



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

ECOLOGÍA

**ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MOLUSCOS HOLOPLANCTÓNICOS (MOLLUSCA:
PTEROPODA Y PTEROTRACHEOIDEA) EN EL CAÑÓN DE CAMPECHE Y SU RELACIÓN CON
LOS PARÁMETROS FÍSICOS**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ZAYRA LÓPEZ CABELLO

TUTOR(A) PRINCIPAL DE TESIS: DR. ERIK CORIA MONTER

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

COTUTOR(A) DE TESIS: DRA. MARÍA ADELA MONREAL GOMEZ

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. ADOLFO GRACIA GASCA

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

DR. SERGIO CHÁZARO OLVERA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. AGOSTO , 2023



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

ECOLOGÍA

**ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MOLUSCOS HOLOPLANCTÓNICOS (MOLLUSCA:
PTEROPODA Y PTEROTRACHEOIDEA) EN EL CAÑÓN DE CAMPECHE Y SU RELACIÓN CON
LOS PARÁMETROS FÍSICOS**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ZAYRA LÓPEZ CABELLO

TUTOR(A) PRINCIPAL DE TESIS: DR. ERIK CORIA MONTER

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

COTUTOR(A) DE TESIS: DRA. MARÍA ADELA MONREAL GOMEZ

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. ADOLFO GRACIA GASCA

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

DR. SERGIO CHÁZARO OLVERA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. AGOSTO , 2023

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
OFICIO FCIE/DAIP/246/2023
ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **13 de febrero de 2023** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Ecología** de la estudiante **LÓPEZ CABELLO ZAYRA** con número de cuenta **307135616** con la tesis titulada **“Estructura de la comunidad de moluscos holoplancónicos (Mollusca: Pteropoda y Pterotracheoidea) en el Cañón de Campeche y su relación con los parámetros físicos”**, realizada bajo la dirección del **DR. ERIK CORIA MONTER** y la co-tutora **DRA. MARÍA ADELA MONREAL GÓMEZ**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: **DR. MICHEL EDMOND HENDRICKX RENERS**
Vocal: **DR. PEDRO RAMÍREZ GARCÍA**
Vocal: **DR. IGNACIO CARLOS WINFIELD AGUILAR**
Vocal: **DR. JOSÉ ESTUARDO LÓPEZ VERA**
Secretario: **DR. ADOLFO GRACÍA GASCA**

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 04 de mayo de 2023

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme realizar mis estudios de maestría en su programa.

Al programa de becas de la Coordinación de General de Estudios de Posgrado (CGEP) por el apoyo económico otorgado durante mi estancia en el posgrado.

Al Programa de Apoyo para Estudios de Posgrado (PAEP) por el apoyo otorgado en la convocatoria 2021.

Al proyecto DGAPA-PAPIIT-UNAM #IA200123 que financió parcialmente el presente trabajo.

A mi tutor el Dr. Erik Coria Monter y cotutora la Dra. María Adela Monreal Gómez, por su apoyo incondicional en cada detalle de mi desarrollo profesional y personal, a lo largo de este proceso. Y abrirme las puertas de sus laboratorios.

A los miembros del comité tutor: el Dr. Adolfo Gracia Gasca y al Dr. Sergio Cházaro Olvera, quienes contribuyeron enormemente con sus comentarios y observaciones para la mejora de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL

A los miembros del jurado: Dr. Michael E. Hendrickx Reners, Dr. Pedro Ramírez García, Dr. Ignacio C. Winfield Aguilar, Dr. J. Estuardo López Vera y al Dr. Adolfo Gracia Gasca quienes enriquecieron este trabajo con sus comentarios y observaciones.

Por el préstamo de la infraestructura para la toma de fotografías, agradezco al Dr. Adolfo Gracia Gasca. También al Dr. Octavio Quintanar Retama por el apoyo técnico y consejos en la toma y edición de fotografías.

El muestreo y obtención de datos proviene de la campaña CAÑON-IV realizada a bordo del B/O Justo Sierra de la UNAM. El financiamiento para el tiempo de buque fue cubierto por la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la tripulación del B/O “Justo Sierra” de la UNAM y a los alumnos que contribuyeron en la toma de muestras en campo utilizadas en este estudio. También a Sergio Castillo Sandoval por el soporte logístico para el crucero oceanográfico.

Agradezco a mi familia, por el apoyo incondicional en cada proceso y cada decisión que he tomado, este es nuestro logro. Pero sobre todo a mi mamá, Aide Cabello y mi abuelita Aurora Alquicira† quienes siempre me han alentado a seguir adelante, gracias por creer en mí.

A Sandra Antonio Bueno y Ángeles García por escucharme y apoyarme siempre en mis buenos y malos momentos. Gracias por acompañarme en este proceso.

A Raquel Hernández Pérez por sus consejos y la disposición que tuviste siempre para resolver mis dudas.

A Magali Roa y Alejandra Tavera quienes siguen estando presentes a pesar de la distancia.

A la Dra. Elizabeth Durán y mis compañeros de laboratorio, Ana, Mau, Franco, Mitzi, Kalita y Selina por los momentos agradables en salidas a campo y esta última etapa, después de dos años de aislamiento convivir con ustedes ha sido un regalo.

A mi terapeuta y médicos que me han ayudado a llenarme de herramientas para llevar una mejor calidad de vida y seguir adelante. Esto ha sido un proceso no solo académico, sino de crecimiento personal, gracias.

*A mis mamás Aide Cabello Alquicira y
Aurora Alquicira y Galicia**

*A mi familia:
Mi papá Ypolito López
Mi hermana Samantha López
Y mi sobrino Victor O. Martínez*

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. ANTECEDENTES	5
2. 1 Justificación	7
III. ÁREA DE ESTUDIO	7
3.1 Cañón de Campeche	8
IV. HIPÓTESIS	9
V. OBJETIVOS	9
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	10
6.1 Trabajo de campo	10
6.2 Trabajo de laboratorio	11
6.3 Trabajo de gabinete	12
6.4 Análisis estadísticos	13
VII. RESULTADOS	15
7.1 Distribución horizontal de parámetros hidrográficos	15
7.1.1 Temperatura conservativa	15
7.1.2 Salinidad absoluta	17
7.1.3 Densidad (σ_t)	19
7.2 Distribución horizontal de Clorofila- <i>a</i> y Oxígeno disuelto	21
7.2.1 Clorofila- <i>a</i>	21
7.2.2 Oxígeno disuelto	23
7.3 Perfiles acumulativos de variables hidrográficas	25
7.3.1 Temperatura conservativa, salinidad absoluta y σ_t	25
7.4 Secciones verticales de variables hidrográficas	26
7.4.1 Temperatura conservativa, salinidad absoluta y σ_t	26
7.3 Masas de agua	28
7.4 Patrón de corrientes geostroficas	31

7.5 Moluscos holoplanctónicos (Mollusca: Pteropoda y Pterotracheoidea)	32
7.5.1 Composición taxonómica	32
7.5.2 Riqueza	35
7.5.3 Abundancia	37
7.5.4 Caracterización	41
7.5.5 Diversidad y equidad	48
7.5.6 Secciones verticales de sigma-t y densidad de especies	52
7.6 Parámetros físicos y la comunidad de moluscos holoplanctónicos.....	55
VIII. DISCUSIÓN	58
8.1 Hidrografía	58
8.2 Composición de moluscos holoplanctónicos en el cañón de Campeche	59
8.3 Diversidad	61
8.4 Climas.....	61
8.5 Gradientes y vórtices.....	62
8.6 Influencia de las variables físicas en la comunidad de moluscos	63
IX. CONCLUSIONES	65
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXO I	76
ANEXO II.....	77
ANEXO III.....	85
ANEXO IV	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Golfo de México, en el recuadro se indica, b) localización del cañón de Campeche y las estaciones de muestreo. Las (*) representan las estaciones hidrográficas con registro de CTD, los (○) representan las estaciones con muestras de zooplancton.	11
Figura 2. Distribución horizontal de la temperatura conservativa (°C) a los A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.	16
Figura 3. Distribución horizontal de la salinidad absoluta (g kg ⁻¹) a los A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.	18
Figura 4. Distribución horizontal de la densidad (sigma-t, kg m ⁻³) a los A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.	20
Figura 5. Distribución horizontal de la clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³) a los A) 10 m, B) 50 m y C) 100 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.	22
Figura 6. Distribución horizontal del oxígeno disuelto (mg L ⁻¹) a los A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.	24
Figura 7. Perfiles verticales acumulativos de: A) temperatura conservativa (°C), B) salinidad absoluta (g kg ⁻¹) y C) sigma-t (kg m ⁻³) en los primeros 200 m de la columna de agua, durante la época de nortes de 2011. La línea sólida negra representa el perfil promedio.	25
Figura 8. A) Sección vertical de las variables hidrográficas a lo largo del transecto que incluye las estaciones 37-7 desde la superficie hasta los 250 m de profundidad: A) Temperatura conservativa (°C), B) Salinidad absoluta (g kg ⁻¹) y C) Sigma-t (kg m ⁻³).	26
Figura 9. Sección vertical de las variables hidrográficas a lo largo del transecto que incluye las estaciones 3-46: A) temperatura conservativa (°C), B) salinidad absoluta (g kg ⁻¹) y C) sigma-t (kg m ⁻³).	27
Figura 10. Sección vertical de las variables hidrográficas a lo largo del transecto que incluye las estaciones 47-19 A) temperatura conservativa (°C), B) la salinidad absoluta (g kg ⁻¹) y C) sigma-t (kg m ⁻³). ..	28
Figura 11. Diagrama T-S que muestra las masas de agua presentes en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011, con base en la clasificación de Durán-Campos et al. (2017) y Portela et al. (2018). AMCr indica el remanente del Agua del mar Caribe, ACG el Agua común del golfo, ASUAN el Agua subsuperficial del Atlántico Norte, ATCA el Agua tropical central del Atlántico, ATCAN el Agua tropical central del Atlántico de núcleos y AIA el Agua intermedia Antártica.	30
Figura 12. Patrón de corrientes geostroficadas (cm s ⁻¹) a 90 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.	31

