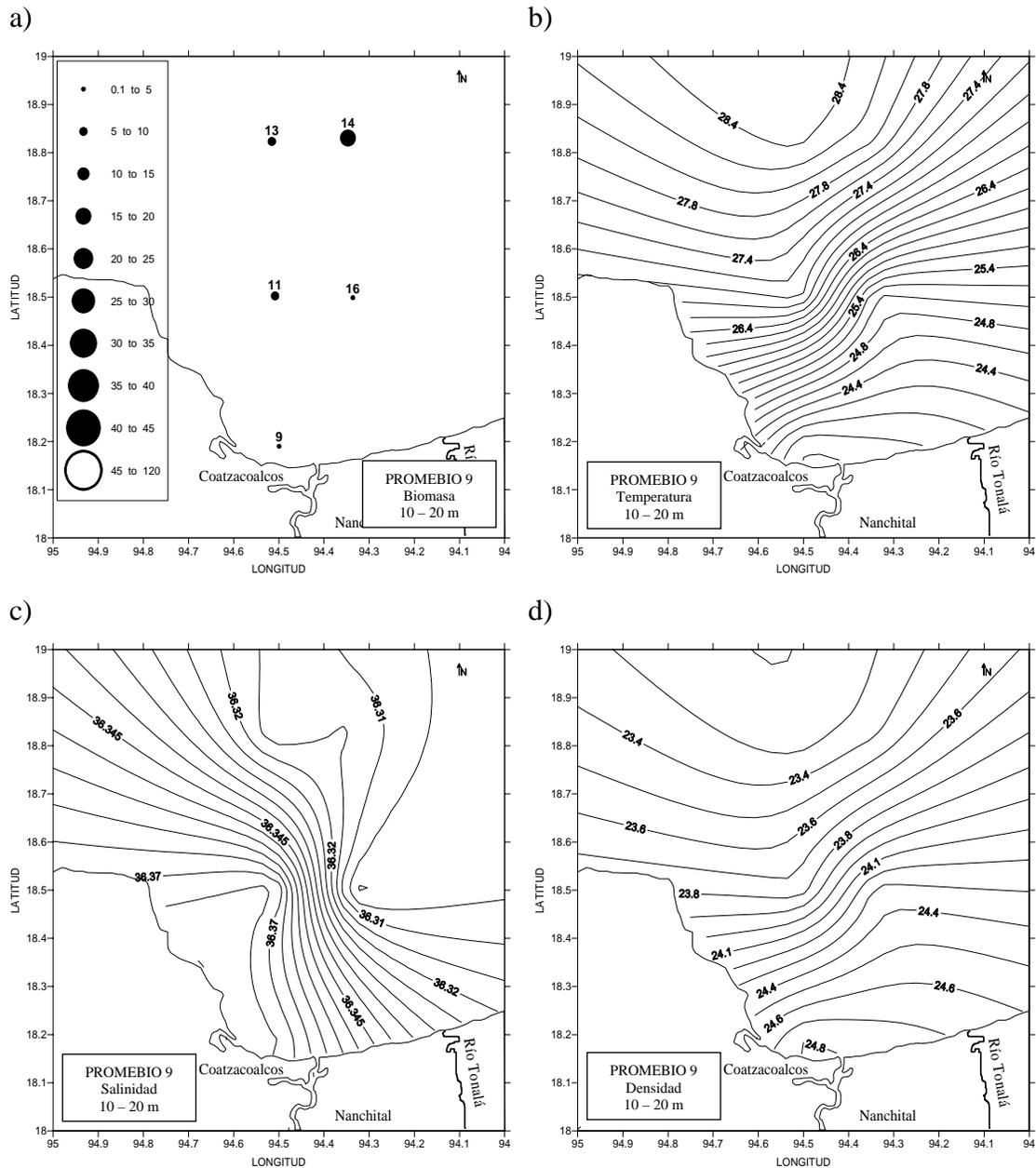


Fig. 32 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad y d) densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), a profundidad de 10 a 20 m durante la campaña PROMEBIO 9 (época de lluvias, 2004).

En el nivel de 20 a 30 m de profundidad la mayor concentración de biomasa zooplanctónica se observó en la estación 11 con un valor de  $16.53 \text{ mg m}^{-3}$ , encontrándose los valores más bajos alejados de la costa en las estaciones 13 y 14 con  $8.59$  y  $5.95 \text{ mg m}^{-3}$  respectivamente (Fig. 33 a). Con respecto a las variables físicas se observó que la temperatura y la salinidad son menores

cerca de la costa con valores de 23.2 °C y 36.18 respectivamente (Fig. 33 b y c). La densidad menor se registró en el área más alejada de la costa con un valor de 24.1 Kg m<sup>-3</sup> (Fig. 33 d).

