



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



# **Determinación de biomasa zooplanctónica mediante ADCP en la Bahía de Campeche, México, en verano de 1996**

## **T E S I S**

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias del Mar y Limnología

(Biología Marina)

P r e s e n t a

**Biol. Francisco Julián Santamaría Alvarado**

Director de Tesis: Dr. David Alberto Salas de León  
Dra. María Adela Monreal Gómez  
Dr. Xavier Chiappa Carrara  
Dra. Martha Signoret Poillon  
Dr. César Flores Coto

México, D. F., Junio de 2007



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.

*Este humilde trabajo está dedicado a mi querida madrecita, quien se enfrentó a la adversidad con el mismo espíritu de aquellos indomables aventureros, que remaban día y noche para avanzar por sus propios y escasos medios, antes que sentarse a esperar un viento favorable que hinchara las velas... Todo para que sus hijos pudiéramos cumplir nuestros sueños...*

*Así como a Mariano (†), a Marek (†) y a todos los demás amigos y compañeros que se perdieron en el mar de la eternidad, intentando obtener “una última” muestra...*

## AGRADECIMIENTOS

*“Recuerda que cuando el agua te llega al cuello,  
es cuando puedes empezar a nadar”.*

**Antonio Santamaría**

Es un honor para mí tener la oportunidad de agradecer a Dios y a todos aquellos que se embarcaron conmigo en la realización de esta tesis y colaboraron, ya sea como guías, maestros o amigos, para poder llevarla a buen puerto.

La impresión de este texto es la culminación de un esfuerzo muy grande, realizado de manera conjunta por mucha gente, entre ellos destacan el Dr. David Alberto Salas de León, quien fue mi Director de tesis. La Dra. Adela Monreal Gómez y el Dr. Xavier Chiappa Carrara, quienes formaron el Comité Tutorial. Así como la Dra. Martha Signoret Poillon y el Dr. César Flores Coto, quienes fungieron como miembros del Jurado.

También agradezco la orientación y el apoyo brindado por la Dra. Gloria Villaclara y el Dr. Martín Merino durante el desarrollo de mi posgrado.

De la misma manera, este trabajo no hubiera sido posible sin la valiosa colaboración de los tripulantes de los Buques Oceanográficos “Justo Sierra” y “El Puma”, en especial quisiera agradecer a los Capitanes Héctor Gutiérrez Granja, Adrián Cantú Alvarado, Pascual Barajas Flores y Ezequiel Vázquez Ibarra, al contramaestre “Perico”, a los marineros Triana, Abel y Hernán, así como a todos los oficiales y personal de marinería de ambos barcos, a quienes por razones de espacio no es posible mencionar uno por uno. Les agradezco infinitamente el apoyo y orientación brindado en este y en otros proyectos a lo largo de los últimos años.

Obviamente merecen un agradecimiento muy especial, pero muy especial: mi mamá, mi papá, mi hermano Toño y mi hermana Ena por todo el apoyo que diariamente me han dado a lo largo de mi vida, lo cuál me ha permitido cumplir mis sueños y aspiraciones. Respecto a mi sobrinito Julián, le agradezco que llene de alegría nuestras vidas por el simple hecho de haber nacido. Espero que algún día revise esta tesis y le sirva de algo para su futuro académico.

Igualmente quisiera agradecer a los integrantes del laboratorio de Oceanografía Física, sitio donde se realizó el presente estudio. En particular al Tte. de Corbeta Román Vera, compañero y amigo, por su valiosa aportación en la fase de procesamiento de datos acústicos. Así como el apoyo de mis compañeros Ikebana, Erika, Víctor, Gilberto y Miguel.

Mi formación profesional también se enriqueció con las ideas y conocimientos impartidos por diversos profesores e investigadores, ya sea en clases, salidas de campo y cruceros oceanográficos, entre ellos destacan la Dra. Viivianne Solís Weiss, el Dr. Miguel

Angel Alatorre, el Dr. Luis Soto, el Dr. Gallardo, el Dr. Carlos Robinson y la Dra. Carmen Bazúa Durán. Muchas gracias por sus consejos e instrucciones.

También quisiera agradecer ampliamente a Jorge Mejía, Vania Chagoya, Lizeth Hernández, Oyuki Liconá y Mauricio López por el apoyo brindado en diversos aspectos durante el desarrollo de este proyecto. Y reconocer la invaluable ayuda de Nacho Palomar y Rene Leyva por sacarme a flote cada vez que había algún incidente con las computadoras.

En el aspecto personal me parece importante expresar mi más sincero agradecimiento a aquella linda personita, que fue como el faro de una isla tropical, en el huracán de la vida.

Al Dr. Samuel Gómez Aguirre (†), por enseñarme a navegar tras un objetivo, sin hacer caso de los cantos de sirena, que terminan por perder a los navegantes.

A Vania Chagoya, por todo el apoyo que me ha brindado cada vez que mis ilusiones naufragaban... Así como a Araceli Argüelles, por sus consejos, que eran como rayos de luna en la niebla de la incertidumbre. Un agradecimiento muy especial a ambas.

A Ale y Diana Mora por que siempre me han brindado su apoyo y amistad incondicional.

Obviamente no puedo desaprovechar la ocasión para dedicarle un abrazo a aquella chica tan especial, que con mucho cariño se dedicó a iluminar los días más tristes de mi vida con el brillante amanecer de su sonrisa. Tal vez no se entere que en las fases más complicadas de esta tesis ella estuvo presente como fuente de inspiración. Tal vez, como siempre, se reste importancia y no acepte todo lo que ella representó para mí. Sin embargo, su recuerdo, que el viento traía consigo, que me ilusionaba, que me inundaba de alegría, que me emocionaba y por la cuál con gusto hubiera tirado todo por la borda... Ese recuerdo, perdurará siempre. Muchas gracias por todos esos bellos momentos.

Y agradecer el apoyo con los “detalles” (que nunca son tan pequeños) de los que se encargaban Diana Juárez, Chantall y Lupita, labor importantísima que les agradezco ampliamente.

Por último, agradezco sinceramente la amistad de Heidi, Ernesto, Yuko, Jacsani, Erika, Araceli, Norma, Eunice, Toño, Tania, Enrique, Tere, Esther, Ale, Malena, Omar, Yoshi, Sandra, Indolfo, Edgar, Mariana, Paty, Raúl, Elisa, Tania, Eleonora, Ana, Marcela, Angélica, Rosy, Eugenia. Satoru, Leticia, Omar, Ramadán, Ricardo, Delia, Violeta, Iván, Diana, Xochiquetzali, Caro, Héctor, Osiris, Violeta, Karina, Beti, Paty, Fabiola, así como de todos aquellos que pusieron un granito de arena para que este trabajo fuera una realidad.

A t e n t a m e n t e

Julián Santamaría

**ÍNDICE TEMÁTICO**

<b>RESUMEN</b>	I
<b>ABSTRACT</b>	II
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1 El zooplancton	2
1.2 Importancia Ecológica	4
<b>ANTECEDENTES</b>	6
2.1 Métodos para determinar Biomasa Zooplanctónica	6
2.1.1 Métodos Acústicos	7
2.1.1.1 El Perfilador Acústico Doppler de Corrientes (ADCP)	9
2.1.1.2 El ADCP y la determinación de biomasa zooplanctónica	11
2.2 Zona de estudio	13
2.3 Patrones de circulación en verano de 1996	17
2.3.1 Circulación en la capa de 4 m de profundidad	18
2.3.2 Circulación en la capa de 20 m de profundidad	19
2.3.3 Circulación en la capa de 36 m de profundidad	21
2.3.4 Circulación en la capa de 52 m de profundidad	22
2.3.5 Circulación en la capa de 68 m de profundidad	22
2.3.6 Circulación en la capa de 84 m de profundidad	23
2.3.7 Circulación en la capa de 116 m de profundidad	24
2.3.8 Circulación en la capa de 148 m de profundidad	26
2.3.9 Circulación en la capa de 196 m de profundidad	27

---

---

2.4 El zooplancton de la Bahía de Campeche	29
<b>OBJETIVOS</b>	<b>31</b>
3.1 Objetivo General	31
3.2 Objetivos Particulares	31
<b>MÉTODO Y MATERIALES</b>	<b>32</b>
4.1 Muestreo y trabajo de campo	35
4.2 Procesamiento de datos y análisis estadístico	36
<b>RESULTADOS</b>	<b>38</b>
5.1 Resultados por estrato de profundidad	38
5.1.1 Estrato de 20 m de profundidad	38
5.1.2 Estrato de 36 m de profundidad	42
5.1.3 Estrato de 52 m de profundidad	47
5.1.4 Estrato de 68 m de profundidad	51
5.1.5 Estrato de 84 m de profundidad	55
5.1.6 Estrato de 100 m de profundidad	59
5.1.7 Estrato de 116 m de profundidad	63
5.1.8 Estrato de 132 m de profundidad	67
5.1.9 Estrato de 148 m de profundidad	71
5.1.10 Estrato de 164 m de profundidad	74
5.1.11 Estrato de 180 m de profundidad	78
5.1.12 Estrato de 196 m de profundidad	82
5.2 Análisis de factores	86
5.2.1 Matrices de correlación del estrato de 20 m	86
5.2.2 Matrices de correlación del estrato de 36 m	87
5.2.1 Matrices de correlación del estrato de 52 m	87
5.2.3 Matrices de correlación del estrato de 68 m	87

---

---

5.2.4 Matrices de correlación del estrato de 84 m	88
5.2.5 Matrices de correlación del estrato de 100 m	88
5.2.6 Matrices de correlación del estrato de 116 m	89
5.2.7 Matrices de correlación del estrato de 132 m	89
5.2.8 Matrices de correlación del estrato de 148 m	90
5.2.9 Matrices de correlación del estrato de 164 m	90
5.2.10 Matrices de correlación del estrato de 180 m	90
5.2.11 Matrices de correlación del estrato de 196 m	91
5.3 Análisis de agrupamientos	
5.3.1 Análisis de agrupamientos (cluster), para 20 m	93
5.3.2 Análisis de agrupamientos (cluster), para 36 m	94
5.3.3 Análisis de agrupamientos (cluster), para 52 m	95
5.3.4 Análisis de agrupamientos (cluster), para 68 m	96
5.3.5 Análisis de agrupamientos (cluster), para 84 m	97
5.3.6 Análisis de agrupamientos (cluster), para 100 m	98
5.3.7 Análisis de agrupamientos (cluster), para 116 m	99
5.3.8 Análisis de agrupamientos (cluster), para 132 m	100
5.3.9 Análisis de agrupamientos (cluster), para 148 m	101
5.3.10 Análisis de agrupamientos (cluster), para 164 m	102
5.3.11 Análisis de agrupamientos (cluster), para 180 m	103
5.3.12 Análisis de agrupamientos (cluster), para 196 m	104
<b>Discusión</b>	114
<b>Conclusiones</b>	121
<b>Literatura Citada</b>	123
<b>APÉNDICE 1</b>	141

---



**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Ubicación y Batimetría (m) del Golfo de México	13
<b>2</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 4 m de profundidad	19
<b>3</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 20 m de profundidad	20
<b>4</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 36 m de profundidad	21
<b>5</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 52 m de profundidad	22
<b>6</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 68 m de profundidad	23
<b>7</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 84 m de profundidad	24
<b>8</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 100 m de profundidad	25
<b>9</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 148 m de profundidad	27
<b>10</b>	Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 196 m de profundidad	28

---

11	Distribución de estaciones hidrográficas y trayectoria del buque durante la campaña oceanográfica "FIBAC-I".	35
11	Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m <sup>3</sup> ) a 20 m de profundidad	39
12	Distribución de la temperatura (°C) a 20 m de profundidad	40
13	Distribución de la salinidad a 20 m de profundidad	41
14	Distribución de la densidad relativa (kg/m <sup>3</sup> ) a 20 m de profundidad	42
15	Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m <sup>3</sup> ) a 36 m de profundidad	44
16	Distribución de la temperatura (°C) a 36 m de profundidad	45
17	Distribución de la salinidad a 36 m de profundidad	46
18	Distribución de la densidad relativa (kg/m <sup>3</sup> ) a 36 m de profundidad	47
19	Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m <sup>3</sup> ) a 52 m de profundidad	48
20	Distribución de la temperatura (°C) a 52 m de profundidad	49
21	Distribución de la salinidad a 52 m de profundidad	50

---

---

<b>22</b>	Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 52 m de profundidad	51
<b>23</b>	Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 68 m de profundidad	52
<b>24</b>	Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 68 m de profundidad	53
<b>25</b>	Distribución de la salinidad a 68 m de profundidad	54
<b>26</b>	Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 68 m de profundidad	55
<b>27</b>	Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 84 m de profundidad	56
<b>28</b>	Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 84 m de profundidad	57
<b>29</b>	Distribución de la salinidad a 84 m de profundidad	58
<b>30</b>	Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 84 m de profundidad	59
<b>31</b>	Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 100 m de profundidad	60
<b>32</b>	Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 100 m de profundidad	61
<b>33</b>	Distribución de la salinidad a 100 m de profundidad	62

---

---

<b>34</b>	Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 100 m de profundidad	63
<b>35</b>	Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 116 m de profundidad	64
<b>36</b>	Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 116 m de profundidad	65
<b>37</b>	Distribución de la salinidad a 116 m de profundidad	66
<b>38</b>	Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 116 m de profundidad	67
<b>39</b>	Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 132 m de profundidad	68
<b>40</b>	Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 132 m de profundidad	69
<b>41</b>	Distribución de la salinidad a 132 m de profundidad	70
<b>42</b>	Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 20 m de profundidad	71
<b>43</b>	Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 148 m de profundidad	72
<b>44</b>	Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 148 m de profundidad	73
<b>45</b>	Distribución de la salinidad a 148 m de profundidad	73
<b>46</b>	Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a	74

---

---

	148 m de profundidad	
47	Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m <sup>3</sup> ) a 164 m de profundidad	75
48	Distribución de la temperatura (°C) a 164 m de profundidad	76
49	Distribución de la salinidad a 164 m de profundidad	77
50	Distribución de la densidad relativa (kg/m <sup>3</sup> ) a 164 m de profundidad	78
51	Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m <sup>3</sup> ) a 180 m de profundidad	79
52	Distribución de la temperatura (°C) a 180 m de profundidad	80
53	Distribución de la salinidad a 180 m de profundidad	81
54	Distribución de la densidad relativa (kg/m <sup>3</sup> ) a 180 m de profundidad	82
55	Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m <sup>3</sup> ) a 196 m de profundidad	83
56	Distribución de la temperatura (°C) a 196 m de profundidad	84
57	Distribución de la salinidad a 196 m de profundidad	85
58	Distribución de la densidad relativa (kg/m <sup>3</sup> ) a	86

---

---

	196 m de profundidad	
<b>59</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 20 m	93
<b>60</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 36 m	94
<b>61</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 52 m	95
<b>62</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 68 m	96
<b>63</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 84 m	97
<b>64</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 100 m	98
<b>65</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 116 m	99
<b>66</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 132 m	100
<b>67</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 148 m	101
<b>68</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 164 m	102
<b>69</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 180 m	103
<b>70</b>	Análisis de agrupamientos (cluster), para 196 m	104

---

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Categorías de clasificación de acuerdo al tamaño de los organismos planctónicos	3
2	Espectros de talla de diferentes compartimientos planctícos, incluyendo intervalo de talla del necton	4
3	Velocidades de propagación del sonido en aguas costeras del sur del Golfo de México	34
4	Matriz de correlación a 20 m de profundidad	86
5	Matriz de correlación a 36 m de profundidad	87
6	Matriz de correlación a 52 m de profundidad	87
7	Matriz de correlación a 68 m de profundidad	88
8	Matriz de correlación a 84 m de profundidad	88
9	Matriz de correlación a 100 m de profundidad	89
10	Matriz de correlación a 116 m de profundidad	89
11	Matriz de correlación a 132 m de profundidad	89
12	Matriz de correlación a 148 m de profundidad	90
13	Matriz de correlación a 164 m de profundidad	90

---

<b>14</b>	Matriz de correlación a 180 m de profundidad	91
<b>15</b>	Matriz de correlación a 196 m de profundidad	91



## RESUMEN

Se determinó la biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche, Golfo de México, del 14 de agosto al 1° de septiembre de 1996, usando un perfilador acústico Doppler de corrientes (ADCP) de 75 kHz. La distribución y abundancia de la biomasa zooplanctónica se comparó con las distribuciones de la temperatura, salinidad y densidad relativa registradas en 93 estaciones hidrográficas. Los resultados mostraron que la temperatura fue el factor hidrográfico de mayor influencia en la distribución de la biomasa zooplanctónica. Le siguieron en importancia la salinidad y la densidad. Se registraron cuatro núcleos de alta concentración de biomasa zooplanctónica: El primero ubicado en la zona de influencia de la desembocadura del río Tuxpan, el segundo localizado en la región costera al norte de la descarga del sistema fluvial Grijalva – Usumacinta, el tercero en el giro ciclónico de la Bahía de Campeche y el cuarto al oeste de la Plataforma de Campeche. Los dos primeros son resultado de la influencia de las descargas de los ríos, mientras que el tercero y el cuarto se deben a factores oceánicos.

## ABSTRACT

Zooplankton biomass was determined in the Bay of Campeche in the Gulf of Mexico from the 14th of August to the 1st of September 1996, using an acoustic Doppler current profiler (ADCP) operating at 75 kHz. 93 hydrographic stations were sampled and the distribution and abundance of zooplankton were compared to the distribution of temperature, salinity and relative density. Results show that temperature is the hydrographic factor with the largest influence upon the distribution of zooplankton biomass. Salinity and density follow in importance. Four nuclei of high biomass concentration were recorded. The first was found around the mouth of the Tuxpan river, the second in the northern coastal region around the mouth of the Grijalva-Usumacinta system. The third nucleus was found in the cyclonic gyre of the Bay of Campeche, and the fourth towards the west of the Campeche platform. The first two are the result of river discharges, while the third and fourth are due to oceanic factors.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de estudiar y comprender la dinámica de la biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche debe ser una de las prioridades en la investigación oceanográfica de México, debido a su interés científico, ecológico y económico.

En dicha región México extrae el 70 % del petróleo de exportación (Villanueva, 2000), mantiene pesquerías de escama, crustáceos y moluscos de importancia comercial (Aguilar, 1998; Arroyo, 2001; García, 2001; Martínez, 2001; Montaña, 2005) y registra la existencia de especies de gran interés turístico (Quan Kiu, 2006; López, 2007). Además, la bahía presenta un gran número de procesos hidrodinámicos como mareas, giros de varias escalas, ondas internas (Díaz Flores, 2001), inestabilidades atmosféricas y el paso de huracanes, entre otros, que la hacen sumamente atractiva desde el punto de vista científico.

Por su parte, el zooplancton ocupa una posición clave en la red trófica pelágica como transmisor de energía orgánica producida por algas unicelulares por medio de la fotosíntesis a altos niveles tróficos y a cada población de peces explotable por el hombre (Harris, 2000; Wickstead, 1979; Santoyo y Signoret, 1980; Zavala García, 2000).

Debido a su importancia ecológica, el estudio de la biomasa zooplanctónica como entidad dinámica presenta múltiples aplicaciones en muy diversos ámbitos. Puede ser utilizada como alimento directo para el ser humano (Boswell, 1996), como complemento alimenticio (Wickstead, 1979), o como alimento para otras especies de consumo humano (Aguilar, 2005). Algunos grupos representan fuentes de conocimiento médico debido a la característica de poseer fuertes toxinas (Gasca y Suárez, 1991<sup>a</sup>; Alba Hurtado, 2001). Otros (sifonóforos, p. ej.) pueden utilizarse como bioindicadores de determinadas masas de agua, debido a que su distribución, composición y abundancia son resultado de la convergencia de condiciones físicas y

biológicas muy particulares. (Bratkovich, 1988; Pugh, 1977; Margulis, 1972; Vasiliev, 1974; Torres, 1999). Por éstas y otras razones, en las que destacan su valor ecológico (Plymouth, 1979) y económico, es cada vez mayor el interés en conocer detalladamente la distribución y no sólo la composición, de la biomasa zooplanctónica.

## 1.1 El Zooplancton

El término “plancton” fue acuñado por el investigador alemán Víctor Hensen en 1887. Este se deriva de la palabra griega “*planktos*” que significa “errante”. Incluye todos los organismos que en el agua tienen una capacidad de locomoción insuficiente para desplazarse contra la corriente (Hensen, 1887).

Lenz (2000), comenta que el adjetivo “planctónico” o “planctónica” se ha establecido debido al uso constante a lo largo del tiempo, aunque considera que el adjetivo etimológicamente adecuado es “planctico” o “planctica”, sin embargo, señala que actualmente ambos se consideran correctos. Por su parte, Flores, considera que el término adecuado es planctónica, debido a que a se deriva de “plancton”. Razón por la cuál es el término utilizado en el presente estudio.

El plancton se divide en dos categorías principales: *Fitoplancton*, que está formado por organismos fotoautótrofos y *Zooplancton*, que incluye a los organismos heterótrofos.

También se puede clasificar de acuerdo a la profundidad en la columna de agua: *Pleuston*, que se refiere a los organismos que viven en la superficie del mar. *Neuston*, a los que viven en la interfase aire/agua y algunos mm abajo. *Epipelágico* de 0 a 300 m. *Mesopelágico* de 300 a 1000 m. *Batipelágico* de 1000 a 3000 m. *Abisopelágico* a más de 3000 m y *Epibéntico*, que son los que viven en contacto con el fondo (Omori e Ikeda, 1992; Zavala y Espinoza, 2000). En el caso del presente estudio, únicamente se analiza el zooplancton epipelágico.

Aunque no tienen la capacidad de desplazarse significativamente contra la corriente, casi todas las especies de zooplancton han desarrollado mecanismos que les permiten desplazarse en la columna de agua y poder permanecer a una profundidad que le sea favorable, dependiendo de los requerimientos de cada organismo. En general, los factores limitantes del zooplancton son la presencia o ausencia de fuentes de alimento y de medios para escapar de sus depredadores. (Zavala García, 2000).

El zooplancton marino comprende más de 10 000 especies (Omori e Ikeda, 1992). y presenta un rango de tamaño que va desde flagelados de pocas micras de largo, a medusas de 2 metros de diámetro (Tabla 1).

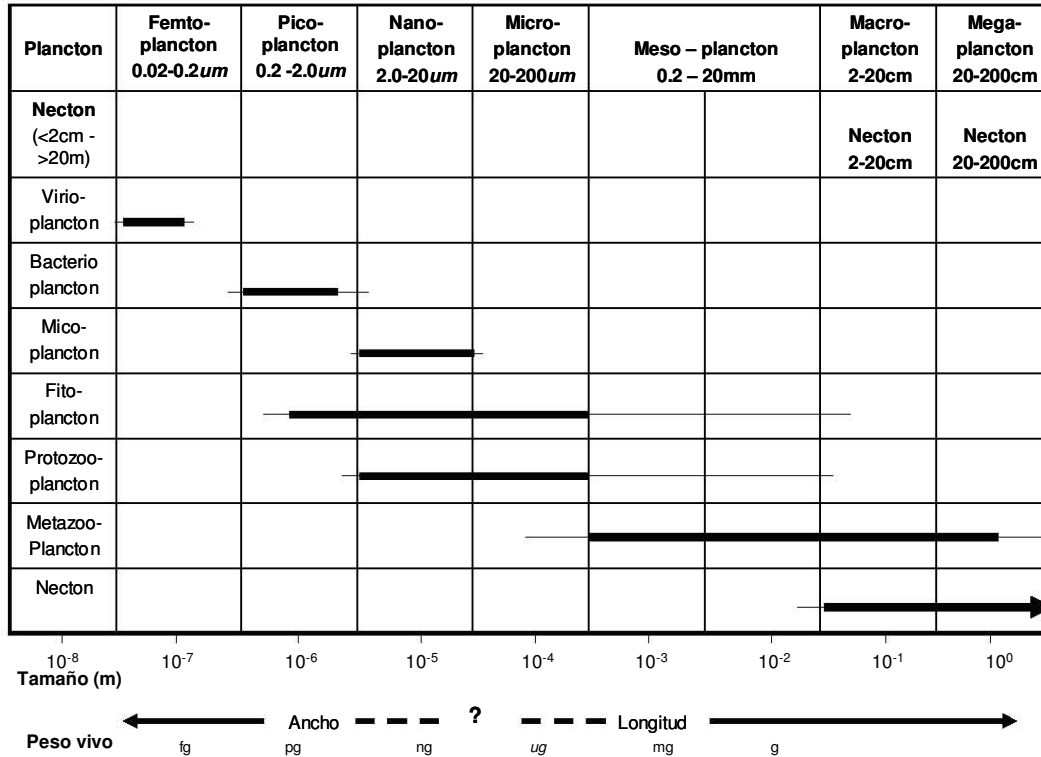
**Tabla 1.** Categorías de clasificación de acuerdo al tamaño de los organismos planctónicos.

<b>Grupo</b>	<b>Límites</b>	<b>Constituido por:</b>
<b>Ultrananoplancton</b>	< 2 $\mu\text{m}$	Bacterias libres
<b>Nanoplancton</b>	2–20 $\mu\text{m}$	Hongos, flagelados, diatomeas
<b>Microplancton</b>	20–200 $\mu\text{m}$	La mayoría de las especies fitoplanctónicas, foraminíferos, ciliados, rotíferos, nauplios de copépodos.
<b>Mesoplancton</b>	200 $\mu\text{m}$ –2 mm	Cladóceros, copépodos, larváceos
<b>Macroplancton</b>	2–20 mm	Pterópodos, copépodos, eufáusidos, quetognatos
<b>Micronecton</b>	20–200 mm	Cefalópodos, myctófidios
<b>Megaloplancton</b>	> 20 mm	Sifozoos y taliáceos

(Omori e Ikeda, 1992).

Una de las primeras clasificaciones de acuerdo al tamaño (Schütt, 1892), tenía tres categorías: micro, meso y macrozooplancton. Esta clasificación se ha modificado varias veces (Tabla 2), la última revisión (Sieburth *et al.*, 1978), es la más aceptada (Harris, 2000).

**Tabla 2.** Espectros de talla de diferentes compartimentos plancticos, incluyendo intervalo de talla del necton.



(Sieburth *et al.*, 1978, modificado por Lenz, 2000).

### 1.2 Importancia Ecológica

El zooplancton tiene una importancia fundamental para el conocimiento de los mares. Su distribución y abundancia incluye varias comunidades y hábitats, por lo cual constituye un eslabón vital entre los productores primarios y los peces. Razón por la cuál el estudio del zooplancton resulta indispensable para comprender el equilibrio y las variaciones de las poblaciones y comunidades marinas (Plymouth, 1979).

La fracción más abundante del zooplancton está compuesta por consumidores primarios. La mayor parte de los organismos zooplanctónicos son nadadores activos, aunque son desplazados por las corrientes. Debido a

esta característica, el zooplancton interactúa con los diversos procesos físicos alterando su patrón de distribución y biomasa tanto en escala temporal como espacial (Gasca *et al.*, 1996).

Un tema central en ecología marina es el grado en el cuál los ecosistemas marinos son controlados por procesos de flujo de energía del nivel más bajo de la cadena trófica hasta el más alto y viceversa (Verity y Smetacek, 1996). En otras palabras, factores oceanográficos, físicos y climáticos, como son los movimientos de las masas de agua, las corrientes, la temperatura, la salinidad, la depredación y la competencia, entre otros (Riley y Chester, 1989), afectan el nivel y duración de la producción primaria fitoplanctónica. Lo cual influye directa e indirectamente en el zooplancton, en los peces y en otros depredadores. El funcionamiento de las redes tróficas depende del balance entre el ascenso de energía desde el nivel más bajo y el descenso de energía en el nivel más alto. El ascenso de energía del fondo es la fuente de control del recurso (Harris, 2000).

El papel ecológico de los organismos se determina ampliamente por su posición y significado en la red trófica. En los organismos zooplanctónicos, son características decisivas el tamaño del cuerpo, el espectro alimenticio y el tipo de alimentación. Debido a estas características, el zooplancton ocupa una posición clave en la red trófica pelágica como transmisor de energía orgánica producida por algas fotosíntesis a altos niveles tróficos (Lenz, 2000).

Desde la década de los 70's, Wickstead (1979) se ha reconocido la importancia de estudiar el plancton como entidad dinámica. Ninguna población es estática y la del zooplancton es muy fluctuante, tanto a corto como a largo plazo. Cualquier alteración de los factores que rodean a una población producirá, de alguna manera, un cambio en ella. Es por ello que gran parte de las investigaciones realizadas tienen por objeto descubrir de qué modo los cambios en los diversos factores ambientales afectan al zooplancton y qué cambios se esperarían en él como consecuencia.

## ANTECEDENTES

### 2.1 Métodos para determinar Biomasa Zooplanctónica

Debido al gran tamaño que pueden alcanzar algunos grupos, ecológicamente es importante evaluar su biomasa y no sólo su número, ya que de ella depende su papel en la dinámica del ecosistema (Gasca y Suárez, 1991). Además, el análisis de la biomasa zooplanctónica tiene una considerable importancia como parámetro indicativo de la productividad secundaria de las comunidades acuáticas (Boltovskoy, 1981). De este parámetro se obtiene información general acerca del comportamiento de la abundancia y distribución del conjunto de elementos zooplanctónicos (Espinosa, 2004).

Desde los primeros días de la investigación planctónica, estimar la abundancia de organismos planctónicos ha sido uno de los problemas cruciales. Sin embargo, los métodos utilizados todavía no llegan a alcanzar la exactitud deseada (UNESCO, 1968).

Una de las primeras herramientas que permitieron muestrear zooplancton fue el uso de redes pequeñas con malla fina (Fraser, 1968). Incluso Darwin a bordo del Beagle utilizó redes para muestrear zooplancton (Darwin, 1857). Aunque los métodos para determinar la biomasa del zooplancton han estado evolucionando, en la actualidad se siguen utilizando redes y todavía constituyen el método más utilizado para efectuar estudios zooplanctónicos, ya sea de tipo cualitativo y cuantitativo. No obstante, presentan inconvenientes. Ejemplos de ello son la variación en el tamaño de malla de la red, obstrucción de la red (UNESCO, 1979; Omori, 1984), a pesar de contar con flujómetros el cálculo puede resultar erróneo al no considerar el flujo vertical (Burd y Thomson, 1993), la información que proporcionan es limitada al realizar muestreos muy puntuales que pretenden integrar grandes áreas horizontales (Ashjian *et al.*, 1994). Además de que representan un alto



costo y se toma sólo un pequeño número de muestras, que generalmente requieren mucho tiempo para obtenerse y procesarse (Wiebe, 1975; 1988).

A partir de las muestras obtenidas mediante redes se estima la biomasa zooplanctónica por diferentes métodos:

a) Método gravimétrico. Determina el peso o masa de los organismos, el cual puede ser peso húmedo, peso seco y peso seco libre de cenizas. El primero proporciona una medida total del peso o masa de los organismos de la muestra, incluyendo sus constituyentes orgánicos e inorgánicos; así como, su contenido normal de agua. El peso seco permite estimar la cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos, una vez eliminado el contenido de agua. El peso seco libre de cenizas proporciona una medida del contenido orgánico libre de agua y materiales inorgánicos.

b) Método volumétrico. Consiste en la determinación del volumen desplazado por el plancton, incluyendo el agua ambiental y estructural.

c) Métodos químicos y bioquímicos. Se hace un análisis para determinar el contenido de carbono, nitrógeno y fósforo y la cantidad y proporción de componentes bioquímicos como proteínas, lípidos, carbohidratos, ARN y ATP.

Dentro de estos métodos el gravimétrico y el volumétrico siguen el principio de eliminar el agua intersticial. Aun así, la cantidad de agua que puede quedar entre los organismos del plancton es considerable; por lo cual, la biomasa tiende a sobrestimarse. El método químico proporciona datos mucho más precisos; sin embargo, es más costoso (Gasca *et al.*, 1996).

### **2.1.1 Métodos Acústicos**

Después de la Segunda Guerra Mundial, la tecnología militar aportó herramientas que permitieron desarrollar la investigación oceanográfica (Cifuentes, *et al.*, 1987) Uno de estos avances se ha dado en el dominio de la hidroacústica, el cual se basa en la percepción remota mediante el sonido,

debido a la propiedad que éste tiene de viajar grandes distancias con poca atenuación en el océano (Galarza, 1998; Gómez *et al.*, 1998; Boltovskoy, 1981; Batchelder, 1995; Buchholz, 1995; Ashjan, 1994, Zhou, 1994, Flagg y Smith, 1994; ).

Los métodos acústicos han tenido una significativa pero breve y limitada aplicación en la historia de la investigación zoopláctica (Foote y Stanton, 2000). La metodología desarrollada en el uso de la acústica para estudiar zooplancton tiene sus raíces en la acústica de pesquerías. Como aplicación en la investigación pesquera, la acústica puede ser utilizada para proporcionar información rápida de la distribución de organismos, ya sean peces o zooplancton (Bearsdley, 1996; Griffiths, 1996; Lebourges, 1998; Jiangang, 1998; Coutis, 1999; Zimmerman y Biggs, 1999; Luo, 2000; Ressler, 2002; Lynn, 2003; Edvarsen, 2003; Fielding, 2004)

La mayor diferencia entre investigaciones relacionadas con peces y zooplancton, es el hecho que los peces son relativamente similares como blancos acústicos. Por el contrario, las agregaciones de zooplancton contienen típicamente un número de especies con amplias diferencias en sus propiedades acústicas, que varían con cada especie y talla (Foote y Stanton, 2000), particularmente en los mares tropicales.

Esta diferencia ha manejado la evolución de la metodología acústica para la investigación zooplanctónica. El pilar de esta evolución ha sido el desarrollo de (1) ecosondas multifrecuenciales cubriendo un amplio rango de frecuencias, (2) métodos de inversión matemáticos para inferir parámetros biológicos a partir de datos de multifrecuencias y (3) el avance de modelos de blancos acústicos que incorporan la mayoría de las características anatómicas de organismos zooplanctonicos (Foote y Stanton, 2000).

Desde 1970 se ha utilizado la acústica para investigar patrones de distribución y abundancia del zooplancton, aunque al principio su uso no fue muy difundido (Heywood, 1991, Boyton, *et al.*; 1991); debido a la relativa novedad y complejidad (Foote y Stanton, 2000) de esta herramienta de

muestreo, el procesamiento y análisis de datos resultaba complicado, ocasionando que este método fuera costoso y difícil de llevar a cabo. Además, los datos acústicos que se obtenían excluían análisis de interés ecológico (Vera, 2007; Kirsh *et al.*, 2000; Mac Lennan y Simmonds, 1992; Fragg y Smith, 1989; Greenlaw, 1979; Holliday, 1977).

Al desarrollarse la tecnología de métodos acústicos para la investigación zooplanctica, se ha facilitado la obtención de biomasa y se ha disminuido el costo del muestreo, proporcionando datos más precisos, con mayor resolución, en tiempos menores, además de presentar la ventaja de tratarse de métodos no invasivos. Estas ventajas que ofrece la acústica, con respecto a los métodos tradicionales, radican en que se puede obtener una rápida y amplia cobertura de la zona. Razón por la cuál, el muestreo acústico puede utilizarse como elemento único (Fielding *et al.*, 2004) o en conjunto con muestreos directos de redes y bombas (Mójica, 2003; Galarza, 1998; Foote y Stanton, 2000).

#### **2.1.1.1 El Perfilador Acústico Doppler de Corrientes (ADCP)**

La determinación del corrimiento de la frecuencia de la onda acústica, generalmente conocida como efecto Doppler (Flagg y Smith, 1989), ha permitido un sinnúmero de aplicaciones en la ciencia (Sánchez, 1998).

El perfilador acústico de corrientes Doppler (ADCP, por las siglas en inglés de Acoustic Doppler Current Profiler) es un instrumento diseñado para determinar la velocidad de corrientes a múltiples profundidades a través de la columna de agua. El proceso consiste en emitir pulsos cortos de sonido de una frecuencia conocida y cuantificar la frecuencia del eco reflejado por las partículas presentes en la columna de agua, asumiendo que son transportados pasivamente por las corrientes. El cambio de frecuencia entre el sonido transmitido y el reflejado depende del movimiento de las partículas reflejadas respecto a la fuente de sonido: partículas moviéndose hacia el ADCP producen ecos con una frecuencia más alta que la transmitida, mientras que el sonido

procedente de partículas alejándose de la fuente producen una frecuencia más baja (Brierley *et al.*, 1998).

Foote y Stanton (2000) definen al ADCP como una ecosonda con procesamiento de señal para cuantificar el efecto Doppler en ecos recibidos a través de la columna de agua. El eco típicamente representa la forma o volumen del fondo o superficie donde se impacta el pulso acústico emitido. El sistema típico de un ADCP tiene 4 transductores, los cuales proporcionan medidas independientes de velocidad y se combinan para formar una estimación más robusta.

A fines de la década de los 70's se fabricó en el Instituto de Investigación Oceanográfica Scripps de la Universidad de California en San Diego, el primer perfilador acústico basado en el efecto Doppler (Salas de León, com. pers., 2007). Durante la década de los 80's el ADCP abrió amplias posibilidades de utilizar la acústica en ecología marina. Este tipo de perfiladores brinda la posibilidad de estudiar al zooplancton de una forma diferente al generar datos biológicos y físicos simultáneamente, proporcionando una buena estimación de su abundancia y de cómo interactúan entre sí las estructuras físicas y biológicas (Flagg y Smith, 1989).

Sin embargo, generalmente el ADCP es utilizado para evaluar y cuantificar corrientes, ámbito para el que fue diseñado y en el que se ha revelado altamente efectivo (Pershing, 2001; Coutis, 1999).

Como ejemplo es posible mencionar a Díaz Flores (2001), quién comparó las corrientes obtenidas con ADCP en la Bahía de Campeche con la circulación calculada geostroficamente, con imágenes de satélite de distribución de clorofila-a y con imágenes de altimetría; obteniendo buena concordancia en los patrones de distribución de cada uno de ellos. Otro ejemplo son Barth *et al.* (2005) quienes utilizaron un perfilador acústico Doppler para analizar las surgencias del norte de la Corriente de California con buenos resultados.

Posteriormente se ha combinado el estudio de las corrientes con algún otro interés científico, como es el caso de Porrello *et al.* (2005) quienes lo utilizaron para cuantificar corrientes marinas en estudios de perturbación de granjas piscícolas en el Mediterraneo; por otro lado, Aretxabaleta *et al.* (2005) examinaron la circulación inducida por las mareas en la región al sur de Georges Bank con el propósito de comprender mejor el transporte de larvas de peces.

En el ámbito biológico, los resultados de Demer (2000) con grandes cardúmenes de sardina en False Bay, Sudáfrica; confirmaron que el ADCP puede utilizarse exitosamente para registrar la conducta de los peces. Por su parte Tollefsen y Zedel (2003), reportan el uso exitoso de ADCP's en la cuantificación de la velocidad de los salmones en migración en el río Fraser, en Canada.

#### **2.1.1.2 El ADCP y la determinación de biomasa zooplanctónica**

El ADCP se ha utilizado con éxito en la determinación de biomasa zooplanctónica desde principios de la década de los 90's. Y se ha demostrado que puede proveer un rango de datos biológicos cualitativos y cuantitativos al mismo tiempo y escala espacial que los datos hidrográficos (Flagg y Smith, 1989; Roe *et al.*, 1996, Fielding *et al.*, 2004). Debido a que proporciona dicha biomasa e información de parámetros físicos simultáneamente, brinda una buena estimación, rápida y confiable, de la abundancia de biomasa zooplanctónica y su interacción con las corrientes (Flagg y Smith, 1989).

En estudios de distribución y abundancia de biomasa de zooplancton el ADCP se ha utilizado como herramienta principal junto con las redes de arrastre. Dentro de los trabajos realizados con ambos métodos se encuentran los de Flagg y Smith (1989), Lyons *et al.* (1994) y Zimmerman y Biggs (1999), entre otros. En todos ellos la correlación realizada entre la biomasa obtenida con redes y la intensidad del eco ha dado buenos resultados.

En muestreos realizados con redes de apertura múltiple tipo MOCNESS (Multiple Opening-Closing Net Environmental Sensig System) y ADCP's, destacan los trabajos de Luo (2000), quién realizó estudios comparativos en el Mar de Arabia. Ressler (2002) que relacionó los valores de biomasa zooplanctónica y micronectónica en el noreste del Golfo de México y Zhou *et al.* (2004) investigaron el crecimiento y mortalidad de mesozooplankton durante el otoño e invierno austral en Bahía Margarita. En todos ellos la correlación entre los valores obtenidos por la red MOCNESS y el ADCP ha proporcionado resultados excelentes.

El ADCP se ha utilizado como herramienta única con resultados exitosos. Ejemplo de ello es Sutor (2005), quién en Oregon, USA, utilizó el ADCP satisfactoriamente para estudiar los florecimientos planctónicos ocasionados por los sistemas de surgencia. Ressler y Jochens (2003) analizaron el impacto que tienen los giros ciclónicos en la producción planctónica. Basedow (2004) cuantificó el impacto que presenta el plancton de los fiordos árticos como consecuencia de los giros oceánicos.

Debido a la polémica que suscitó el uso de esta nueva herramienta, Fielding *et al.* (2004) realizaron un estudio para probar la validez biológica de los datos procedentes de ADCP y determinaron que los datos procedentes de un ADCP pueden ser utilizados para determinar biomasa zooplanctonica si se manejan adecuadamente.

Actualmente el uso de sistemas disponibles comercialmente, como el ADCP y la ecosonda multifrecuencia SIMRAD EK-500, para determinar biomasa zooplanctónica sin realizar muestreo biológico, se consideran rutinarios (Roe *et al.*, 1996; Brierley *et al.*, 1998; Fielding, *et al.*, 2001; Wade y Heywood, 2001; Fielding *et al.*, 2004). De la misma manera que los métodos tradicionales de muestreo con redes y técnicas ópticas, las evaluaciones acústicas son comúnmente reconocidas como una importante vía de estudio de zooplankton y micronecton (Greene y Wiebe, 1990; Greene *et al.*, 1998; Thomas y Kirsch, 2000), razón por la cual es común encontrar el término de biovolumen para referirse a la biomasa zooplanctónica total obtenida a partir de

datos de ADCP (Salas de León, com. pers.) y de otros sistemas acústicos (Tranter y Smith, 1968).

## 2.2 Zona de estudio

El golfo de México está situado en la zona subtropical entre los 18° y 30° N y los 82° y 98° O. Es una cuenca semi-cerrada que se comunica con el Océano Atlántico por el Estrecho de Florida y con el Mar Caribe por el Canal de Yucatán (Fig. 1). Presenta profundidades desde los 20 m en algunas regiones hasta los 3800 m en la región central. En la plataforma continental de Florida, la topografía es muy compleja a causa de las pequeñas islas y cayos. Por su parte, el Banco de Campeche tiene una plataforma continental ancha y un fondo con una pendiente muy débil. En la parte norte y noroeste de la península de Yucatán se encuentra una serie de cayos (Díaz Flores, 2004).

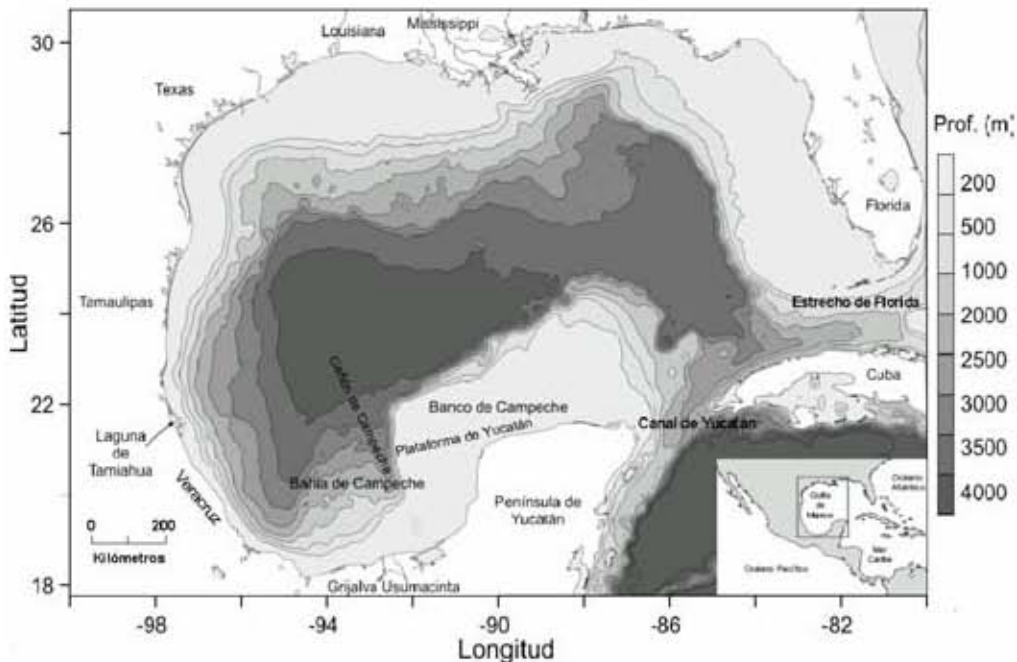


Fig. 1.- Ubicación y Batimetría (m) del Golfo de México.

La Bahía de Campeche está situada en el sur del Golfo de México entre los 18.1° y los 22° de latitud norte y entre los 90.5° y 97.4° de longitud oeste. La

bahía se caracteriza por tener una plataforma muy amplia en su parte oriental, y profundidades que superan los 2500 m en el centro.

El intercambio entre las masas de aire frío y seco que provienen del continente y las masas de aire propias del golfo de origen marítimo y tropical provocan fuertes frontogénesis, durante el invierno y principios de la primavera (Tápanes y González-Coya, 1980). Estos frentes atmosféricos son localmente llamados “nortes”. Durante el verano, esta región es afectada por tormentas tropicales, de las cuales 60% alcanzan intensidades de huracán. El 80% de los huracanes se forman fuera del golfo, su centro se desplaza hacia la costa noroeste o hacia la Península de Florida (Gentry *et al.*, 1950).

Los vientos del norte afectan la circulación de la Bahía de Campeche provocando el hundimiento de la termoclina. Sin embargo, el frente halino del sistema Grijalva-Usumacinta persiste a pesar de la presencia de estos vientos (Alatorre *et al.*, 1987).

El clima en la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano y precipitación media anual de 1100 a 2000 mm (García Salgado, 2001). Los vientos tienen una dirección predominantemente este – sureste durante todo el año con velocidades de  $4 \text{ m s}^{-1}$ , excepto en los meses de noviembre a marzo, cuando predominan vientos con dirección norte – nornoroeste formados por masas de aire polar conocidos como “Nortes”, sus velocidades llegan a alcanzar de  $25$  a  $36 \text{ m s}^{-1}$  (Gutiérrez-Estrada, 1977). La precipitación tiene valores máximos en los meses de junio a octubre (temporada de lluvias) y valores mínimos en los meses de marzo a abril (temporada de secas). En los meses invernales, de noviembre a febrero (temporada de nortes) se presentan tormentas ocasionales (Gutiérrez y Castro, 1988).

Las temperaturas superficiales varían desde  $29^{\circ} \text{ C}$  (verano) hasta  $23^{\circ} \text{ C}$  (invierno) (Aldeco y Hernandez, 1988). La distribución de la temperatura en la superficie oscila entre estos valores sin diferencias estacionales marcadas (Villalobos y Zamora, 1975; Padilla Pilotze *et al.*, 1986). Existen aportes de



aguas continentales en general más frías, que establecen gradientes térmicos en la zona costera (Villalobos y Zamora, 1975; Czitrom Bauss *et al.*, 1986).

Masas de agua con bajas salinidades llegan al Banco de Campeche en primavera y verano desde el noreste con la Corriente de Yucatán (Bogdanov, 1969), lo cuál origina que la variación de los valores de salinidad sea más intensa que la de la temperatura.

Las aguas que penetran al golfo provienen principalmente de las corrientes Surecuatorial y Norecuatorial del Océano Atlántico, las cuales pasan a través del Mar Caribe, continúan por el Canal de Yucatán y luego se dividen en tres vertientes. La mayor parte de esta corriente va al Estrecho de Florida, otra parte menor va hacia la desembocadura del Misisipi y una tercera parte baja hacia la Bahía de Campeche y por lo tanto a la parte más sureña del Golfo de México (Leipper, 1970; Vázquez de la Cerda, 1974; Cooper *et al.*, 1990). Esta zona recibe gran aporte de aguas continentales de los ríos más caudalosos que posee México. El ciclo anual de descargas de los ríos al Golfo de México se puede describir de la siguiente manera: de febrero a marzo la descarga de los ríos es escasa, entre julio y agosto se encuentra la mayor descarga y de noviembre a diciembre se considera una descarga media (Fogg, 1980; Flores *et al.*, 1988).

