



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
(BIOLOGÍA MARINA)

EFFECTO DE LA VORTICIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA DE  
ZOOPLANCTON EN EL CAÑÓN DE CAMPECHE

**T E S I S**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS

**PRESENTA**  
**FERNANDO RIVERA HERNÁNDEZ**

**TUTOR:**  
**Dr. DAVID ALBERTO SALAS DE LEÓN**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA

**COMITÉ TUTOR:**  
**Dr. JAVIER ALDECO RAMÍREZ**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA  
**Dr. RAÚL AGUIRRE GÓMEZ**  
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA  
**Dr. XAVIER CHIAPPA CARRARA**  
FACULTAD DE CIENCIAS (SISAL YUCATAN)  
**Dr. VÍCTOR MANUAL MENDOZA CASTRO**  
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA

MEXICO, D. F. NOVIEMBRE DE 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	2
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
1.1 El zooplancton	3
1.1.1 Clasificación	3
1.1.2 Importancia	5
1.1.3 Métodos tradicionales de captura y estimación de biomasa del zooplancton	6
1.2 Vorticidad	7
1.2.1 Vorticidades ciclónicas y anticlónicas	8
<b>ANTECEDENTES</b>	10
2.1 Zooplancton del Cañón de Campeche	11
2.1.1 Hidrodinámica del Cañón de Campeche	13
2.1.2 Zona de estudio	15
<b>JUSTIFICACION</b>	18
<b>OBJETIVOS</b>	19
3.1.1 Objetivo general	19
3.1.2 Objetivos específicos	19
3.1.3 Hipótesis	20
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	21
4.1 Muestreo y estimación de la biomasa zooplanctónica con redes	21
4.2 Velocidades geostróficas y vorticidad	23

<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	26
5.1.1 Distribución de la biomasa a diferentes estratos	29
5.1.2 Perfiles verticales de T, $\sigma_T$ , S y biomasa	32
5.1.3 Distribución de la biomasa en función de la hora	38
5.1.4 Distribución de la biomasa en función de la vorticidad	42
5.2 Estrato de 4 m	46
5.2.1 Distribución de la temperatura y biomasa de zooplancton a 4m (Superficie)	46
5.2.2 Distribución de la densidad ( $\sigma_T$ ) y biomasa de zooplancton a 4m (Superficie)	47
5.2.3 Corrientes geostróficas y vorticidades a 4 m	48
5.2.4 Análisis de conglomerados 4 m	50
5.3 Estrato de 50 m	54
5.3.1 Distribución de la temperatura y biomasa de zooplancton a 50 m	54
5.3.2 Distribución de la densidad ( $\sigma_T$ ) y biomasa de zooplancton a 50 m	55
5.3.3 Corrientes geostróficas y vorticidades a 50 m	56
5.3.4 Análisis de conglomerados a 50 m	58
5.4 Estrato de 100m	62
5.4.1 Distribución de la temperatura y biomasa de zooplancton a 100 m	62
5.4.2 Distribución de la densidad ( $\sigma_T$ ) y biomasa de	63

zooplancton a 100 m	
5.4.3 Corrientes geostróficas y vorticidades a 100 m	64
5.4.4 Análisis de conglomerados a 100 m	66
5.5 Estrato de 200 m	70
5.5.1 Distribución de la temperatura y biomasa de zooplancton a 200 m	70
5.5.2 Distribución de la ( $\sigma_T$ ) y biomasa de zooplancton a 200 m	71
5.5.3 Corrientes geostróficas y vorticidades a 200 m	72
5.5.4 Análisis de conglomerados 200m	74
5.6.1 Análisis de componentes principales	77
5.7 Diagrama T-S y biomásas de zooplancton	81
<b>CONCLUSIONES</b>	87
<b>REFERENCIAS</b>	89

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del zooplancton de acuerdo a su tamaño	4
Tabla 2. Valores de la biomasa zooplanctónica (g 100 m <sup>-3</sup> ) por cada estación a diferentes estratos	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Cañón de Campeche	15
Fig. 2 Mapa de estaciones y batimetría (m)	17
Fig. 3 Esquema de la malla	25
Fig.4. Distribución de la biomasa por estacion de muestreo y profundidad (a) 4 m; (b) 50 m; (c) 100 m; (d) 200 m.	30
Fig. 4. e) Distribución de la biomasa por estaciones en los 4 estratos (4m, 50m, 100m y 200 m.)	31
Fig. 5. a) Perfil de Temperatura (°C), salinidad (ups) densidad ( $\sigma_{-T}$ ), biomasa (Cañon IV-250 m.), estaciones 1, 3, 5, 6, 7, 9	33
Fig. 5. b) Perfil de Temperatura (°C), salinidad (ups) densidad ( $\sigma_{-T}$ ) biomasa (Cañon IV-250 m.), estaciones 11, 13, 15, 17, 18, 19	34
Fig. 5. c) Perfil de Temperatura (°C), salinidad (ups) densidad ( $\sigma_{-T}$ ) biomasa (Cañon IV-250 m.), estaciones 21, 23, 25, 27, 29, 30	35
Fig. 5. d) Perfil de Temperatura (°C), salinidad (ups) densidad ( $\sigma_{-T}$ ) biomasa (Cañon IV-250 m.), estaciones 31, 33, 35, 37, 39, 41	36
Fig. 5. e) Perfil de Temperatura (°C), salinidad (ups) densidad ( $\sigma_{-T}$ ) biomasa (Cañon IV-250 m.), estacion 42	37
Fig. 6. a) Dispersión de la biomasa en función de las horas del día en 4 y 50 m	40
Fig. 6. b) Dispersión de la biomasa en función de las horas del día	41

en 100 y 200 m	
Fig. 7. a) Dispersión de la biomasa en función de la vorticidad en 4 y 50 m	44
Fig. 7. b) Dispersión de la biomasa en función de la vorticidad en 100 y 200 m	45
Fig. 8. a) Distribución horizontal de la Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g}100\text{m}^{-3}$ ) a 4m de profundidad	47
Fig. 8. b) Distribución horizontal de la densidad ( $\text{kg m}^{-3}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g}100\text{m}^{-3}$ ) a 4m de profundidad	48
Fig. 8. c) Vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) y patrón de corrientes geostroficas ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a 4 m	49
Fig. 8. d) Conglomerado de las estaciones a 4m con base en su similitud mediante distancias euclidianas	53
Fig. 9. a) Distribución horizontal de la Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g}100\text{m}^{-3}$ ) a 50m de profundidad	54
Fig. 9. b) Distribución horizontal de la densidad ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) y biomasa de zooplancton a 50 m	55
Fig. (9. c) Vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) y patrón de corrientes geostróficas ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a 50 m	57
Fig. 9. d) Conglomerado de las estaciones a 50 m con base en su similitud mediante distancias euclidianas	61
Fig. 10. a) Distribución horizontal de la Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g}100\text{m}^{-3}$ ) a 100m de profundidad	62
Fig. 10. b) Distribución horizontal de la densidad ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) y biomasa ( $\text{g}100\text{m}^{-3}$ ) a 100m de profundidad	63
Fig. 10. c) Vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) m y patrón de corrientes	65

geostróficas ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a 100 m	
Fig. 10. d) Conglomerado de las estaciones a 100 m con base en su similitud mediante distancias euclidianas	69
Fig. 11. a) Distribución horizontal de la Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g}100\text{m}^{-3}$ ) a 200m de profundidad	70
Fig. 11. b) Distribución horizontal de la densidad ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g}100\text{m}^{-3}$ ) a 200m de profundidad	71
Fig. 11. c) Vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) y patrón de corrientes geostróficas ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a 200 m	73
Fig. 11. d) Conglomerado de las estaciones a 200 m con base en su similitud mediante distancias euclidianas	76
Fig. 12. a) Análisis de componentes principales de los cuatro estratos con las variables de cada estrato, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) , salinidad y vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) (4m, 50m, 100m, 200m)	78
Fig. 12 b) Análisis de componentes principales con todas las estaciones en los cuatro estratos y las variables de cada estrato, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) , salinidad y vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) (4m, 50m, 100m, 200m)	80
Fig.12 c ). Diagrama de dispersión de biomazas y fluorescencia en un espacioT-S	82



## RESUMEN

Se determinó la biomasa zooplanctónica en la región del Cañón de Campeche, Golfo de México, del 8 al 29 de febrero de 2011, usando redes cónicas de apertura cierre para el muestreo biológico y un CTD Neil Bown Mark III para el cálculo de los parámetros hidrográficos de la zona. Para la captura de los organismos se definieron cuatro estratos de muestreo: 4 m, 50 m, 100 m y 200 m. El cálculo de las biomasa se efectuó mediante el método de peso húmedo. También se realizó el cálculo de las velocidades geostroficadas de la zona; así como de las vorticidades presentes en toda la malla del muestreo. La distribución de la biomasa zooplanctónica se comparó con las distribuciones de temperatura, salinidad y densidad registradas en la zona y se evaluó la distribución de la biomasa en condiciones de vorticidades positivas y negativas, presentándose los valores más altos de biomasa en los bordes de los giros ciclónicos y en la frontera entre los giros, los valores de biomasa más altos se registraron en el estrato de 4 m; sin embargo, los estratos más productivos de la zona fueron los correspondientes a los 100 m y 200 m.

## **ABSTRACT**

The zooplankton biomass in the region of the Campeche Canyon, Gulf of Mexico, was determined from February 8<sup>th</sup> to the 29<sup>th</sup>, 2011, by using open-closed conic net for the biological sampling, and a Neil Brown Mark III CTD to obtain the hydrologic parameters of the area. Four sampling layers situated at 4 m, 50 m, 100 m and 200 m were defined for the capture of organisms. The biomass calculation was carried out using the wet weight method. The calculations of the geostrophic velocities of the area, as well as the vorticities at the levels of the sampling net, were also performed. The zooplankton biomass distribution was compared with the temperature, salinity and density distributions recorded in the area. The biomass distribution in positive and negative vorticity conditions was evaluated. The highest biomass values were found in the boundaries between the cyclonic and anticyclonic eddies. The highest biomass values were obtained in the 4m layer; however, the most productive layers were those of 100 and 200 m.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 El zooplancton

El término plancton fue propuesto por Hensen en 1887. Etimológicamente significa errante y se refiere a todos los organismos acuáticos que tienen una capacidad deficiente para desplazarse en contra de la corriente (Hensen, 1887), todas aquellas formas pelágicas que se mueven por ser arrastradas por los movimientos del agua más que por su propia capacidad de nado. La importancia del estudio de la biomasa zooplanctónica radica en la posición que ocupa en las redes tróficas pelágicas, como transmisor de energía orgánica y pieza clave en la cadena entre el fitoplancton y los consumidores secundarios. Dentro del zooplancton hay organismos, como los rotíferos, capaces de transferir materia y energía desde bacterias y partículas de pequeño tamaño a otros organismos, recursos que sin esta interacción no podrían ser utilizados directamente por los organismos de mayor nivel en la red trófica (Santoyo y Signoret, 1980; Conde-Porcuna *et al.*, 2004). El conocimiento de sus hábitos y comportamiento permitirá caracterizar los sistemas acuáticos y conocer sus principales interacciones dominantes (Harris *et al.*, 2000; Wickstead, 1979; Santoyo y Signoret, 1980; Zavala García, 2000).

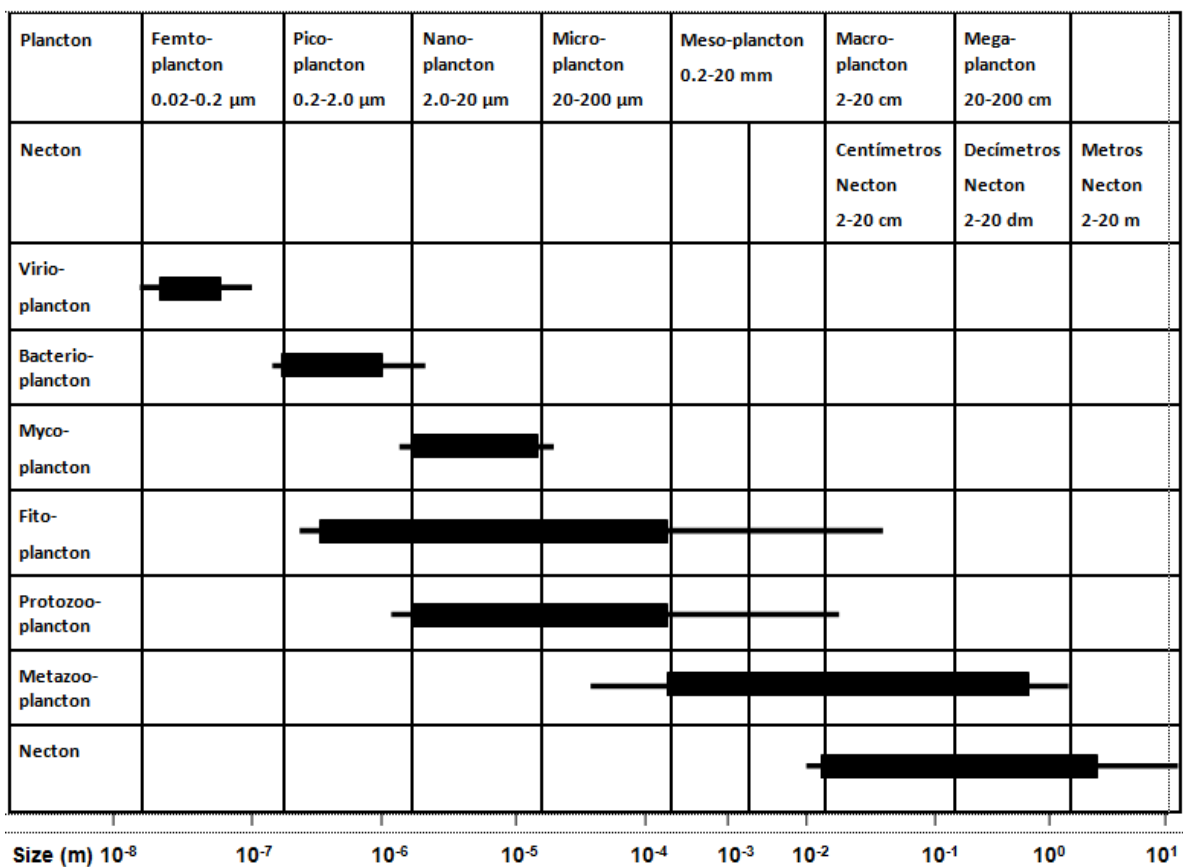
### 1.1.1 Clasificación

El plancton se divide, en dos categorías principales: 1) fitoplancton, el cual se integra por organismos fotoautótrofos, incluye un amplio grupo de plantas y algas planctónicas que generalmente viven en aguas superficiales en donde existe suficiente luz y, 2) zooplancton, que incluye a los organismos heterótrofos conformado en su mayoría por consumidores primarios y secundarios, dentro de los cuales puede haber herbívoros, carnívoros y omnívoros. Otros criterios de clasificación son la profundidad a la que habitan los organismos en la columna de

agua y su tamaño. El zooplancton marino puede contener un valor superior a 10,000 especies y tiene un amplio rango de tamaños que van desde flagelados de algunos micrómetros de largo, hasta medusas de dos metros de diámetro.

En este estudio se analizará el mesoplancton que son organismos mayores a 200  $\mu\text{m}$  (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del zooplancton de acuerdo a su tamaño (Tomado de Lenz, 2000).



### 1.1.2 Importancia

Desde el punto de vista ecológico, el estudio de la biomasa zooplanctónica, es indispensable para comprender el equilibrio de las poblaciones y comunidades marinas; así como, para poder explicar sus variaciones (Porrello, 2005). La mayor parte de los organismos zooplactónicos son nadadores activos, puesto que a pesar de ser desplazados por las corrientes, han desarrollado características que les permiten desplazarse en la columna de agua, ya sea en busca de alimento o por evasión a sus depredadores, de ahí que se les haya nombrado plancton (errante). Gracias a esta característica, el zooplancton interactúa con los diversos procesos físicos y biológicos, alterando el patrón de su distribución y biomasa tanto en escala temporal como espacial (Gasca y Suárez, 1996).

También, cabe destacar su importancia económica ya que se ha propuesto como una fuente de alimento directo para el ser humano (Aguilar-Navarro, 2005). Algunos de los grupos zooplanctónicos, como por ejemplo algunas bacterias de vida libre, pueden representar una gran fuente de recursos médicos debido a ciertas características como la producción de toxinas de interés farmacológico (Gasca y Suárez, 1991; Alba-Hurtado, 2001); otros como los sifonóforos, se utilizan como bioindicadores de determinadas masas de agua debido a que su hábitat requiere condiciones fisicoquímicas específicas. También resalta su gran importancia en la industria pesquera para desarrollar proyectos de cultivo en algunas especies de interés comercial como camarones, ostras, mejillones y peces (Wickstead, 1979). Así como, el conocimiento entre los eventos de desove y las condiciones ambientales favorables para la supervivencia larval, los cuales determinan en gran medida el éxito o fracaso de las generaciones. Por lo anterior, también es fundamental conocer adecuadamente la influencia que puedan tener los factores ambientales sobre el zooplancton que incluyen las poblaciones larvales o ictioplancton.

A finales de los 70's se reconoció el valor de estudiar el plancton como entidad dinámica, debido a que la comunidad del zooplancton es muy fluctuante a

corto y largo plazo. Por esta razón es que gran parte de las investigaciones se enfocan en descifrar la forma en que la variación de los factores ambientales afecta la biomasa del zooplancton y los cambios esperados con base en esto. Por lo que en la presente investigación se estudiará la distribución que presenta la biomasa zooplanctónica por el efecto de las condiciones hidrodinámicas presentes en el Cañón de Campeche durante la campaña denominada CAÑON IV llevada a cabo del 8 al 29 de Febrero de 2011, para estimar en qué magnitud los cambios en los procesos hidrodinámicos e hidrográficos afectan la distribución de su biomasa.

### **1.1.3 Métodos tradicionales de captura y estimación de biomasa del zooplancton**

Los métodos empleados en el estudio de la biomasa del zooplancton han ido evolucionando a la par de la tecnología; sin embargo, estos métodos han presentado una serie de problemas cruciales debido al hecho de que aún no llegan a alcanzar la exactitud deseada (UNESCO, 1979). De las primeras técnicas utilizadas en el muestreo de zooplancton y que aún se siguen empleando con eficiencia, es el uso de redes de malla fina (Fraser, 1968). No obstante, la información que proporcionan es muy limitada ya que se realizan muestreos muy puntuales que pretenden abarcar áreas más extensas (Ashjian *et al.*, 1994). Aunque en estudios con fines de conocer la abundancia específica resulta muy efectivo, sigue siendo el método más común para estudiar la distribución y composición del zooplancton tanto cualitativa como cuantitativamente. La ventaja de este método es que permite discriminar los organismos a coleccionar con base en su talla de acuerdo al tamaño de la malla de red; también, al contar con flujómetros calibrados adicionados a las redes, se puede determinar posteriormente la densidad de los organismos (Omori e Ikeda, 1984). Actualmente el uso de redes y flujómetros es rutinario en el muestreo de zooplancton en general. A partir de las muestras obtenidas con estas redes, se puede realizar la estimación de la biomasa zooplanctónica por diferentes métodos: a) Método

gravimétrico, en el cual se determina el peso o masa de los organismos, como peso húmedo, peso seco o peso seco libre de cenizas; b) Método volumétrico, este método determina el volumen desplazado por el plancton, incluyendo el agua ambiental y estructural; c) Métodos químicos y bioquímicos, en éstos métodos se determina el contenido de carbono, nitrógeno, fósforo y la cantidad de componentes bioquímicos como proteínas, lípidos, carbohidratos, ARN y ATP (Gasca, 1996). Sin embargo, la desventaja en estos métodos es que pueden resultar muy costosos o arrojan información un tanto escasa para fines científicos. En los últimos 20 años con los nuevos métodos acústicos se ha logrado un gran avance en el campo de la hidroacústica, el cual se basa en el principio de la percepción remota mediante el sonido (Galarza-Macias, 1998; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1998) que permite obtener la biomasa de zooplancton de una forma muy rápida y hasta grandes profundidades.

## **1.2 Vorticidad**

Por lo general el agua en los océanos efectúa movimientos rotatorios en todas las escalas formando giros de distintos tamaños. Los giros que se generan en el océano son de diferente escala; en la horizontal puede haber algunos tan pequeños que son dominados por la viscosidad y otros de mayor magnitud que se puede decir que “sienten” la curvatura y rotación de la tierra. Su tamaño depende de varios factores como la latitud, la estratificación, la naturaleza del fondo o incluso el modo en que se formaron (Olson, 1991). En la columna de agua se pueden presentar giros superficiales, sub-superficiales y encontrarlos a cualquier profundidad (Wang y Dewar, 2003; Salas de León *et al.*, 2004; Fratantoni y Richardson, 2006) y el tiempo de vida de estos giros es muy variado, dependiendo de su origen puede ser desde algunos meses hasta años.

El flujo en éstos giros no es necesariamente en círculos cerrados y de hecho la mayoría de las veces se presentan en forma de oscilaciones o meandros. Siempre que tengan cambios espaciales de velocidades debido a esfuerzos

tangenciales o friccionales, se producirá una tendencia del fluido a rotar, esta tendencia es la que se conoce como vorticidad, la cual se puede definir como la tendencia a formar vórtices.

La vorticidad es una cantidad vectorial física utilizada para la caracterización de la rotación de los fluidos. En el mar su estudio es de gran importancia porque está asociada con la presencia de flujos ascendentes y descendentes. Éstos son de interés en la oceanografía porque transportan energía, propiedades químicas, geológicas y biológicas del océano, como oxígeno, sedimentos en suspensión y nutrientes, entre otros (Cruz-Gómez *et al.*, 2008).

La vorticidad en el océano puede ser positiva o negativa, por el movimiento de coriolis se clasifican de manera diferente en el hemisferio norte que en el hemisferio sur, es decir; en el hemisferio norte los giros que rotan en el sentido de las manecillas del reloj son denominados anticiclónicos y presentan una vorticidad negativa y los giros que rotan contrario a las manecillas del reloj tienen vorticidad positiva y se denominan ciclónicos., mientras que en el hemisferio sur los giros ciclónicos son los que rotan en el sentido de las manecillas del reloj y los anticiclónicos en dirección inversa (Cruz-Gómez *et al.*, 2008; Wang y Dewar, 2003; Salas de León *et al.*, 2004). Independientemente del sentido en el que rotan los giros, éstos tienen un papel de suma importancia en la productividad biológica debido a que pueden modificar espacial y temporalmente la distribución de los organismos y en las condiciones físicas del océano.

### **1.2.1 Vorticidades ciclónicas y anticiclónicas**

Los giros ciclónicos en el hemisferio norte se caracterizan por la divergencia de masa, que se ve reflejada en la elevación de las isotermas y las isopicnas. Por lo que, también se les conoce como giros de núcleo frío, por el contrario los anticiclónicos son giros de núcleo cálido y se caracterizan por la convergencia y el hundimiento de agua, de esta forma al inducir los giros ciclónicos el elevamiento



de agua, la producción primaria puede verse beneficiada por el ascenso del flujo de nutrientes a la capa superficial.

Los giros anticlónicos originados por la formación de meandros entre una corriente y la plataforma continental, pueden bombear el agua del talud continental (Merino y Monreal, 1994) y contrario a los ciclónicos contienen valores mayores de temperatura y una capa superior más gruesa que las aguas de la periferia, en general las capas superiores de los anticlónicos son pobres en nitratos y concentraciones de clorofila, por lo que la producción primaria y el zooplancton en general son poco abundantes, es por esta razón que se podría decir que las aguas superficiales de estos giros poseen características oligotróficas; sin embargo, a pesar de que no representan un factor importante en la producción local, pueden modificar la distribución del plancton en general, y por lo tanto, también sus interacciones tróficas.

## 2 ANTECEDENTES

La distribución espacial del zooplancton en el océano se da en forma de parches, para comprender y entender el resultado de estos patrones de distribución y los procesos que la causan, es necesaria la obtención de datos biológicos con buena resolución en escalas de tiempo y espacio; así como de otros datos ambientales.

La mayoría de los estudios en el Golfo de México concernientes a la biomasa zooplanctónica, se han realizado en zonas costeras, frente a desembocaduras de ríos y/o lagunas costeras, ya que los aportes continentales además de estar involucrados en la crianza de diversas especies de larvas de peces de valor comercial, también promueven la llamada “producción nueva”. Sin embargo, estudios efectuados en otras regiones del sur del Golfo de México sugieren que hay zonas en las cuales los procesos oceánicos como giros, frentes, corrientes, afloramientos etc., están involucrados en la producción regenerada lo que favorecería la producción biológica y esta característica está presente en el Cañón de Campeche (Salas de León *et al.*, 2004).

En el Golfo de México, el sur de la Bahía de Campeche, constituye una región pesquera de gran importancia para México. Por lo que se han realizado varios estudios sobre diversos aspectos del plancton en la zona. Sin embargo, en lo que corresponde a los estudios detallados de las comunidades zooplanctónicas dominantes, dentro del par ciclón-anticiclón que domina la circulación en la bahía, éstos aún son escasos (Castellanos y Gasca, 1999). Entre los primeros estudios de biomasa realizados en el sur del Golfo de México, que incluyen la zona del Cañón de Campeche, se encuentran los realizados por Flores Coto *et al.* (1988). Estos autores informaron que la mayor concentración de biomasa zooplanctónica se da en zonas costeras, principalmente frente a los sistemas fluvio-estuarinos más importantes, tales como el Grijalva-Usumacinta, haciéndose más baja hacia el área del cañón. Mojica-Ramírez (2003) reportó para la región del Cañón de Campeche las mayores concentraciones de biomasa por debajo de la termoclina y en la frontera de los giros ciclónicos-anticiclónicos.

Por otro lado, en la región norte del Golfo de México, en las capas superficiales de los centros fríos de los giros ciclónicos, se han observado concentraciones de nutrientes relativamente altas. Mientras que en los centros cálidos de los giros anticiclónicos, las concentraciones son bajas (Biggs, 1992); de igual forma, se ha reportado mayor concentración de biomasa en los giros ciclónicos que en los anticiclónicos (Wormuth *et al.*, 2000). Este incremento de la biomasa se da cuando disminuye la intensidad del giro ciclónico, las poblaciones de necton y plancton pueden mantenerse por la mezcla de agua como agregaciones locales (Biggs *et al.*, 1997). Zimmerman y Biggs (1999), también reportaron una mayor concentración de zooplancton y micronecton en giros ciclónicos que en los anticiclónicos, por lo que concluyeron que los giros son los responsables de la distribución espacio-temporal de los organismos planctónicos a mesoescala geográfica.

## **2.1 Zooplancton del Cañón de Campeche**

Cabe mencionar que los estudios llevados a cabo acerca de las comunidades del zooplancton en el Cañón de Campeche aún son escasos y, menor aún los que hace referencia a los efectos de los vórtices producidos en el Cañón. Dentro de los estudios anteriores cabe resaltar el llevado a cabo por Ramírez-Cruz (2005) realizado en temporada de nortes, en el cual se registraron los mayores valores de biomasa para una de las campañas en el extremo oeste del Cañón y en los bordes inferiores del mismo; así como, valores menores en la región sureste del Cañón. En cuanto a la abundancia se reportó que el grupo más numeroso fue el de los copépodos, seguidos de los sifonóforos, eufáusidos y quetognatos, los grupos restantes sólo representaron el 2% del total. Biggs (1992) muestra para el Golfo de México algunas áreas de circulación ciclónica, las cuales están asociadas a regiones de altas concentraciones de nutrientes. Estas zonas coinciden con los altos niveles de biomasa planctónica reportados en los meses de septiembre y octubre en el Golfo de México. Según esta investigación la biomasa del

zooplancton sólo se incrementa al disminuir la velocidad en los giros ciclónicos. Hopkings (1982) menciona que por lo general, la comunidad zooplanctónica decrece con la profundidad y que la mayor parte de la biomasa se presenta arriba de los 200 m, siendo los copépodos el grupo más abundante, conformando hasta el 80% en número de organismos y la mitad de la biomasa total.