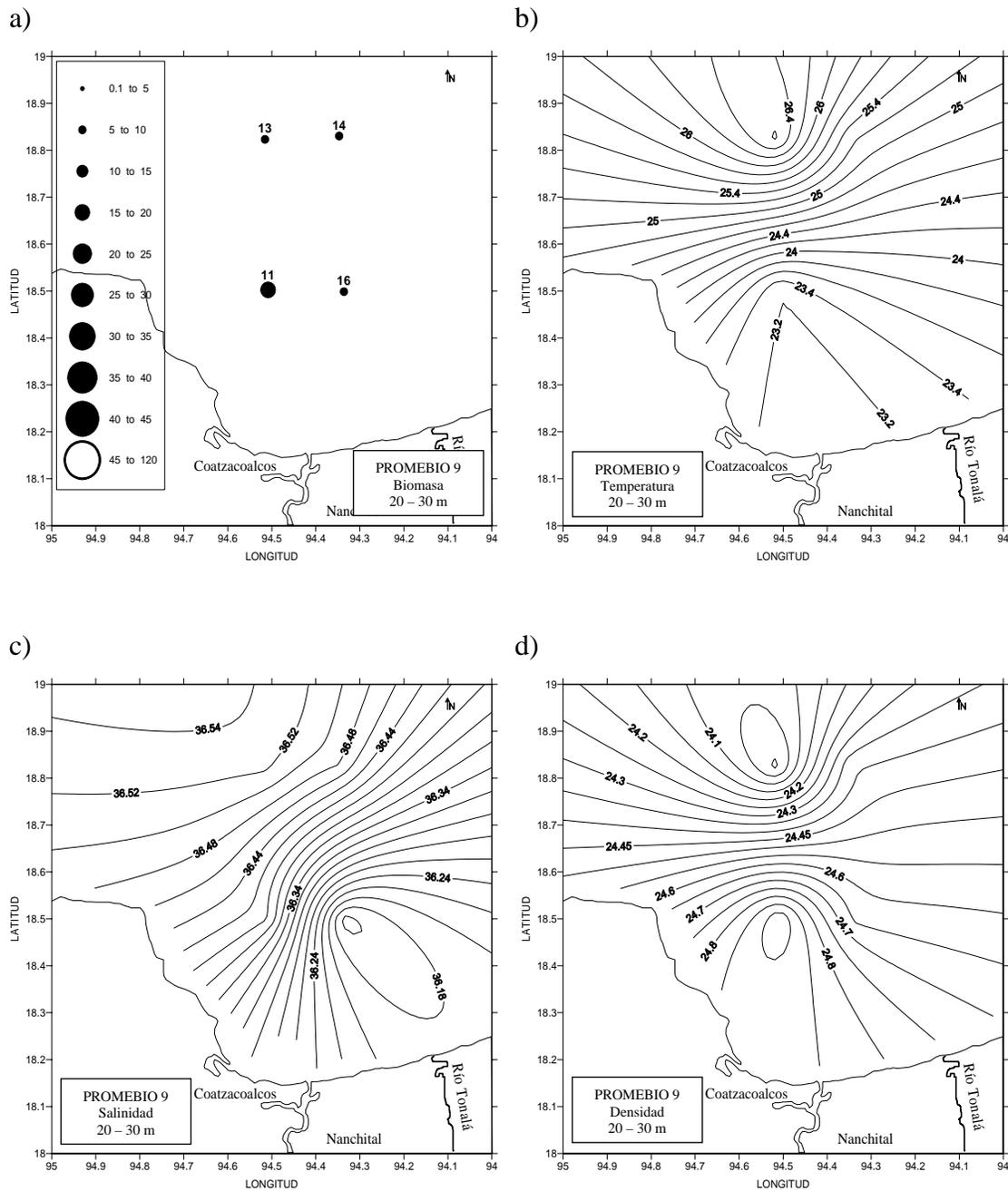


Fig. 33 Distribución horizontal de: a) biomasa zooplanctónica (mg m<sup>-3</sup>), b) temperatura (°C), c) salinidad y d) densidad relativa (Kg m<sup>-3</sup>), a profundidad de 20 a 30 m durante la campaña PROMEBIO 9 (época de lluvias, 2004).

En los niveles de 40 – 60 m, 60 – 80 m y 80 – 100 m, hubieron pocas estaciones de muestreo, por lo que no se pudo distinguir algún patrón en la distribución de la biomasa zooplanctónica ni de las variables físicas. Sin embargo, en la figura 34 se muestran los valores obtenidos en las estaciones de muestreo.

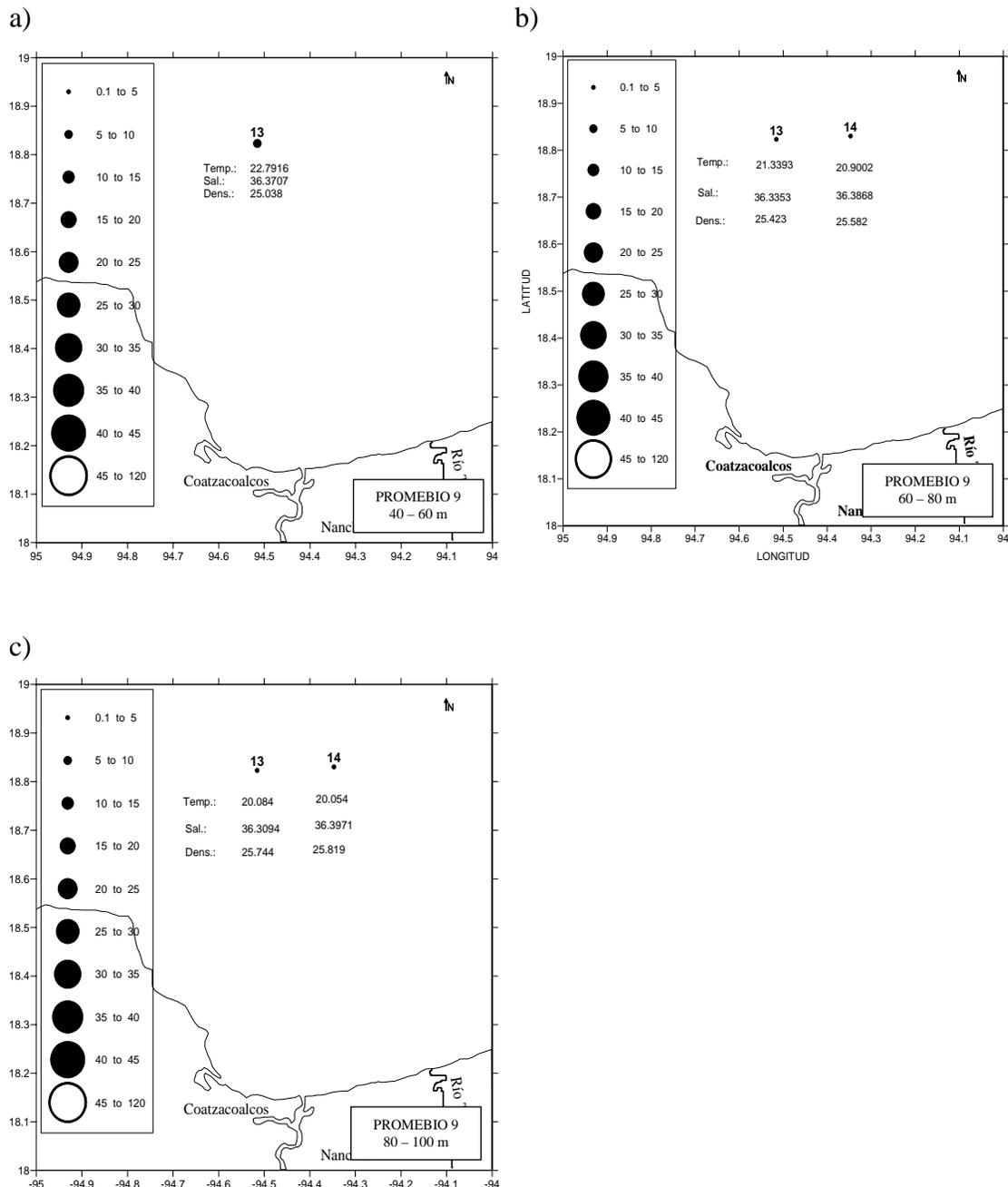


Fig. 34 Distribución horizontal de biomasa zooplanctónica ( $\text{mg m}^{-3}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad y densidad relativa ( $\text{Kg m}^{-3}$ ), a profundidad de: a) 40 a 60 m, b) 60 – 80 m y c) 80 - 100 m durante la campaña PROMEBIO 9 (época de lluvias, 2004).

## **Biomasa zooplanctónica obtenida a partir de datos de IAA obtenidos con ADCP**

Dado que en la campaña PROMEBIO 3 (secas, 2000) se obtuvo el mayor número de estaciones de muestreo con respecto a las otras campañas aquí estudiadas, ésta se escogió para la obtención de corrientes marinas y biomasa zooplanctónica a través de la intensidad acústica absoluta, a fin de relacionarlas entre ellas y con la biomasa estimada por el método de redes.

Dado a que el método acústico tiene mayor resolución y cobertura que el de redes, este proporciona valores más altos de biomasa, por lo que la unidad que se utilizó para la biomasa zooplanctónica en este caso fue  $\text{g m}^{-3}$  y no  $\text{mg m}^{-3}$  como en el caso de las biomásas obtenidas mediante el método de redes.

Con respecto a la distribución de la biomasa zooplanctónica obtenida a través de la intensidad acústica absoluta para la campaña PROMEBIO 3 (época de secas del año 2000), se observó en general, que los valores altos se registraron cercanos a la costa, independientemente del nivel de profundidad, observándose núcleos de alta densidad a la derecha de la desembocadura del Río Coatzacoalcos en los niveles de 20 y 36 m. En los niveles de 52 y 68 m, la distribución fue más homogénea y paralela a la costa. En el nivel de 84 m, la mayor biomasa zooplanctónica se concentró en la parte oeste de la desembocadura del Río Coatzacoalcos. De este modo se tiene que los valores más altos de biomasa zooplanctónica a la profundidad de 20 m es de  $14.1 \text{ g m}^{-3}$  (Fig. 35 a), a la profundidad de 36 m de  $30.1 \text{ g m}^{-3}$  (Fig. 35 b), a la profundidad de 52 m de  $24.1 \text{ g m}^{-3}$  (Fig. 35 c), a la profundidad de 68 m de  $36.1 \text{ g m}^{-3}$  y a la profundidad de 84 m de  $36.1 \text{ g m}^{-3}$ . Cabe señalar que las áreas en blanco de las figuras no significan que no hubo datos de biomasa zooplanctónica, sólo que los valores eran demasiado pequeños.