El esfuerzo rotacional del viento, la geometría del golfo y la Corriente de Lazo, provocan que en el Golfo de México existan zonas de giros ciclónicos (que inducen el ascenso de agua) y giros anticiclónicos (que inducen el descenso de agua). En áreas de divergencia oceánica (giros ciclónicos), la temperatura disminuye y el contenido de nutrimentos es mayor, dichas zonas son consideradas las más productivas de la plataforma continental del golfo (Gordon, 1967; Bessonov *et al.*, 1971). Específicamente del lado occidental de la Plataforma de Yucatán se han observado zonas de giros ciclónicos que permiten el surgimiento y reciclamiento en la superficie de aguas profundas, con gran cantidad de nutrientes (Fogg, 1980).

Las características de las masas de agua del golfo fueron analizadas por Nowlin (1972), quien estableció la existencia de varias capas o masas de agua. La capa superficial es conocida como capa de mezcla y ocupa los primeros 0 a 150 m.

Esta capa es considerada la de mayor variabilidad en sus características biológicas, físicas y químicas, por fenómenos climáticos atmosféricos (principalmente vientos), por el flujo de diversas corrientes y por los demás parámetros fisicoquímicos (Alba, 2001).

La Bahía de Campeche tiene una extensa frontera abierta con el resto del golfo, lo cual da una fuerte continuidad a los procesos hidrodinámicos entre ambas regiones, razón por la cuál las condiciones hidrodinámicas de la bahía se ven fuertemente influenciadas por lo que sucede en el resto del golfo (Díaz Flores, 2004).

El principal mecanismo de forzamiento de la circulación en el Golfo de México es el transporte asociado al flujo que entra a través del Canal de Yucatán y que sale por el Estrecho de Florida; de tal manera que la dinámica del golfo esta condicionada tanto por el viento, como por el transporte de masa que entra y sale del Golfo por estas fronteras abiertas.

La circulación en el Golfo de México está dominada por dos características semi-permanentes: la Corriente de Lazo y un gran giro anticiclónico, los cuales se sitúan en las partes oriental y occidental del Golfo, respectivamente (Behringer *et al.*, 1977). La Corriente de Lazo se presenta en las vecindades de las fronteras abiertas y el giro anticiclónico se desprende de dicha corriente y se traslada hacia el oeste del golfo como una onda de Rossby.

Los giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente de Lazo representan el mecanismo fundamental de transporte de energía de la región oriental hacia la occidental (Monreal Gómez y Salas de León, 1997), pues juegan un papel muy importante en el balance de sal y calor en el interior del

golfo. El desprendimiento de estos giros se asocia a la variación cuasi-anual del transporte de masa a través de las fronteras abiertas (Molinari *et al.*, 1978), y a la intrusión de la Corriente de Lazo (Behringer *et al.*, 1977).

La variación espacio temporal de los valores de salinidad es mayor que la de temperatura. Al sur del Golfo de México llegan aguas de baja salinidad en primavera y verano desde el noreste con la corriente de Yucatán (Bogdanov, 1969). La zona costera adyacente a la Laguna de Términos ha sido caracterizada como una región de alta evaporación (Czitrom *et al.*, 1986) y altamente dinámica con influencia de las condiciones hidrográficas costeras imperantes en el área, lo que provoca mezcla y turbulencia (Villalobos y Zamora, 1975).

La Bahía de Campeche presenta una circulación predominantemente ciclónica (Nowlin, 1972; Molinari *et al.*, 1978; Merrell y Morrison, 1989). Sin embargo, Monreal Gómez y Salas de León (1990), efectuaron la simulación de la circulación de la Bahía de Campeche mediante un modelo numérico hidrodinámico y concluyeron que esta región tiene características ciclónicas en su circulación de febrero a abril y de julio a diciembre; en el periodo de mayo a julio el giro desaparece y la circulación es en sentido este-oeste.

El aporte de aguas epicontinentales en las zonas neríticas induce la formación de frentes oceánicos con diferencias en la salinidad. En estas zonas la distribución espacial de la densidad está gobernada por la estructura halina la cual presenta un fuerte gradiente (Alatorre *et al.*, 1989). El frente termohalino principal en la Bahía de Campeche es formado por la descarga fluvial del sistema Grijalva- Usumacinta (Espinosa, 2004).

### **2.3 Patrones de circulación en verano de 1996**

Durante el crucero FIBAC – I, realizado en verano de 1996, (específicamente del 14 de agosto al 1° de septiembre), Díaz Flores (2004)

estudió los patrones de circulación en la Bahía de Campeche, utilizando un perfilador acústico Doppler de corrientes.

Debido a la importancia que tienen los patrones de circulación en la distribución de biomasa zooplanctónica, se mencionan a continuación los resultados obtenidos por Díaz (2004) en cada estrato de profundidad.

### **2.3.1 Circulación en la capa de 4 m de profundidad**

El patrón de la circulación en la capa de los 4 a los 20 m de profundidad (Figura 2), mostró dos giros ciclónicos, uno con su centro situado en  $20.27^{\circ}\text{N}$  y  $94.24^{\circ}\text{O}$ , con un diámetro aproximado de 280 km y velocidades de aproximadamente  $0.30\text{ m s}^{-1}$ , el otro giro es de menor diámetro, aproximadamente de 70 km, con centro en  $19.95^{\circ}\text{N}$  y  $95.6^{\circ}\text{O}$  con velocidades cercanas a los  $0.12\text{ m s}^{-1}$ . Este último, al parecer produjo una corriente al suroeste, hacia la costa, la cual al encontrar menor profundidad incrementó su magnitud alcanzando los  $0.20\text{ m s}^{-1}$ , una parte de esta corriente diverge hacia el norte con velocidades de  $0.11\text{ m s}^{-1}$  y otra hacia el sur con velocidades de  $0.27\text{ m s}^{-1}$ .

Por otro lado, se observó un giro anticiclónico con velocidades máximas de  $0.19\text{ m s}^{-1}$ , con centro en  $21.86^{\circ}\text{N}$  y  $94.09^{\circ}\text{O}$ , con un semieje mayor de 80 km. También se observó una corriente intensa hacia el norte sobre los  $97.5^{\circ}\text{O}$  desde el paralelo  $21^{\circ}\text{N}$  con velocidades máximas de  $0.43\text{ m s}^{-1}$ . Con menor intensidad se registró una corriente de este a oeste sobre los  $21.5^{\circ}\text{N}$ , desde los  $92.5^{\circ}\text{O}$  hasta unirse con la corriente que va hacia el norte en los  $96^{\circ}\text{O}$ ; su velocidad máxima es aproximadamente de  $0.30\text{ m s}^{-1}$ .

Una corriente con dirección noroeste desde los  $18.6^{\circ}\text{N}$  y los  $91.2^{\circ}\text{O}$  hasta los  $21^{\circ}\text{N}$  y  $92.3^{\circ}\text{O}$ , a partir de este punto se unió con la corriente con dirección al este, con velocidades que llegan a los  $0.17\text{ m s}^{-1}$ . Por último Díaz Flores (2004) registró una corriente que de oeste a este sobre los  $19^{\circ}\text{N}$  y una

corriente paralela al talud desde los 96° hasta los 92.5° O con velocidades máximas de 0.52 m s<sup>-1</sup>.

En general, el patrón de corrientes en esta capa mostró una circulación ciclónica en la región suroeste de la bahía y la porción sur del giro anticiclónico frente a la laguna de Tamiahua. El rasgo característico de la circulación en el Banco de Campeche es la corriente entrando hacia la bahía.

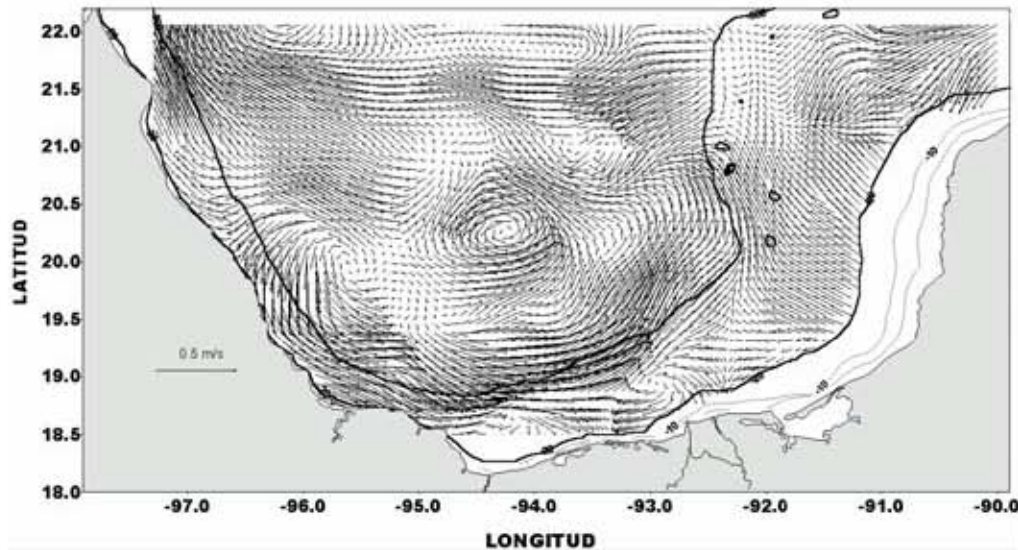


Figura 2. Patrón de circulación (m s<sup>-1</sup>) en la capa de 4 m de profundidad. (Tomado de Díaz Flores, 2004).

### 2.3.2 Circulación en la capa de 20 m de profundidad

En la capa de los 20 a los 36 m profundidad la circulación de la Bahía de Campeche presentó características muy similares a las de la circulación en la capa de 4 a 20 m; los dos giros ciclónicos, la corriente hacia el norte (que en esta capa tuvo menor intensidad en su parte sur, puesto que fue mas notoria la influencia del giro ciclónico en esa dirección), la corriente hacia el oeste, que fue mas uniforme; la corriente hacia el suroeste se presentó en una franja mas angosta debido a la batimetría, la corriente hacia el noroeste menos intensa y la corriente hacia el este muy intensificada, con mayor área de influencia en su parte norte (Figura 3).

Por otro lado, fue muy notoria la reducción del radio del giro ciclónico en su lado este. Se observó también, la corriente hacia la costa a lo largo del paralelo  $20.5^{\circ}$  N, mostrando una divergencia cercana a la costa. Un giro anticiclónico se empezó a desarrollar alrededor de  $19.7^{\circ}$  N y  $95.2^{\circ}$  O, el cual en la capa superior aparece como una zona de convergencia.

El centro del giro ciclónico de mayor intensidad, esta desplazado hacia el suroeste con respecto a su ubicación en la capa de 4 a 20 m. El giro ciclónico más pequeño que en esta capa tiene un diámetro mayor y velocidades de  $0.14 \text{ m s}^{-1}$  se ve desplazado hacia el norte.

El giro anticiclónico que se observó en la capa superior con centro en  $21.86^{\circ}$  N y  $94.09^{\circ}$  W, en esta profundidad se ha integrado a la porción sur del gran giro anticiclónico de la costa oeste del Golfo de México.

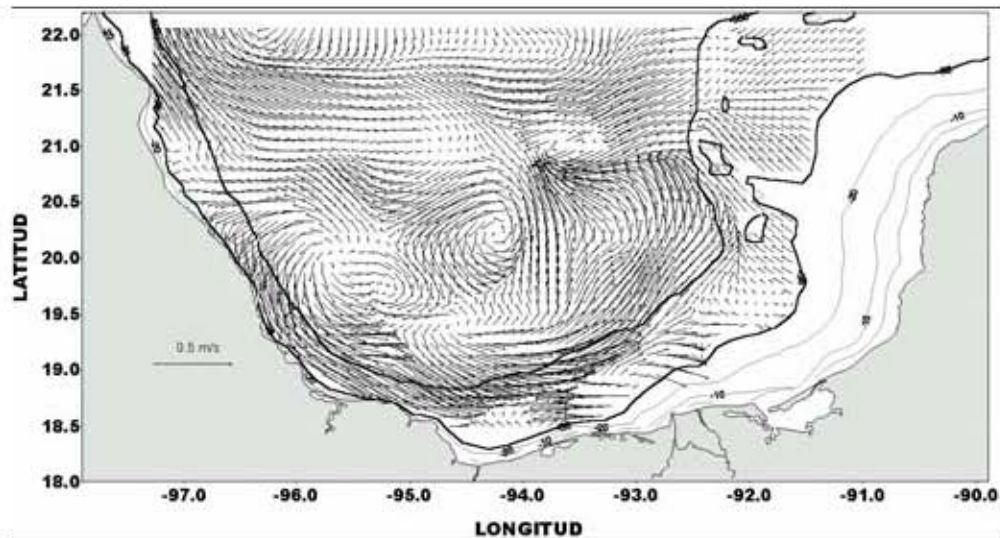


Figura. 3. Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 20 m de profundidad (Tomado de Díaz Flores, 2004).

### 2.3.3 Circulación en la capa de 36 m de profundidad

Entre los 36 y los 52 m de profundidad, en la zona donde en las capas superiores se encontraban los dos giros ciclónicos, se distinguió un giro ciclónico, una zona de convergencia y otra de divergencia (Figura 4). El giro ciclónico de menor diámetro en esta capa se había desplazado hacia el suroeste, debido a que la corriente hacia el noreste en las capas superiores ocupaba una franja mas angosta en su parte norte, donde se unió con la corriente hacia el oeste. La corriente que se origina por la divergencia a la altura de  $20.5^{\circ}$  N se unió a la corriente hacia el norte, frente a Tamaulipas.

La figura 4 muestra la circulación en un área menor, debido a que esta capa llegó hasta los 52 m de profundidad y a que la plataforma al oeste de Yucatán es somera. Esta disminución de área continúa en las capas más profundas, dependiendo de la batimetría. La corriente hacia el este en la parte mas al sur del golfo, paralela al talud desde el paralelo  $19.5^{\circ}$  N, ahora tiene una tendencia hacia el norte y se une en su parte mas al oeste con la corriente hacia el sureste que se originaba al parecer por la divergencia costera debida al giro ciclónico mas cercano al talud en las costas de Veracruz.

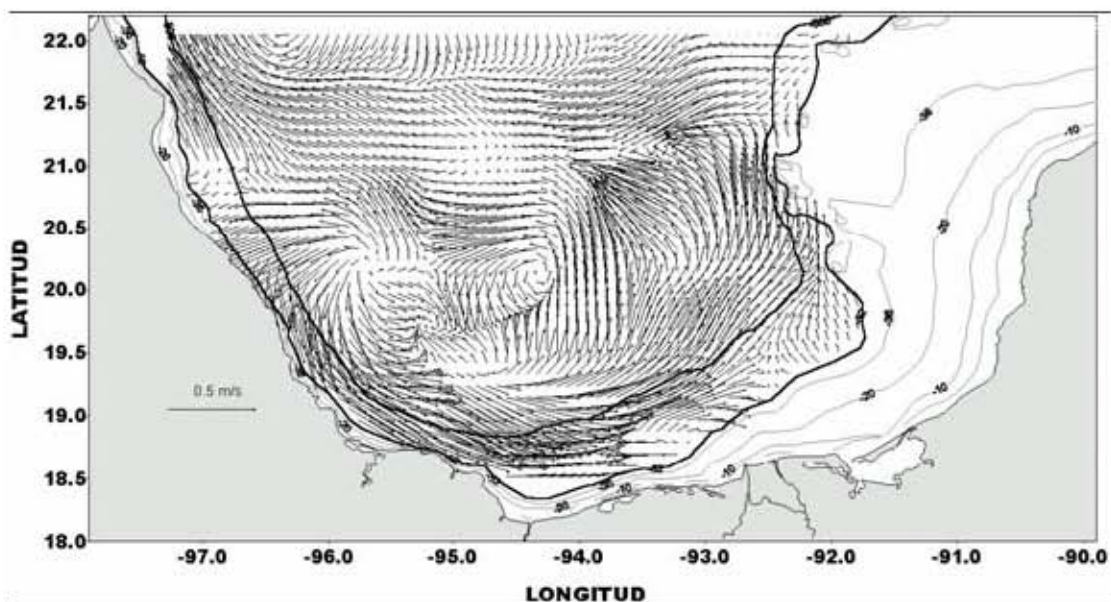


Figura 4. Patrón de circulación ( $m s^{-1}$ ) en la capa de 36 m de profundidad (Tomado de Díaz Flores, 2004).

### 2.3.4 Circulación en la capa de 52 m de profundidad

En esta capa las características de la circulación son muy similares a las que se presentaron en las capas superiores; una circulación ciclónica que engloba dos giros pequeños (Figura 5). La corriente costera hacia el este, paralela al talud continental en la parte sur del golfo y la circulación anticiclónica en la región noroccidental de la bahía, que forma parte del gran giro anticiclónico. La corriente en la parte noreste de la bahía, en donde se alcanzan profundidades de al menos 68 m se unió con la corriente al norte del gran giro ciclónico, para formar parte de la corriente hacia el oeste y de la porción sur del giro anticiclónico frente a Tamaulipas.

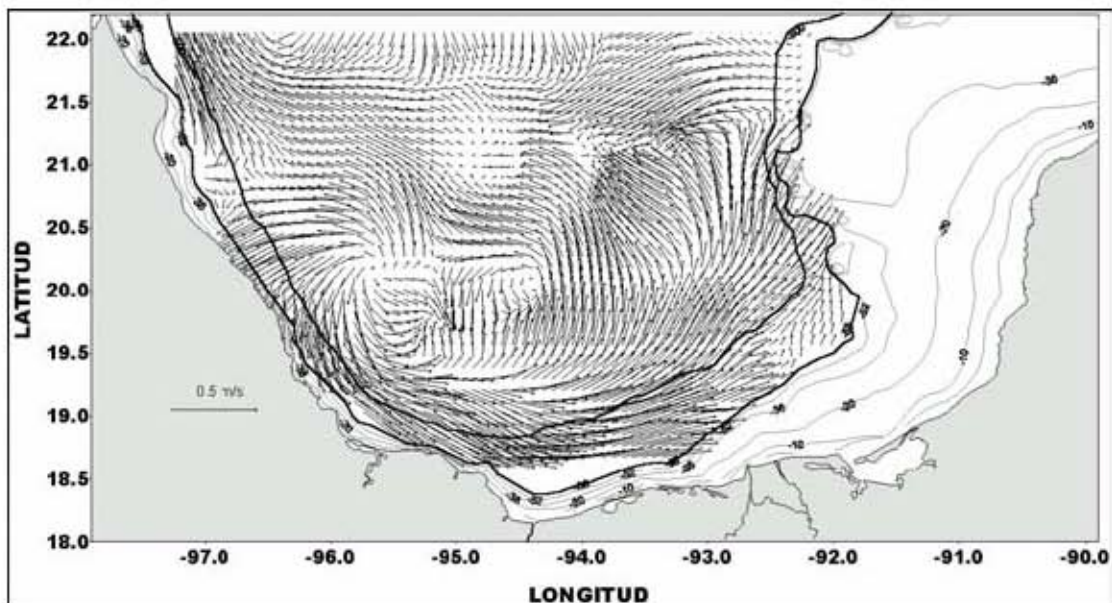


Figura 5. Patrón de circulación ( $m s^{-1}$ ) en la capa de 52 m de profundidad. (Tomado de Díaz Flores, 2004).

### 2.3.5 Circulación en la capa de 68 m de profundidad

En este nivel los rasgos de la circulación fueron muy similares, excepto que en la región suroeste dentro del giro ciclónico se presentó una zona de convergencia este oeste que al unirse divergieron en dirección norte-sur (Figura 6).



En la parte norte de la bahía la circulación se presentó más uniforme que en las otras capas, con dirección hacia el oeste y una fuerte componente sur en la región central, dando forma a la porción sur del anticiclón.

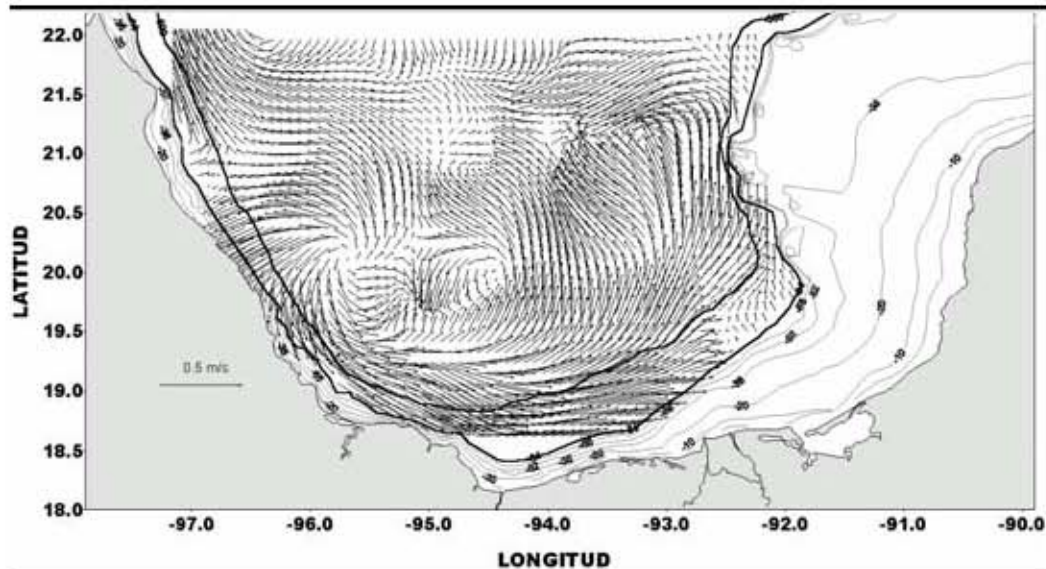


Figura 6. Patrón de circulación ( $m s^{-1}$ ) en la capa de 68 m de profundidad. (Tomado de Díaz Flores, 2004).

### 2.3.6 Circulación en la capa de 84 m de profundidad

En esta capa el giro ciclónico abarcó la parte sur de la bahía, en el suroeste se observó una zona de convergencia (Figura 7), que indica en principio hundimiento de masa.

La región norte es muy similar a la capa inmediata superior, dibujando la sección sur del giro anticiclónico. Comparativamente, entre capas se observó que el centro del giro se desplazó hacia el suroeste conforme aumentó la profundidad. Existe una zona de divergencia a la altura de  $20.6^{\circ}$  N, donde la corriente se divide hacia el norte y hacia el sur. La corriente en la frontera oeste de la porción noroeste de la bahía presentó velocidades máximas de  $0.29 m s^{-1}$ . La corriente con dirección hacia el oeste se encontró atenuada con respecto a los niveles superiores.

La velocidad en esta capa fue notablemente menor que en las capas superiores, y presentó un patrón de corrientes más uniforme.

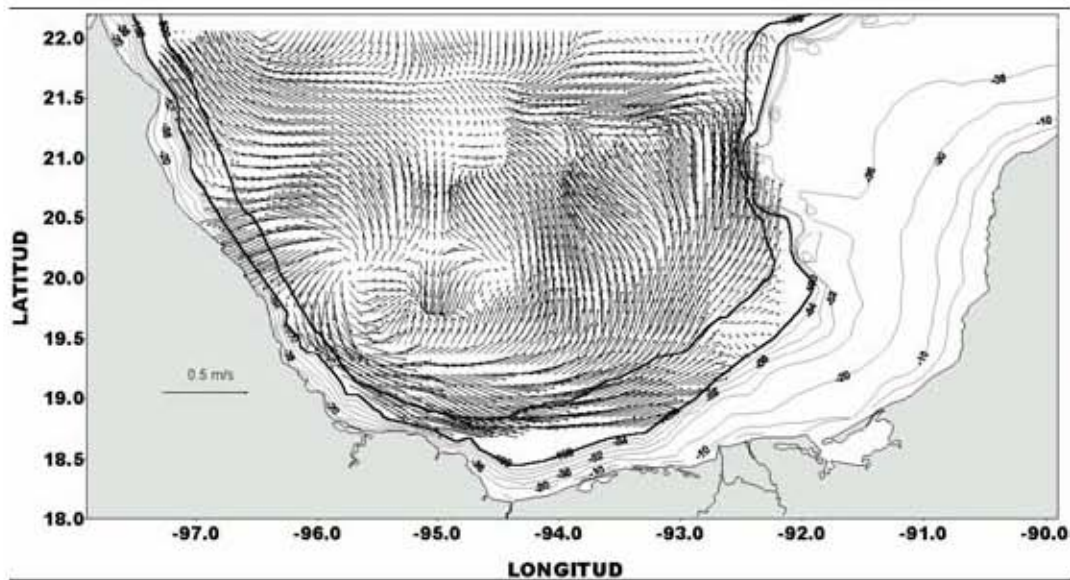


Figura 7. Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 84 m de profundidad. (Tomado de Díaz Flores, 2004).

### 2.3.7 Circulación en la capa de 100 m de profundidad

En esta capa se observó un giro ciclónico de mayor diámetro que el observado en las capas superiores, con velocidades máximas de  $0.37 \text{ m s}^{-1}$  (Figura 8), en su interior se presentaron núcleos de convergencia y divergencia. La corriente con dirección noroeste en este nivel se observó con mayor extensión que en capas descritas anteriormente abarcando desde los  $20.9^\circ$  y  $22.5^\circ \text{N}$  y desde los  $96.4^\circ$  hasta los  $97.02^\circ \text{O}$  con velocidades de  $0.28 \text{ m s}^{-1}$ .

Al norte de la corriente que tiene su dirección hacia el oeste entre los  $93.8^\circ$  y  $96.4^\circ \text{O}$  desde los  $21.5^\circ$  hasta los  $22.05^\circ \text{N}$ , se observó una corriente más homogénea en el nivel anterior, mientras que en este nivel se dividió en tres partes; entre los  $93.8^\circ$  y  $94.7^\circ \text{O}$ , la corriente tuvo dirección hacia el sur, de los  $94.7^\circ$  hasta los  $95.5^\circ \text{O}$ , la dirección de la corriente es hacia el sureste y de los  $95.5^\circ$  hasta los  $96.4^\circ \text{O}$  tuvo dirección hacia el suroeste.

Desde los 19.8° N y 96.2° O, la corriente diverge hacia el sur para después continuar con trayectoria paralela al talud, hasta llegar al sureste del Cañón de Campeche en los 20.1° N con 92.25° O que es donde el cambio longitudinal del perfil batimétrico es muy drástico, razón por la cuál la corriente ya no siguió una trayectoria paralela al talud. Por conservación de la inercia desde los 20.1° a los 21.12° N y entre los 92.25° a los 92.5° O, la corriente tuvo una trayectoria diagonal al talud y su dirección siguió siendo hacia el noreste en las cercanías al talud. Entre estas latitudes conforme se separa del talud, la corriente se intensifica y tiene tendencia hacia el noroeste, con velocidades máximas de 0.36 m s<sup>-1</sup> y una anchura cercana a los 220 km. En la parte mas al sur su dirección fue al este y tuvo velocidades máximas de 0.3 m s<sup>-1</sup>. Entre los 19.26° y los 20.05° N desde los 92.15° y hasta los 92.7° O se pudo observar una corriente poco intensa con tendencia principal en dirección sur. En esta capa como en las descritas anteriormente fue notoria la relación existente entre la batimetría y la circulación.

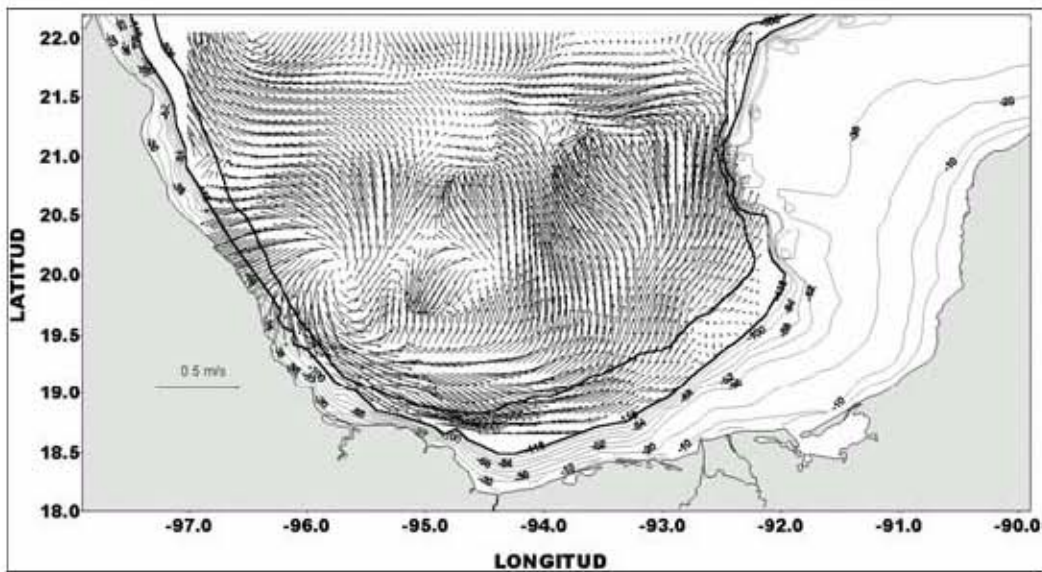


Figura 8.- Patrón de circulación (m s<sup>-1</sup>) en la capa de 100 m de profundidad. (Tomado de Díaz Flores, 2004).

Debido a que a partir de esta profundidad la variación vertical del patrón de velocidad es muy pequeña, Díaz (2004) describió los patrones de corrientes cada 50 m aproximadamente.

### 2.3.8 Circulación en la capa de 148 m de profundidad

En este nivel el patrón de circulación fue muy similar al de la capa entre 100 y 116 m, sólo que en este caso el giro ciclónico tuvo un diámetro mayor (Figura 9), con velocidades máximas de  $0.29 \text{ m s}^{-1}$ , su periferia al norte esta asociada a un giro anticiclónico un poco mas definido, en las capas superiores este tiene su centro mas hacia el norte, por ello sólo se observó en esas capas una fuerte corriente hacia el noroeste frente al talud de la costa sur de Tamaulipas.

Entre la corriente hacia el noroeste y el giro ciclónico, se observó una pequeña corriente entre los  $20.75^\circ$  y los  $21^\circ \text{ N}$  y desde los  $96.92^\circ$  hasta los  $96.68^\circ \text{ O}$  con dirección hacia el noreste, con velocidades máximas de  $0.12 \text{ m s}^{-1}$ . Al parecer esta corriente se origina por el choque de la corriente del giro ciclónico con el talud.

La corriente hacia el oeste ya no fue tan homogénea ni tan intensa como en las capas superiores; en este nivel se encontró hacia el norte entre los  $21^\circ$  y los  $21.9^\circ \text{ N}$ , sus velocidades máximas son de  $0.24 \text{ m s}^{-1}$ .

Desde los  $20.6^\circ \text{ N}$  y entre los  $93.6^\circ$  y  $96.4^\circ \text{ O}$  se observaron tres corrientes: dos con dirección suroeste y una con dirección sureste, el extremo al oeste fue el mas intenso ya que esta corriente es parte del giro anticiclónico, sus velocidades máximas son de  $0.18 \text{ m s}^{-1}$ . En esta capa el giro anticiclónico se encontró mejor definido.

En la región noreste de la bahía, se observó una zona donde se divide la corriente; al oeste la corriente forma parte del giro anticiclónico, mientras que en el este existió una corriente paralela al talud, dirigida hacia el norte con velocidades máximas de  $0.25 \text{ m s}^{-1}$ .

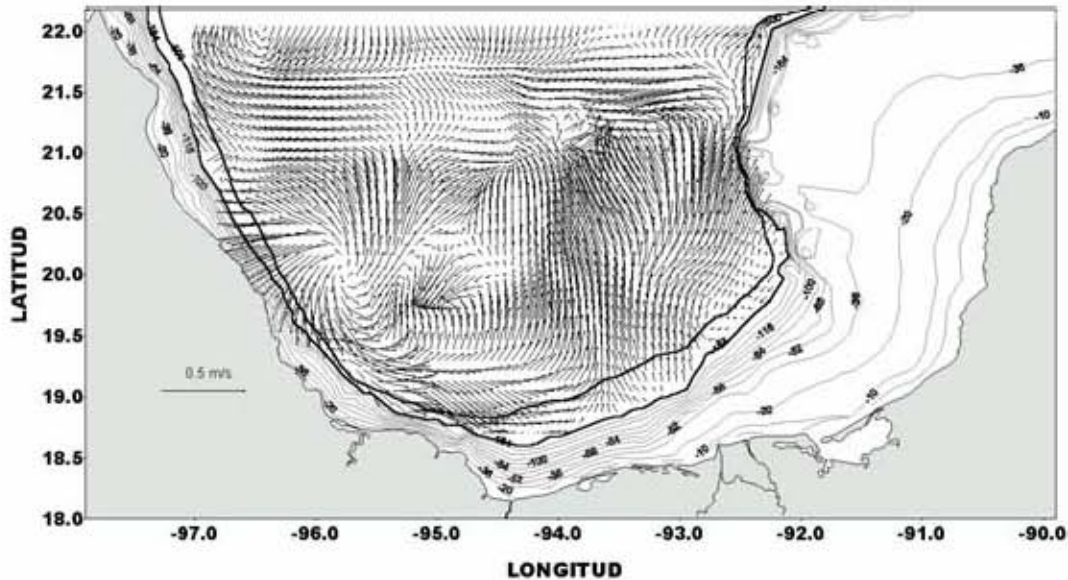


Figura 9. Patrón de circulación ( $m s^{-1}$ ) en la capa de 148 m de profundidad. (Tomado de Díaz Flores, 2004).

### 2.3.9 Circulación en la capa de 196 m de profundidad

El giro ciclónico en esta capa tuvo su centro desplazado hacia el norte con respecto a la capa inmediata superior. En la zona occidental de dicho giro las corrientes fueron perpendiculares a la costa de Veracruz con velocidades de  $0.31 m s^{-1}$  (Figura 10). Entre el giro ciclónico y el anticiclónico existió una gran zona de corrientes con la componente meridional casi nula.

Díaz (2004) observó un eje de convergencia desde la plataforma de Yucatán que se une con el giro anticiclónico al oeste; entre los paralelos  $21.67^{\circ} N$  y  $21.78^{\circ} N$  centrado entre los meridianos  $94.78^{\circ} O$  y  $95.22^{\circ} O$ , el cual dividió en dos partes la corriente con dirección oeste, la primera al oeste y la otra del lado este entre los paralelos  $21^{\circ} N$  y  $21.9^{\circ} N$  desde el meridiano  $92.57^{\circ} O$  al  $94.2^{\circ} O$ , y registró velocidades de  $0.23 m s^{-1}$ . Al suroeste de la parte oeste de esta corriente, entre los paralelos  $20.75^{\circ} N$  y  $21^{\circ} N$ , y desde el meridiano  $96.89^{\circ} O$  al  $96.66^{\circ} O$ , Díaz (2004) registró una corriente con dirección noreste que diverge del talud, al igual que la corriente con dirección noreste entre los paralelos  $19.02^{\circ} N$  y  $19.33^{\circ} N$  desde el meridiano  $95.8^{\circ} O$  al  $95.2^{\circ} O$ , las cuales

son resultado del choque de la corriente del giro ciclónico con el talud, siendo la corriente del sur la mas intensa, alcanzando velocidades de  $0.22 \text{ m s}^{-1}$ .

El giro anticiclónico en este nivel tuvo su centro desplazado hacia el norte con respecto a los nivel superiores, con velocidades máximas de  $0.18 \text{ m s}^{-1}$ . Al suroeste del giro anticiclónico y al oeste de la corriente con dirección oeste, Díaz (2004) observó una corriente con dirección noroeste con velocidades de  $0.17 \text{ m s}^{-1}$ , paralela al talud, esta corriente está asociada al giro anticiclónico. Al norte de la corriente con dirección hacia el oeste (en la parte este), hay un eje de divergencia, al norte del cual existe una corriente con dirección noroeste con velocidades máximas de  $0.22 \text{ m s}^{-1}$ . Al sur de la parte este de la corriente hacia el oeste, Díaz (2004) registró una intensa corriente con velocidades máximas de  $0.32 \text{ m s}^{-1}$ , con mayor tendencia en dirección norte. En la parte sur de esta corriente, sobre el meridiano  $93.69^\circ \text{ O}$  y desde el paralelo  $18.88^\circ \text{ N}$  al  $19.3^\circ \text{ N}$ , se registró la existencia de un eje de convergencia. Dentro de las características más importantes en esta capa destacó la formación de un giro anticiclónico de forma elíptica en el sureste de la bahía, próximo al cañón de Campeche. Así como la intensificación de la corriente en el talud al noroeste del cañón.

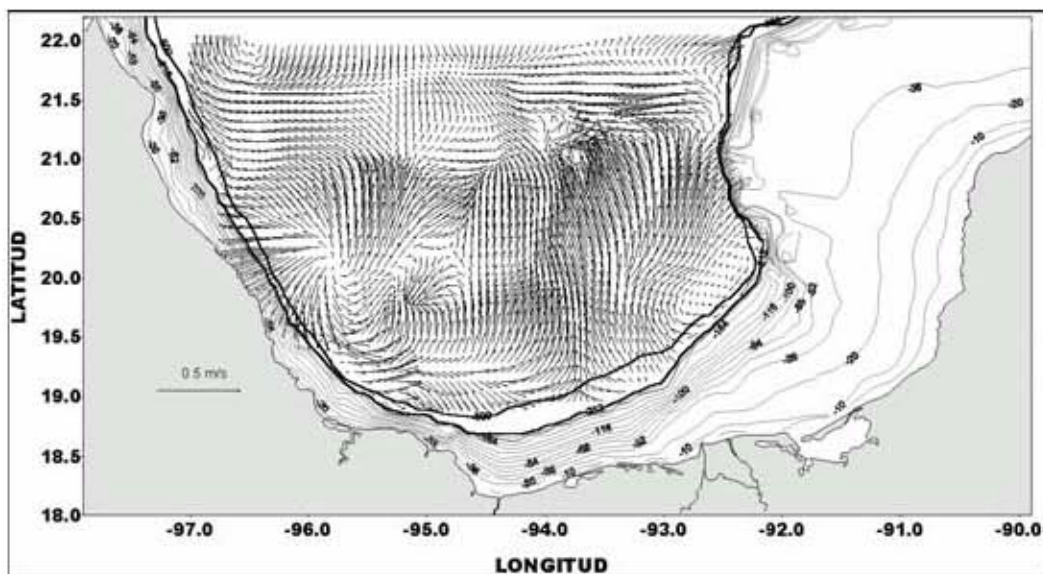


Figura 10. Patrón de circulación ( $\text{m s}^{-1}$ ) en la capa de 196 m de profundidad. (Tomado de Díaz Flores, 2004).

## 2.4 El zooplancton de la Bahía de Campeche

Debido al nicho ecológico que ocupan en el ecosistema, las comunidades de zooplancton de la Bahía de Campeche han sido divididas en zooplancton e ictioplancton. El ictioplancton por su parte se subdivide, según la zona fisiográfica en la que se encuentre en: nerítico, oceánico y fluvio lagunar (Flores, 1988; Flores y Ordóñez, 1989; Flores y Sánchez, 1989; Flores *et al.*, 1993; Flores y Gracia, 1993; Flores, 1994; Flores, 1999; Sanvicente-Añorve, *et al.*, 1998) comprendiendo especies pertenecientes a 90 familias y 16 ordenes (Flores-Coto, 1988). Los valores más altos de biomasa del zooplancton e ictioplancton tienden a registrarse en la zona nerítica y los más bajos en el talud continental y la zona oceánica. En la provincia nerítica las mayores concentraciones se encuentran en la proximidad del sistema Grijalva – Usumacinta.

Sanvicente-Añorve (1990) comenta la existencia de una variación anual en la biomasa zooplanctónica en el suroeste del Golfo de México, que presenta 2 núcleos de alta concentración en invierno ( $> 50 \text{ gr } 100 \text{ m}^{-3}$ ) localizados en la zona nerítica y decrecen conforme se aproxima a la Laguna de Términos.

En primavera se registran valores altos en aguas neríticas entre los 18 y 36 m y menores en el borde de la plataforma. Para verano se tienen los valores más altos de biomasa en aguas costeras frente a diferentes ríos dentro de los que destaca el sistema Grijalva – Usumacinta (Alba, 2001).

Dentro de los principales grupos zooplanctónicos reportados en la bahía se encuentran copépodos calanoides, que tienden a ser el grupo dominante, quetognatos, eufásidos, carideos, misidáceos, hidromedusas, salpas, pterópodos, sifonóforos, sergéstidos y larvas de crustáceos bentónicos, entre otros.

Para el Golfo de México, la mayoría de los trabajos existentes hacen referencia a la composición específica (Espinoza, 2004; Flores-Coto *et al.*, 1988 y 1993; Sanvicente- Añorve *et al.*, 1998), lo cuál es muy importante, ya

que continuamente se siguen registrando especies nuevas, por lo que el listado de especies es incompleto. Sin embargo en muy pocos se trata la cuantificación, la distribución o la conjunción de estos parámetros en relación con las características del hábitat (Alba, 2001).

La distribución de las comunidades está marcada por el régimen de circulación general de la bahía. La formación de un giro en la parte sureste da lugar a una ruptura en la comunidad nerítica y una distribución más homogénea de la comunidad de influencia fluvio – lagunar que se extiende desde el delta del Grijalva – Usumacinta hasta el este de la Laguna de Términos (Salas de León *et al.*, 1996). En primavera debido a la corriente que entra por el Canal de Yucatán, se presenta un desplazamiento de los frentes hacia el oeste y como consecuencia se tienen núcleos de mayor abundancia zooplanctónica e ictioplanctónica con el mismo patrón de distribución; por lo que la distribución de organismos se extiende hacia el oeste de la bahía.

En verano se observan las mayores abundancias frente a la desembocadura del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta. Durante el invierno es cuando se encuentra la menor abundancia de zooplancton en la pluma del Grijalva-Usumacinta. La mayor abundancia se observa en los bordes del giro ciclónico que comienza a formarse en verano, pero que para esta época se encuentra ya bien desarrollado y ubicado hacia el oeste de la Bahía (Salas de León *et al.*, 1996).



## OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo General

Determinar la distribución de la biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche durante el crucero FIBAC – I (14 de agosto al 1° de septiembre de 1996) utilizando un perfilador acústico Doppler y establecer la dependencia que tiene dicha distribución con la temperatura, la salinidad y la densidad relativa ( $\sigma_t$ ), durante este período de tiempo.

### 3.2 Objetivos Particulares

Determinar la distribución de la biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche.

Determinar la relación existente entre la biomasa zooplanctónica y la salinidad.

Determinar la relación que tiene la biomasa zooplanctónica con la temperatura.

Determinar la relación entre la biomasa zooplanctónica y la densidad relativa ( $\sigma_t$ ).

## MÉTODOS Y MATERIALES

La distribución de la biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche fue estimada a partir de datos de intensidad acústica absoluta obtenidos con un perfilador acústico Doppler (ADCP) de 75 KHz de la Compañía RD Instruments. El ADCP usado durante este estudio fue especialmente diseñado para fijarse en un buque y cuenta con 4 transductores los cuales tienen una inclinación en sus vértices de 30° con respecto a la vertical. El equipo tiene un solo amplificador de poder y 4 canales de recepción. El número de transductores que posee permite que cada uno de ellos cuantifique una componente de la velocidad y de la intensidad de eco por separado lo cual permite conocer la intensidad del eco a diferentes profundidades.

El ADCP fue diseñado originalmente para cuantificar la velocidad de las corrientes por medio del cambio de frecuencia en el sonido reflejado por una fuente en movimiento relativo entre un receptor y un objeto. Razón por la cuál, al no haberse diseñado para cuantificar la intensidad acústica absoluta del reflejo o eco, presenta el problema de calibración. Esta intensidad acústica absoluta (IAA) es el objetivo a cuantificar, ya que si se supone que cada eco es el producto del reflejo de la onda en cada organismo zooplanctónico, entonces al cuantificar el total de ecos tendremos el número total de organismos. O bien, al cuantificar la diferencia entre la intensidad de la onda emitida y la reflejada se conoce cuanto de ella a sido “rebotada” por los organismos y mediante una serie de transformaciones, se determina la biomasa zooplanctónica.

La fórmula (proporcionada por RD Instruments) para transformar desde la amplitud del eco de la señal acústica a intensidad acústica absoluta es la siguiente:

$$IAA = 10 \text{ Log}_{10} \left\{ \frac{\left[ 4.47 \times 10^{-20} K_2 K_s (T_x + 273) \left( 10^{\frac{K_c (E - E_r)}{10}} - 1 \right) R^2 \right]}{c P K_1 10^{\frac{-2\alpha R}{10}}} \right\}$$

Donde:

$IAA$  = Intensidad Acústica Absoluta (dB).

$K_2$  = factor de ruido del sistema

$K_s$  = constante del sistema

$T_x$  = temperatura real del transductor (°C)

$K_c$  = factor de conversión para la intensidad del eco (dB)

$E$  = intensidad del eco (conteo)

$E_r$  = ruido térmico electrónico de referencia del instrumento durante la calibración (conteo)

$R$  = direccionamiento del rango a la profundidad de la celda

$c$  = velocidad del sonido en cada celda ( $\text{m s}^{-1}$ )

$P$  = longitud del pulso transmitido (m)

$K_1$  = potencia real del sonido en el agua ( $\text{W m}^2$ )

$\alpha$  = coeficiente de absorción del agua ( $\text{dB m}^{-1}$ )

Los dos componentes fundamentales para la calibración de la  $IAA$  son:

- a) La estimación del nivel de ruido en los transductores del instrumento.
- b) La determinación de la atenuación de la señal acústica con la profundidad en la columna de agua.

La compañía RDI, fabricante del equipo utilizado, ofrece una explicación clara del nivel de ruido existente, ya que la intensidad acústica absoluta es sensible a la temperatura de los componentes electrónicos del ADCP.

Un aspecto importante del ADCP es la capacidad que tiene de ser programado para dividir el perfil de velocidades y de intensidades de reflejo en segmentos uniformes, que son denominados celdas, a través de la columna de

agua. Esto equivale a muestrear el zooplancton con redes verticales a profundidades regulares y uniformes a intervalos de segundos.

Para obtener la *IAA* se requiere considerar la variación de la velocidad del sonido en la vertical respecto a la variación de la densidad. Para esto fueron utilizados valores de la velocidad del sonido para las zonas costeras del sur del Golfo de México (Tabla 1), siguiendo el trabajo realizado por Ruíz-Rentería (1978).

**Tabla 3.** Velocidades de propagación del sonido en aguas costeras del sur del Golfo de México

Profundidad (m)	Velocidad del sonido ( $\text{m s}^{-1}$ )
100	1534.4
200	1526.2
300	1520.0
400	1514.9
500	1510.8
600	1507.4
700	1504.3
800	1502.4
900	1500.8
1000	1499.5
1100	1498.4
1200	1497.4
1300	1496.8
1400	1496.3
1500	1496.1

Ruíz Rentería (1978)

#### 4.1 Muestreo y trabajo de Campo

Los datos analizados en el presente estudio se obtuvieron durante la Campaña Oceanográfica denominada “Física de la Bahía de Campeche” (FIBAC), específicamente del crucero oceanográfico denominado “FIBAC I” realizado a bordo del Buque Oceanográfico “JUSTO SIERRA”, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, del 14 de agosto al 1 de septiembre de 1996.

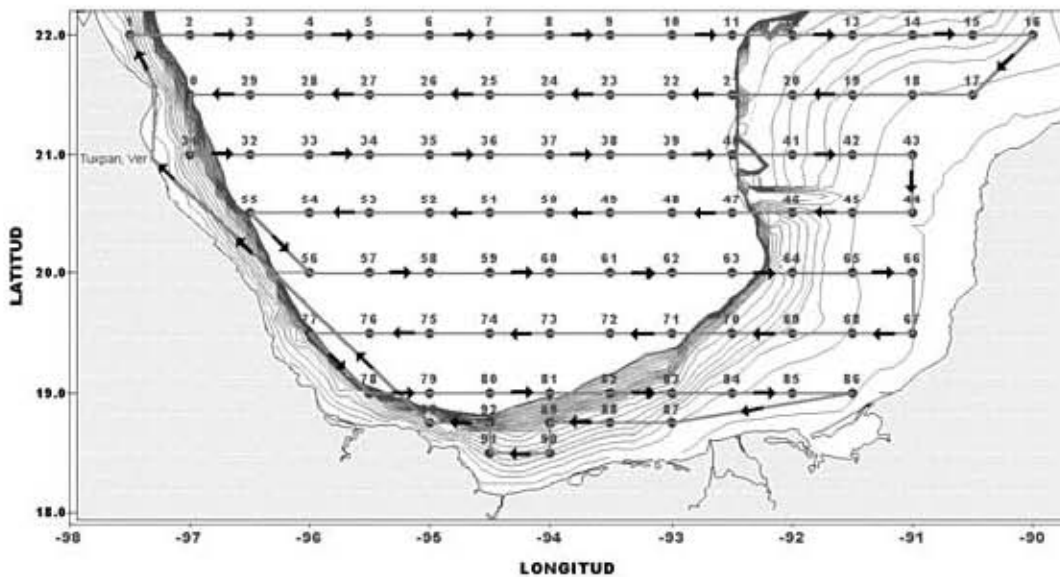


Figura 11. Distribución de estaciones hidrográficas y trayectoria del buque durante la campaña oceanográfica “FIBAC I”.