En el Golfo de México se ha vinculado a los giros con la productividad primaria, ya que éstos bombean nutrientes desde las capas subsuperficial y profunda hacia la superficie (Salas de León y Monreal-Gómez, 2005). Estudios llevados a cabo en otras regiones han demostrado que las variaciones en la estructura de la columna de agua ocasionadas por estos factores afectan la distribución temporal y espacial de los organismos (Ahlstrom, 1959; Loeb y Nichols, 1984). En estudios anteriores llevados a cabo en la Bahía de Campeche sobre distribución de la biomasa zooplanctónica (Sanvicente-Añorve, 1990), se observó que la distribución de peces a mesoescala coincide con la distribución de la biomasa zooplanctónica en la zona nerítica de la bahía y que su máxima abundancia se da en áreas influenciadas por la descarga del sistema de ríos Grijalva-Usumacinta. Gasca (1999) y Castellanos y Gasca (1999) observaron en la plataforma continental de la Bahía de Campeche bajas concentraciones de sifonóforos y eufáusidos, lo que coincide con los giros anticiclónicos, efecto contrario a las concentraciones en áreas de giros ciclónicos.

Dentro de los grupos de zooplancton reportados para la Bahía de Campeche se encuentran los copépodos calanoides, eufáusidos (Castellanos y Gasca, 1999), los quetognatos, sifonóforos, hidromedusas, pterópodos y larvas de crustáceos bentónicos. La distribución de las comunidades está marcada por el régimen de la circulación de la bahía. Mille-Pagaza y Carrillo-Laguna (2001) reportaron para el Golfo de México un número menor de especies de quetognatos y una mayor densidad de éstos, durante abril y mayo de 1986. En un estudio realizado por Mojica-Ramírez (2003), en el Cañón de Campeche los valores máximos de biomasa zooplanctónica encontrados se registraron a los 60 m de profundidad en la mayoría de las estaciones de muestreo, por debajo de la termoclina, la haloclina y la picnoclina; siendo el grupo más numeroso los

copépodos calanoides. Esta autora también concluyó que la distribución vertical de la biomasa de zooplancton está determinada por la circulación en el Cañón de Campeche (circulación ciclónica) y por las estructuras hidrográficas de la columna de agua (termoclina y picnoclina); así como por las migraciones verticales que realizan los organismos.

Finalmente en una investigación realizada por Ramírez Cruz (2005), llevada a cabo con datos colectados a finales de una temporada de nortes (Abril de 2000), se registraron altas concentraciones de biomasa en la frontera de los giros anticiclónicos-ciclónicos, lo cual es un indicativo de que la circulación en la región influye directamente en la distribución de la biomasa.

### **2.1.1 Hidrodinámica del Cañón de Campeche**

La circulación en el golfo es dominada por la corriente de Lazo que entra a través del canal de Yucatán y sale por el estrecho de Florida. Dicha corriente propicia la formación de giros anticiclónicos (que se caracterizan por tener núcleos cálidos) y ciclónicos (núcleos fríos) aunque también existen algunos formados por mecanismos diferentes (Hurlburt y Thompson, 1980; Monreal-Gómez y Salas de León, 1997). Una de las causas más importantes en la formación de los anticiclones es la intrusión de la corriente de Lazo. Estos giros cálidos se van desplazando hacia el noroeste del Golfo, hasta llegar a la plataforma de Tamaulipas donde al chocar con la plataforma terminan cediendo en masa y energía y dan origen a otros giros de menor magnitud (Vidal *et al.*, 1990). Al desaparecer dichos giros la biomasa del zooplancton cambia debido al transporte por las masas de agua oceánica de la región central del golfo de México hacia el talud y la plataforma continental occidental del golfo. La interacción del anticiclón formado por la corriente de Lazo con el par ciclónico-anticiclón en la costa de Tamaulipas, provoca el afloramiento de agua en el borde de los giros. La hidrografía de estos giros afecta los patrones de la distribución del zooplancton (Salas de León *et al.*, 1998; Sanvicente-Añorve, 1990; Vidal *et al.*, 1990). Por lo

general la mayor parte de las vorticidades negativas (anticiclónicas) se presentan hacia el noreste del cañón y existe una tendencia de las corrientes a girar ciclónicamente al suroeste de la región.

En un estudio hidrográfico del verano de 1999 realizado en el Cañón de Campeche (Monreal Gómez *et al.*, 2004), se observaron temperaturas superficiales cercanas a los 30 °C y debajo de la capa de mezcla (40 m) se detectaron dos núcleos uno cálido con 29 °C de temperatura en promedio y diámetro de 70 km y el otro frío con 25 °C, el giro anticiclónico estaba centrado en los 20° 40' N y 93° 14' W. Monreal Gómez *et al.* (2004) reportaron que la circulación baroclínica mostró los núcleos asociados a la presencia de un par anticiclón-ciclón bien definido desde los 40 m de profundidad y hasta los 300 m de profundidad. Entre ambos núcleos se encontró un frente térmico que puede inducir alta productividad biológica. Asociado a este giro anticiclónico (al norte) se presenta un giro ciclónico, donde los valores más bajos tanto de temperatura como de salinidad se encuentran en el centro del giro, al mismo tiempo se genera también una surgencia subsuperficial pegada al talud continental la cual juega un papel importante en la productividad. Estos autores establecen que el giro anticiclónico es de origen local y que la circulación geostrófica presenta una corriente hacia el sur en el talud, que disminuye con la distancia hacia el este. En el Cañón de Campeche se ha calculado la vorticidad relativa a partir de velocidades geostróficas (Rosales-Navarro, 2007) siendo ésta del orden de  $10^{-6} \text{ s}^{-1}$  (máxima velocidad horizontal de  $20 \text{ cm s}^{-1}$ ), resultados similares en el orden de magnitud de la vorticidad, a los encontrados por Santiago-Arce (2010) y Santamaría-Alvarado (2007) a partir de velocidades medidas con ADCP.

### 2.1.2 Zona de estudio

El Cañón de Campeche se sitúa entre las latitudes  $20^{\circ} 12'$  y  $21^{\circ} 36'$  N y las longitudes  $92^{\circ} 24'$  y  $93^{\circ} 24'$  W, en el Golfo de México, frente a las costas de Campeche y Tabasco en el lado oeste de la plataforma de Yucatán (Fig. 1). Es una región topográficamente compleja que presenta una profundidad máxima de 160 m en la parte superior del talud y de 2800 m en su parte más profunda. Presenta un marco tectónico pasivo con 125 km de longitud, 55 km de ancho en la parte más profunda y con 30 km de ancho en la parte de la cabeza, es un cañón con un talud de pendiente suave y pronunciada al oeste del domo (Morelock y Bryant, 1971).

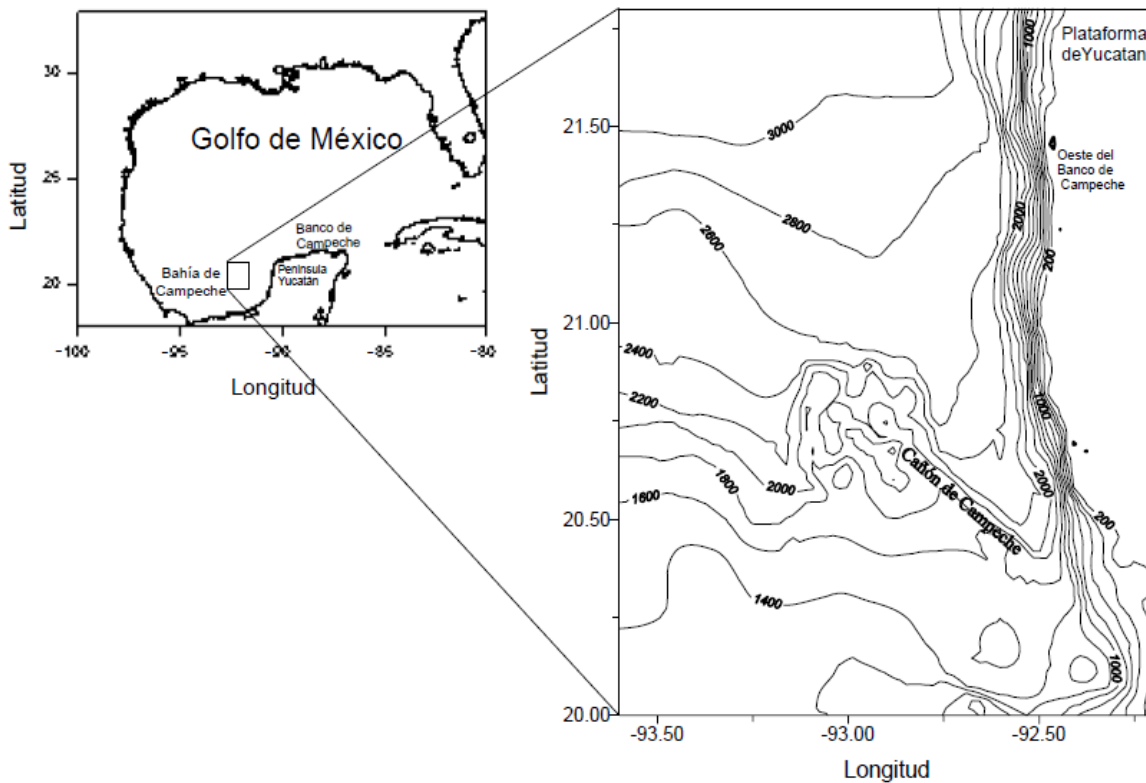


Fig. 1. Cañón de Campeche, batimetría en metros.

El Cañón presenta gran asimetría, lo que se explica por el diferente desarrollo de los taludes que lo flanquean y su magnitud de 350 km desde la cabecera hasta la zona de depósito, por ser una depresión de contacto (Mendoza y Ortiz, 2000). La superficie del fondo del Cañón es de aproximadamente 2700 km<sup>2</sup>, las pendientes características varían de menos de 1° hasta 3° (Mendoza y Ortiz, 2000). Esta área de estudio no presenta influencia directa de aporte de ríos, ni un frente halino y es afectada principalmente por la Corriente de Lazo, que es mayor en verano y por la Corriente de Yucatán (Salas de León *et al.*, 2004); aunque también es influenciada por una corriente de intrusión que se dirige hacia el sur (Monreal-Gómez *et al.*, 2004).

Se sabe que la dinámica de los cañones submarinos presentan fenómenos como formación de ondas internas, giros ciclónicos y anticiclónicos (vorticidad), afloramientos y convergencias de flujos (Klinck, 1996), por lo que es de gran importancia determinar en qué medida estos factores pueden influenciar la distribución del zooplancton en el área de estudio.



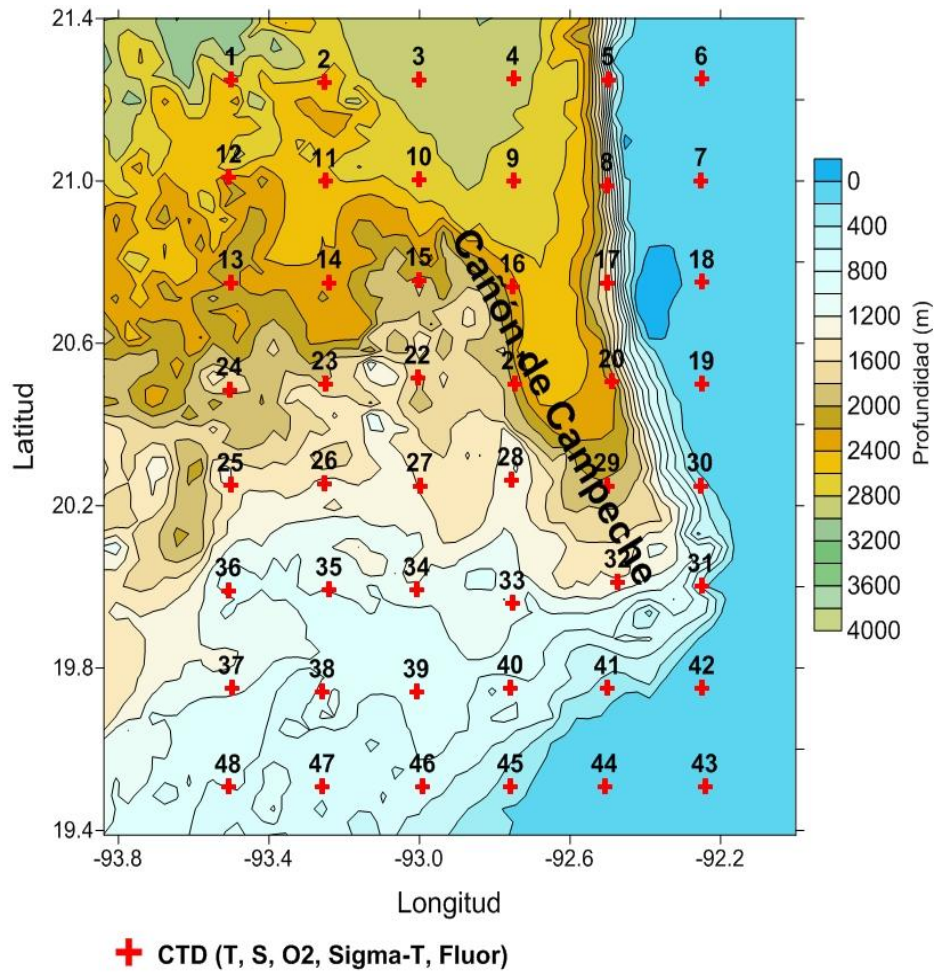


Fig. 2. Mapa de estaciones (+) y batimetría (m).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Las características del agua de mar son de gran importancia para los procesos oceánicos y biológicos. Algunas de ellas son la temperatura, la salinidad y la densidad, de éstas tres, algunos autores consideran que las variables que más influyen en el comportamiento y la distribución de los organismos son la temperatura y la salinidad (Weihaupt, 1984). Respecto a la influencia de estos factores sobre el zooplancton se han realizado numerosas investigaciones; sin embargo, aún no está bien descrito cómo afectan los procesos hidrodinámicos como las corrientes marinas, mareas, vorticidades y ondas internas a los procesos biológicos y el conocimiento de estos procesos hidrodinámicos en el Cañón de Campeche es aún menor.

Atendiendo a esta necesidad, y con base a lo propuesto por otros autores (McGillicuddy *et al.*, 1997), respecto a los efectos que los giros ejercen sobre la producción en el océano y en consecuencia con la distribución de los organismos, el presente trabajo analizará la variabilidad de las condiciones hidrográficas; así como, los efectos que la vorticalidad en el Cañón de Campeche puedan causar en la distribución y abundancia de la biomasa del zooplancton, con el fin de determinar las posibles relaciones entre las condiciones ambientales mencionadas y la distribución espacial y temporal del zooplancton.

Existen estudios de la influencia de los giros sobre la distribución de los organismos; sin embargo, éstos se han llevado a cabo en los grandes giros oceánicos en mar abierto (McGillicuddy *et al.*, 2009), pero la información del impacto que éstos ejercen en depresiones como el Cañón de Campeche, es aún muy pobre.

Tomando en cuenta que el Cañón de Campeche es de gran interés científico debido a la gran cantidad de procesos hidrodinámicos que en él se presentan, es primordial el estudio de la relación existente entre dichos procesos y la distribución y abundancia de la biomasa del zooplancton.

## **3.1 OBJETIVOS**

### **3.1.1 Objetivo general**

Determinar los efectos de la vorticidad sobre la distribución espacial de la biomasa del zooplancton en el Cañón de Campeche.

### **3.1.2 Objetivos específicos**

- Cuantificar la biomasa zooplanctónica por el método de peso húmedo.
- Determinar el patrón de corrientes y las vorticidades producidas en el Cañón de Campeche.
- Determinar la distribución de la biomasa zooplanctónica.
- Evaluar la distribución del zooplancton en condiciones de vorticidades positivas y negativas en el Cañón de Campeche.
- Determinar la relación entre los factores de vorticidad y la distribución de la biomasa zooplanctónica.

### **3.3 HIPÓTESIS**

Debido a las características de los giros ciclónicos como el ascenso de nutrientes y la elevación de las isotermas e isopicnas, la biomasa del zooplancton presentará una distribución diferencial del centro del giro aumentando hacia la periferia en los giros ciclónicos.

Debido a las características de los giros anticiclónicos como la baja concentración de nutrientes y el hundimiento de las isotermas e isopicnas, la biomasa del zooplancton presentará una distribución diferencial del centro del giro disminuyendo hacia la periferia en los giros anticiclónicos.

## **4. MATERIAL Y MÉTODOS**

Los datos y muestras usadas para este trabajo se obtuvieron en la campaña oceanográfica CAÑON IV, realizada en el Cañón de Campeche a bordo del buque “Justo Sierra” de la Universidad Nacional Autónoma de México, del 8 al 29 de Febrero de 2011. Además de las muestras biológicas tomadas por las redes, se registraron datos de temperatura, conductividad y presión con un CTD Neil Brown Mark IV, la salinidad y densidad se calcularon usando los datos de temperatura, conductividad y presión mediante los programas TEOS-10 de la UNESCO.

Con los datos de temperatura, salinidad y densidad se realizaron perfiles de temperatura, salinidad y densidad; así como planos de estas mismas variables. Esto ayudó a determinar el levantamiento o hundimiento de masas de agua para poder asociarlas a la presencia de algún giro, además de establecer la topografía de la termoclina y la picnoclina. La formación de las vorticidades se corroboró con las distribuciones verticales de temperatura, salinidad y densidad. Además de estos datos, en la campaña también se registró en la mayoría de las estaciones hidrográficas, información sobre la profundidad de la termoclina. Con estos datos se elaboraron los perfiles de los mismos por cada estación y estrato de muestreo, esto con la finalidad de distinguir de manera gráfica la formación de las vorticidades positivas y negativas en la zona.

### **4.1 Muestreo y estimación de la biomasa zooplanctónica con redes**

En el presente estudio efectuado en el Cañón de Campeche, se realizó el muestreo *in situ* de organismos del zooplancton, mediante el uso de redes cónicas de apertura-cierre, con una luz de malla de 200  $\mu\text{m}$  y 500  $\mu\text{m}$ , 80cm de diámetro de la boca de la red y 2.35 m de largo. Los niveles para el muestreo por redes se dividieron en cuatro estratos donde la profundidad lo permitía. Bajo el siguiente criterio: para profundidades que sólo permitían el uso de tres o menos redes una

vez que se colocaba el número de redes de acuerdo a la profundidad, se muestreo por un minuto en cada estrato y se continuo soltando el cable de 2 en 2 m con muestreos de un minuto en cada ocasión, cuando se llegó a los 14 m de cable, se estabilizó la red por un minuto y se recuperó el cable de 2 en 2 m con muestreos de 1 minuto cada vez durante el ascenso. En las estaciones que permitían el uso de más de tres redes se siguió el mismo procedimiento, pero el cable se fue soltando de 4 en 4 m con un minuto de muestreo en cada ocasión hasta alcanzar los 28 m a los cuales se dejó estabilizar la red por 1 minuto y se recuperó el cable de 4 en 4 m con muestreos de 1 minuto cada vez durante el ascenso. A las redes se les colocaron flujómetros previamente calibrados para posteriormente determinar el volumen de agua filtrado. Las muestras de zooplancton que se obtuvieron con las redes se fijaron en formaldehído al 4% y se trasvasaron a alcohol al 70% para preservarlas en buen estado para futuros estudios taxonómicos. Para la obtención de la biomasa zooplanctónica se utilizó el método de peso húmedo, que se describe más adelante, eliminando la mayor cantidad de agua intersticial que pudiera contener cada muestra para la determinación de la biomasa, de acuerdo al siguiente procedimiento: con base en la talla de las muestras se colocó una malla de 200  $\mu\text{m}$  en la parte inferior de un tubo de PVC de 7 cm; dicho tubo se pesó previamente sin muestra en una balanza analítica; a continuación, se colocó la muestra en el tubo y se filtró por gravedad utilizando papel absorbente para conservar las muestras en buen estado, una vez extraído el alcohol, se volvió a pesar el tubo con la muestra y se restó el peso del tubo vacío para poder obtener el peso húmedo del zooplancton. Una vez obtenido el peso húmedo y el volumen filtrado medido por el flujómetros, se obtuvo la biomasa en  $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$  mediante la relación obtenida por Zavala-García y Flores-Coto (1989):

$$Biomasa\ Zooplanctonica\ (g\ 100\ m^3) = \frac{Peso\ Neto\ (g)}{Volúmen\ Filtrado\ (mL)} \times 100$$

Para determinar el volumen de agua filtrado se usó la ecuación descrita a continuación:

$$Vol (m^3) = \pi d^2 D$$

Dónde:

$Vol$  = Volumen filtrado

$d$  = Diámetro de la red (m)

$D$  = Distancia recorrida por la red en metros

La distancia ( $D$ ) recorrida por la red en metros se obtuvo de la siguiente manera:

$$D = \frac{\text{Diferencia de lecturas del flujómetro} \times C}{999999}$$

Donde  $C$  es la constante del rotor del flujómetro,  $C = 26873$ .

## 4.2 Velocidades geostróficas y vorticidad

El movimiento a gran escala de fluidos geofísicos está determinado básicamente, por las fuerzas de gravedad, la fuerza del gradiente de presión y el efecto de Coriolis.

Para determinar movimientos de corrientes de gran escala, basado en la distribución de densidad y de la presión en una región oceánica de interés, lo importante son las variaciones o anomalías horizontales de la densidad. La

distribución de dichas anomalías puede relacionarse con la desviación de la superficie del mar. Esta topografía refleja los gradientes horizontales de la presión y a partir de estos es posible obtener aproximaciones de corrientes y sus anomalías.

De esta forma las ecuaciones que se usaron para el cálculo de las velocidades geostróficas son de la siguiente:

$$(V_1 - V_2) = \frac{1}{L2\Omega \text{sen}\Phi} \left( \int_{P_1}^{P_2} \delta B dp - \int_{P_1}^{P_2} \delta A dp \right)$$

$$(V_1 - V_2) = \frac{1}{L2\Omega \text{sen}\Phi} (\Delta\Phi_B - \Delta\Phi_A)$$

Donde  $L$  es la distancia entre dos estaciones hidrográficas, expresada en metros,  $\delta$  es la anomalía de volumen específico en  $\text{m}^3\text{kg}^{-1}$ , presión  $P$  en Pascales (o  $\text{N m}^{-2}$ ) y  $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  es la velocidad angular de la Tierra. Entonces  $(V_1 - V_2)$  estará en  $\text{ms}^{-1}$ .

Por medio de perfiles verticales de los datos de temperatura, salinidad y densidad potencial se estableció 1000 m como la profundidad de referencia para el cálculo de las velocidades geostróficas, ya que ésa fue la máxima profundidad de muestreo.

Utilizando los datos de velocidad geostróficas de las componentes  $u$  y  $v$ , se determinó la componente vertical de la vorticidad relativa, a partir de resolver numéricamente la ecuación:

$$\zeta_z = (\nabla \times v)_z = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}$$



Dónde  $\vec{v} = \vec{v}(u, v)$ . Las derivadas parciales  $\frac{dv}{dx}$  y  $\frac{\partial u}{\partial y}$  se pueden aproximar por

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{v_1 - v_0}{x_1 - x_0} \text{ y } \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{u_1 - u_0}{y_1 - y_0},$$

de esta forma se puede obtener un cálculo del comportamiento de la vorticidad relativa numéricamente, realizando el siguiente proceso:

1. De los datos de velocidad de la corriente, se obtuvieron mallas regulares a diferentes profundidades mediante análisis objetivo.
2. Se aproximaron las derivadas parciales en diferencias finitas de las velocidades sobre una distancia finita.
3. En la malla se tiene una secuencia de nodos para los datos de velocidad de la corriente en un plano (Fig. 3).
4. Finalmente se calculó la vorticidad usando la ecuación en las diferencias finitas antes mencionada.

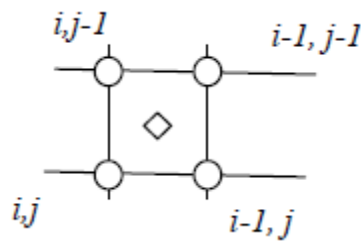


Fig. 3 Esquema de la malla.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se muestran los resultados de todas las biomásas obtenidas en la campaña por estación y profundidad. La primer columna indica el número de muestra, en la columna siguiente se ubican el número de estación en la cual fue tomada la muestra, en la tercer columna se registró la profundidad a la que se tomó la muestra en cada estación y finalmente en la última columna se registró el valor de la biomasa en  $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ .

Tabla 2. Valores de la biomasa zooplanctónica ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) por cada muestra a diferentes estratos.

Muestra	Estación	Profundidad (m)	Biomasa ( $\text{g } 100\text{m}^{-3}$ )
1	1	4	3.3194
2	3	4	4.0070
3	5	4	4.8529
4	13	4	3.5682
5	15	4	8.3888
6	17	4	9.7954
7	27	4	1.553
8	29	4	1.4580
9	31	4	10.7551
10	37	4	36.0916
11	39	4	24.9519
12	41	4	4.8182
13	42	4	37.7408
14	6	10	5.7631
15	7	10	4.7442

---

16	18	10	6.5272
17	19	10	5.8028
18	11	30	10.0361
19	25	30	13.1914
20	23	40	0.6291
21	33	40	1.0495
22	1	50	4.3452
23	3	50	10.3204
24	5	50	3.9822
26	15	50	7.1412
27	17	50	7.9116
28	21	50	8.3265
29	27	50	8.4524
30	29	50	3.7950
31	30	50	4.8985
32	31	50	6.3402
33	35	50	1.5575
34	37	50	4.4500
35	39	50	4.1972
36	42	50	1.1158
37	9	60	0.9364
38	25	65	15.8963
39	11	70	12.3320
40	9	80	2.7647
41	23	80	19.1903
42	33	80	3.4745
43	30	90	13.0083

---

---

44	1	100	6.5694
45	3	100	4.3109
46	5	100	21.3934
47	13	100	5.8970
48	15	100	2.3155
49	17	100	5.3043
50	21	100	14.3127
51	25	100	0.1153
52	27	100	8.4413
53	29	100	8.8218
54	31	100	5.1050
55	35	100	8.3533
56	37	100	20.0042
57	39	100	5.1439
58	41	100	11.5272
59	1	200	5.5151
60	5	200	5.3413
61	13	200	1.9633
62	29	200	22.0220
63	31	200	0.2446
64	37	200	9.1718
65	39	200	8.4389
66	41	200	12.2736

---

### 5.1.1 Distribución de la biomasa a diferentes estratos

Como se aprecia en las figuras 4.a) a 4.d), los valores registrados de biomasa para algunas estaciones fueron incrementándose conforme se avanzó en la profundidad, mientras que para otras ocurrió el efecto contrario, de igual forma algunas estaciones mantuvieron su producción constante a lo largo de la columna hasta los 200m, un ejemplo de ello fue en las estaciones 1 y 13, las cuales no presentaron una variación significativa de la biomasa (4 a 7 g100m<sup>3</sup>), las estaciones 3 y 5 por el contrario tuvieron un pico máximo en sus valores, la primera de ellas a los 50 m, mientras que la segunda a los 100 m de profundidad. En el grupo de estaciones que presentaron un aumento de biomasa proporcional a la profundidad se encuentran la 21, 27, 29 y 41, de este grupo la estación 29 fue la que presentó el mayor cambio gradual duplicando su valor por cada estrato de profundidad. Las estaciones que por el contrario disminuyeron su biomasa al aumentar la profundidad fueron la 15, 17, 31 y 42, siendo más marcado este cambio para la estación 42. Por otro lado, las estaciones 37 y 39 presentaron dos picos máximos de biomasa, para la primera el mayor fue en la superficie (4 m) y el siguiente a los 100 m, mientras que para la segunda se ubicó el mayor a los 4 m y el segundo a los 200 m, registrando éste último un tercio del valor obtenido en la superficie.