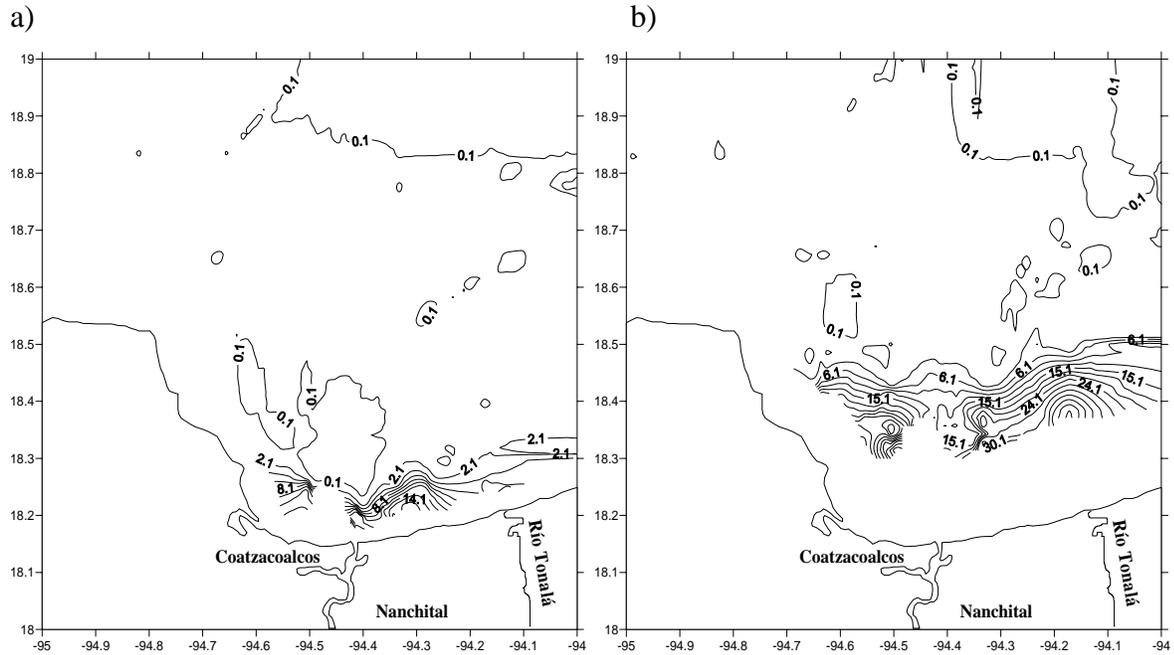


Fig. 35 Distribución horizontal de la biomasa zooplanctónica ( $\text{g m}^{-3}$ ) obtenida con el ADCP durante la campaña PROMEBIO 3 (época de secas, 2000), a profundidad de: a) 20 m y b) 36 m.

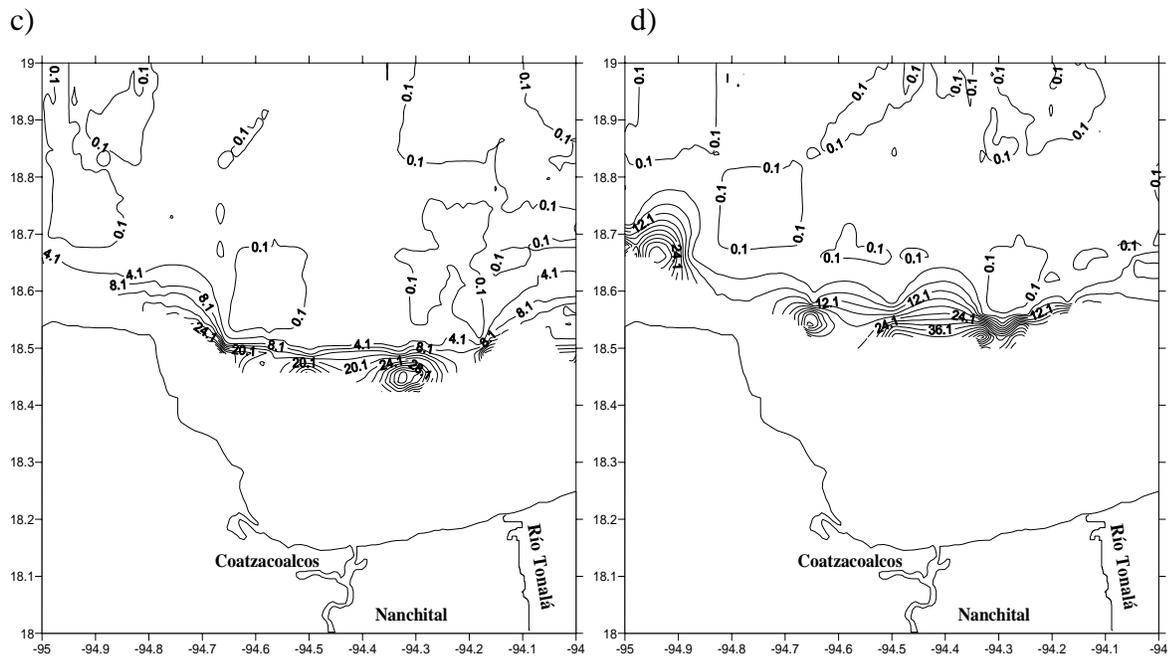


Fig. 35 Cont. Distribución horizontal de la biomasa zooplanctónica ( $\text{g m}^{-3}$ ) obtenida con el ADCP durante la campaña PROMEBIO 3 (época de secas, 2000), a profundidad de c) 52 m y d) 68 m.

e)

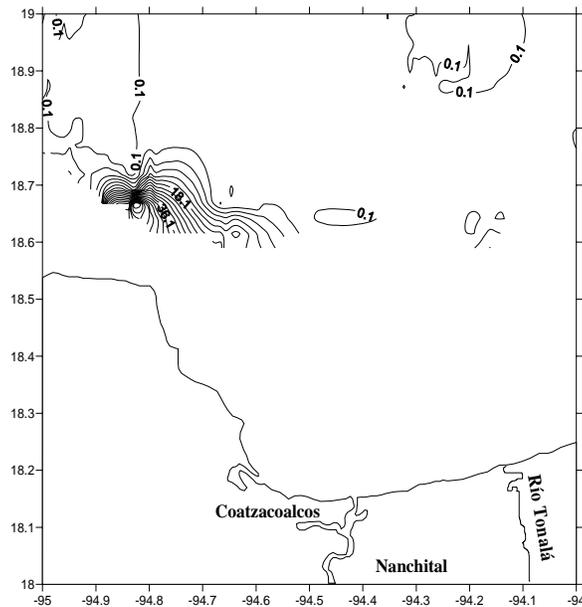


Fig. 35 Cont. Distribución horizontal de la biomasa zooplanctónica ( $\text{g m}^{-3}$ ) obtenida con el ADCP durante la campaña PROMEBIO 3 (época de secas, 2000), a profundidad de c) 84 m.

### Corrientes marinas

Los resultados mostraron un patrón de circulación predominante de oeste a este en la latitud  $18.6^\circ \text{ N}$  y longitud  $95^\circ \text{ W}$ , con velocidades aproximadas de  $1200$  a  $2800 \text{ mm s}^{-1}$ . Frente a la desembocadura del Río Coatzacoalcos entre la latitud  $18.2^\circ$  a  $18.5^\circ \text{ N}$  y la longitud  $94^\circ$  a  $94.5^\circ \text{ W}$  la corriente presentó un giro anticiclónico con velocidades de  $200$  a  $600 \text{ mm s}^{-1}$ .