Durante el crucero oceanográfico “FIBAC I”, se obtuvieron muestras y datos en estaciones hidrográficas, así como durante la navegación continua del B/O “Justo Sierra” en la Bahía de Campeche (Figura 11).

A lo largo de este proyecto fue utilizado un ADCP, fabricado por la compañía RD Instruments, modelo RD – VM0075 Mark II, diseñado para instalación fija en buques, con una frecuencia de onda de sonido de 75 kHz, el cual emite 0.7 pulsos por segundo con 16 m de longitud de onda. Los cuatro primeros metros son considerados de incertidumbre por el ruido que genera el buque; razón por la cuál los datos son confiables después de los primeros 4 m.

El equipo es capaz de perfilar o medir hasta 2048 m de profundidad, con un mínimo de 8 celdas, un máximo de 128 celdas y una precisión en la intensidad acústica de  $\pm 3$  dB, una incertidumbre estadística de  $\pm 5$  dB, con un rango dinámico de 80 dB, con una resolución típica de 0.45 dB.

El ADCP se calibró de acuerdo al método sugerido por la compañía RDI (Technical Manual, 1992, Apéndice V) para poder eliminar el nivel de ruido térmico del aparato, posteriormente se programó para que los pulsos emitidos cada 0.7 de segundo se promediaran cada cinco minutos. Debido a la capacidad que tiene de dividir la columna de agua en capas de profundidad determinada, las celdas se fijaron a 16 m. Finalmente los datos fueron almacenados junto con la posición y la temperatura promedio de los transductores y del agua circundante a ellos.

#### **4.2 Procesamiento de datos y análisis estadístico**

El Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM desarrolló formulas para calcular la biomasa zooplanctónica a partir del eco de la intensidad acústica, para perfiladores de corriente (ADCP de la compañía RD Instrument) de 75 kHz, flujómetros acústicos (de la compañía UNIDATA) de 4 MHz y ADP de 600 kHz (marca SONTEK). Los coeficientes de calibración se obtuvieron al comparar resultados de biomasa zooplanctónica de muestras capturadas con redes, con intensidades de ecos medidos al mismo tiempo que se capturaron los organismos.

Durante las campañas oceanográficas también se tomaron datos con un perfilador de presión, temperatura y conductividad, CTD Mark IV por sus siglas en inglés (Conductivity, Temperature and Depth), modificado en su sensor de profundidad de acuerdo a las recomendaciones de WOCE. El CTD se programó para tomar un dato de temperatura, presión y conductividad cada 25 cm en la vertical. Con los datos obtenidos se calculó la salinidad y la densidad

relativa o sigma t ( $\sigma_t$ ) usando los polinomios propuestos por la UNESCO (Fofonov y Millar, 1977).

Los datos de temperatura, conductividad y presión fueron depurados eliminando aquellos que corresponden a ruido del instrumento y se procesaron para crear archivos con información a cada metro de profundidad.

Los datos proporcionados por el ADCP fueron convertidos de código binario a código ASCII para procesarse posteriormente y crear una matriz con datos de Control de ganancia Acústica (Acoustic Gain Control, AGC), tiempo, profundidad, número de celda y otros parámetros de control.

Esta matriz se procesó mediante un programa desarrollado en el Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM para obtener la intensidad acústica absoluta (*IAA*) utilizando la fórmula descrita anteriormente. Finalmente se generaron matrices con *IAA*, latitud, longitud, hora, fecha, profundidad, salinidad, temperatura y densidad relativa. Los datos, se procesaron estadísticamente para determinar la relación existente entre la distribución de la biomasa zooplanctonica con las variables abióticas.

El procesamiento estadístico se realizó en dos fases: la primera de ellas fue el análisis de factores, específicamente por comparación de matrices de correlación múltiple, que permitieron determinar la importancia de cada uno de los parámetros hidrográficos en la distribución de la biomasa zooplanctónica. Y la segunda por análisis de agrupamientos (cluster), el cuál permitió establecer la similitud entre estaciones hidrográficas utilizando los valores de biomasa zooplanctónica, temperatura y salinidad. Es importante hacer notar que, debido a la alta dependencia registrada en las matrices de correlación múltiple, de la densidad relativa con respecto a la temperatura, se realizó el análisis de agrupamientos con los valores de biomasa zooplanctónica, temperatura, salinidad y densidad relativa, y posteriormente se volvió a realizar excluyendo los valores de densidad relativa. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas.

## RESULTADOS

### 5.1 Resultados por estrato de profundidad

A continuación se muestran los resultados de biomasa zooplanctónica, temperatura, salinidad y densidad relativa, obtenidos durante el crucero FIBAC-I.

Respecto a la biomasa zooplanctónica, es importante aclarar que se graficaron los valores superiores a  $1 \text{ g}/100\text{m}^3$ , razón por la cuál las áreas de las figuras que se muestran en blanco, indican la ausencia de grandes concentraciones que proporcionen registros superiores a este valor, no la ausencia de biomasa zooplanctónica.

Aunque el CTD tiene la capacidad de registrar con una precisión de  $0.001^\circ\text{C}$  la temperatura,  $0.001$  la salinidad y  $0.001 \text{ kg}/\text{m}^3$  la densidad, los valores de temperatura obtenidos se graficaron con isolíneas de  $0.5^\circ\text{C}$ , los de salinidad con isolíneas de  $0.05$  y los de densidad relativa con isolíneas de  $0.1$ .

#### 5.1.1 Estrato de 20 m de profundidad

A 20 m de profundidad se registraron 3 núcleos de alta concentración de biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche (Figura 11).

El primero de ellos se localizó en la región costera ubicada en la zona de influencia de la desembocadura del río Tuxpan, en las cercanías del sistema arrecifal Tuxpan. En este núcleo se registraron valores superiores a  $2 \text{ g}/100 \text{ m}^3$  e inferiores a  $4 \text{ g}/100 \text{ m}^3$  en las zonas con mayor abundancia, y valores entre  $2 \text{ g}/100 \text{ m}^3$  y  $1 \text{ g}/100 \text{ m}^3$  en la periferia del núcleo.

El segundo núcleo se localizó al NE de Cayo Arcas. En él se registraron valores superiores a  $2 \text{ g}/100 \text{ m}^3$  e inferiores a  $4 \text{ g}/100 \text{ m}^3$ . La periferia de este



núcleo se junta con la del tercero y producen una extensa zona en la cuál se registraron valores entre  $2 \text{ g}/100 \text{ m}^3$  y  $1 \text{ g}/100 \text{ m}^3$  (Figura 11).

El tercer núcleo es el de mayor tamaño. Se localizó desde el N de la Barra de Dos Bocas, en la zona de influencia del Sistema Grijalva - Usumacinta, extendiéndose al NE, delineando la isobata de 20 m a lo largo del Banco de Campeche, y finalmente alcanzó el Arrecife de la Serpiente ( $21.30^\circ \text{ N}$ ,  $90.32^\circ \text{ O}$ ), subdividiéndose en dirección a Cayo Arenas. En este núcleo se registraron valores superiores a  $2 \text{ g}/100 \text{ m}^3$  e inferiores a  $4 \text{ g}/100 \text{ m}^3$ .

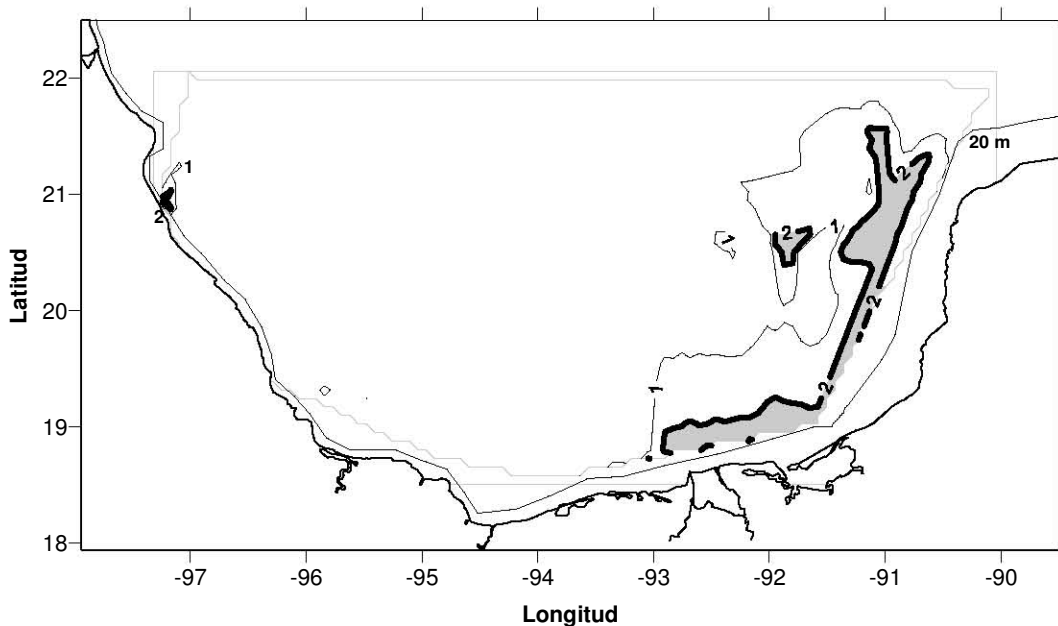


Figura 11. Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 20 m de profundidad.

En general la zona norte presenta temperaturas mayores (Figura 12) que el resto de la bahía, mientras que en las zonas costeras existen menores temperaturas que en las zonas oceánicas. Además, al NO de la bahía se registró la existencia de un núcleo de agua cálida, así como dos cuñas de menor temperatura en la zona este. La primera al norte de la Laguna de Términos, y la segunda en la parte NE de la bahía, esta última, en particular, presenta los menores valores de temperatura de la región.

Los valores de temperatura en el estrato de 20 m de profundidad muestran que el rango de distribución varía entre 21.2 y 29.7° C, que son los valores reportados en las estaciones 17 y 6, respectivamente. Las estaciones que presentaron los valores más altos de temperatura fueron la 6, la 7, la 10, la 5, la 9, y la 8 con 29.5° C. Los valores más bajos se encontraron en las estaciones 64, 18, 16, 1 y 17, con valores inferiores a 23.5 y superiores a 21.2° C.

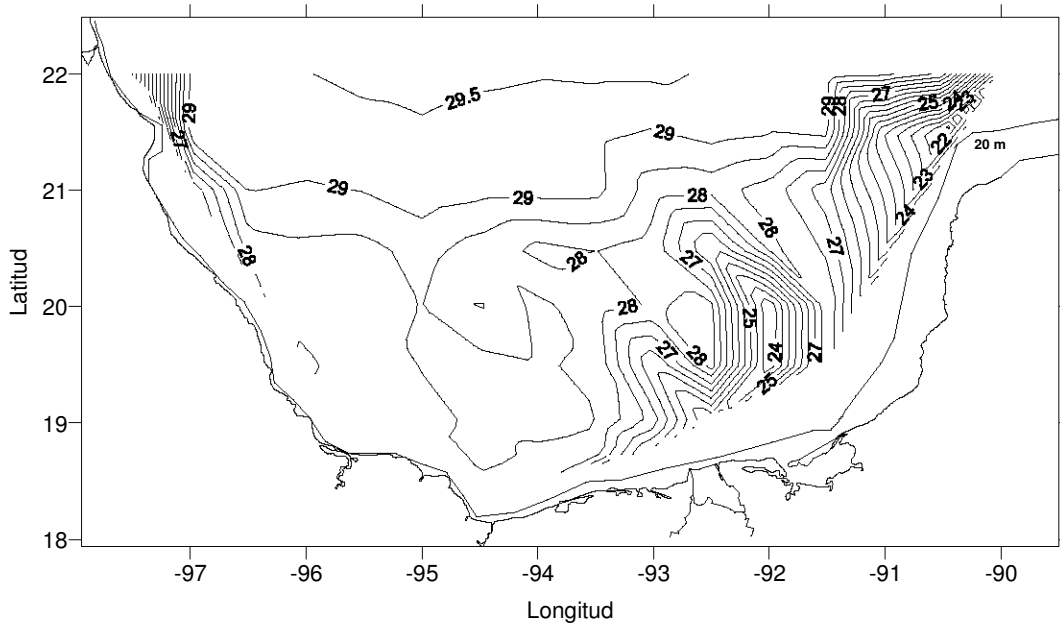


Figura 12. Distribución de la temperatura (°C) a 20 m de profundidad.

Por otra parte, se registró un núcleo de baja salinidad (35.6) en la zona central de la bahía. Los valores más altos se registraron en la zona oceánica, particularmente en la zona norte (Figura 13).

En general las zonas costeras reportaron valores de salinidad menores que las zonas oceánicas, particularmente en la zona ubicada frente a la región de influencia de la descarga del Sistema Grijalva – Usumacinta. Cerca de la desembocadura del río Tuxpan se encontró una pequeña cuña de agua con valores bajos de salinidad.

Se registró la existencia de una masa de agua que cubre gran parte de la zona oeste de la bahía. En esta masa de agua se registraron valores de salinidad menores que en la zona norte, pero superiores a los registrados en las zonas costeras.

El intervalo de variación de la salinidad va de 35.5 a 36.6. En las estaciones 9, 10, 26, 40, 46, 21, 36, 11, 34, 58, 24, 60, 38, 6, 8, 39 y 33 se registraron los valores superiores. Sólo las estaciones 49 y 61 reportaron valores inferiores a 35.6.

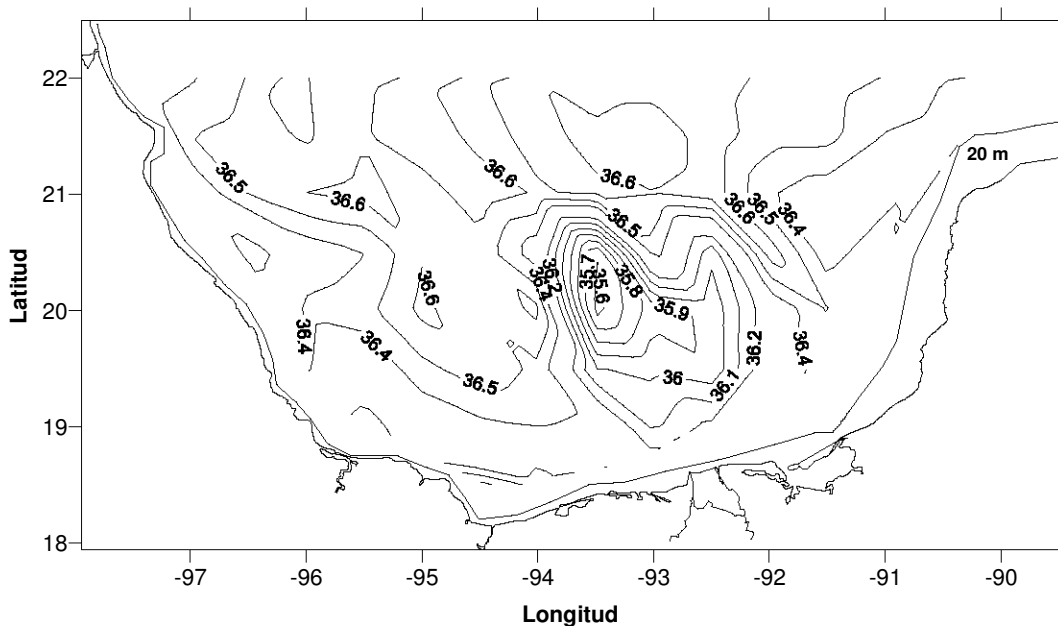


Figura 13. Distribución de la salinidad a 20 m de profundidad.

En la zona central se registró un núcleo de baja densidad (Figura 14). En general, en las zonas costeras se registraron menores valores de densidad que en la zona oceánica. Se observó la existencia de una cuña de densidad media a elevada al norte de la Laguna de Términos. Sin embargo, los mayores valores se registraron en la masa de agua proveniente del NE.

El intervalo de variación de la densidad potencial de la Bahía de Campeche a 20 m de profundidad varía de 22.0 a 25.4  $\text{kg/m}^3$ .

La estación con el valor de densidad más alto fue la estación 17, con  $25.4 \text{ kg/m}^3$ . Únicamente las estaciones con valores superiores a  $25.0 \text{ kg/m}^3$  fueron las estaciones número 1, 16 y 17. Todas ellas coinciden en el hecho de ser estaciones con escasa profundidad, ubicadas en zonas costeras

Los menores valores de densidad se encontraron en las estaciones 70, 91, 49 y 61, con valores inferiores a  $23.0 \text{ kg/m}^3$ . Lo cuál indica que en la zona central de la bahía existen masas de agua con valores inferiores de densidad relativa que las masas de agua existentes en las zonas costeras.

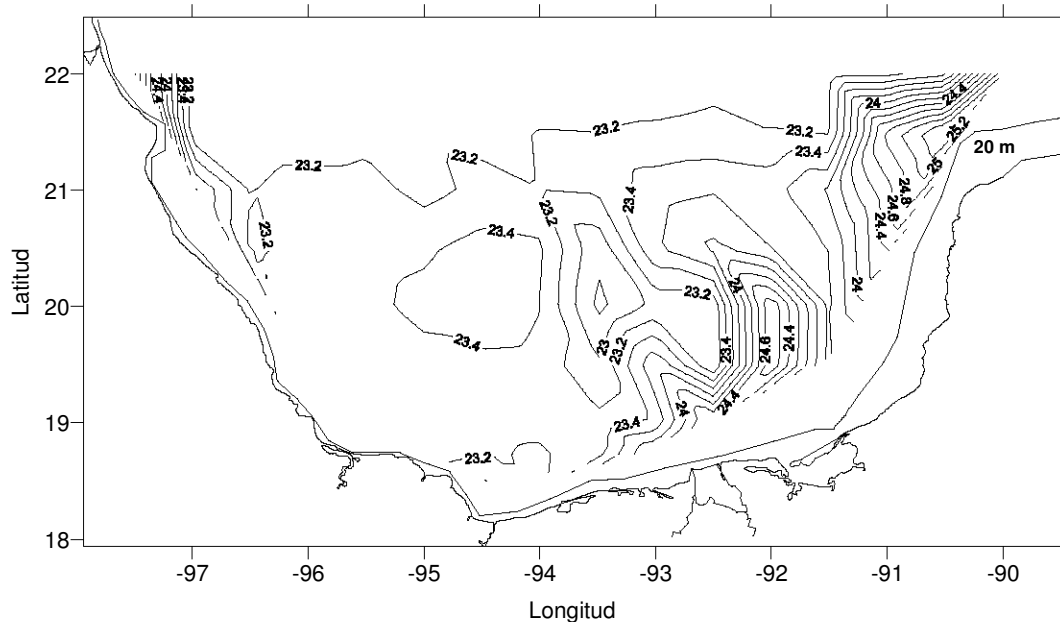


Figura 14. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 20 m de profundidad.

### 5.1.2 Estrato de 36 m de profundidad

A 36 m de profundidad se registraron cuatro núcleos de alta concentración de biomasa zooplanctónica (Figura 15). Dos de ellos cerca de la costa, y los otros dos en la parte oceánica.

El primero de ellos se divide en dos partes. La primera localizada frente al río Cazonés, al SE de la desembocadura del río Tuxpan, y la segunda un poco más al SE, frente al río Tecolutla. Ambas partes registraron valores de 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>, y comparten un anillo que los rodea, con valores de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup>. Este anillo se encuentra rodeado por otro más, con valores 1 a 2 g/100m<sup>3</sup>, el cuál se extiende desde la Laguna de Tamiahua hasta el río Nautla. Esta zona circundante es la que delimita la extensión del núcleo a esta profundidad.

El segundo núcleo presentó una zona de concentración con valores de 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>, ubicada al norte de la Barra de Dos Bocas. Esta zona se encontró rodeada por dos anillos circundantes, el primero con valores de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup>, y el segundo con valores de 1 a 2 g/100m<sup>3</sup>. Este último se extiende al oeste frente a las Lagunas del Carmen y Machona, en Tabasco, y al norte, hacia el Cañón de Campeche.

El tercer núcleo se localizó al este de Cayo Arcas y es el más extenso a 36 m de profundidad. El área de mayor concentración de biomasa zooplanctónica presentó valores de 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>, se encontró rodeada por dos zonas, la primera con valores de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup> y la segunda con valores de 1 a 2 g/100m<sup>3</sup>. Esta última, que es la zona externa del núcleo, se extiende desde la latitud del río Champotón hasta alcanzar la latitud de Progreso, donde se mezcla con la zona periférica del cuarto núcleo.

El cuarto núcleo se registró al noroeste de Progreso. La zona de mayor concentración presentó valores de 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>, al igual que los núcleos anteriores se encontró rodeada por dos áreas de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup>, y de 1 a 2 g/100m<sup>3</sup>, respectivamente. Ambas capas circundantes se extienden hacia el suroeste por efecto de las corrientes, y la zona externa hace contacto con la capa limítrofe del tercer núcleo.

Los máximos valores de biomasa zooplanctónica se registraron en las estaciones 87, 45, 65, 16 17, 46 y 18. Los valores menores se registraron en las estaciones 37, 6, 86 y 63.

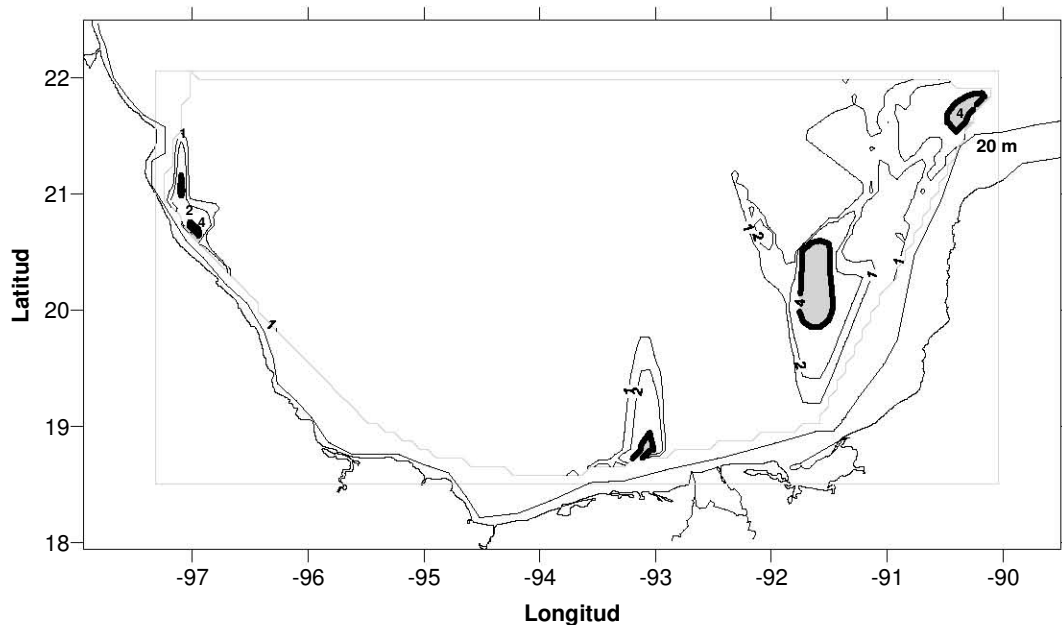


Figura 15. Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 36 m de profundidad.

La distribución de la temperatura es similar al estrato anterior (Figura 16). Los mayores valores se presentaron en la zona oceánica al norte de la bahía. Las zonas costeras presentaron valores menores de temperatura y se registró un área de menor temperatura en la parte central de la Bahía de Campeche.

El máximo valor de temperatura se registró en la estación 6, con  $29.6^\circ\text{C}$ . Las estaciones 10, 5, 9, 4, 7, 8, 26, 11, 35, 25, 12, 24, 21, 23, 37, 38 y 36, presentaron valores superiores a  $29.5^\circ\text{C}$ , pero inferiores a  $29.6^\circ\text{C}$ . Por su parte, las estaciones con menor temperatura fueron la 46, 62, 50 y 64, con registros inferiores a  $22.0^\circ\text{C}$ .

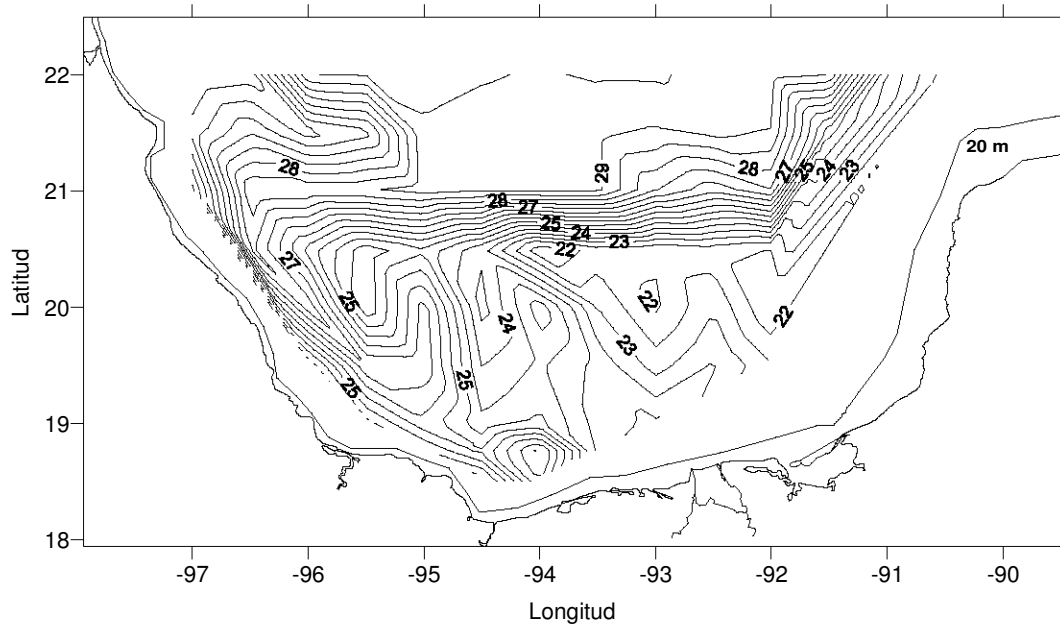


Figura 16. Distribución de la temperatura (°C) a 36 m de profundidad.

Al norte de la bahía, en la zona oceánica, la salinidad registrada es superior a los valores registrados en las estaciones costeras ubicadas al sur y al este de la bahía. Además se registró la existencia al NO de agua con valores inferiores a los registrados en las estaciones ubicados al N, y mayores que los registrados en las estaciones costeras mencionadas previamente (Figura 17).

Las estaciones con mayor salinidad fueron la estación 9, 10, 36, 21, 34, 24, 33, 6, 38, 23, y 26, con 36.6. Lo cuál confirma la existencia de una masa de agua con mayor densidad al norte de la bahía. Por su parte, las estaciones con menor salinidad fueron la 82, 79, 55 y 29 en todas ellas se registraron valores inferiores a 36.1.

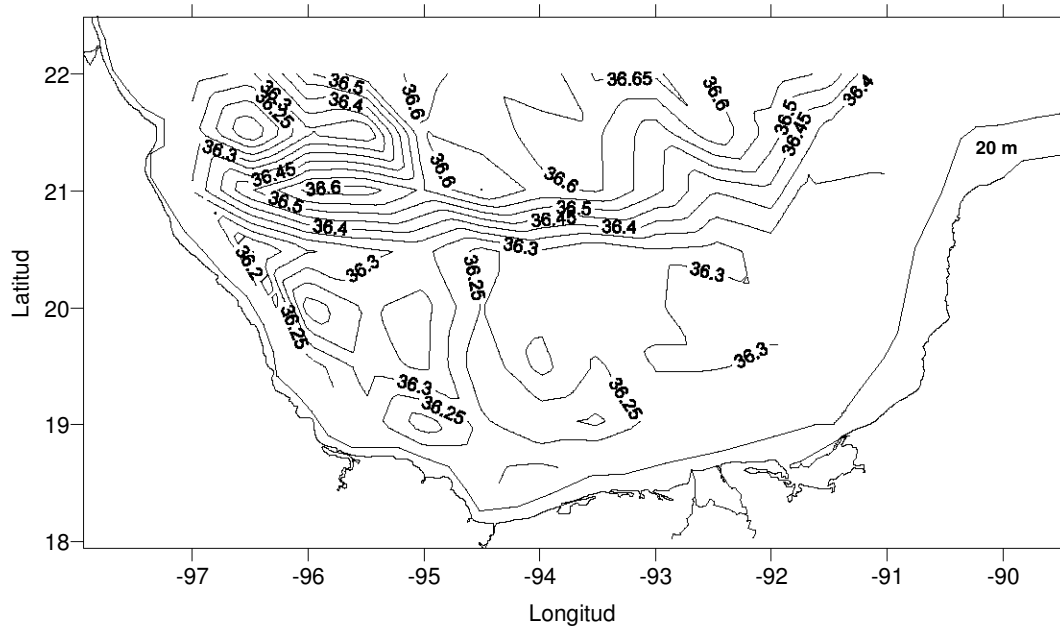


Figura 17. Distribución de la salinidad a 36 m de profundidad.

En el área central de la bahía se registraron los mayores valores de densidad relativa en este estrato de profundidad. Los menores valores se encontraron en las estaciones ubicadas al norte de la Bahía, y se reportó la existencia de una cuña de agua de mayor salinidad procedente del NE de la Bahía (Figura 18).

El intervalo de densidad relativa varió de  $22.5$  a  $25.3 \text{ kg/m}^3$  en el estrato de 36 m de profundidad. Las estaciones con mayor densidad relativa fueron la 64 y 50, con  $23.3$  y  $25.3 \text{ kg/100m}^3$  respectivamente. Las estaciones 62 y 46 también presentaron valores altos, superiores a  $25.2$  e inferiores a  $25.3 \text{ kg/100m}^3$ . La menor densidad se registró en las estaciones 8, 7, 6, 5 y 4, con valores inferiores a  $23.1 \text{ kg/m}^3$ .



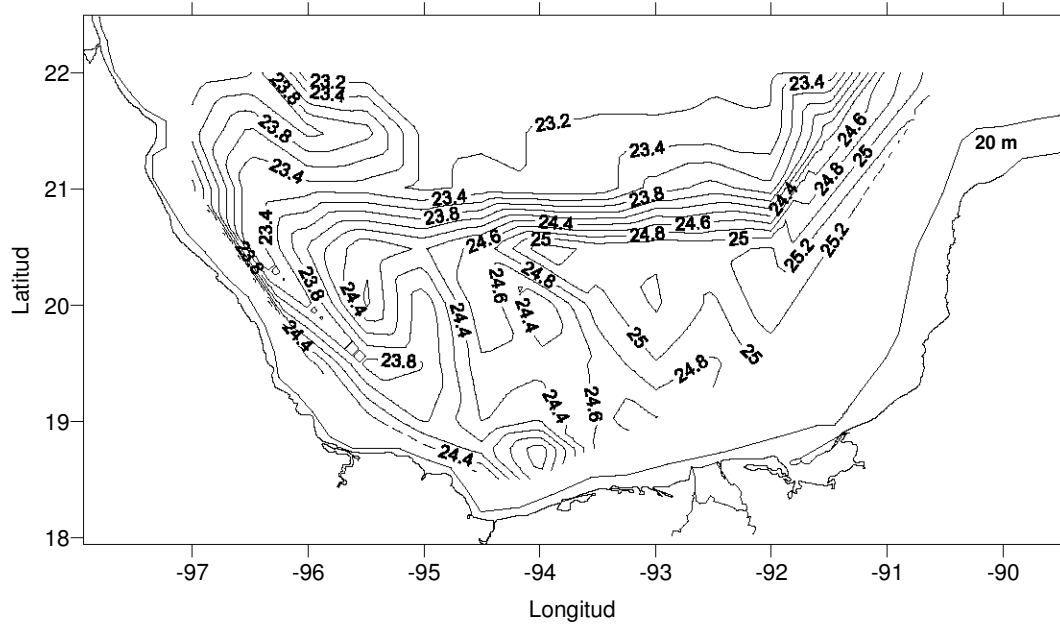


Figura 18. Distribución de la densidad relativa a 36 m de profundidad.

### 5.1.3 Estrato de 52 m de profundidad

A 52 m de profundidad se registraron cuatro núcleos de alta concentración de biomasa zooplanctónica. Es importante hacer notar que a esta profundidad los anillos que circundan las zonas con concentraciones mayores reducen su extensión (Figura 19).

El primer núcleo se registró frente al río Tecolutla, con valores de 4 a 8  $\text{g}/100\text{m}^3$ . Al noroeste de este núcleo, frente al río Tuxpan, se localizó otro más pequeño, con valores de 1 a 2  $\text{g}/100\text{m}^3$ . Debido a sus características y a los valores registrados en cada uno de ellos, se consideran como un solo núcleo.

Al igual que en el estrato de profundidad inmediato superior, el segundo núcleo presentó una zona de concentración con valores de 4 a 8  $\text{g}/100\text{m}^3$ , ubicada al norte de la Barra de Dos Bocas. Esta zona se encontró rodeada por dos anillos circundantes, el primero con valores de 2 a 4  $\text{g}/100\text{m}^3$ , y el segundo con valores de 1 a 2  $\text{g}/100\text{m}^3$ . Este último se extendió al oeste frente a las Lagunas del Carmen y Machona, en Tabasco, con pequeños remanentes hasta el nivel del río

Coatzacoalcos, hacia el este los remanentes se extendieron hasta el nivel de la Laguna de Términos, y al norte su extensión fue muy similar que en el estrato anterior.

El tercer núcleo se localizó en las zonas aledañas a Cayo Arcas. En éste núcleo se registraron dos áreas de concentración con valores de 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>. Aunque la zona de 1 a 2 g/100m<sup>3</sup> se extiende desde el paralelo 19 hacia el Cañón de Campeche, presenta menor extensión con respecto a las zonas de mayor concentración del mismo núcleo.

El cuarto núcleo se registró al noroeste de Progreso, pero presenta mayor extensión que en el estrato inmediato superior. Su zona de mayor concentración, con valores de 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>, se extiende hacia el noroeste, y se reduce la extensión de las zonas con concentraciones menores, como son la de 2 a 4 g/100 m<sup>3</sup>, y 1 a 2 g/100m<sup>3</sup>.

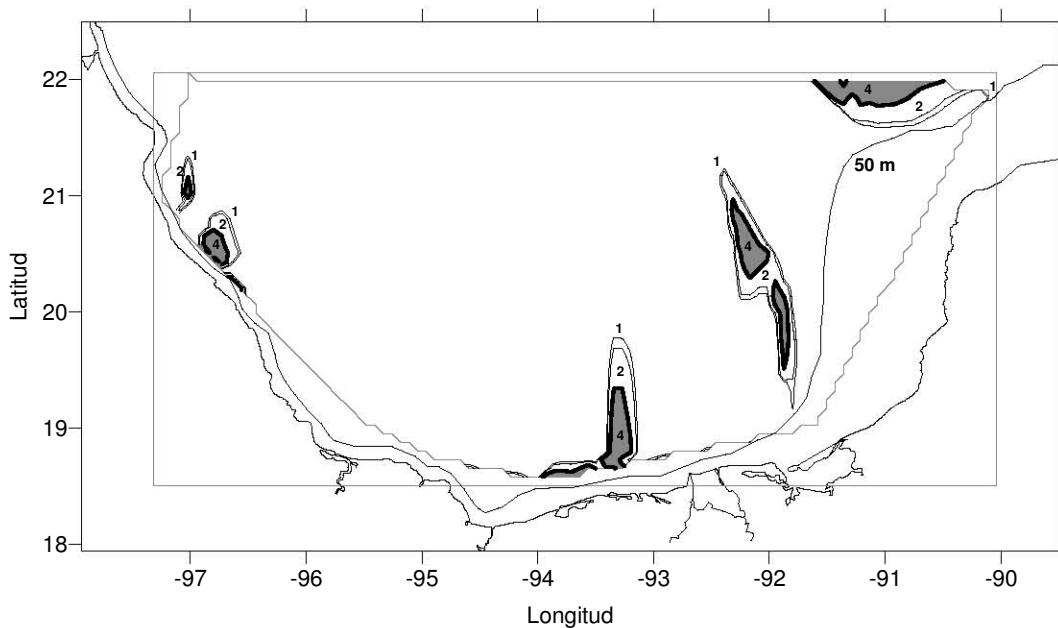


Figura 19. Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m<sup>3</sup>) a 52 m de profundidad.

El estrato de 52 m de profundidad se encuentra ubicado por debajo de la termoclina. Los valores más altos de temperatura se registraron en la zona N. Los

valores más bajos en las zonas E, S y Centro. Las zonas costeras presentaron valores más bajos comparados con las zonas oceánicas y en la zona de desembocadura del sistema Grijalva – Usumacinta se registró una cuña de agua con temperatura superior a la de la zona circundante (Figura 20).

El intervalo de distribución de la temperatura a 52 m de profundidad va de  $19.8^{\circ}\text{C}$  a  $28.4^{\circ}\text{C}$ . El valor más alto se registró en la estación 22. Las estaciones 6, 10, 36, 9 y 37 presentaron valores superiores a  $25.0$  e inferiores a  $25.5^{\circ}\text{C}$ . Los menores valores de temperatura se presentaron en las estaciones 73, 48, 49, 47, 72, 40, 50 y 62. En todas ellas se registraron valores inferiores a  $21.0^{\circ}\text{C}$ . El valor más bajo se presentó en la estación 62, con  $19.8^{\circ}\text{C}$ .

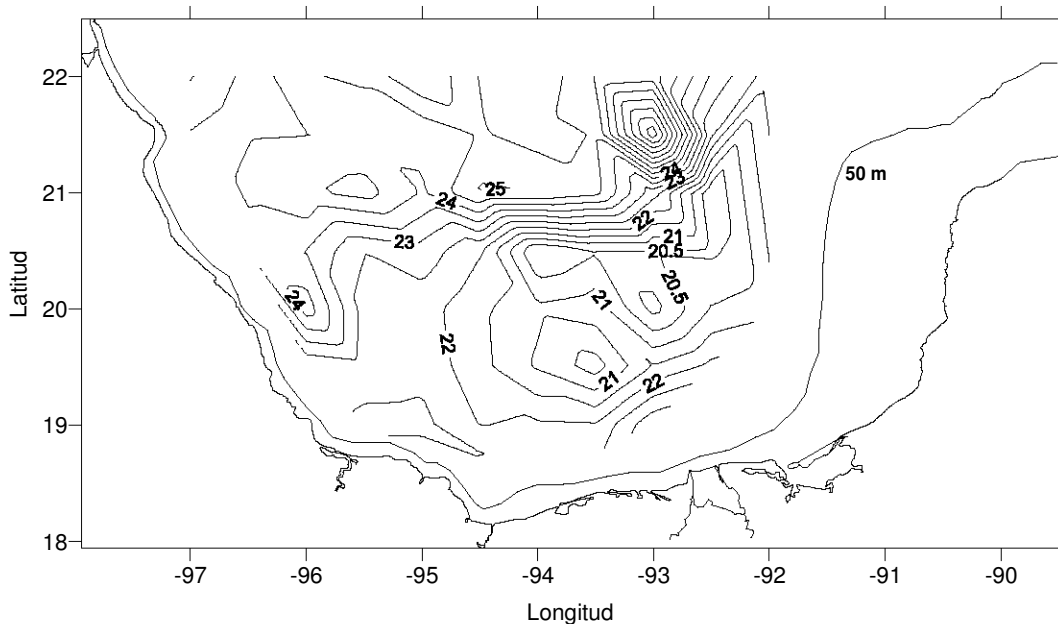


Figura 20. Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 52 m de profundidad.

Los valores más altos de salinidad a 52 m se registraron en las zonas NE, N, O y centro. Los menores valores registrados pertenecen a las zonas centro, N, O, NO y S. La coincidencia de las zonas centro, N y O, prueba que la salinidad no se distribuye de manera uniforme sino que tiende a presentarse en núcleos. En general, en las estaciones costeras se encontraron valores menores de salinidad que en las estaciones oceánicas (Figura 21).

El intervalo de distribución de la salinidad a 52 m de profundidad va de 36.1 a 36.4. El mayor registro se obtuvo en la estación 22, mientras que las estaciones 37, 40, 2 y 62 presentaron valores superiores a 36.34. En las estaciones 39, 59, 6, 55, 11, 26 y 89 se obtuvieron registros inferiores a 36.2. El registro de menor valor de salinidad se obtuvo en la estación 89.

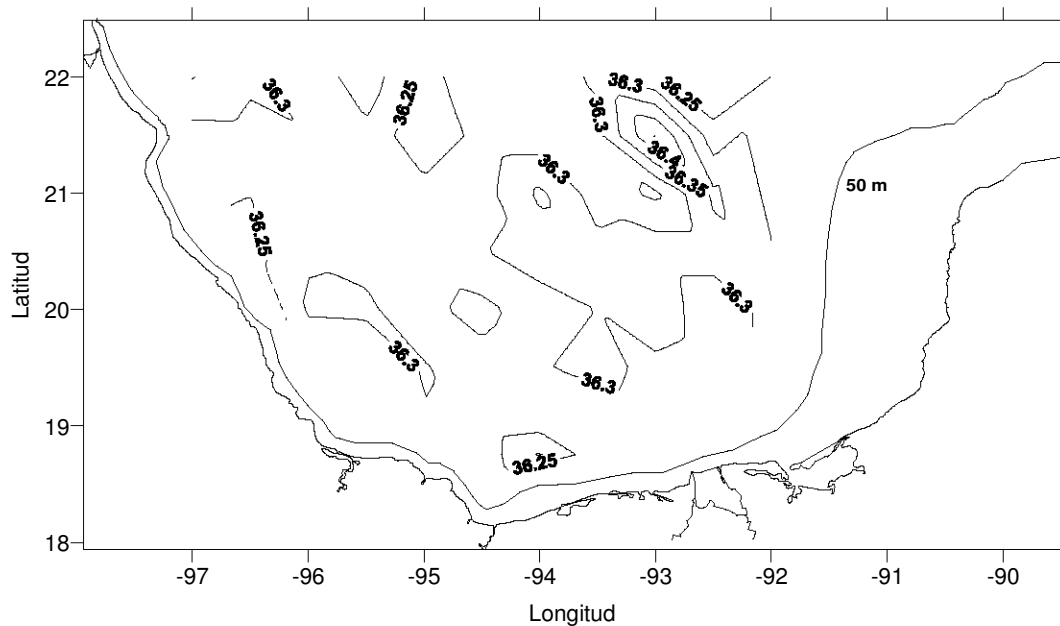


Figura 21. Distribución de la salinidad a 52 m de profundidad.

Los mayores valores de densidad relativa a 52 m de profundidad se registraron en la zona central de la bahía, así como en las zonas E y S. Los valores más altos se encontraron en las zonas NO, N y centro. En la zona central coinciden los valores máximos y mínimos, lo cuál indica que la densidad potencial también se distribuye en núcleos (Figura 22).

La densidad potencial a 52 m de profundidad presenta un intervalo de variación de 23.3 a 25.8 kg/m<sup>3</sup>. El máximo valor se registró en la estación 62, mientras que las estaciones 50, 40, 72, 47, 48, 49 y 73 registraron valores superiores a 25.5. Los valores menores se encontraron en las estaciones 38, 37,

9, 36, 10, 6 y 22, en todas ellas los registros fueron inferiores a  $24.4 \text{ kg/m}^3$ . El valor mínimo de densidad relativa a esta profundidad se registró en la estación 22.

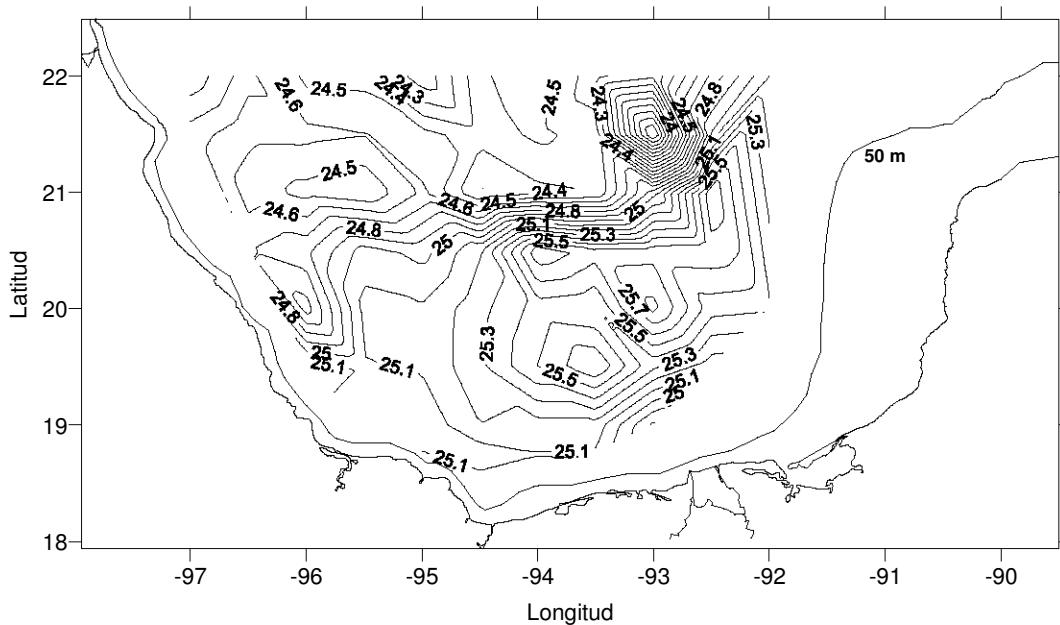


Figura 22. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 52 m de profundidad.

#### 5.1.4 Estrato de 68 m de profundidad

A 68 m de profundidad los cuatro núcleos modificaron su distribución con respecto a los estratos superiores. La zona de mayor concentración registró valores de 4 a  $8 \text{ g/100 m}^3$  al este del río Tuxpan, El núcleo de la costa oeste se encuentra rodeado por una zona de 2 a  $4 \text{ g/100 m}^3$  y otra zona que circunda a esta última, delimitando al núcleo, desde la latitud de la desembocadura del río Cazonos hasta la latitud de la Laguna de Tamiahua y Cabo Rojo (Figura 23).

El segundo núcleo, frente a la Laguna de Machona, en Tabasco, alcanza en una pequeña parte, valores de 4 a  $8 \text{ g/100 m}^3$ , sin embargo, el valor predominante en esta área es de 2 a  $4 \text{ g/100 m}^3$ , y la periferia de 1 a  $2 \text{ g/100 m}^3$  redujo su extensión. Sin embargo, el núcleo mantiene su distribución elongándose hacia el norte.

El tercer núcleo se fragmentó en dos partes, una de las cuáles se concentra en los alrededores de Cayo Arcas, con valores de 4 a 8 g/100 m<sup>3</sup>, y dos anillos de 2 a 4 g/100 m<sup>3</sup>, 1 a 2 g/100 m<sup>3</sup>, respectivamente. La otra parte registró valores similares en una extensión menor, extendiéndose hacia el Banco de Campeche.

El cuarto núcleo se ubicó al noroeste de Progreso y al sur de Cayo Arenas, en él se registraron los mayores valores de concentración de biomasa zooplanctónica en este estrato, con valores de 8 a 12 g/100 m<sup>3</sup> en la parte norte del núcleo, una amplia zona circundante de 4 a 8 g/100 m<sup>3</sup>, y una periferia reducida con valores menores.