Figura 13. Distribución de la riqueza y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.	36
Figura 14. Diagramas de caja y bigotes de las densidades a los 10, 50, 100 y 200 m de los organismos del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011. Las barras indican la mediana.	37
Figura 15. Densidad total de moluscos holoplanctónicos (org 100 m ⁻³) y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A)10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.....	38
Figura 16. Densidad de los taxa de moluscos holoplanctónicos determinados en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011.	39
Figura 17. Densidad relativa de los taxa del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea en los estratos de 10 m, 50 m, 100 m y 200 m en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011. Atl.spp= <i>Atlanta</i> spp., Cav.inf= <i>Cavolinia inflata</i> , Cavol= familia Cavolinidae, Cre.aci= <i>Creseis acicula</i> , Cre.con= <i>Creseis conica</i> , Cre.spp= <i>Creseis</i> spp., Des.pap= <i>Desmopterus papilo</i> , Fir.des= <i>Firoloida desmarestia</i> , Gymno= orden Gymnosomata, Hel.inf= <i>Heliconoides inflatus</i> , Hay.str= <i>Hyalocylis striata</i> , Lim.les= <i>Limacina lesueuri</i> , Lim.tro= <i>Limacina trochiformis</i> , Ptero= orden Pteropoda, Pterotr= familia Pterotracheidae, Tel.dan= <i>Telodiacria danae</i> y Otros = taxas con < 1 % de densidad relativa.	40
Figura 18. Diagrama Olmstead-Tukey del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011. 1. <i>Pterotrachea hippocampus</i> , 2. <i>Clio cuspidata</i> , 3. <i>Cymbulia peroni</i> , 4. <i>Pneumodermopsis macrochira</i> , 5. <i>Creseis chierchie</i> , 6. <i>Peracle diversa</i> , 7. <i>Schizobrachium polycotylum</i> , 8. <i>Cliopsis krohni</i> , 9. <i>Diacria major</i> , 10. <i>Diacavolinia longirostris</i> , 11. <i>Clio pyramidata</i> , 12. <i>Peracle bispinosa</i> , 13. <i>Cresis vigula</i> , 14. <i>Spongiobranchea intermedia</i> , 15. <i>Carinaria pseudorugosa</i> , 16. <i>Diacria limbata</i> , 17. <i>Diacria constricta</i> , 18. <i>Paraclione longicaudata</i> , 19. <i>Thliptodon diaphanus</i> , 20. <i>Diacria strispinosa</i> , 21. <i>Limacina bulimoides</i> , 22. <i>Oxygyrus inflatus</i> , 23. <i>Pneumoderma violaceum</i> , 24. <i>Peracle reticulata</i> , 25. <i>Cavolinia uncinata</i> , 26. <i>Styliola subula</i> , 27. <i>Firoloida desmarestia</i> , 28. <i>Limacina lesueuri</i> , 29. <i>Telodiacria danae</i> , 30. <i>Desmopterus papilio</i> , 31. <i>Hyalocylis striata</i> , 32. <i>Creseis acicula</i> , 33. <i>Cavolinia inflexa</i> , 34. <i>Limacina trochiformis</i> , 35. <i>Creseis conica</i> , 36. <i>Heliconoides inflatus</i>	41

Figura 19. Densidad (org 100 m ⁻³) y distribución de <i>Heliconoides inflatus</i> y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.....	43
Figura 20. Densidad (org 100 m ⁻³) y distribución de <i>Creseis conica</i> y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.....	44
Figura 21. Densidad (org 100 m ⁻³) y distribución de <i>Limacina trochiformis</i> y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.....	46
Figura 22. Densidad (org 100 m ⁻³) y distribución de <i>Atlanta</i> spp. hoplanctónicos y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.....	47
Figura 23. Diversidad de Shannon Wiener (bits org ⁻¹) en cuatro estratos del cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011.....	48
Figura 24. Distribución de la diversidad de especies de moluscos hoplanctónicos y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.....	49
Figura 25. Equidad de Pielou en cuatro estratos del cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.....	50
Figura 26. Distribución de la equidad de especies de moluscos holoplanctónicos y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.....	51
Figura 27. Valores de densidad (org 100 m ⁻³) de <i>Heliconoides inflatus</i> , <i>Limacina trochiformis</i> y <i>Creseis conica</i> , a lo largo del transecto 37-7 en el cañón de Campeche. Las isólineas corresponden a la distribución vertical de sigma-t (kg m ⁻³).....	52
Figura 28. Valores de densidad (org 100 m ⁻³) de <i>Heliconoides inflatus</i> , <i>Limacina trochiformis</i> y <i>Creseis conica</i> , a lo largo del transecto 3-46 en el cañón de Campeche. Las isólineas corresponden a la distribución vertical de sigma-t (kg m ⁻³).....	53
Figura 29. Valores de densidad (org 100 m ⁻³) de <i>Heliconoides inflatus</i> , <i>Limacina trochiformis</i> y <i>Creseis conica</i> , a lo largo del transecto 47-19 en el cañón de Campeche. Las isólineas corresponden a la distribución vertical de sigma-t (kg m ⁻³).....	54

Figura 30. Análisis de componentes principales de las variables físicas en el Cañón de Campeche en febrero de 2011.	56
Figura 31. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico y prueba SIMPROF, según la composición de especies de moluscos holoplanctónicos del cañón de Campeche en febrero de 2011.	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las masas de agua presentes en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011 con base en la clasificación de Durán-Campos et al. (2017) y Portela et al. (2018).....	29
Tabla 2. Listado taxonómico de las especies de la superfamilia Pterotracheoidea y orden Pteropoda. ...	32
Tabla 3. Valores propios de cada uno de los vectores.	55
Tabla 4. Promedio diario de la velocidad del viento (m/s) del 22 al 27 de febrero del 2011 (Wentz et al., 2015).	76
Tabla 5. Densidades totales (org 100 m ⁻³) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.	85
Tabla 6. Densidades relativas (%) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011, en el estrato de 10 m.	85
Tabla 7. Densidades relativas (%) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011, en el estrato de 50 m.	86
Tabla 8. Densidades relativas (%) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011, en el estrato de 100 m.	86
Tabla 9. Densidades relativas (%) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011, en el estrato de 200 m.	87
Tabla 10. Índices de diversidad (Shannon y Wiener, 1996) y equidad (Pielou, 1977) por estrato.	88
Tabla 11. Antecedentes de listados taxonómicos en el golfo de México.	89
Tabla 12. Lista de especies del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea según los antecedentes en el golfo de México.	90

Resumen

Los moluscos holoplanctónicos (Pteropoda y Pterotracheoidea) son gasterópodos que se caracterizan por vivir toda su vida en la columna de agua, en ambientes marinos. Estos moluscos han desarrollado adaptaciones especiales para habitar en este ambiente. La importancia de estos gasterópodos radica en que son considerados indicadores de masas de agua, ya que al poseer conchas de aragonita contribuyen de manera importante al ciclo del carbono y permiten analizar la acidificación de los océanos. El cañón de Campeche, ubicado en la porción sur del golfo de México, es una zona con una topografía que favorece la formación de vórtices de mesoescala, tanto ciclónicos como anticiclónicos y, en la frontera de ambos, se forman frentes termohalinos. Sin embargo, los estudios de moluscos holoplanctónicos en esta zona han sido pocos, principalmente en época de “nortes”, en la cual la dinámica cambia debido a la presencia de vientos intensos que mezclan la columna de agua. Debido a lo anterior, en el presente estudio se analizó la estructura de la comunidad de moluscos holoplanctónicos (Pteropoda y Pterotracheoidea) a lo largo del cañón de Campeche en una época de nortes, en cuatro estratos de la columna de agua (10, 50, 100 y 200 m), con la finalidad de relacionar su comportamiento con los parámetros físicos del cañón. Los datos hidrográficos y las muestras biológicas se obtuvieron del 22 al 27 de febrero de 2011, durante la campaña oceanográfica “Cañón IV”, a bordo del buque oceanográfico “Justo Sierra” de la UNAM. Los resultados mostraron que, dentro del cañón de Campeche, además de los vórtices ciclónicos y anticiclónicos, hay gradientes de temperatura, salinidad y sigma-t en capas profundas. También que la termoclina, haloclina y picnoclina se ubicaron cerca de los 90 m de profundidad. En cuanto a la comunidad de moluscos, se encontraron 37 especies, 33 de ellas fueron pterópodos y 4 de la superfamilia Pterotracheoidea. Los pterópodos *Heliconoides inflatus*, *Limacina trochiformis* y *Creseis conica* fueron dominantes. Mientras que las especies de pterópodos gimnosomados *Pneumodermopsis macrochira*, *Schizobrachium polycotylum* y *Spongiobranchaea intermedia*, constituyeron nuevos registros para el golfo de México. La mayor riqueza de especies en la columna de agua se localizó cerca de las clinas, en el estrato de los 100 m y en la cercanía de núcleos fríos. También se observó que la diversidad y equidad son altas a los 100 y 200 m. Finalmente, con base en un análisis de correspondencia canónica, se observó que la comunidad de moluscos holoplanctónicos del cañón de Campeche en febrero de 2011 estuvo influenciada principalmente por la temperatura y la densidad del agua de mar.

Palabras clave: golfo de México, pterópodos, heterópodos, gradientes, vórtices

Abstract

The holoplanktonic mollusks (Pteropoda and Pterotracheoidea) are gastropods characterized by remaining all their life cycle in the water column of the oceans. They have developed special adaptations to live in this environment. The importance of the holoplanktonic mollusk resides in that they are considered proxies of water masses, contribute in an important way to the carbon cycle, due to their aragonite shells, and allow to assess the ocean acidification. The Campeche Canyon, localized in the southern Gulf of Mexico, has a topography that favors the generation of mesoscale eddies, both cyclonic and anticyclonic, in which thermohaline fronts are observed. However, the studies of holoplanktonic mollusks in the canyon are still scarce, mainly during the Nortes season, when the dynamic change due to the intense winds that mix the water column. The present study analyzed the structure of holoplanktonic mollusks community (Pteropoda and Pterotracheoidea) in the Campeche Canyon during a Nortes season, in four strata of the water column (10, 50, 100 and 200 m depth), related to physical parameters. The hydrographic data and zooplankton samples were obtained during the “Canyon IV” oceanographic survey, aboard R/V “Justo Sierra” operated by UNAM from February 22 to 27, 2011. Results showed temperature, salinity and sigma-t gradients in deep layers that in the Campeche Canyon in addition to the cyclonic and anticyclonic eddies. The thermocline, halocline and pycnocline were located near 90 m depth. The mollusk community was composed by 37 species, 33 of them were pteropods and 4 were of the Pterotracheoidea superfamily. The pteropods *Heliconoides inflatus*, *Limacina trochiformis* and *Creseis conica* were dominant. The gymnosome pteropod species *Pneumodermopsis macrochira*, *Schizobrachium polycotylum* and *Spongiobranchaea intermedia* were new records for the Gulf of Mexico. The highest richness of species in the water column was located near to the clines, in the 100 m stratum and close to cold cores. It was also observed that diversity and equity were high at 100 and 200 m. Finally, according to the canonical correspondence analysis, the community of holoplankton mollusks in the Campeche canyon in February 2011 is mainly influenced by the temperature and density of seawater.