En general este patrón de circulación de la corriente anteriormente descrito se observó en todas las profundidades ( $20 \text{ m}$ ,  $36 \text{ m}$ ,  $52 \text{ m}$ ,  $68 \text{ m}$  y  $84 \text{ m}$ ) que se consideraron en este estudio para la obtención de datos del ADCP. Estas profundidades como ya se describió en material y métodos, se escogieron debido a que fueron las más próximas a las profundidades donde se obtuvieron las muestras de zooplancton por el método de redes (Figs. 36, 37, y 38).

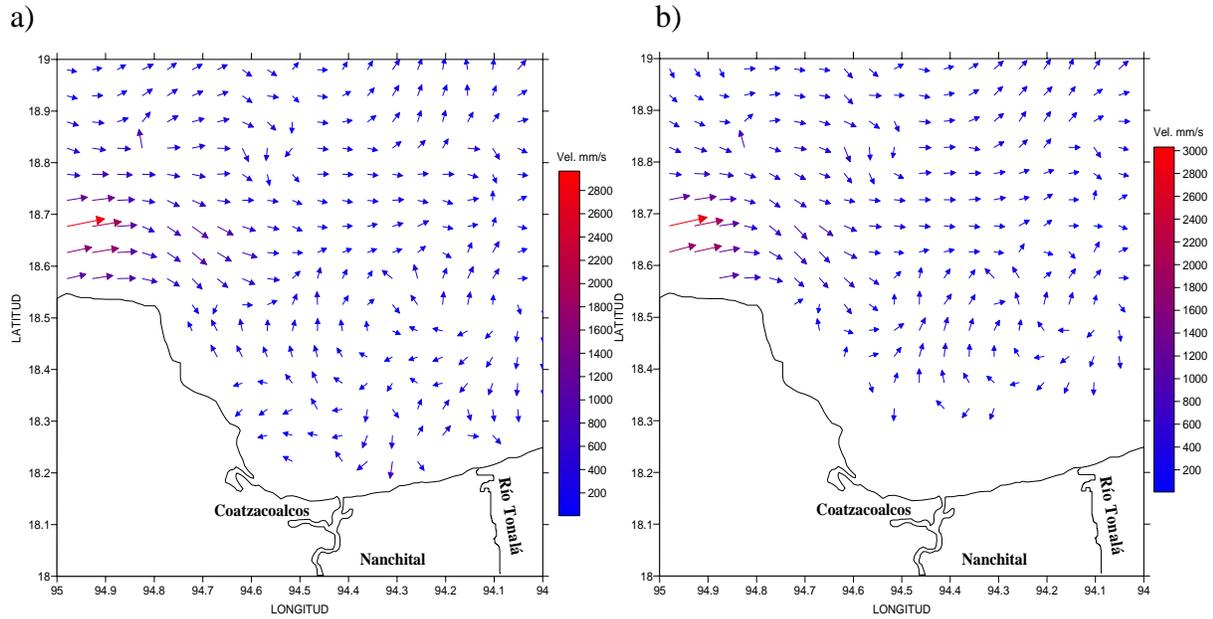


Fig. 36 Patrón de circulación de corrientes ( $\text{mm s}^{-1}$ ) obtenida con el ADCP durante la campaña PROMEBIO 3 (época de secas, 2000), a profundidad de a) 20 m y b) 36 m.

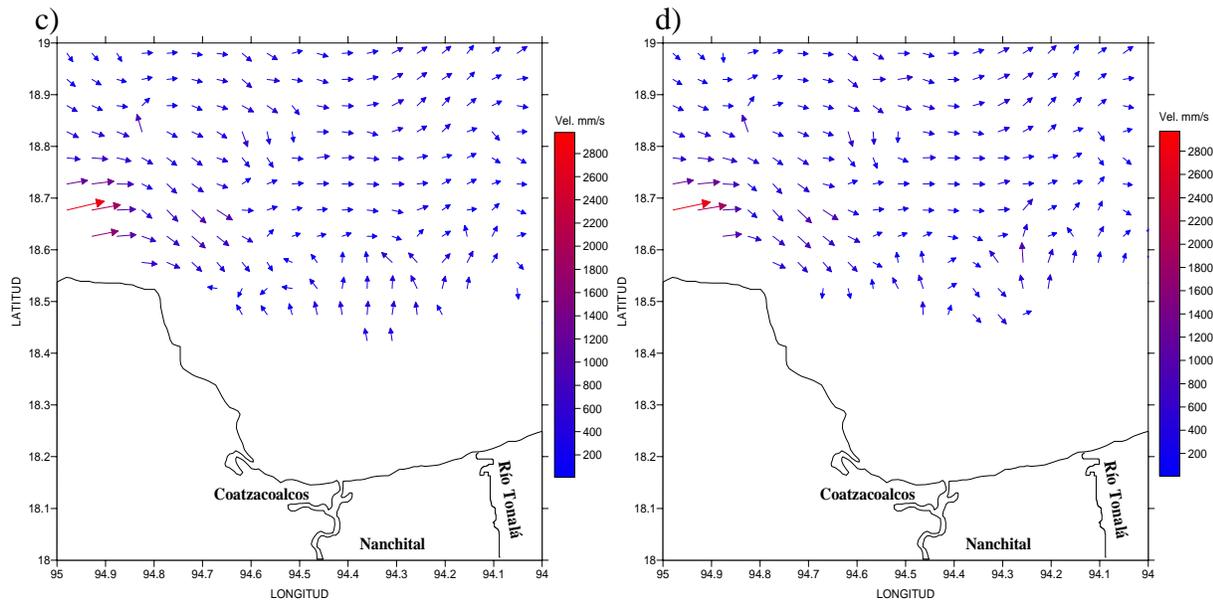


Fig. 37 Patrón de circulación de corrientes ( $\text{mm s}^{-1}$ ) obtenida con el ADCP durante la campaña PROMEBIO 3I (época de secas, 2000), a profundidad de c) 52 m y d) 68 m.

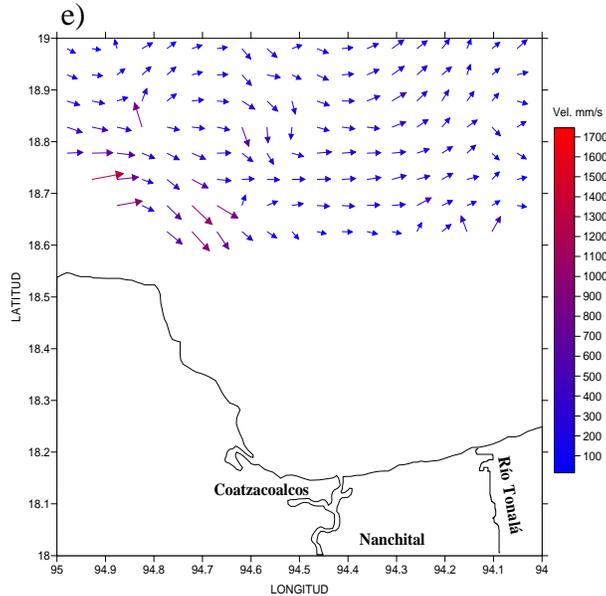


Fig. 38 Patrón de circulación de corrientes ( $\text{mm s}^{-1}$ ) obtenida con el ADCP durante la campaña PROMEBIO 3 (época de secas, 2000), a profundidad de e) 84 m.

## Resultados de las pruebas estadísticas

Los análisis estadísticos se realizaron para los datos físicos y biomasa zooplanctónica obtenida por el método de redes.