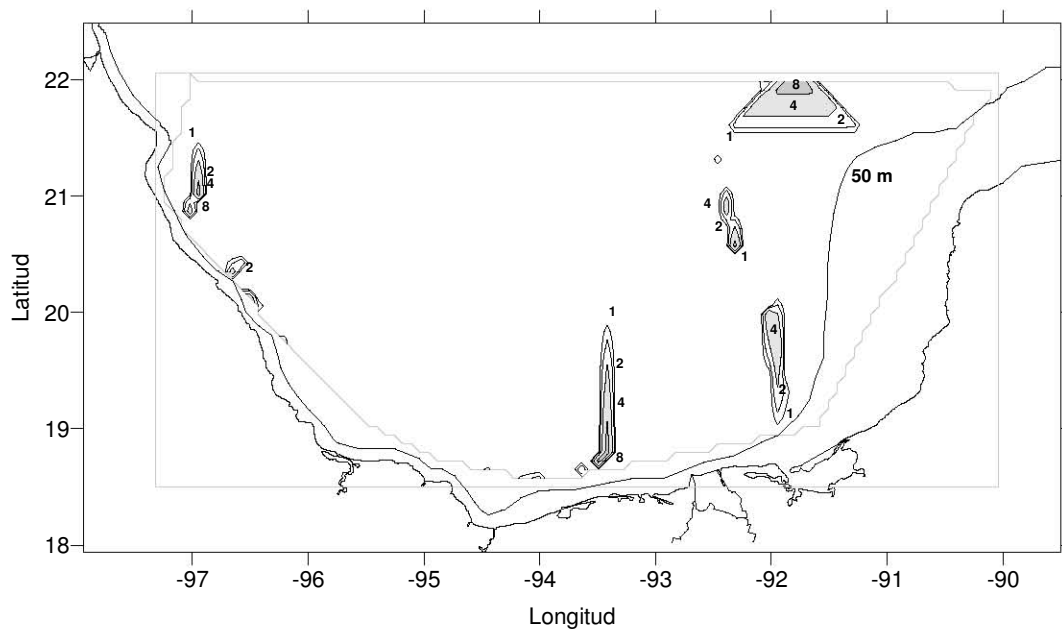


Figura 23. Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m<sup>3</sup>) a 68 m de profundidad.

Las zonas centro y N registraron los mayores valores de temperatura a 68 m de profundidad. Y los más bajos se encontraron en las zonas centro y S. La

coincidencia de los valores en la zona centro hace referencia a la existencia de los giros oceánicos reportados en la Bahía de Campeche (Figura 24).

El intervalo de temperatura a 68 m de profundidad va de 18.6 a 23.3° C. Los valores más altos se registraron en las estaciones 36, 37, 4, 6 y 5. Todos ellos con valores superiores a 23.0° C. El máximo valor se registró en la estación 36. Los valores más bajos se encontraron en las estaciones 62, 72 y 50, con registros inferiores a 19.0 ° C. El valor mínimo se reportó en la estación 50.

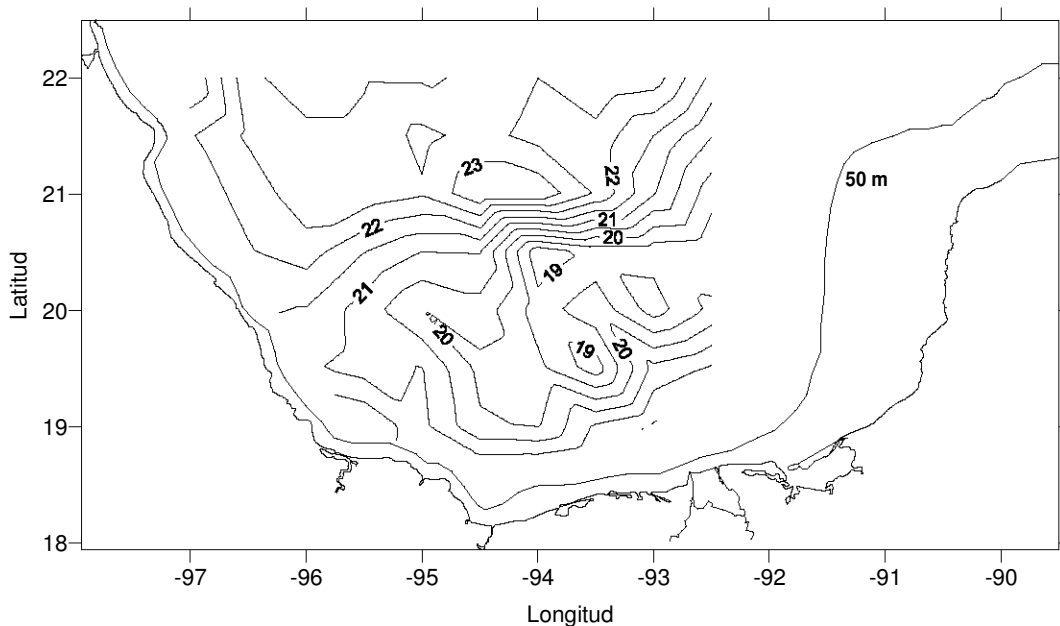


Figura 24. Distribución de la temperatura (°C) a 68 m de profundidad.

A 68 m de profundidad, los mayores valores de salinidad se encontraron en las estaciones pertenecientes a la zona centro y en las estaciones oceánicas pertenecientes a las zonas E y S. Los menores valores se encontraron en las zonas O, S y centro, así como en las estaciones costeras del SO y en las estaciones oceánicas de la zona NO. Una vez más, la zona centro coincide en reportar las mayores cantidades, lo cuál se debe a los giros oceánicos existentes en la zona (Figura 25).

El intervalo de variación de la salinidad a 68 m de profundidad va de 36.2 a 36.3. Los valores más altos se registraron en las estaciones 36, 61, 40, 73, 74, 72 y 49, con registros superiores a 36.3. Es importante hacer notar que en la estación 36 coincidieron los valores más altos de salinidad y temperatura. Los registros más bajos se encontraron en las estaciones 52, 82, 93, 26, 32, 38 y 6, con valores inferiores a 36.2. El menor registro se reportó en la estación 6.

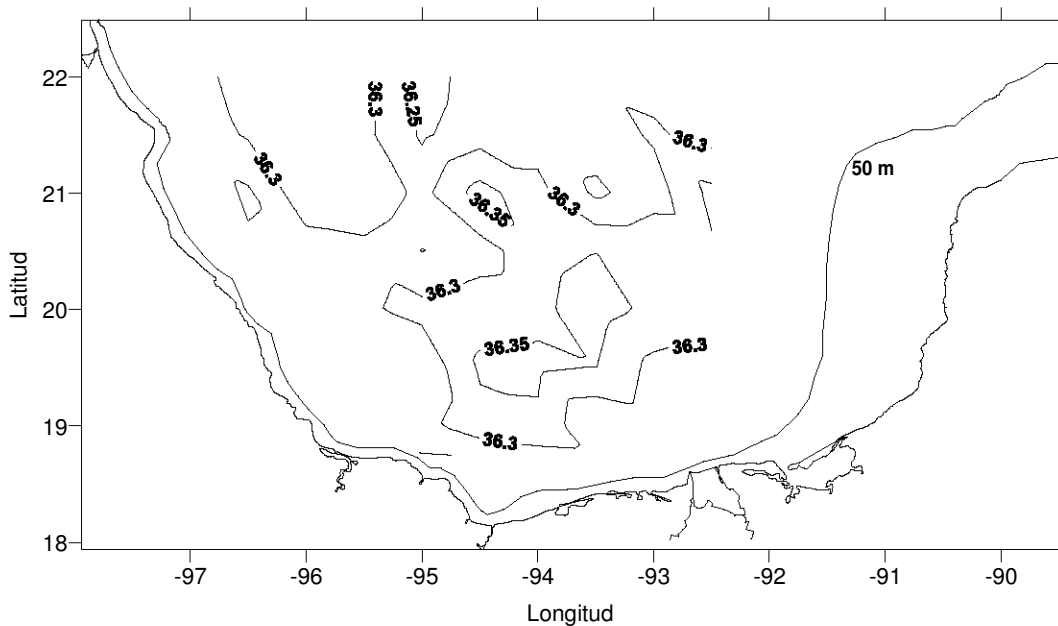


Figura 25. Distribución de la salinidad a 68 m de profundidad.

Los mayores valores de densidad relativa a 68 m de profundidad se reportaron en la zona centro. También algunas estaciones oceánicas de las zonas S y E reportaron algunos de los valores más altos a esta profundidad. Los menores valores se ubicaron en las zonas centro y NO. Al igual que en los registros de temperatura, y salinidad, la zona centro presenta alta variación debida a la presencia de los giros oceánicos ubicados dentro del área (Figura 26).

El intervalo de variación de la densidad relativa a 68 m de profundidad abarca de 24.8 a 26.1  $\text{kg/m}^3$ . El mayor registro se obtuvo en la estación 50. Los mayores valores se reportaron en las estaciones 50, 72, 62, 47, 48 y 49, con registros superiores a 26.00  $\text{kg/m}^3$ . Los menores valores se obtuvieron en las



estaciones 36, 6, 4 y 37, con valores inferiores a  $24.9 \text{ kg/m}^3$ . El menor valor se registró en la estación 37.

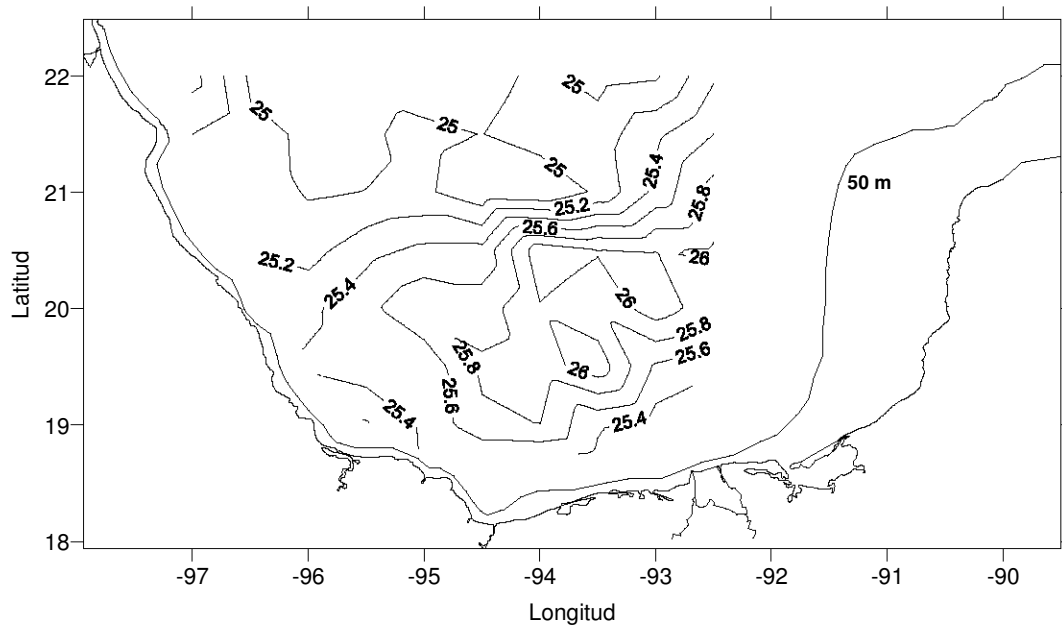


Figura 26. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 68 m de profundidad.

### 5.1.5 Estrato de 84 m de profundidad

A 84 m de profundidad el primer núcleo se ha reducido de manera considerable y sólo permanecen áreas remanentes, algunas de ellas con altas concentraciones de biomasa zooplanctónica, como son la ubicada al este del río Tuxpan y otra al oeste del río Nautla, ambas con registros de 4 a  $8 \text{ g}/100\text{m}^3$  (Figura 27).

El segundo núcleo mantiene una amplia extensión, con concentraciones de 4 a  $8 \text{ g}/100\text{m}^3$ , en su parte más extensa y valores menores en la periferia que se extiende hacia el norte, así como remanentes que se dirigen hacia el oeste frente al río Coatzacoalcos.

El tercer núcleo se fragmentó en tres partes de alta concentración, con tendencia a desplazarse de los alrededores de Cayo Arcas hacia el Cañón de Campeche, con valores superiores a 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>.

El cuarto núcleo se encontró al sur de Cayo Arenas, desplazándose hacia el oeste, y registró valores de 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>.

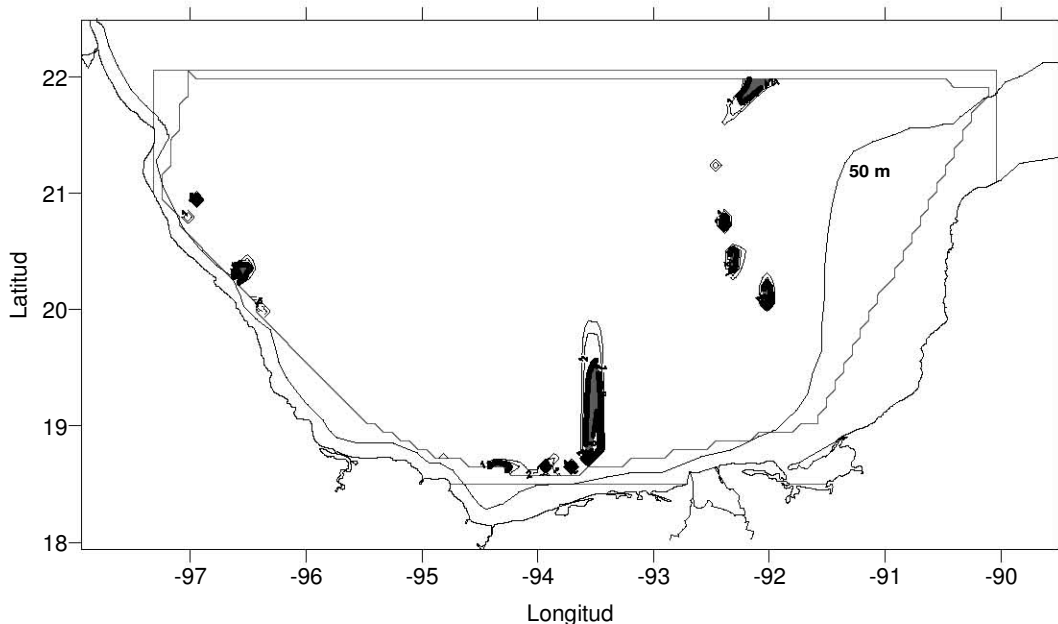


Figura 27. Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m<sup>3</sup>) a 84 m de profundidad.

A 84 m de profundidad se registraron los mayores valores de temperatura en la zona NO. Los menores valores se registraron en las zonas centro y sur. El rango de variación es menor, y la temperatura se va reduciendo considerablemente al incrementarse la profundidad (Figura 28).

El intervalo de distribución de temperatura a 84 metros de profundidad varió entre 17.4 y 22.5° C. Las estaciones 4, 5, 3, 28 y 27 registraron valores superiores a 22.0° C. El mayor valor se registró en la estación número 4. Los menores valores se registraron en las estaciones 60, 49, 62, 72 y 50, con registros inferiores a 18.0° C. El menor valor se obtuvo en la estación 50.

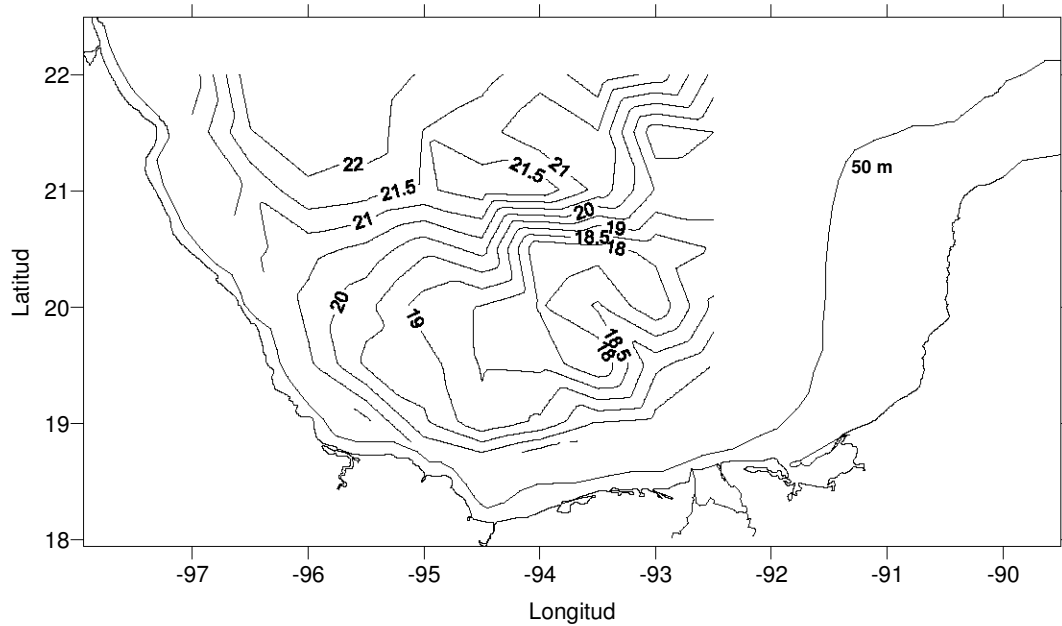


Figura 28. Distribución de la temperatura (°C) a 84 m de profundidad.

A 84 m de profundidad los mayores valores de salinidad se registraron en las áreas oceánicas de las zonas O, E y centro. Los menores valores se registraron en las mismas zonas. La diferencia de los valores máximos y mínimos en las estaciones 59 y 58 se deben a la presencia del giro anticiclónico existente en la Bahía de Campeche (Figura 29).

El intervalo de distribución de la salinidad a 84 m de profundidad varió entre 36.2 y 36.3. El mayor valor se registró en la estación 58. Las estaciones 58, 63, 40, 21, 57 y 51 reportaron valores superiores a 36.3. Los menores valores se reportaron en las estaciones 59, 8, 7, 25, 55, 38 y 50, con registros inferiores a 36.2.

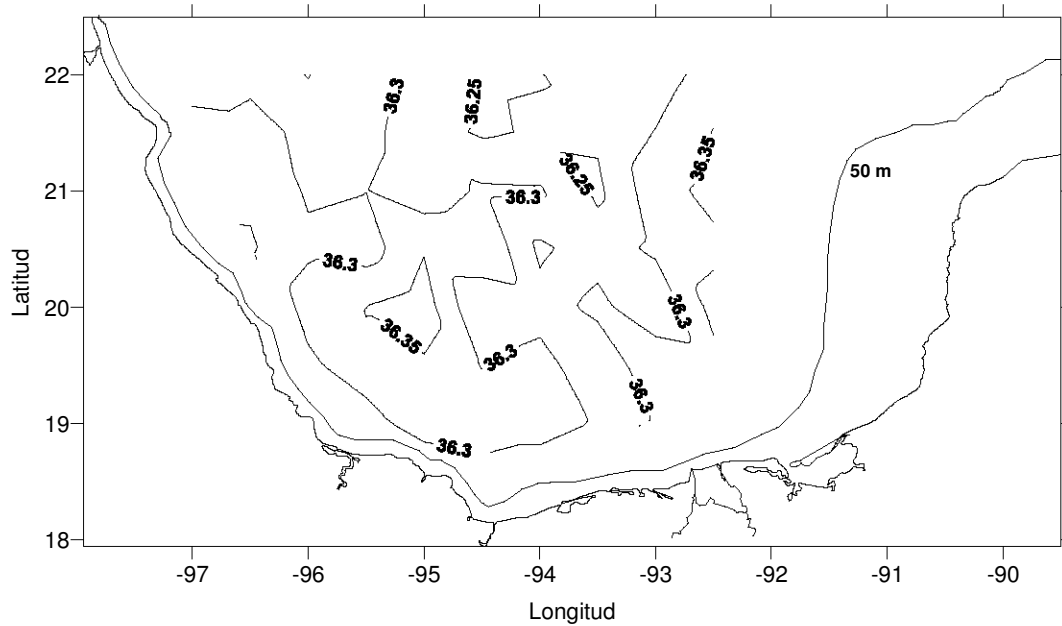


Figura 29. Distribución de la salinidad a 84 m de profundidad.

Los mayores valores de distribución de densidad relativa a 84 m se registraron en las zonas centro y S. Los menores valores se reportaron en las zona O (Figura 30).

El intervalo de distribución de la densidad a 84 m de profundidad fluctuó entre 25.0 y 26.3  $\text{kg/m}^3$ . Las estaciones 72, 50, 62 y 49 reportaron valores superiores a 26.3  $\text{kg/m}^3$ . El valor más alto se encontró en la estación 72. Los valores inferiores se registraron en las estaciones 27, 28, 5, 3 y 4, con registros menores a 25.2  $\text{kg/m}^3$ . El registro menor se reportó en la estación 4.

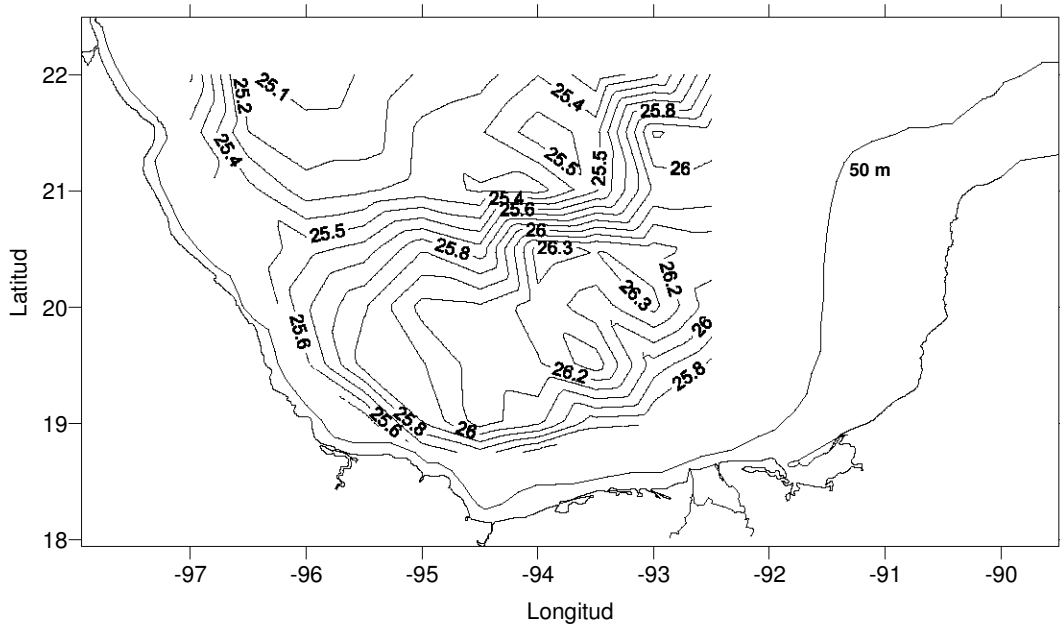


Figura 30. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 84 m de profundidad.

### 5.1.6 Estrato de 100 m de profundidad

A 100 m de profundidad del primer núcleo ya sólo quedan algunos remanentes con valores de 4 a 8  $\text{g}/100\text{m}^3$  al este del río Tecolutla, y otros remanentes más pequeños con concentraciones menores, de 2 a 4  $\text{g}/100\text{m}^3$  al sureste, frente al río Actopan (Figura 31).

El segundo núcleo se encuentra dividido en dos partes, la primera presenta la mayor concentración de biomasa zooplanctónica a esta profundidad, con valores de 4 a 8  $\text{g}/100\text{m}^3$ , esta parte se extiende desde la región ubicada al norte del Lago de Catemaco, hasta la región que se encuentra al norte del río Tonala, pasando frente al Coatzacoalcos. La segunda parte de este núcleo presenta valores de 4 a 8 y de 2 a 4  $\text{g}/100\text{m}^3$ , rodeados por una zona periférica de 1 a 2  $\text{g}/100\text{m}^3$ . Esta parte se encuentra al norte de la Laguna Machona, extendiéndose al norte hacia el área oceánica de la Bahía de Campeche.

A esta profundidad, el tercer núcleo se mantuvo en las cercanías de Cayo Arcas, pero presentó una reducción en los valores registrados, con una

concentración de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup>, y una zona periférica de 1 a 2 g/100m<sup>3</sup>. También presentó un pequeño remanente con los mismos valores hacia el norte.

El cuarto núcleo redujo su área considerablemente, aunque presentó valores de 4 a 8 g/100m<sup>3</sup>, en una de las dos áreas en las que se dividió, mientras que en la otra registró valores máximos de 2 a 4 g/100 m<sup>3</sup>.

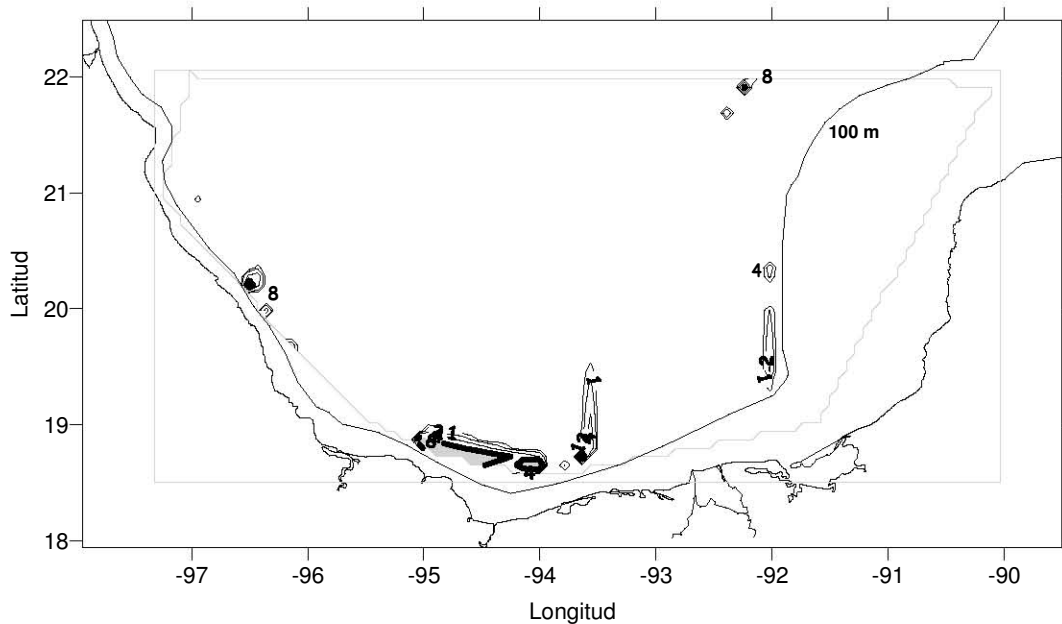


Figura 31. Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m<sup>3</sup>) a 100 m de profundidad.

En el estrato de 100 m las estaciones donde se registraron los mayores valores de temperatura se encuentran ubicadas en la zona NO. Mientras que las estaciones con menor temperatura se ubicaron en las zonas centro y sur (Figura 32).

El intervalo de distribución de la temperatura en el estrato de 100 m varía entre 21.9 y 16.5° C. Las estaciones 4, 5, 28 y 3 presentaron los valores más altos, con registros superiores a 21.5° C. El valor más alto se registró en la estación 3. Las estaciones 60, 73, 72, 50, 59 y 62 registraron los valores más

pequeños, con registros inferiores a  $17.0^{\circ}\text{C}$ . El valor más bajo se registró en la estación 62.

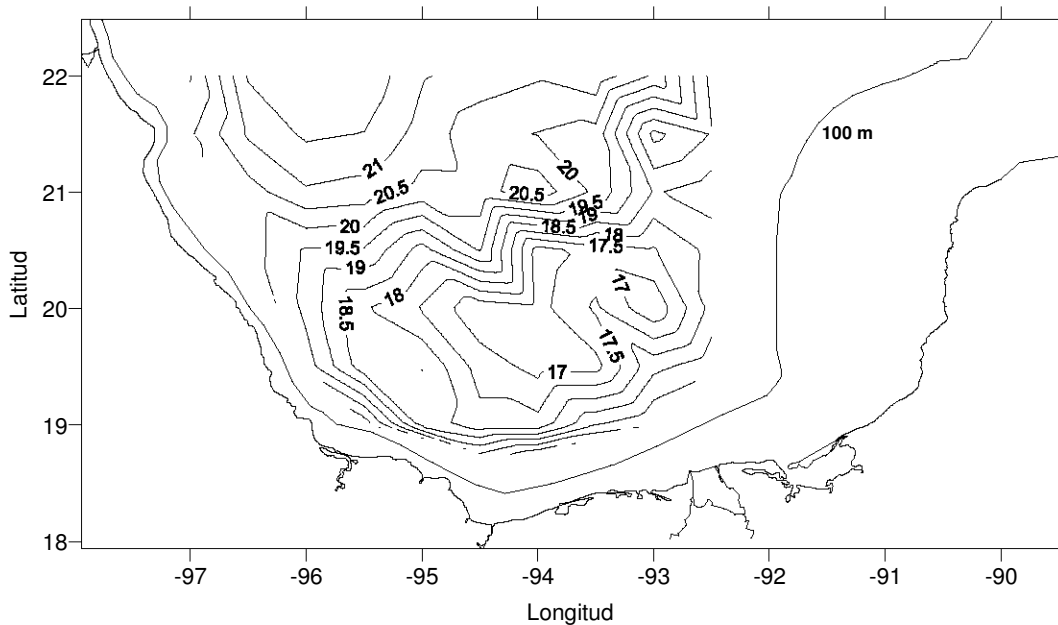


Figura 32. Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 100 m de profundidad.

Los mayores valores de salinidad en el estrato de 100 m de profundidad se reportaron en las zonas centro, O y SO. Los menores valores se registraron en la zona centro y las estaciones oceánicas de la zona S, es decir, en la parte central de la Bahía de Campeche, su distribución reproduce la estructura del giro ciclónico (Figura 33).

El intervalo de distribución de la salinidad a 100 m de profundidad varió de 36.1 a 36.3. Los mayores valores se registraron en las estaciones 51, 56 y 75, con registros superiores a 36.3. El mayor valor se reportó en la estación 75. Las estaciones 60, 72, 73, 50, 62 y 59 reportaron los valores más bajos, con registros inferiores a 36.2 El menor valor se registró en la estación 59.

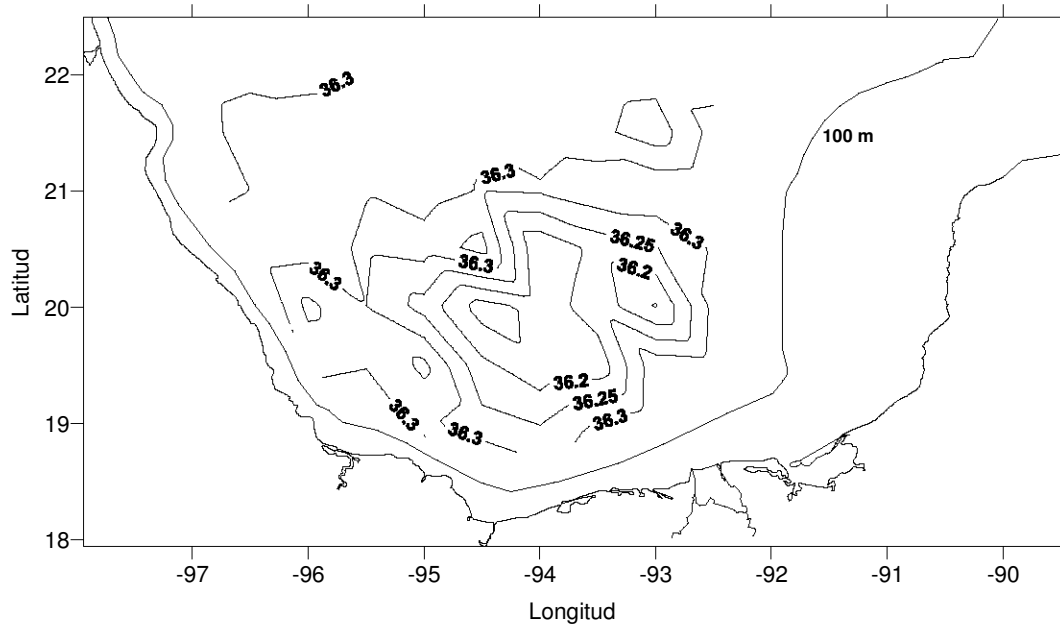


Figura 33. Distribución de la salinidad a 100 m de profundidad.

Respecto a la densidad potencial a 100 m de profundidad, los mayores valores se registraron en las estaciones oceanográficas de las zonas centro y S. Mientras que los menores registros correspondieron a estaciones pertenecientes a las zonas O y NO (Figura 34).

El intervalo de distribución de la densidad potencial en el estrato de 100 m de profundidad varió de 25.2 a 26.4  $\text{kg/m}^3$ . Las estaciones 62, 59, 50, 72, 60, 73 y 49, registraron los mayores valores, todos ellos superiores a 26.4  $\text{kg/m}^3$ . El mayor valor se registró en la estación 62. Por su parte, los menores valores se registraron en las estaciones 33, 6, 29, 3, 27, 28, 5 y 4. En estos casos todos los registros fueron inferiores a 25.5  $\text{kg/m}^3$  y el menor valor fue el correspondiente a la estación 4.



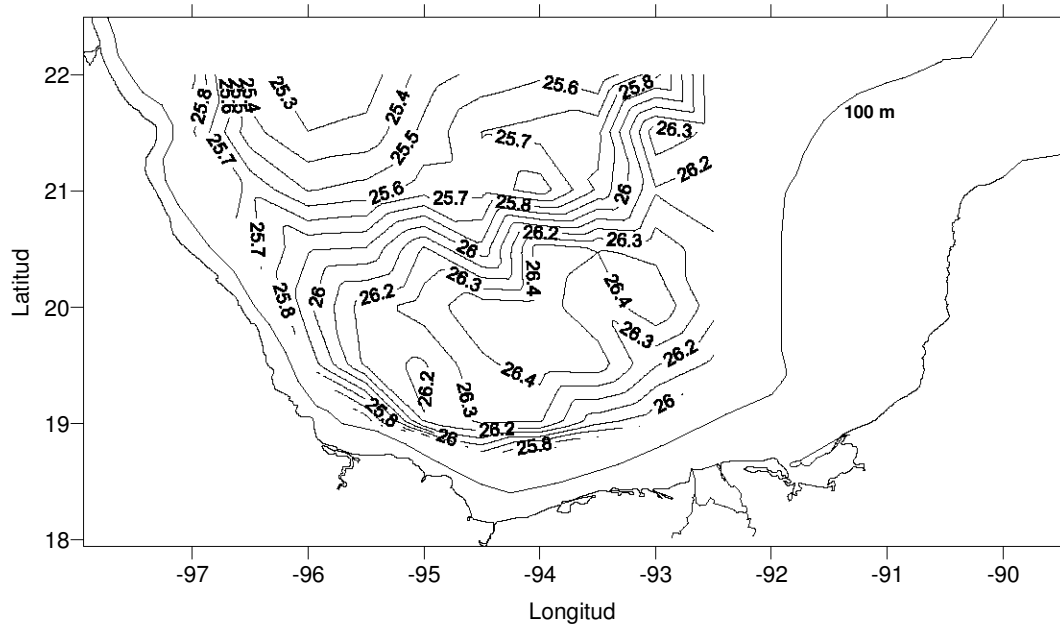


Figura 34. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 100 m de profundidad.

### 5.1.7 Estrato de 116 m de profundidad

A 116 m de profundidad el primer núcleo se ha reducido considerablemente y sólo se percibe una pequeña porción con valores de 2 a 4  $\text{g}/100\text{m}^3$  al este del río Nautla (Figura 35).

A diferencia del primer núcleo, el segundo incrementó su área frente a las Lagunas del Carmen y Machona, con valores de 4 a 8  $\text{g}/100\text{m}^3$  y de 2 a 4  $\text{g}/100\text{m}^3$ , pero redujo su extensión al norte del río Coatzacoalcos.

El tercer núcleo registró concentraciones de 2 a 4  $\text{g}/100\text{m}^3$ , en la zona más cercana a Cayo Arcas, y valores de 2 a 4  $\text{g}/100\text{m}^3$  en la periferia.

El cuarto núcleo a esta profundidad se redujo considerablemente en extensión y concentración, con valores de 2 a 4  $\text{g}/100\text{m}^3$  al suroeste de Cayo Arenas.

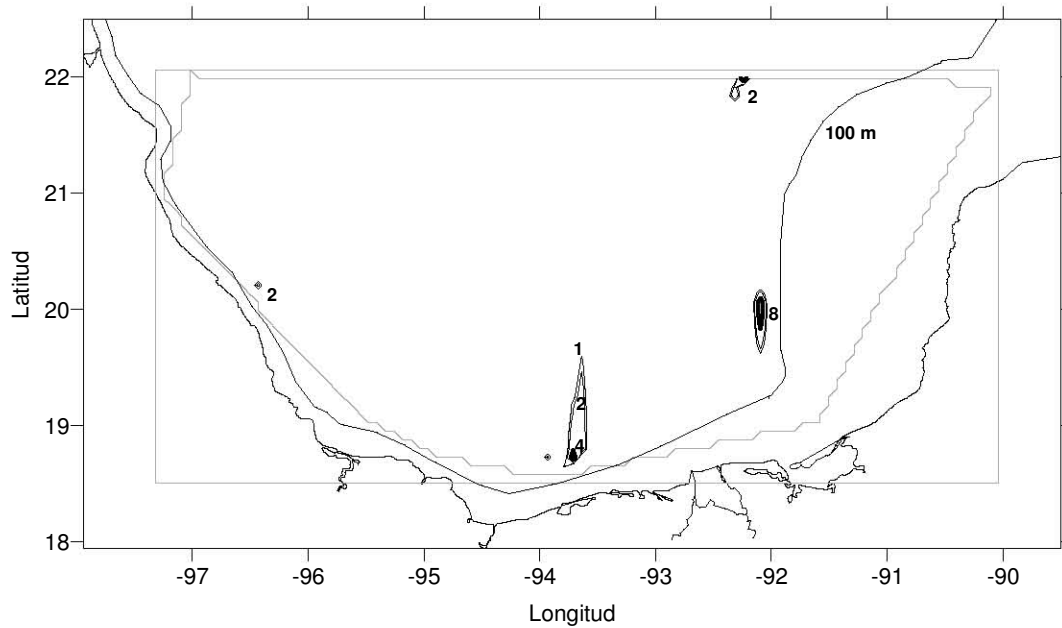


Figura 35. Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 116 m de profundidad.

A 116 m de profundidad la zona NO presentó temperaturas mayores que el resto de la bahía, las zonas con agua más fría fueron las zonas centro y sur. A esta profundidad, en general, existen mayores temperaturas en las zonas costeras, particularmente en las zonas de influencia de la desembocadura de los ríos, que en las zonas oceánicas (Figura 36).

Los valores de temperatura en el estrato de 116 m de profundidad muestran que el intervalo de distribución varía entre  $15.6$  y  $21.0^\circ\text{C}$ , que son los valores reportados en las estaciones 5 y 59, respectivamente. Las estaciones que presentaron los valores más altos de temperatura fueron la 5 y la 4 con registros ligeramente superiores a  $21.0^\circ\text{C}$ . Los valores más bajos se encontraron en las estaciones 60, 62, 73, 50, 72 y 59, con valores inferiores a  $16.0$  y superiores a  $15.6^\circ\text{C}$ .

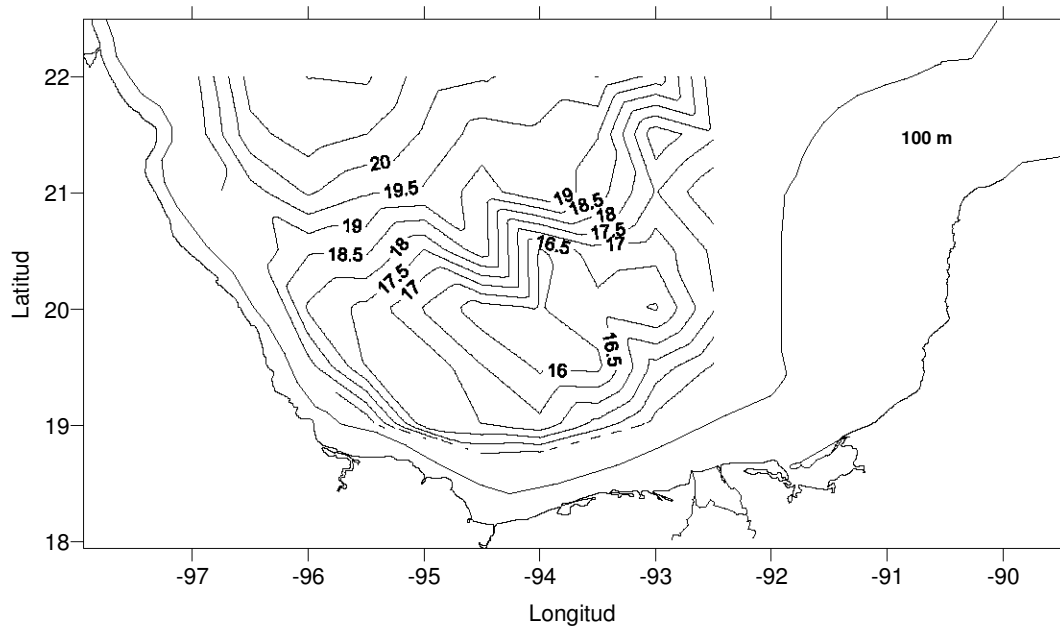


Figura 36. Distribución de la temperatura (°C) a 116 m de profundidad.

Por su parte, las zonas costeras a esta profundidad reportaron valores de salinidad mayores que las zonas oceánicas, particularmente en la zona ubicada frente a la zona de influencia de la descarga del Sistema Grijalva – Usumacinta y al norte de la desembocadura del río Tuxpan. Además, se registró un núcleo de salinidad menor a 36.1 en la zona central de la bahía. Los valores más altos se registraron en la zona oceánica, particularmente en la zona norte (Figura 37).

El intervalo de variación de la salinidad va de 36.0 a 36.3 a esta profundidad. El valor más alto de salinidad se reportó en la estación 10. Las estaciones 10, 24, 3, 35, 53, 38 y 51 registraron los valores más altos, con registros superiores a 36.36. Las estaciones 61, 60, 73, 50, 62, 72 y 59 se encontraron los registros menores, con valores inferiores a 36.1. El valor más bajo se encontró en la estación 59.

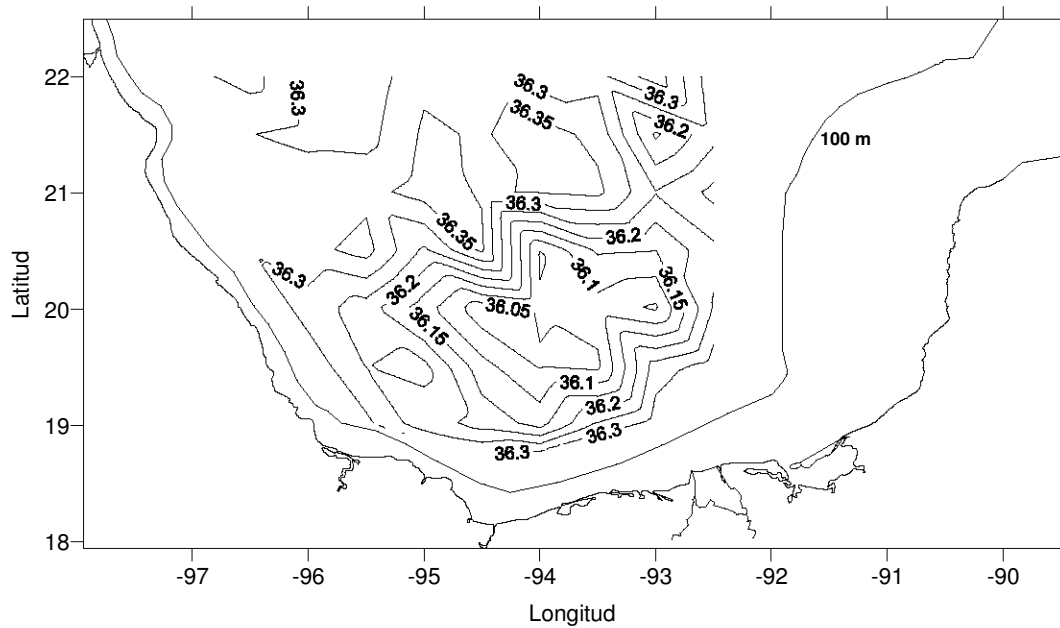


Figura 37. Distribución de la salinidad a 116 m de profundidad.

Los mayores valores de densidad relativa a 116 m de profundidad se registraron en la zona centro y la zona sur, mientras que los menores registros se ubicaron en la zona noroeste de la bahía (Figura 38).

El intervalo de variación de la densidad relativa se ubica entre 25.4 y 26.5  $\text{kg/m}^3$ .

La estación con el valor de densidad más alto a esta profundidad fue la estación 59. Las estaciones con los registros máximos fueron la 59, 72, 50, 73, 60, 62, 58 y 61, todas ellas con valores superiores a 26.5  $\text{kg/m}^3$ .

Los menores valores de densidad relativa se encontraron en las estaciones 29, 3, 27, 28, 4 y 5, con valores inferiores a 25.7  $\text{kg/m}^3$ .

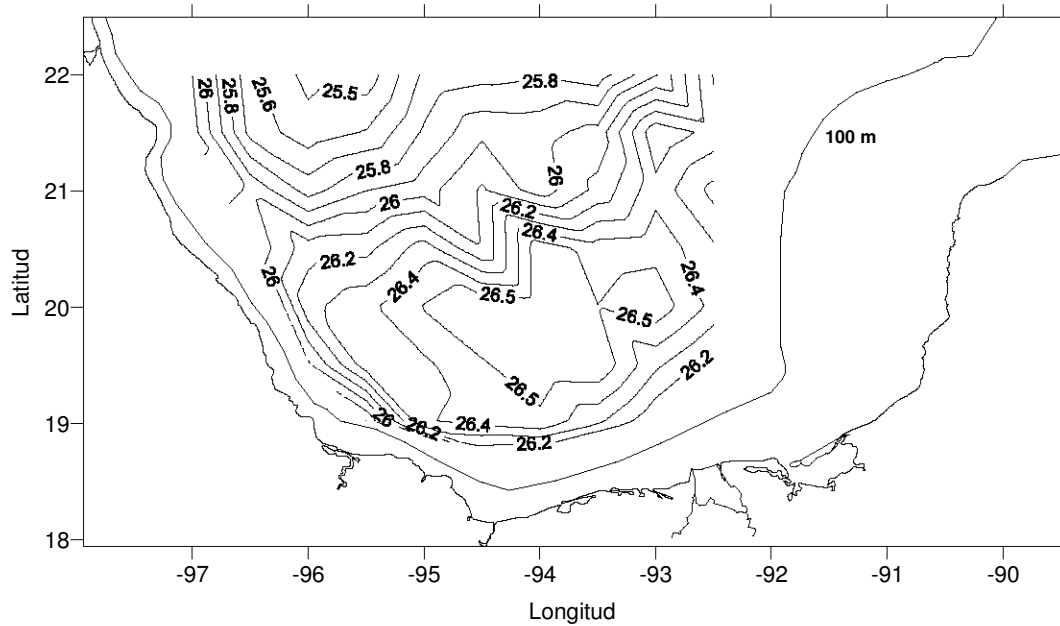


Figura 38. Distribución de la densidad relativa a 116 m de profundidad.

### 5.1.8 Estrato de 132 m de profundidad

El patrón de distribución de la biomasa zooplanctónica a 132 m de profundidad es similar en casi toda la bahía, ya que los valores de biomasa zooplanctónica son considerablemente bajos.

Del primer núcleo sólo se registraron algunos remanentes al este de la Punta del Morro, con valores de 2 a 4 g/100 m<sup>3</sup> (Figura 39).

El segundo núcleo se mantuvo al norte de las Lagunas del Carmen y Machona en Tabasco, con valores de 4 a 8 g/100 m<sup>3</sup> en su parte con mayor concentración y valores de 2 a 4 y 1 a 2 g/100 m<sup>3</sup> en las áreas circundantes, que se extienden hacia el norte.

El tercer núcleo mantuvo su distribución en las cercanías de Cayo Arcas, pero su concentración se redujo, registrando valores de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup>.

El cuarto núcleo casi desapareció a esta profundidad, y sólo quedan pequeñas concentraciones de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup> al oeste de Cayo Arenas.

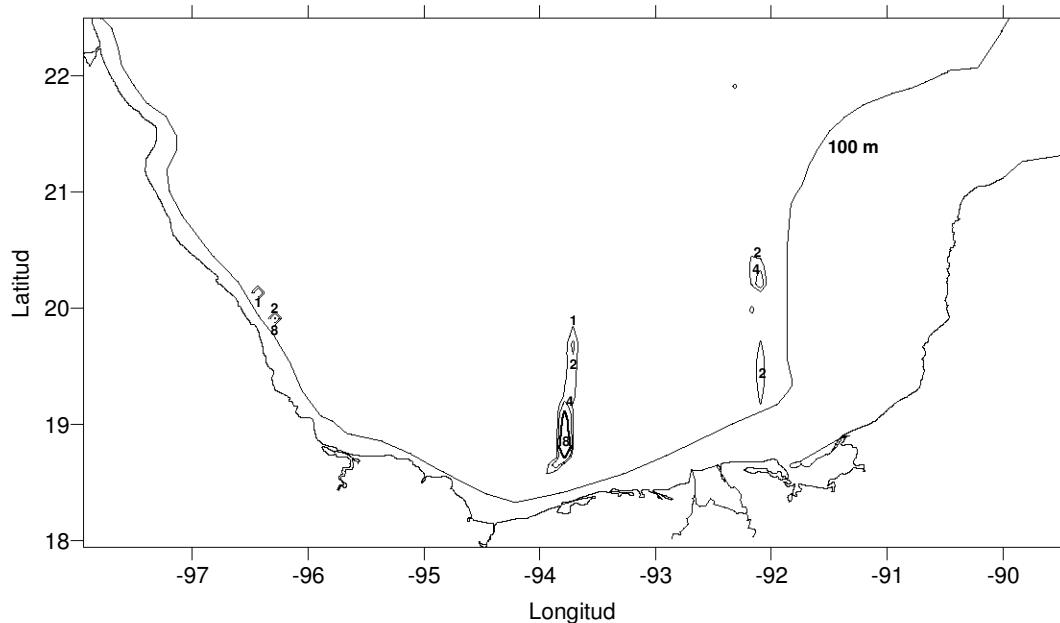


Figura 39. Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m<sup>3</sup>) a 132 m de profundidad.