Keywords: Gulf of Mexico, pteropods, heteropods, gradients, eddies.

I. INTRODUCCIÓN

El zooplancton alberga una comunidad de organismos que integra prácticamente a todos los fila de animales. Estos se caracterizan por ser de tallas muy pequeñas, estar “suspendidos” en la columna de agua y poseer una capacidad limitada para desplazarse a grandes distancias. Sin embargo, han desarrollado adaptaciones que les permiten regular su flotabilidad y movimiento. Muchos de ellos pueden desplazarse distancias verticales desde unos centímetros hasta cientos de metros, con la finalidad de poder alimentarse del fitoplancton y evitar la depredación, por lo regular, durante el día descienden y en la noche ascienden para alimentarse (Suthers & Rissik, 2009). Se han realizado diversas clasificaciones y con base en su permanencia en esta comunidad, se han denominado dos grupos: uno de ellos es el holoplancton, en el cual sus integrantes permanecen todo su ciclo de vida hasta la adultez, y el meroplancton que se refiere a aquellos que están solo una parte, como etapas larvarias (Suthers & Rissik, 2009).

En los ecosistemas acuáticos el zooplancton, así como el fitoplancton, son componentes vitales de las cadenas alimentarias por ser los primeros eslabones en la transferencia de energía. Los organismos del zooplancton emplean numerosas estrategias para alimentarse, desde la herbivoría, la omnivoría, hasta la especialización de caza en los carnívoros. Los herbívoros representan una vía trófica esencial para la transferencia de carbono orgánico del fitoplancton a los peces, contribuyen a la reserva de nutrientes por la ingestión parcial de células y por excretar pellets fecales que son reciclados dentro de la columna de agua o se utilizan en el bentos (Silver & Bruland, 1981; Suthers & Rissik, 2009). Es importante conocer la interacción de estos organismos en el ambiente, ya que su comportamiento refleja los efectos de la calidad del agua (Suthers & Rissik, 2009).

Dentro de la gran diversidad de organismos que integran el zooplancton marino están los heterópodos y pterópodos, comúnmente conocidos como moluscos holoplanctónicos. Pertenecen al fila Mollusca, clase Gastropoda, a lo largo de su historia evolutiva desarrollaron adaptaciones que ahora les permite ser parte del holoplancton. Los heterópodos pertenecen a la subclase Caenogastropoda, orden Littorinimorpha, superfamilia Pterotracheoidea e incluye a las familias Atlantidae, Pterotracheidae y Carinaridae (Bouchet et al., 2017), todos ellos tienen el pie en forma de aleta que usan para nadar con el lado ventral de su cuerpo hacia arriba. Esta característica es la que les da el nombre de heterópodos, que significa pie diferente. Son animales con gonocorismo. Los organismos de la familia Atlantide poseen una concha lateralmente aplanada, dextrógira, con la última vuelta alargada y con una quilla en su borde exterior, donde se retraen. En las familias Carinaridae y Pterotrachidae el cuerpo de es alargado y cilíndrico, sus órganos están compactados en una estructura llamada núcleo visceral que puede ser

pedunculado y estar cubierto por una concha calcárea (familia Carinaridae) o ser piriforme y carecer de una concha (familia Pterotrachidae). Son organismos totalmente carnívoros, poseen ojos altamente desarrollados que les beneficia en la captura de sus presas, como copépodos, salpas, pterópodos y larvas de peces (Lalli & Gilmer, 1989; Richter & Seapy, 1999). Los ojos varían ampliamente entre taxas, es entonces que se consideran una característica taxonómicamente importante (van der Spoel, 1972). Se distribuyen principalmente en aguas cálidas de regiones circunglobales y solo algunas pocas especies se han encontrado en regiones frías (Richter & Seapy, 1999; Wall-Palmer et al., 2016).

Los pterópodos (raíz latina *ptero* de alas y *podos* de pie) presentan un pie modificado en dos alas nadadoras pareadas, pertenecen a la subclase Heterobranquia, infraclase Euthyneura, orden Pteropoda, el cual se compone de los subórdenes Eutecosomata, Pseudotecosomata y Gymnosomata (Bouchet et al., 2017). Son hermafroditas protándricos. Poseen una gran diversidad morfológica y de hábitos alimenticios. En el caso de los Eutecosomata, se caracterizan por presentar conchas de aragonita de diversas formas, y levógiras, en el caso de *Heliconoides* y *Limacina*. En el grupo Pseudotecosomata las alas están fusionadas en una placa nadadora. Algunas especies poseen una concha externa bien ornamentada, otras poseen pseudo-conchas gelatinosas internas y otras carecen de esta estructura (Lalli & Gilmer, 1989; van der Spoel & Dadon, 1999). En ambos subórdenes las especies son organismos omnívoros, filtradores y detritívoros que desarrollan redes de mucus que utilizan para atrapar su alimento (Lalli & Gilmer, 1989). En el caso del clado Gymnosomata, carecen de una concha en su adultez y su cuerpo puede ser cilíndrico o globoso (van der Spoel, 1996). Son animales depredadores en especial de otros pterópodos tecosomados. Los gymnosomados presentan estructuras bucales modificadas, las cuales utilizan para atrapar a sus presas y poder succionarlas de sus conchas. Los pterópodos tienen una amplia distribución, se les ha encontrado en regiones neríticas y oceánicas tanto en la superficie como zonas batipelágicas (van der Spoel & Dadon, 1999).

Se ha estimado que los moluscos holoplanctónicos constituyen de un 5 % a un 35 % del total del zooplancton. Sin embargo, gracias a la producción de conchas de aragonita, contribuyen hasta el 50 % del flujo de carbono en los océanos. Es por lo anterior que juegan un papel muy importante en los ecosistemas marinos (Betzer et al., 1984; Hunt et al., 2008; Le Quéré et al., 2005). Sin mencionar, que han sido utilizados como indicadores de masas de agua, debido a la sensibilidad que tienen algunas especies a los cambios en las condiciones ambientales. En los últimos años, a raíz del calentamiento global y la acidificación de los océanos, su estudio ha cobrado mayor interés, se ha visto que bajo estas condiciones sus conchas son susceptibles a la degradación (Gardner et al., 2018; Harbison & Gilmer, 1986). Además

de las afecciones que este fenómeno provoca en su metabolismo y expresión génica (Bednaršek et al., 2021; Bednaršek & Ohman, 2015; Johnson & Hofmann, 2017; Lischka et al., 2022) .

A pesar de que los organismos del zooplancton han desarrollado diversas estrategias de movimiento a lo largo de la columna de agua, numerosos estudios señalan que su distribución, composición y abundancia en los océanos depende de la presencia de diversos procesos hidrodinámicos a diferentes escalas espaciotemporales (López-Arellanes, 2019; Mackas et al., 2005; Mackas & Galbraith, 2002). Estos procesos permiten el transporte de energía y el abastecimiento de nutrientes hacia la capa eufótica. La turbulencia generada por vórtices, frentes, ondas internas y surgencias desencadenan procesos que permiten el movimiento y acarreamiento de nutrientes que favorecen la proliferación de productores primarios y a su vez otros eslabones subsecuentes, como el zooplancton (Mann & Lazier, 2005; McGillicuddy, 2016; McGillicuddy et al., 2007).

Los estudios de la relación de los parámetros físicos con las comunidades planctónicas también han documentado los efectos de los procesos físicos sobre los grupos funcionales del zooplancton en diferentes regiones dentro de la zona económica exclusiva mexicana. Por ejemplo, en la bahía de La Paz, en el sur del golfo de California, se presenta una relación entre un vórtice ciclónico que genera una distribución diferencial del fitoplancton desde el centro hacia la periferia del vórtice, con dominancia de dinoflagelados en el centro y de diatomeas en la periferia. También, cambios en el régimen de temperatura inducido por un vórtice ciclónico condiciona la composición del zooplancton de la región, con un predominio de zooplancton herbívoro en el centro y una alta proporción de zooplancton omnívoro en la periferia (Duran-Campos et al., 2015).

II. ANTECEDENTES

La influencia de los procesos físicos en la distribución de organismos del zooplancton ha sido documentada en el golfo de México, particularmente en el cañón de Campeche, y a la fecha se han realizado algunos estudios relacionados con la composición del zooplancton de la región. Por ejemplo, García-Álvarez (2015) analizó la estructura vertical del ictioplancton, el cual agrupó en dos comunidades: nerítica, que se encontró a los 30 m de profundidad, y mesopelágica que se distribuyó en toda la columna de agua, con mayores densidades en estratos profundos. Los valores más altos de densidad de ictioplancton se observaron entre los 20 y 30 m de profundidad. La autora consideró que la estructura vertical del ictioplancton en el cañón de Campeche está determinada principalmente por los hábitos de los organismos

para permanecer a cierta profundidad, más que de los parámetros ambientales y que hay una relación de las densidades altas con giros ciclónicos en la zona oeste del cañón, y bajas en la zona este influenciada por un anticiclón.

También, la relación de los procesos físicos se ha analizado con la biomasa zooplanctónica. En el cañón de Campeche se han registrado variaciones importantes de la biomasa según la época de muestreo y la posición de la termoclina; por ejemplo, se ha observado que en la época de lluvias la mayor biomasa ocurre por debajo de la termoclina, haloclina y picnoclina (Mojica-Ramírez, 2003), mientras que a finales de la época de nortes está por encima de las clinas (Ramírez-Cruz, 2005). Además, se ha documentado que la biomasa se ve favorecida por la descarga de agua, en la desembocadura de los ríos del sur del golfo de México, en particular el sistema Grijalva-Usumacinta, que acarrea materia orgánica y nutrientes que benefician al fitoplancton y, por ende, al zooplancton (Mojica-Ramírez, 2003).