### Análisis de varianza múltiple (ANOVA)

Se realizó una prueba de Análisis de Varianza Múltiple (ANOVA) de un factor a los datos de biomasa zooplanctónica obtenida por el método de redes, agrupando todos los niveles de muestreo de las campañas de acuerdo a las combinaciones de la Tabla 2 a fin de determinar si hay diferencia significativa entre las épocas de estudio. Se observó que los datos que presentan diferencia significativa entre sí (Tabla 3) por presentar una F observada mayor a la F crítica (Tabla 10) son los datos entre las campañas PROMEBIO 2 (nortes, 1999) y PROMEBIO 3 (secas, 2000), PROMEBIO 3 (secas, 2000) y PROMEBIO 5 (lluvias, 2001), PROMEBIO 3 (secas, 2000) y PROMEBIO 9 (lluvias, 2004), PROMEBIO 4 (secas, 2001) y PROMEBIO 5 (lluvias, 2001), y por último PROMEBIO 3 (secas, 2000) y PROMEBIO 4 (secas, 2001) (Tabla 9).

De lo anterior se puede observar que la campaña que presentó mayor número de diferencias significativas, con respecto a las otras, fue la de PROMEBIO 3 (secas, 2000), lo cual fue probablemente debido al efecto de El Niño de 1999.

Tabla 9

Combinaciones posibles de datos de biomasa zooplanctónica entre campañas, En negro se observan los datos que tienen diferencias significativas.

Campaña (época del año)	PROMEBIO 2 (nortes, 1999)	PROMEBIO 3 (secas, 2000)	PROMEBIO 4 (secas, 2001)	PROMEBIO 5 (lluvias, 2001)	PROMEBIO 7 (nortes, 2003)	PROMEBIO 9 (lluvias, 2004)
PROMEBIO 2 (nortes, 1999)						
PROMEBIO 3 (secas, 2000)	<b></b>					
PROMEBIO 4 (secas, 2001)		<b></b>				
PROMEBIO 5 (lluvias, 2001)			<b></b>			
PROMEBIO 7 (nortes, 2003)						
PROMEBIO 9 (lluvias, 2004)		<b></b>				

Para saber si estos resultados son significativos (o sea, si la probabilidad "P" tiene un valor menor a 0.05), el valor de F necesita ser menor o al menos igual que el valor de la F crítica, por lo que en las combinaciones que presentan diferencia significativa entre ellas (valores marcados en negritas), el resultado es estadísticamente confiable por tener una probabilidad menor de 0.05 (Tabla 10).

Tabla 10

Valor de F observada y F crítica obtenido mediante la prueba de ANOVA de un factor.

Análisis de Varianza entre las campañas:	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Nortes, 1999 y secas, 2000</b>	<b>438.508</b>	<b>438.508</b>	<b>21.739</b>	<b>0.000</b>	<b>3.967</b>
Nortes, 1999 y secas, 2001	76.823	76.823	2.601	0.112	3.996
Nortes, 1999 y lluvias, 2001	117.156	117.156	1.652	0.203	3.967
Nortes, 1999 y nortes, 2003	73.056	73.056	4.125	0.050	4.130
Nortes, 1999 y lluvias, 2004	0.536	0.536	0.019	0.890	4.130
<b>Secas, 2000 y secas, 2001</b>	<b>78.512</b>	<b>78.512</b>	<b>4.137</b>	<b>0.046</b>	<b>3.996</b>
<b>Secas, 2000 y lluvias, 2001</b>	<b>867.496</b>	<b>867.496</b>	<b>16.888</b>	<b>0.000</b>	<b>3.955</b>
Secas, 2000 y nortes, 2003	11.571	11.571	0.821	0.371	4.130
<b>Secas, 2000 y lluvias, 2004</b>	<b>154.499</b>	<b>154.499</b>	<b>6.258</b>	<b>0.017</b>	<b>4.130</b>
<b>Secas, 2001 y lluvias, 2001</b>	<b>273.825</b>	<b>273.825</b>	<b>4.837</b>	<b>0.032</b>	<b>4.001</b>
Secas, 2001 y nortes, 2003	35.088	35.088	2.853	0.100	4.130
Secas, 2001 y lluvias, 2004	19.093	19.093	0.768	0.387	4.130
Lluvias, 2001 y nortes, 2003	48.014	48.014	2.532	0.121	4.149
Lluvias, 2001 y lluvias, 2004	17.394	17.394	0.383	0.540	4.130
Nortes, 2003 y lluvias, 2004	30.576	30.576	2.508	0.124	4.171

#### Matriz de similitud

De acuerdo a lo observado en la matriz de similitudes entre las variables (Tabla 11), se obtuvo que la sigma-t y salinidad, son las variables que más influyeron en la abundancia de la biomasa zooplanctónica, con valores de 22.40 y 22.30, respectivamente. Pero como la sigma-t es una función de la salinidad, temperatura y presión, la salinidad se considera como la de mayor influencia. Las que tuvieron menor influencia fueron la temperatura y la hora de muestreo, con valores de 17.29 y 18.51 respectivamente. En conjunto, representan el 80.51 % de la varianza total de la biomasa zooplanctónica, por lo que hay un 19.48 % atribuible a otras causas o mecanismos de forzamiento.

Tabla 11

Grado de similitud entre variables o estaciones.

	Biomasa (mg m <sup>-3</sup> )	Temperatura (°C)	Salinidad	Densidad relativa (Kg m <sup>-3</sup> )
Biomasa (mg m <sup>-3</sup> )				
Temperatura (°C)	17.298			
Salinidad	22.302	22.107		
Densidad relativa (Kg m <sup>-3</sup> )	22.407	25.188	6.21	
Hora de muestreo (h)	18.511	19.076	20.503	20.34



## DISCUSIÓN

Durante los muestreos correspondientes a las campañas PROMEBIO 3 y 4 (temporadas de secas) no se vió claramente la existencia de plumas en la capa superficial (0 a 10 m), en las estaciones costeras no se observaron clinas (termoclina, haloclina y pycnoclina) y en las estaciones más alejadas de la costa las clinas se encontraron entre 15 y 45 m. Las dos campañas de secas se efectuaron en abril, mes en el cual todavía se tienen fuertes vientos del norte. Esto puede explicar el que las clinas sean profundas (Alatorre Mendieta *et al.*, 1988). Es importante mencionar que durante PROMEBIO 3 se observó una pluma frente a la desembocadura del río Tonalá en la capa de 10 a 20 m, ligeramente corrida hacia el este. Una incipiente pluma del Río Coatzacoalcos se observa en la capa de 20 a 30 m y sólo en la distribución de la temperatura, con un fuerte corrimiento hacia el este, en ambos casos es hacia la derecha de la desembocadura de los ríos. Esto puede deberse en primer lugar a que, no existiendo un aporte grande de agua dulce, las plumas se detectan más en la temperatura que en la salinidad (Monreal Gómez *et al.*, 1992), y en segundo lugar a que siendo el fin de la temporada de tormentas invernales o nortes, la capa superficial se encuentra bien mezclada, quedando solo la huella de las plumas en las capas subsuperficiales (Monreal Gómez y Salas de León, 1997), y finalmente, el corrimiento hacia la derecha de la desembocadura de los ríos es resultado del efecto de Coriolis (Hickey y Banas, 2003; Salas de León *et al.*, 2006).