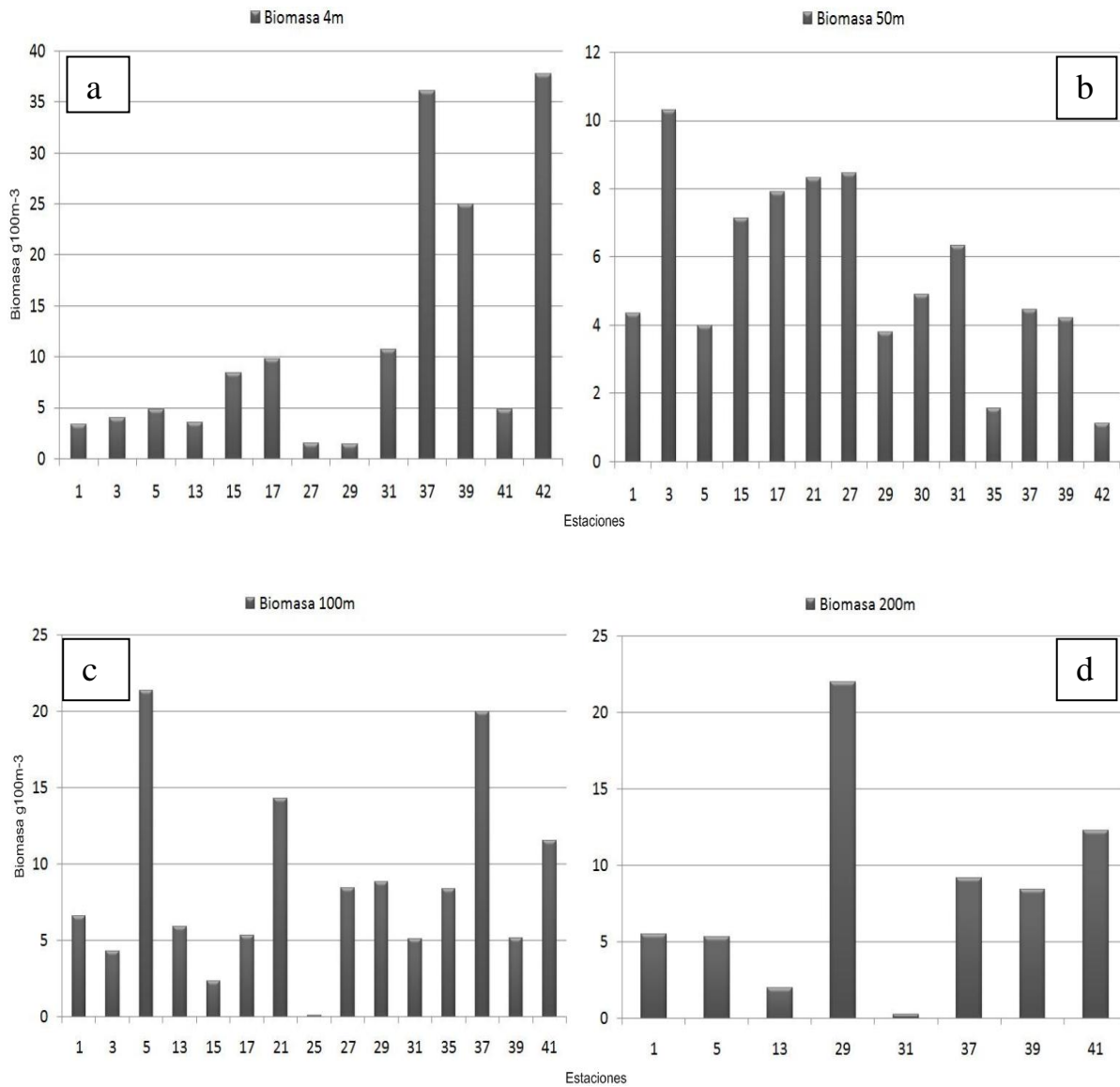


Fig. 4. Distribución de la biomasa por estación de muestreo y profundidad (a) 4 m; (b) 50 m; (c) 100 m; (d) 200 m.

A continuación se presentan otra figura que contiene todas las estaciones de muestreo a todas las profundidades.

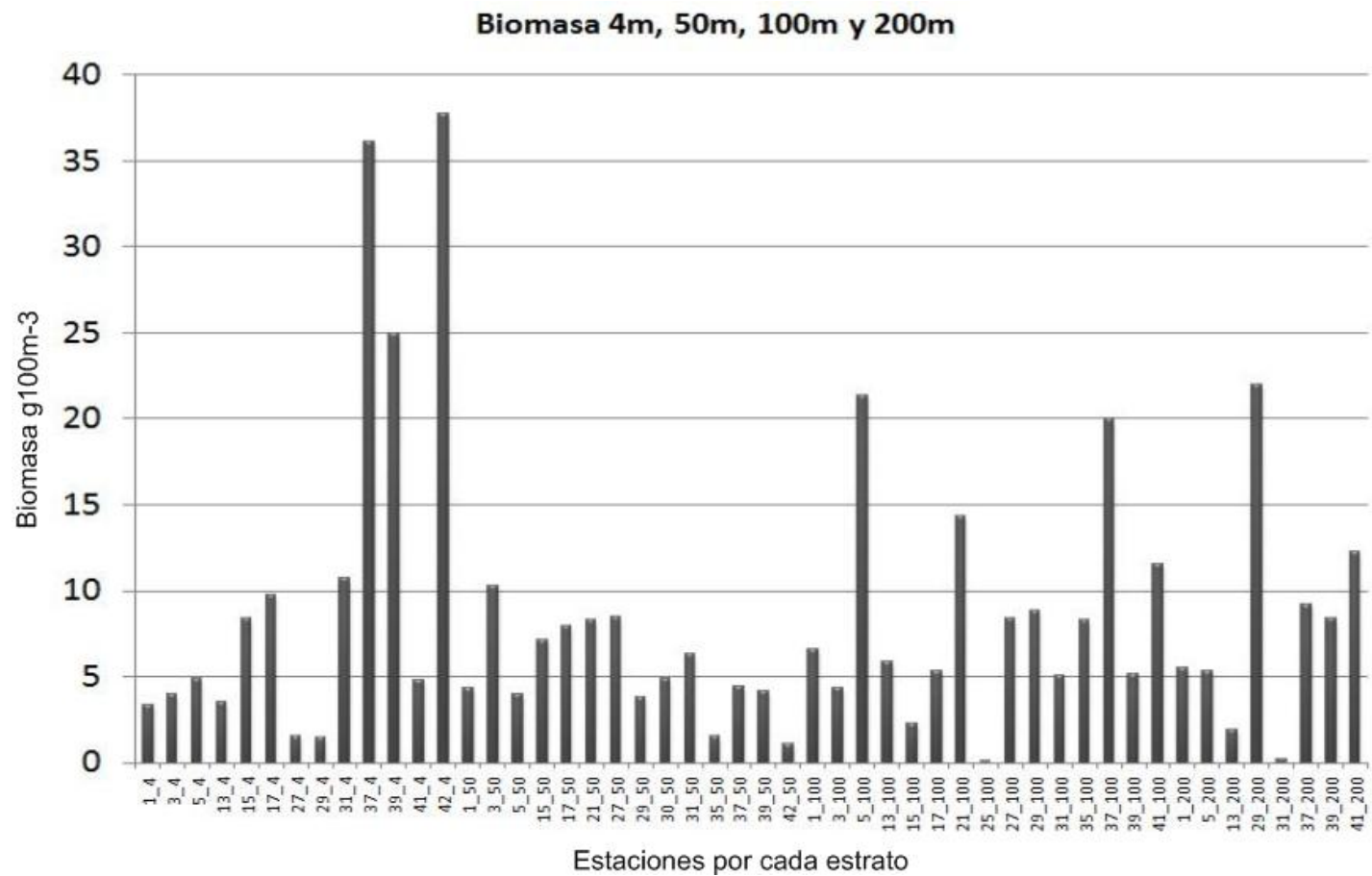


Fig. 4. e) Distribución de la biomasa por estaciones en los 4 estratos (4m, 50m, 100m y 200 m).

### 5.1.2 Perfiles verticales de T, $\sigma_T$ , S y Biomasa

En las figuras 5 a) a la 5 e) se muestran los perfiles hidrográficos hasta los 250 m de cada estación de la que se obtuvieron muestras de biomasa, éstos se elaboraron con los datos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, densidad ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) y biomasa ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) registrados para la campaña Cañón IV. Como se puede observar la profundidad de la termoclina se ubicó en promedio a los 80 m de profundidad. En general, en las estaciones oceánicas ubicadas en la zona norte del cañón, los valores máximos de biomasa se encontraron por arriba de la termoclina pero muy cercanos a la formación de ésta, por el contrario en las estaciones que se ubicaron cercanas al Cañón o en el eje del mismo, la distribución de la biomasa se comportó muy diferente, ya que si bien los máximos de biomasa no presentaron un patrón definido, se apreció que para la mayoría de las estaciones los valores más altos se ubicaron por debajo de la termoclina y unos pocos por arriba de ésta. Finalmente las estaciones que se encontraron al sur del Cañón, en su mayoría registraron los máximos valores de biomasa por debajo de la termoclina, sin embargo, entre estas estaciones también se registraron los máximos valores de la campaña y éstos se ubicaron en superficie como fueron las estaciones 37, 39 y 42.



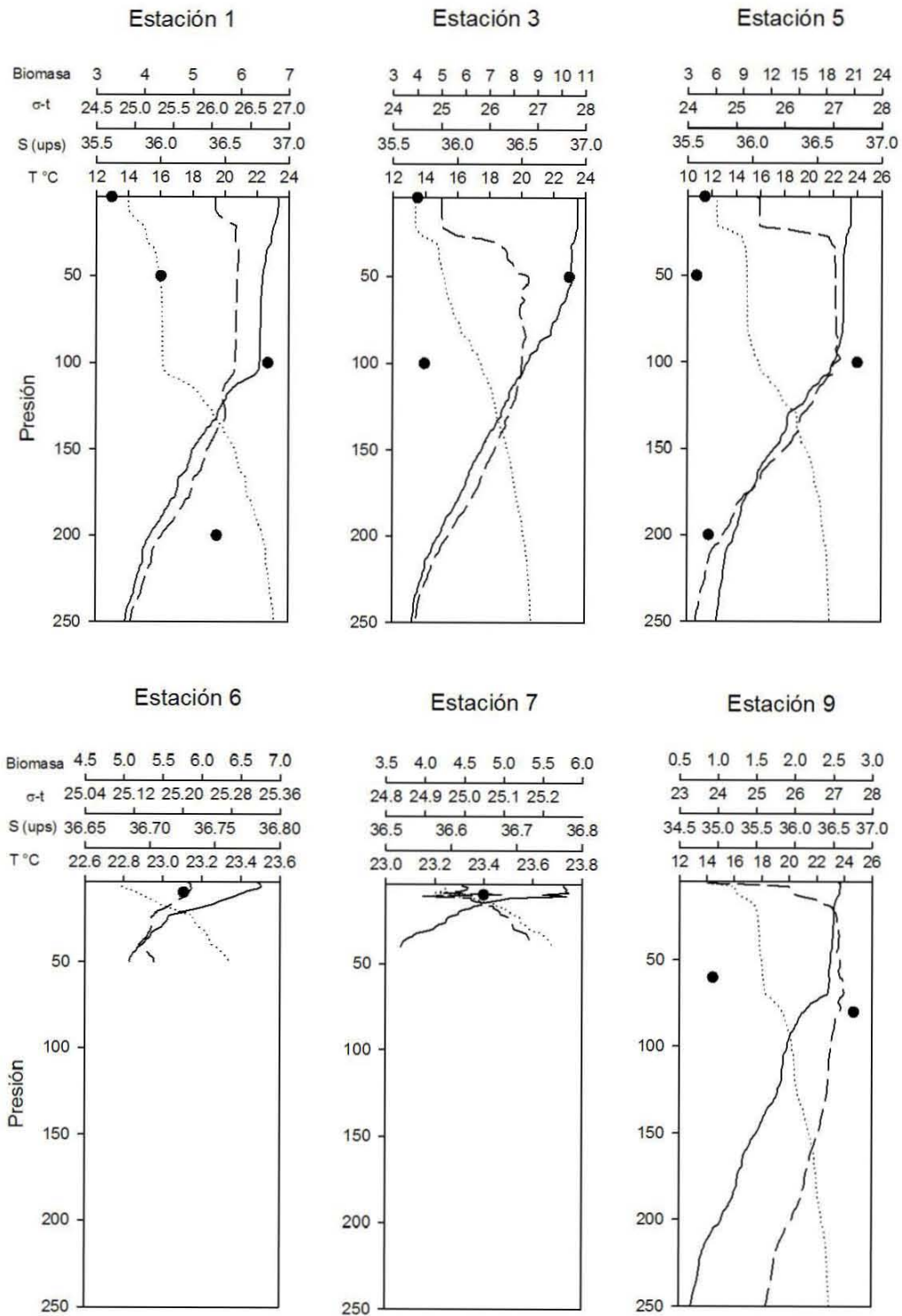


Fig. 5. a) Perfil de temperatura (°C, línea continua), salinidad (línea segmentada), densidad ( $\sigma_T$ , línea punteada), biomasa (puntos negros), (Cañon IV-250 m). estaciones 1, 3, 5, 6, 7, 9.

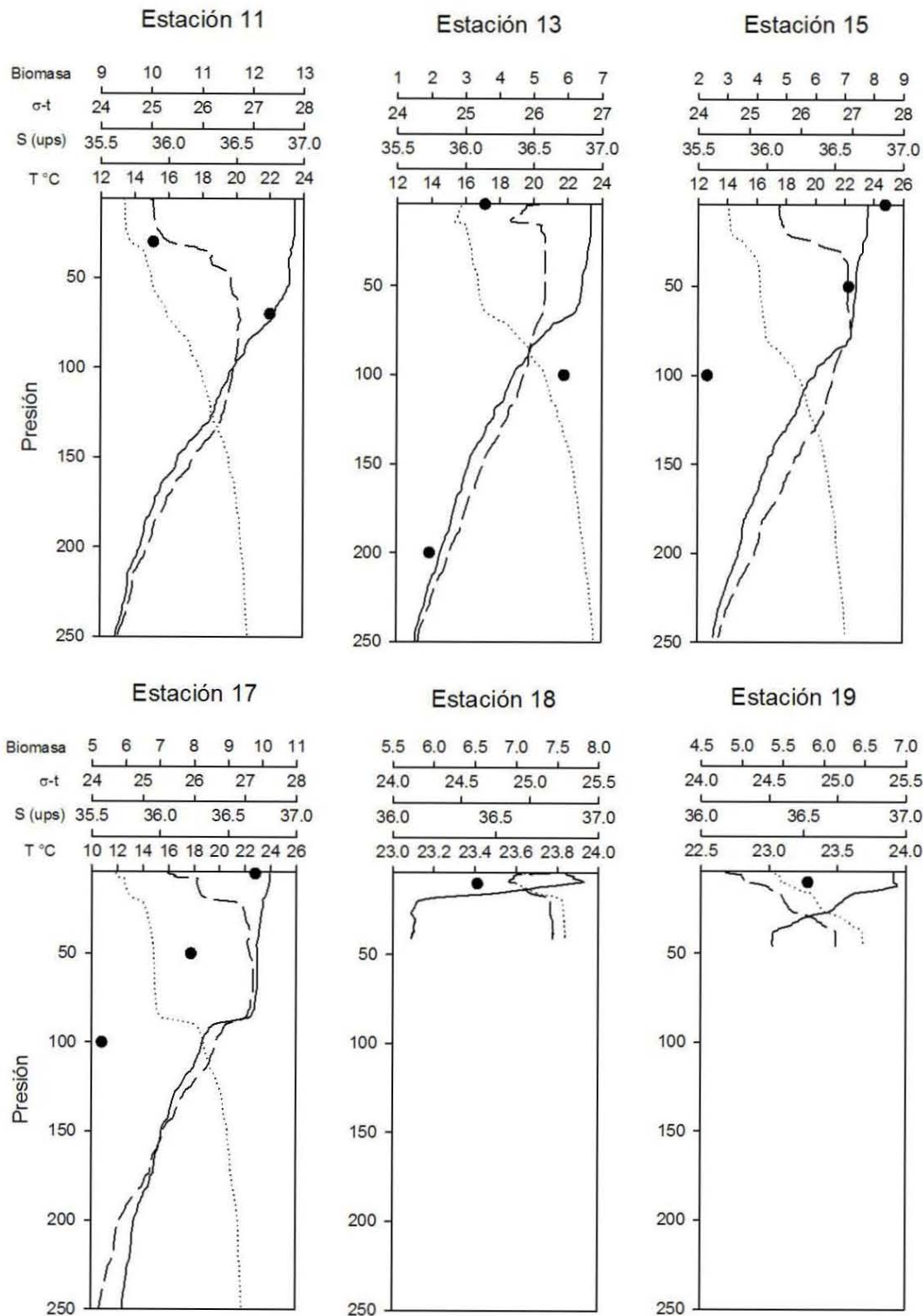


Fig. 5. b) Perfil de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), densidad ( $\sigma_t$ , línea punteada), biomasa (puntos negros), (Cañón IV-250 m) estaciones 11, 13, 15, 17, 18, 19.

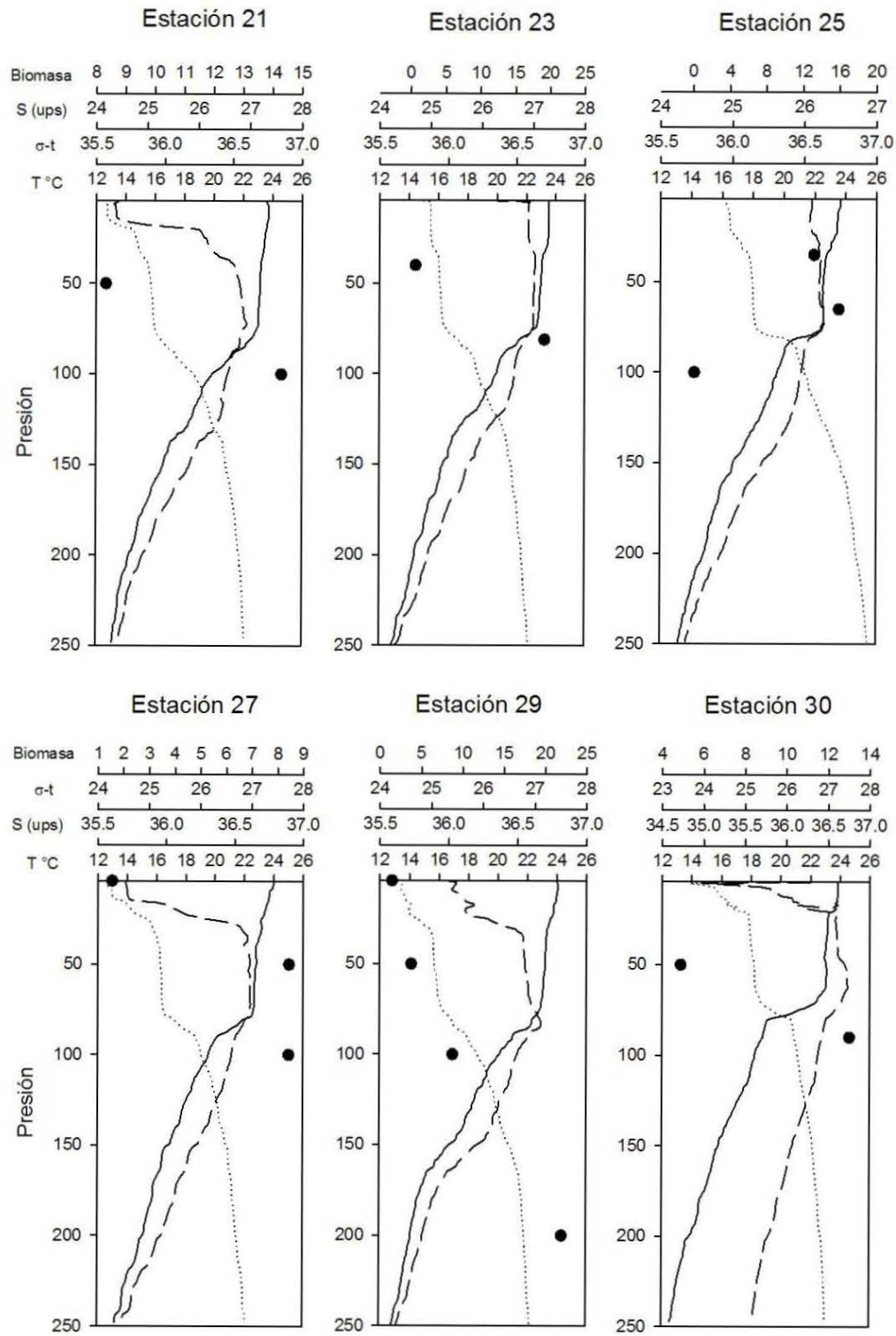


Fig. 5. c) Perfil de temperatura (°C, línea continua), salinidad (línea segmentada), densidad ( $\sigma_t$ , línea punteada), biomasa (puntos negros), (Cañón IV-250 m) estaciones 21, 23, 25, 27, 29, 30.

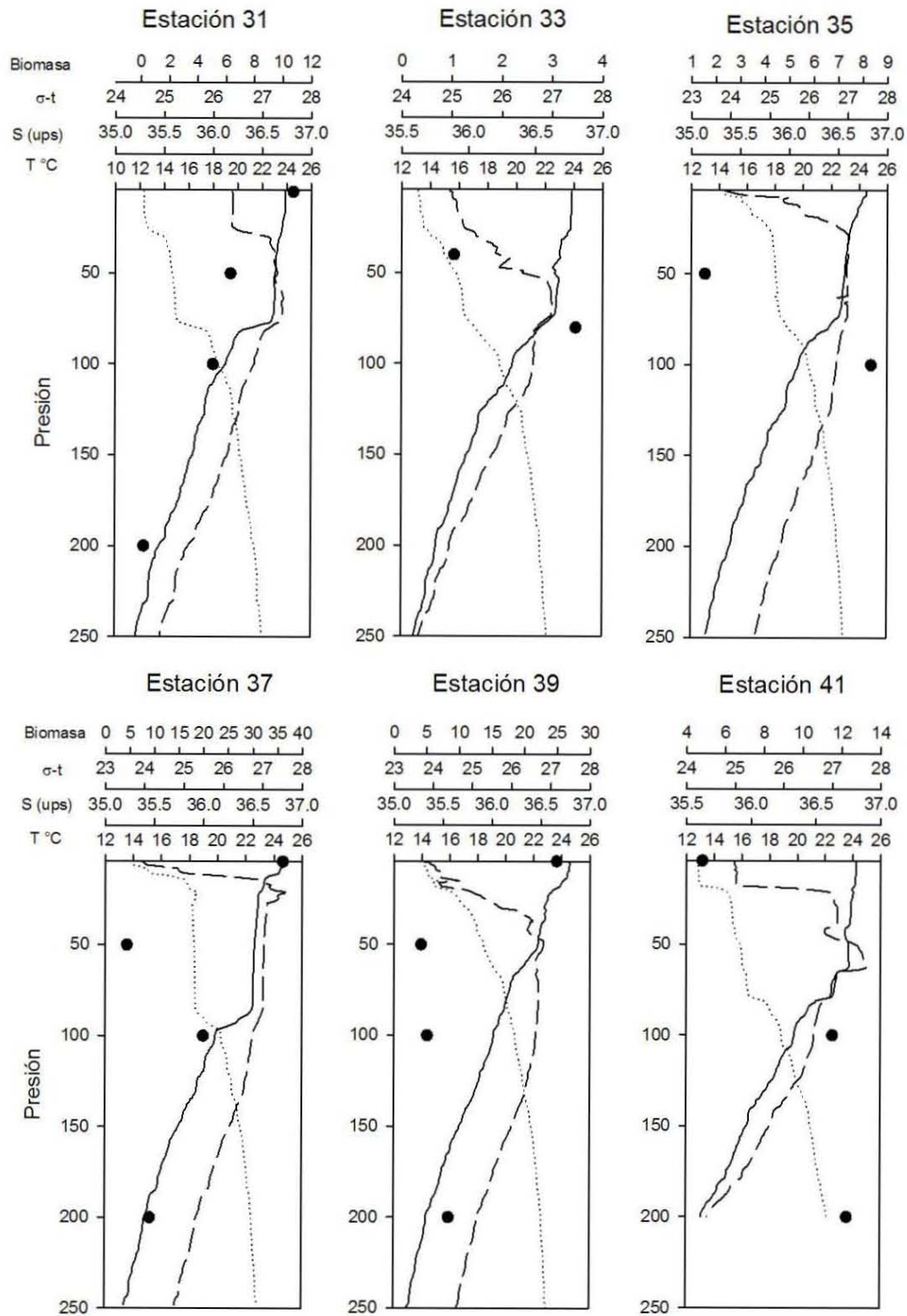


Fig. 5. d) Perfil de temperatura (°C, línea continua), salinidad (línea segmentada), densidad ( $\sigma_t$ , línea punteada), biomasa (puntos negros), (Cañón IV-250 m) estaciones 31, 33, 35, 37, 39, 41.

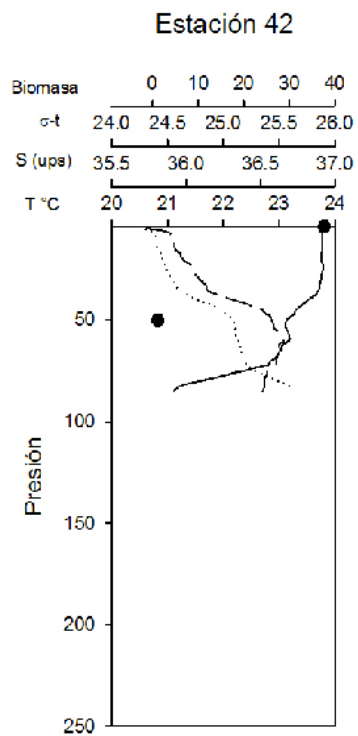


Fig. 5. e) Perfil de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , línea continua), salinidad (línea segmentada), densidad ( $\sigma_t$ , línea punteada), biomasa (puntos negros), (Cañón IV-250 m) estación 42.

### 5.1.3 Distribución de la biomasa en función de la hora

Al comparar la biomasa zooplanctónica de los organismos capturados en función de la hora del muestreo 08:00-20:00 h (día) y 20:00-08:00 h (noche), se observó que durante la campaña Cañón IV de las 17 estaciones de las que se obtuvieron organismos, ocho se realizaron durante el día y las nueve restantes en el transcurso de la noche, las estaciones correspondientes al día fueron la 3, 5, 13, 15, 25, 31, 35 y 42, por el contrario las estaciones realizadas en la noche fueron la 1, 17, 21, 27, 29, 30, 37, 39 y 41. Para el estrato de 4 m (Fig. 6 a) se presentaron las estaciones más productivas de la campaña, en este estrato se observó una marcada diferencia entre las estaciones nocturnas a comparación de las realizadas durante el día, siendo las más productivas las realizadas durante la noche registrando máximos de  $24.9 \text{ g } 100\text{m}^{-3}$  y  $36.0 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$  lo cual nos indicó que a esa profundidad se encontraban organismos que estaban realizando una migración nocturna; sin embargo, como también se puede apreciar en la imagen se registró un pico de biomasa de  $37.7 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$  cerca de las 13:00 h lo que podría indicar la existencia de un grupo distinto de organismos los cuales realizaban una migración inversa. Para la profundidad de 50 m no se observó un patrón muy definido de migración, ni una diferencia notoria entre los valores nocturnos con los registrados de día con una diferencia entre ambos de apenas  $0.39 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ ; sin embargo, aunque con pocas diferencias las estaciones con mayor biomasa con valores de hasta  $21.39 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$  se dieron en el transcurso del día.