Regiones de alta productividad se han observado en zonas de frentes donde quedan atrapados los nutrientes (Mojica-Ramírez, 2003); la autora también explicó que la diferencia de los valores máximos de biomasa, a diferentes profundidades, se debe a los movimientos de migración vertical. Distintos autores han señalado que en el cañón de Campeche los mayores valores de densidad de organismos y biomasa están principalmente relacionados con la presencia de un giro ciclónico y con la frontera entre dos giros, ciclónico y anticiclónico (García Álvarez, 2015; Mojica-Ramírez, 2003; Ramírez-Cruz, 2005). Recientemente, Ramírez-Díaz (2015) y Torres-Martínez et al. (2020) documentaron que el patrón de circulación de la región, dominado por un sistema ciclónico-anticiclónico en una época de nortes (finales de febrero), determinó la distribución superficial del fitoplancton, y, en consecuencia, tuvo influencia en la distribución de los organismos del zooplancton.

En el cañón de Campeche durante la temporada de nortes, la biomasa zooplanctónica disminuye o es más homogénea y hay un hundimiento de la termoclina, haloclina y picnoclina y, por lo tanto, un incremento del espesor de la capa de mezcla (Arriola-Pizano, 2012; Ramírez-Cruz, 2005). La presencia de vorticidades positivas y negativas (indicativas de vórtices ciclónicos y anticiclónicos, respectivamente) puede ser un factor que determina la biomasa zooplanctónica y generar valores elevados, en particular en la frontera de los giros. Se ha registrado que, en la vertical, los estratos más productivos son los 100 y 200 m (Rivera-Hernández, 2013). La presencia de los vórtices dipolo (ciclón-anticiclón) tienen una influencia muy importante en el transporte de nutrientes y un consecuente aumento de la biomasa fitoplanctónica (clorofila-*a*) lo cual repercute en los organismos del zooplancton de la región (Durán-Campos et al., 2017).

El estudio de los moluscos holoplanctónicos en el golfo de México ha sido abordado desde diversos puntos de vista, como listados taxonómicos tanto en la región norte y zonas adyacentes (e.g. Michel & Michel, 1991; Suárez-Morales, 1994), estudios en zonas neríticas del suroeste (e.g. Flores-Coto et al., 2013; Leal-Rodríguez, 1965; Lemus-Santana et al., 2014b, 2014a; Matsubara-Oda, 1975), y se ha analizado la influencia de aguas fluvio-lagunares en la comunidad (e.g. Lemus-Santana, 2011); también, se ha contrastado la estructura en ambientes costeros y oceánicos (e.g. Espinosa-Balvanera, 2017; López-Arellanes et al., 2018) y se ha evaluado su comportamiento a lo largo de una década (López-Arellanes, 2019). Sin embargo, solamente los estudios realizados por Espinosa-Balvanera (2017) y López-Arellanes et al. (2018) han abarcado en sus muestreos la región del cañón de Campeche. Estos estudios mencionaron que la diversidad y presencia de especies exclusivas de moluscos ha sido mayor en comparación con zonas neríticas. La mayoría de los estudios incluyen a los pterópodos, mientras que los heterópodos han sido considerados solamente en los trabajos de Lemus-Santana (2014b) y Espinosa-Balvanera (2017). Aunado a lo anterior, la relación de las comunidades de moluscos holoplanctónicos con los procesos físicos no ha sido ampliamente estudiada, por lo que representa un hueco de conocimiento para el entendimiento del ecosistema del cañón.

2. 1 Justificación

El estudio de la distribución de los moluscos holoplanctónicos y su relación con los procesos físicos resulta de utilidad para identificar patrones espaciotemporales que permitan detectar zonas y épocas ricas en plancton, y de esta manera, contribuir al conocimiento de esta comunidad de organismos en la región. Lo anterior, ayuda a obtener un marco de referencia más amplio de cómo funciona el ecosistema marino y aprender a hacer uso de los recursos que nos ofrece. Asimismo, debido a que estos organismos han cobrado importancia en el análisis de la acidificación de los océanos, el estudio de sus comunidades es de gran utilidad para proyectos futuros con el fin de procurar la conservación de nuestros océanos.

III. ÁREA DE ESTUDIO

El golfo de México es un sistema semicerrado con una amplia plataforma continental en la península de Yucatán (banco de Campeche) al sureste, y Florida al norte. Tiene una profundidad promedio de 1500 m. A través del canal de Yucatán, entra al golfo agua cálida y de alta salinidad que llega en la Corriente de Yucatán, proveniente de la Corriente del Caribe. En su recorrido, parte de ella sale por el estrecho de Florida, ubicado entre la península de Florida y Cuba. Este flujo de agua, dentro del golfo de México, que

debido al efecto Coriolis en el hemisferio norte, sigue una trayectoria anticiclónica, ha sido denominada Corriente de Lazo y es considerada como el principal mecanismo de forzamiento de la circulación del golfo (Monreal-Gómez, Salas-de-León, & Velasco-Mendoza, 2004).

En la periferia de la Corriente de Lazo se forman núcleos de agua fría que generan fuertes cambios en la temperatura superficial y frentes térmicos; cuando estos núcleos fríos estrangulan a la Corriente de Lazo, se desprende un gran vórtice anticiclónico que se desplaza hacia el noroeste, conocido como el gran vórtice anticiclónico que se localiza frente a la costa de Tamaulipas (Monreal-Gómez, Salas-de-León, & Gracia, 2004). En su trayectoria hacia el norte se desprenden meandros y remolinos los cuales son altamente energéticos y ocasionan corrientes intensas que pueden penetrar varios cientos de metros en la columna de agua (Zavala-Hidalgo et al., 2014). Estos remolinos se desplazan hacia el oeste del golfo formando vórtices ciclónicos, una parte de ellos se dirigen al oeste y otros salen por el estrecho de Florida junto con la Corriente de Lazo. También, se forman vórtices anticiclónicos que al llegar a la plataforma y a los límites continentales en Tabasco y Texas pierden masa y fuerza generando giros más pequeños (Zavala-Hidalgo et al., 2006).

Desde la superficie y hasta los 3000 m de profundidad, las principales masas de agua que se encuentran en el golfo de México son: el remanente del Agua superficial del Caribe (CSWr), el Agua común del golfo (GCW), el Agua subsuperficial del Atlántico Norte (NASUW), el Agua central del Atlántico tropical (TACW), el Agua intermedia antártica (AAIW) y el Agua profunda del Atlántico Norte (NADW) (Portela et al., 2018). Estos autores también encontraron Agua superficial del Caribe (CSW) y el Agua del mar de los Sargazos (SSW) en giros que se desprenden de la corriente de Lazo.

En términos climáticos, el golfo de México se caracteriza por tres épocas: 1) secas (de marzo a mayo), 2) lluvias (de junio a octubre), y 3) nortes (de noviembre a febrero) en la que vientos extremadamente fuertes ($>80 \text{ km h}^{-1}$) y persistentes impactan en la región con una marcada influencia en la columna de agua, ya que generan mezcla vertical y un hundimiento de la termoclina ($> 90 \text{ m}$ de profundidad) y temperaturas superficiales bajas ($< 22^\circ\text{C}$) (Ojeda et al., 2017).

3.1 Cañón de Campeche

En la porción sur del golfo de México, al oeste del banco de Campeche, existe una zona con un cambio abrupto de la profundidad, conocido como cañón de Campeche, producto de un proceso geológico. Está localizado entre los $20^\circ 12'$ y $21^\circ 46'$ de latitud Norte y entre los $92^\circ 24'$ y $93^\circ 24'$ de longitud Oeste, en el lado oeste de la plataforma de Yucatán, con una longitud de 125 km y ancho de 30 km en el centro y en

su extremo inferior 55 km, con una profundidad entre 160 a 2800 m, en su parte más profunda (Figura 1a).

Esta estructura geomorfológica genera procesos importantes en la circulación, incluyendo vórtices. El cañón de Campeche presenta vórtices ciclón-anticiclón y un frente en la zona límite entre ambos vórtices subsuperficiales (Salas-de-León et al., 2004). Se ha documentado que el agua de la corriente que se extiende desde la plataforma de Yucatán fluye hasta la región del cañón.

IV. HIPÓTESIS

Si los cambios de los parámetros ambientales afectan a la comunidad de moluscos holoplanctónicos (Mollusca: Pteropoda, y Pterotracheoidea) la densidad y composición de especies presentarán cambios en su distribución vertical según la profundidad de la termoclina, haloclina y picnoclina y se observarán zonaciones en el plano horizontal, así como una distribución diferencial entre vórtices ciclónicos y anticiclónicos.

V. OBJETIVOS

General

- Estudiar la relación de la estructura de la comunidad (composición, distribución y densidad) de moluscos holoplanctónicos (Mollusca: Pteropoda y Pterotracheoidea) con la termoclina, picnoclina y haloclina en el cañón de Campeche, en una época de nortes.
- Describir regiones según el comportamiento de la comunidad de moluscos holoplanctónicos en el plano horizontal del cañón, en una época de nortes.
- Analizar la dinámica de la comunidad de moluscos holoplanctónicos (Mollusca: Pteropoda y Pterotracheoidea) y su relación con los vórtices del cañón de Campeche, en una época de nortes.

Particulares

- Determinar las propiedades hidrográficas de la columna de agua y su distribución horizontal en el cañón de Campeche, en una época de nortes.

- Determinar al nivel taxonómico más bajo posible a los organismos pertenecientes a los grupos Pteropoda y Pterotracheoidea del cañón de Campeche, en una época de nortes.
- Estimar las densidades de cada uno de los grupos taxonómicos identificados en los diferentes sitios y niveles de muestreo.
- Calcular valores de diversidad y equidad por sitio y nivel de muestreo.
- Relacionar la influencia del forzamiento físico, así como la relación de las clinas, en la composición, distribución y densidad de los organismos identificados.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Trabajo de campo

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron muestras de zooplancton y datos hidrográficos de la región del cañón de Campeche, adquiridos durante la campaña oceanográfica “Cañón IV”, a bordo del buque oceanográfico “Justo Sierra” de la UNAM que se llevó a cabo del 22 al 27 de febrero de 2011 (Información meteorológica sobre nortes durante el muestreo, anexo I). Los datos hidrográficos de temperatura, conductividad y presión se obtuvieron con un CTD Seabird 19 plus, configurado con un sensor de fluorescencia de clorofila-*a* (ECO Wet Labs) y un sensor de oxígeno disuelto (SBE-43) en un total de 48 estaciones (Figura 1, símbolo * en Figura 1b).