En las campañas PROMEBIO 2 y 7 (temporadas de nortes) se observó una pluma mejor definida y más superficial (capa de 0 a 10 m) que durante la temporada de secas. En la temporada de nortes se presentan lluvias invernales que contribuyen al caudal de descarga de los ríos del sur del Golfo de México (Riverón Enzástiga, 2007), por lo que es posible que se presente una pluma mejor definida que en la temporada de secas. Por debajo de la capa de 0 a 10 m no se observaron las plumas. En la mayoría de las estaciones de las dos campañas de nortes, las clinas fueron profundas, entre 20 y 45 m, esta condición refleja un esfuerzo de mezcla intenso por el viento de las tormentas invernales (Alatorre Mendieta *et al.*, 1988). Las plumas se encontraron corridas hacia el oeste o a la izquierda de las desembocaduras de los ríos, situación contraria a la observada durante la época de secas en la cual las plumas se encontraron hacia el este o a la

derecha de las bocas de los ríos. La desviación hacia el oeste de las plumas puede ser el resultado del arrastre del viento, que en esta época va de norte a sur. El viento arrastra el agua superficial hacia el sur y estas corrientes sufren una desviación hacia la derecha por el efecto de Coriolis, por lo que tenderán a desviarse hacia el oeste (Monreal Gómez *et al.*, 2004) y con esto las plumas estarán hacia el oeste de las desembocaduras de los ríos.

En la campaña PROMEBIO 5 (época de lluvias del mes de octubre) se presentó una pluma bien definida que ocupaba casi la totalidad de la zona de estudio. En este caso no se observó una pluma para el río Tonalá. Es probable que la pluma del Coatzacoalcos englobe a la del Tonalá. La termoclina y picnoclina se ubicaron entre 30 y 50 m, reflejando el intenso aporte del río, ya que en la mayoría de las estaciones no se presenta haloclina. En la parte alejada de la costa la pluma está ligeramente inclinada hacia el oeste, esta desviación puede ser el resultado de la corriente costera que en esta región es de este a oeste (Monreal Gómez *et al.*, 2004). Salas de León *et al.* (1998) muestran que la orientación y ubicación de la pluma del Grijalva – Usumacinta está modulada por el giro ciclónico de mesoescala de la Bahía de Campeche. En nuestro caso, la forma de la zona de estudio, muy próxima a una bahía protege la pluma del efecto del giro y es el viento el mecanismo que puede producir una desviación importante de la pluma contraria a la orientación hacia el este que resulta del forzamiento por Coriolis, esto indica que durante la época de nortes el forzamiento por el viento es mayor que el efecto de Coriolis y que en las dos épocas restante, secas y lluvias, el balance entre el gradiente de presión y Coriolis son dominantes.

Para la campaña PROMEBIO 9 (época de lluvias del mes de julio) las clinas fueron muy superficiales y no se presentó una pluma bien definida del Río Coatzacoalcos a diferencia de la encontrada durante la campaña PROMEBIO 5, misma que también corresponde a la época de lluvias. La diferencia puede deberse a que en la campaña PROMEBIO 5 hubo menos aporte de agua del Coatzacoalcos ya que julio es un mes con menor frecuencia y cantidad de lluvia en comparación a octubre donde se presentan grandes descargas de agua (Riverón Enzastiga, 2007).

Las corrientes medidas con el ADCP durante la campaña PROMEBIO 3, época de secas, muestran una dirección predominante oeste - este y la formación de una oscilación considerable en la parte noroeste inducida por un bajo de sólo 22 m entre profundidades mayores a 100 m. Por

otro lado, se observó un giro anticiclónico bien definido en el este de la desembocadura del Coatzacoalcos. Este tipo de estructuras anticiclónicas es común en los ROFI's de los ríos caudalosos en el hemisferio norte (Hickey and Banas, 2003; Salas de León *et al.*, 2006) y se debe al balance entre el gradiente de presión inducido por la descarga del río y el efecto de Coriolis, que desvía el agua del río hacia la derecha (Salas de León *et al.*, 2006).

Díaz Flores (2004) y Salas de León *et al.* (2004) reportan corrientes de  $250 \text{ mm s}^{-1}$  en una región próxima a la zona de estudio, pero hacia el norte y en mar abierto donde por lo general las corrientes son menos intensas. Por otro lado, Salas de León *et al.* (2006) muestran corrientes de  $500$  a  $600 \text{ mm s}^{-1}$  en la región próxima a la desembocadura del Grijalva – Usumacinta. Las corrientes registradas durante este estudio por el ADCP fueron intensas, situación que no se había reportado para la zona de estudio, por lo que cabe mencionar que este es el primer estudio de corrientes con ADCP en el ROFI del Río Coatzacoalcos.

En las estaciones alejadas de la costa los resultados obtenidos en el presente trabajo en todas las campañas muestran que la mayor biomasa zooplanctónica en su distribución vertical, se observó en la capa de mezcla (por encima de las clinas), por lo cual podemos decir que las clinas forman barreras efectivas para los organismos del zooplancton que no pueden por si mismos pasar a través de ella, por lo que es de esperarse un suministro decreciente epicontinental de nutrientes utilizables para mantener las actividades fotosintéticas del fitoplancton, lo cual conduce a una reducción de las poblaciones del fitoplancton y del zooplancton. En las áreas donde no hay clinas, los nutrientes no quedan retenidos por debajo de ellas mezclándose con las capas superiores, resultando de ello un aumento de las poblaciones del fitoplancton y del zooplancton (Wickstead, 1979).

Dado que en los niveles de muestreo por debajo de los 10 m de profundidad, la distribución horizontal de la biomasa zooplanctónica obtenida por el método de redes fue muy uniforme, sólo se discutirán los resultados obtenidos de biomasa del zooplancton en la capa de 0 a 10 m en las diferentes épocas del año.

La distribución horizontal de la biomasa de zooplancton en la capa de 0 a 10 m en la época de secas muestra los valores más altos en la zona nerítica y los más bajos sobre el talud continental y en la zona oceánica, por lo que la zona costera de Coatzacoalcos y hasta alrededor de la isóbata de los 50 m es un área de alta biomasa zooplanctónica. Esto es coincidente con lo reportado por Flores Coto (1988) para otras regiones costeras del sur del Golfo de México. En la época de nortes, la distribución de la biomasa zooplanctónica fue uniforme, lo cual puede ser atribuido al proceso de mezcla por los nortes en las capas superficiales del océano (Alatorre Mendieta *et al.*, 1988). En la época de lluvias, la mayor biomasa se encuentra lejos de la zona nerítica. Esto puede ser inducido por el aporte de nutrientes por los ríos que en esa época es máximo. Sin embargo, una descarga intensa produce también procesos turbulentos cerca de la costa, inhibiendo la producción biológica. Lejos de la costa se tienen condiciones de estabilidad que permiten al fitoplancton el acceso a los nutrientes y estos establecen las condiciones óptimas para el desarrollo del zooplancton (Hayward *et al.*, 1986). En términos absolutos, la mayor biomasa se encontró durante la época de lluvias y la menor en la época de secas.

Las biomazas zooplanctónicas superficiales estimadas a partir de las intensidades acústicas obtenidas durante la campaña PROMEBIO 3 (8 al 19 de abril del 2000, época de secas) son menores que las biomazas obtenidas cerca de la base de la capa de mezcla. Esto concuerda con los resultados obtenidos de las muestras capturadas con redes, en donde los máximos de las biomazas se encontraron sistemáticamente sobre la pycnoclina. Las biomazas estimadas a partir de los datos de intensidad acústica absoluta son mayores que las obtenidas con redes, lo cual es un resultado de esperarse ya que el método hidroacústico tiene una mayor resolución y una cobertura más amplia que el método de redes (Flagg *et al.*, 1989).