En el estrato de 100 m a excepción de un pico registrado a las 15:00 h, las estaciones más productivas ocurrieron en el transcurso de la noche, se observó un patrón similar al de 4 m, ya que a esta profundidad parecen encontrarse dos migraciones distintas observándose un pico en las estaciones nocturnas que se registró a las 00:00 h. con un valor de biomasa de  $20.00 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$  y otro pico que puede asociarse a una migración inversa (Fig. 6 b) que comenzó a las 05:00 h con un valor de  $5.1 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$  y alcanzó su máximo a las 15:00 h con un valor de  $21.39 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ , a esta profundidad además del efecto de las migraciones de los

organismos es muy posible que el patrón de distribución observado se vea influenciado por la termoclina, la cual en promedio para toda la campaña se registró a los 80 m de profundidad siendo éste el estrato más cercano a la termoclina. Finalmente en el cuarto estrato a los 200 m de profundidad, se observó una clara diferencia entre los valores de las estaciones nocturnas a comparación de las muestreadas en el día, con una diferencia entre ambas de  $10.00 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ , presentándose los valores más altos de biomasa en la noche ( $22.02 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) cerca de la 05.00 h y disminuyendo en el transcurso del día, siendo este estrato el que muestra más claramente la presencia de una migración de los organismos de tipo nocturna, lo cual podría deberse a que; de acuerdo con Maycas-Ribera *et al.* (1999), la biomasa zooplanctónica decrece después de los 200 m, por lo cual los organismos que aún llegan a encontrarse debajo de esta profundidad tienen que subir en la columna para poder encontrar alimento.

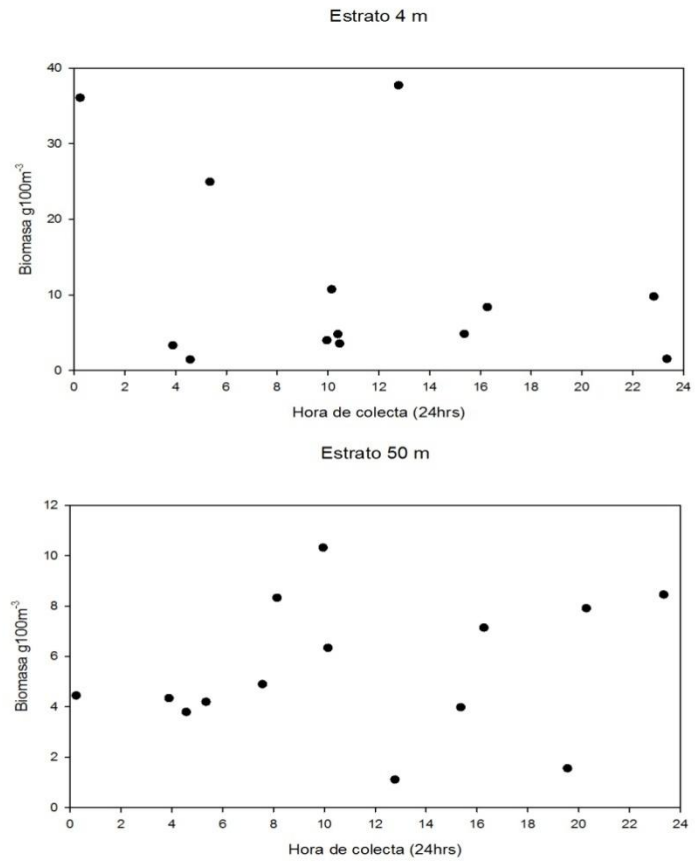


Fig. 6. a) Dispersión de la biomasa en función de las horas del día en 4 y 50 m.



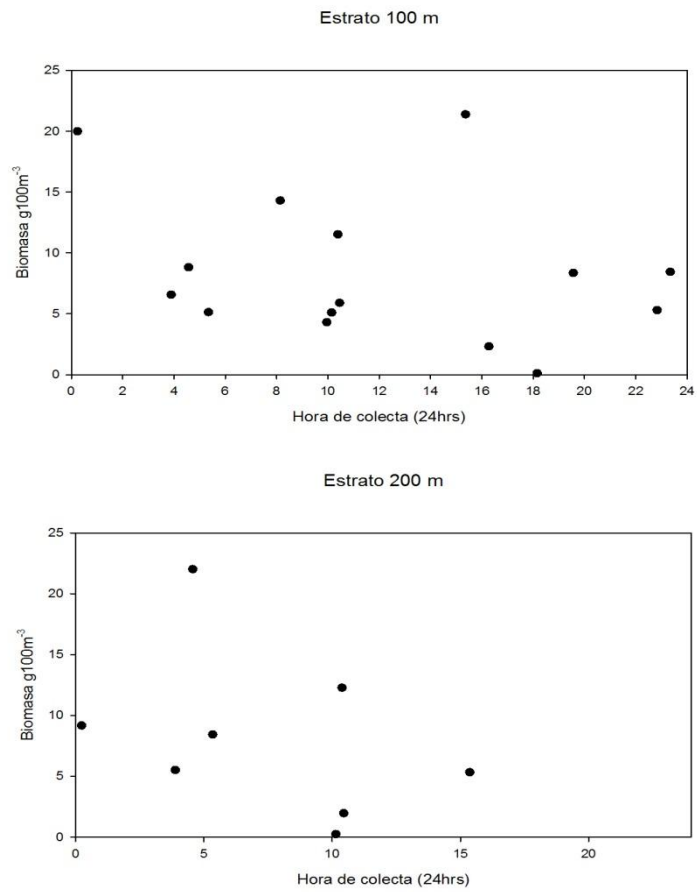


Fig. 6. b) Dispersión de la biomasa en función de las horas del día en 100 y 200 m.

#### 5.1.4 Distribución de la biomasa en función de la vorticidad

En un análisis de la biomasa zooplanctónica de los organismos, obtenida bajo la influencia de vorticidades positivas y negativas se observó que en el primer estrato se obtuvieron 6 estaciones (1, 3, 27, 29, 41 y 42) en presencia de vorticidades negativas y 7 estaciones (5, 13, 15, 17, 31, 37 y 39) en zonas de vorticidad positiva (Fig. 7 a), entre estos dos grupos se observó una marcada diferencia entre las biomásas de los organismos capturados en condiciones de vorticidad positiva y negativa, el valor máximo de todo el estrato ( $37.74 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) perteneciente a la estación 42 se ubicó en una zona de vorticidad negativa con un valor de vorticidad cercano a  $-1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ; sin embargo, esa estación por sus valores de vorticidad se localiza muy cercana a la frontera entre valores positivos y negativos lo que puede explicar su gran producción biológica, después de este punto se registraron los máximos valores de biomasa ( $36.09$  y  $24.95 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) en la zona de vorticidad positiva con valores de vorticidad cercanos a  $2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ , este máximo fue disminuyendo al ir aumentando los valores de vorticidad concordando con lo reportado por Biggs, (1992), quien menciona que el aumento de la biomasa se da al disminuir la intensidad en los vórtices, en contraste los valores máximos de biomasa registrados para las zonas con vorticidad negativa a excepción de la estación 42, estuvieron entre  $7$  y  $8 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ , muy por debajo de los anteriores.

En el estrato siguiente (Fig. 7 a) se registraron cinco estaciones (15, 21, 27, 29 y 42) en zonas con vorticidad negativa y nueve estaciones (1, 3, 5, 17, 30, 31, 35, 37 y 39) en condiciones de vorticidad positiva, a esta profundidad a pesar de que el patrón de distribución que presentaron las estaciones sigue siendo similar al de el estrato anterior, las diferencias entre los valores máximos de biomasa registrados en las zonas de vorticidades positivas ( $10.32 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) no son tan marcados con los obtenidos en vorticidades negativas ( $8.45 \text{ g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) registrándose el máximo valor de biomasa en las zonas de vorticidad positiva con valores de vorticidad cercanos a  $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ .

El estrato de 100 m se conformo de 15 estaciones, contando con el mayor número de estaciones muestreadas de la campaña, de éstas siete se ubicaron en zonas de vorticidad negativa (3, 15, 21, 25, 27, 29, y 41) y las ocho restantes (1, 5, 13, 17, 31, 35, 37 y 39) en zonas con vorticidad positiva. Al igual que en los estratos anteriores los valores máximos de biomasa (20.00 y 21.39 g 100 m<sup>-3</sup>) se registraron las zonas con vorticidad positiva, estos picos se pueden observar en la Fig. (7 b) con una rango de vorticidad entre 0.5 y 2.5 × 10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup>, después de los cuales al ir aumentando la intensidad de la vorticidad los valores de la biomasa fueron disminuyendo, por el contrario en la zona de vorticidad negativa se observó que los valores de la biomasa tuvieron un incremento con el aumento de intensidad del giro, presentándose los valores más altos de biomasa (14.31 y 11.52 g 100 m<sup>-3</sup>) para esta zona en áreas con vorticidades en el rango de -3 a -6 × 10<sup>-6</sup>s<sup>-1</sup> aproximadamente.

En el estrato de 200 m se obtuvo el menor número de muestras contando con sólo 8 estaciones, de las cuales cinco se ubicaron en áreas de vorticidad negativa (5, 29, 31, 37 y 41) y las otras tres en áreas con vorticidad positiva (1, 13 y 39), esta profundidad presentó una distribución diferente a la que se venía observando desde los 4 m con una muy marcada diferencia entre los valores de biomasa registrados para los dos tipos de vorticidad, contrastando los valores más altos (12.27 y 22.02 g 100 m<sup>-3</sup>) en las zonas con vorticidad negativa, con los registrados en zonas de vorticidad positiva (8.43 y 5.51 g 100 m<sup>-3</sup>), éste estrato además de estar muy por debajo de la termoclina presentó una patrón de corrientes muy diferente con respecto a las tres profundidades anteriores, lo cual también puede explicar este cambio de distribución de la biomasa en función de la vorticidad.

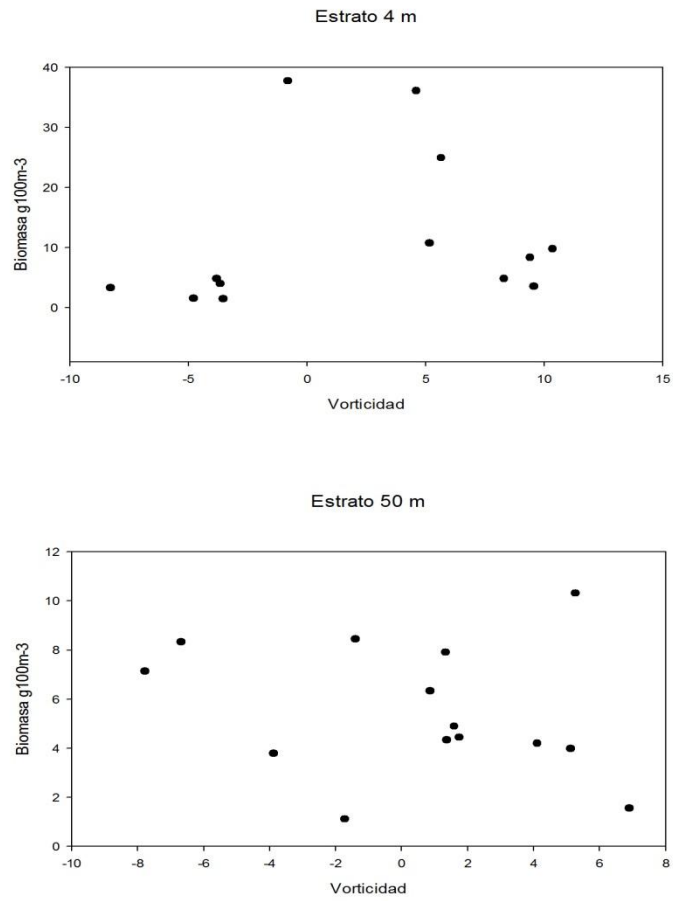


Fig. 7. a) Dispersión de la biomasa en función de la vorticidad en 4 y 50 m.

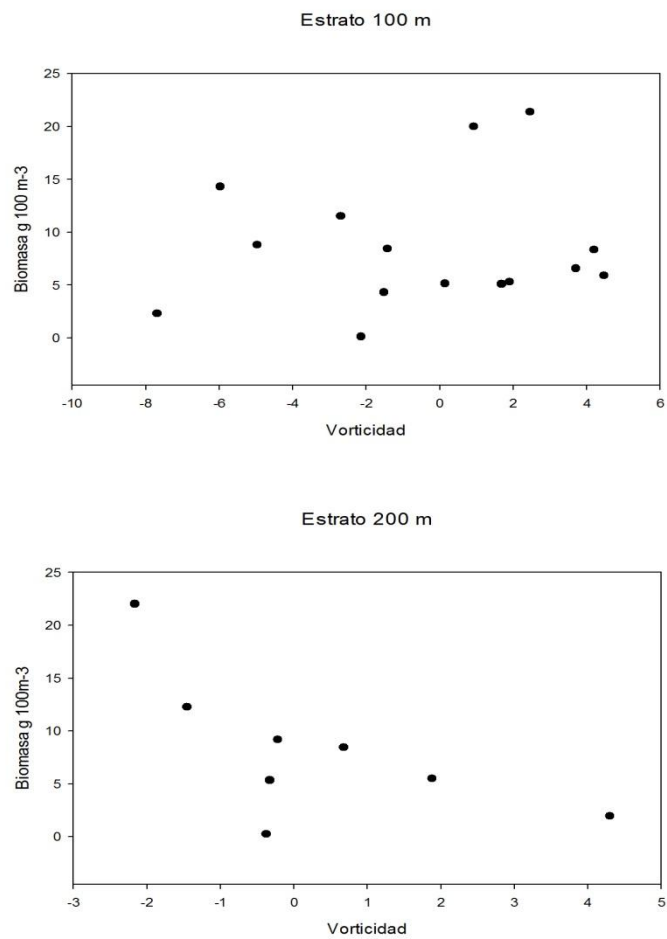


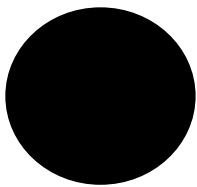
Fig. 7. b) Dispersión de la biomasa en función de la vorticidad en 100 y 200 m.

## 5.2 ESTRATO DE 4m

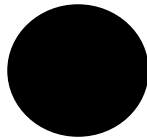
### 5.2.1 Distribución de la temperatura y biomasa de zooplancton a 4m de profundidad (superficie)

La temperatura en la superficie (4m) varió de 23.5 a 24.5 °C, presentándose la zona más fría en la parte norte de la zona y ésta se fue incrementando hacia la parte sur ubicándose las áreas más cálidas al suroeste de la malla

En las figuras 8 a), 8 b), 9 a), 9 b), 10 a), 10 b), 11 a) y 11 b), se usarán como valores de referencia de biomasa los siguientes símbolos:



1)



2)



3)



4)

1) 40 g 100 m<sup>-3</sup>

2) 30 g 100 m<sup>-3</sup>

3) 20 g 100 m<sup>-3</sup>

4) 10 g 100 m<sup>-3</sup>

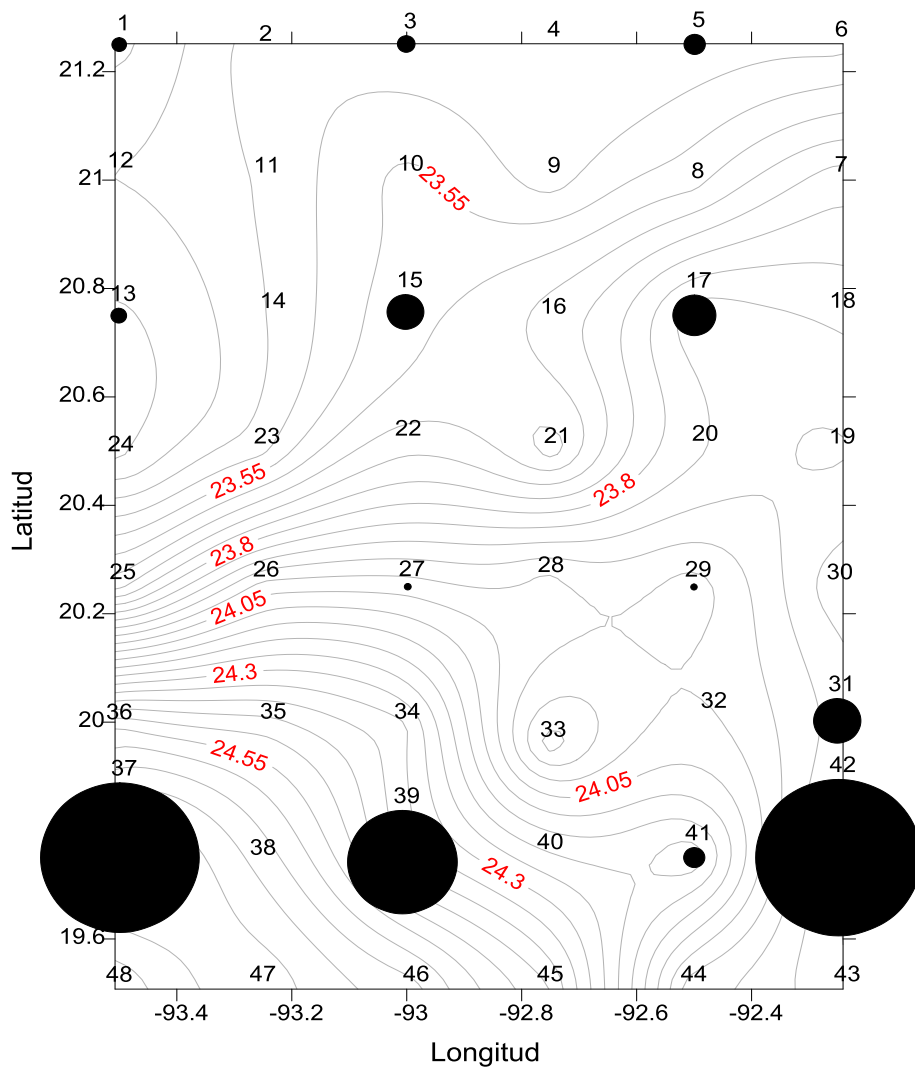


Fig. 8. a) Distribución horizontal de la temperatura (°C) y biomasa de zooplancton ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) a 4m de profundidad. Estaciones (numeros negros), Valor de la temperatura (numeros rojos)

### 5.2.2 Distribución de la densidad ( $\sigma_T$ ) y biomasa de zooplancton a 4m (superficie)

En la superficie (4m) hubo variaciones muy marcadas de la Sigma-T abarcando de 23.9 a 24.9  $\text{kg m}^{-3}$ , coincidiendo los menores valores del estrato con las bajas temperaturas (Fig.8 a) y presentando valores de 24.4  $\text{kg m}^{-3}$  para la mayor parte de la zona.

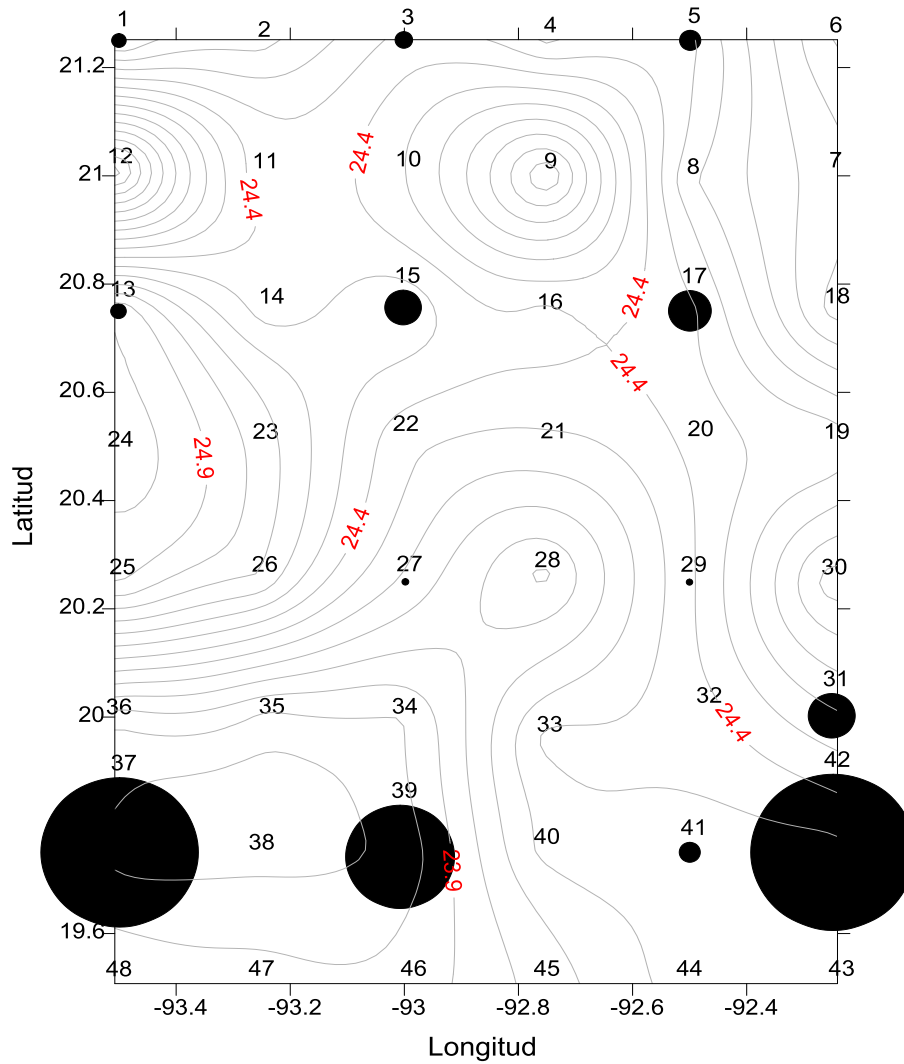


Fig. 8. b) Distribución horizontal de la densidad ( $\text{kg m}^{-3}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) a 4m de profundidad. Estaciones (numeros negros), Valor de la densidad (numeros rojos)

### 5.2.3 Corrientes geostróficas y vorticidades a 4 m

A 4 m de profundidad en la zona suroeste y noroeste de la región se registró un patrón de corrientes ciclónico, mismo que se puede ver reflejado en los valores de vorticidad obtenidos para la zona, en los cuales se observaron valores de la vorticidad del doble para la zona noroeste con respecto al área suroeste. Las vorticidades se ubicaron entre los  $4 \text{ y } 8 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  para la primera y de  $0 \text{ a } 4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  para la segunda. Hacia el centro de la región, cercano al eje del Cañón se observaron patrones de circulación anticlónica mismos que originaron la formación



de un gran giro anticlónico en el área con valores de vorticidades que fueron de 0 hasta  $-10 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ , la influencia de este giro es tan grande que se aprecia cómo afecta el patrón de corrientes hacia la zona sureste del cañón. Finalmente en el otro extremo de la región en la zona noreste, se apreció un patrón de circulación ciclónico con altos valores de vorticidad, los cuales se ubicaron en el rango de  $6 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$  en el centro del giro, hasta  $14 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$  hacia la periferia del mismo.

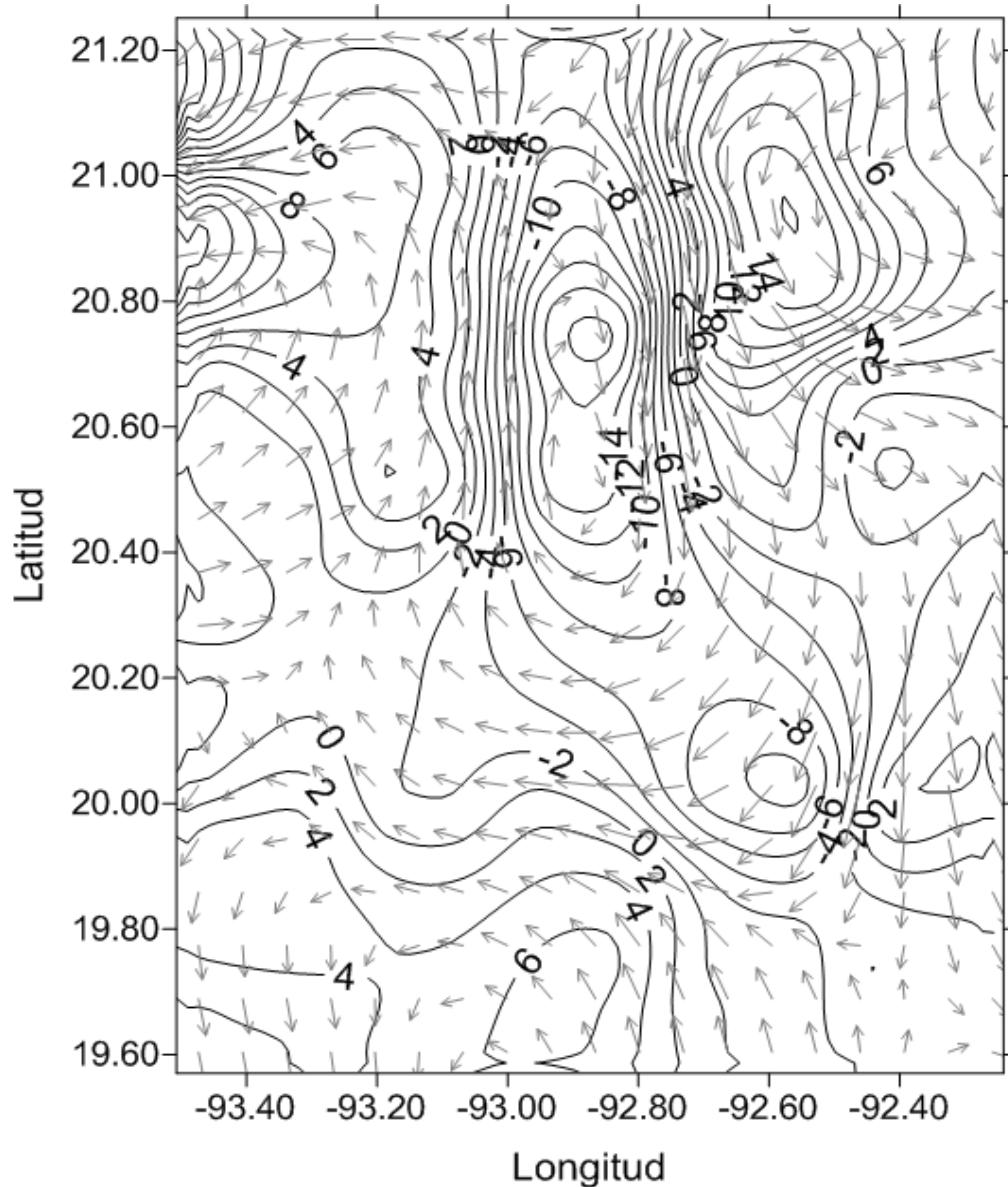


Fig. (8. c) Vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ) y patrón de corrientes geostróficas ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a 4 m de profundidad.

Vector de referencia  $40 \text{ cm s}^{-1}$ .  $\longrightarrow$

#### 5.2.4 Análisis de conglomerados 4 m

Para la campaña Cañón IV realizada en el mes de Febrero de 2011 en época de nortes, se realizaron cuatro estratos de muestreo: a 4 m (superficie), 50 m, 100 m y 200 m, se ubicaron 48 estaciones de muestreo por cada estrato y se tomaron datos ambientales en todas ellas; sin embargo, las estaciones donde se colectaron datos biológicos variaron de acuerdo a la profundidad del muestreo.