El material biológico consta de 65 muestras de zooplancton tomadas a diferentes profundidades (10, 50, 100 y 200 m) en un total de 24 estaciones (símbolo de ○ en Figura 1). El material fue colectado mediante arrastres con redes cónicas de apertura-cierre (General Oceanics de 75 cm de diámetro de boca, 505 μm de apertura de malla) y flujómetros mecánicos (General Oceanics 2030R) acoplados a la boca de cada una de las redes para calcular el volumen de agua filtrada. Los arrastres de zooplancton se realizaron de la siguiente manera: el cable del winche hidrográfico se configuró con un muerto (peso) y se colocaron cuatro mecanismos de apertura-cierre con las redes señaladas anteriormente, cerradas, con sus correspondientes mecanismos de apertura y cierre (mensajeros). El cable con las redes se sumergió hasta la última profundidad de interés manteniendo un ángulo de 45°. Una vez en posición se abrieron las redes y se comenzó con el arrastre durante 15 minutos. Posteriormente, las redes fueron cerradas y el cable fue recuperado. Es importante señalar que para colocar cada una de las redes en la profundidad de interés, esta se calculó según la tangente de inclinación del cable, 45° (Kramer et al., 1972). Después de recuperar las

muestras fueron fijadas inicialmente con formaldehído al 4 % y posteriormente conservadas en alcohol al 70 %.

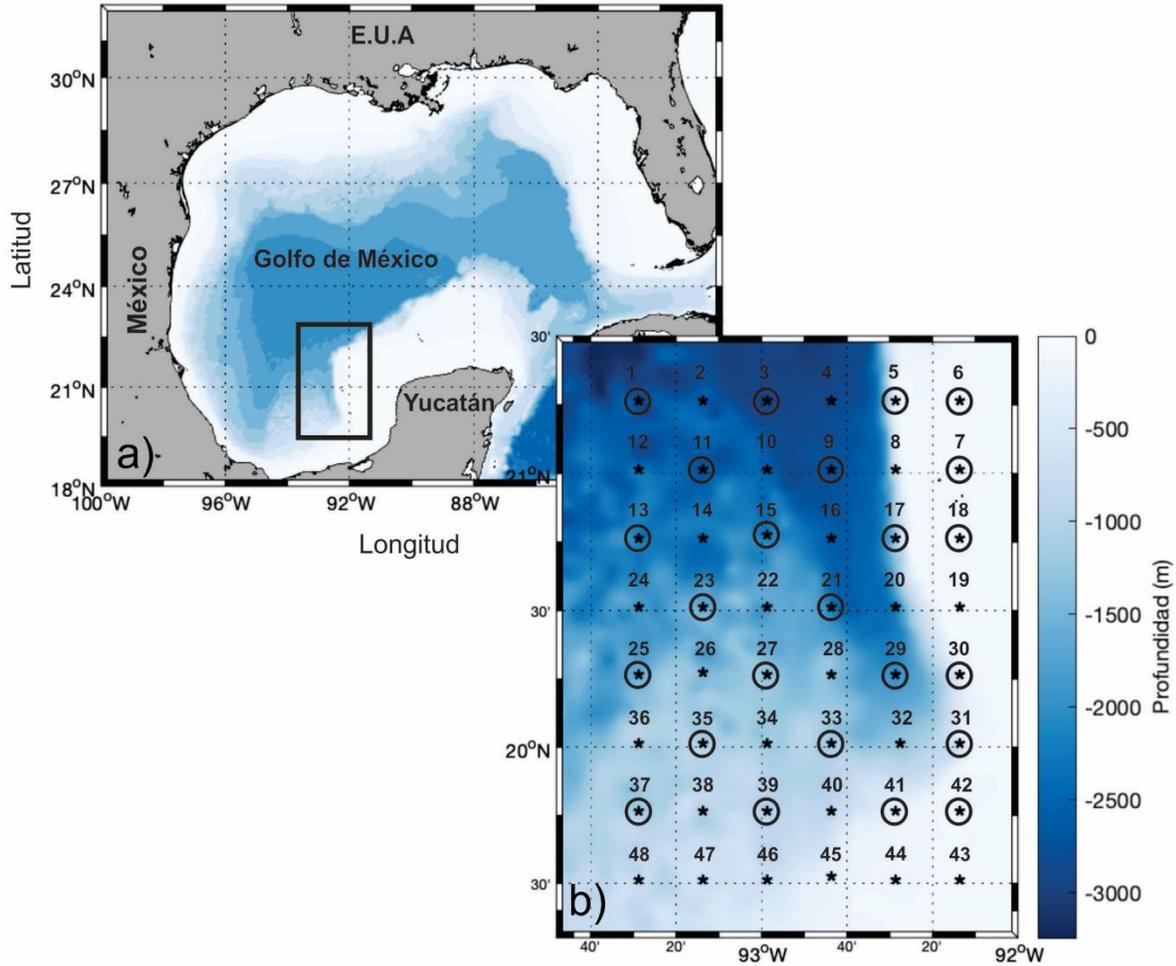


Figura 1. a) Golfo de México, en el recuadro se indica, b) localización del cañón de Campeche y las estaciones de muestreo. Las (*) representan las estaciones hidrográficas con registro de CTD, los (o) representan las estaciones con muestras de zooplancton.

6.2 Trabajo de laboratorio

Todos los organismos pertenecientes al orden Pteropoda y a la superfamilia Pterotracheoidea, fueron separados manualmente de las muestras colectadas en su totalidad. La separación se hizo por medio de la revisión exhaustiva de alícuotas observadas en una caja de Petri con microscopio estereoscópico. Los moluscos se tomaron con pinzas de relojero y pipetas para evitar el daño de las conchas, posteriormente fueron almacenados en viales. Después de la separación, se realizó la determinación taxonómica, al nivel

más bajo posible con literatura especializada (BurrIDGE et al., 2019; Gasca & Janssen, 2014; Janssen et al., 2019; Richter & Seapy, 1999; Tesch, 1948; van der Spoel et al., 1993; van der Spoel & Dadon, 1999). Las principales características tomadas en cuenta fueron; las formas y ornamentaciones (quillas, muescas, tubérculos, reticulaciones, número de estrías y espinas) de las conchas. En el caso de los gymnosomados fueron utilizadas la anatomía de las branquias, lóbulos pedales y estructuras bucales (conos, brazos y ventosas). Para los moluscos heterópodos de las familias Pterotrachidae y Carinaridae se tomó en cuenta la forma del núcleo visceral y, ya que son organismos con dimorfismo sexual, la presencia de estructuras reproductoras como gónadas, tentáculos y ventosas. El listado taxonómico del cañón de Campeche fue cotejado según lo publicado en el portal electrónico World Register Marine Species (MolluscaBase eds., 2023a, 2023b). Para su documentación, se tomaron imágenes de las especies determinadas más representativas con ayuda de un microscopio ZEISS Stemi 508 (de hasta 50x) y una cámara ZEISS Axiocam ERc 5s. Las imágenes fueron fotografiadas en diferentes planos por ejemplar y posteriormente fueron renderizadas con el software Helicon Focus. Finalmente fueron editadas con el software Adobe Photoshop.

6.3 Trabajo de gabinete

El volumen de agua filtrada en cada arrastre se obtuvo a partir de datos obtenidos de los flujómetros. Posteriormente, se calculó la densidad de organismos por metro cúbico, con la finalidad de expresar las abundancias de los taxa determinados en unidades de densidad. La salinidad y densidad sigma-t se calcularon con los datos de temperatura conservativa (°C), conductividad y presión, obtenidos del perfil continuo del CTD. Los datos correspondientes a los estratos de interés (10, 50, 100 y 200 m) se seleccionaron del perfil continuo, así como los datos adquiridos por los sensores de fluorescencia de clorofila-*a* y oxígeno disuelto. Con la información anterior, se realizaron mapas de la distribución horizontal en cada uno de los estratos con ayuda del software Surfer v13. Mientras que, las masas de agua presentes en el cañón de Campeche fueron determinadas con diagramas T-S realizados con ayuda del software Sigma Plot.

Posterior al análisis de los mapas de distribución horizontal, se analizaron para determinar la ubicación de estructuras hidrológicas como frentes y vórtices, y se seleccionaron tres transectos para realizar secciones verticales de las variables de interés y así determinar la profundidad de la termoclina, haloclina y picnoclina. Las clinas fueron representadas de manera general, por medio de perfiles acumulativos de la temperatura conservativa (°C), la salinidad absoluta y sigma-t (kg m^{-3}).

Posteriormente, las velocidades geostróficas se calcularon mediante el método estándar (Pond & Pickard, 2013) tomando como nivel de no movimiento los 1000 m de profundidad. Se seleccionó la profundidad de la termoclina/picnoclina para representar gráficamente las velocidades calculadas.

6.4 Análisis estadísticos

La información generada con los parámetros físico-biológicos fue organizada en una matriz de datos en Microsoft Excel 365, la cual incluyó las densidades de los taxa identificados y las variables físicas correspondientes. Las densidades totales por especie se confrontaron mediante una gráfica de barras construida en Microsoft Excel 365, y dichas densidades en cada uno de los estratos se representaron por medio de diagramas de caja y bigotes. Mientras que las abundancias relativas de cada uno de los taxa fueron comparadas en gráficas de barras apiladas al 100 %, con la intención de representar la variación de la composición y abundancia de los moluscos holoplanctónicos entre los estratos analizados (10, 50, 100 y 200 m). Los dos últimos recursos estadísticos fueron construidos con la librería “ggplot2” (Wickham, 2018) en el software R Studio (R Core Team, 2021).

La caracterización de las especies de moluscos en el cañón se realizó mediante un análisis de asociación por dispersión Olmstead-Tukey (Sokal & Rohlf, 2012) el cual consistió en relacionar el porcentaje de la frecuencia con el logaritmo +1 de la densidad de los taxa, por medio de un gráfico de dispersión. Las especies se clasificaron con relación a la media aritmética de los ejes, según lo siguiente: las dominantes, son aquellas que tienen valores mayores a las medias, mientras que las raras poseen valores menores a las medias de ambos ejes. En el caso de las constantes, estas son aquellas que su porcentaje de frecuencia es mayor a su media y el log+1 de la densidad menor a su media correspondiente. Mientras que, en el caso de las especies ocasionales, ocurre lo opuesto a las especies constantes.