Sobreponiendo las figuras de distribución horizontal de la biomasa zooplanctónica con el patrón de circulación de corrientes en los niveles de 20, 36, 52 y 68 m de profundidad, se observa que la mayor biomasa se presenta enfrente de la pluma del río Coatzacoalcos y en la parte oeste de la zona oceánica, tal vez debido a que la corriente viene del oeste al este, trayendo consigo gran cantidad de nutrientes que son aprovechados por los organismos fitoplanctónicos y por consiguiente generando mejores condiciones de vida para el zooplancton. En la zona este enfrente del Río Coatzacoalcos se registran las menores concentraciones de zooplancton. Esto es

inducido por la presencia de un giro anticiclónico en el cual existe un hundimiento de la termoclina acumulando el agua más ligera en el centro y la más densa y de baja concentración de fitoplancton en la periferia (Monreal Gómez y Salas de León, 1997).

Debido a que en la campaña PROMEBIO 3 (secas, 2000) se efectuaron pocas estaciones de muestreo en los niveles de mayor profundidad, sólo se comparó la gráfica de distribución de abundancia zooplanctónica del nivel de 10 a 20 m de profundidad obtenidas con la red, con la biomasa obtenida por intensidad acústica, encontrando una coincidencia en el patrón de distribución y como en todos los casos en el muestreo acústico, la biomasa siempre fue mayor, encontrándose también, la mayor concentración de biomasa en el lado oeste de la pluma del Río Coatzacoalcos. Es importante mencionar que el balance entre el gradiente de presión y Coriolis forma un giro ciclónico a la derecha de la pluma de los ríos caudalosos en el hemisferio norte (Hickey y Banas, 2003; Salas de León *et al.*, 2006) y que por compensación se debe de formar un giro ciclónico en el oeste de la pluma (Salas de León *et al.*, 2006), es este giro el que forma las condiciones óptimas para el desarrollo del zooplancton en la parte oeste de la zona del ROFI del Coatzacoalcos.

La prueba ANOVA entre las temporadas anuales mostró diferencia significativa entre las épocas de nortes, lluvias y secas. No obstante se observa cierta similitud en el patrón de los datos físicos (temperatura, salinidad y densidad). En donde la prueba ANOVA mostró diferencia entre las temporadas se encuentra una marcada diferencia entre los datos físicos, lo que nos hace suponer con estos resultados, que la abundancia zooplanctónica de la zona está fuertemente influenciada por las condiciones hidrodinámicas.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de la matriz de similitud mostraron que la densidad y salinidad afectaron en mayor grado la distribución de la biomasa zooplanctónica. Por otro lado, el análisis de componentes principales determinó que las variables que influyeron más en esta distribución fueron, en orden de importancia, la salinidad y la temperatura.

## CONCLUSIONES

El tamaño y posición de las plumas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá están modulados principalmente por los periodos de lluvias y nortes. La pluma del Río Coatzacoalcos forma un giro anticiclónico a su derecha y uno ciclónico, de menor tamaño, a su izquierda, comportándose por este hecho como un río dinámico y caudaloso. Las corrientes medidas con el ADCP, del orden de  $10^3 \text{ mm s}^{-1}$ , muestran que la región es dinámicamente intensa. La posición vertical de la termoclina, picnoclina y haloclina están determinadas por la mezcla inducida por el viento y el espesor de la pluma del Río Coatzacoalcos.

La distribución del zooplancton se encuentra modulada por los parámetros físicos de la región. Las mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica se encuentran al oeste de la desembocadura del Río Coatzacoalcos, próximas a la costa y en la capa de mezcla. Durante la época de lluvias se tienen las mayores biomásas. La variable mejor relacionada con los datos biológicos fue la salinidad. Sí existe diferencia significativa entre las biomásas registradas entre campañas pertenecientes a la misma temporada anual.

## REFERENCIAS

- Alatorre Medieta, M.A., F. Ruíz y D.A. Salas de León. 1988. Efectos del paso de frentes fríos atmosféricos sobre la Bahía de Campeche. *Memorias de la Reunión Anual 1987 de la UGM*, Ensenada, B.C. México.
- Ashjian, C.J., S.L. Smith, C.N. Flagg, A.J. Mariano, W.J. Behrens y P.V.Z. Lane. 1994. The influence of a Gulf Stream meander on the distribution of zooplankton biomass in the Slope Water, the Gulf Stream, and the Sargasso Sea, described using a shipboard acoustic Doppler current profiler. *Deep Sea Research* 41(1):23-50.
- Bogdanov, D.V. 1969. Some oceanographic features of the Gulf of the Mexico and Caribbean Sea. In: A.S. Bogdanov (Ed), *Soviet-Cuban-Fishery-Research*:13-15.
- Boltovskoy, D. 1981. *Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino I y III*. INIDEP, Argentina.
- Bozada, L. y M. Páez. 1987. *La fauna acuática del litoral. Serie medio ambiente en Coatzacoalcos XIV*. México. Centro de Ecodesarrollo, 214 pp.
- Bratkovich, A. 1988. The use of planktonic organism distribution as an indicator of physical variability in marine environments. En *Marine organism as indicators*, D.F. Soule y G.S. Kleppel (Eds.). Springer-Verlag, 13-34.
- Burd, B.J. y R. E. Thomson. 1993. Flow volume calculations based on three dimensional current and net orientation data. *Deep sea Research I*, 40(6):1141-1153.
- Cifuentes Lemus, J.L., M.P. Torres García y M. Frías Mondragón. 1997. *El Océano y sus recursos*, V. Plancton. La ciencia para todos. Ciencia y Tecnología. Fondo de Cultura Económica. 164 pp.
- Collins Pérez, E.E. 1990. *Composición, distribución y abundancia del ictioplancton en el Sur del Golfo de México (otoño, 1987)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,
- Contreras, E.F. 1993. *Ecosistemas costeros mexicanos*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México, 415 p.
- Czitrom Bauss, S., F. Ruíz; M.A. Alatorre y A.R. Padilla. 1986. Preliminary study of a front in the bay of Campeche, Mexico. In. J.C.J. Nihoul (Ed.), *Marine interfaces ecohydrodynamics*, Elsevier Oceanographic Series. Liege, pp 301-311.

- Dauvin, J.C., E. Thiébaud y Z. Wang. 1998. Short-term changes in the mesozooplanktonic community in the Seine ROFI (Region of freshwater Influence) (easter English Channel). *Journal of Plankton Research*, 20 (6): 1145-1167.
- Díaz Flores, M. 2004. Estudio de las corrientes en la Bahía de Campeche utilizando un perfilador acústico Doppler (ADCP). Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, 68 p.
- Flagg, C.N., C.D. Wirick y S.L. Smith. 1989. On the use of the acoustic Doppler current profiler to measure zooplankton abundance. *Deep Sea Research*, 36(3):455-474.
- Flores Coto, C., L. Sanvicente Añorve, R. Pineda López y M.A. Rodríguez Vanlier. 1988. Composición, distribución y abundancia ictioplanctónica del sur del Golfo de México. *Universidad y Ciencia*. 5(9):65-84.
- Fofonoff, N.P. y R.C. Millard Jr. 1983. Algorithms for computations of fundamental properties of sea water. *UNESCO Technical paper 44*, 53 p.
- Francois R.E. y G.R. Garrison. 1982. Sound absorption based on ocean measurements. Part I: pure water and magnesium sulfate contributions. *Journal of Acoustic Society of America*, 72(3):896-907.
- Galarza Macias, J. 1998. *Estimación de la biomasa zooplanctónica en zonas costeras con ayuda de un Perfilador Acústico Doppler*. Tesis de Licenciatura, Universidad Iberoamericana, 70 p.
- García, E. 1973. Los climas del estado de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie botánica*. 41(1):42 p.
- Gasca, R., L. Segura y E. Suárez. 1996. El zooplancton marino. In. R. Gasca y E. Suárez. 1996. *Introducción al estudio del zooplancton marino*. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/CONACYT, México, 711 p.
- Gio Argáez, F.R. 2000. *Distribución y sistemática de los ostrácodos de la Bahía de Campeche*. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gómez Gutierrez, J., C. Robinson Mendoza y V. Arenas Fuentes. 1998. La hidroacústica, una moderna herramienta para el estudio de la biología y la ecología del ecosistema pelágico marino. *Ciencia* 49(2):11-22.
- Greenlaw, C.F. 1979. Acoustical estimation of zooplankton populations. *Limnology and Oceanography*, 24:226-242.