En el estrato de 4m las estaciones se distribuyeron en cuatro grupos diferentes, de acuerdo a sus valores de biomasa (Fig. 8d), para el primer grupo se registraron los mayores valores de biomasa de toda la campaña ubicándose en las estaciones 37, 39 y 42 (Fig. 4a) con un valor de 36.09, 24.95 y 37.74 g 100m<sup>-3</sup> respectivamente (Tabla 2), de éstos resalta la magnitud de biomasa registrada para la estación 42 casi duplicando los reportes registrados por Mojica-Ramírez (2003) y (2008). De acuerdo a una investigación realizada por Arriola-Pizano (2012), donde se comparó los datos de biomasa de cinco campañas realizadas en el Cañón, para una de las campañas realizadas en abril de 2001, en época de no nortes, éste autor reportó sus máximos valores de biomasa sobre la misma zona que nuestro estudio al sur del Cañón. En otra investigación realizada por Ramírez-Cruz (2005), también se reportó elevada biomasa en la región sureste del Cañón. Las tres estaciones antes mencionadas, se agruparon en el extremo sur de la zona de muestreo, las primeras dos estaciones, son estaciones profundas totalmente oceánicas, a diferencia de la 42 que fue una estación somera pegada a la plataforma continental con una profundidad total de 80 m, lo cual también podría explicar su alta densidad de organismos ya que otros autores han reportado que las zonas cercanas a la plataforma tienen mayor abundancia de organismos que las oceánicas (Flores Coto *et al.*, 2009). Las tres estaciones se muestrearon entre las 00:00 y las 12:00 h, por lo cual esta distribución puede atribuirse más allá de las propiedades intrínsecas de los organismos (migraciones nocturnas y diurnas), a los procesos hidrodinámicos de la zona, específicamente la presencia muy marcada de una circulación ciclónica-anticiclónica que se puede apreciar en la

Fig.6c, que va de este a oeste. Las estaciones 37 y 39 están influenciadas por los bordes de la formación de un giro ciclónico, coincidiendo con lo reportado por Zimmerman y Biggs (1999), sobre la influencia de estos giros en la producción local, de igual manera apoyando las investigaciones de Franks (1992), la estación 42 se encuentra en un frente entre dos giros ciclónico-anticiclónico y estas zonas de frontera se han descrito como áreas de retención y acumulación altamente productivas debido a que favorecen la producción nueva de la zona llevando consigo nutrientes y propiedades favorables para la alimentación del zooplancton (Salas de León *et al.*, 2004).

El segundo grupo está conformado por las estaciones 15, 17 y 31 (Fig. 4a) con valores que se encuentran en el rango de 8.00 a 11.00 g 100m<sup>-3</sup> aproximadamente (Tabla 2). La primera estación se ubicó en el eje del Cañón mientras que la segunda está ubicada en el talud continental, para esta zona Gasca *et al.*(1995) reportan una alta producción de zooplancton, igualmente Arreola Pizano (2012), en una de las campañas realizada en abril de 2001, bajo la influencia del paso de nortes, registró sus mayores índices de biomasa justo en esta zona del talud, con valores muy similares a los nuestros (10.09 g 100m<sup>-3</sup>), las dos estaciones se localizaron en zonas de circulación ciclónica; sin embargo, la estación 15 parece ubicarse justo entre la transición de un giro anticiclónico presentando vorticidad negativa (Fig. 8c). También es posible que la influencia de la corriente de intrusión que atraviesa el Banco de Campeche se extienda hacia la parte central influenciando una mayor productividad biológica (Gasca *et al.*, 1995). En general, en la zona no hubo cambios muy marcados de temperatura; sin embargo, se observó un gradiente que va de la parte norte del Cañón hacia el sur (Fig. 8a), dicho cambio en la distribución de la temperatura se vio más pronunciado en la estación 31 ubicada en la parte sureste del cañón con un patrón de circulación ciclónica y con vorticidad positiva en la zona.

El tercer grupo en la zona de la superficie y que presentó valores de biomasa no tan abundantes, fue el conformado por las estaciones 1, 3, 5, 13 y 41 (Fig. 4a) presentando valores que van de 1.4 a 4.8 g 100m<sup>-3</sup> (Tabla 2), todas estas estaciones se localizan en una zona oceánica afectada aún por la circulación del

Cañón a excepción de la 5, que se encuentra en el talud continental sólo que al extremo noreste y que está influenciada por la circulación ciclónica de la zona con vorticidad positiva. Este grupo de estaciones a excepción de la 5 y la 13 se ubicaron en zonas de vorticidad negativa (Fig. 8c) y, de este par, la estación 13 junto con la estación 1 tuvieron los valores de biomasa más bajos para el grupo, esto puede deberse en el caso de la estación 13 a que si bien está ubicada en una zona bajo la presencia de un giro ciclónico, ésta se encuentra muy cercana al núcleo del giro y es posible que en esta área los giros ciclónicos no sean tan productivos como lo son en los bordes del mismo (Flores-Coto *et al.*, 2000). Por otro lado, la estación 5 como ya se mencionó, a pesar de encontrarse en una zona ciclónica, registró vorticidades más altas que las demás estaciones, estas vorticidades son de alrededor de  $6 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ , este dato de acuerdo a Wormuth *et al.* (2000) puede afectar la distribución de la biomasa, ya que estos autores mencionan que en los giros ciclónicos hay mayor densidad de organismos que en los anticiclónicos; sin embargo, esta biomasa sólo se ve incrementada cuando los giros disminuyen su velocidad o van desvaneciéndose, las estaciones restantes 1 y 3 se encuentran en la parte noroeste del área de estudio, mientras que la estación 41 se localizó al otro extremo en la zona sureste del cañón muy cercana a la plataforma.

Finalmente el cuarto grupo presentó los valores de biomasa más bajos pero más homogéneos para este estrato y, fue el conformado por las estaciones 27 y 29 (Fig. 4a), con valores de 1.5 y 1.4 g  $100\text{m}^{-3}$  respectivamente (Tabla 2), la primera de ellas se ubicó en una zona que es afectada directamente por la hidrodinámica propia del Cañón y que presentó vorticidad negativa (Fig. 8c). La segunda se localizó en el talud continental al sureste del Cañón influenciada también por un patrón de corrientes anticiclónico, ambas al localizarse en zonas de vorticidades negativas y de acuerdo a lo propuesto por Salas de León *et al.* (2004) y Biggs (1992) puede explicar el por qué estas zonas registraron los menores índices de biomasa para este estrato ya que de acuerdo a estos autores los giros anticiclónicos están asociados con zonas de baja producción biológica.

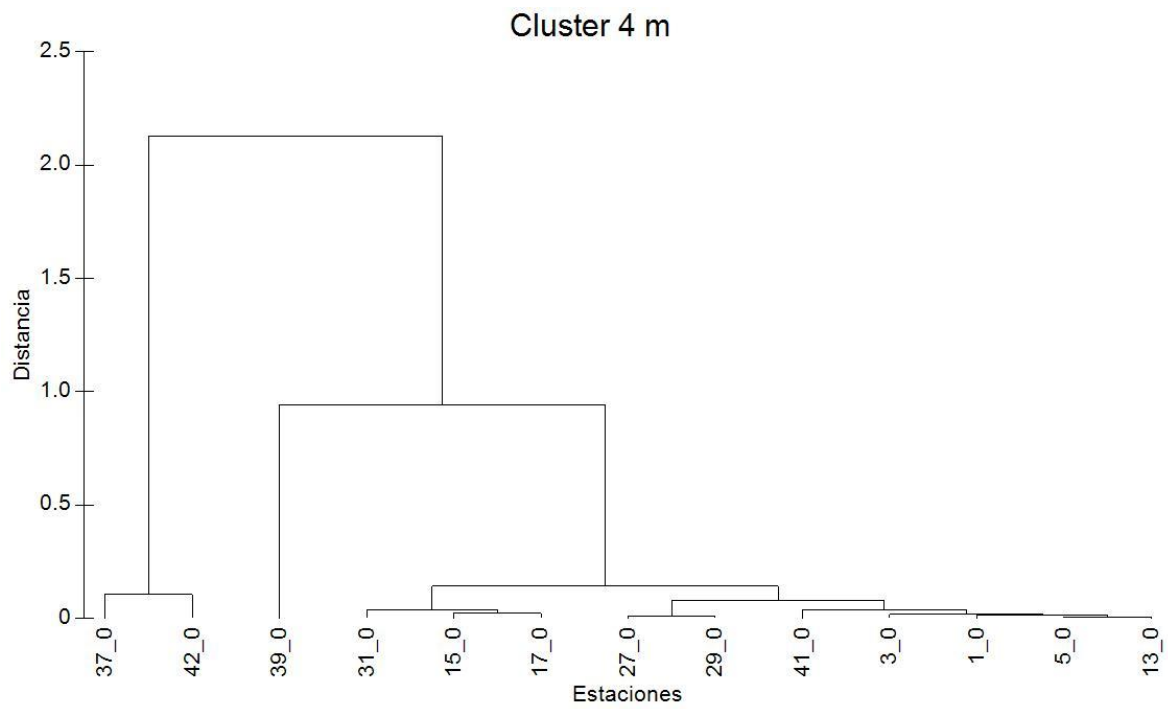


Fig. 8. d) Conglomerado de las estaciones a 4m (\_0) de profundidad, con base en su similitud mediante distancias euclidianas.

### 5.3 Estrato de 50 m

#### 5.3.1 Distribución de la temperatura y biomasa de zooplancton a 50 m

En el estrato de 50m la distribución horizontal de la temperatura fue muy homogénea desde la parte central del Cañón hacia el norte presentando una disminución de la misma en la parte suroeste del Cañón y un gradiente más pronunciado en un área relativamente pequeña variando de 22.6 a 23.15°C hacia la zona sureste del mismo, cercano a la plataforma.

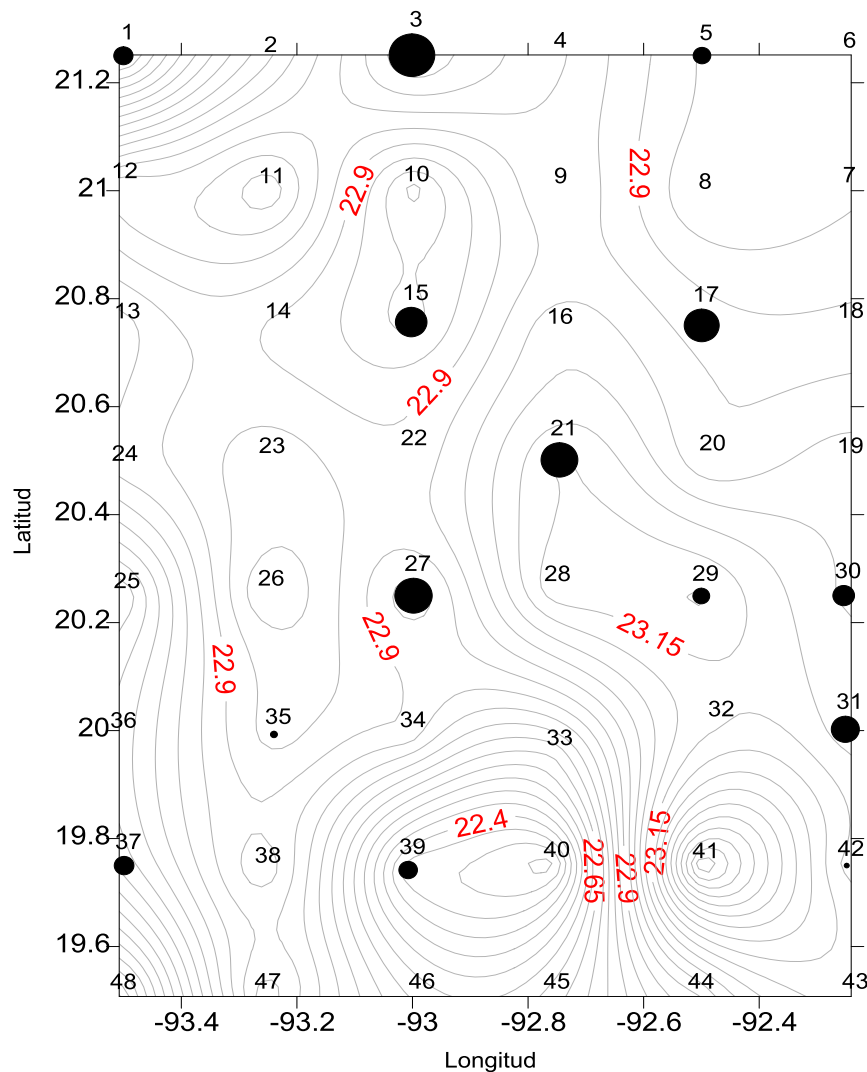


Fig. 9. a) Distribución horizontal de la temperatura (°C) y biomasa de zooplancton ( $g\ 100\ m^{-3}$ ) a 50m de profundidad. Estaciones (numeros negros), valor de la temperatura (numeros rojos)

### 5.3.2 Distribución de la densidad ( $\sigma_T$ ) y biomasa de zooplancton a 50 m

En el estrato de 50m la distribución horizontal de la densidad ( $\sigma_T$ ) fue variando únicamente en un intervalo de 25 a 25.3  $\text{kg m}^{-3}$  coincidiendo los valores más altos con las áreas de menor temperatura, ubicadas éstas en la zona suroeste del Cañón (Fig. 9b).

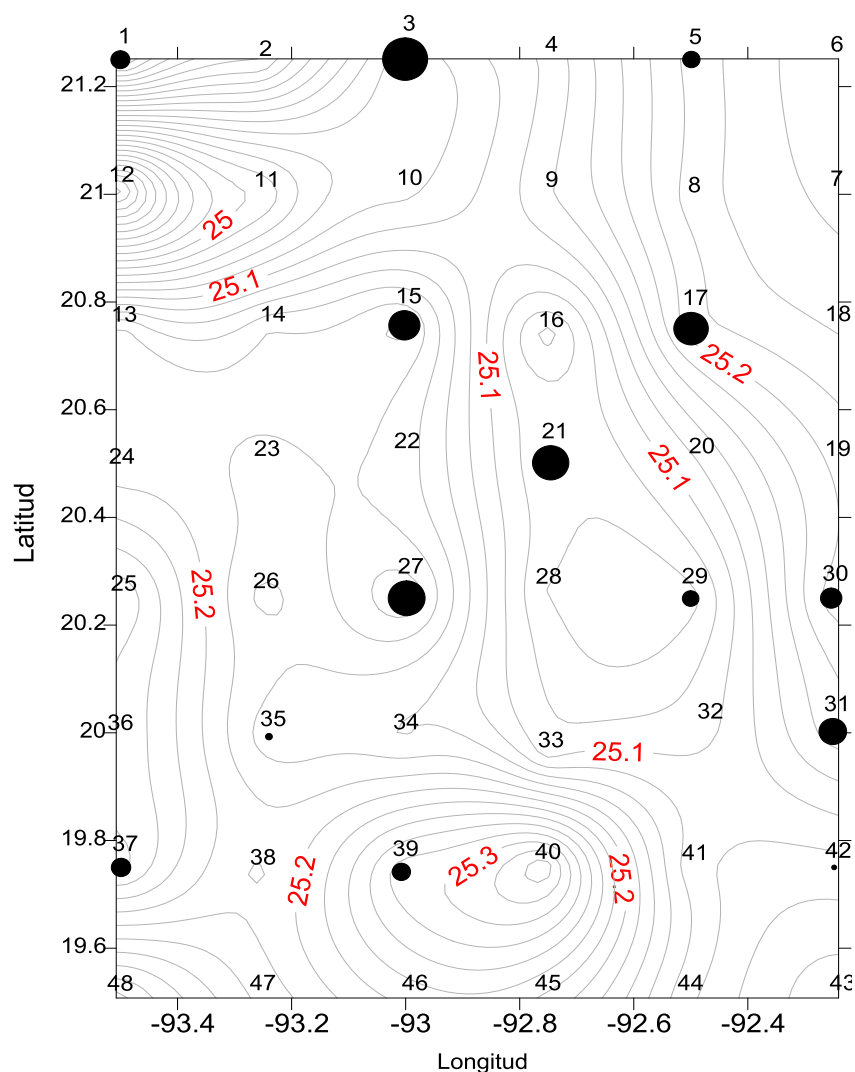


Fig. 9. b) Distribución horizontal de la densidad ( $\text{kg m}^{-3}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) a 50m de profundidad. Estaciones (numeros negros), valor de la densidad (numeros rojos)

### **5.3.3 Corrientes geostróficas y vorticidades a 50 m de profundidad**

A 50 m de profundidad se registró un patrón de corrientes anticiclónico en la parte sureste del Cañón que influenciaba toda la zona del talud (Fig. 9c), hacia la parte noreste se registraron patrones de circulación ciclónica, lo cual coincide con lo reportado por Santiago-Arce (2010). Puede apreciarse la influencia de un gran giro anticiclónico en el eje del cañón, mismo que en sus fronteras ocasiona una zona de afloramiento y puede influenciar la producción biológica al colindar con dos giros ciclónicos formándose en la parte noroeste y suroeste del Cañón. Los efectos de dichos patrones de corrientes también pueden apreciarse en la distribución horizontal de temperatura (Fig. 9a), observándose aguas más cálidas hacia el giro anticiclónico dominante que en la parte del talud.



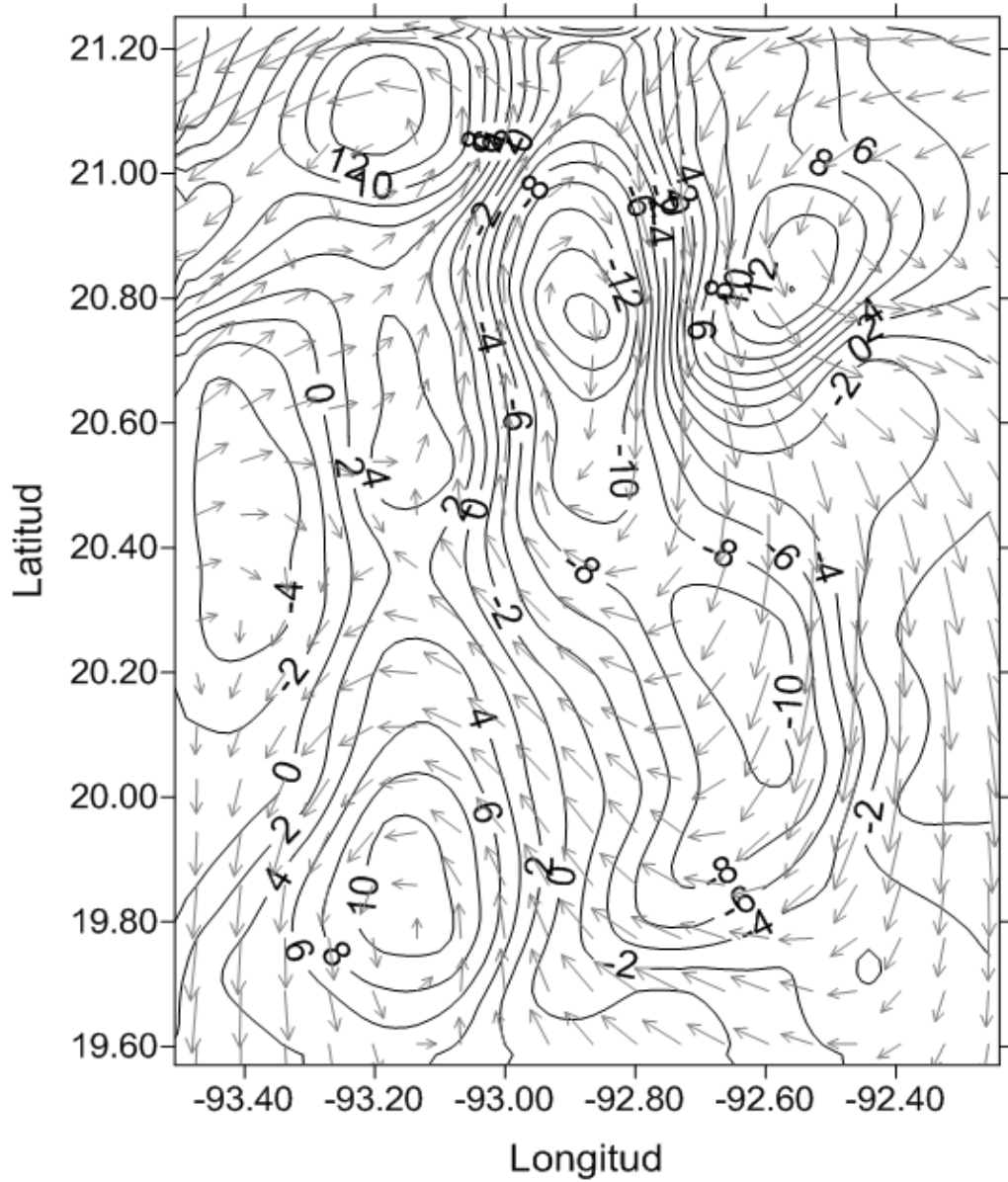


Fig. (9c) Vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) y patrón de corrientes geostróficas ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a 50 m de profundidad.

Vector de referencia  $40 \text{ cms}^{-1}$   $\longrightarrow$

#### 5.3.4 Análisis de conglomerados a 50 m

En el segundo estrato de muestreo realizado a 50m de profundidad, las estaciones se asociaron en tres diferentes grupos de acuerdo a sus valores de biomasa (Fig. 9d). La primer zona estuvo conformada por las estaciones 3, 15, 17, 21 y 27 (Fig. 4b), en dichas estaciones se registraron los valores máximos de biomasa para este estrato manteniéndose en el rango de 7.1 a 10.3 g 100m<sup>3</sup>, siendo también el estrato que reportó en promedio los menores valores de biomasa para toda la campaña.

Del primer grupo de estaciones antes mencionado, la que registró la mayor producción fue la número 3 (Tabla 2), ésta se ubicó de acuerdo a lo propuesto por Zimmerman y Biggs, (1999) en la periferia de un área con vorticidad positiva, es decir, que está influenciada por la presencia de un giro ciclónico, estos autores han reportado la asociación que hay entre estos giros y el incremento de la biomasa, la siguiente estación más productiva del grupo es la 27, la cual como puede observarse en la fig. (Fig. 9c) se localizó en las fronteras entre el gran giro anticiclónico que domina el eje del cañón y el ciclónico del suroeste, como ya se ha mencionado estas áreas de frontera entre los giros se ha reportado que son de alta producción biológica (Biggs, 1992 y Salas de León *et al.*, 2004), dichos reportes pueden verse reflejados en nuestros resultados. Por otro lado, las estaciones 15 y 21 se localizarón en una área que está dominada totalmente por la presencia de un giro anticiclónico, presentando valores similares a la estación 17, la cual se ubicó en la zona noreste del Cañón pegada al talud continental justo en un giro ciclónico en la zona (Fig. 9c).

El segundo grupo está conformado por las estaciones 31, 30, 37, 39, 1 y 5, (Fig. 4b), de este grupo de estaciones todas, a excepción de la estación 39, se encontraron distribuidas en las capas externas de los distintos giros presentes en la zona, por ejemplo la 31 y 30 estuvieron ubicadas en los bordes de un giro anticiclónico en la misma longitud (Fig. 9c), la 30 fue una estación somera cercana a la plataforma continental, lo cual puede haber influido en el índice de biomasa registrado, mientras que la 31 se ubicó al sur del talud cercana a la cabeza del

Cañón, para esta zona del Cañón otros autores (Gasca *et al.*, 1995) han reportado anteriormente altos valores de biomasa, las dos estaciones registraron una temperatura de alrededor de 23.15°C (Fig. 9a), la más alta que se registró a esa profundidad, lo cual podría deberse al efecto provocado por la influencia del giro anticiclónico presente en la zona; por otro lado, las estaciones 37, 1 y 5 están ubicadas en la periferia de los tres giros ciclónicos dominantes en la zona, localizadas al noroeste, suroeste y noreste respectivamente (Fig. 9c), estas tres estaciones además del patrón de corrientes también comparten el rango de temperatura de 22.9 °C (Fig. 9a) y es posible que al ubicarse en los extremos de los giros se vean más beneficiadas por el afloramiento de nutrientes (Gasca, 1999), lo cual favoreció sus valores de biomasa. Finalmente la estación 39 fue la única que se encontró muy cercana al núcleo del giro ciclónico al suroeste del cañón registrando el menor valor de biomasa de este segundo grupo.

El último grupo de agregación registrado a los 50m fue el conformado por las estaciones 35 y 42, la primera está ubicada al igual que la 39, muy cercana al centro de un giro (Fig. 9c), es posible que si bien se ha reportado una mayor cantidad de organismos en la presencia de giros ciclónicos, esta productividad vaya disminuyendo de la periferia del giro hacia el núcleo, es decir que existe un gradiente de biomasa que va del núcleo del giro hacia los bordes, esto podría explicar por qué las estaciones cercanas al núcleo del giro presentaron concentraciones más bajas de organismos, la siguiente estación de este último grupo es muy somera (80 m) a comparación de las otras dos y se encontró en aguas de la plataforma continental, las cuales son influenciadas por la presencia de una corriente anticiclónica. En aguas tan someras y en época de nortes es posible que la distribución de los organismos en la columna de agua este regida por el paso de los nortes más que por la propia hidrodinámica de la zona como menciona Arriola-Pizano (2012), de acuerdo a lo reportado por este autor bajo el efecto de los nortes las estaciones más someras presentan valores muy bajos de biomasa.

A diferencia del estrato anterior, a 50 m de profundidad, el patrón de distribución de la biomasa fue totalmente diferente en algunas zonas, como se

puede apreciar en las Fig. (4a) y (4b), las zonas más productivas en superficie 37, 39 y 42, a los 50 m registraron menores valores de biomasa, lo cual podría reflejar alguna migración realizada por los organismos, Darren *et al.*, (2001); Hays *et al.*(1994) describen que el patrón normal de migración vertical diaria de muchas especies del zooplancton, corresponde a su desplazamiento hacia aguas superficiales para alimentarse, viéndose reflejado en el aumento de la biomasa en las capas superiores, lo cual también podría explicar la gran cantidad de zooplancton concentrado en aguas superficiales durante todo el muestreo, de igual forma es posible que este parche de organismos zooplanctontes estuviera dominado por la abundancia de ciertos grupos que prefieren aguas superficiales para vivir, un ejemplo de ello son algunas especies de quetognatos y pteropodos (Gasca *et al.*, 1999) que prefieren aguas superficiales para alimentarse.

Las estaciones que registraron los mayores valores de biomasa a los 50 m como la 3 y la 27, en superficie registraron valores muy bajos de biomasa, esto tal vez pueda deberse a una migración de los organismos en la columna de agua en sentido contrario que el antes mencionado; o bien, a la influencia tanto del paso de los nortes como de las propiedades hidrodinámicas originadas por el Cañón y que pueden modificar la estructura de la columna, viéndose reflejado en la distribución de los organismos. Otras estaciones que presentaron grandes cambios en sus concentraciones respecto a las encontradas en la superficie, fueron la 29 y la 31, la primera aumentó su concentración a mayor profundidad mientras que la segunda tuvo el efecto contrario disminuyendo su valor. A diferencia de éstas, las estaciones 15 y 17 también disminuyeron sus valores de biomasa aunque no significativamente, por lo que para esta zona podría decirse que desde la superficie hasta los 50 m no hubo un gran cambio en la concentración de biomasa en la columna de agua, de igual forma para las estaciones 1 y 5 no hubo un cambio significativo en los valores de biomasa respecto de un nivel al otro.