La diversidad en cada una de las estaciones, en cada uno de los estratos fue calculada mediante la ecuación de (Shannon & Wiener, 1949). También, se calculó la equidad (J') con la ecuación de Pielou (1977), ambos cálculos se hicieron por medio de las librerías “biodiversityR” (Kindt & Coe, 2005) y “vegan” (Oksanen et al., 2022) en el software R Studio (R Core Team, 2021). Dichos valores se representaron en mapas para cada uno de los estratos con el Software Surfer v13 y diagramas de caja y bigotes construidos con la librería “ggplot2” (Wickham, 2016) en el software R Studio (R Core Team, 2021).

Asimismo, para el caso de las variables físico-ambientales, se utilizó un análisis de componentes principales (PCA). El PCA es un análisis de ordenación que proporciona la información necesaria para

comprender la relación en un espacio reducido de los descriptores, en este caso los puntos de muestreo, y su papel en la formación de los componentes principales. Los ejes principales o ejes de componentes principales de un PCA son las líneas rectas que atraviesan la mayor dimensión del elipsoide de concentración. Dichos ejes son ortogonales entre sí y sucesivamente más cortos. En un diagrama de ordenación PCA, los objetos o descriptores se representan como puntos y las variables se muestran como flechas (Legendre & Legendre, 2012).

También, se realizó un escalamiento multidimensional no métrico (MNDS) con la finalidad de definir similitudes entre las comunidades de los moluscos holoplanctónicos del cañón de Campeche, aunado al análisis anterior se aplicó una prueba SIMPROF en el software Primer v7 (Clarke et al., 2014). El MNDS un análisis de ordenación es, igual que el PCA. Sin embargo, la preservación exacta de las distancias no es de importancia primordial, la prioridad es representar los objetos en un número pequeño y específico de dimensiones. El objetivo del MNDS es preservar de las relaciones de orden entre los objetos, es decir, graficar objetos diferentes separados en el espacio de ordenación y objetos similares cerca uno del otro. Por sus características permite la evaluación de datos biológicos de abundancia y biomasa (Legendre & Legendre, 2012).

VII. RESULTADOS

7.1 Distribución horizontal de parámetros hidrográficos

7.1.1 *Temperatura conservativa*

En el cañón de Campeche, a 10 m de profundidad, la temperatura conservativa se mantuvo en un intervalo de 23.3°C a 24.9°C. Esta presentó valores máximos en la zona sur y disminuyó gradualmente hacia el norte (Figura 2A). En la región oeste del área de estudio se observó un gradiente más marcado, es decir en un área menor hay mayor diferencia en los valores de temperatura, ocurrió entre los 19.6°N y 20.4° N, a diferencia de la región este.

En el nivel de 50 m, el intervalo de temperatura conservativa fue de 22.1°C a 23.5°C. A esta profundidad, en la región más al sur, cerca del límite de la plataforma, se observó claramente la presencia de un núcleo cálido en los 19.8°N y 92.5°O y un núcleo más frío en los 19.75°N y 92.85°O, que indica la presencia de un vórtice anticiclónico y uno ciclónico, respectivamente, así como un frente entre ambos (Figura 2B).

A 100 m de profundidad la temperatura fue de 18.1°C a 22.1°C, en este nivel, principalmente en la región central; dominaron valores de entre 19°C a 20°C, con pequeñas variaciones que podrían indicar la formación de núcleos cálidos (Figura 2C). Entre los 20.7°N con 93°O y 20.5°N con 93°O se observó un dipolo ciclón-anticiclón. Las estaciones más al noreste caracterizaron por presentar una zona cálida, mientras que la del sur, entre los 93.4°O y 92.5°O, se observó una zona fría.

En el caso de los 200 m de profundidad los valores fueron de 13.0°C a 15.6°C. Se pudo observar que en la región este, las estaciones cercanas a los límites de la plataforma continental fueron aquellas con los valores más bajos de temperatura (Figura 2D). En este caso se logró observar un gradiente térmico importante en donde la temperatura aumentó hacia las estaciones al oeste. En la región este de la zona de estudio se observó un gradiente térmico, con mayor intensidad en el norte y sur, que inducen frentes térmicos, mientras que el gradiente es más débil en la parte central.

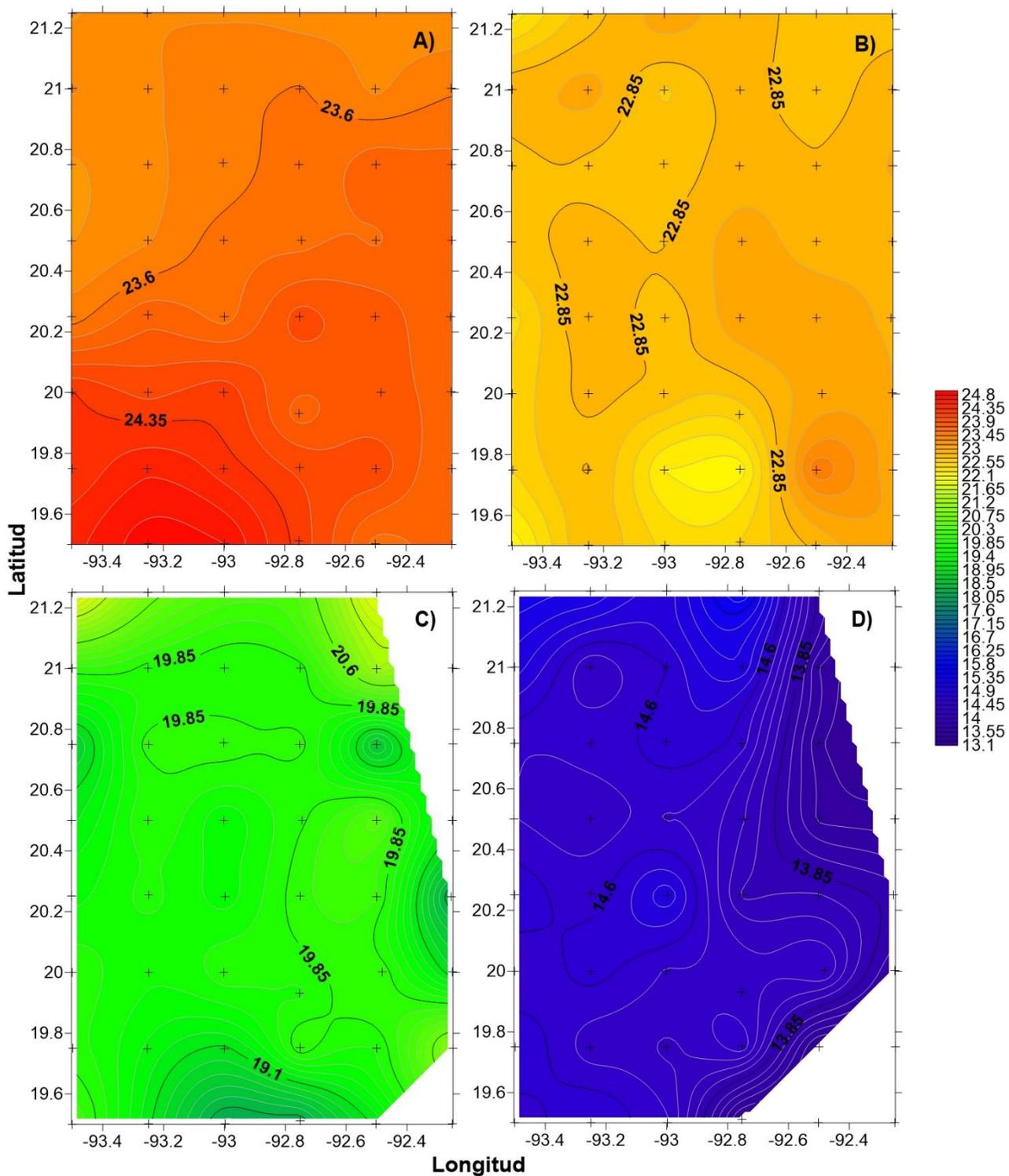


Figura 2. Distribución horizontal de la temperatura conservativa (°C) a los A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.

7.1.2 Salinidad absoluta

La salinidad absoluta a 10 m de profundidad osciló entre los 35.45 y 36.90 g kg⁻¹. Se observaron dos núcleos con valores altos de salinidad localizados; el primero entre las latitudes de 20.40 a 21.20 °N y entre las longitudes 92.30 °O y 92.70 °O. El segundo entre 20.20 y 20.80 °N, y entre 92.90 °O y 93.50 °O en el centro-oeste de la zona de estudio. Mientras que en la región suroeste hubo una zona que se caracterizó por presentar los valores más bajos de salinidad (Figura 3A).

A diferencia de la distribución de salinidad absoluta que se observó a 10 m de profundidad, a los 50 m en general se registraron valores más altos y uniformes, la salinidad presentó un rango de 36.3 a 36.9 g kg⁻¹. La zona este presentó mayor salinidad absoluta, cerca del límite con la plataforma continental. En la zona sureste se observa la presencia de dos núcleos, uno de baja y otro de alta salinidad (Figura 3B). Sin embargo, la zona con menor salinidad ocurrió al noroeste del área de estudio. En estas últimas dos profundidades parece evidente la formación de una franja de baja salinidad que atraviesa el área de estudio de sur a norte y disminuye su intensidad con la profundidad.

A los 100 m, el intervalo de salinidad absoluta fue de 35.2 a 36.8 g kg⁻¹. En gran parte del área de estudio a esta profundidad la salinidad fue de alrededor de los 36.6 g kg⁻¹, y en las posiciones (20.75°N y 92.5°O) y (20.5°N y 92.5°O) se observó, un núcleo de relativamente baja y alta salinidad, respectivamente (Figura 3C); en la región noreste se observó una zona con los valores de salinidad más altos y, al sureste, la zona con menor salinidad del área de estudio.