Respecto a la temperatura, a esta profundidad se mantuvo la misma tendencia de los estratos anteriores. Es decir, los máximos valores de se mantuvieron en la zona NO, mientras que las estaciones con menor temperatura se ubicaron en la parte central de la Bahía (Figura 40).

El intervalo de distribución de la temperatura a 132 m de profundidad varió entre 14.3 y 20.3° C. Los máximos valores de temperatura se registraron en las estaciones 4 y 5, con valores superiores a 20.0° C. Por su parte, las estaciones con menor temperatura fueron la 59 y 61, con registros inferiores a 15.0° C.

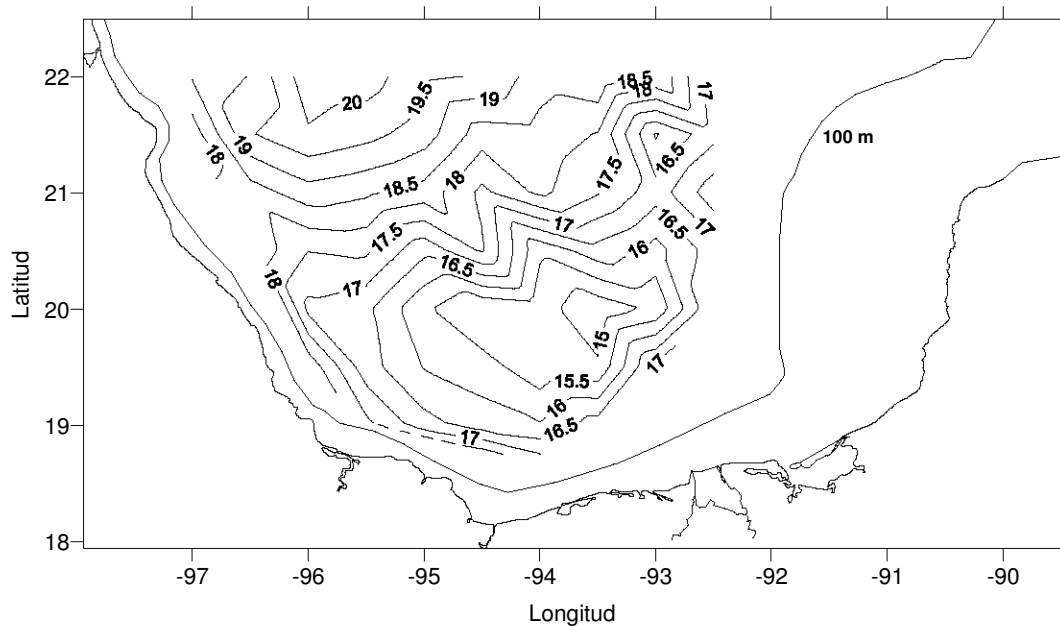


Figura 40. Distribución de la temperatura (°C) a 132 m de profundidad.

En el estrato de 132 m de profundidad, las estaciones con valores mayores de salinidad se ubicaron en la zona oceánica ubicada al norte de la Bahía de Campeche. Los menores valores de salinidad, al igual que en el estrato anterior, registraron en la zona central de la bahía (Figura 41).

El intervalo de variación de la salinidad se distribuyó entre 35.8 y 36.4. Las estaciones con mayor salinidad fueron la estación 6 y 7, con valores superiores a 36.0.

Por su parte, las estaciones con menor salinidad fueron la 58, 73, 60, 62, 72, 59, y la 61, en todas ellas se registraron valores inferiores a 36.0.

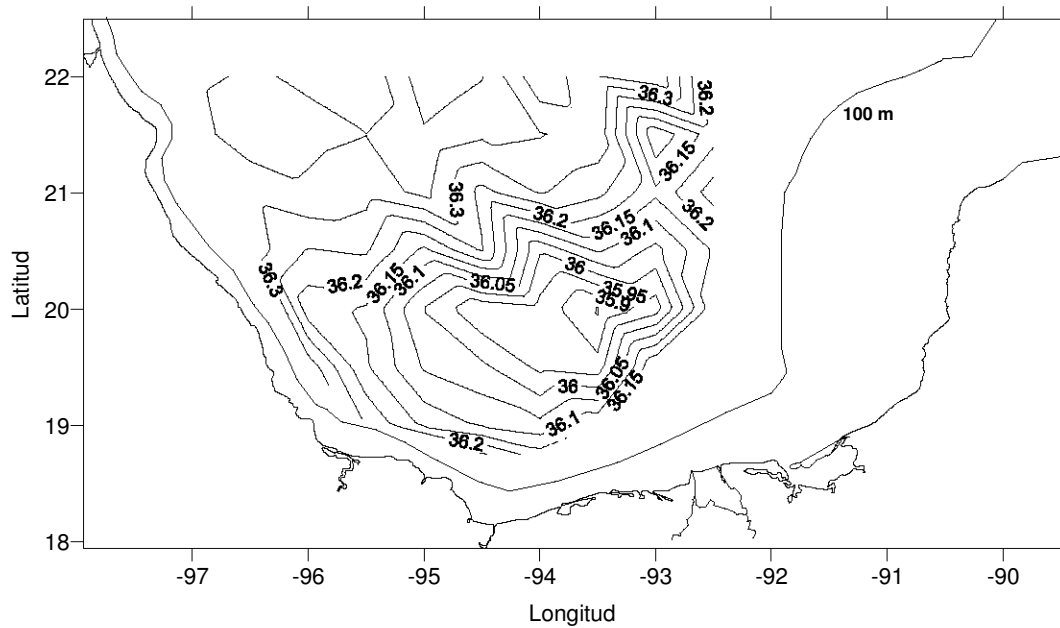


Figura 41. Distribución de la salinidad a 132 m de profundidad.

La distribución de la densidad relativa a 132 m es similar a los estratos superiores: los mayores valores se registraron en la parte central de la bahía y los menores en la zona oceánica ubicada al NO de la Bahía de Campeche (Figura 42).

El intervalo de distribución de la densidad potencial a 132 m de profundidad se encontró entre 25.6 y 26.7  $\text{kg/m}^3$ . Los mayores valores se registraron en las estaciones 61, 59, 72, 62, 73, 60, 50 y 58. El valor máximo se reportó en la estación 61. Por su parte, los valores menores se reportaron en las estaciones 27, 28, 4 y 5, con registros inferiores a 25.9  $\text{kg/m}^3$ . El valor mínimo se reportó en la estación 5.



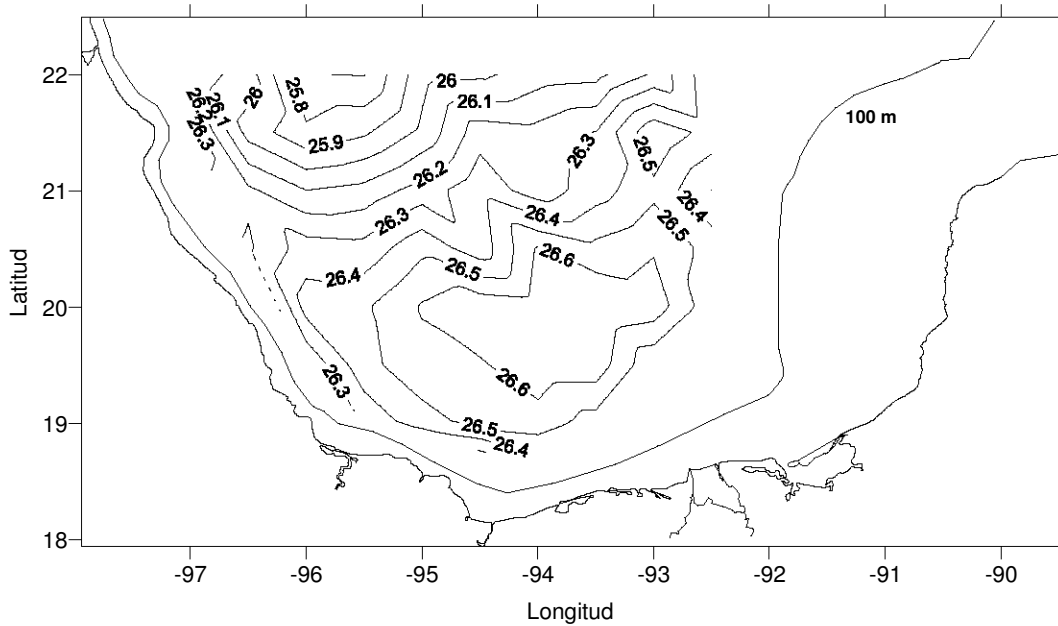


Figura 42. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 132 m de profundidad.

### 5.1.9 Estrato de 148 m de profundidad

Los valores de biomasa zooplanctónica a 148 m de profundidad presentaron la tendencia a homogeneizarse en la bahía, debido a que el intervalo de variación es muy pequeño. En general, los máximos valores reportados a esta profundidad son muy similares con los registrados en los estratos más cercanos a la termoclina (Figura 43).

El primer núcleo registró valores máximos de 2 a 4  $\text{g}/100 \text{ m}^3$  al este del río Nautla, en un área reducida comparada con la distribución del mismo núcleo en los estratos superficiales.

El segundo núcleo también redujo sus valores de concentración, la parte sur del núcleo registró valores de 2 a 4  $\text{g}/100 \text{ m}^3$ , y en la parte norte se registraron valores de 1 a 2  $\text{g}/100 \text{ m}^3$ .

El tercer núcleo registró concentraciones de biomasa zooplanctónica de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup>, en la zona profunda cercana a Cayo Arcas.

El cuarto núcleo resultó casi imperceptible a esta profundidad, excepto por un pequeño remanente al este de Cayo Arenas, con concentraciones de 1 a 2 g/100 m<sup>3</sup>.

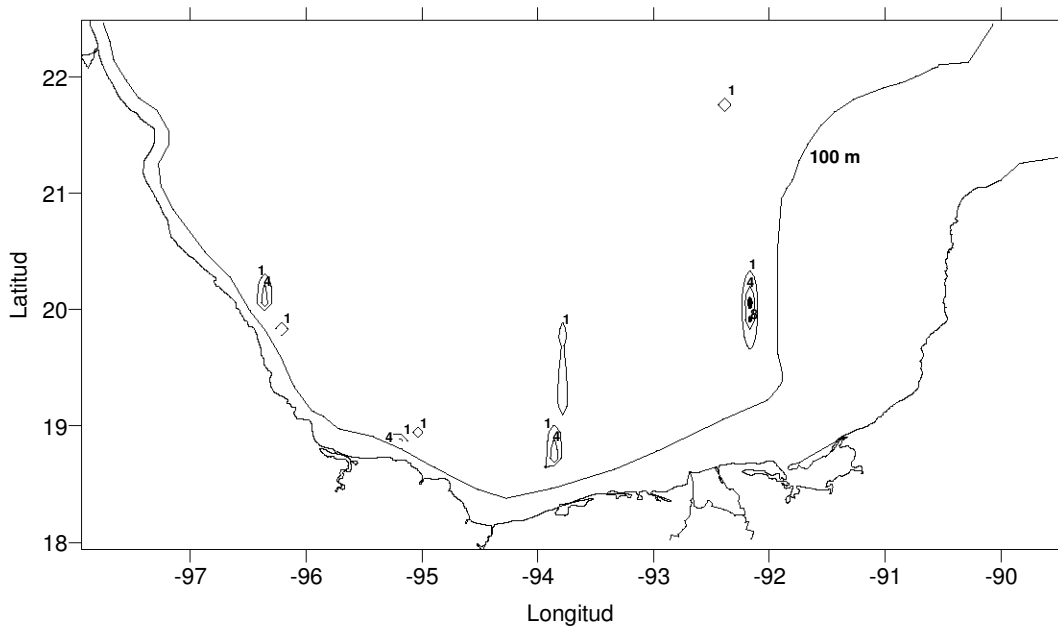


Figura 43. Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m<sup>3</sup>) a 148 m de profundidad.

A 148 m de profundidad la distribución de la temperatura presentó la misma tendencia del estrato superior. Aunque el intervalo de variación es menor, los mayores valores se reportaron en la zona NO, y los valores más bajos se registraron en la zona central de la bahía (Figura 44).

El intervalo de distribución de la temperatura a 148 m de profundidad va de 13.6 a 19.4 °C. El valor más alto se registró en la estación 4. Las estaciones 4, 5 y 27 presentaron valores superiores a 19.0 °C. Los menores valores de temperatura se presentaron en las estaciones 62, 59 y 61. En todas ellas se registraron valores inferiores a 14.5 °C. El valor más bajo se presentó en la estación 61.

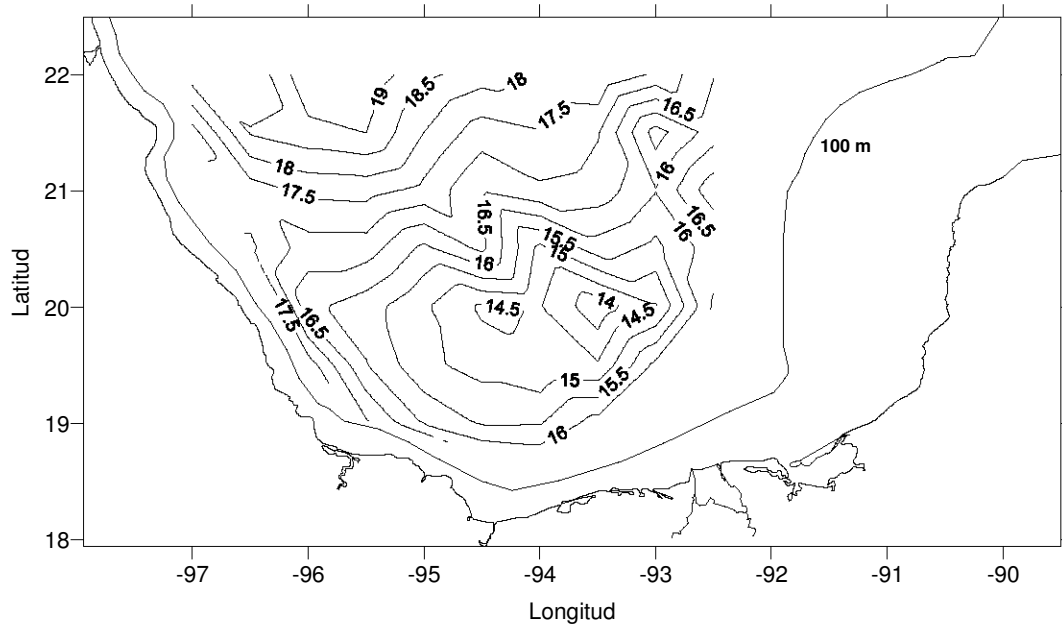


Figura 44. Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 148 m de profundidad.

La salinidad a 148 m de profundidad también presentó la misma tendencia de los estratos ubicados a menor profundidad, ya que registró sus valores más altos en la zona NO, y los más bajos en la zona central de la Bahía de Campeche (Figura 45).

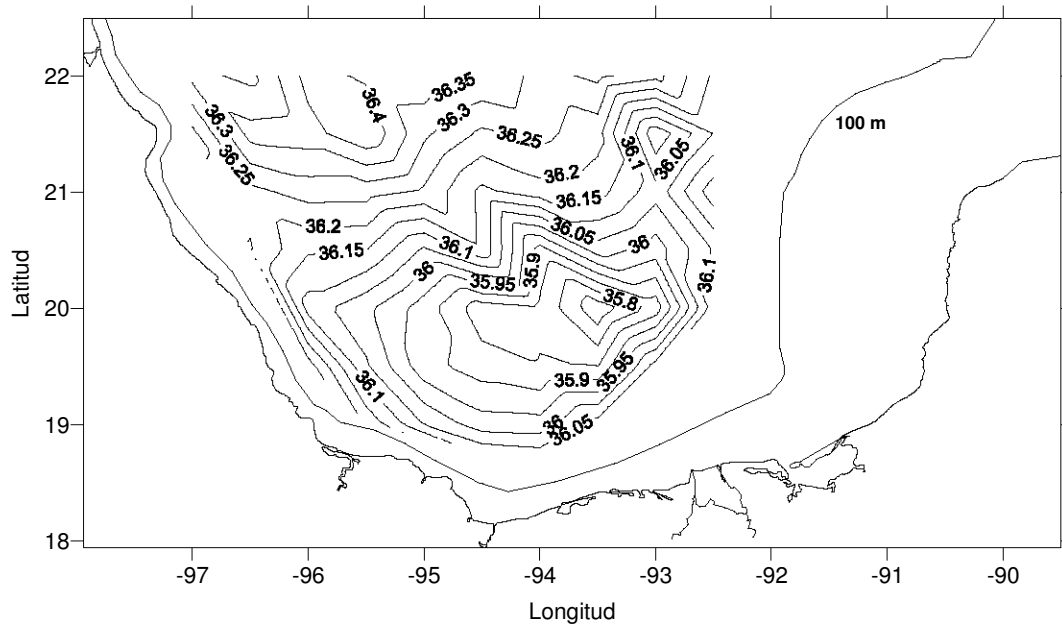


Figura 45. Distribución de la salinidad a 148 m de profundidad.

De la misma manera que la temperatura y la salinidad a 148 m de profundidad, la distribución de la densidad relativa es similar a los estratos superiores: Los valores menores se registraron en la zona NO, y los más elevados en la parte central de la bahía (Figura 46).

La densidad relativa a 148 m de profundidad presentó un intervalo de variación de 25.9 a 26.8 kg/m<sup>3</sup>. El máximo valor se registró en la estación 61, mientras que las estaciones 59, 60, 62, 72, y 73 también registraron valores superiores a 26.7 kg/m<sup>3</sup>. Los valores menores se encontraron en las estaciones 7, 2, 29, 6, 27, 28, 4 y 5. En todas ellas los registros fueron inferiores a 26.2 kg/m<sup>3</sup>. El valor mínimo de densidad potencial a esta profundidad se registró en la estación 5.

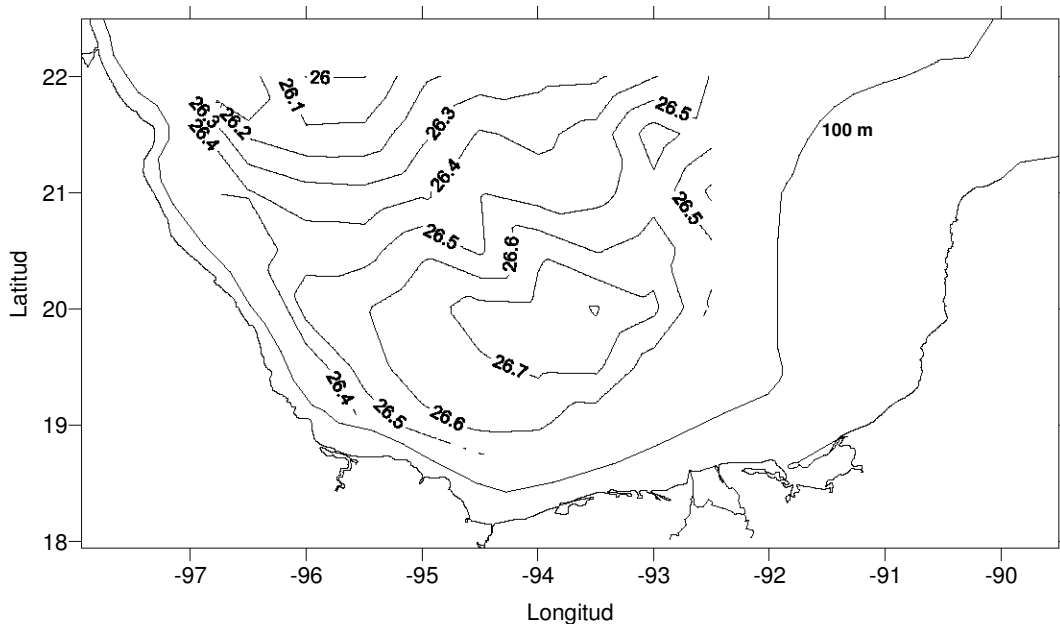


Figura 46. Distribución de la densidad relativa (kg/m<sup>3</sup>) a 148 m de profundidad.

#### 5.1.10 Estrato de 164 m de profundidad

A esta profundidad del primer, tercer y cuarto núcleos sólo se registraron remanentes con valores de 1 a 2 g/100 m<sup>3</sup>. Únicamente el segundo núcleo continuo registrando concentraciones de 2 a 4 g/100m<sup>3</sup>, rodeadas por una zona

circundante con valores de 1 a 2 g/100 m<sup>3</sup> al norte de las Lagunas de Tabasco (Figura 47).

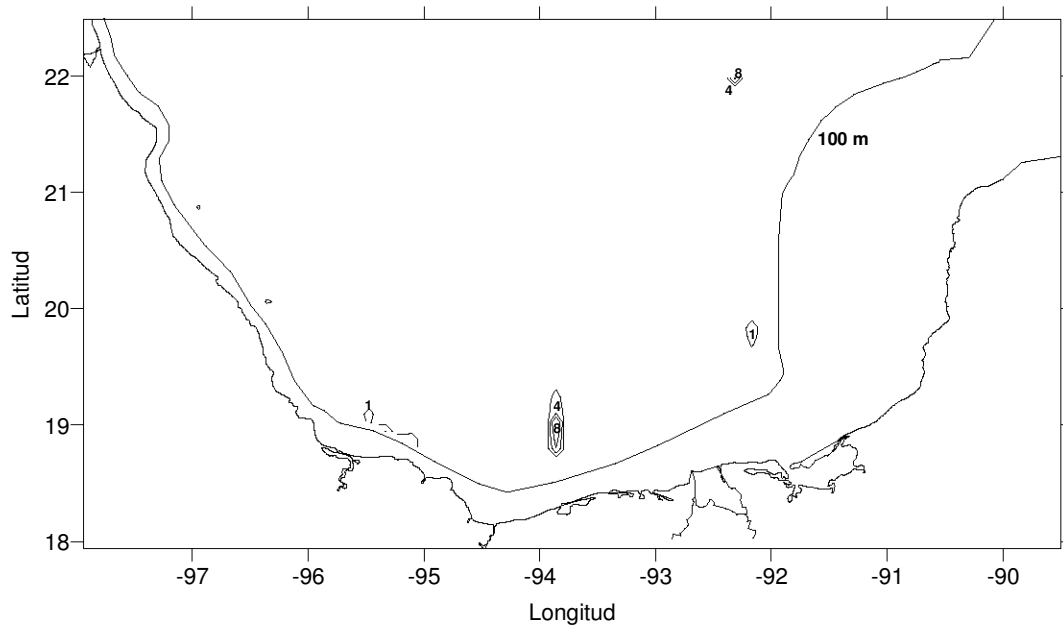


Figura 47. Distribución de biomasa zooplanctónica (g/100m<sup>3</sup>) a 164 m de profundidad.

A 164 m de profundidad, los mayores valores de temperatura se registraron en la zona NO, y los registros más bajos se encontraron en la zona centro y en las estaciones oceánicas de la zona sur colindantes con la zona centro (Figura 48).

El intervalo de temperatura a 164 m de profundidad va de 13.1 a 18.3° C. Los valores más altos se registraron en las estaciones 27, 4 y 5. Todas ellas con registros superiores a 18.0° C. El máximo valor se registró en la estación 27. Los valores más bajos se encontraron en las estaciones 59, 74 y 61, con registros inferiores a 14.0° C. El registro mínimo se reportó en la estación 61.

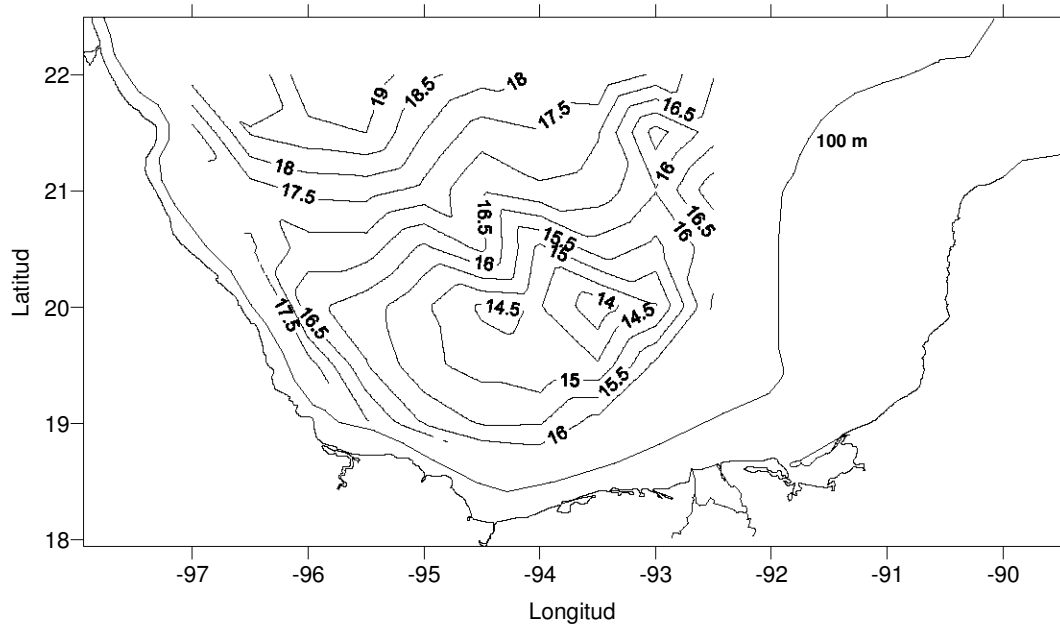


Figura 48. Distribución de la temperatura (°C) a 164 m de profundidad.

La salinidad a 164 m de profundidad registró los mayores valores en las estaciones de la zona NO, y los menores en la zona centro, así como en las estaciones oceánicas de las zonas S, SE y E (Figura 49).

El intervalo de variación de la salinidad a 164 m de profundidad va de 35.6 a 36.3. Los valores más altos se registraron en las estaciones 27, 4 y 5, con registros superiores a 36.3. Es importante hacer notar que en las mismas estaciones coincidieron los valores más altos de salinidad y temperatura. Los registros más bajos se encontraron en las estaciones 62, 73, 60, 72, 59, 74, y 61, con valores inferiores a 35.8. El menor registro se reportó en la estación 61.

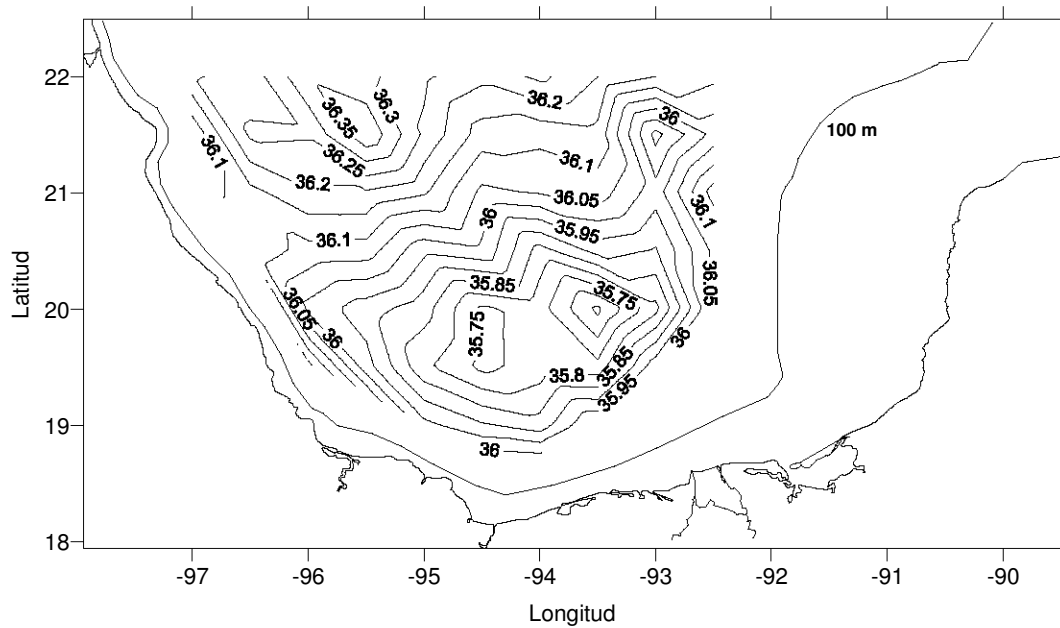


Figura 49. Distribución de la salinidad a 164 m de profundidad.

La densidad relativa a 164 m de profundidad registró los valores más altos en la parte central de la Bahía de Campeche. Las estaciones donde se reportaron los menores valores de densidad relativa fueron las mismas donde se encontraron los valores más altos de temperatura y salinidad (Figura 50).

El intervalo de variación de la densidad relativa a 164 m de profundidad abarcó de 26.2 a 26.8  $\text{kg}/100\text{m}^3$ . El mayor registro se obtuvo en la estación 61. Los mayores valores se reportaron en las estaciones 61, 74 y 59, con registros superiores a 26.7  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Los menores valores se obtuvieron en las estaciones 27, 5 y 4, con valores inferiores a 26.2  $\text{kg}/\text{m}^3$ . El menor valor se registró en la estación 4.

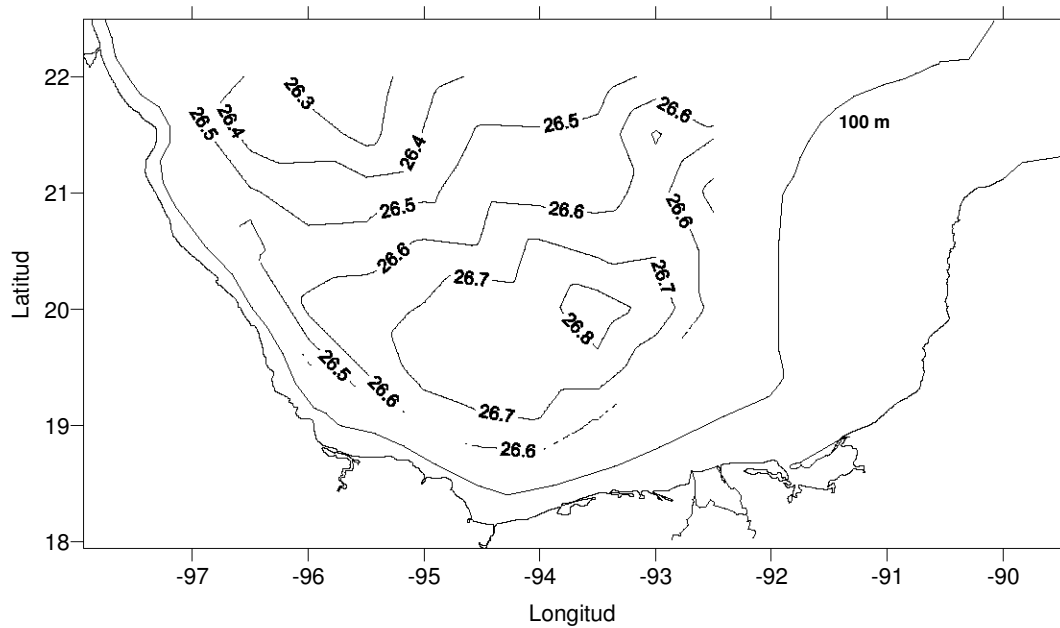


Figura 50. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 164 m de profundidad.

#### 5.1.11 Estrato de 180 m de profundidad

En general, la biomasa zooplanctónica escasea considerablemente a 180 m de profundidad. Sin embargo, existe una zona donde se registraron concentraciones de biomasa zooplanctónica similares a las de estratos superiores (Figura 51).

La zona ubicada al este de la costa desde el río Cazonés hasta el río Actopan registró valores de 1 a 2  $\text{g}/100 \text{ m}^3$  y 2 a 4  $\text{g}/100 \text{ m}^3$ . Dentro de la misma zona también se registró una pequeña concentración dentro del intervalo de 4 a 8  $\text{g}/100 \text{ m}^3$  al este de la Punta del Morro.

Del segundo núcleo se registró un pequeño remanente al norte de la Laguna del Carmen, en Tabasco., con valores máximos ubicados dentro del intervalo de 2 a  $\text{g}/100 \text{ m}^3$ .



De los núcleos tercero y cuarto, no se registraron concentraciones superiores a  $1\text{g}/100\text{m}^3$ .

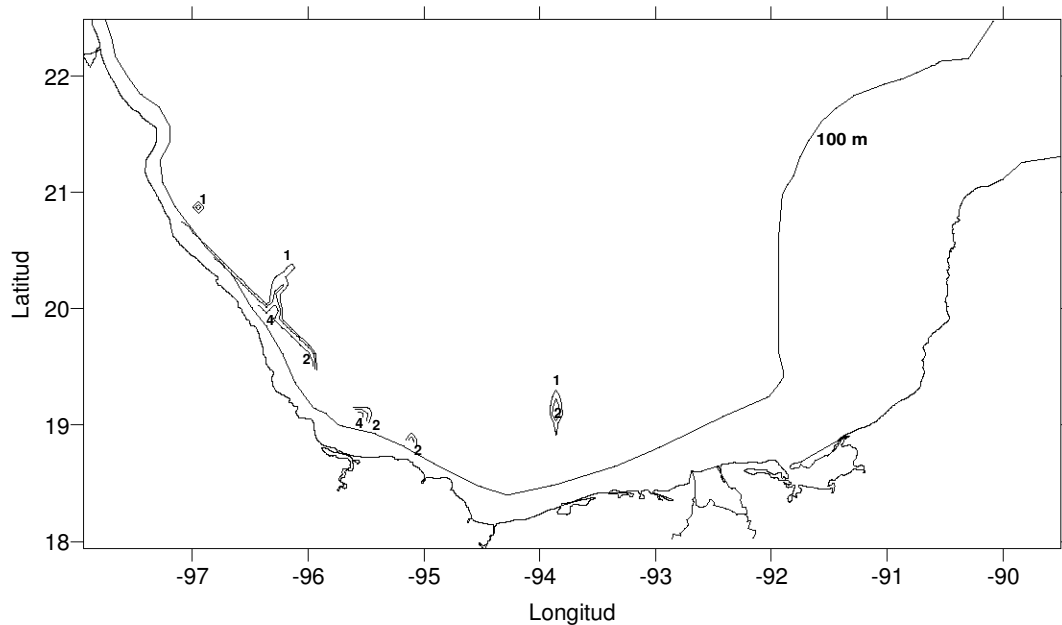


Figura 51. Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 180 m de profundidad.

A 180 m de profundidad continuó la tendencia, encontrada en estratos superiores, de registrar los valores más altos de temperatura en estaciones oceanográficas pertenecientes a la zona NO, mientras que los valores más bajos se ubicaron en la parte central de la bahía (Figura 52).

El intervalo de distribución de temperatura a 180 metros de profundidad varió entre  $12.8$  y  $17.3^\circ\text{C}$ . Las estaciones 27, 4, 5, 3, 29, 28, 6, 26, 40, 7, 8, 34 y 33 registraron los valores más altos, con registros superiores a  $16.2^\circ\text{C}$ . El mayor valor se registró en la estación 27. Los menores valores se registraron en las estaciones 62, 59, 74 y 61, con registros inferiores a  $18^\circ\text{C}$ . El menor valor se obtuvo en la estación 62.

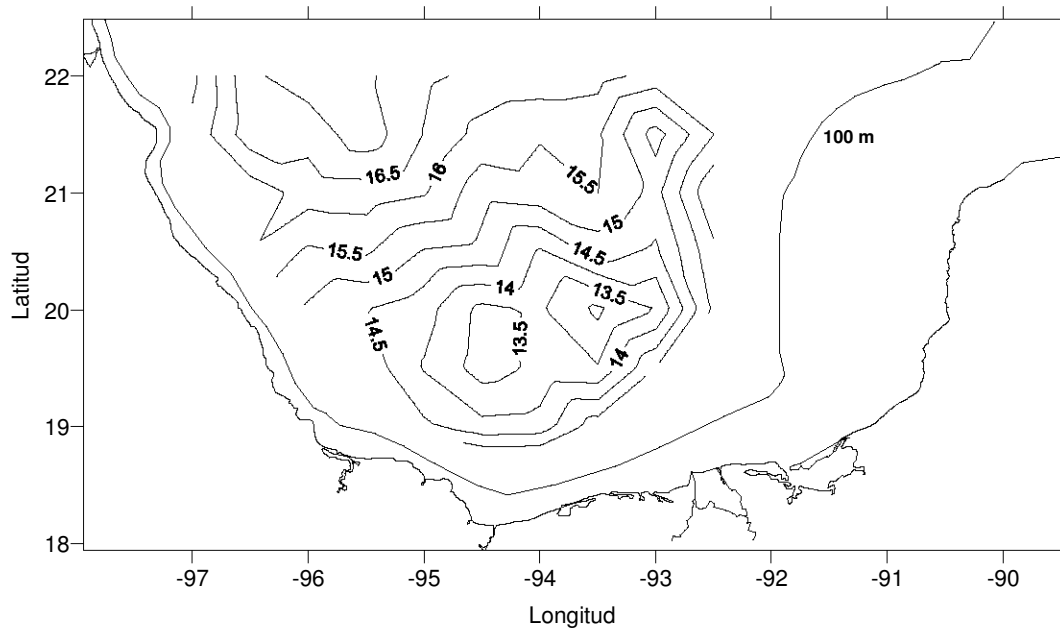


Figura 52. Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 180 m de profundidad.

En el estrato de 180 m de profundidad, los valores mayores de salinidad se reportaron en la zona NO, mientras que los valores menores se siguieron registrando en la zona central de la bahía (Figura 53).

El intervalo de distribución de la salinidad a 180 m de profundidad varió entre 35.59 y 36.24. Los mayores valores se registraron en las estaciones 27, 4, 5, 3, 29, 6, 28, 26, 40, 7, 8, 34, 9 y 33, con registros superiores a 33.0. Son las mismas estaciones donde se reportaron los mayores valores de temperatura en este estrato de profundidad. Respecto a los valores menores, se encontraron en las estaciones 73, 60, 72, 62, 59, 74 y 61, con registros inferiores a 35.70.

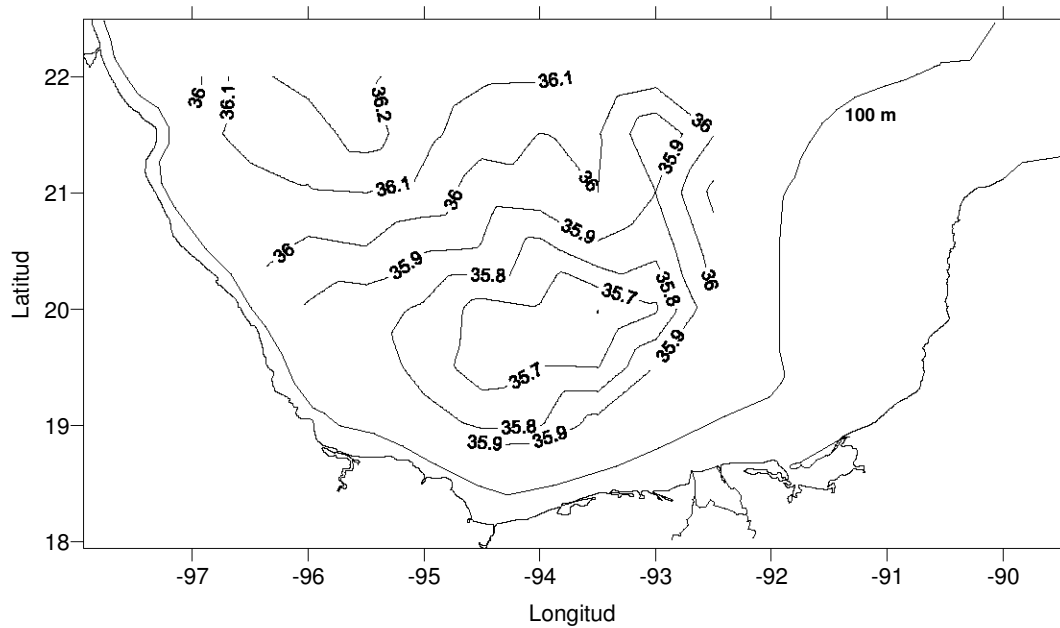


Figura 53. Distribución de la salinidad a 180 m de profundidad.

Los valores más altos de densidad potencial a 180 m de profundidad se encontraron en la parte central de la bahía, mientras que los más bajos se registraron en la zona NO (Figura 54).

El intervalo de distribución de la densidad potencial a 180 m de profundidad fluctúa entre 26.3 y 26.8  $\text{kg/m}^3$ . Las estaciones 61, 74, 59, 62 y 72 reportaron valores superiores a 26.8. El valor más alto se encontró en la estación 61. Los valores inferiores se registraron en las estaciones 28, 29, 3, 5, 4 y 27, con registros menores a 26.5  $\text{kg/m}^3$ . El registro menor se reportó en la estación 27.

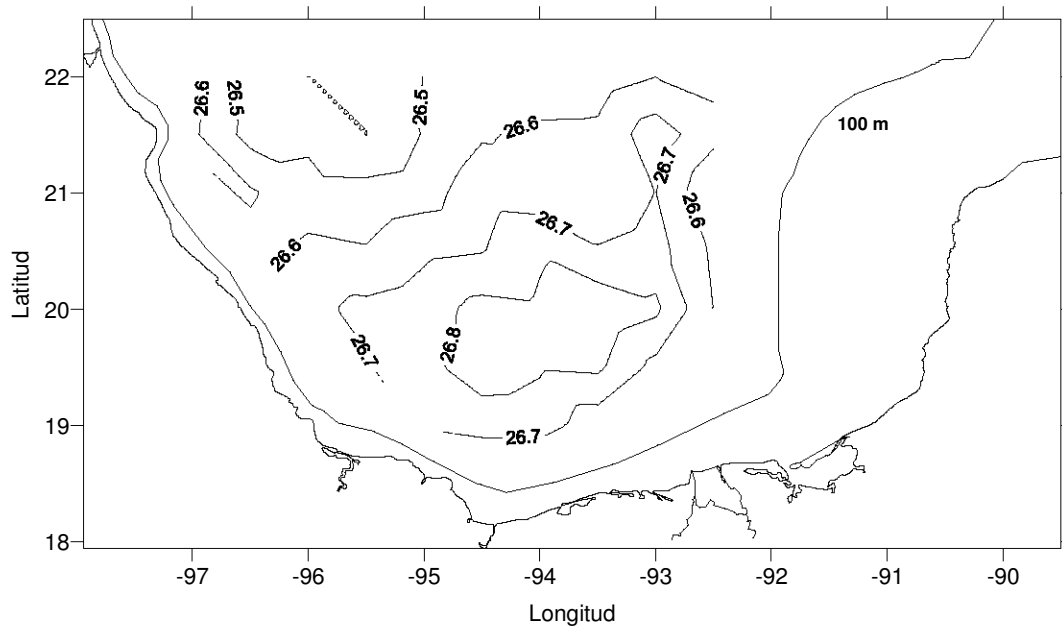


Figura 54. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 180 m de profundidad.

#### 5.1.12 Estrato de 196 m de profundidad

En esta zona se registraron pequeñas concentraciones con valores de 1 a 2  $\text{g}/100\text{m}^3$ . en la zona oceánica al este de Punta del Morro desplazándose hacia el sureste, hasta localizarse la última al norte de Catemaco (Figura 55).

Sin embargo, existieron dos concentraciones de reducida extensión con valores que alcanzaron los 4  $\text{g}/100\text{m}^3$ . La primera en la zona oceánica al este de los ríos Nautla y Tecolutla, y la segunda al norte de la Laguna del Carmen en Tabasco.

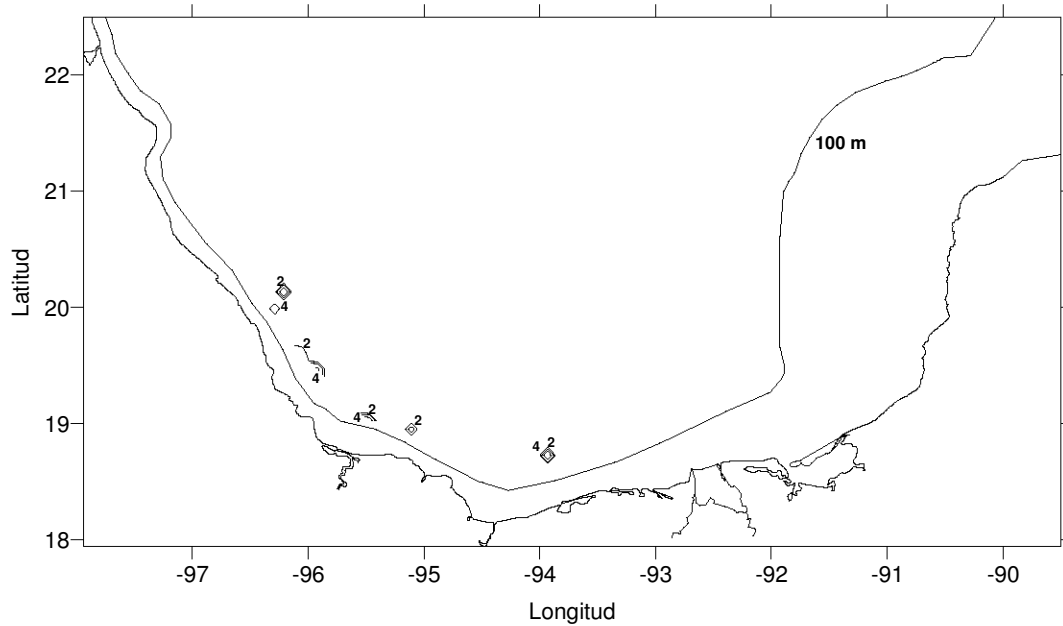


Figura 55. Distribución de biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100\text{m}^3$ ) a 196 m de profundidad.

Al igual que en los estratos anteriores, los mayores registros de temperatura en el estrato de 196 m de profundidad se ubicaron en la zona NO, mientras que los valores más bajos se encontraron en la zona central de la Bahía de Campeche (Figura 56).

El intervalo de distribución de la temperatura en el estrato de 196 m fluctuó entre  $12.5$  y  $16.6^\circ\text{C}$ . Las estaciones 4, 3, 27, 28, 6, 29, 8, 11, 47, 34, 33, 7, y 40 presentaron los valores más altos, con registros superiores a  $15.5^\circ\text{C}$ . El valor más alto se registró en la estación 4. Las estaciones 60, 59, 74 y 61 registraron los valores más pequeños, con registros inferiores a  $13.0^\circ\text{C}$ . El valor más bajo se registró en la estación 60.

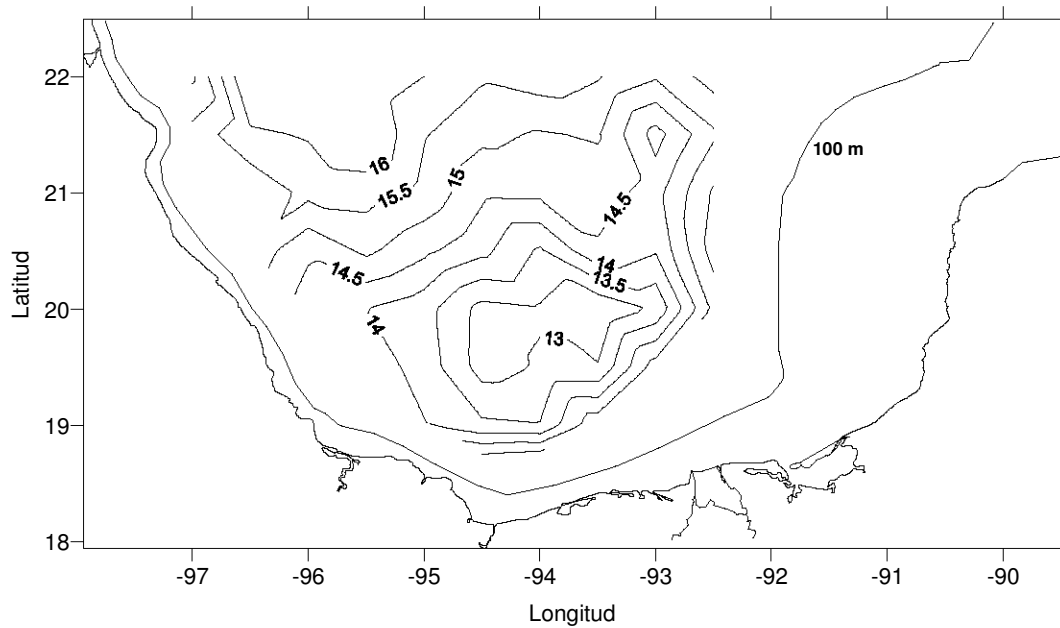


Figura 56. Distribución de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 196 m de profundidad.