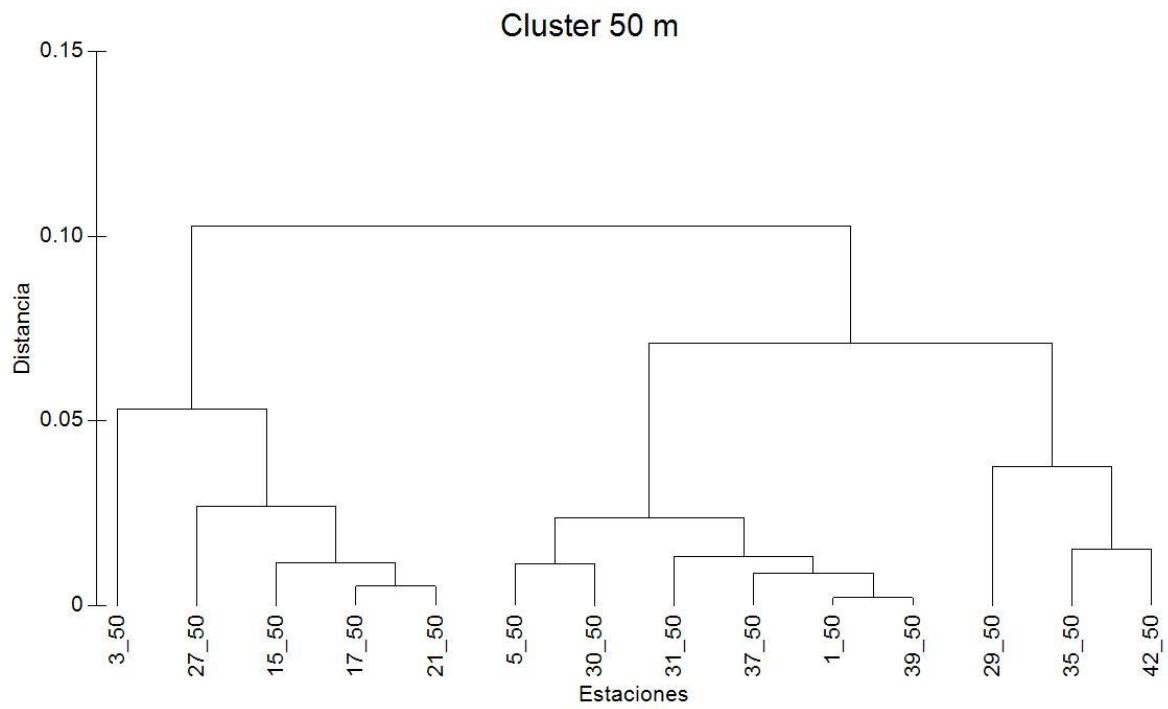


Fig. 9. d) Conglomerado de las estaciones a 50 m (\_50) de profundidad con base en su similitud mediante distancias euclidianas.

## 5.4 Estrato de 100 m

### 5.4.1 Distribución de la temperatura y biomasa de zooplancton a 100 m

A los 100m de profundidad la distribución horizontal de la temperatura se muestra muy homogénea en la parte oeste de la zona con valores entre 18°C y 20°C aproximadamente, presentándose solamente una zona con alta variación de temperatura de 16 a 21°C, esta zona se ubicó en la parte noreste del Cañón y pudo apreciarse la presencia de un núcleo frío, el cual podría estar asociado a la ocurrencia de un giro ciclónico en la zona.

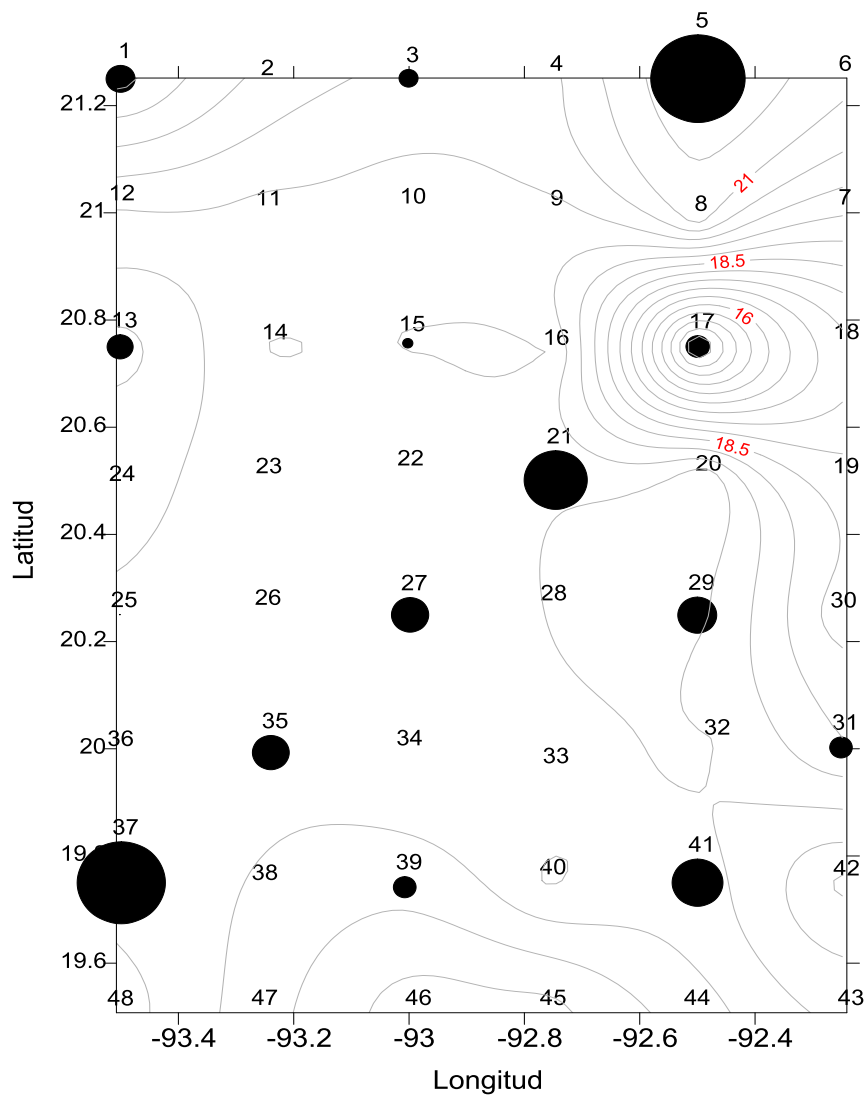


Fig. 10. a) Distribución horizontal de la temperatura (°C) y biomasa de zooplancton ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) a 100m de profundidad. Estaciones (numeros negros), valor de la temperatura (numeros rojos)

### 5.4.2 Distribución de la densidad ( $\sigma_T$ ) y biomasa de zooplancton a 100m

A 100m de profundidad, la distribución horizontal de la densidad muestra en promedio valores que fluctuaron entre los 25.5 a 26.1  $\text{kg m}^{-3}$ , la distribución fue relativamente homogénea a excepción de la zona suroeste donde se registraron valores de sigma-T más altos y en la zona noreste de la región muy cercana a la estación 17 se pudo apreciar la formación de un núcleo frío con mayores valores de Sigma-T.

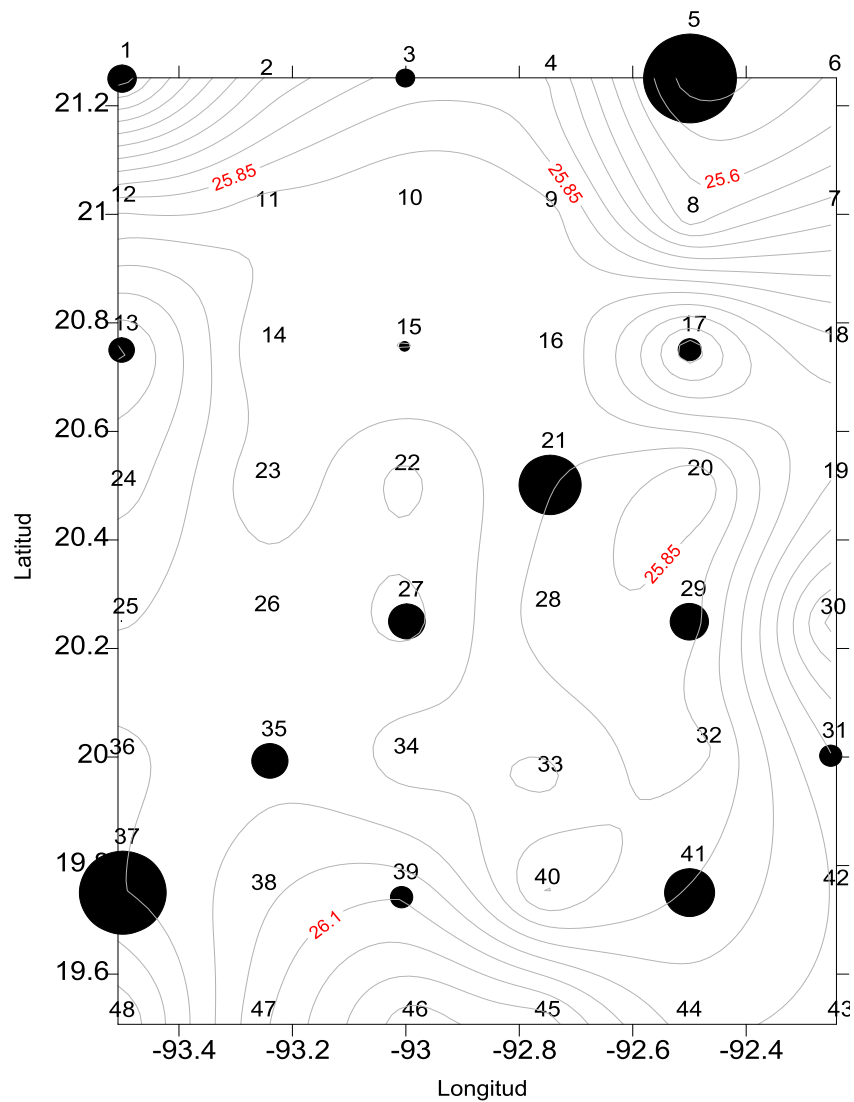


Fig. 10. b) Distribución horizontal de la densidad ( $\sigma_T$ ,  $\text{kg m}^{-3}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) a 100m de profundidad. Estaciones (numeros negros), valor de la densidad (numeros rojos)

### 5.4.3 Corrientes geostróficas y vorticidades 100 m

A 100 m de profundidad el patrón de corrientes empezó a variar con respecto al encontrado de la superficie hasta los 50m de profundidad. Si bien a los 4 m se observó un patrón de circulación anticiclónica en el eje del cañón (Fig. 8c), que propiciaba la formación de un gran giro anticiclónico que influenciaba el centro y sur del Cañón ubicado a los  $20.6^{\circ}$  N y  $92.8^{\circ}$  W. Este giro al descender en la columna a los 50 m (Fig. 9c) fue disminuyendo su magnitud y desplazándose hacia el norte hasta los  $20.8^{\circ}$  N. A los 100 m se observó que su velocidad disminuyó en gran medida, perdiéndose casi entre los dos giros ciclónicos que lo rodean y cediendo un poco de su masa empezando a comportarse como un meandro. También se puede apreciar en la Fig. (8c) que el giro anticiclónico mencionado colindaba al este y oeste con algunos meandros con circulación ciclónica, estos meandros al ir descendiendo en la columna también fueron aumentando su velocidad hasta convertirse en un par de giros muy bien marcados que a los 100 m se observaron bien definidos en los  $19.8^{\circ}$ N,  $21^{\circ}$ N y  $93.1$ ,  $93.2^{\circ}$  W respectivamente (Fig. 10c), conservándose el originado al noroeste y otro al suroeste. A esta profundidad también se observó hacia la cabeza del Cañón que se originó un giro anticiclónico a los  $19.9^{\circ}$ N y  $92.8^{\circ}$ W como consecuencia del efecto que tuvo el gran anticiclónico que se venía presentando desde superficie. Otro cambio importante fue el desvanecimiento del giro ciclónico que se había presentado en la zona noreste de la región, originando algunos meandros y un aumento en la velocidad de la corriente en el área donde estaba dicho giro influenciando toda la zona norte del talud. Como se pudo apreciar, los giros que se observaron en los primeros metros se fueron perdiendo y otros tomando fuerza y velocidad.



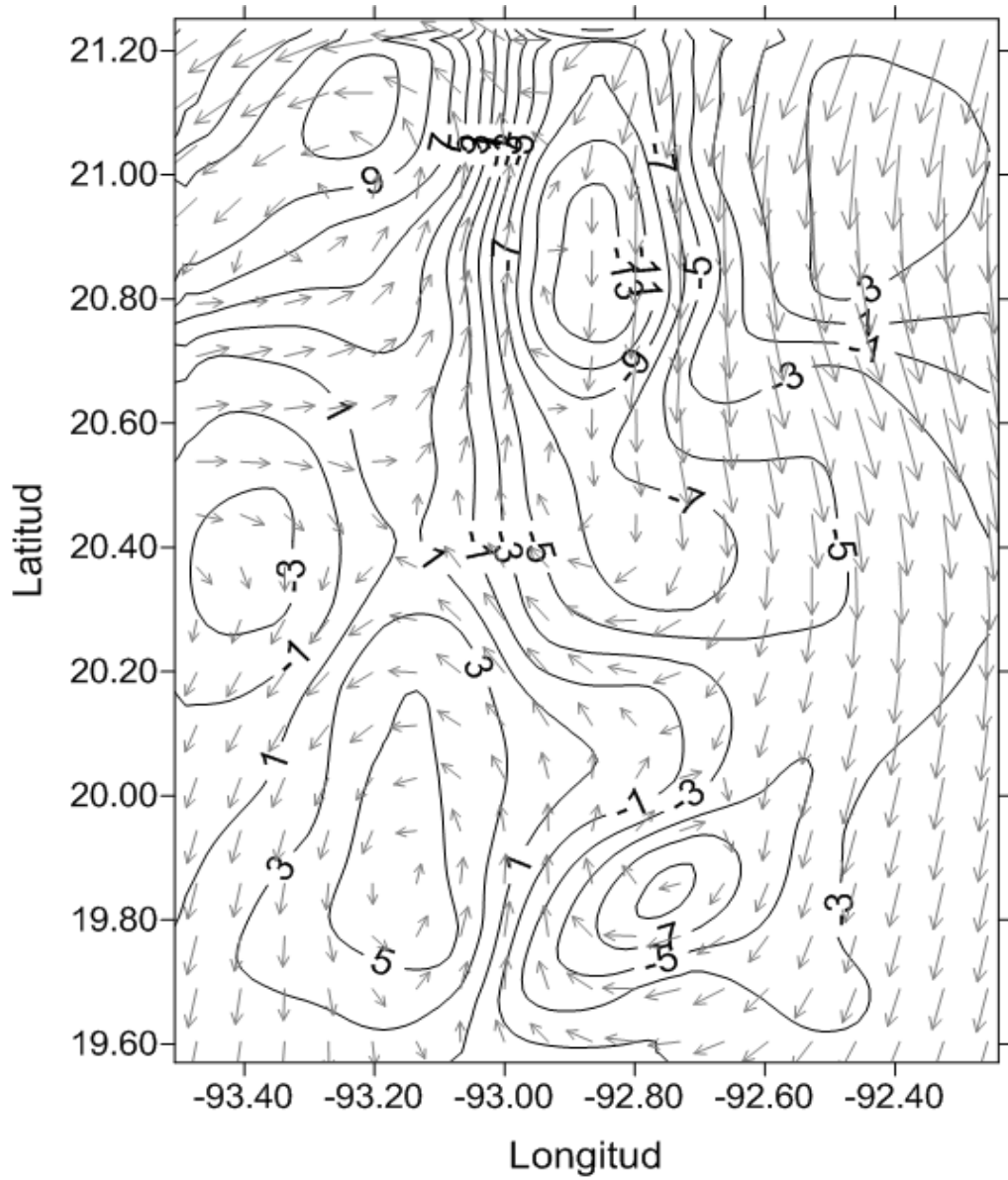


Fig. 10. c) Vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) y corrientes geostróficas ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a 100 m de profundidad.

Vector de referencia  $40 \text{ cm s}^{-1}$   $\longrightarrow$

#### 5.4.4 Análisis de conglomerados 100 m

El tercer estrato que se muestreo en la campaña, corresponde a la profundidad de 100m, para este estrato se obtuvo la mayor cantidad de datos biológicos, contando con 15 muestras conformadas por las siguientes estaciones: 1, 3, 5, 13, 15, 17, 21, 25, 27, 29, 31, 35, 37, 39 y 41 respectivamente, de las 15 estaciones de muestreo de acuerdo a su índice de biomasa se agruparon en cinco diferentes grupos. El primero de ellos está conformado por las estaciones 5 y 37 con biomasa muy similares 20 y 21 g 100m<sup>3</sup> (Tabla 2), la primera de ellas se ubicó en una zona ciclónica, efecto del desvanecimiento de un giro ciclónico superficial localizado en el mismo lugar. De acuerdo a Salas de León y Monreal-Gómez (2005) y Wormuth (2000), los altos valores de biomasa pueden relacionarse con las zonas donde ha estado presente un giro, ya que al desaparecer éste se observa un incremento en la cantidad de nutrientes en la zona. Esta estación no había presentado valores altos de biomasa hasta esta profundidad y su muestreo se realizó alrededor de las 15:00 h lo que podría indicar una migración diurna de los organismos en la zona. La segunda estación al igual que en las estaciones más productivas de los estratos anteriores, se encontró en los bordes del giro ciclónico ubicado en el suroeste de la zona (Fig. 10c), esta estación presentó un aumento considerable de biomasa respecto a la profundidad anterior.

El siguiente grupo está conformado por las estaciones 21 y 41, estas dos estaciones además de tener valores similares de biomasa, estuvieron ubicadas en zonas con vorticidad negativa (Fig. 10c), la primera es influenciada por el meandro ocasionado por el desvanecimiento de un giro anticiclónico superficial, mientras que la segunda se encuentra en los bordes de un giro anticiclónico ocasionado también, por los remanentes de la corriente provocada por el gran giro anticiclónico superficial. Otro factor que tuvieron en común es que ambas se encontraron en una zona cálida de alrededor de 20°C (Fig. 10a), por lo cual estos parches podrían estar compuestos en su mayoría por organismos afectos a rangos de temperatura muy específicos como algunas especies de ostrácodos y quetognatos (Palacios Fest y Dettman, 2001). De acuerdo a Mille-Pagaza y

Carrillo-Laguna (2001), quienes concluyen que la temperatura influye en la composición de la comunidad de quetognatos; así como, en la densidad de las especies, además de que su distribución está regida principalmente por la disponibilidad del alimento. No hubo muestreo de la estación 21 en superficie; sin embargo, a comparación del estrato de 50 m hubo un incremento de la biomasa de casi el doble, mientras que la estación 41 triplicó su valor con respecto al registrado en la superficie, es decir, que ambas aumentaron conforme la profundidad aumentaba coincidiendo con el estudio realizado por Maycas-Ribera *et al.* (1999), el cual menciona que la biomasa va aumentando de acuerdo a la profundidad hasta llegar a los 200 m después de los cuales los valores empiezan a decrecer.

El tercer grupo presentó valores significativos de biomasa estando éstos en el rango de 6.4 a 8.8 g 100 m<sup>-3</sup> (Tabla 2), este grupo estuvo conformado por las estaciones 1, 27, 29 y 35, de éstas la única que se ubicó en una zona de vorticidad negativa (Fig. 10c) fue la 29 y al igual que las estaciones del grupo anterior y coincidiendo con lo propuesto por Maycas-Ribera *et al.* (1999), fue incrementado su biomasa conforme aumentó la profundidad. Las estaciones 1 y 35 por el contrario se ubicaron en los bordes de dos giros ciclónicos, la primera se encontró en una zona con mayor velocidad, registrando valores de vorticidad de  $6 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$  y la segunda en una zona menos rápida con valores de  $2 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ , y al igual que las estaciones de los últimos grupos fueron aumentando su biomasa al ir descendiendo en la columna de agua, con estas estaciones se observó el mismo comportamiento aunque los cambios fueron menos marcados. Finalmente la estación 27 se localizó en la zona intermedia entre los bordes de un par ciclónico-anticiclónico y si bien no presentó un cambio muy marcado en su índice de biomasa con respecto a los 50 m, si hubo un incremento con respecto al estrato de 4 m (Fig.4 e).

El cuarto grupo con rangos de biomasa de 4.3 a 5.8 g 100 m<sup>-3</sup> es el más numeroso del estrato y en él están presentes las estaciones 13, 17, 39, 31 y 3; de éstas, las primeras tres se ubicaron en zonas con vorticidades positivas, la 13 y 39 se ubicaron muy cercanas a los núcleos de los giros ciclónicos localizados al

noroeste y suroeste de la malla (Fig. 10c), por lo que los valores bajos en su biomasa podrían deberse a esta cercanía con el núcleo de los giros. La primera estación presentó un aumento en su índice de biomasa apenas considerable respecto a la superficie, mientras que en la segunda se puede observar un comportamiento contrario ya que fue disminuyendo su valor conforme aumentó la profundidad, esto tal vez pueda explicarse por la hora del muestreo ya que en la estación 39 el muestreo se llevó a cabo por la noche y se sabe que el zooplancton hace migraciones diurnas por medio de las cuales puede desplazarse varios metros en la columna (Maycas-Ribera *et al.*, 1999; Gasca *et al.*, 1995). La estación 17 se ubicó en una zona ciclónica consecuencia del meandro ocasionado por el giro ciclónico superficial que registró un aumento en su velocidad con respecto a los 50 m y ésta, estación al igual que la 39 fue disminuyendo su biomasa al ir descendiendo en la columna de agua; por otro lado, la estación 3 a diferencia de las anteriores, se ubicó en la frontera entre un giro ciclónico y un pequeño patrón de corrientes anticiclónico (Fig. 10c) y tuvo su valor máximo de biomasa en el estrato anterior disminuyéndose a menos de la mitad de su valor (Fig. 4b y 4c). La estación 31 se localizó en la parte sur del Cañón muy cercana al talud continental en un área con un patrón de corrientes totalmente anticiclónico y con vorticidades negativas de  $-2 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ , su biomasa fue decreciendo con el aumento de la profundidad.

El quinto y último grupo con los valores más bajos de este estrato 2.34 y  $0.11 \text{ g } 100\text{m}^{-3}$ , se conformó con el par de estaciones 15 y 25 respectivamente, estos valores tan bajos, coinciden con lo reportado, ya que su distribución se ubicó en zonas con vorticidades negativas (Fig. 10c). La estación 15 muy cercana a la cabecera del Cañón, mientras que la 25 en el extremo oeste del mismo, donde la influencia de la hidrodinámica propia del cañón no es tan directa. La estación 15 presentó su máximo valor de biomasa a los 4 m y éste fue decreciendo conforme aumentó la profundidad, estas distribuciones en la columna de agua pueden deberse a la respuesta de los organismos a estímulos ambientales; así como a las propiedades hidrodinámicas de la zona. La estación 25 registró el valor más bajo no sólo de este estrato sino de toda la campaña; sin embargo, no se pudo

observar con más claridad su distribución ya que sólo se contó con esa única muestra de la estación.

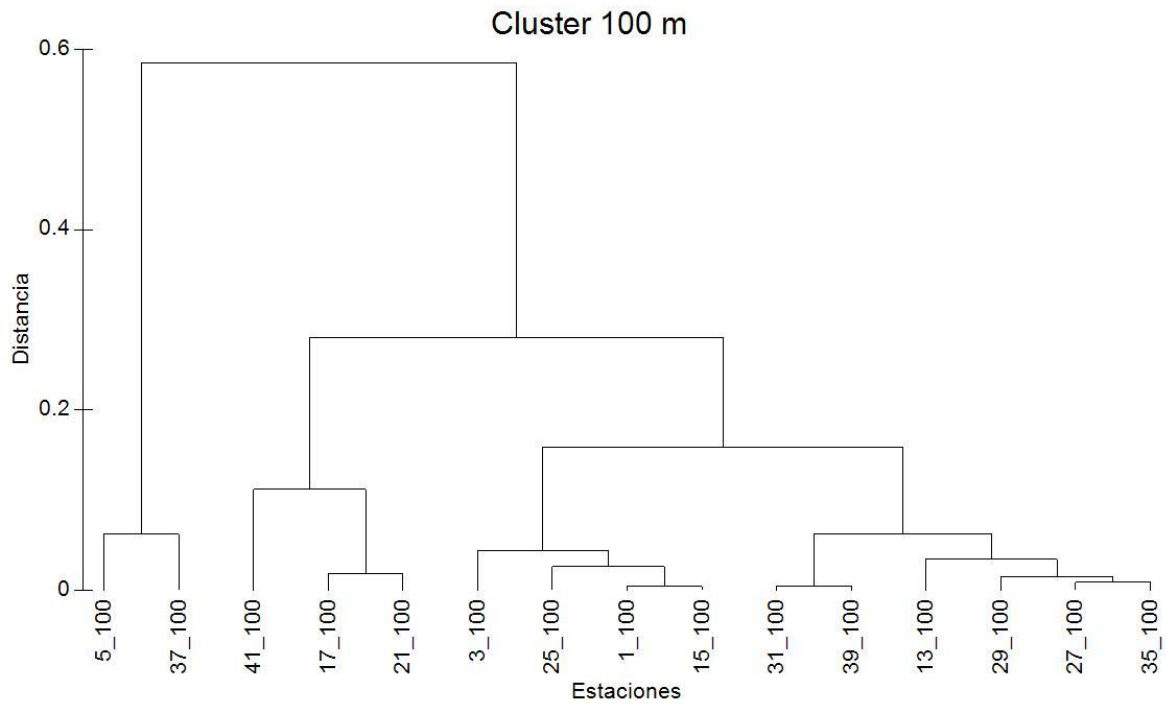


Fig. 10. d) Conglomerado de las estaciones a 100 m (\_100) con base en su similitud mediante distancias euclidianas.

## 5.5 Estrato de 200 m

### 5.5.1 Distribución de la temperatura y biomasa de zooplancton a 200 m

En el nivel de 200m, en general las estaciones de la zona de estudio pueden dividirse de este a oeste presentando un gradiente de temperatura que va de los 13.3 a los 14.8°C siendo dominada en su mayoría por los 14.8°C y presentándose las áreas de circulación más fría hacia el este del Cañón distribuidas en toda la latitud.