A los 200 m de profundidad se pudo apreciar una distribución de salinidad similar a la que se presentó en la temperatura, en la cual la salinidad aumentó de este a oeste (Figura 3D) formándose un frente halino que se observó principalmente en la región noreste. Los intervalos de salinidad absoluta a este nivel fueron de 35.8 a 36.2 g kg⁻¹.

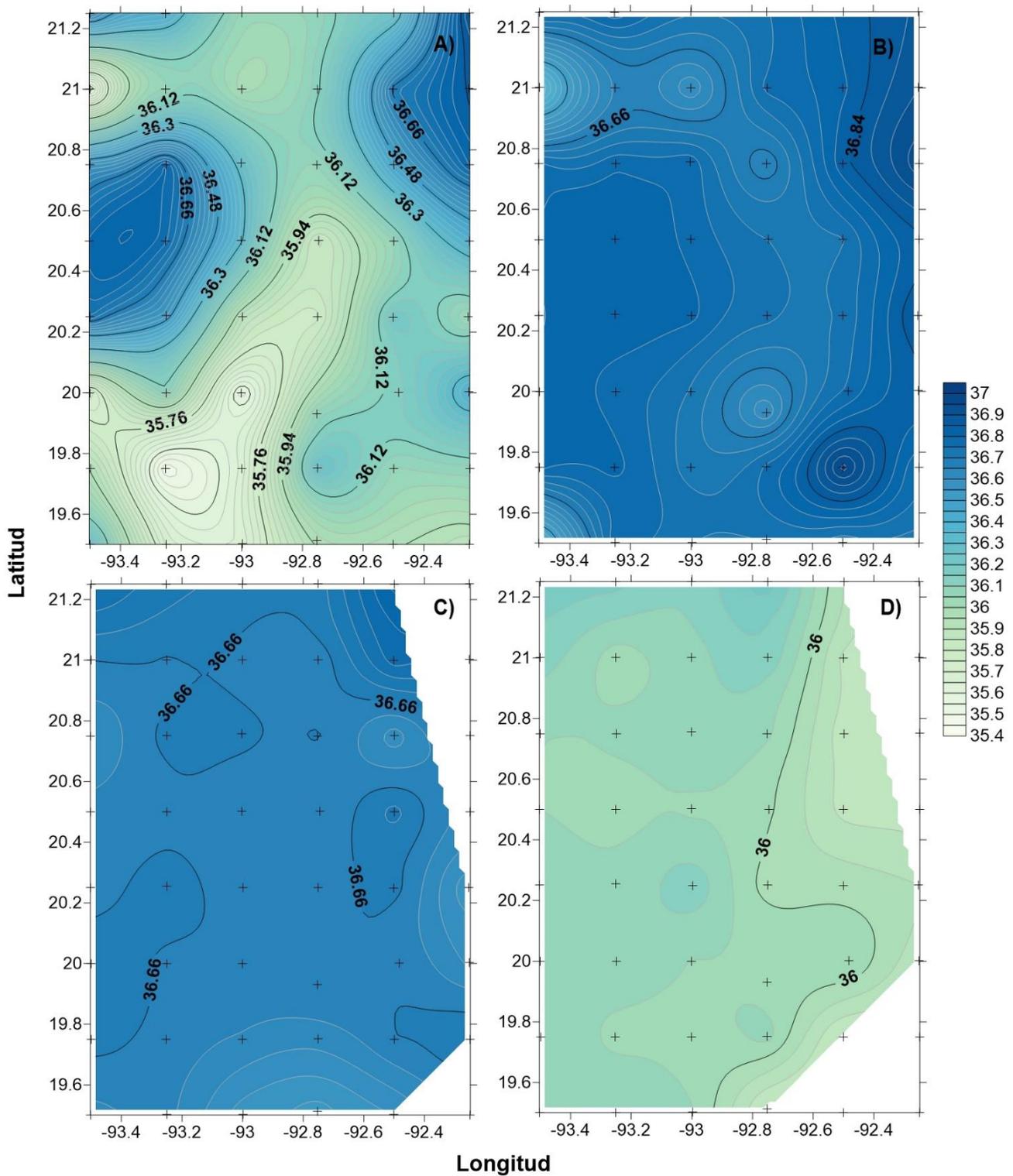


Figura 3. Distribución horizontal de la salinidad absoluta (g kg^{-1}) a los A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.

7.1.3 Densidad (*sigma-t*)

Los valores de *sigma-t* en la capa de los 10 m de profundidad fueron de 23.7 a 25.1 kg m⁻³, su distribución fue muy similar a la que presentó la salinidad a esta profundidad con una zona de baja densidad marcada en su porción suroeste (Figura 4A).

El mismo patrón ocurrió a los 50 m de profundidad, es decir, con una franja de baja densidad que atravesó de norte a sur, y un núcleo de alta densidad en la porción sur centrado en 19.6°N y 92.75°O (Figura 4B); los valores de densidad a esta profundidad variaron entre 24.8 a 25.4 kg m⁻³.

A los 100 m el intervalo de densidad fue de 25.5 a 26.2 kg m⁻³ presentándose la densidad más baja en la zona norte del área de estudio y los valores más altos al sur con el núcleo centrado en 19.6°N y 93°O (Figura 4C). Esta distribución de densidad fue muy similar a la distribución de temperatura conservativa a la misma profundidad. También, se observó la presencia de dos núcleos de diferentes densidades, al igual que la temperatura y salinidad (Figuras 2C, 3C y 4C).

A los 200 m de profundidad los valores de *sigma-t* variaron de 26.6 a 26.9 kg m⁻³. El patrón de distribución de densidad fue más uniforme, sin embargo los valores más bajos se localizaron en la zona oeste y fueron incrementando ligeramente en dirección este (Figura 4D), siguiendo un patrón similar a la temperatura y salinidad a esta profundidad, y la presencia de un frente en la región noreste.

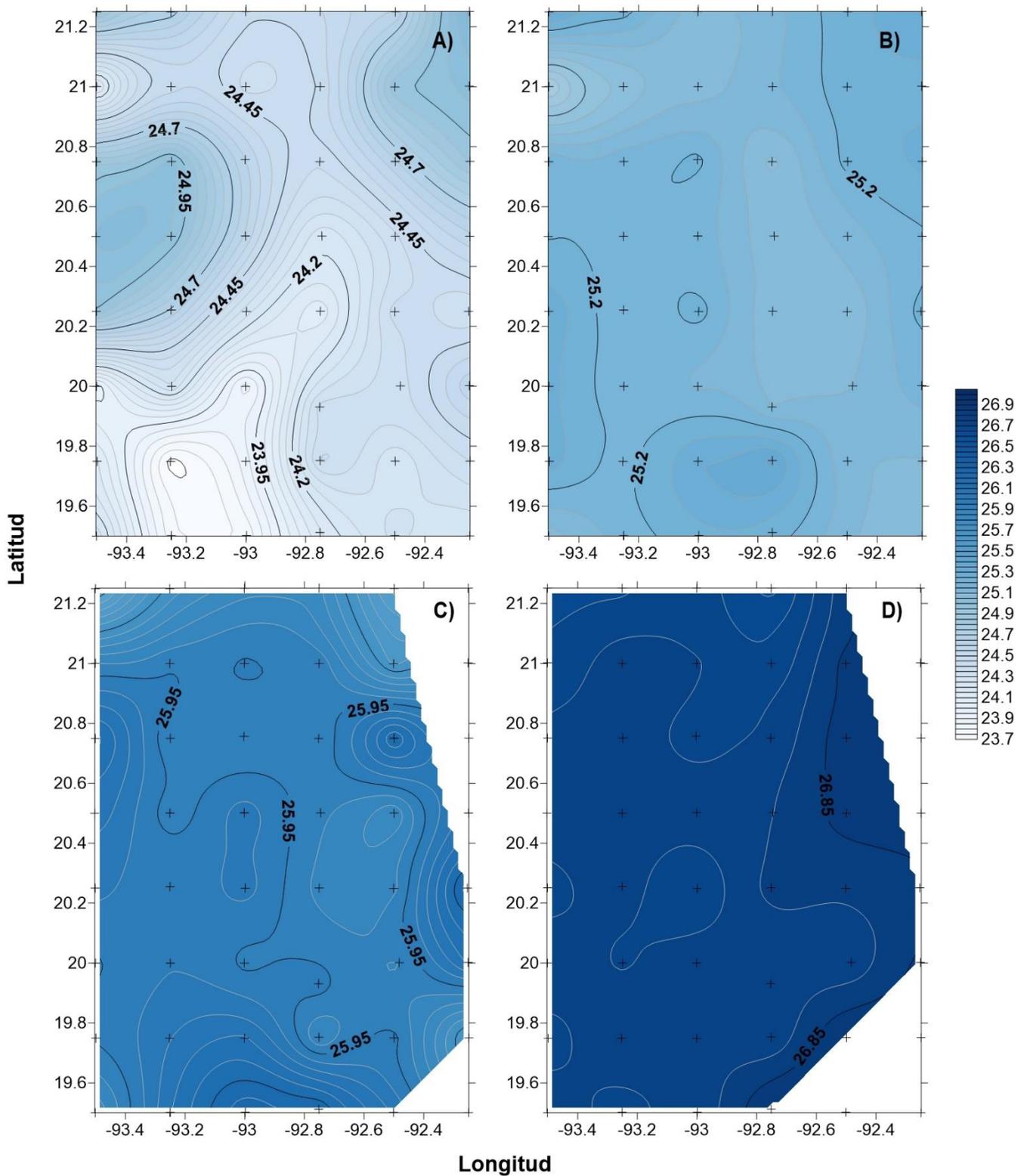


Figura 4. Distribución horizontal de la densidad (σ_t , kg m^{-3}) a los A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.

7.2 Distribución horizontal de Clorofila-*a* y Oxígeno disuelto

*7.2.1 Clorofila-*a**

En este trabajo se obtuvieron valores de fluorescencia de la clorofila-*a*, como un indicador de la biomasa fitoplanctónica. A los 10 m de profundidad, los valores oscilaron entre 0.001 mg m^{-3} y 0.18 mg m^{-3} . En general, a este nivel no se presentaron grandes variaciones en la distribución horizontal, sin embargo, en la región centro-oeste y en la región sureste los valores fueron los más bajos (Figura 5A).