De la misma manera que en el estrato inmediato superior, la distribución de la salinidad coincide en las estaciones donde se registraron los mayores valores. Es decir, los valores máximos de temperatura y salinidad se reportaron en las mismas estaciones de la zona NO de la Bahía, mientras que los valores mínimos se reportaron en las estaciones de la zona central de la bahía (Figura 57).

El intervalo de distribución de la salinidad a 196 m de profundidad varió de 35.5 a 36.1. Los mayores valores se registraron en las estaciones 4, 3, 27, 5, 6, 28, 29, 8, 11, 34, 47, 33, 7 y con registros superiores a 36.0. El mayor valor se reportó en la estación 4. Las estaciones 59, 74 y 61 reportaron los valores más bajos, con registros inferiores a 35.6. El menor valor se registró en la estación 61.

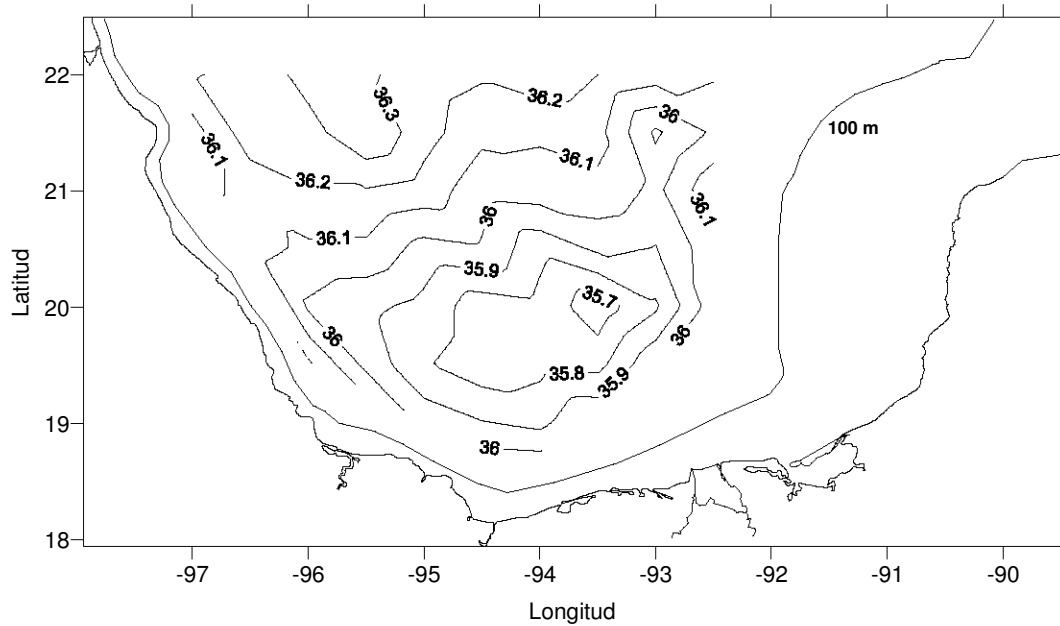


Figura 57. Distribución de la salinidad a 196 m de profundidad.

En el estrato de 196 m, la distribución de la densidad relativa presentó los mayores valores en la zona central de la bahía, y los menores valores se reportaron en las estaciones de la zona NO de la bahía (Figura 58).

El intervalo de distribución de la densidad relativa en el estrato de 196 m de profundidad varió de 26.4 a 26.9  $\text{kg/m}^3$ . Las estaciones 61, 74, 59 y 60, registraron los mayores valores, todos ellos superiores a 26.8  $\text{kg/m}^3$ . El mayor valor se registró en la estación 61. Por su parte, los menores valores se registraron en las estaciones 27, 3 y 4. En estos casos todos los registros fueron inferiores a 26.5  $\text{kg/m}^3$  y el menor valor fue el correspondiente a la estación 4.

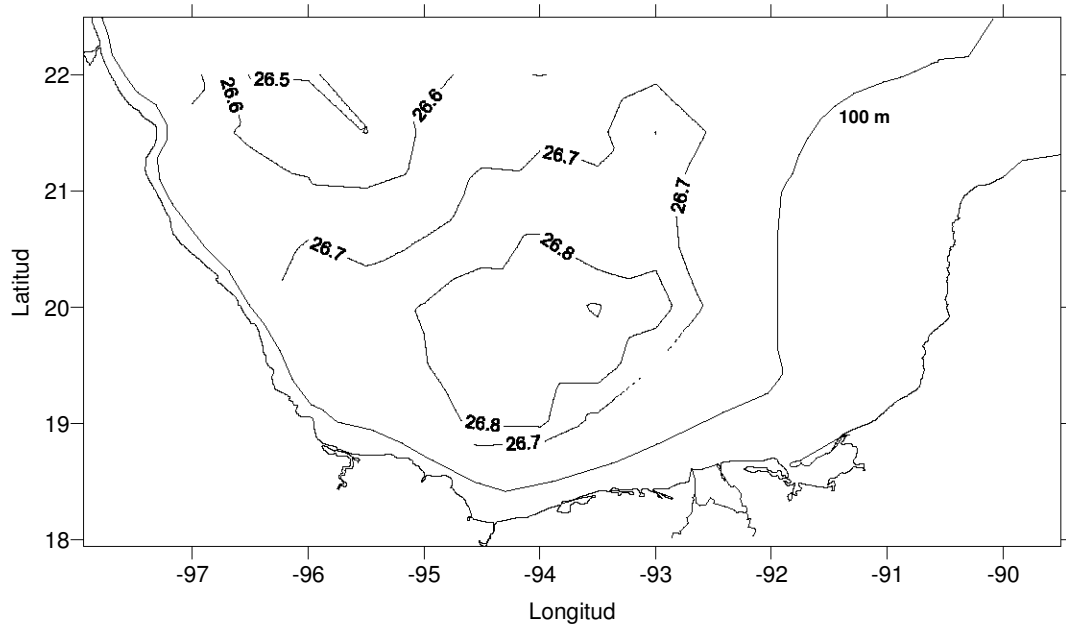


Figura 58. Distribución de la densidad relativa ( $\text{kg/m}^3$ ) a 196 m de profundidad.



## 5.2 Análisis de Factores

### 5.2.1 Matrices de correlación del estrato de 20 m de profundidad

Las matrices de correlación explican la variabilidad de la biomasa zooplanctónica de acuerdo a la variabilidad de la temperatura, la salinidad y la densidad potencial por cada estrato de profundidad.

La densidad potencial es una función de la temperatura y la salinidad. En muchos estratos la variabilidad de la densidad está correlacionada con la de la temperatura en más del 98%, con excepción del estrato de 20 m, que está correlacionada en 96%.

En la Bahía de Campeche, a 20 m de profundidad (tabla 4), la variabilidad de la biomasa zooplanctónica se considera que es resultado de la variabilidad de la temperatura en un 73.6%, y de la variabilidad de la salinidad en 26.2%.

Si se explicara la variabilidad de la biomasa en términos de la variabilidad de la densidad relativa, se explicaría un 70.8%. Sin embargo, a 20 m de profundidad la variabilidad de la densidad potencial está correlacionada en 96 % con la variabilidad de la temperatura. Lo cuál explica el valor de correlación tan similar entre la biomasa zooplanctónica con la densidad relativa y entre la biomasa zooplanctónica con la temperatura.

**Tabla 4.** Matriz de correlación a 20 m de profundidad.

20 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	- 0.736	- 0.262	0.708
Temperatura	-0.736	1.000	0.351	-0.960
Salinidad	-0.262	0.351	1.000	-0.078
Densidad	0.708	-0.960	-0.078	1.000

### 5.2.2 Matrices de correlación del estrato de 36 m de profundidad

A 36 m de profundidad, la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en un 30.5%, y de la variabilidad de la salinidad en 21.8%.

**Tabla 5.** Matriz de correlación a 36 m de profundidad.

36 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	-0.305	-0.218	0.300
Temperatura	-0.305	1.000	0.711	-0.995
Salinidad	-0.218	0.711	1.000	-0.637
Densidad	0.300	-0.995	-0.637	1.000

### 5.2.3 Matrices de correlación del estrato de 52 m de profundidad

A 52 m de profundidad, la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 12.8 %, y de la variabilidad de la salinidad en 0.85 % (Tabla 6). Este valor es uno de los más bajos, lo cuál se debe probablemente a la cercanía con la termoclina.

**Tabla 6.** Matriz de correlación a 52 m de profundidad.

52 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	-.128	0.85	0.135
Temperatura	-.128	1.000	-0.183	-0.998
Salinidad	0.85	-0.183	1.000	0.240
Densidad	0.135	-0.998	0.240	1.000

### 5.2.4 Matrices de correlación del estrato de 68 m de profundidad

A 68 m de profundidad, la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 85 %, y de la variabilidad de la salinidad en 0.77 % (Tabla 7).

**Tabla 7.** Matriz de correlación a 68 m de profundidad

68 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	0.85	-0.077	-0.85
Temperatura	0.85	1.000	-0.226	-0.998
Salinidad	-0.077	-0.226	1.000	0.288
Densidad	-0.85	-0.998	0.288	1.000

### 5.2.5 Matrices de correlación del estrato de 84 m de profundidad

A 84 m de profundidad, se considera que la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 17.9 %, y de la variabilidad de la salinidad en 11.1 %.

**Tabla 8.** Matriz de correlación a 84 m de profundidad.

84 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	0.179	-0.111	-0.179
Temperatura	0.179	1.000	-0.327	-0.997
Salinidad	-0.111	-0.327	1.000	0.396
Densidad	-0.179	-0.997	0.396	1.000

### 5.2.6 Matrices de correlación del estrato de 100 m de profundidad

A 100 m de profundidad, la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 13.5 % y de la variabilidad de la salinidad en 0.48 %.

Si se explicara la variabilidad de la biomasa en términos de la variabilidad de la densidad potencial, se explicaría en 13.3 %. Sin embargo, a 100 m de profundidad la variabilidad de la densidad potencial está correlacionada en 99.4 % con la variabilidad de la temperatura

**Tabla 9.** Matriz de correlación a 100 m de profundidad.

100 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	0.135	0.48	-0.133
Temperatura	0.135	1.000	0.273	-0.994
Salinidad	0.48	0.273	1.000	-0.168
Densidad	-0.133	-0.994	-0.168	1.000

### 5.2.7 Matrices de correlación del estrato de 116 m de profundidad

A 116 m de profundidad, se considera que la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 9.5 %, y de la variabilidad de la salinidad en 4.3 %.

**Tabla 10.** Matriz de correlación a 116 m de profundidad.

116 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	0.095	-0.043	-0.123
Temperatura	0.095	1.000	0.765	-0.986
Salinidad	-0.043	0.765	1.000	-0.648
Densidad	-0.123	-0.986	-0.648	1.000

### 5.2.8 Matrices de correlación del estrato de 132 m de profundidad

A 132 m de profundidad, se considera que la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 9.5 %, y de la variabilidad de la salinidad en 4.3 %.

**Tabla 11.** Matriz de correlación a 132 m de profundidad.

132 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	0.095	-0.043	-0.123
Temperatura	0.095	1.000	0.765	-0.986
Salinidad	-0.043	0.765	1.000	-0.648
Densidad	-0.123	-0.986	-0.648	1.000

### 5.2.9 Matrices de correlación del estrato de 148 m de profundidad

A 148 m de profundidad, se considera que la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 7 %, y de la variabilidad de la salinidad en 2.3 %.

**Tabla 12.** Matriz de correlación a 148 m de profundidad.

148 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	-0.007	-0.023	-0.006
Temperatura	-0.007	1.000	0.994	-0.985
Salinidad	-0.023	0.994	1.000	-0.962
Densidad	-0.006	-0.985	-0.962	1.000

### 5.2.10 Matrices de correlación del estrato de 164 m de profundidad

A 164 m de profundidad, se considera que la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 1.4 %, y de la variabilidad de la salinidad en 2.8 %.

**Tabla 13.** Matriz de correlación a 164 m de profundidad.

164 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	0.014	0.028	0.007
Temperatura	0.014	1.000	0.997	-0.994
Salinidad	0.028	0.997	1.000	-0.984
Densidad	0.007	-0.994	-0.984	1.000

### 5.2.11 Matrices de correlación del estrato de 180 m de profundidad

A 180 m de profundidad, se considera que la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 6.6 %, y de la variabilidad de la salinidad en 7.4 %.

**Tabla 14.** Matriz de correlación a 180 m de profundidad.

180 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	0.066	0.074	-0.052
Temperatura	0.066	1.000	0.998	-0.995
Salinidad	0.074	0.998	1.000	-0.988
Densidad	-0.052	-0.995	-0.988	1.000

### 5.2.12 Matrices de correlación del estrato de 196 m de profundidad

A 196 m de profundidad, se considera que la variabilidad de la biomasa zooplanctónica es resultado de la variabilidad de la temperatura en 16.8 %, y de la variabilidad de la salinidad en 15.6 %.

**Tabla 15.** Matriz de correlación a 196 m de profundidad.

196 m	Biomasa	Temperatura	Salinidad	Densidad
Biomasa	1.000	0.168	0.156	-0.184
Temperatura	0.168	1.000	0.999	-0.996
Salinidad	0.156	0.999	1.000	-0.992
Densidad	-0.184	-0.996	-0.992	1.000

### 5.3 Análisis de agrupamientos

#### 5.3.1 Análisis de agrupamientos (cluster), para 20 m de profundidad

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 59) para el estrato de 20 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados en las estaciones de muestreo, asociándolos en 2 grandes grupos: El primero está formado por las estaciones 84, 18 y 17. El segundo comprende el resto de las estaciones, agrupándolas en 3 subgrupos. El primero de estos subgrupos está representado por la estación 64, el segundo por la 87. La estación 47 se encuentra aislada, y el tercer subgrupo se encuentra subdividido en 3 partes, la primera de ellas incluye las estaciones 93, 90, 88, 89, 78, 60, 45. La segunda parte comprende las estaciones 65, 46, 76, 61, 77, 62, 56, 79, 55, 63, 54, 75, 53, 23, 14, 13, 52, 37, 36, 27, 26, 34, 35, 30, 21, 8, 6, 4, 33, 12, 38, 10, 7, 29 y 3. Por último, la tercera parte incluye las estaciones 11 y 2.

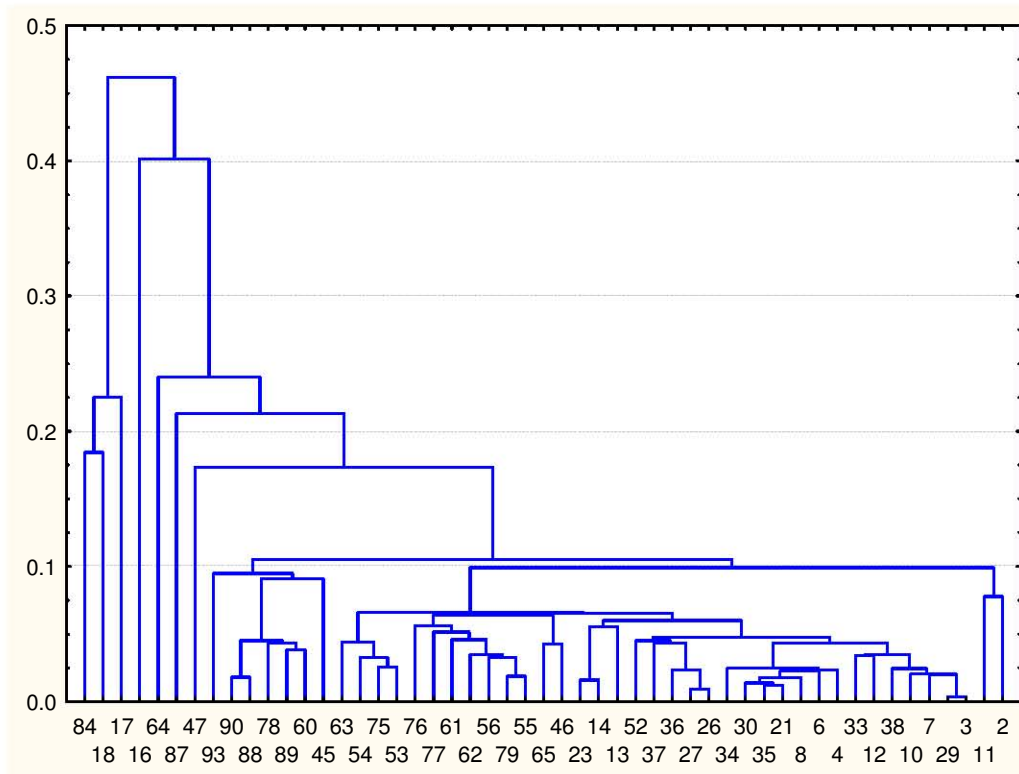


Figura 59. Análisis de agrupamientos para el estrato de 20 m.

### 5.3.2 Análisis de agrupamientos (cluster), para 36 m de profundidad

Los resultados del análisis del análisis de agrupamientos para el estrato de 36 metros de profundidad (Figura 60), muestran las estaciones de muestreo de acuerdo a los valores de biomasa zooplanctónica, temperatura y salinidad registrados en cada una de ellas. En la gráfica se observan las estaciones 46, 90 y 64 separadas del resto de las estaciones. Las demás estaciones oceanográficas se agrupan en un grupo muy grande subdividido en 4 subgrupos más pequeños. El primero está constituido por las estaciones 61, 62 y 47. El segundo subgrupo incluye las estaciones 89, 56, 55, 76, 75, 29, 13, 37, 26, 6, 10, 34, 36, 21, 11, 38, 33, 35, 12, 8, 7 y 4. El tercer subgrupo está formado por las estaciones 79, 30, 77, 53, 14, 54, 27, 52 y 3. Finalmente el cuarto subgrupo está constituido por las estaciones 78, 93, 88, 60 y 2.

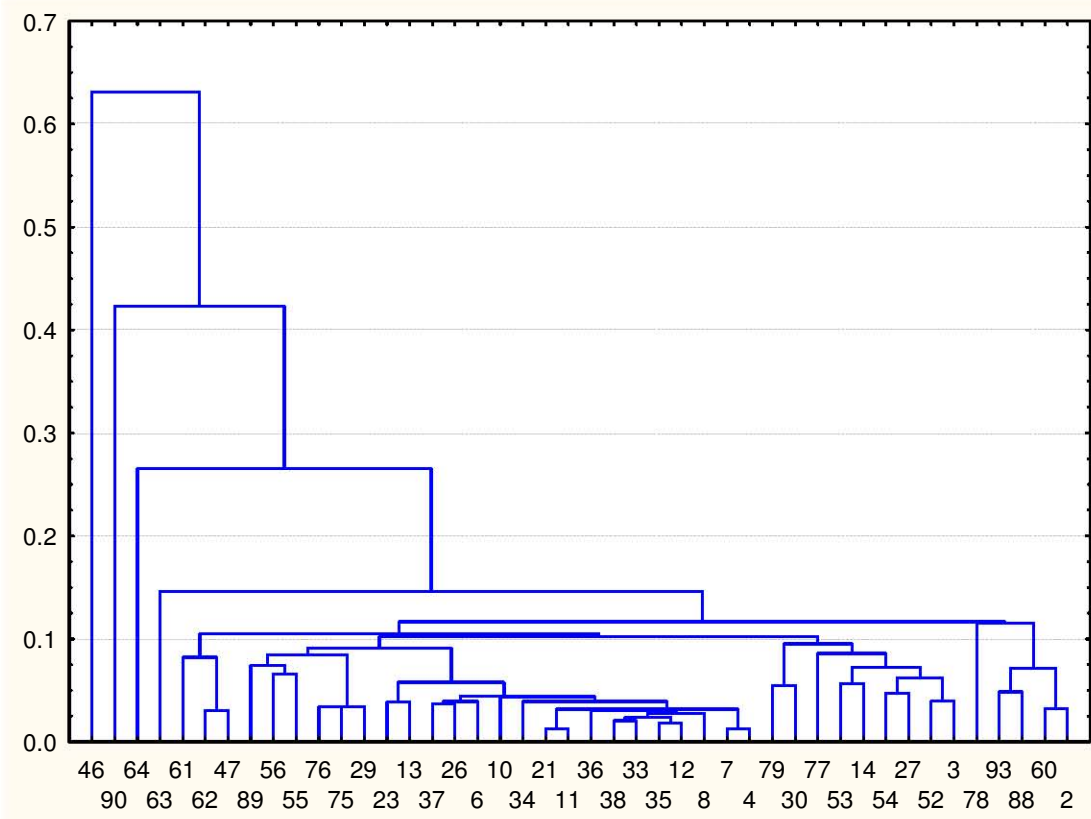


Figura 60. Análisis de agrupamientos para el estrato de 36 m.



### 5.3.3 Análisis de agrupamientos (cluster), para 52 m de profundidad

Los resultados del análisis de agrupamientos para el estrato de 52 metros de profundidad (Figura 61), muestran las estaciones de muestreo de acuerdo a la similitud de los valores de biomasa zooplanctónica, temperatura, salinidad registrados en cada una de ellas. En el estrato de 52 m de profundidad se asocian en tres grupos. Las estaciones 62 y 63 quedaron excluidas de estos grupos. El primer grupo lo constituyen las estaciones 37 y 6. El segundo grupo incluye las estaciones 64, 61, 60 y 47. El tercer grupo comprende las estaciones 75, 53, 52, 89, 93, 79, 78, 77, 88, 76 y 12. El cuarto grupo comprende las estaciones 10, 34, 7, 36, 38, 8, 56, 33, 4, 35, 29, 11, 54, 30, 55 y 3. por último, la estación 2 también se encuentra aislada de las demás. Sin embargo, la distancia euclidiana que divide a las estaciones 63 y 62 de las demás únicamente es inferior de 0.17.

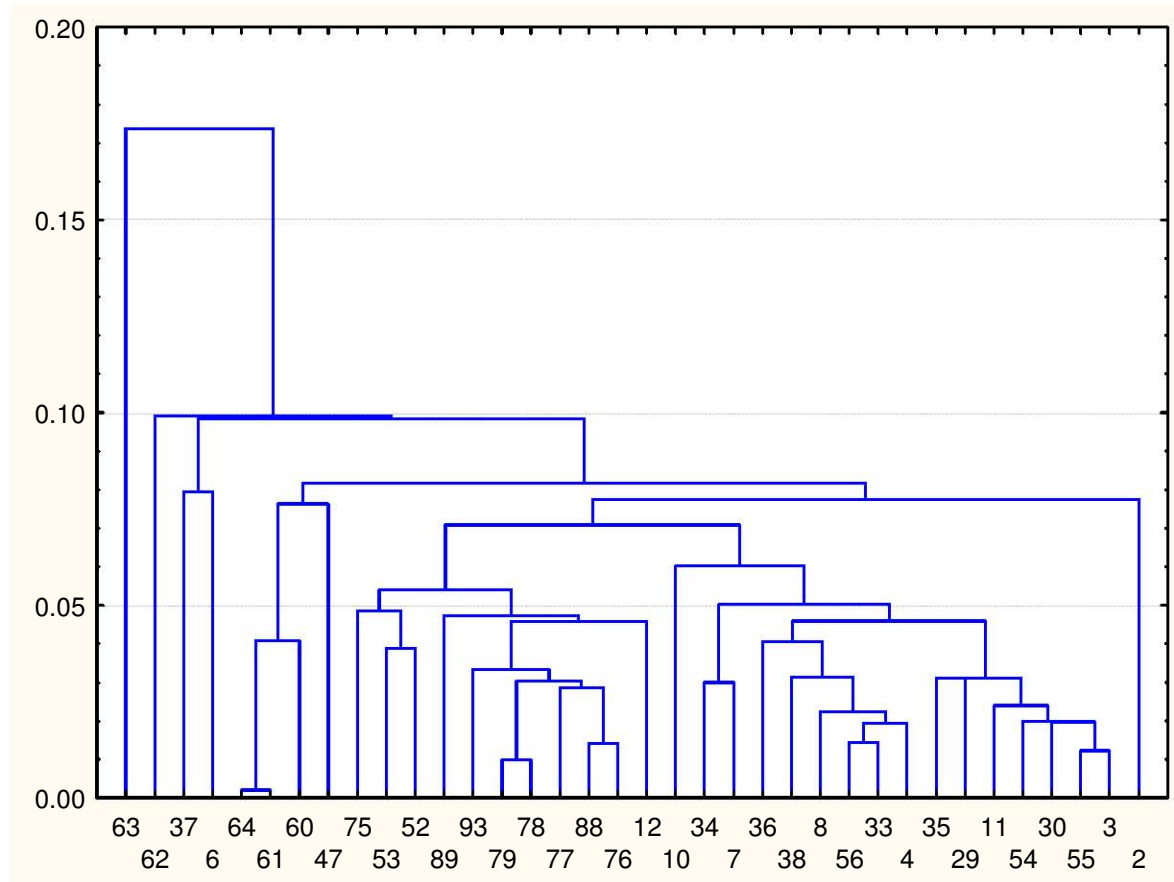


Figura 61. Análisis de agrupamientos para el estrato de 52 m.

### 5.3.4 Análisis de agrupamientos (cluster), para 68 m de profundidad

Los resultados del análisis del análisis de agrupamientos para el estrato de 68 metros de profundidad (Figura 62), muestran las estaciones de muestreo de acuerdo a la similitud de los valores de biomasa zooplanctónica, temperatura, salinidad registrados en cada una de ellas.

La estación 62 es la única que se separa de las demás por una distancia euclidiana superior a 0.14. Las estaciones 37, 63, 60, 47, y 88 se separan del resto de las estaciones por una distancia euclidiana superior a 0.1. Las estaciones 61, 36, 89, 78, 55, 30, 38, 54, 26, 23, 35, 8, 27, 7, 4, 34, 6, 10, 33 y 3, forman un subgrupo con distancia euclidiana inferior a 0.6, con respecto a las estaciones 21, 53, 11, 56, 77, 76, 93, 75, 52, 79 y 2.

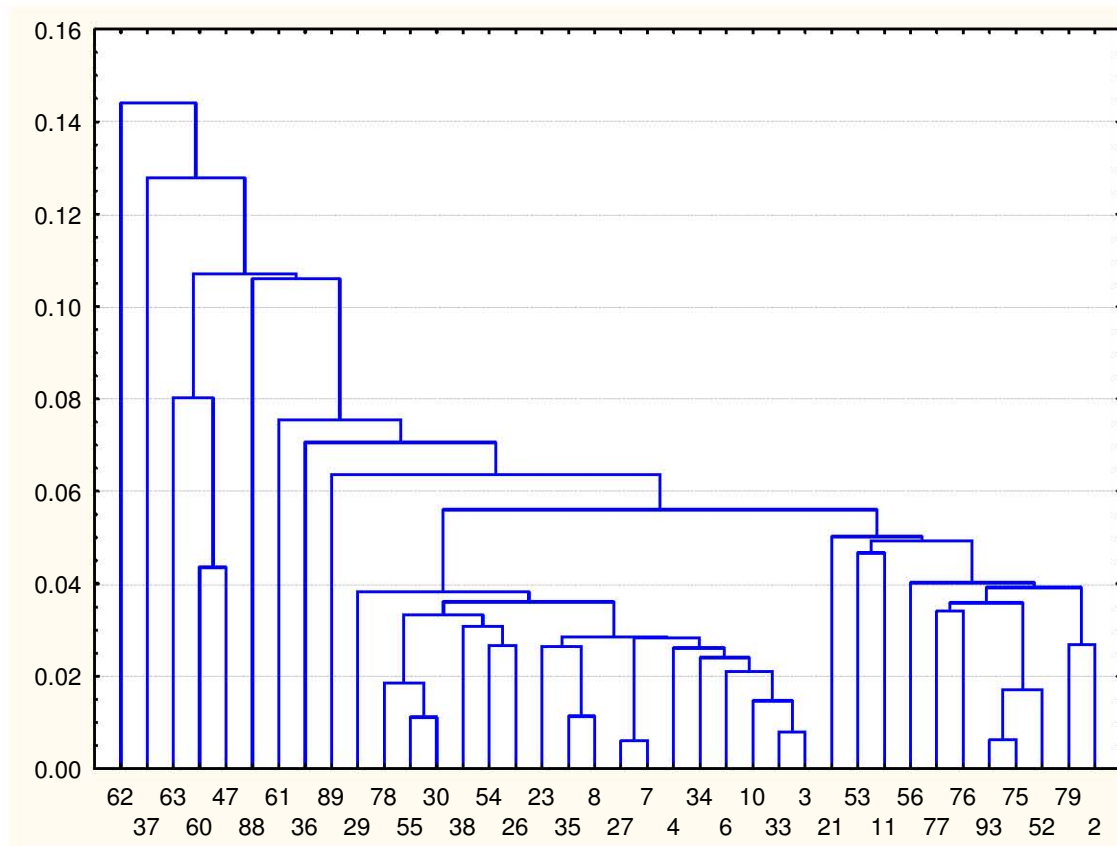


Figura 62. Análisis de agrupamientos para el estrato de 68 m.

### 5.3.5 Análisis de agrupamientos (cluster), para 84 m de profundidad

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 63) para el estrato de 84 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados, asociándolos en 3 grandes grupos: El primero está formado por las estaciones 62, 63 y 37. El segundo comprende el resto de las estaciones, agrupándolas en 2 subgrupos. El primero representado por las estaciones 60, 61, 47, 52, 76, 75, 21, 11, y el tercer subgrupo se encuentra subdividido en 3 partes, la primera incluye las estación 79. La segunda parte comprende las estaciones 78, 89, 77, 38, 23, 26, 55, 8, 35, 10, 36, 34, 7, 29, 33, 6, 27, 4, 3. Por último, la tercera parte incluye las estaciones 54, 30, 53, 93, 56 y 2.

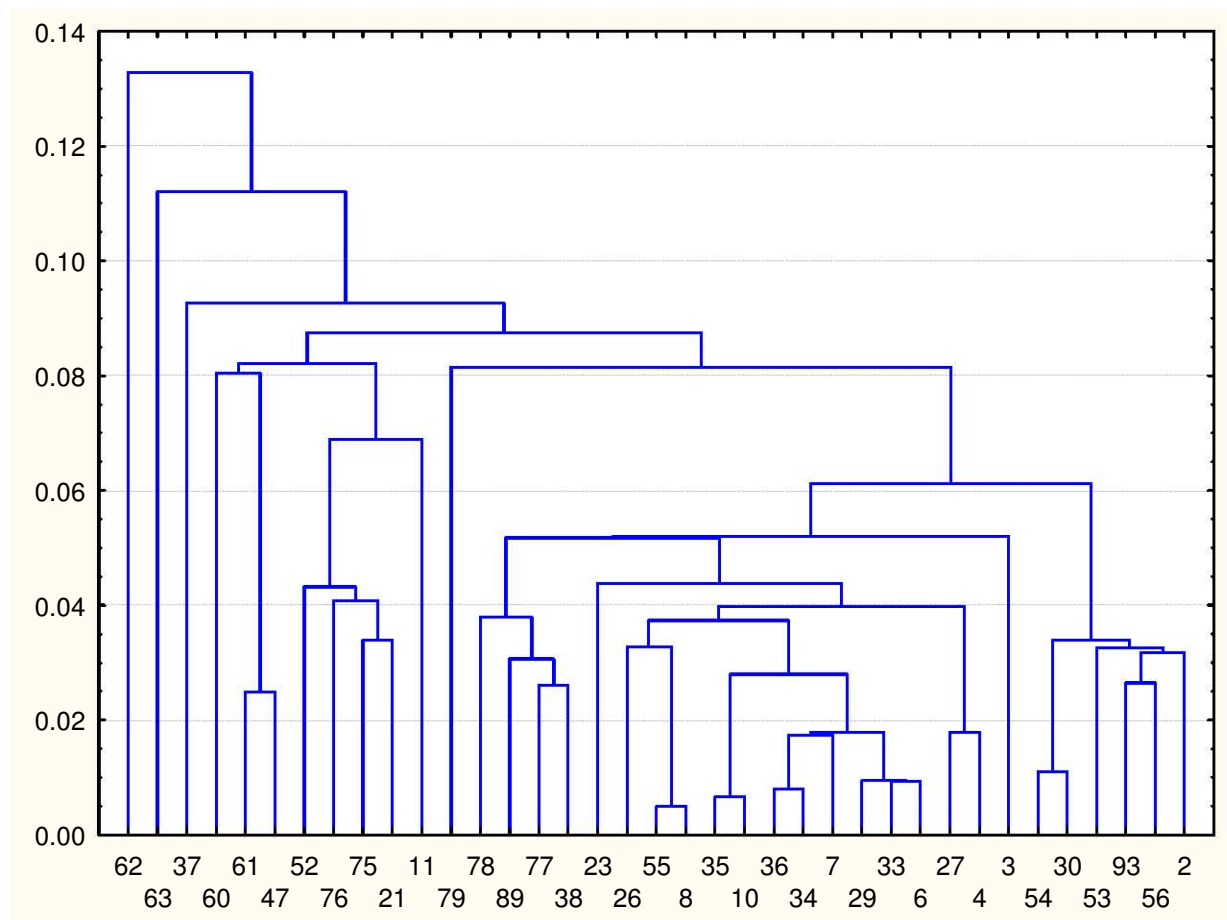


Figura 63. Análisis de agrupamientos para el estrato de 68 m.

### 5.3.6 Análisis de agrupamientos (cluster), para 100 m de profundidad

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 64) para el estrato de 100 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados en las estaciones de muestreo, asociándolos en 2 grandes grupos: El primero está formado por las estaciones 55, 89, 55, 79, 78, 77, 76 y 75. El segundo comprende el resto de las estaciones, agrupándolas en 9 subgrupos. El primero representado por la estación 2, el segundo por las estaciones 63, 62, 61 y 60. El tercer subgrupo formado por 56, 54, 53, 52 y 47, el cuarto incluye las estaciones 38, 37, 36, 35, 34 y 33. El quinto las estaciones 30, 29, 27, 26. El sexto la 23 y 21. El séptimo la 11 y 10. El octavo 8, 7 y 6, y el noveno las estaciones 4, 3 y 2.

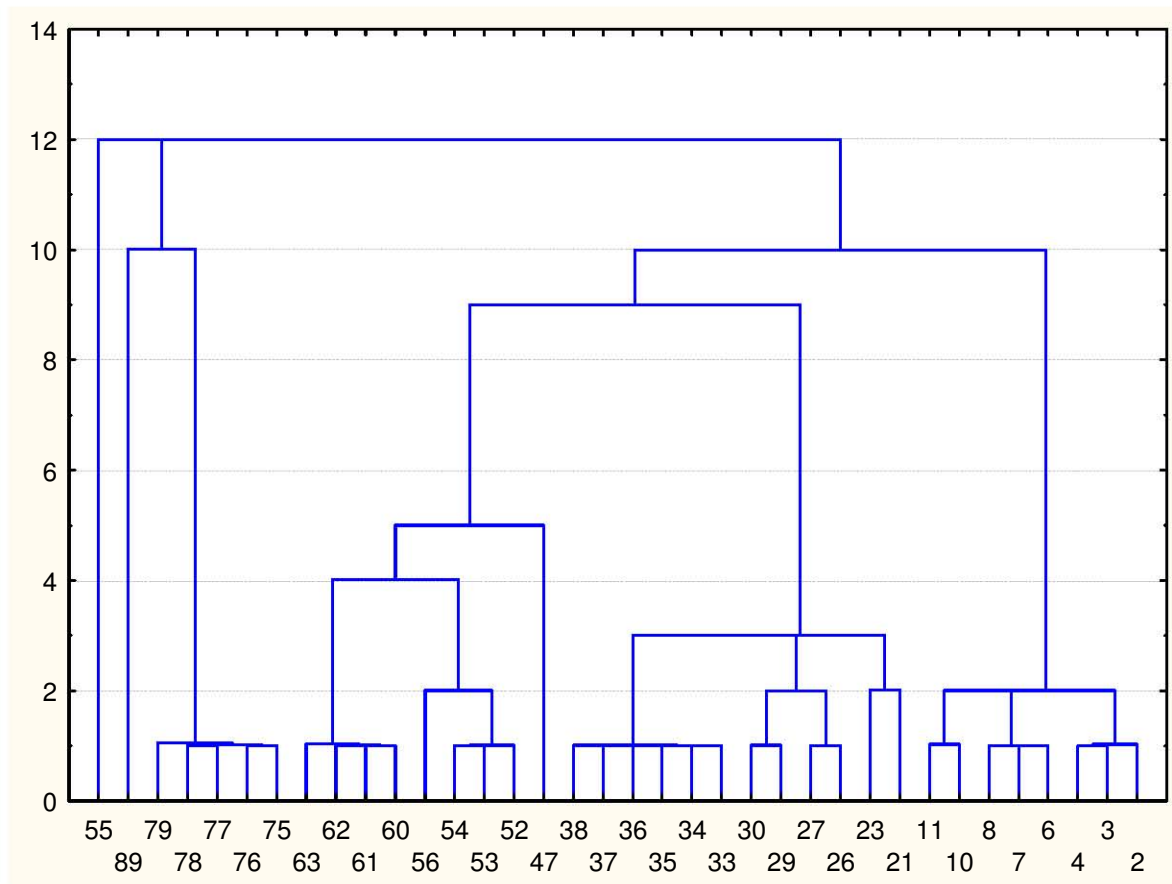


Figura 64. Análisis de agrupamientos a 100 m de profundidad.

### 5.3.7 Análisis de agrupamientos (cluster), para 116 m de profundidad

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 65) para el estrato de 116 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados en las estaciones de muestreo, asociándolos en 6 grupos principales: El primero está formado por las estaciones 62, 61 y 60, que son las de la parte central del giro ciclónico. El segundo grupo comprende las estaciones 79, 56, 63, 52, 47, 76, 75, 21 y 11. El tercer grupo incluye las estaciones 55, 37, 4 y 3. El cuarto grupo lo constituyen las estaciones 54, 36, 38, 53, 89 y 30. El quinto grupo abarca las estaciones 35, 77, 10, 34, 78, 33, 26, 8, 7, 29 y 6. Finalmente, el sexto grupo está formado por las estaciones 23 y 2.

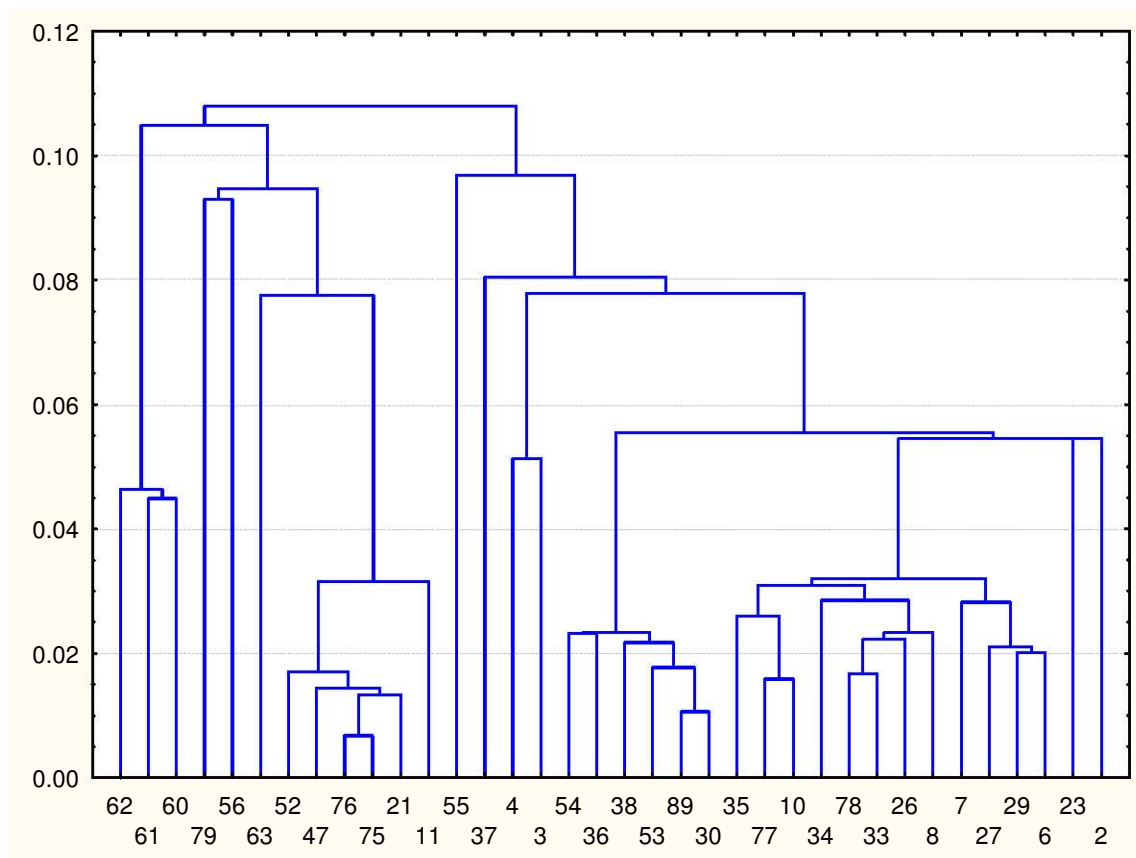


Figura 65. Análisis de agrupamientos a 116 m de profundidad.

### 5.3.8 Análisis de agrupamientos (cluster), para 132 m de profundidad

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 66) para el estrato de 132 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados en las estaciones de muestreo, asociándolos en 6 grupos principales: El primero está formado por las estaciones 61, 62 y 60. Las cuáles se ubican en la parte central del giro ciclónico de la Bahía de Campeche. El segundo grupo comprende las estaciones 75, 4 y 63. El tercer grupo incluye las estaciones 79, 56 y 37. El cuarto grupo lo constituyen las estaciones 38, 78, 53, 54, 36 y 30. El quinto grupo abarca las estaciones 89, 47, 21, 76, 52 y 11. Finalmente, el sexto grupo está formado por las estaciones 23, 27, 26, 29, 7, 6, 3, 77, 35, 34, 33, 8, 55, 10 y 2.

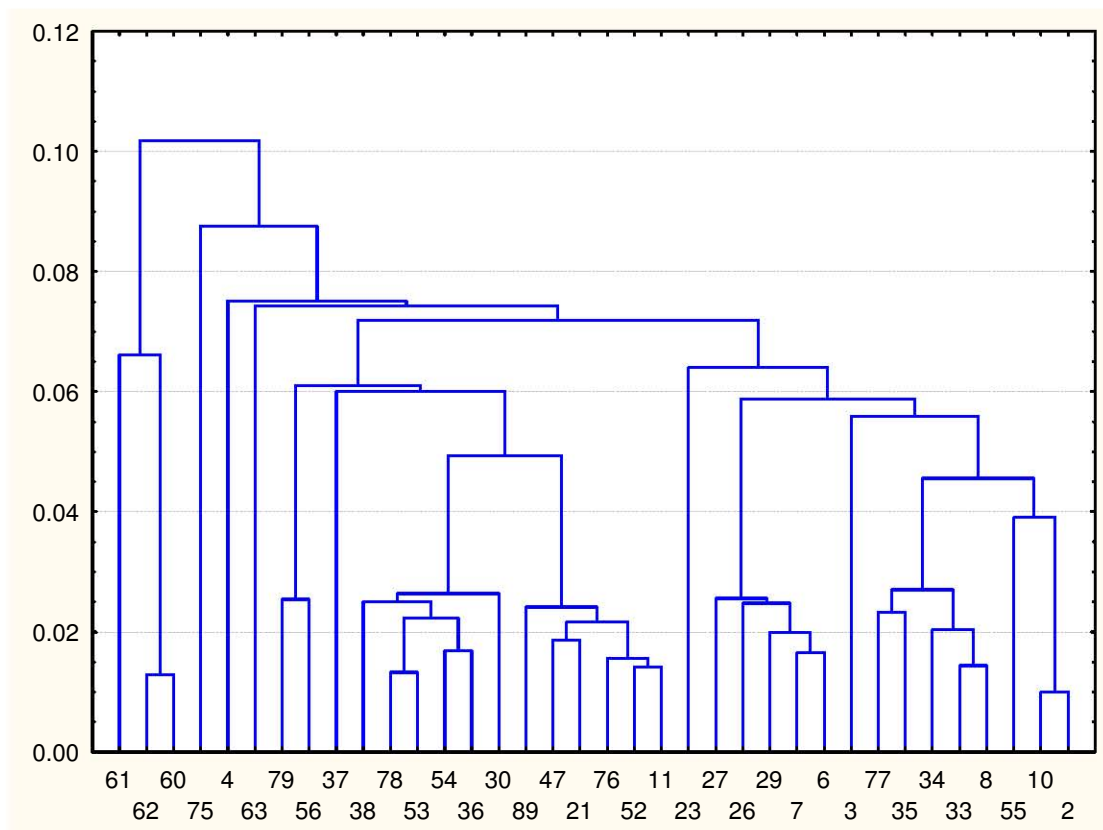


Figura 66. Análisis de agrupamientos para el estrato de 132 m.

### 5.3.9 Análisis de agrupamientos (cluster), para 148 m de profundidad

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 67) para el estrato de 148 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados en las estaciones de muestreo, asociándolos en 5 grupos principales: El primero está formado por las estaciones 61 y 78. El segundo grupo comprende las estaciones 75, 62 y 60. El tercer grupo incluye las estaciones 63, 56, 54, 36, 38, 37, 79, 52, 89, 76, 47, 21, 53, 30, 11, 23, 27, 35, 26, 10, 55, 33, 77, 34, 8, 7, 29, 6 y 4. El cuarto grupo lo constituye la estación 3. Finalmente, el quinto grupo está formado sólo por la estación 2.

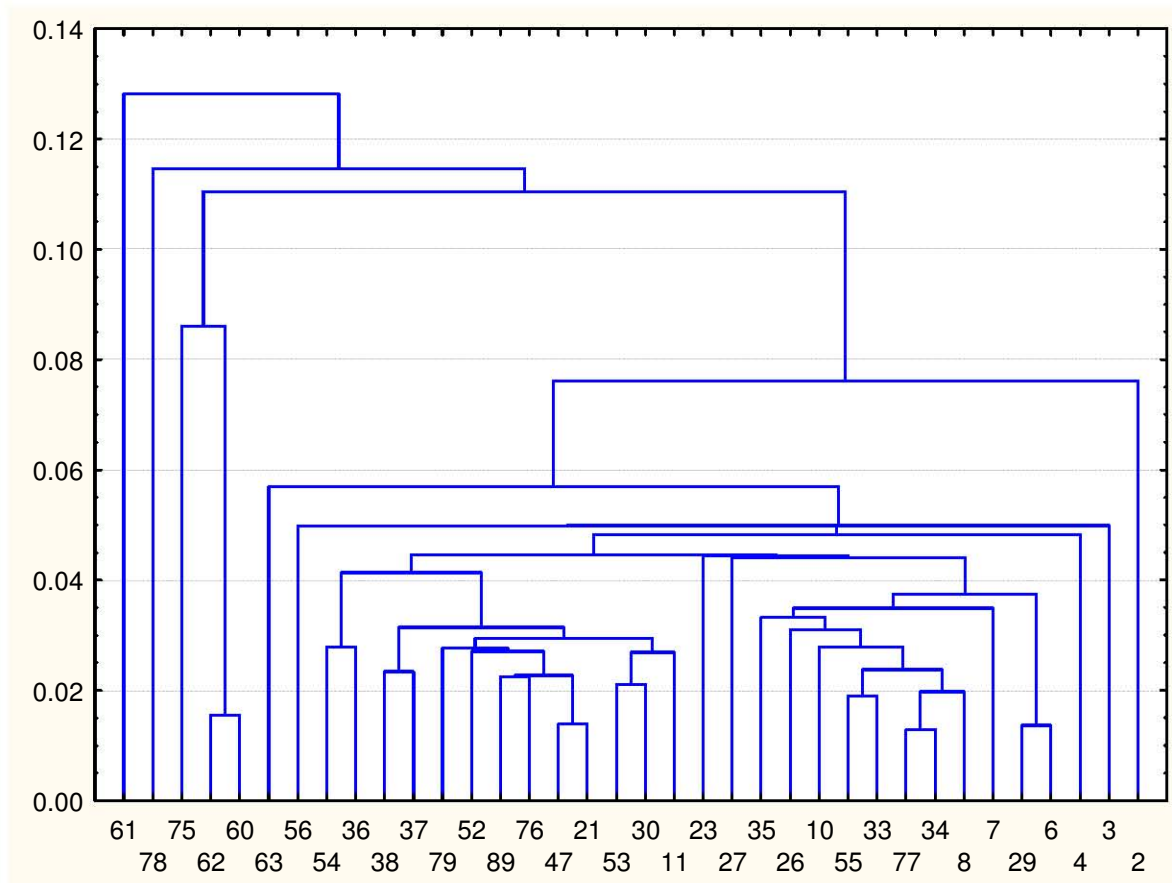


Figura 67. Análisis de agrupamientos para el estrato de 148 m.