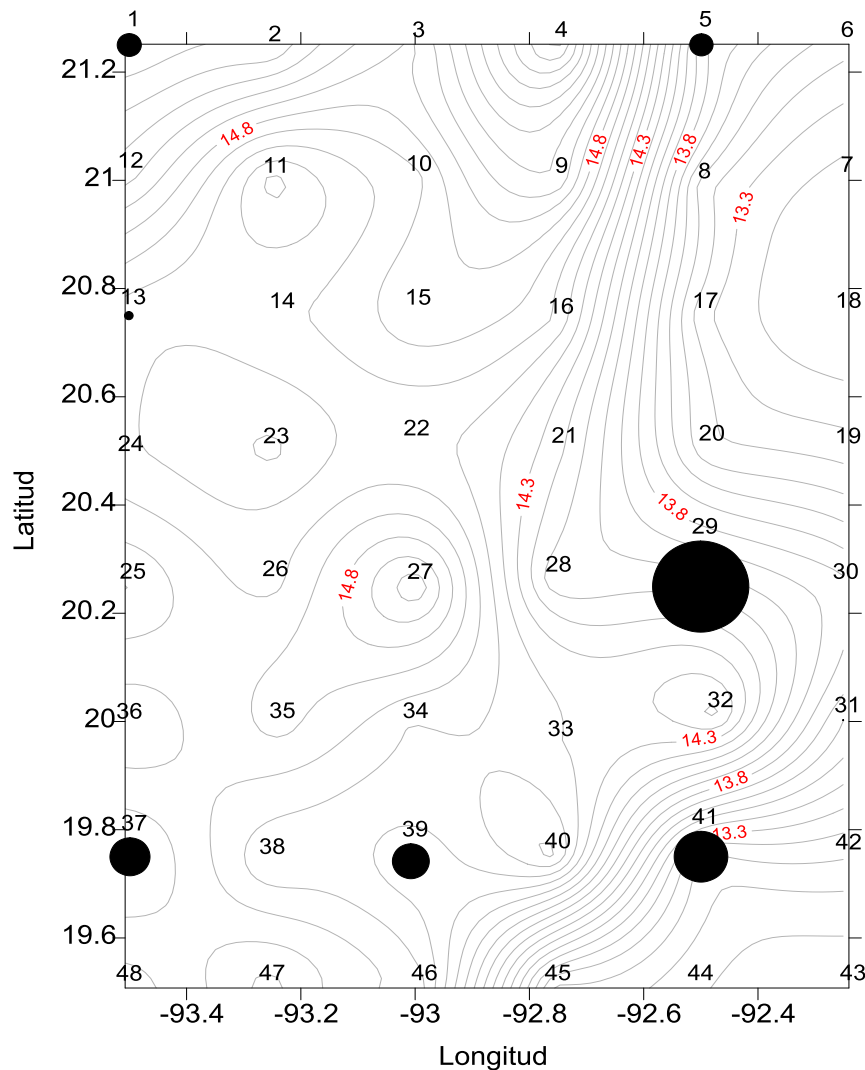


Fig. 11. a) Distribución horizontal de la temperatura (°C) y biomasa de zooplancton ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) a 200m de profundidad. Estaciones (numeros negros), valor de la temperatura (numeros rojos)

### 5.5.2 Distribución de la densidad ( $\sigma_T$ ) y biomasa de zooplancton a 200 m

La distribución de densidad ( $\sigma_T$ ) en el nivel de 200m muestra valores que oscilaron entre 26.72 y 26.82  $\text{kg m}^{-3}$  sin fluctuaciones muy marcadas, esto puede deberse a que a esta profundidad el efecto del paso de los nortes ya no es tan marcado a diferencia de los estratos anteriores, por lo que en la horizontal no se aprecian grandes cambios de  $\sigma_T$ .

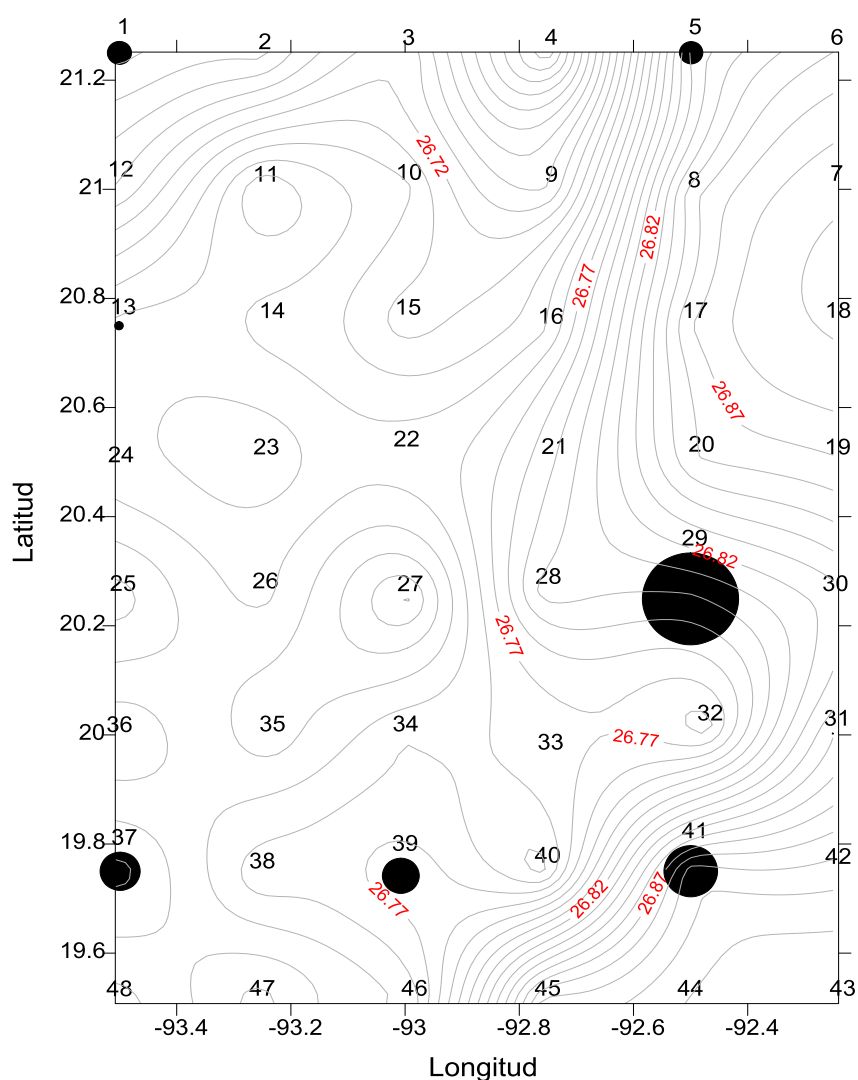


Fig. 11. b) Distribución de la densidad ( $\text{kg m}^{-3}$ ) y biomasa de zooplancton ( $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ ) a 200m de profundidad. Estaciones (numeros negros), valor de la densidad (numeros rojos)

### 5.5.3 Corrientes geostróficas y vorticidades a 200 m

En este estrato el patrón de corrientes mantuvo la tendencia que se venía presentando a los 100 m, se observaron algunos cambios en la intensidad de las corrientes en distintas zonas de la región (Fig. 10c y 11c), un ejemplo de ello es el giro a los 21°N y 93.2°W, ubicado en la zona noroeste de la malla a los 100 m de profundidad, el cual además de conservarse a los 200 m, incrementó su diámetro y está mejor definido, además de que también disminuyó su velocidad como puede apreciarse en sus valores de vorticidad (Fig. 11c). En la zona hacia la región noreste, también se observó un decremento en la velocidad de la corriente al igual que en la vorticidad y el patrón anticiclónico del área empezó a perder fuerza. Por otro lado, en la zona centro del Cañón muy cerca al eje del mismo, en el estrato de 100 m, se había observado la formación de un meandro anticiclónico, dicho meandro, a los 200 m ganó velocidad y se convirtió en un pequeño giro anticiclónico que tiene valores de vorticidad negativa oscilantes entre  $-2$  y  $-6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  (Fig. 10c). Este giro anticiclónico colinda en la parte sur al oeste del Cañón con un gran giro ciclónico que se había presentado desde los dos estratos anteriores; sin embargo, a los 200 m además de aumentar su magnitud, se desplazó algunos grados hacia el norte (Fig. 11c), aumentando su área de influencia, este giro ciclónico ocasiona la formación de un meandro con circulación anticiclónica localizado al este del mismo giro. En general, en toda la zona desde la parte del talud continental yendo hacia el este hasta la plataforma, se registraron temperaturas más bajas, de alrededor de 13.8°C (Fig. 11a), al contrario de su contraparte que a partir del talud hacia el oeste registró valores más altos de temperatura de 14.5 °C aproximadamente.



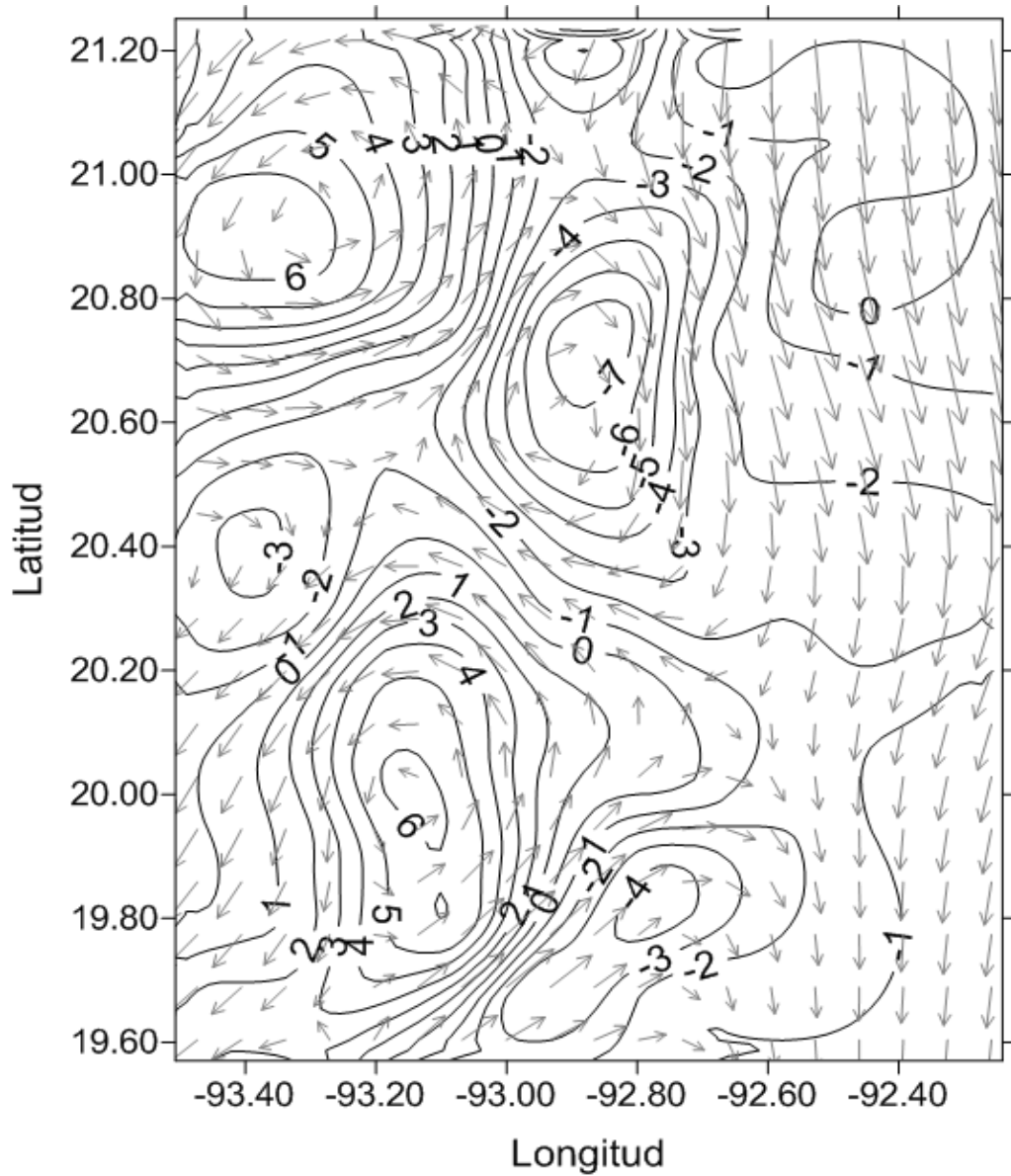


Fig. 11. c) Vorticidad ( $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ) y patrón de corrientes geostróficas ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a 200 m de profundidad.

Vector de referencia  $40 \text{ cms}^{-1}$   $\longrightarrow$

#### 5.5.4 Análisis de conglomerados 200 m

El último estrato del que se tomaron datos biológicos fue el correspondiente a la profundidad de 200m, a esta profundidad se contó con el menor número de muestras biológicas, registrando datos únicamente para las siguientes ocho estaciones 1, 5, 13, 29, 31, 37, 39 y 41. Las estaciones mencionadas para este estrato se separaron en cuatro grupos de acuerdo a sus valores de biomasa. (Fig. 11d). En el primer grupo se encontró aislada la estación 29 con un índice de biomasa muy superior a las otras siete (Tabla 2), ésta estación se localizó en una área dominada por una circulación anticiclónica y aguas más cálidas. Si se comparan los valores que se presentaron para ésta estación desde los 4 m hasta los 200 m de profundidad, se apreció que casi fue triplicando su valor en cada estrato (Fig. 4e), debido probablemente a que en el momento de hacer el muestreo los organismos estuvieron realizando una migración vertical, de modo que la zona parece estar más influenciada por las interacciones biológicas de los organismos y el efecto producido por la influencia de los nortes, que por las propiedades hidrográficas de la zona.

El siguiente grupo con alta producción de organismos estuvo conformado por las estaciones 37, 39 y 41, de dichas estaciones las primeras dos a lo largo de todos los muestreos presentaron altos valores de biomasa en todos los estratos, lo cual puede deberse a que las dos se encontraban en zonas de circulación ciclónica o en las fronteras entre los giros dependiendo de la profundidad del muestreo. La zona donde se ubicó la estación 41 en los 4 estratos estuvo dominada por una circulación anticiclónica, presentando sus máximos valores de biomasa en los dos últimos estratos y registrando valores muy bajos a los 4 m, dicho patrón de distribución podría deberse no sólo a las migraciones de los organismos si no a su ubicación, ya que de acuerdo a Flores-Coto *et al.* (2009) la mayor abundancia de ictioplancton ocurre en la plataforma continental en áreas cercanas a la costa y la menor en la zona oceánica, al estar ubicada dicha estación en un área del Cañón relativamente somera (200m). Coincidiendo con los datos de Arreola Pizano (2012) ésto tiene un efecto en el hundimiento de la

termoclina y el aumento de la capa de mezcla, lo cual se ve reflejado en la distribución de los organismos a lo largo de la columna. Al parecer en algunas estaciones como la 29 y 41 el grupo o parche de zooplancton presente en ellas se vió más influenciado por los factores de supervivencia como alimentación o depredación lo que lo obligó a realizar migraciones a lo largo del día, más que por el efecto de los giros en la zona.

El tercer grupo con valores de biomasa más bajos está integrado por las estaciones 1 y 5, ambas estaciones a los 200m están localizadas en un área de circulación ciclónica (Fig. 11c).Lo anterior podría explicar por qué la primera de ellas a pesar de no tener unos valores tan altos de biomasa como los de los grupos anteriores, se mantiene constante a lo largo de la columna, aunque con algunas oscilaciones en su índice de biomasa pero no muy marcadas. La estación 5 presentó un pico máximo de biomasa a los 100 m, con un valor cuatro veces mayor a los registrados para las otras tres profundidades (Fig. 4e), este máximo se dió justo donde se registró el inicio de la termoclina para esa estación, este pico a los 100m puede deberse a que en esa misma zona desde la superficie y hasta los 50 m, se encontró un giro ciclónico muy bien definido (Fig. 8c y 9c). Este giro desaparece a los 100m y de acuerdo a lo propuesto por Wormuth (2000) ocasiona un aumento en la cantidad de nutrientes disponibles para el fitoplancton, lo que a su vez pudiera ocasionar el incremento de la biomasa zooplanctónica a esa profundidad. Sin tomar en cuenta este máximo a los 100m, en los estratos restantes la estación mostró valores muy homogéneos de biomasa.

El cuarto y último grupo con los valores de biomasa más bajos del estrato lo conformaron las estaciones 13 y 31, la primera se ubicó en una zona que para toda la campaña resulto ser poco productiva ya que a pesar de presentar patrones de circulación ciclónica está ubicada en un área que está influenciada por la circulación del Cañón pero es de carácter oceánica y de acuerdo a lo propuesto por Biggs (1992) y Zimmerman y Biggs (1999), las áreas oceánicas resultan ser las menos productivas, dicha estación mantuvo sus valores constantes a lo largo de la columna (Fig. 4e). La siguiente estación se localizó en un área de transición en la columna de agua entre dos giros, en los primeros metros de la columna la

zona estuvo dominada por un patrón de corrientes ciclónico, mismo que se conservó hasta los 50 m (Fig. 9c) y posteriormente cambio su sentido presentando una vorticidad negativa que se conservó hasta los 200m, este patrón de la corriente en conjunto con el comportamiento de los organismos pueden ser los responsables de que la biomasa haya ido decreciendo conforme aumentó la profundidad del muestreo, otro factor que puede haber influido en la distribución de la biomasa es el hecho de que la estación se ubicó justo en el talud continental, lo cual puede haber favorecido la cantidad de nutrientes disponibles en la superficie a diferencia de lo ocurrido a los 200m. En general a excepción de los estratos superficiales (4m y 50m) las dos profundidades restantes registraron valores de biomasa muy similares entre sus estaciones.

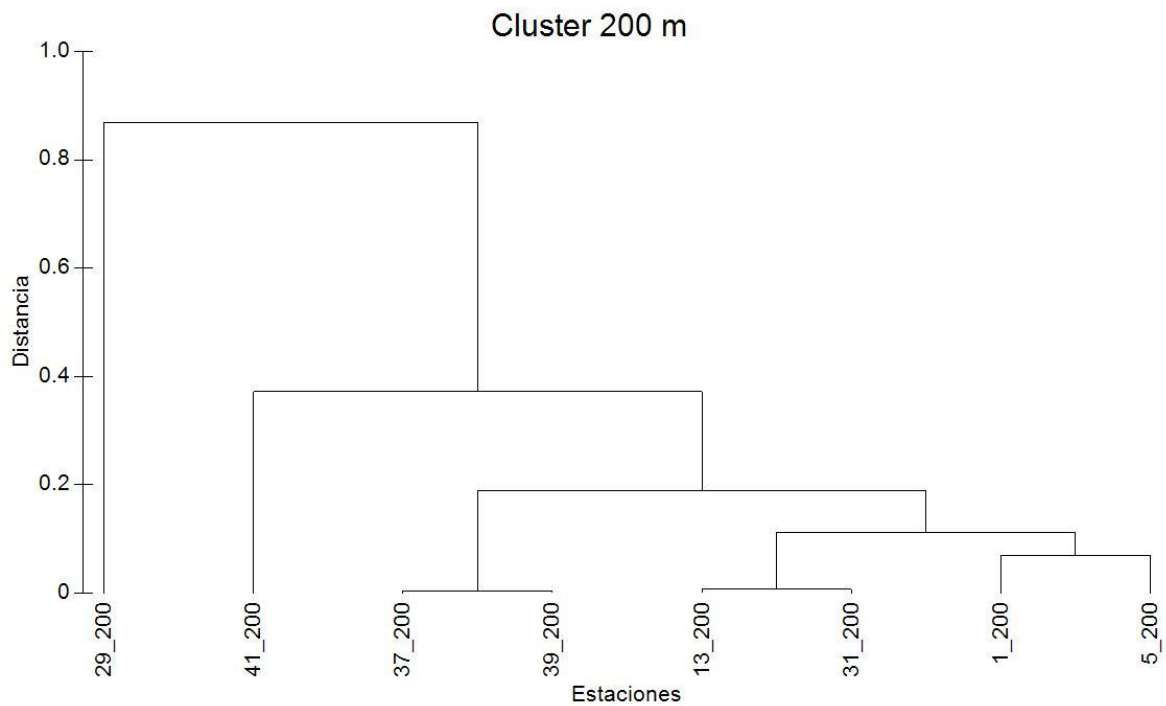


Fig. 11. d) Conglomerado de las estaciones a 200 m (\_200) con base en su similitud mediante distancias euclidianas.

### **5.6.1 Análisis de componentes principales**

El análisis de componentes principales se realizó para corroborar la relación entre la biomasa registrada en cada estación de muestreo y las variables ambientales, la matriz de datos se estructuró con los datos de temperatura, salinidad, vorticidad y, los valores de biomasa. Como se puede apreciar en la figura (12a) el efecto que tuvo la vorticidad en las estaciones ubicadas en superficie fue más fuerte en comparación de los estratos más profundos 100 m y 200 m. también se observaron otros dos grupos, uno asociado a los vectores de salinidad y temperatura a los 200 m y otro a la temperatura y salinidad de 100 m, por lo que al parecer los organismos a partir de los 50 m se encuentran muy bien estratificados y conforme aumenta la profundidad se agrupan de acuerdo a las condiciones de temperatura y salinidad más que a la vorticidad, contrastando con los organismos que se encuentran más cercanos a la superficie, los cuales son más influenciados por el efecto que la vorticidad ejerce sobre ellos.

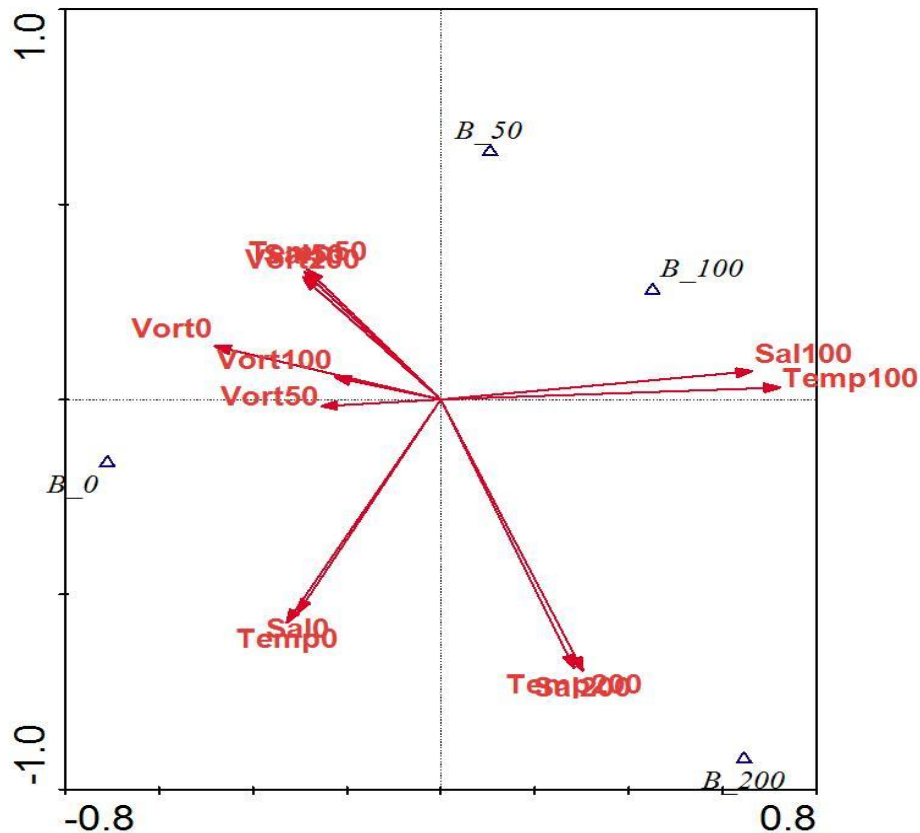


Fig. 12. a) Análisis de componentes principales de los cuatro estratos con las variables de cada estrato, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad y vorticidad ( $\times 10^6 \text{ s}^{-1}$ ) (4m, 50m, 100m, 200m).

En la fig. (12b) de acuerdo a la similitud entre los puntos podemos apreciar la formación de algunos grupos de estaciones con características similares, el primer grupo es el conformado por las estaciones 15, 17, 30, 13, 31, 5, y 3, otros dos grupos estuvieron conformados tan sólo de un par de estaciones como los correspondientes a los pares 29, 41 y 37, 39. Finalmente las estaciones sobrantes que se encontraron aisladas o más alejadas de la agrupación fueron la 42, 21, 25, 35 y 27. Al observar la distribución de estos grupos de acuerdo a los vectores de las variables podemos apreciar la influencia que tuvo cada variable sobre las estaciones, para el grupo conformado por las estaciones 15, 17, 31, 27 y 3, se observó una muy marcada influencia de la temperatura y la salinidad a los 50 m;

así como, de la vorticidad a los 200 m. Por otro lado, la estación 30 estuvo influenciada totalmente por la vorticidad a los 100 m y 4 m, la estación 42 aunque con poca relación aún se ve influenciada por la vorticidad de 50 m más que por los factores de temperatura y salinidad. La estación 13 estuvo influenciada tanto por la vorticidad de 50 m como por las condiciones de temperatura y salinidad existentes en la superficie mientras que el par de estaciones 37 y 39 mostró una clara asociación con la salinidad y la temperatura superficial, el siguiente par de estaciones 41 y 29 se vió influenciado totalmente por las variables de temperatura y salinidad más que por los efectos de la vorticidad, al igual que el grupo de estaciones 1, 5 y 25, las cuales registraron una marcada asociación con las variables de temperatura y salinidad a los 100 m. Finalmente el par conformado por las estaciones 21 y 35 aunque no muy notorio, estuvo influenciado principalmente por las condiciones ambientales a los 50 m y la vorticidad a los 200 m.

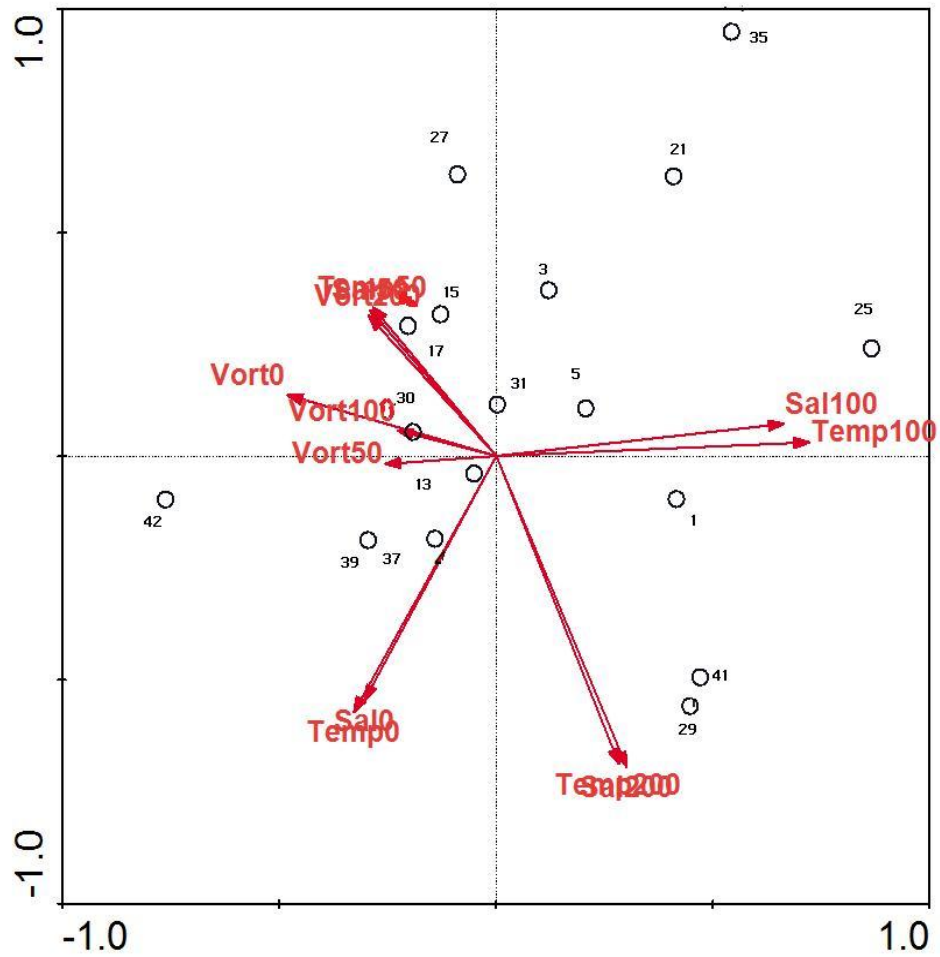


Fig. 12 b) Análisis de componentes principales con todas las estaciones en los cuatro estratos y las variables de cada estrato, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad y vorticidad ( $\times 10^6 \text{ s}^{-1}$ ) (4m, 50m, 100m, 200m).



## 5.7 Diagrama T-S y biomasa de zooplancton

En la figura (12 c) además de los valores de temperatura, salinidad y biomasa también se incluyeron los valores de la fluorescencia (Ramírez-Domínguez, en revisión), sí bien éstos no son objeto de estudio de la presente investigación, se tomaron para dar una idea más clara de qué clase de organismos estaban involucrados en cada agrupación y de cómo se distribuían con base a la presencia de la fluorescencia.