- Gutierrez Estrada, M. 1977. *Sedimentología del área de transición entre las provincias terrígenas y carbonatadas del sureste del Golfo de México*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 175 p.
- Hayward, D., L.W. Haas, J.D. Boon III, K.L. Webb y K.D. Friedland. 1986. Empirical models of stratification variation in the Cork River Estuary, Virginia, USA. In *Tidal mixing and plankton dynamics*. J. Bowman, M. Yentsch y W.T. Peterson (Eds.), Springer-Verlag, Berlin-Hidelberg, 502 p.
- Hernández Téllez, J., J. Aldeco y D.A. Salas de León. 1993. Cooling and heating due to latent and sensible heat over the Yucatan continental shelf. *Atmósfera*, 6(4):223-233.
- Heywood, K.J. 1996. Diel vertical migration of zooplankton in the Northeast Atlantic. *Journal of Plankton Research*, 18(2):163-184.
- Hickey, B.M., N.S. Banas. 2003. Oceanography of the U.S. Pacific Northwest coastal ocean and estuaries with application to coastal ecology. *Estuaries*, 26, 1010-1031.
- Holliday, D.V. 1977. Extracting bio-physical information from the acoustic signatures of marine organisms. In. N.R. Andersen y B.J. Zahuaranec (Eds.). *Ocean Sound Scattering Prediction. Marine Science*, Vol. 5, Plenum Press. New York and London, 619-624.
- Huthnance, J.M. 1997. The PROFILE project: an overview. *Journal of Marine Systems*, 12:249-261.
- Kirsh, J, G.L. Thomas y R.T. Cooney. 2000. Acoustic estimates of zooplankton distributions in Prince William Sound, spring 1996. *Fisheries Research*, 47:245-260.
- Lara López, A.L. 2000. Determinación de la biomasa zooplanctónica frente a la desembocadura del Sistema Grijalva – Usumacinta usando un perfilador acústico Doppler. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 60 p.
- Lara López, A.L. 2003. Variación espacio – temporal de la biomasa zooplanctónica en las regiones de influencia del sistema Grijalva – Usumacinta durante 1999. Tesis de maestría en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 68 p.
- Licea, S. y R. Luna. 1999. Spatio-temporal variation of phytoplankton on the continental margin in the SW Gulf of Mexico. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 49:89-99.
- MacLennan, D.N. y E.J. Simmonds. 1992. *Fisheries Acoustics*. Chapman and Hall. London, 325 p.
- Monreal Gómez, M.A. y D.A. Salas de León. 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29(2):101-111.

- Monreal Gómez, M.A., D.A. Salas de León, A.R. Padilla Pilotze y M.A. Alatorre Mendieta. 1992. Hydrographic and estimation of density currents in the southern part of the Bay of Campeche, México. *Ciencias Marinas*, 18(4): 115-133.
- Monreal Gómez, M.A. y D. A. Salas de León, 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En *Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía Núm. 3, Unión Geofísica Mexicana*, 183-199.
- Monreal Gómez, M.A., D.A. Salas de León y H. Velasco Mendoza. 2004. Hidrodinámica del Golfo de México. En: *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*. Instituto Nacional de Ecología, A.C. y Harte Research Institute for the Gulf of México Studies. 47-68.
- Omori, M. y T. Ikeda. 1984. *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley y Sons, USA. 332 p.
- Ortuño Manzanares, G. 1996. *Biomasa zooplanctónica en el Golfo de México, durante los veranos de 1986-1990*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Padilla Pilotze, A.R., M.A. Alatorre, F. Ruíz y S.P.R. Czitrom. 1986. Observaciones recientes de la estructura termohalina en el sur del Golfo de México. 434-440. In. J. Urrutia-Fucuguchi (Ed.) Memoria de la Reunión anual 1986. *Unión Geofísica Mexicana*. 499 p.
- RD Instruments. 1996. *Acoustic Doppler Current Profilers - Principles of Operation: A Practical Primer*. San Diego, California, USA, 45 p.
- Riverón Enzástiga, M.L. 2006. Análisis de la variabilidad de las descargas de agua de los principales ríos del sur de la cuenca hidrológica del Golfo de México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias de la UNAM, 80 p.
- Salas de León, D.A., M.A. Monreal Gómez, L. Sanvicente Añorve y C. Flores Coto. 1998. Influence de la circulation á long terme sur la distribution des organismes zooplanctoniques dans la baie de Campeche, México. *Oceanologica Acta*. 21:87-93.
- Salas de León, D.A., M. Díaz Flores y M.A. Monreal Gómez. 2004. Circulation and vorticity in the Southern Gulf of México. In: *Hans Ertel memorial book*, W. Schroeder (Ed.), German Commission on History of Geophysics and Cosmical Physics. 229-243.
- Salas de León, D.A., M.A. Monreal Gómez y J. Galarza Macias. 2005. Estimación de la biomasa zooplanctónica en zonas costeras usando un perfilador acústico de alta frecuencia. *Ciencia y Mar*, 9(26):9-18.
- Salas de León, D.A., M.A. Monreal Gómez, M.A. Díaz Flores, H. Velasco Mendoza, D. Salas Monreal, M.L. Riveron Enzastiga y G. Ortiz Zamora. 2006. The role of the near-bottom currents in the distribution of sediments in the Southern Bay of Campeche, Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, sometido.

- Sanvicente Añorve, L. 1990. *Comunidades ictioplanctónicas en el suroeste del Golfo de México*. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 58 p.
- Secretaría de Marina, 2006. Tabla Numérica de Predicción de Mareas. Golfo de México y Mar Caribe. 250p.
- Sverdrup, H.U., Martin W. Johnson y Richard H. Fleming. 1970. *The Oceans*. Prentice-Hall, Inc. United States of America. 1087 p.
- UNESCO. 1979. *Zooplankton Sampling. Monographs on Oceanographic Methodology 2*. UNESCO. France. 174 p.
- Urik, R.J. 1983. *Principles of Underwater Sound*. McGraw Hill. New York, 423 p.
- Vázquez de la Cerda, A.M. 1979. *Circulación del agua en el sureste del Golfo de México*. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía, México. 26 p.
- Villalobos, A. y M.E. Zamora. 1975. Importancia biológica de la Bahía de Campeche. *Memorias del I Simposium Latinoamericano de Oceanografía Biológica*, (México): 375-382.
- Wade, J.P. y K.J. Heywood. 2001. Acoustic backscatter observations of zooplankton abundance and behavior and the influence of oceanic fronts in the northeast Atlantic. *Deep-Sea Research II*, 48, 899-924.
- Wiebe, P.H. 1988. Functional regression equations for zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight and carbon: A correction. *Fisheries Bulletin* 86(4): 333-335.
- Wickstead, J.H. 1979. *Zooplankton marino*. Cuadernos de Biología. Omega. España. 69 p.
- Zavala García, F. y C. Flores Coto. 1989. Medición de biomasa zooplanctónica. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 16(2): 273-278.