### 5.3.10 Análisis de agrupamientos (cluster), para 164 m de profundidad.

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 68) para el estrato de 116 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados en las estaciones de muestreo, asociándolos en 2 grupos principales: El primero está formado por la estación 11. El segundo grupo incluye las estaciones 61, 75, 62, 60, 56, 27, 4, 10, 79, 76, 52, 36, 89, 21, 34, 63, 37, 54, 53, 47, 38, 30, 55, 35, 23, 77, 33, 7, 29, 6, 8, 3 y 2.

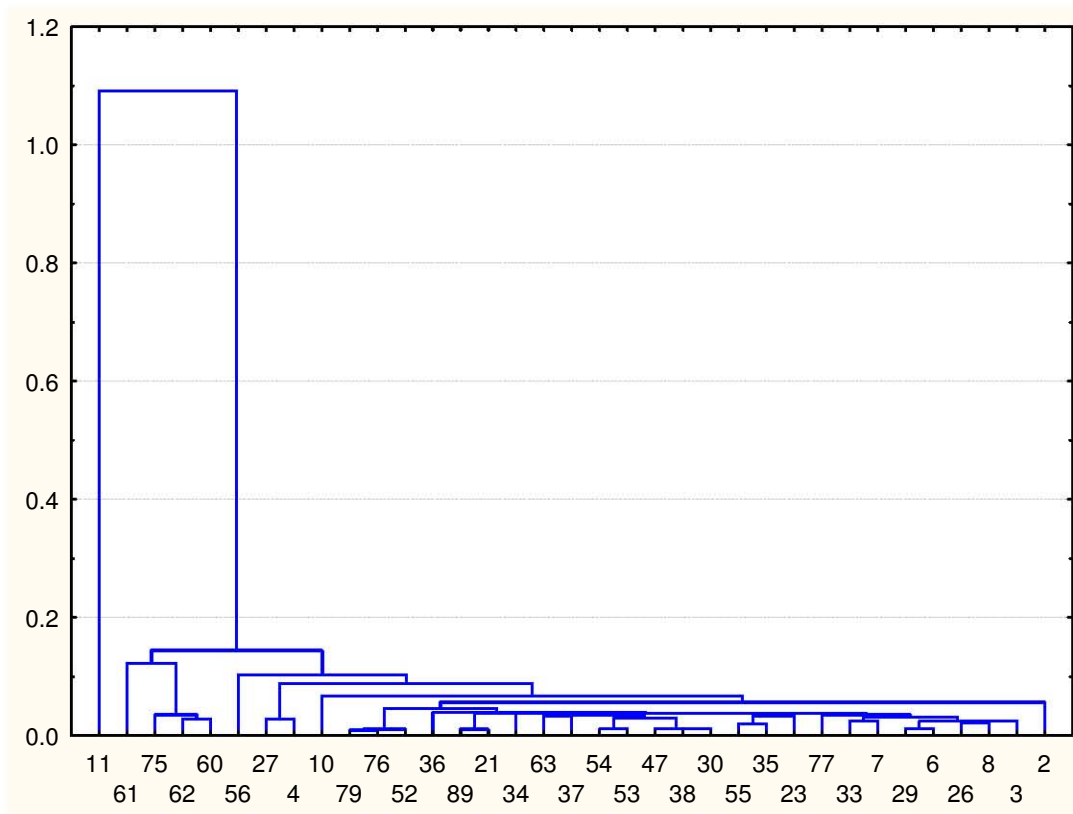


Figura 68. Análisis de agrupamientos a 164 m de profundidad.



### 5.3. 11 Análisis de agrupamientos (cluster), para 180 m de profundidad

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 69) para el estrato de 116 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados en las estaciones de muestreo, asociándolos en 4 grupos principales, lo cuál se debe a que a mayor profundidad la variabilidad se reduce y existe la tendencia a homogeneizarse toda la bahía. El primer grupo está formado por las estaciones 61, 75, 62 y 60, debido a su ubicación dentro del área central del giro ciclónico. El segundo grupo comprende las estaciones 27 y 4. El tercer grupo incluye las estaciones 63, 37, 33, 7, 6, 34, 55, 11, 10, 47, 35, 89, 23, 53, 30, 38, 21, 26, 8, 29 y 3. Finalmente, el cuarto grupo lo constituyen las estaciones 56, 79, 76, 52, 36, 54 y 2.

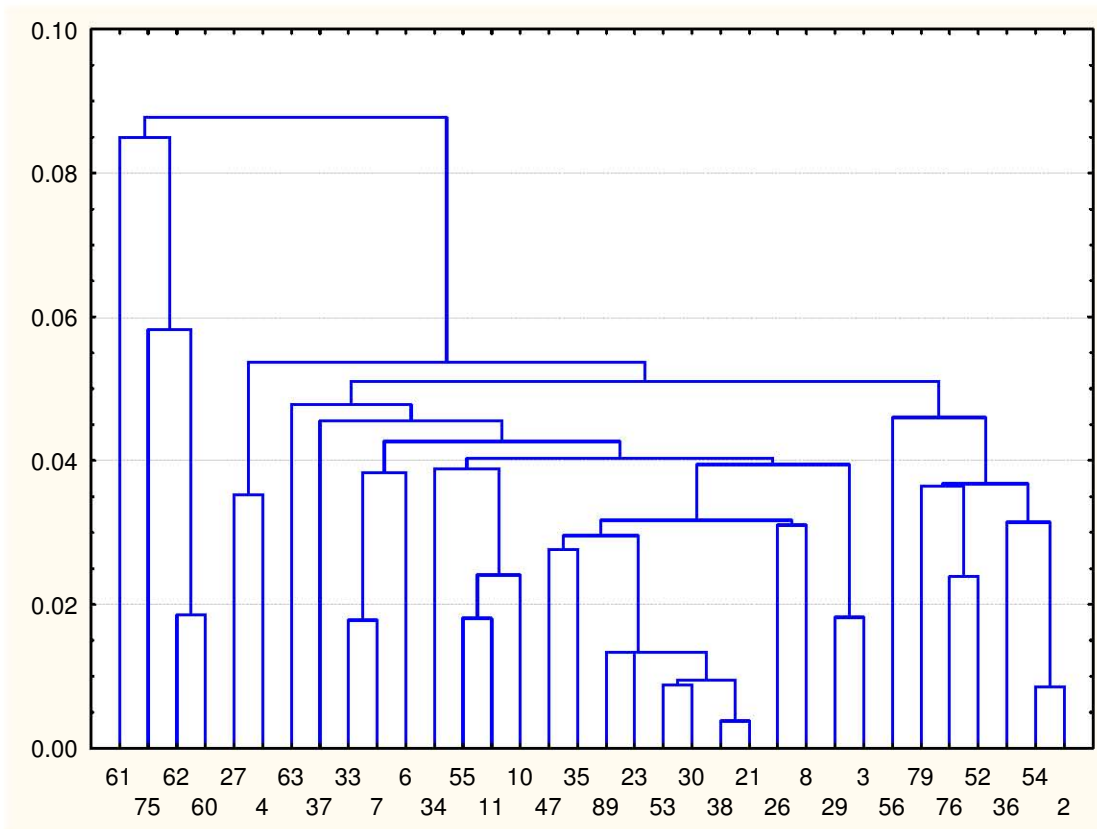


Figura 69. Análisis de agrupamientos a 180 m de profundidad.

### 5.3.9 Análisis de agrupamientos (cluster), para 196 m de profundidad

El resultado del análisis de agrupamientos (Figura 70) para el estrato de 196 metros de profundidad, muestra la agrupación de acuerdo a las semejanzas en los valores de biomasa, temperatura y salinidad de los valores registrados en las estaciones de muestreo, asociándolos en 5 grupos principales: El primero está formado por las estaciones 61 y 78. El segundo grupo comprende las estaciones 75, 62 y 60. El tercer grupo incluye las estaciones 63, 56, 54, 36, 38, 37, 79, 52, 89, 76, 47, 21, 53, 30, 11, 23, 27, 35, 26, 10, 55, 33, 77, 34, 8, 7, 29, 6 y 4. El cuarto grupo lo constituye la estación 3. Finalmente, el quinto grupo está formado sólo por la estación 2.

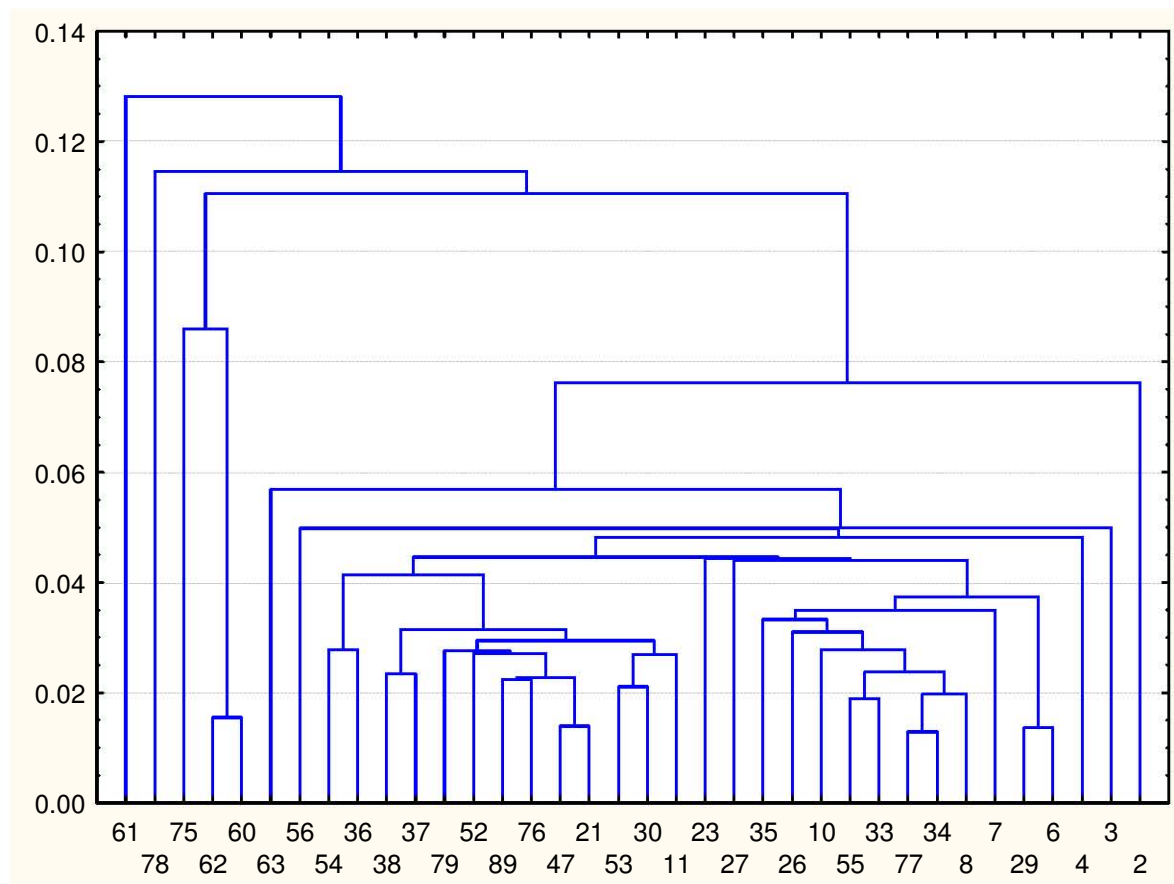


Figura 70. Análisis de agrupamientos para el estrato de 196 m.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos con el perfilador acústico Doppler de corrientes durante el crucero FIBAC – I, indican que el mayor volumen se obtuvo en el estrato de 52 m. El segundo lugar se ubicó en el estrato de 36 m, el tercero en el de 20 m, el cuarto a 100 m y el quinto a 84 m de profundidad. Sin embargo, se registró que la concentración no es homogénea, sino que tiende a registrarse en grandes “parches”, “enjambres”, o núcleos de alta concentración de biomasa.

Durante este mismo crucero se registraron 4 núcleos de alta concentración de biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche (Figura 11), lo cuál coincide con los datos publicados por Alba Hurtado (2001) (Figura 71). De estos núcleos, dos tienen origen fluvio – lagunar, y los otros dos origen oceánico.

El primero de ellos se localizó en la región costera ubicada en la zona de influencia de la desembocadura del río Tuxpan, en las cercanías del sistema arrecifal Tuxpan, y tiene origen fluvial. El segundo núcleo se ubicó en general al norte de la Barra de Dos Bocas, las Lagunas del Carmen y Machona, en Tabasco, el sistema fluvio – lagunar Grijalva - Usumacinta y la Laguna de Términos, en Campeche, aunque en el caso particular del estrato de 20 m su área de distribución se extendió al NE, delineando la isobata de 20 m a lo largo del Banco de Campeche, y hasta alcanzar el Arrecife de la Serpiente ( $21.30^{\circ}$  N,  $90.42^{\circ}$  O), subdividiéndose en dirección a Cayo Arenas. Este núcleo tiene origen fluvio lagunar. El tercer núcleo se localizó en zonas aledañas a Cayo Arcas y es originado por el giro ciclónico existente en la parte central de la Bahía de Campeche. Finalmente, el cuarto núcleo se registró al noroeste de Progreso y al sur de Cayo Arenas, este núcleo se origina debido a las corrientes oceánicas y a la surgencia de Yucatán.

La distribución y concentración de cada uno de los núcleos varió con la profundidad.

El primer núcleo se localizó a 20 m de profundidad en la región costera ubicada en la zona de influencia de la desembocadura del río Tuxpan, cerca del sistema arrecifal Tuxpan, en Veracruz. A 36 m se dividió en dos partes. La primera ubicada al sureste al SE del río Tuxpan, al este del río Cazones; y la segunda un poco más al SE, al este del río Tecolutla. Este anillo se encuentra rodeado por otro más, el cuál se extiende desde la Laguna de Tamiahua hasta el río Nautla. Este posicionamiento en dos partes se registró de manera similar a 52 m de profundidad, aunque con valores altos en un área mayor. A partir de los 68 m la extensión y concentración de este núcleo comenzó a reducirse al incrementarse la profundidad, exceptuando el nivel de 180 m, donde se registró un área extensa con altas concentraciones de biomasa zooplanctónica.

El segundo núcleo es el que comprendió un área mayor a 20 m de profundidad. Se localizó desde el N de la Barra de Dos Bocas, en la zona de influencia del Sistema Grijalva - Usumacinta, extendiéndose al noreste, delineando la isobata de 20 m a lo largo del Banco de Campeche, y finalmente alcanzó el Arrecife de la Serpiente ( $21.30^{\circ}$  N,  $90.32^{\circ}$  O), subdividiéndose en dirección a Cayo Arenas. Es posible que este núcleo alcance tal extensión en el estrato de 20 m debido a aportes continentales subterráneos existentes en la región ubicada al este de la Laguna de Términos y al sur de Celestún, sin embargo, no existe suficiente información para confirmar o ratificar esta afirmación (Salas de León, com. pers, 2007).

A 36 m este núcleo redujo su extensión considerablemente, por lo que se ubicó al norte de la Barra de Dos Bocas y las Lagunas del Carmen y Machona, en Tabasco. Mantuvo esta distribución hasta los 100 m de profundidad, donde se registró una alta concentración al oeste de este núcleo, y posteriormente, al incrementarse la profundidad, comenzó a reducir su concentración de biomasa

zooplanctónica a los 148 m y posteriormente su extensión, a los 154 m, aunque siguió registrándose hasta los 196 m.

El tercer núcleo se localizó al NE de Cayo Arcas, es el más extenso a 36 m de profundidad, a partir de los 68 m comenzó a dividirse en fragmentos cada vez menores conforme se incrementaba la profundidad. Finalmente, ya no se registró a los 180 m de profundidad. Es importante hacer notar que la zona de plataforma próxima al Cañón coincide con una de las zonas de incidencia de la flota de pesca de escama en el Golfo de México (Quiroga-Brahms, 2003).

El cuarto núcleo se registró al noroeste de Progreso, y su capa externa hizo contacto con la capa limítrofe del tercer núcleo. Su mayor extensión se reportó a los 52 m de profundidad, presentó la tendencia a desplazarse al oeste al incrementar la profundidad, de la misma manera que redujo su concentración y extensión hasta dejar de registrarse en el estrato de 180 m. Este núcleo tiene origen oceánico y es resultado de la conjunción de factores como la influencia de la corriente de Lazo, los frentes oceánicos y la surgencia de Yucatán (Merino, 1977).

Existe diferencia respecto a los valores de biomasa zooplanctónica reportados por Alba Hurtado (2001) y el presente estudio, lo cuál se debe a los métodos utilizados. Alba (2001) realizó arrastres de red bongo con malla de 333 y 505  $\mu\text{m}$ , mientras que el presente estudio utilizó un ADCP de 75 kHz. Estos métodos, aunque han sido validados ambos (Fielding, 2004), no son equivalentes, lo cuál coincide con lo reportado por Tranter y Smith (1968), quienes comentan que una red con malla de 200  $\mu\text{m}$  colecta la fracción entre 0.2 y 10 mm, mientras que el perfilador acústico utilizado en el presente estudio, registró la fracción entre 0.2 y 2 mm. Además, W. Hagen (2001), definió el biovolumen como la determinación de la biomasa zooplanctónica total, y lo diferencia de otras medidas como son el peso húmedo y peso seco.

Además, el grupo dominante en el plancton tiende a ser el de los copépodos, (Vega, 1967; Cifuentes *et al.*, 1987). Lo cuál puede variar de acuerdo al área. Según Pugh (1977), en ciertas regiones los sifonóforos contribuyen con más del 90% del volumen de captura total y aparentemente son más abundantes en aguas cálidas (Alba Hurtado, 2001). Sin embargo, los copépodos se encuentran directamente en el intervalo de tamaño que registra el perfilador acústico.

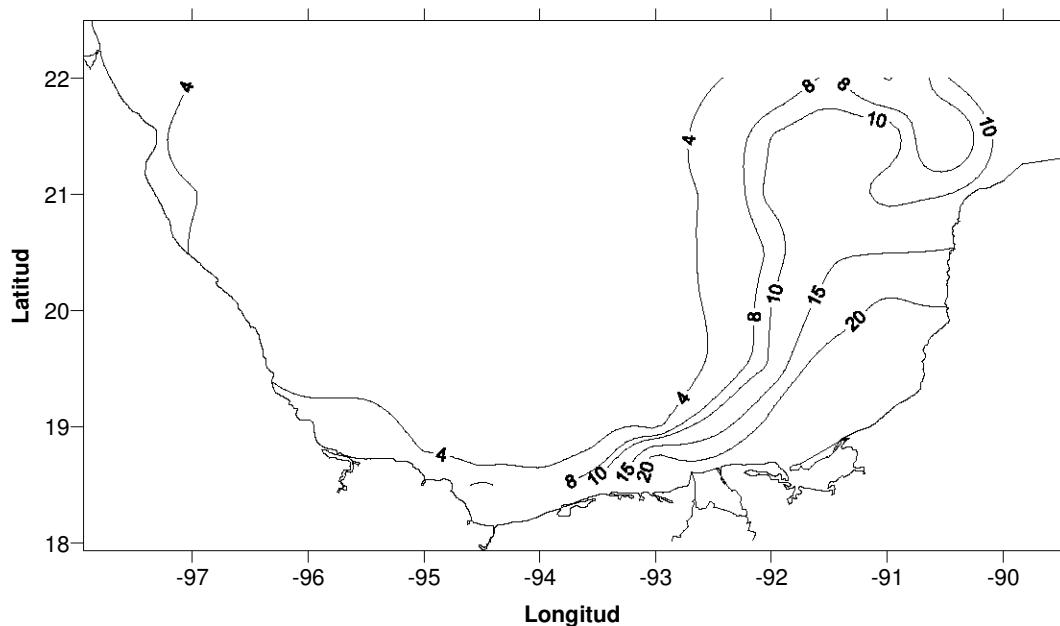


Figura 71. Biomasa zooplanctónica ( $\text{g}/100 \text{ m}^3$ ) en la Bahía de Campeche. Muestreo con red bongo y malla de  $333 \mu\text{m}$ . Realizado con datos de Alba Hurtado (2001).

En la figura realizada con datos de Alba (2001), para las muestras procedentes de la red de  $303 \mu\text{m}$ , es posible observar la similitud con las figuras 109 y 110, correspondientes al estrato de 20 m de profundidad.

El muestreo con redes proporciona datos puntuales en cada estación oceanográfica. Alba Hurtado (2001) reportó 56 estaciones oceanográficas donde se realizaron muestreos para determinar biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche. En contraste, durante la navegación del buque, el perfilador acústico

emitió un pulso acústico cada 0.7 de segundo, y promediaba estos datos cada cinco minutos. Lo que equivale a un dato cada 50 m ( $6 \text{ m/s}^{-1}$ ). Es decir, incrementa de manera considerable la resolución de los planos horizontales realizado en el presente estudio.

Alba (2001), reporta que las estaciones oceanográficas donde se obtuvieron muestras con mayor biomasa, generalmente se localizaron sobre la plataforma de Campeche. Las muestras con biomasa menor, en su mayoría se ubicaron en aguas oceánicas, aunque algunas de ellas también en aguas neríticas. Alba Hurtado (2001) reporta un intervalo de valores de biomasa zooplanctónica (peso húmedo) desde 0.33 a 44.9 g/100 m<sup>3</sup>, con un promedio de 6.97 g/100m<sup>3</sup>. Los intervalos obtenidos en el presente estudio a 20 m de profundidad fue de 0.18 a 2.484 g/100m<sup>3</sup>, a 36 m de profundidad fue de 0.2 a 4.7 g/100m<sup>3</sup>, y 52 m de profundidad fue de 0.01 a 7.05 g / 100m<sup>3</sup>.

Una respuesta probable para explicar esta diferencia en los valores reportados la proporcionan Gasca *et al.*, (1996), quienes comentan que los métodos que siguen el principio de eliminar el agua intersticial para determinar biomasa zooplanctónica, como puede ser el peso húmedo, tienden a sobreestimar la biomasa, debido a que la cantidad de agua que puede quedar entre los organismos del plancton es considerable. Por está razón, continuamente se perfeccionan los métodos para eliminar el agua intersticial (Zavala y Flores, 1989). Por otro lado, las redes suman la biomasa durante su arrastre mientras que el ADCP obtiene el valor medio de la biomasa en la capa., en un intervalo fijo de tamaño, sin proporcionar información de las características biológicas de cada organismo en particular (Salas de León, *et al.*, 2005). Además, Ashjian *et al.*, (1994) afirman que la información que proporcionan las redes es limitada al realizar muestreos muy puntuales que pretenden integrar grandes áreas horizontales, lo cuál coincide con el caso expuesto en el presente estudio.

En la mayor parte de los estudios referentes a la distribución del zooplancton en el sur del Golfo de México se han utilizado redes tipo bongo (Flores *et al.*, 1988; Sanvicente-Añorve, 1990), pero son muy escasos aquellos que han utilizado redes distribuidas en capas verticales (Espinosa-Fuentes, 2004, Alba-Hurtado 2004), o perfiladores acústicos para obtener resultados por estrato de profundidad.

Los resultados encontrados en el presente estudio concuerdan con diversos autores, los cuáles argumentan que la Bahía de Campeche es una zona de alta concentración de biomasa zooplanctónica (Bessonov *et al.*, 1971; De la Cruz, 1971; Gómez Aguirre, 1987; Flores Coto *et al.*, 1988; Sanvicente, 1990; Gasca *et al.*, 1995; Alba, 2001; Okolodkov, 2003). Esto se debe a dos elementos: El primero es la anchura de la plataforma continental, que permite que el sur del Golfo de México sea un área de alta productividad primaria y secundaria (Flores *et al.*, 1988; Okolodkov, 2003). El segundo es el aporte sobre la zona nerítica de aguas continentales, las cuáles transportan grandes cantidades de nutrimentos.

De hecho, las altas densidades de larvas de peces y biomasas zooplanctónicas registradas en otros estudios frente a la zona costera, hacen evidente que las comunidades neríticas están asociadas con sistemas de alta producción primaria generados por las descargas de aguas continentales, las cuales forman frentes costeros ricos en nutrimentos (Czitron *et al.*, 1986; Padilla *et al.*, 1986; Carranza-Edwards *et al.*, 1993). En el sur del Golfo de México, los frentes costeros provocados por las plumas de los ríos son importantes por el volumen de las descargas vertidas. Su intensidad es resultado de las condiciones meteorológicas imperantes en la zona (Shirasago, 1991). Por esta razón, las variaciones en la descarga de los ríos y de los patrones de la circulación costera tienen una gran influencia sobre la localización espacial de los núcleos de alta biomasa en la región.



Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la zona al norte del Sistema Grijalva-Usumacinta es la más productiva de la Bahía de Campeche. Lo cuál coincide con los resultados obtenidos por Flores-Coto *et al.*, (1988) y Sanvicente-Añorve (1990) al analizar aguas neríticas y oceánicas al sur del paralelo 21°. También coinciden con Mójica (2003), quien reporta los valores más altos de biomasa zooplanctónica en zonas de influencia fluvio-lagunares (Lara-López, 2000; Sánchez-Ramírez, 1997). La predominancia en términos de biomasa de esta zona durante el presente estudio puede deberse a que durante el verano la descarga de los ríos es mayor (Czitrom *et al.*, 1986).

Aunque algunos autores apuntan que la diversidad de algunos grupos es baja (Vasiliev, 1974; Gasca, 1999; Alba-Hurtado, 2001, 2004), también coinciden en que la concentración de biomasa zooplanctónica es alta en la zona nerítica.

Los núcleos de concentración de biomasa zooplanctónica se pueden deber a la transferencia de organismos planctónicos originada por la circulación en la Bahía de Campeche (Salas de León *et al.*, 1998).

En el presente estudio, los niveles que reportaron las mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica fueron los de 52, 36 y 20 m de profundidad. Es evidente que la penetración de la luz y su influencia sobre la actividad fotosintética (Raymont, 1983<sup>a</sup>), hacen de estos primeros niveles los más productivos. De igual manera, Espinosa-Fuentes (2004) analizó un ciclo anual y señaló a la capa superficial de 20 m como la de mayor concentración de biomasa. Esto coincide con Alba (2004) quien reporta la alternancia de los niveles superiores para registrar los mayores valores de biomasa zooplanctónica.

Alba (2004) menciona que esta diferencia podría deberse a la acción del viento en la capa superficial del océano. A mayor velocidad del viento, mayor será la turbulencia en la capa superficial, lo cuál repercute en la biomasa zooplanctónica de distintas formas: En condiciones de mezcla disminuye la

depredación debido a la poca visibilidad del depredador en la superficie y a una mayor dispersión de la presa en la columna de agua (Gerking, 1994).

Farstey (2002) dice que el gradual incremento de la capa de mezcla le sigue un incremento en el rango de homogeneidad del zooplancton. Lo cuál coincide con Gerking (1994), quien sugiere que un aumento del espesor y homogeneidad de la capa de mezcla, minimiza la competencia por el alimento en el zooplancton herbívoro. Ejemplo de ello son Hanaka y Suga, (2003), quienes argumentan que la capa de mezcla fue mayor durante octubre de 2001, fecha en que Ramírez (2005) registró diferentes concentraciones de biomasa zooplanctónica en el Cañón de Campeche. Lagadeuc *et al.* (1997) sugiere que los organismos tienden a ser desplazados hacia la capa de mezcla, dependiendo de la intensidad de la turbulencia y la capacidad del zooplancton para contrarrestar el desplazamiento vertical.

Nowlin (1972) reporta que los nortes y huracanes influyen en la dinámica del Golfo de México incrementando la capa de mezcla superficial. A esto Ramírez (2005), añade que el paso de los nortes modifica la distribución y concentración de la biomasa zooplanctónica. Durante la temporada de nortes de 2001, Ramírez (2005) registró valores inferiores a  $6 \text{ g}/100 \text{ m}^3$ , y lo atribuye a la alteración producida en la capa superficial por los fuertes vientos durante el paso de los nortes. Explica que durante un norte, la termoclina, haloclina y pinoquina se hacen más profundas, aumentando la capa de mezcla e induciendo la disminución en la concentración de biomasa zooplanctónica.

Wickstead (1979), afirma que los cambios en la columna de agua permanecen después del paso de un norte, lo cuál modifica la distribución de los organismos. Esto se debe a que durante los huracanes y los nortes los nutrientes se mezclan en la capa superficial, favoreciendo el incremento de fitoplancton y posteriormente el de la biomasa zooplanctónica. Esto coincide con lo reportado por Ramírez (2005), quién al final de la temporada de nortes observó el

reestablecimiento de las condiciones de la columna de agua con el ascenso de la termoclia, haloclina y picnoclina, y registró mayores concentraciones de zooplancton por arriba de la termoclina. De hecho, durante abril del 2000 y 2001, al final de la temporada de nortes, Ramírez (2005) registró mayores biomásas que las registradas durante la presencia de un norte.

Por otro lado, el análisis de factores realizado en el presente estudio demostró que la temperatura es el parámetro hidrográfico que afecta en mayor medida la distribución de la biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche. Lo cuál coincide con lo reportado por Mójica (2003), quien dice que las variables que más influyen en la distribución de la biomasa zooplanctónica son la profundidad de muestreo, la temperatura y la salinidad. También coincide con diversos autores, quienes señalan la importancia de la temperatura en la distribución de algunos grupos biológicos, principalmente zooplanctónicos (Margulis, 1972; Alvarino, 1980; Raymont, 1983b; Santamaría 2004, Alba-Hurtado, 2004).

Margulis (1972), Vasiliev (1974), y Alba – Hurtado (2001) señalan que la distribución de algunos grupos zooplanctónicos en el Golfo de México se encuentra asociada a masas de agua específicas, debido particularmente a la influencia de la temperatura como característica hidrológicas. De hecho, se ha reportado que la distribución de grupos como los sifonóforos y quetognatos están influenciados por la temperatura (Mille Pegaza y Carrillo Laguna, 2001). También se ha reportado que a escala temporal, la variación de la temperatura tiene efectos muy importantes en la abundancia del macroplancton gelatinoso, debido en parte a que los ciclos reproductivos de algunas especies están ligados a fluctuaciones estacionales de este parámetro. (Palma, 1994; Thirbault-Botha *et al.*, 2004). Otro efecto directo de la temperatura es la termoclina. La termoclina es una interfase importante para la dinámica trófica (Lasker, 1975, 1981), para la distribución vertical de peces, de organismos presa (Fortier y Leggett, 1984; Munk *et al.*, 1989) de organismos depredadores (Brewer *et al.*, 1984; Bailey y Houde, 1989) de larvas

de peces y de organismos zooplanctonicos en general (Haney, 1988; Harris, 1988; Heath *et al.*, 1988; Frank *et al.*, 1989).

En términos generales, el cambio de las condiciones atmosféricas, ya sea por la presencia de nortes o huracanes, modifica la profundidad de la termoclina (Wickstead, 1979).

Durante el presente estudio, la haloclina y la termoclina se ubicaron alrededor de los 40 m de profundidad, lo cuál coincide con lo publicado por Mójica (2003) y Ramírez (2005) quienes reportaron que la termoclina y la haloclina se localizaron alrededor de los 40 m de profundidad en agosto de 2000, en abril del 2000 y 2001, respectivamente. Este estudio añade más evidencias para sustentar que la termoclina y la haloclina no sólo en el Cañon de Campeche, sino en toda la Bahía, son persistentes, lo cuál es característico de zonas oceánicas (Kendall y Naplin, 1981; Perri y Neilson, 1988; Frank *et al.*, 1989; Munk *et al.*, 1989; Röpke *et al.*, 1993).

Por su parte, los resultados proporcionados por el CTD, indican que las estaciones al norte de la Bahía presentaron una temperatura superior, así como una salinidad mayor, del resto de las masas de agua existentes en la Bahía de Campeche. Las zonas costeras registraron temperaturas menores que las zonas oceánicas.

Además, se registró el aporte de agua fría procedente del noreste de la bahía, lo cuál coincide con lo reportado por Rosales (2003), quien menciona que la mayor variación de temperatura se presentó a 20 m de profundidad entre los 93.50 y 90.50° W.

Los valores altos de densidad en la zona NE indican la existencia de un aporte de agua de alta densidad. En la zona NO, estos valores pueden estar relacionados con la escasa profundidad de las zonas costeras.

En general, la densidad presenta una distribución similar a la de la temperatura, y refleja escasa dependencia con la salinidad a esta profundidad. Nuevamente, esto coincide con lo reportado por Rosales (2003)

La distribución de la temperatura a 20 m de profundidad mostró valores que varían de 22.5 a 29.5° C teniendo las mayores variaciones entre 93.5 y 90.5° O en el talud al noroeste de Progreso y frente a la Laguna de Términos, así como frente a la Laguna de Tamiahua en la zona oeste de la bahía. La parte norte de la bahía en su mayoría fue ocupada por masas de agua cálida con valores superiores a 29.0° C.

La salinidad a 20 m de profundidad tuvo una variación entre 35.60 y 36.60. Se observó un núcleo de baja salinidad cubriendo un área ubicada entre los 94.00° y 92.00° O, con salinidades entre 35.6 y 36.4, lo cual coincide con lo reportado por Rosales Navarro (2003)

La distribución de la densidad relativa tuvo una alta uniformidad en la porción occidental, con un gradiente alto en el noroeste, frente a Tamiahua. En la región suroriental, donde se manifestó el núcleo de baja salinidad y relativamente alta temperatura, la densidad mostró una distribución similar a la de la temperatura. Esto coincide con lo reportado por Rosales (2003). Sin embargo, Rosales (2003) añade que en estratos superiores al de 20 m la densidad mostró una distribución similar a la de la salinidad, mientras que en los estratos inferiores a 20 m, la distribución de la densidad estuvo dominada por la distribución de la temperatura. Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden plenamente en los estratos de 20 m y los inferiores a este, sin embargo, debido a que el presente estudio registró valores de biomasa zooplanctónica a niveles inferiores a 20 m de profundidad, no se compararon valores de temperatura, salinidad y densidad relativas arriba de este estrato.

La localización de la termoclina, la haloclina y la picnoclina, en la zona costera de la Bahía de Campeche se deben al aporte del Sistema Grijalva-Usumacinta, el cuál influye en la zona costera generando un frente halino. Este frente halino genera una trampa de nutrientes, lo cuál desencadena la alta productividad del área (Czitrom *et al.*, 1986; Legendre, 1986; Salas de León, 1998).

Las mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica se registraron en niveles superiores a la termoclina, lo cuál coincide con lo reportado por Ramírez (2005), y difiere de lo reportado por Mójica en el (2003), quien durante el verano, en el mes de agosto de 1999, Mójica encontró las mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica a 40 m de profundidad, por debajo de la termoclina. Mójica (2003) considera que debajo de la termoclina, haloclina y picnoclina, la temperatura es baja, y la salinidad y densidad son mayores que en la superficie, lo cuál convierte a estas zonas en regiones poco favorables para el zooplancton. Por otro lado, durante el verano en el Golfo de México, la capa de mezcla es muy superficial, por lo cuál, los organismos del zooplancton pueden ubicarse fácilmente por debajo de ésta.

Para evitar esto, el zooplancton cuenta con la capacidad de migrar en la columna de agua. Mauchline (1980) menciona que los parámetros de migración son susceptibles de ser modificados por las condiciones ambientales.

Esto explica la razón por la cuál, aunque la mayoría de los valores máximos se registraron en los estratos superficiales, existen estaciones con valores máximos de biomasa zooplanctónica a distintas profundidades. Esta situación se ha presentado en otros estudios en el área, y también se ha atribuido a la migración vertical de los distintos grupos zooplanctónicos (Gardiner, 1978; Mójica, 2003).

Es importante considerar el efecto de la penetración de la luz en la columna de agua (Balderas, 1994; Conway, 2007), y su influencia en los ciclos migratorios zooplanctónicos. Sin embargo, no son los únicos factores que influyen en la migración vertical del área de estudio.

Pugh (1977) señala que la distribución de grupos depredadores también puede estar relacionada con las migraciones diales, pero no con cambios en la intensidad de luz sino como respuesta secundaria a las migraciones de otros grupos, entre ellos copépodos y ostrácodos (Napp *et al.*, 1988; y Hermna, 1989; Alba Hurtado, 2001). También la distribución vertical de las larvas de peces esta relacionada con la ubicación de la más alta abundancia de nauplios de copépodos (Raymont, 1983; Haldorson *et al.*, 1993; Sclafani *et al.* 1993; Lagadeuc *et al.*, 1997). Esto concuerda con lo publicado por Purcell (1981), quien afirma que la distribución de los sifonóforos depende en gran medida de la distribución de sus presas, que generalmente son copépodos (Raymont, 1983b; Purcell, 1997, Pages *et al.*; 2001). Es decir, la presencia de alimento es un factor fundamental en la distribución de algunos grupos depredadores (Alvariño, 1969,1971; Pugh, 1974; Loo y Biggs, 1996).

Para sustentar esto último, diversos autores coinciden en que uno de los grupos más abundantes en la Bahía de Campeche es el de los copépodos (Silva-Flores, 1980; Hopkins, 1982; Ramírez, 2005). Además, Ramírez (2005) afirma que el grupo que le sigue en abundancia es el de los quetognatos, y luego los sifonóforos.

Dicho de otra forma, la distribución vertical y homogeneidad del zooplancton en la Bahía de Campeche puede ser regulada por los movimientos natatorios de los organismos (Longhurst 1976; Forward, 1988; Begon *et al.*, 1990). Ya sea como respuesta a la homogeneidad del alimento (Schmidt, 1973), a la homogenización por pastoreo (Fretwell y Lucas, 1970) y como respuesta al cambio vertical en la intensidad de la turbulencia en la columna de agua (Mackas *et al.*, 1993).

Franks (2001) indica que los organismos zooplanctónicos evitan las altas turbulencias migrando hacia las capas subsuperficiales, lo cuál coincide con Lewis y Padley (2001), quienes afirman que mayores turbulencias incrementan la velocidad relativa entre los organismos haciendo más difícil la captura de las presas, razón que podría explicar la preferencia de los niveles inferiores al superficial, pero superiores a la termoclina.

Rosales (2003), afirma que existe un intercambio de masa entre la bahía y el resto del golfo, con un flujo entrando por la porción oriental y saliendo por la parte occidental de la región estudiada.

En algunas estaciones contiguas de la zona central de la Bahía de Campeche se registraron valores muy distintos de biomasa zooplanctónica, temperatura, salinidad y densidad potencial. Diversos autores afirman que diferentes zonas en una misma región pueden tener distintas condiciones ambientales (Webber *et al.*, 1996; Álvarez Cadena *et al.*, 1998; Castellanos y Gasca, 1999; Gotssi Skretas, 2000). La explicación para este caso en particular, es que, a diferencia de las zonas costeras, donde la influencia la descarga de los ríos es predominante, el Cañón de Campeche es afectado principalmente por dos corrientes oceánicas: la Corriente de Yucatán y la Corriente de Lazo (cuyo mayor transporte es en verano). La batimetría de la zona y la conjunción de ambas corrientes dan origen a giros oceánicos: anticiclónicos (que sumergen agua superficial) y ciclónicos (que afloran agua profunda) (Behringer *et al.*, 1977; Molinari, 1977; Molinari *et al.*, 1978; Molinari y Morrison, 1988; Salas de León *et al.*, 2004).

Además, Díaz (2004) reporta que la circulación en la Bahía de Campeche a finales de verano de 1996 fue dominada básicamente por un giro ciclónico y una circulación anticiclónica en la región noroccidental de la bahía. La circulación anticiclónica en el noroeste de la bahía es la porción sur del gran giro cálido del



oeste del golfo. Esta característica de la circulación, se va definiendo mejor conforme la profundidad aumenta, teniendo probablemente su centro más al sur a mayor profundidad Díaz.

Rosales (2003), describe que durante la realización del presente estudio, el patrón de circulación geostrofica en la Bahía de Campeche estuvo dominado por un giro ciclónico baroclínico en la región sur de la bahía y una circulación anticiclónica en el noroeste. Esta circulación de la región noroccidental de la bahía forma parte del giro anticiclónico permanente del oeste del Golfo de México, que contiene agua cálida y de alta salinidad (Hernández, 1993).

De hecho, los giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente de Lazo representan el mecanismo fundamental de transporte de energía de la región oriental hacia la occidental (Monreal Gómez y Salas de León, 1997), pues juegan un papel muy importante en el balance de salinidad y calor en el interior del golfo

Por su parte Rosales (2003) describe la ubicación del giro ciclónico en  $20.00^{\circ}$  N y  $94.00^{\circ}$  O, con forma elíptica y un eje mayor aproximadamente de 280 km. Asimismo, reporta que ambos giros por lo menos se extienden hasta el estrato de 1000 metros, que fue su máxima profundidad estudiada.

Cochrane, (1972) sugiere que el gran giro anticiclónico del oeste del golfo, es renovado periódicamente por los giros que se desprenden de la Corriente de Lazo y que se trasladan hacia el oeste, en contraste con lo anterior, Sturges y Blaha (1976) y Vazquez de la Cerda (1993) plantearon que este giro se debe al esfuerzo rotacional del viento. De cualquier modo, los giros ciclónicos son menos energéticos y de menor duración que el gran giro anticiclónico, pero no por ello menos importantes, pues favorecen la productividad biológica.

Antes del desprendimiento del giro anticiclónico de la corriente de Lazo se forman giros anticiclónicos en la zona entre el Banco de Campeche y la

Plataforma oeste de Florida. Sin embargo, no siempre los giros ciclónicos están asociados a dicho desprendimiento, también se atribuyen al movimiento del agua en la surgencia de Yucatán (Cochrane, 1963), y al choque del giro anticiclónico con la costa oeste (Smith, 1986; Vidal *et al.*, 1994). El gran giro anticiclónico al encontrar el talud transfiera movimiento hacia el sur, por lo que el agua que se encuentra en la orilla del giro anticiclónico da origen a un giro ciclónico al sur de la zona de colisión.

Es importante hacer notar que en el presente estudio la estación 61 a 20 m reportó el valor más bajo de salinidad, mientras que en la estación contigua, (60), se registró uno de los valores más altos valores a la misma profundidad. Situación indicativa la influencia del giro oceánico que mantiene agua de menor salinidad en el centro de la Bahía de Campeche, aún en los niveles superiores, lo cuál concuerda con lo reportado por Díaz en (2004).

Salas de León *et al.*, (2004) reportaron que los giros ciclónico y anticiclónico existentes en la Bahía de Campeche generan un gradiente horizontal de diferentes propiedades hidrográficas, lo cuál genera un gradiente de concentración de algunos grupos zooplanctónicos al interior y al exterior de los giros (Gasca, 1999). Además, las zonas de convergencia de los giros ciclónicos y anticiclónicos originan áreas de concentración de biomasa zooplanctónica (Mójica, 2003). Lo cual coincide con lo registrado en el presente estudio, y otros realizados en la misma zona en el mismo intervalo de tiempo, con distintos métodos (Alba, 2004), donde los valores mínimos de concentración de biomasa zooplanctónica en general se ubicaron en la zona central y de la zona oeste de la Bahía de Campeche, exceptuando los bordes de los giros, que dieron origen a los núcleos con mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche.

## MÉTODOS Y MATERIALES

La distribución de la biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche fue estimada a partir de datos de intensidad acústica absoluta obtenidos con un perfilador acústico Doppler (ADCP) de 75 KHz de la Compañía RD Instruments. El ADCP usado durante este estudio fue especialmente diseñado para fijarse en un buque y cuenta con 4 transductores los cuales tienen una inclinación en sus vértices de 30° con respecto a la vertical. El equipo tiene un solo amplificador de poder y 4 canales de recepción. El número de transductores que posee permite que cada uno de ellos cuantifique una componente de la velocidad y de la intensidad de eco por separado lo cual permite conocer la intensidad del eco a diferentes profundidades.

El ADCP fue diseñado originalmente para cuantificar la velocidad de las corrientes por medio del cambio de frecuencia en el sonido reflejado por una fuente en movimiento relativo entre un receptor y un objeto. Razón por la cuál, al no haberse diseñado para cuantificar la intensidad acústica absoluta del reflejo o eco, presenta el problema de calibración. Esta intensidad acústica absoluta (IAA) es el objetivo a cuantificar, ya que si se supone que cada eco es el producto del reflejo de la onda en cada organismo zooplanctónico, entonces al cuantificar el total de ecos tendremos el número total de organismos. O bien, al cuantificar la diferencia entre la intensidad de la onda emitida y la reflejada se conoce cuanto de ella a sido “rebotada” por los organismos y mediante una serie de transformaciones, se determina la biomasa zooplanctónica.

La fórmula (proporcionada por RD Instruments) para transformar desde la amplitud del eco de la señal acústica a intensidad acústica absoluta es la siguiente:

$$IAA = 10 \text{ Log}_{10} \left\{ \frac{\left[ 4.47 \times 10^{-20} K_2 K_s (T_x + 273) \left( 10^{\frac{K_c (E - E_r)}{10}} - 1 \right) R^2 \right]}{c P K_1 10^{\frac{-2\alpha R}{10}}} \right\}$$

Donde:

$IAA$  = Intensidad Acústica Absoluta (dB).

$K_2$  = factor de ruido del sistema

$K_s$  = constante del sistema

$T_x$  = temperatura real del transductor (°C)

$K_c$  = factor de conversión para la intensidad del eco (dB)

$E$  = intensidad del eco (conteo)

$E_r$  = ruido térmico electrónico de referencia del instrumento durante la calibración (conteo)

$R$  = direccionamiento del rango a la profundidad de la celda

$c$  = velocidad del sonido en cada celda ( $\text{m s}^{-1}$ )

$P$  = longitud del pulso transmitido (m)

$K_1$  = potencia real del sonido en el agua ( $\text{W m}^2$ )

$\alpha$  = coeficiente de absorción del agua ( $\text{dB m}^{-1}$ )

Los dos componentes fundamentales para la calibración de la  $IAA$  son:

- a) La estimación del nivel de ruido en los transductores del instrumento.
- b) La determinación de la atenuación de la señal acústica con la profundidad en la columna de agua.

La compañía RDI, fabricante del equipo utilizado, ofrece una explicación clara del nivel de ruido existente, ya que la intensidad acústica absoluta es sensible a la temperatura de los componentes electrónicos del ADCP.

Un aspecto importante del ADCP es la capacidad que tiene de ser programado para dividir el perfil de velocidades y de intensidades de reflejo en segmentos uniformes, que son denominados celdas, a través de la columna de

agua. Esto equivale a muestrear el zooplancton con redes verticales a profundidades regulares y uniformes a intervalos de segundos.

Para obtener la *IAA* se requiere considerar la variación de la velocidad del sonido en la vertical respecto a la variación de la densidad. Para esto fueron utilizados valores de la velocidad del sonido para las zonas costeras del sur del Golfo de México (Tabla 1), siguiendo el trabajo realizado por Ruíz-Rentería (1978).

**Tabla 3.** Velocidades de propagación del sonido en aguas costeras del sur del Golfo de México

Profundidad (m)	Velocidad del sonido ( $\text{m s}^{-1}$ )
100	1534.4
200	1526.2
300	1520.0
400	1514.9
500	1510.8
600	1507.4
700	1504.3
800	1502.4
900	1500.8
1000	1499.5
1100	1498.4
1200	1497.4
1300	1496.8
1400	1496.3
1500	1496.1

Ruíz Rentería (1978)

#### 4.1 Muestreo y trabajo de Campo

Los datos analizados en el presente estudio se obtuvieron durante la Campaña Oceanográfica denominada “Física de la Bahía de Campeche” (FIBAC), específicamente del crucero oceanográfico denominado “FIBAC I” realizado a bordo del Buque Oceanográfico “JUSTO SIERRA”, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, del 14 de agosto al 1 de septiembre de 1996.