En el diagrama de dispersión de biomasa en un espacio T-S (Fig. 12c), Se encontraron para la campaña Cañón IV, cinco grupos; el primero se ubicó entre los 24 y 25°C de temperatura y 35.25 y 35.4 de salinidad, en esta investigación no se identificó taxonómicamente a los grupos que componían la biomasa ya que éste no era el objetivo de la misma; sin embargo, de acuerdo a otros autores (Ramírez-Cruz, 2010) para el Cañón de Campeche los organismos que se han asociado a estas condiciones de temperatura y salinidad han sido los pterópodos y gasterópodos. Siguiendo con el segundo grupo éste se ubicó entre los 23 y 24°C de temperatura y 35.5 y 36 de salinidad, este fue el grupo que presentó un rango más alto de salinidad, el tercer grupo se encontró en un rango de temperatura desde 21.5°C hasta los 23.8°C con un margen de más de dos grados y presentó un rango de salinidad de 36.45 a 36.9, este grupo coincidió con los valores máximos de fluorescencia por lo que lo más probable es que estuviera conformado en su mayoría por organismos herbívoros del zooplancton. El siguiente grupo el cual seguramente pertenece a aguas más profundas cercanas a los 100 m debido a sus valores de temperatura, se localizó en el rango de 18.5 a 20.5°C y 36.3 a 36.5 de salinidad, siendo el grupo que presentó menor tolerancia a los cambios de salinidad. Finalmente el quinto grupo el cual debe estar compuesto en su mayoría por las estaciones de 200 m debido a sus valores de temperatura, oscilo entre los 13 y 15.5°C, siendo el grupo con el margen más amplio de temperatura, con un rango de salinidad entre 35.6 y 36.1, los organismos

reportados anteriormente en el Cañón para estas características de salinidad y temperatura han incluido copépodos y algunos organismos gelatinosos.

En este diagrama al igual que en la figura (12b) se puede apreciar como los organismos se agrupan de acuerdo a ciertas condiciones ambientales que son más aptas para su biología; sin embargo, éstas condiciones pueden ser alteradas y modificadas por la presencia de las corrientes y los giros de la zona, por lo que estos patrones de distribución pueden cambiar entre escalas espacio-temporales.

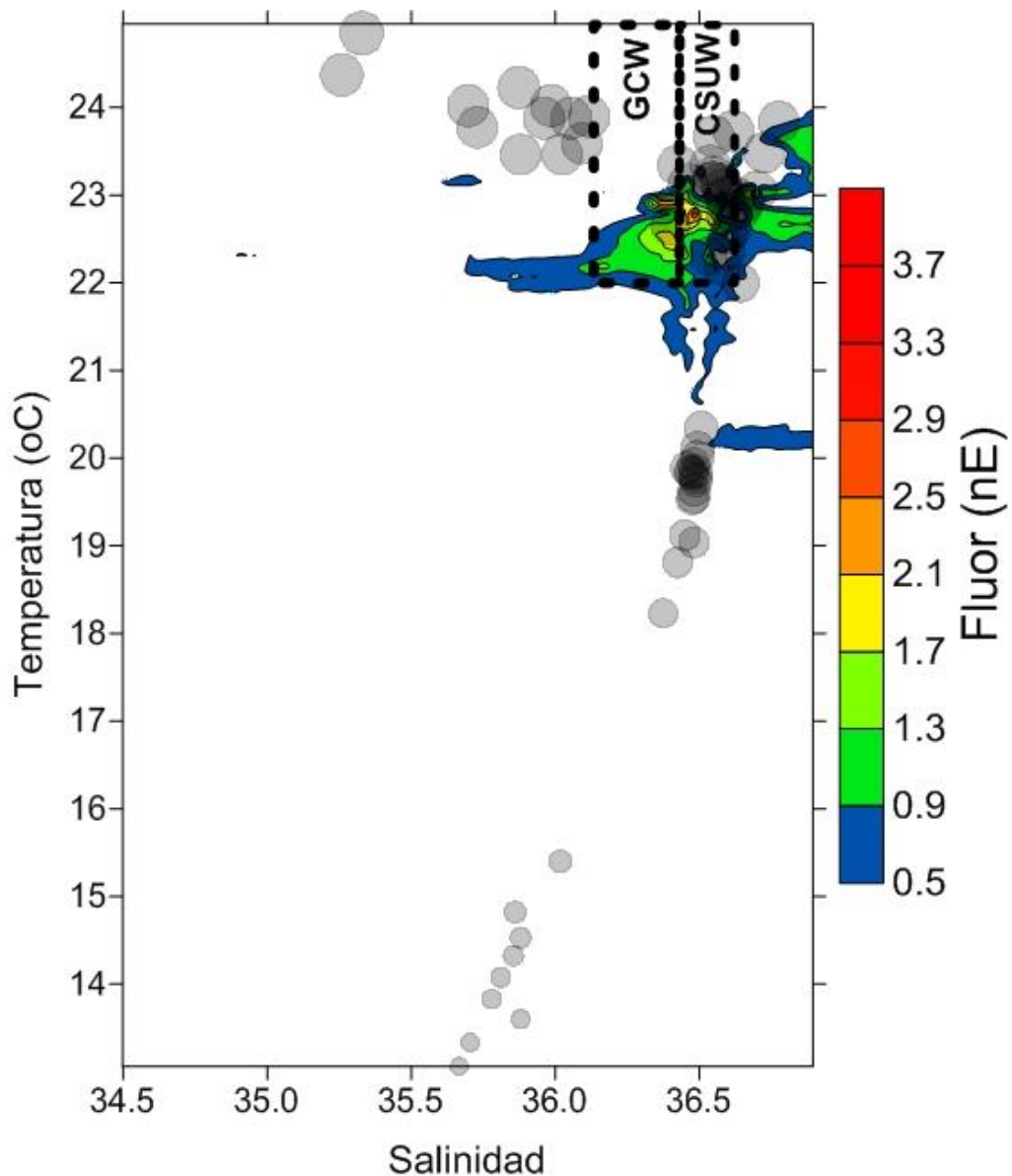


Fig.12 c ). Diagrama de dispersión de biomazas en g 100 m<sup>-3</sup> (puntos grises) de zooplancton y fluorescencia en un espacio T-S.

En otros estudios (Ramírez-Cruz 2005; Arreola-Pizano, 2012) se realizaron análisis de cómo afectan la termoclina y las migraciones sobre ciertas especies de organismos del zooplancton, elucidando cuáles son los grupos más afectados por las condiciones ambientales; sin embargo, en esta investigación se tomó sólo la biomasa total del zooplancton sin discriminar qué grupos componían dicha biomasa, una vez establecido esto en lo general, la mayor parte del zooplancton se agrupó a excepción de las estaciones 37, 39 y 42, por debajo de la termoclina coincidiendo con lo reportado por Mojica-Ramírez (2008).

Concordando con los resultados del presente estudio Santiago-Arce (2010) reportó para el Cañón de Campeche vorticidad positiva al suroeste de la región. Los datos utilizados para dicho estudio fueron registrados del 17 de Abril al 01 de Mayo del 2000, en temporadas de nortes al igual que el nuestro.

De acuerdo a Fragopoulou y Lykakis (1990) en un estudio en la región de la plataforma continental del Golfo de Patraikos en Grecia, la mayoría del zooplancton muestran un patrón a agregarse en la zona de la termoclina y presenta una distribución determinada por esta conducta y las migraciones verticales ontogenéticas y estacionales; así como también, por las respuestas pasivas a cambios hidrográficos. En el presente estudio sólo alrededor de un cuarto de las estaciones se agrupó en la zona de la termoclina, las restantes lo hicieron por debajo o muy por arriba de la misma.

Gasca (1999) reportó que la nutriclina se encuentra somera en el giro ciclónico y profunda en el anticiclónico, esto podría explicar los altos valores de biomasa que registraron las tres estaciones superficiales antes mencionadas, ya que dos de éstas se encontraron en áreas de circulación ciclónica.

Como se ha mencionado uno de los factores más importantes en la distribución del zooplancton son las migraciones verticales que éste realiza a lo largo del día, sin embargo, las propiedades hidrodinámicas de la zona no pueden ser subestimadas, Gasca *et al.* (2001) propone que el patrón de migración vertical puede ser afectado tanto por las condiciones ambientales como el paso de los nortes y la producción de giros y frentes en la zona.

Sanvicente Añorve (1990) realizó un estudio en época de nortes al igual que el presentado aquí y reporta que la biomasa zooplanctónica y la densidad ictioplanctónica tienen un aumento en invierno debido a la influencia del giro ciclónico sobre la comunidad oceánica. No obstante, siempre hay que tener en cuenta el traslape de eventos de menor escala, como la competencia por el alimento que se da entre los organismos y que afecta directamente a la comunidad del zooplancton en áreas amplias y periodos de tiempo mayor. Es debido a esto que resulta tan difícil el separar los eventos espaciales de los temporales en la mayoría de los estudios enfocados a la biomasa del zooplancton.

En el presente estudio, los valores máximos de biomasa zooplanctónica se presentaron en la superficie en las estaciones de muestreo que se ubicaron en el extremo sur del Cañón cercanas a los bordes del mismo. Estos resultados contrastan en magnitud a comparación de los demás estratos de muestreo en los cuales la biomasa zooplanctónica presentó una distribución más homogénea en el plano horizontal, esto debido tanto a las características intrínsecas de los organismos como la depredación, alimentación y migraciones verticales y a los factores ambientales (corrientes, ondas internas, vórtices, etc.). En el estudio realizado por Lara-López (2000) y Sánchez Ramírez (1997) se registraron los mayores valores de biomasa para la zona sur del Golfo de México a los 40 m de profundidad por debajo de la termoclina, la haloclina y la piconclina, sin embargo, en dicho estudio la zona de muestreo presentaba influencia directa de aguas epicontinentales además de haberse realizado en época de no nortes, a diferencia de la presente investigación para la cual las mayores concentraciones de biomasa en lo general se presentaron a los 100 m y 200 m, muy por debajo de la termoclina, a excepción de las estaciones de muestreo en superficie 37, 39 y 42, las cuales registraron la mayor densidad de organismos en toda la campaña. Esto podría deberse a la presencia de un parche ubicado en la frontera entre dos giros un ciclónico y un anticiclónico que afectan directamente la zona, esto además de ser algunas de las estaciones más someras de la campaña lo cual también afecta la profundidad de la capa de mezcla y en consecuencia la distribución de los organismos en la columna de agua.

Los resultados de esta investigación concuerdan con el trabajo de Maycas-Ribera *et al.* (1999) el cual reportó que los mayores valores de biomasa del zooplancton pueden ir aumentando hasta los 200 m y después ir decreciendo conforme aumenta la profundidad.

Arreola-Pizano (2012) reportó para dos de las campañas, ambas en época de no nortes, que contrario a lo que pasa en la temporada de nortes, en la época de no nortes la mezcla de la columna de agua está relacionada más directamente a la hidrodinámica local (giros ciclónicos y anticiclónicos) y esto se puede ver reflejado en una mayor abundancia en las zonas frontales entre los giros ciclónicos y anticiclónicos. En el presente estudio a pesar de haberse realizado en época de nortes coincide con los resultados de Arreola-Pizano (2012) al registrarse los mayores valores en las zonas de frontera entre los giros. De igual forma Foerster (1996) menciona que las zonas de frontera entre los giros son turbulentas, presentan altos gradientes de temperatura y representan una fuente alimenticia para los organismos, debido a esto en dichas zonas se localizan concentraciones (parches) de zooplancton, sin embargo, no compartimos la teoría que en la época de no nortes existe un aumento en la densidad de organismos, debido a que en nuestra campaña se registraron valores superiores a los reportados por Arreola Pizano (2012) para una época de no nortes.

Por otro lado, contrario a esta investigación Mojica-Ramírez (2003), reportó que para la región del Cañón de Campeche el valor máximo de biomasa zooplanctónica fue de  $10.42\text{g } 100\text{m}^{-3}$ , muy por debajo del máximo registrado para esta campaña ( $37\text{ g } 100\text{m}^{-3}$ ) además de localizarse para ésta investigación en el estrato de 4 m a diferencia del registrado en el 2003 siendo este entre las profundidades de 60 m y 80 m. Esto como se mencionó anteriormente puede ser debido a la presencia de un par ciclónico-anticiclónico que se presentó en nuestra campaña además de la hora del muestreo (de las 00:00 a las 12:00 h) cuando los organismos suelen realizar sus migraciones.

En otra investigación realizada por Ramírez-Cruz (2005), a finales de la temporada de nortes, al igual que en los presentes datos las mayores

concentraciones de biomasa se registraron en las fronteras de los giros anticiclónicos-ciclónicos, confirmando que la circulación en la zona influye en la distribución de la biomasa, de igual forma se registraron las mayores concentraciones de biomasa por encima de la termoclina coincidiendo con lo registrado en las estaciones 37, 39 y 42 de la campaña Cañón IV.

Coincidiendo con nuestros datos Castellanos y Gasca (1999), refieren que los bordes de los giros ciclónicos fueron de mayor productividad, debido al afloramiento de nutrimentos de capas subsuperficiales que los pone a disposición del fitoplancton y en consecuencia se ve beneficiado el zooplancton ocasionando una alta densidad de organismos tanto de día como de noche.

## CONCLUSIONES

- Las estaciones con mayores valores de biomasa para toda la campaña se registraron a los 4 m de profundidad en la zona sur de del Cañón de Campeche.
- Los estratos presentaron mayores valores de biomasa de la campaña fueron los correspondientes a las profundidades de 100 m y 200 m.
- La hidrodinámica de la región del Cañón de Campeche (circulación ciclónica y anticiclónica) afecta la agregación espacial del zooplancton.
- Las estaciones ubicadas en giros o patrones de circulación ciclónicos presentaron mayores valores de biomasa que las que se encontraron en zonas con circulación anticiclónica.
- La distribución de los organismos en los giros ciclónicos presentó un gradiente del centro del giro hacia los bordes, encontrándose las zonas con mayor cantidad de biomasa en la periferia de los giros.
- Las zonas de frontera y transición entre los giros registraron los mayores índices de biomasa.
- En zonas someras cercanas a la plataforma, la distribución de los organismos en temporada de nortes está definida por el paso de los nortes que afectan el espesor de la capa de mezcla y modifican la profundidad de la termoclina más que por las propiedades hidrodinámicas de la zona.

- Las estaciones con los mayores valores de biomasa de la campaña presentaron aparentemente un patrón de migración vertical hacia la superficie de tipo nocturno.



## Literatura citada

- Aguilar-Navarro, J. A. (2005). *Composición nutricia del plancton del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México*. Tesis de Licenciatura en Química de Alimentos, Facultad de Química, UNAM, México D. F. p., 59
- Ahlstrom EH. (1959). Vertical distribution of pelagic fish eggs and larvae off California and Baja California. U.S. Fish Wildlife Service. Fishery Bulletin 60: 107-146.
- Alba Hurtado, C. A. (2001) *Composición, Abundancia y Distribución de Sifonóforos (Cnidaria, Hydrozoa), en la Bahía de Campeche, México*. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México D. F., 2001. 51 p.
- Santiago-Arce T (2010). Análisis de La Vorticidad en el Cañón de Campeche, Golfo de México. Tesis de Maestría Oceanografía Física, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arriola Pizano AP. (2012). Estimación de la biomasa y composición del zooplancton en la región del Cañón de Campeche. Tesis de Maestría Biología Marina, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ashjian, C.J., Smith S.L.; Flagg C.N.; Mariano A.J.; Behrens W.J. y Lane P.V.Z. (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.
- Biggs, D. C. (1992). Nutrients, plankton, and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 97: 2143-2154.
- Biggs, D. C., Zimmerman R. A., Gasca R., Suárez-Morales E., Castellanos I y Leben R. R. (1997). Note on plankton and cold-core rings in the Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 95(2): 369-375.
- Castellanos, I., Gasca A. R. (1999). Epipelagic euphausiids (Euphausiacea) and spring mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Crustaceana*. 72(4):391-404.
- Conde-Porcuna J.M. Ramos-Rodríguez a , Morales-Baquero E., R. (2004). Instituto del Agua, Universidad de Granada, Ramón y Cajal 4, 18071 Granada, España, El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos, *Ecosistemas* 13. (2): 23-29.
- Cruz Gómez, R.C., Monreal Gómez M.A., Bulgakov N.S., (2008). Efectos de los vórtices en sistemas acuáticos y su relación con la química, biología y geología. *Interciencia*. 33(10): 741-746.
- Darren RC, Khalid VA, Graeme CH (2001) Zooplankton abundance and community structure over a 4000 km transect in the north-east Atlantic. *J Plankton Res*. 23:365-372.
- Flores Coto C, Espinosa Fuentes ML, Zavala-García F, Sanvicente-Añorve L (2009) Ictioplancton del sur del Golfo de México. *Hidrobiol*. 191:29-76.
- Flores Coto C, Flores-Hernández F, Zavala García F, Arenas-Fuentes V, Monreal-Gómez MA, Salas de León DA (2000) Oceanic and neritic ichthyoplankton at the edge of the continental shelf in the southern Gulf of Mexico, *Gulf Caribb Res*. 12:31-35.

- Flores Coto, C., L. Sanvicente Añorve, R. Pineda López y M. Rodríguez Vanlier.(1988). Composición, distribución y abundancia ictioplanctónica del Sur del Golfo de México. *Universidad y Ciencia*. 5(9): 65-84.
- Foerster WJ (1996) El efecto de la frontera en el noreste del Oceano Pacifico Nort. *Cienc Mar*. 222: 175-190.
- Fragopoulou, N. y J. J. Lykakis. (1990). Vertical distribution and nocturnal migration of zooplankton in relation to the development of the seasonal thermocline in Patraikos Gulf. *Marine Biology*. 104: 381-387.
- Franks PJS. (1992) Sink or swim: Accumulation of biomass at fronts. *Mar Ecol Prog Ser*. 82: 1-12.
- Fraser JH. (1968). The history of plankton sampling. In: D. J. Tranter (ed.). *Zooplankton Sampling*. UNESCO. Paris. 57 – 76.
- Fratantoni DM, Richardson PL (2006) The evolution and demise of North Brazil Current rings. *J. Phys. Oceanogr*. 36: 1241-1264.
- 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 pp.
- Gasca R. y Suárez E. (1991). *Sifonóforos de México. Biología y Ecología*. Ferrandiz, México, 170 p.
- Gasca, R. (1996) *El zooplankton marino*. In: Gasca, R. y Suárez E. (1996). Introducción al estudio del zooplankton marino. El Colegio de la Frontera Sur.
- Gasca, R. (1999). Siphonophores (Cnidaria) and summer mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*. 65(1):75-89.
- Gasca, R. E. Suarez e I. Castellanos, (1995). Bioamasas zooplanctónicas en aguas superficiales del Golfo de Mexico durante verano e invierno de 1991. *Caribbean Journal of Science*. 31 (1-2): 128- 140.
- Gasca, R., I. Castellanos y D. C. Biggs. (2001). Euphausiids (Crustacea, euphausiacea) and summer mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 68. (3): 397-408.
- 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.
- Harris, R.P., Wiebe, P.H., Lens, J., Skojdal, H. R., Huntley, M.(2000). Zooplankton Methodology Manual. *Elsevier Academic Press*. San Diego, California, USA. 684pp.
- Hays GC, Proctor CA, John AWG, Warner AJ (1994) interspecific differences in the diel vertical migration of marine copepods: The implications of size, color and morphology. *Limnol. Oceanogr*. 39,1621-1629.
- Hensen, V., (1887). *Über die Bestimmung des Planktons oder dies im Meere treibenden Materials an Pflanzen und Tieren*. V. Bericht der Commission zur wissenschaftlichen Untersuchung der deutschen Meere un Kiel. Paul Perey, Berlin, 108 pp.
- Hopkings T.L., (1982) The vertical distribution of zooplankton in the Eastern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research*. 29(9A):1069-1083.

- Hurlburt, H. E. y J. D. Thompson. (1980). A numerical study of Loop Current intrusion and eddy shedding. *J. Phys. Oceanogr.* 10: 1611-1651.
- Klinck, J.M., (1996). Circulation near submarine canyons: A modeling study. *Journal of Geophysical Research*, 101, 1211-1223.
- Lara-López, A. L. (2000). Determinación de la biomasa zooplanctónica enfrente a la desembocadura del Sistema Grijalva-Usumacinta utilizando un perfilador acústico Doppler. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 60 pp.
- Lenz, J., (2000) Introduction. In Harris, R. P., Wiebe, P.H., Lenz, J., Skjoldal, H.R., Huntley, M. (Eds.). *Zooplankton Methodology Manual*. Elsevier Academic Press. San Diego, California, USA. 684 pp.
- Loeb VJ., Nichols JA. (1984). Vertical distribution and composition of ichthyoplankton and invertebrate zooplankton assemblages in the Eastern Tropical Pacific. *Biología Pesquera*. 13: 39-66.
- Maycas-Ribera E. Bourdillon A. Macquart-Moulin C. Passelaigue F. Patrìti G. (1999) variations of the bathymetric distribution of zooplankton groups and biomass in Cap-Ferret Canyon, France. *Deep-Sea Research*. II 46 (1999) 2081-2099.
- McGillicuddy Jr. Dennis J. Bethany R. Eden, Deborah K. Steinberg, Sarah A. Goldthwait, (2009) Zooplankton community structure in a cyclonic and mode-water eddy in the Sargasso Sea. *Journal ScienceDirect, Deep-Sea Research*. I 56 (2009) 1757–1776.
- McGillicuddy Jr. Dennis J. Robinson Allan R. (1997) Interaction between the oceanic mesoscale and the surface mixed layer. *Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA*. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 27 (1997) 549-574.
- Mendoza, M y Ortiz Pérez M.A., 2000. Caracterización geomorfológica del talud y la plataforma continentales de Campeche-Yucatán, México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM*, 43, 7-31.
- Merino, M. and Monreal A., (2004), Ocean Currents and their Impact on Marine Life. In: Marine Ecology, edited by C. M. Duarte, in *Enciclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Developed under the auspices of UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK,
- Mille-Pagaza, S. y J. Carrillo-Laguna. (2001). The chaetognatha of the southwestern Gulf of Mexico during april-may, 1986. *Gulf and Caribbean Research*. 13: 59-65.
- Mojica – Ramírez E., (2008). Estructura del zooplancton de la Bahía de La Paz, B.C.S. y su relación con la hidrografía durante el verano del 2004. Tesis de Maestría. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 74 p.
- Mojica-Ramírez E., (2003). Variabilidad de la biomasa zooplanctonica en la región del Cañon de Campeche durante la campaña PROMEBIO-I (5 al 21 de agosto 1999). Tesis de Licenciatura Biología, Universidad Autonoma de Mexico. Facultad de Ciencias, 50pp.
- Monreal Gómez, M.A., Salas de León D.A., Velasco Mendoza, H., (2004). La hidrodinámica del Golfo de México. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Caso M., Pisantry I., *Ezcurra E. (compiladores)*. Primera Edición. México. Vol. I, 626 p.

- Monreal-Gómez, M. A. y D. A. Salas-de-León., (1997). Mares y circulación residual en el Golfo de México. En: Monografía No. 3 de la *Unión Geofísica Mexicana "Oceanografía Física en México"*, M. F. Lavín Peregrina Ed. 201-223 pp.
- Olson BD, (1991) Rings in the ocean. *Ann. Rev. Earth Planet.* 19: 283-311.
- Omori, M. and T. Ikeda. (1984). *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley y Sons Ed. USA. 332pp.
- Palacios-Fest M, Dettman D. (2001) Temperature controls monthly variation in ostracode valve Mg/Ca Cypridopsis vidua from a small lake in Sonora, Mexico. *Geochimica Cosmochimica Acta* 65(15): 2499-2507.
- Porrello, S. (2005) The influence of marine cages on the sediment chemistry in the Western Mediterranean Sea. *Aquaculture*. En prensa.
- Ramírez Cruz, V., (2005): Distribución y abundancia de la biomasa zooplanctónica en la región del Cañón de Campeche en fin de temporada de nortes. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, 80P, Mexico D.F., 2005.
- Ramírez-Domínguez M. (2013), Patrones de distribución de clorofila a en el Cañón de Campeche en revisión
- Rosales-Navarro IS (2007) Hidrografía y corrientes geostróficas en la región del Cañón de Campeche. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México Distrito Federal
- Rosales-Navarro, I.S., (2003): Circulación Geostrófica en el sur del Golfo de Mexico. Tesis de Licenciatura en Ing. Geofísico, Fac. de Ingeniería, UNAM, 87 p, Mexico D.F., junio de 2003.
- Salas de León D.A., Monreal Gómez M.A, Signoret M., Aldeco J., (2004). Anticyclonic-cyclonic eddies and their impact on near-surface chlorophyll stocks and oxygen supersaturation over the Campeche Canyon, Gulf of México. *Journal of Geophysical Research*, 109, 1-10.
- Salas de León DA, Monreal-Gómez, MA (2005) Procesos físicos que influyen en la productividad Biológica de los mares Mexicanos. *Ciencia*, Oct-Dic: 49-59.
- Salas de León, D. A., M. A. Monreal Gómez, L. Sanvicente Añorve y C. Flores Coto. (1998). Influence de la circulation à long terme sur la répartition des organismes zooplanctoniques dans la Baie de Campeche, Mexique. *Océanologica Acta*. 21 (1): 87-93.
- Sánchez-Ramírez, M. (1997). Alimentación, crecimiento y mortalidad de larvas de *Chloroscombrus chrysurus* (PISES: Carangidae) en el sur del Golfo de México. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 85 pp.
- Santamaría-Alvarado F. J. (2007). Determinación de biomasa zooplanctónica mediante ADCP en la Bahía de Campeche, México, en verano de 1996. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 104 pp.
- Santoyo, H., Signoret, M., (1980). Aspectos ecológicos del plancton de la Bahía de la Paz, Baja California Sur. *Anales del Centro de Ciencias del mar y Limnología*. 1980-1.
- Sanvicente-Añorve, L. E. (1990). Comunidades ictioplanctónicas en el sureste del Golfo de México. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 65 pp.

- UNESCO, (1979). *Zooplankton Sampling Monographs on Oceanographic Methodology* 2. UNESCO. France. 174 pp.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal y A. F. Hernández O. (1990). Atlas oceanográfico del Golfo de México volumen II. Instituto de Investigaciones Eléctricas y Grupo de estudios oceanográficos.
- Wang G, Dewar WK (2003) Meddy-seamount interactions: Implications for the Mediterranean salt tongue. *J. Phys. Ocean.* 33: 2446-2461.
- Weihaupt, J.G. (1984). Historic cartographic evidence for Holocene changes in the Antarctic ice cover. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 65: doi: 10.1029/EO065i035p00493. issn: 0096-3941.
- Wikstead, J.H. (1979) *Zooplankton marino*. Omega. Madrid, España. 70 pp.
- Wormuth JH, Ressler PB, Candy RB, Harris EJ (2000) Zooplankton and micronekton in cyclones and anticyclones in the Northeast Gulf of Mexico. *Gulf Mex Sci.* 18 1:23-34.
- Zavala García, F. (2000) "Muestreo del Zooplankton". In: Granados Barba, A.V. Solís Weiss y R.G. Bernal Ramírez (eds.). *Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica*. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 448p.
- Zavala-García, F. y C. Flores-Coto. (1989). Medición de biomasa zooplanctónica. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 16(2): 273-278.
- Zimmerman, RA; Biggs, DC (1999) Patterns of distribution of sound-scattering zooplankton in warm- and cold-core eddies in the Gulf of Mexico, from a narrowband acoustic Doppler current profiler survey. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 104, no. C3, pp. 5251-5262.