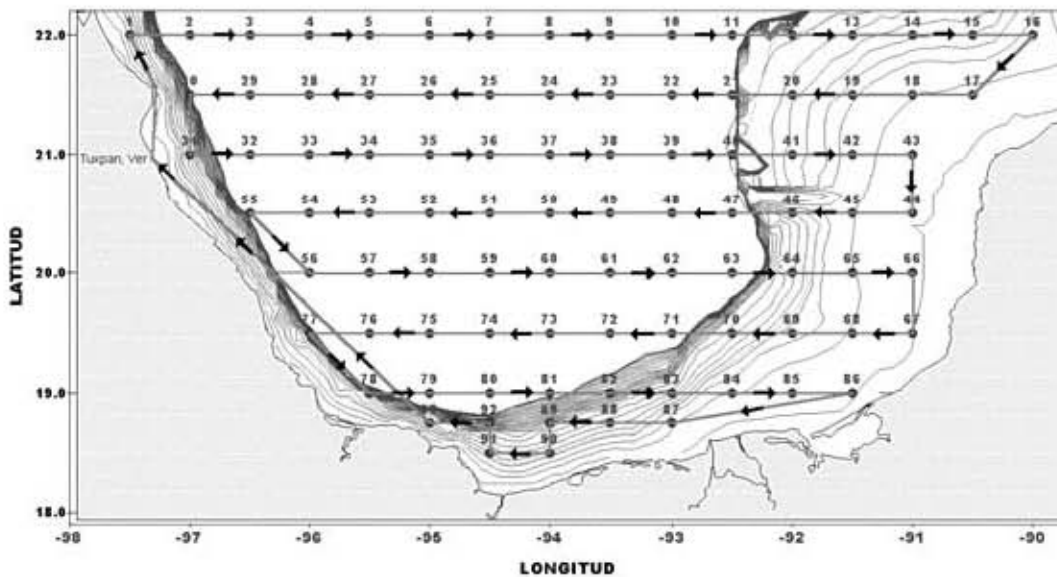


Figura 11. Distribución de estaciones hidrográficas y trayectoria del buque durante la campaña oceanográfica “FIBAC I”.

Durante el crucero oceanográfico “FIBAC I”, se obtuvieron muestras y datos en estaciones hidrográficas, así como durante la navegación continua del B/O “Justo Sierra” en la Bahía de Campeche (Figura 11).

A lo largo de este proyecto fue utilizado un ADCP, fabricado por la compañía RD Instruments, modelo RD – VM0075 Mark II, diseñado para instalación fija en buques, con una frecuencia de onda de sonido de 75 kHz, el cual emite 0.7 pulsos por segundo con 16 m de longitud de onda. Los cuatro primeros metros son considerados de incertidumbre por el ruido que genera el buque; razón por la cuál los datos son confiables después de los primeros 4 m.

El equipo es capaz de perfilar o medir hasta 2048 m de profundidad, con un mínimo de 8 celdas, un máximo de 128 celdas y una precisión en la intensidad acústica de  $\pm 3$  dB, una incertidumbre estadística de  $\pm 5$  dB, con un rango dinámico de 80 dB, con una resolución típica de 0.45 dB.

El ADCP se calibró de acuerdo al método sugerido por la compañía RDI (Technical Manual, 1992, Apéndice V) para poder eliminar el nivel de ruido térmico del aparato, posteriormente se programó para que los pulsos emitidos cada 0.7 de segundo se promediaran cada cinco minutos. Debido a la capacidad que tiene de dividir la columna de agua en capas de profundidad determinada, las celdas se fijaron a 16 m. Finalmente los datos fueron almacenados junto con la posición y la temperatura promedio de los transductores y del agua circundante a ellos.

#### **4.2 Procesamiento de datos y análisis estadístico**

El Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM desarrolló formulas para calcular la biomasa zooplanctónica a partir del eco de la intensidad acústica, para perfiladores de corriente (ADCP de la compañía RD Instrument) de 75 kHz, flujómetros acústicos (de la compañía UNIDATA) de 4 MHz y ADP de 600 kHz (marca SONTEK). Los coeficientes de calibración se obtuvieron al comparar resultados de biomasa zooplanctónicas de muestras capturadas con redes, con intensidades de ecos medidos al mismo tiempo que se capturaron los organismos.

Durante las campañas oceanográficas también se tomaron datos con un perfilador de presión, temperatura y conductividad, CTD Mark IV por sus siglas en inglés (Conductivity, Temperature and Depth), modificado en su sensor de profundidad de acuerdo a las recomendaciones de WOCE. El CTD se programó para tomar un dato de temperatura, presión y conductividad cada 25 cm en la vertical. Con los datos obtenidos se calculó la salinidad y la densidad

relativa o sigma t ( $\sigma_t$ ) usando los polinomios propuestos por la UNESCO (Fofonov y Millar, 1977).

Los datos de temperatura, conductividad y presión fueron depurados eliminando aquellos que corresponden a ruido del instrumento y se procesaron para crear archivos con información a cada metro de profundidad.

Los datos proporcionados por el ADCP fueron convertidos de código binario a código ASCII para procesarse posteriormente y crear una matriz con datos de Control de ganancia Acústica (Acoustic Gain Control, AGC), tiempo, profundidad, número de celda y otros parámetros de control.

Esta matriz se procesó mediante un programa desarrollado en el Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM para obtener la intensidad acústica absoluta (*IAA*) utilizando la fórmula descrita anteriormente. Finalmente se generaron matrices con *IAA*, latitud, longitud, hora, fecha, profundidad, salinidad, temperatura y densidad relativa. Los datos, se procesaron estadísticamente para determinar la relación existente entre la distribución de la biomasa zooplanctonica con las variables abióticas.

El procesamiento estadístico se realizó en dos fases: la primera de ellas fue el análisis de factores, específicamente por comparación de matrices de correlación múltiple, que permitieron determinar la importancia de cada uno de los parámetros hidrográficos en la distribución de la biomasa zooplanctónica. Y la segunda por análisis de agrupamientos (cluster), el cuál permitió establecer la similitud entre estaciones hidrográficas utilizando los valores de biomasa zooplanctónica, temperatura y salinidad. Es importante hacer notar que, debido a la alta dependencia registrada en las matrices de correlación múltiple, de la densidad relativa con respecto a la temperatura, se realizó el análisis de agrupamientos con los valores de biomasa zooplanctónica, temperatura, salinidad y densidad relativa, y posteriormente se volvió a realizar excluyendo los valores de densidad relativa. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas.



## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con el perfilador acústico Doppler de corrientes durante el crucero FIBAC – I, indican la existencia de 4 núcleos de alta concentración de biomasa zooplanctónica.

El primero de ellos se localizó en la región costera ubicada en la zona de influencia de la desembocadura del río Tuxpan, en las cercanías del sistema arrecifal Tuxpan, y se extendió al sureste al incrementarse la profundidad. El origen de esta concentración se encuentra relacionado con el aporte fluvial procedente del continente.

El segundo núcleo se localizó en las cercanías de Cayo Arcas, entre el Cañón de Campeche y la Plataforma de Yucatán. En esta región la alta concentración de biomasa zooplanctónica se debe a la influencia del giro ciclónico de la Bahía de Campeche.

El tercer núcleo se localizó al norte de las Lagunas de Tabasco, la Laguna de Términos y al oeste de la Plataforma de Yucatán. Se origina debido a la influencia del sistema fluvio – lagunar Grijalva – Usumacinta.

El cuarto núcleo se ubicó en la región oceánica al noroeste de la Península de Yucatán. En esta región se concentran grandes cantidades de biomasa zooplanctónica debido a la frontogénesis producida por las corrientes que ingresan a la bahía, como la corriente de Lazo, y las masas de agua de características hidrográficas diferentes, existentes en la Bahía de Campeche.

La temperatura es el parámetro hidrográfico que afecta en mayor medida la distribución de la biomasa zooplanctónica en la Bahía de Campeche.

Durante el presente estudio, la haloclina y la termoclina se ubicaron alrededor de los 40 m de profundidad.

Las mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica se registraron en los estratos de 52, 36 y 20 m, respectivamente.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar Navarro, J. A. (2005) *Composición nutricia del plancton del Lago de Patzcuáro, Michoacán, México*. Tesis de Licenciatura en Química de Alimentos, Facultad de Química, UNAM, 59 p., México D. F.
- Aguilar Ramírez, D., (1998): *Eficiencia en captura de camarón con Dispositivos Excluidores de Tortugas Marinas operados en redes de arrastre de la Flota Comercial Camaronera del Golfo de México durante febrero de 1992 a julio de 1993*. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, 59 p., México D. F., Junio 1998.
- Arroyo-Reyes, R. I., (2001): *Distribución y abundancia de las principales especies de camarones peneidos en la Sonda de Campeche*. Tesis de Licenciatura en Biología, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM, 63 p, México D. F., 2001.
- Alatorre Mendieta, M.A., F. Ruiz Y D. A. Salas de León. (1987) Efectos del paso de frentes fríos atmosféricos sobre la Bahía de Campeche. Menorias de la Reunión Anual , 1987. *Unión Geofísica Mexicana A. C.*, 1986 – 1993 pp.
- 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, 51 p, México D. F., 2001.
- Álvarez-Cadena J.N., E. Suárez-Morales, R. Gasca, 1998. Copepod assemblages from a reef-related environment in the Mexican Sea. *Crustaceana*, 71: 411-433.
- Alvariño A., 1969. *Los quetognatos del Atlántico. Distribución y rutas esenciales de sistemática*. Trabajos del Instituto Español de Oceanografía, 37, 290 pp.
- Alvariño, A., 1971. Siphonophores of the Pacific, with a review of the world distribution. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, University of California 16: 1 – 432.
- Alvariño, A., 1972. Zooplankton del Caribe, Golfo de México y regiones adyacentes. Pp. 223 – 247. *In: J. Carranza (Ed.) Memorias IV Congreso Nacional de Oceanografía*, D. F., México.
- Alvariño, A., 1980. Reproduction seasons and day/night bathymetric distribution of three species of Diphyinae (Siphonophorae), off California and Baja California. Pp. 33 – 38. *In: P. Tardent y R. Tardent (Eds), Developmental and Cellular Biology of Coelenterates*. Elsevier, Holanda, 499 p.

- Ashjian, C.J., S.L. Smith; C.N. Flagg; A.J. Mariano; W.J. Behrens y P.V.Z. Lane. 1994. The influence of a Gulf Stream meander on the distribution of zooplankton biomass in the Slope Water, the Gulf Stream, and the Sargasso Sea, described using a shipboard acoustic Doppler current profiler. *Deep Sea Research* 41(1):23-50
- Aretxabaleta, A. *et al.* (2005) Data assimilative hindcast on the Southern Flank of Georges Bank during May 1999: frontal circulation and implications. *Continental Shelf Research* 25 (2005) 849 – 874.
- Bailey K.M., E.D. Houde, 1989. Predation on eggs and larvae of marine fishes and the recruitment problem. *Adv. Mar Biol.* 25: 1-83.
- Balderas, P. B. M., 1994. Distribución superficial del fitoplancton en el Golfo de México y su relación con algunos parámetros físico-químicos durante el otoño de 1990. Tesis Profesional. FES Zaragoza, UNAM. 124p.
- Barth, J.A. Pierce, S. D., Cowles J.T. (2005) Mesoscale structure and its seasonal evolution in the northern California Current System. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 52 (2005) 1-2, 5-28.
- Basedow, S., L., Eiane, K., Tverberg, V., Spindler, M., (2004) Advection of zooplankton in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60 (2004) 113 – 124.
- Batchelder, HP; Van Keuren, JR; Vaillancourt, R; Swift, E (1995) Spatial and temporal distributions of acoustically estimated zooplankton biomass near the Marine Light-Mixed Layers station (59° 30'N, 21° 00'W) in the North Atlantic in May 1991. *Journal of Geophysical Research. C. Oceans.* Vol. 100, no. C4, pp. 6549-6563. 15, 1995.
- Beardsley, RC; Epstein, AW; Chen, C; Wishner, KF; Macaulay, MC; Kenney, RD (1996) Spatial variability in zooplankton abundance near feeding right whales in the Great South Channel. *Deep-Sea Research (Part II, Topical Studies in Oceanography)* *Deep Sea Research*, vol. 43, no. 7-8, pp. 1601-1625, 1996.
- Begon M., J.L. Harper, C.R. Townsend, 1990. *Ecology individuals, populations and communities*. Blackwell, Oxford.
- Behringer, D. W., R. L. Molinari y J. F. Festa. 1977. The variability of anticyclonic current patterns in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysics Research* 82(34): 5469-5476.
- Bessonov, N., O. González y A. Elizarov, 1971. Resultados de las investigaciones cubano – soviéticas en el Banco de Campeche. Pp. 317 – 323. *In: UNESCO*

- (Ed.), *Coloquio sobre investigaciones y recursos del Mar Caribe y regiones adyacentes*, París, 545 p.
- Brewer G.D., G.S. Kleppel, M. Dempsey, 1984. Apparent predation on ichthyoplankton by zooplankton and fishes in nearshore waters of southern California. *Mar. Biol.* 80:17-28.
- Brierley, A. S., Brandon, M. A., and Watkins, J. L. (1998) *An assessment of the utility of an Acoustic Doppler Current Profiler for biomass estimation. Deep-Sea Research I*, 45 (9): 1555 – 1573.
- Bogdanov, D.V.1969. Some oceanographic features of the Gulf of the Mexico and Caribbean Sea. *In: A.S. Bogdanov (Ed). Soviet-Cuban-Fishery-Research:13-15*
- Boltovskoy, D. 1981. Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino I y III. INIDEP. Argentina.
- Boswell, J. (1996) *Manual de Supervivencia*. SEDENA, México, D.F. 1996 384 p.
- Boynton, WR; Boicourt, W; Brandt, S; Hagy, J; Harding, L; Houde, E; Holliday, DV; Jech, M; Kemp, WM; Lascara, C; Leach, SD; Madden, AP; Roman, M; et al. (1997) Interactions between physics and biology in the estuarine turbidity maximum (ETM) of Chesapeake Bay, USA. ICES Council Meeting Papers. 28 pp.
- Buchholz, F; Buchholz, C; Reppin, J; Fischer, J (1995) Diel vertical migrations of *Meganyctiphanes norvegica* in the Kattegat: Comparison of net catches and measurements with Acoustic Doppler Current Profilers. The challenge to marine biology in a changing world., biologische anstalt helgoland, 1995, vol. 49, no. 1-4, pp. 849-866, Helgolander Meeresuntersuchungen. Vol. 49, no. 1-4
- Burd, B.J. Y R. E. Thomson, 1993. Flow volume calculations based on three dimensional current and net orientation data. *Deep sea Res. I.* 40(6)1141-1153.
- Carranza-Edwards A., L. Rosales-Hoz, y M.A. Monreal-Gómez. 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology.* 112, 257-259.
- Castellanos, I. A. y R. Gasca. 1999. Epipelagic euphausiids (Euphausiacea) and spring mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Crustaceana* 72(4): 391-404.
- Cifuentes, J. L.; Torres-García Ma. del P.; Mondragón, M. F. (1987). *El océano y sus recursos*. Fondo de Cultura Económica, México, 161 p.

- Cochrane, J. D., (1963). *Yucatán Channel*. Annual Report. Department of Oceanography, Texas A&M University. Ref. 63 – 18 A, 6 – 11 pp.
- Cochrane, J.D. (1972). Separation of an anticyclone and subsequent developments in the Loop Current (1969) In: Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of México. L.R.A. Capurro and Reid, J. L. Eds. Gulf Publishing. Co. Houston, 91 – 106 pp.
- Collins Pérez, E.E. 1990. *Composición, distribución y abundancia del ictioplancton en el Sur del Golfo de México (otoño, 1987)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Conway D.V., S.H. Combs, C. Smith, 1997. Vertical distribution of fish egg and larvae in the Irish Sea and southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 54:136-147.
- Coutis, P. F., Middleton, J. H. (1999) Flow-topography interaction in the vicinity of an isolated, deep ocean island. *Deep-Sea Research I* 46 (1999) 1633-1652.
- Czitrom Gauss, S.; F. Ruíz ; M.A. Alatorre y A.R. Padilla. 1986. Preliminary study of a front in the bay of Campeche, Mexico. In. J.C.J. Nihoul (ed.), *Marine interfaces ecohydrodynamics*. pp 301-311. Elsevier Oceanographic Series. Liege.
- Darwin, Ch., (1857). *Viaje de un naturalista alrededor del mundo*. Reimpresión 1989. Madrid, España. 457 p.
- De la Cruz, A., 1971. Estudios de plancton en el Banco de Campeche. Pp. 375 – 383. In: UNESCO (Ed.), *Coloquio sobre investigaciones y recursos del Mar caribe y regiones adyacentes*, París, 545 p.
- Demer, D.A., Barange, M., Boyd, J.A., (2000) Measurements of three-dimensional fish school velocities with an acoustic Doppler Current profiler. *Fisheries Research* 47 (2000) 201 – 214.
- Díaz Flores, M. A., (2004) *Estudio de las corrientes en la Bahía de Campeche utilizando un perfilador Acústico Doppler (ADCP)*. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 67 p, México D.F., 2004.
- Espinosa Fuentes, M. L. (2004) *Dinámica Espacio-Temporal de las comunidades ictioplanctónicas durante diferentes épocas climáticas en el sur del Golfo de México*. Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 112 p, México D. F., 2004.

- Edvardsen, A; Slagstad, D; Tande, KS; Jaccard, P (2003) Assessing zooplankton advection in the Barents Sea using underway measurements and modeling. *Fisheries Oceanography*. Vol. 12, no. 2, pp. 61-74. 2003.
- Farstey V., B. Lazar, A. Genin, 2002. Expansion and homogeneity of the vertical distribution of zooplankton in a very deep mixed layer. *Marine Ecology Progress Series*, 258: 91-100.
- Fielding, S., Crisp, N., Allen, J. T., Hartman, M. C., Rabe, B., and Roe, H. S. J. (2001) Mesoscale subduction at the Almeria-Oran front part 2. Biophysical interactions. *Journal of Marine Systems*, 30: 287-304.
- Fielding, S., Griffiths, G., Roe, H.S. (2004). The biological validation of ADCP acoustic backscatter through direct comparison with net samples and model predictions based on acoustic scattering models. *ICES Journal of Marine Science* 61, (2004) 2, 184 – 200.
- Flagg, Ch. N. y S. L. Smith. (1989) On the use of the acoustic Doppler current profiler to measure zooplankton abundance. *Deep Sea Research*. 36 (3) : 455-474.
- Flagg, Ch. N; Wirick, CD; Smith, S. L. (1994) The interaction of phytoplankton, zooplankton and currents from 15 months of continuous data in the Mid-Atlantic Bight. *Deep Sea Research*, vol. 41, no. 213, pp. 411-435, 1994.
- Flores Coto, C., (1988) Composición, distribución y abundancia ictioplanctónica del Sur del Golfo de México. *Universidad y Ciencia*. 5(9):65-84.
- Flores Coto, C. y U. Ordóñez López. (1989). Larval Distribution and abundance of Myctophidae, Gnotostomatidae and Sternoptychidae (Pisces) families from the southern Gulf of Mexico. *NOAA, Tech. Rep. NMFS* 95.
- Flores Coto, C. y M., Sánchez Ramírez. 1989. Larval distribution and abundance of Carangidae (Pisces), from the Southern Gulf of Mexico, (1983 – 1984). *Gulf Res. Rep.* 8 (2) : 117 – 128.
- Flores Coto, C., Zavala García, F. y Espinosa Villagrán, G. (1993). Asociaciones ictioplanctónicas de la Bahía de Campeche, México (verano 1987). Serie ocasional 2: 57 – 67 pp- Fac. de Ciencias del Mar. *Univ. Católica del norte de Coquimbo, Chile*. 1993.
- Flores Coto y Gracia Gasca, A. 1993. Monitoreo de las fases de pre-reclutamiento de especies estuarino-dependientes de importancia comercial frente a la laguna de Términos. Informe del proyecto IN-202092 para la DGAPA, ICMYL, UNAM. México. 114 pp.

- Flores Hernandez, F. 1994. Variación de la composición y abundancia del ictioplancton en ciclos de 24 horas en diferentes períodos climáticos, en la Sonda de Campeche, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F. 83 pp.
- Flores Hernandez, F. 1999. Variación de la composición y la abundancia de la distribución vertical del ictioplancton, durante ciclos de 24 horas en diferentes períodos climáticos, en la Sonda de Campeche, México. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F. 91 pp.
- Frank K.T., F.H. Page, J.R. McRuer, 1989. Hydrographic effects on the vertical distribution of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) eggs and larvae on the southwestern Scotian Shelf. *Can. J. Fish Aquat Sci.*, 9:82-92.
- Franks, P. J. S., 2001. Turbulence avoidance: a alternate explanation of turbulence – enhanced ingestion rates in the field. *Limnology and Oceanography* 46(4): 959 – 963.
- Fraser J. H. 1968. The history of plankton sampling. In: D. J. Tranter (ed.). *Zooplankton Sampling*. UNESCO, París. 57 – 76.
- Fretwell S.D., H.L. Lucas, 1970. On territorial behaviour and other factors influencing habitat distribution in birds. *Acta Biotheor.*, 19:16-36.
- Fofonov, N. P., and Millard, R. C. Jr. (1983). Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO Technical papers in Marine Science, 44, 55 pp.
- Fortier L., W.C. Leggett, 1984. Small-scale covariability in the abundance of fish larvae and their prey. *Can. Fish. Aquat. Sci.*, 41: 509-512.
- Forward, R.B. 1988. Diel and vertical migration: zooplankton photobiology and behavior. *Oceanogr. mar. Biol.* 26:361-393
- 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.
- Gardiner, M. S. 1978. Biología de los invertebrados. Omega. Barcelona, España. 940 pp.
- García Salgado, M. A., (2001) *Relación entre la producción de camarón, la descarga de los ríos y la precipitación pluvial, en el Golfo de México*. Maestría en Ciencias, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 77 p, México D. F. 2001.



- Gasca y Suárez, (1991a). *Sifonóforos de México. Biología y Ecología*. Ferrandiz, México, 170 p.
- Gasca, R. E. Suárez e I. Castellanos, 1995. Biomazas zooplanctónicas en aguas superficiales del Golfo de México durante verano e invierno de 1991. *Caribbean Journal of Science* 31 (1-2): 128 – 140.
- Gasca, R. (1996) *El zooplancton marino*. In: Gasca, r. y E. Suárez. 1996. Introducción al estudio del zooplancton marino. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/ CONACYT. México. 711 pp.
- Gasca, R., 1999. Siphonophores (Cnidaria) and summer mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 65(1):75-89.
- Gentry, R. C., Pl. L. Moore y A. M. Marshall, 1950: *Hoist hurricane warnings*. Weather Vane Pub., Miami
- Gerking S.D., 1994. *Feeding ecology of fish*. Academic Press, San Diego.
- Gómez-Aguirre, S., 1987. Biomasa de plancton de la zona económica exclusiva del sureste del Golfo de México y Caribe Mexicano (may – jul, 1982). *Universidad y Ciencia* 4 (8): 47 – 54.
- 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.
- Gordon, A. L., 1966. Caribbean Sea-Oceanography, *In: The Encyclopedia of Oceanography*, R.W., Fairbridge (Ed.), 175 – 181 pp.
- Gotsis-Skretas O., U. Horstmann, B. Wiryawan, 2000. Cell size structure of phytoplankton communities in relation to physico-chemical parameters and zooplankton in a temperature coastal environment. *Arch. Fish. Mar. Res.*, 48:265–282.
- Greenlaw, C.F. 1979. Acoustical estimation of zooplankton populations. *Limnol. Oceanogr.* 24:226-242
- Greene, C.H., Wiebe, P.H. (1990) Bioacoustical oceanography: newtools for zooplankton and micronekton research in the 1990s. *Oceanography* 3 (1), 12–17.
- Greene, C.H., Frstrup, K.M., Stanton, T.K., Gisiner, R.G., Tipper, R.C. (1998) Bioacoustical oceanography: an introduction. *Deep-Sea Research II* 45 (7), 1151–1153.

- Griffiths, G & J.I. Díaz. 1996. Comparison of acoustic backscatter measurements from a ship-mounted Acoustic Doppler Current Profiler and an EK500 scientific echo-sounder. *ICES Journal of Marine Science*. 53: 487-491
- Gutierrez-Estrada, M. 1977. Sedimentología del área de transición entre las provincias terrígenas y carbonatadas del sureste del Golfo de México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 175pp.
- Gutiérrez Estrada, M. y Castro del Río, A. (1988). Origen y desarrollo geológico de la Laguna de Términos. Pp 98 -110. En: Yañez – Arancibia, A. y Day, J. W. (Eds.) *Ecología de los Ecosistemas costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. Editorial Universitaria, México. 518 pp.
- Haldorson L., M. Prichett, A.J. Paul, D. Ziemann, 1993. The vertical distribution and migration of fish larvae in a Northeast Pacific bay. *Marine Ecology Progress Series*, 101: 67-80.
- Hanaka, K. y T. Suga, 2003. Surface mixed layer in the ocean and water mass analysis. Pp. 63 – 109. *In: Y. Toba (Ed.). Ocean – atmosphere interactions*. TERRAPUB/Kluwer, Londres, 303p.
- Haney J.F., 1988. Diel patterns of zooplankton behaviour. *Bull Mar. Sci.*, 43:583-603.
- Harris R.P., 1988. Interactions between diel vertical migratory behaviour of marine zooplankton and subsurface chlorophyll maximum. *Bull. Mar. Sci.*, 43:663-674.
- Harris, R. P., Wiebe, P. H., Lens, J., Skjoldal, H. R. , Huntley, M. (2000). *Zooplankton Methodology Manual*. Elsevier Academic Press. San Diego, California, USA. 684pp.
- Heath M.R., E.W. Henderson, D.L. Baird, 1988. Vertical distribution of herring larvae in relation to physical mixing and illumination. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 47:211-228.
- Herman A.W., 1989. Vertical relationships between chlorophyll; production and copepods in the eastern tropical Pacific. *J. Planckton Res.*, 11:2343-2361.
- Hernandez Tellez, J. *et al.* 1993. Cooling and heating due to latent and sensible heat over the Yucatán continental shelf. *Atmósfera*. 6(4):223-233.
- 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.
- Heywood, KJ; Scrope-Howe, S; Barton, ED (1991) Estimation of zooplankton abundance from shipborne ADCP backscatter. *Deep Sea Research.*, vol. 38, no. 6A, pp. 677-691, 1991.
- Holliday, D.V. 1977. Extracting bio-physical information from the acoustic signatures of marine organisms. *In*. N.R. Andersen y BIJ. Zahuaranec (eds.). *Ocean Sound Scattering Prediction. Marine Science*, Vol. 5, Plenum Press. New York and London. pp. 619-624
- Hopkins T.L., 1982. The vertical distribution of zooplankton in the eastern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research*, 29(9A):1069-1083.
- Jiangang Luo; Ortner, PB; Forcucci, D; Cummings, SR (1998) Diel vertical migration of zooplankton and mesopelagic fish in the Arabian Sea. CF: Conferencia Counc. Meet. of the Int. Counc. for the Exploration of the Sea, Cascais (Portugal), 16-19 Sep 1998. ICES, Copenhagen (Denmark). 21 pp. 1998.
- Kendal A.W., N.A. Naplin, 1981. Diel–depth distribution of summer ichthyoplankthon in the Middle Atlantic Bight. *Fish Bulletin.*, 79:705-726.
- Kirsh, J; G.L. Thomas y R. Ted Cooney. 2000. Acoustic estimates of zooplankton distributions in Prince William Sound, spring 1996. *Fish. Res.* 47:245-260
- Lagadeuc Y., M. Boule, J.J. Dodson, 1997. Effect of vertical mixing on the vertical distribution of copepod in coastal waters. *Journal Plankton Research.*, 19(9):1183-1204.
- Lara López, A. L. (2000) *Determinación de la Biomasa zooplanctónica frente a la desembocadura del sistema Grijalva – Usumacinta utilizando un perfilador acústico Doppler*. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, 60 p, México D.F., 2000.
- Lara López, A.L. 2003. *Variación espacio – temporal de la biomasa zooplanctónica en las regiones de influencia del sistema Grijalva – Usumacinta durante 1999*. Tesis de maestría en ciencias del mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 68pp.
- Lasker R., 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: The relation between in shore chlorophyll maximum layer and successful first feeding. *Fish Bull.*, 71:453-462.

- Lasker R., 1981. *The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment*. In: Lasker R. (Ed) Marine fish Larvae. Morphology, ecology and relation to fisheries. University of Washington Press, Seattle, 80–87.
- Lebourges Dhaussy, A. 1998. Caractérisation des populations planctoniques par acoustique multifrequence. *Oceanis* 22(1): 71-92
- Legendre, L., S. Demers y D. Lefaivre. 1986. Biological production at marine ergoclines. En: Nihoul, J. C. J. 1986. *Marine Interfaces Ecohydrodynamics*. Elsevier. Ámsterdam. 1-29 pp.
- Leipper, D.F., 1970: A sequence of current patterns in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 75, 637-657.
- Lenz, J., (2000) Introduction In Harris, R. P., Wiebe, P. H., Lens, J., Skjoldal, H. R., Huntley, M. (Eds.). *Zooplankton Methodology Manual*. Elsevier Academic Press. San Diego, California, USA. 684pp.
- Lewis, D. M. y T. J. Padley, 2001. The influence of turbulence on plankton predation strategies. *Journal of Theoretical Biology* 210: 347 – 356.
- Longhurst, A.R. 1976. Vertical migration. In: *The ecology of the seas*. Ed. by D.H. Cushing & J.J. Walsh. Blackwell, Oxford, 116-137.
- Loo, W. y D. C. Biggs, 1996. Temporal variability in the night – time distribution of epipelagic siphonophores in the North Atlantic Ocean at Bermuda. *Journal of Plankton Research* 18 (6): 923 – 939.
- López Padierna, M. (2007) “Distribución de tursiones (*Tursiops truncatus*) en la Laguna de Términos, Campeche, México”. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. 106 pp.
- Lynn, RJ (2003) Variability in the spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off southern and Central California. *Fisheries Oceanography*. Vol. 12, no. 6, pp. 541-553. 2003.
- Lyons, M. L.G. *et al.* 1994. Comparison of cross-shelf trends in acoustic Doppler current profiler amplitude and zooplankton displacement volume in southern California. *CalCOFI Rep.* 35:240-245
- Luo, J., Ortner, P. B., Forcucci, D., Cummings, S. R. (2000) Diel vertical migration of zooplankton and mesopelagic fish in the Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 47 (2000) 1451-1473.
- MacLennan, D.N. y E.J. Simmonds, 1992. *Fisheries Acoustics*. Chapman and Hall. London, 325pp.

- Mackas D.L., H. Sefton, C.B. Miller, A. Raich, 1993. Vertical habitat partitioning by large calanoid copepods in the oceanic subarctic pacific during spring. *Prog. Oceanogr.*, 32: 259-294.
- Margulis, R. Y., 1972. Factors determining the large-scale distribution of siphonophores of the suborders Physonectes and Calycophorae in the Atlantic Ocean. *Oceany.*, 12:420-425.
- Martínez-Gutiérrez, M. R., (2001): *Variación de la Distribución y Abundancia de las Larvas de las Familias Serranidae, Lutjanidae y Scombridae (Pisces), con Aspectos Ecológicos de Algunas Especies. Sur del Golfo de México.* Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, 138 p, México D. F., (2001).
- Mauchline J., 1980. The biology of euphausiids. *Advances Marine Biology*, 18:373-677.
- Merino, M., 1977. Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine Systems.*, 13: 101-121 pp.
- Merrell, W.J. Jr. y J.M. Morrison, 1981: On the circulation of the Gulf of Mexico with observations from april 1978. *Journal of Geophysical Research*, 86(C5), 4181-4185.
- Mille-Pagaza S., J. Carrillo-Laguna, 2001. The chaetognata of the southwestern Gulf of Mexico during April-May of de 1986. *Gulf and Caribbean Research*, 13:39-65.
- Mojica-Ramírez E., 2003. *Variabilidad de la biomasa zooplanctónica en la región del Cañón de Campeche durante la campaña PROMEBIO-I (5 al 21 de agosto 1999).* Tesis de Licenciatura Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias, 50 pp.
- Molinari, R.L. 1977. Synoptic and mean monthl 200 topographies in the eastern Gulf of Mexico. NOAA Tech. Memo. ERI. AMOL-27, 33 pp., Atl. Oceanogr. And Meteorol. Lab., Miami. Florida.
- Molinari, R.L., S. Baig, D.W. Behringer, G. Maul y R. Legeckis, 1977: Winter intrusions of the loop current. *Science*, 198, 505-507.
- Molinari, R. L., J. F. Festa y D. W. Behringer. 1978. The circulation of the Gulf o Mexico derived from estimated Dynamic High Fields. *J. Phys. Oceanogr.* 8: 987-996.
- Molinari, R. L. y J. Morrison. 1988. The separation of the Yucatán Current from the Campeche bank and the intrusion of the loop Current into the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.* 93: 10645-10653.

- Molinari, R.L., 1978: The relationship of the curl of the local wind stress to the circulation of the Cayman Sea and the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 8, 778-784.
- Monreal Gómez, M. A. y Salas de León, D. A. (1990) Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. *Geofis. Int.* 29(2): 101-111
- Monreal Gómez, M. A. y Salas-de-León, D.A. 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Unión Geofísica Mexicana (3) 183 – 199 pp.
- Montaño Juárez, K., (2005): *Distribución y abundancia de larvas de camarón Sicyonia spp., en el Sur de la Bahía de Campeche*. Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, 66 p, México D. F., Enero 2005.
- Munk P., T. Kiorboe, V. Christensen, 1989. Vertical migrations of herring *Clupea engus*, larvae in relation to light and prey distribution. *Envir. Biol. Fish.*, 26: 87-96.
- Napp J.M., E.R. Brooks, P. Matrai, M. Mullin, 1988. Vertical distribution of marine particles and grazers. II. Relation of grazer distribution to food quality and quantity. *Mar. Ecology. Progr. Ser.*, 50:59-73.
- Nowlin, W.D. Jr., 1972. Winter circulation patterns and property distributions. In: Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. L. R. A.. Capurro y J. L. Reid, Eds. Gulf Pub. Co., Houston 3 – 15 pp.
- Okolodkov, Y. B. 2003. A review of Russian research in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea in the 1960 – 1980s *Hidrobiológica* 13(3): 207-221.
- Omori, M. and T. Ikeda. 1984. *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley y Sons Ed. USA. 332pp.
- Ortuño Manzanarez, G. 1996. *Biomasa zooplanctónica en el Golfo de México, durante los veranos de 1986-1990*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Padilla Pilotze, A.R.; M.A. Alatorre; F. Ruíz y S.P.R. Czitrom. 1986. Observaciones recientes de la estructura termohalina en el sur del Golfo de México. 434-440. In. J. Urrutia-Fucugauchi (Ed.) Memoria de la Reunión anual 1986. *Unión Geofísica Mexicana*. 499pp.
- Pagés, F., H. E. González, M. Ramón, M. Sobrazo y J. M. Gili, 2001. Gelatinous zooplankton assemblages associated with water masses in the Humboldt Current System, and potential predatory impact by *Bassia bassensis*

- (Siphonophora Calycophorae). *Marine Ecology Progress Series* 210: 13 – 24.
- Palma, S., 1994. Distribución del macroplankton gelatinoso en un área de desove de peces frente a la costa central de Chile (32° - 33° S). *Revista de Biología Marina* 29 (1): 23 – 45.
- Perry R.I., J.D. Neilson, 1988. Vertical distributions and trophic interactions of ageon Atlantic cod and haddock in mixed and stratified waters of Georges Bank. *Marine Ecology Progress Ser.*, 489:199-214.
- Pershing, A. J., Wiebe, P. H., Manning, J. P., Copley, N.J. (2001) Evidence for vertical circulation cells in the well-mixed area of Georges Bank and their biological implications. *Deep-Sea Research II* 48 (2001) 283 – 310.
- Porrello, S. (2005) The influence of marine cages on the sediment chemistry in the Western Mediterranean Sea. *Aquaculture*. En prensa.
- Pugh, P. R., 1974. The vertical distribution of the siphonophores collected during the Sond Cruise, 1965. *Journal Of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 54: 25 – 90.
- Pugh, 1977. Some observations on the vertical migration and geographical distribution of siphonophores in the warm waters of the North Atlantic Ocean, p. 372 – 378. *In: Proceedings of the Symposium on Warm Water Zooplankton*, GOA, NIO.
- Purcell, J. E., 1981. Dietary composition and the diel feeding patterns of epipelagic siphonophores. *Marine Biology* 65: 83 – 90.
- Purcell, J. E., 1997. Pelagic cnidarians and ctenophores as predators: selective predation, feeding rates, and effects on a prey populations. *Annales de l'Institut océanographique*, París 73 (2) : 125 – 137.
- Quan-Kiú Rascón, A. C. (2006) “El repertorio de silbidos de tursiones (*Tursiops truncatus*) de la Laguna de Términos, Campeche, México”. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. 74 pp.
- Quiroga Brahm, C. 2003. Caracterización de la pesquería de arrastre de escama en el sur del Golfo de México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 118 pp.
- 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, 80 p, México D.F., 2005.

- Raymont, J. E. G., 1983<sup>a</sup>. *Plankton and productivity in the oceans*. Vol. I. *Phytoplankton*. Pergamon Press, Oxford, 800 p.
- Raymont, J. E. G., 1983<sup>b</sup>. *Plankton and productivity in the oceans*. Vol. II. *Zooplankton*. Pergamon Press, Oxford, 820 p.
- Ressler, P. H. (2002) Acoustic backscatter measurements with a 153 kHz ADCP in the northeastern Gulf of Mexico: determination of dominant zooplankton and micronekton scatters. *Deep-Sea Research I* 49 (2002) 2035 – 2051.
- Ressler P. H., y Jochens, A. E. (2003) *Hydrographic and acoustic evidence for enhanced plankton stocks in a small cyclone in the northeastern Gulf of Mexico*. *Continental Shelf Research* 23 1 (2003) 41 – 61.
- Ruiz Renteria, F., y M. Merino-Ibarra. 1989. Upwelling off the North coast of the Yucatan Peninsula. In: Chavez, E.A. (Ed.). *Proceedings of the Workshop Mexico–Australia on Marine Sciences*. CINVESTAV-IPN, Mexico, pp. 149–160.
- Roe, H. S. J., Griffiths, G., Hartman, M., and Crisp, N. (1996) Variability in biological distributions and hydrography from concurrent Acoustic Doppler Current Profiler and SeaSoar surveys. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 131 – 138.
- Röpke A., W. Nellen, U. Piarkowski, 1993. A comparative study on the influence of the pycnocline on the vertical distribution of fish larvae and cephalopod paralarvae in three different area of the Arabian Sea. *Deep Sea Res.*, 40:801-818
- Rosales Navarro, I.S., 2003: *Circulación Geostrofica en el sur del Golfo de México*. Tesis de Licenciatura en Ing. Geofísico, Fac. de Ingeniería, UNAM, 87 p, México D.F., junio de 2003.
- Salas-de-León, D.A. y M.A. Monreal-Gómez, 1986: The role of the loop currents in the Gulf of Mexico fronts. In: *Marine Interfaces Ecohydrodynamics*, J.C.J. Nihoul, Ed. Elsevier, Amsterdam, 295-300.
- Salas de León, D. A. (1998) Influence de la circulation à long terme sur la répartition des organismes zooplanctoniques dans la Baie de Campeche, Mexique. *Oceanologica Acta*. 21(1):87-93
- Salas de León D. A., M. A. Monreal Gómez, M. Signoret, J. Aldeco, 2004. Anticyclonic-cyclonic eddies and their impact on near-surface chlorophyll stocks and oxygen supersaturation over the Campeche Canyon, Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 109:1-10.



- Salas de León, D.A. M.A. Monreal-Gómez, J. Galarza Macías (2005): Estimación de la biomasa zooplanctónica en zonas costeras usando un perfilador acústico de alta frecuencia. *Ciencia y Mar*. 2005, IX (26): 9 - 18.
- Sánchez-Barriga, J.J. (1998): *Anormalidades de la Función Diastólica del Ventrículo Izquierdo evaluadas mediante ecocardiografía Doppler y su asociación con el descontrol glucémico crónico en pacientes asintomático con Diabetes Mellitus Tipo II*. Maestría en Ciencias Médicas, Facultad de Medicina, UNAM, 23 p, México D.F., 1998.
- Sánchez-Ramírez, M. 1997. Alimentación, crecimiento y mortalidad de larvas de *Chloroscombrus chrysurus* (PISCES: Carangidae) en el sur del Golfo de México. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 85 pp.
- Santamaría Alvarado, F. J. 2004. Determinación de crecimiento compensatorio en *Oreochromis niloticus* posterior a un descenso de temperatura. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 54 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. ICMYL, UNAM, 58 p.
- Sanvicente Añorve, L. (1998) Spatial and seasonal patterns of larval fish assemblages in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin Marine Sciences* 62 (1) :17-30
- Schmidt H.E., 1973. The vertical distribution and diurnal migration of some zooplankton in the Bay of Eilat (Red Sea). *Helgol Wiss Meeresunters*, 24:333-340.
- Schütt, F., 1892. *Analytische Planktonstudien*. Lipsius and Tischer, Kiel, 117 pp.
- Sclafani M., C.T. Taggart, K.R. Thompson, 1993. Conditions, buoyancy and distribution of larval fish: implications for vertical migration and retention. *J. Plankton Res.*, 15:413-435.
- Sieburth, J. McN., Smetacek, V. and Lenz, J., (1978). Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, 23: 1256 -1263.
- Silva-Flores M., 1980. *Abundance of the zooplanktonic groups from Campeche Sound, Mexico*. Secretaria de Marina, México D.F., 28 pp.

- Smith, D.C., (1986) A numerical study of loop current eddy interaction with topography in the Western Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 16, 1260 – 1272 pp.
- Sturges, W., and Blaha, J. P., (1976). A western boundary current in the Gulf of México. *Science*, 192: 367 – 369 pp.
- Sutor, M. M., Cowles, T. J., Peterson, T. J., Pierce, S.D. (2005) Acoustic observations of finescale zooplankton distributions in the Oregon upwelling region. *Deep-Sea Research II* 52 (2005) 109 – 121.
- Tápanes, J.J., y F. González-Coya, 1980: Hidrometeorología del Golfo de México y Banco de Campeche. *Geofísica Internacional*, 19(4), 335-354.
- Technical Manual, 1992, (Apéndice V) RD Instruments, “Acoustic Doppler Current Profilers - Principles of Operation: A Practical Primer,” 1996. 45 pp.
- Thibault – Botha, D., J. R. E. Lutjeharms y M. J. Gibbons, 2004. Siphonophore assemblages along the east coast of South Afrika; mesoscale distribution and temporal variations. *Journal of Plankton Research* 26 (9): 1115 – 1128.
- Tollefsen, C.D.S., and Zedel, L. (2003) Evaluation of a Doppler sonar system for fisheries applications. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 692-699.
- Torres-Flores, V. M. (1999): *Evaluación de Proteínas en Plancton de Sistemas Acuáticos Urbanos*. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, 102 p, México D. F. 1999.
- UNESCO, 1979. *Zooplankton Sampling. Monographs on Oceanographic Methodology 2*. UNESCO. France. 174 pp.
- Vasiliev, V.; 1974. Distribución de los sifonóforos en el Golfo de México durante el período de primavera – verano en el año de 1969. *Cienc., Ser. 8* (12): 1-51.
- Vázquez de la Cerda, A.M. 1979. Circulación del agua en el sureste del Golfo de México. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía, Mex, 26 pp.
- Vázquez de la Cerda, A. M., (1993). Bay of Campeche Cyclone. Tesis de Doctorado. Texas A&M University. 91 p.
- Verita, P.G. and Smetacek (1996). Organism life cycles, predation and the structure of marine pelagic ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 130: 277 - 293.

- Vidal, V.M.V., Vidal, F. V., Hernández, A. F., Meza, E. and Pérez Molero, J. M., (1994). Barocline flows, transports and cinematic properties in a cyclonic – anticyclonic ring triad in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 99: 7571 – 7597.
- Villalobos, A. y M.E. Zamora, 1975. Importancia biológica de la Bahía de Campeche. *Mem. I Simp. Lat. Ocean. Biol. (México)*:375-382.
- Villanueva-Estrada, R. E. (2000): *Evaluación de Metales Pesados en el área de las Plataformas Petroleras de la Bahía de Campeche*. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 134 p, México D. F. 2000.
- Wade, I. P., and Heywood, K.J. (2001) Acoustic-backscatter observations of zooplankton abundance and behaviour and the influence of oceanic fronts in the Northeast Atlantic. *Deep- Sea Research II*, 48 (4 – 5): 899 – 924.
- Webber M.K, C.J. Roff, L.A. Chisholm, C. Clarke, 1996. Zooplankton distributions and community structure in an area of the south coast shelf of Jamaica. *Bulletin of Marine Science*, 59:259–495.
- Wicstead, J.H. (1979) *Zooplankton marino*. Omega. Madrid, España. 70 pp.
- Wiebe, P.H. *et al.* 1975. Relationships between zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight and carbon. *Fish. Bull.* 73(4): 777-786
- Wiebe, P.H. 1988. Functional regression equations for zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight and carbon: A correction. *Fish. Bull.* 86(4): 333-335
- Zavala, G. F. y Flores C. C.1989. Medición de biomasa zooplanctónica. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 16(2):273-278.
- Zavala García, F. (2000) “Muestreo del Zooplancton”. *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.
- Zhou, Meng; Nordhausen, W; Huntley, M (1994) ADCP measurements of the distribution and abundance of euphausiids near the Antarctic Peninsula in winter. *Deep Sea Research*. vol. 41, no. 9, pp. 1425-1445, 1994.
- Zhou, M., Zhu, Y., Peterson, J.O. (2004). In situ growth and mortality of mesozooplankton during the austral fall and winter in Marguerite Bay and its vicinity. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(2004) 17-19, 2099-2118.

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. 1999.

Zimmerman, J. K., Pascarella, J. B., Aide, T. M. (2004) Short-term response of a secondary forests to hurricane disturbance in Puerto Rico, USA. *Forest Ecology and Management* 199 (2004) 379-393.

## APÉNDICE 1

### **Análisis de agrupamientos**

Un investigador ha colectado datos sobre un gran número de unidades experimentales. La cuestión básica planteada para un análisis por agrupación es confirmar la posibilidad de idear una clasificación o esquema de agrupación que permita dividir las unidades experimentales en clases, llamados agrupamientos, de modo que las unidades que estén dentro de una clase sean semejantes entre sí, en tanto que aquellas que pertenezcan a clases distintas no sean semejantes a las de otras clases.

El análisis de agrupamientos comprende técnicas que producen clasificaciones a partir de datos que inicialmente no están clasificados y no debe confundirse con el análisis discriminante, en el cual desde el principio se sabe cuántos grupos existen y se cuenta con datos que provienen de cada uno de estos grupos.

Para realizar un análisis por agrupación, en primer lugar se debe poder medir la semejanza o desemejanza entre dos observaciones distintas y, posteriormente, la semejanza o diferencia entre dos agrupamientos de observaciones. Generalmente se utiliza la distancia euclidiana.

La distancia euclidiana estándar es una distancia sencilla de diferencia, también llamada distancia métrica, ya que es la distancia lineal entre dos observaciones (si se pudieran representar las dos observaciones en el espacio muestral n-dimensional, la distancia entre ellas sería aquella que se puede medir usando una regla).

Una vez que se calculan las distancias entre los puntos se busca formar agrupaciones entre éstos. Existen varias maneras de hacerlo y se catalogan principalmente en dos tipos: métodos de agrupación no jerárquica y métodos de agrupación jerárquica. En el presente estudio se realizó la comparación por el método jerárquico. En el cuál los datos observados son concentrados en agrupaciones en una sucesión anidada de agrupaciones. Los métodos más eficientes de agrupación jerárquica se conocen como métodos de agrupación de un solo enlace.

Para obtener los dendogramas presentados en el presente estudio se utilizó el método denominado "del vecino más cercano". El método del vecino más cercano es un ejemplo de agrupación de un solo enlace y se lleva a cabo de la siguiente manera:

- a) Se tienen N agrupamientos en donde cada uno de ellos contiene exactamente un dato.
- b) Se enlazan los dos datos más cercanos según la medida de distancia seleccionada.
- c) Se define la diferencia entre este nuevo agrupamiento y cualquier otro dato como la distancia mínima entre los dos datos del agrupamiento y este nuevo dato.
- d) Se continúan combinando los agrupamientos que sean los más cercanos entre sí de modo que, en cada etapa, la cantidad de agrupamientos se reduzca en uno y la diferencia entre cualquiera de estos siempre se defina como la distancia entre sus miembros más cercanos.

De este modo, el método del vecino más cercano se inicia con N agrupamientos, en donde cada uno de éstos contiene un dato y se combinan los datos y agrupamientos hasta que todos los datos quedan dentro de un mismo agrupamiento.



Carta Batimétrica del Golfo de México y Mar Caribe (Río Bravo a Bahía de Chetumal). Secretaría de Marina, 1983. Escala 1: 1, 200 000