A los 50 m, el intervalo fue de 0.15 a 2.15 mg m^{-3} ; en este caso, en el oeste del área de estudio los valores fueron bajos, esta porción con valores bajos de clorofila-*a* se extendió como una lengüeta hacia el extremo este. Mientras que las mayores concentraciones se presentaron en la zona sur y en la zona noreste (Figura 5B).

En la profundidad de 100 m, el patrón se invirtió, ya que las mayores concentraciones se observaron en la zona oeste y se extendieron en dirección sureste (Figura 5C), los valores a esta profundidad fueron de hasta 0.64 mg m^{-3} mientras que, a 200 m los valores fueron indetectables. La profundidad que presentó una importante concentración de clorofila-*a* fue la de los 50 m, a diferencia de la capa superficial (10 m) y las más profundas (100 y 200 m).

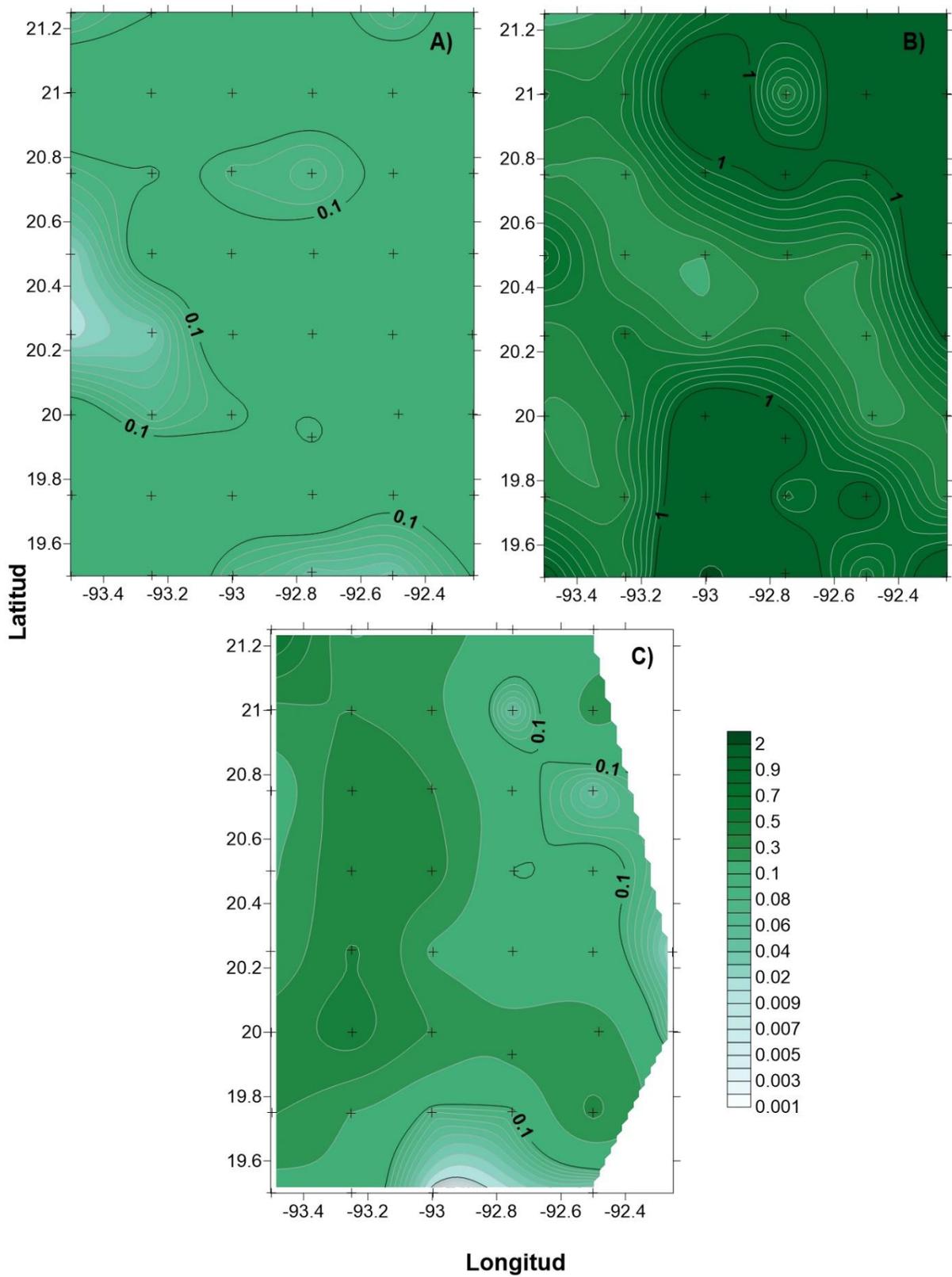


Figura 5. Distribución horizontal de la clorofila-*a* (mg m^{-3}) a los A) 10 m, B) 50 m y C) 100 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.

7.2.2 Oxígeno disuelto

Se tomaron en cuenta los valores de oxígeno disuelto obtenidos mediante el sensor sujeto al CTD. Este se comportó de una manera similar en todos los niveles, presentando bajas concentraciones en el sur del área de estudio y se fue incrementado gradualmente en dirección norte (Figuras 6A-D). También, los rangos de valores de concentración de oxígeno disuelto tomados en cada uno de los estratos fueron muy similares: a 10 m fue de 3.9 mg L⁻¹ a 5.11 mg L⁻¹, en 50 m de 3.8 mg L⁻¹ a 5.2 mg L⁻¹, en 100 m de 3.6 mg L⁻¹ a 5.2 mg L⁻¹ y a los 200 m de profundidad de 3.4 mg L⁻¹ a 4.4 mg L⁻¹.

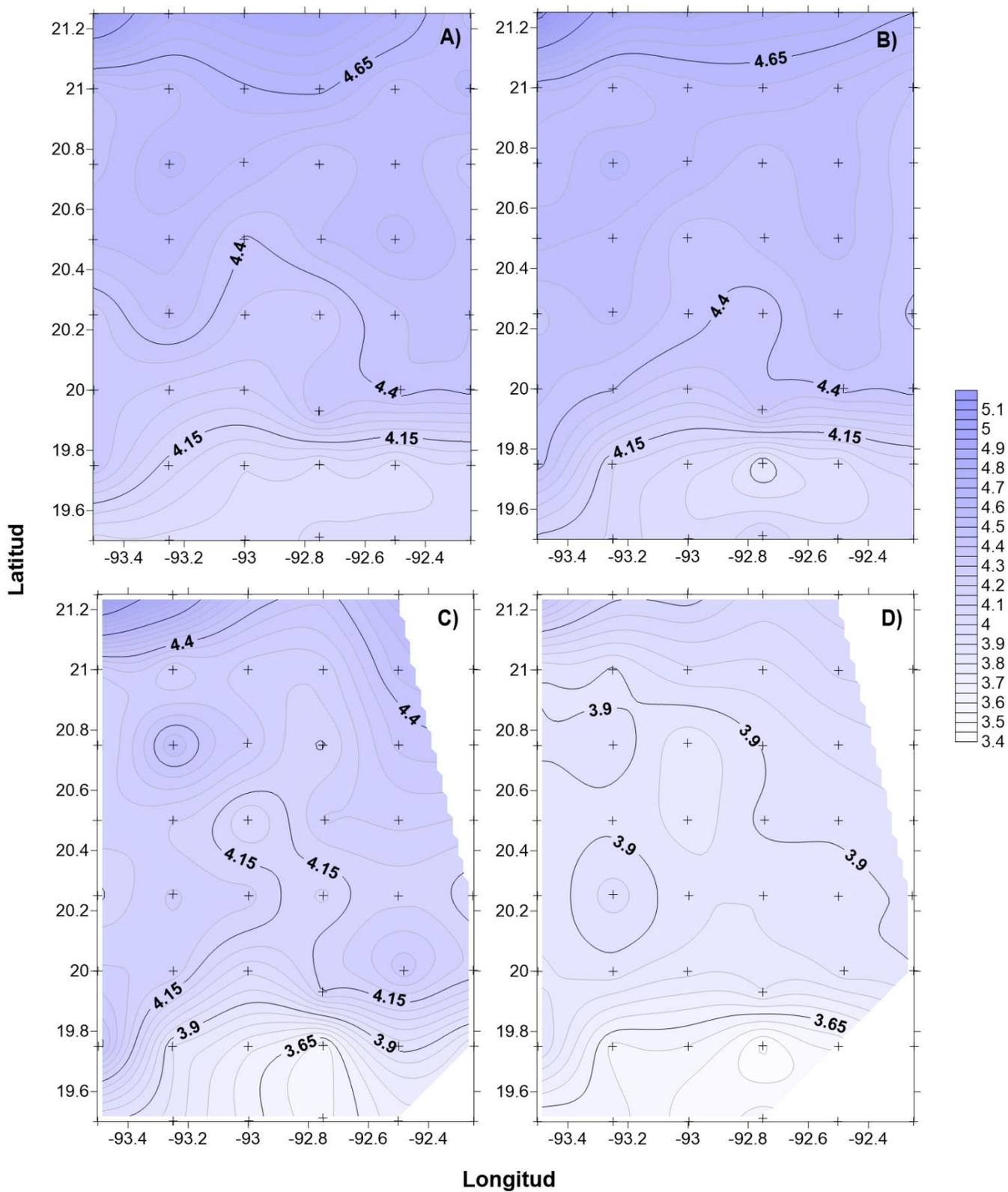


Figura 6. Distribución horizontal del oxígeno disuelto (mg L^{-1}) a los A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.

7.3 Perfiles acumulativos de variables hidrográficas

7.3.1 Temperatura conservativa, salinidad absoluta y sigma-t

El perfil acumulativo de la temperatura conservativa mostró valores promedio de 24.2 °C en superficie que disminuye con la profundidad hasta por debajo de los 16 °C en los 200 m. La base de la termoclina se observó a los 90 m de profundidad (Figura 7A). La salinidad absoluta en la capa superficial mostró valores promedio de 35.58 g kg⁻¹ que aumentaron hasta los 36.5 g kg⁻¹ cerca de los 50 m, no obstante, en esta primera capa, es evidente una dispersión mayor de los valores de salinidad (Figura 7B). En cambio, la disminución de salinidad se mantuvo más uniforme después de los 90 m de profundidad. Por último, el perfil acumulativo de sigma-t presentó valores promedio de 24.1 a 25 kg m⁻³ en los primeros 50 m, que aumentó después de los 80 m (Figura 7C).

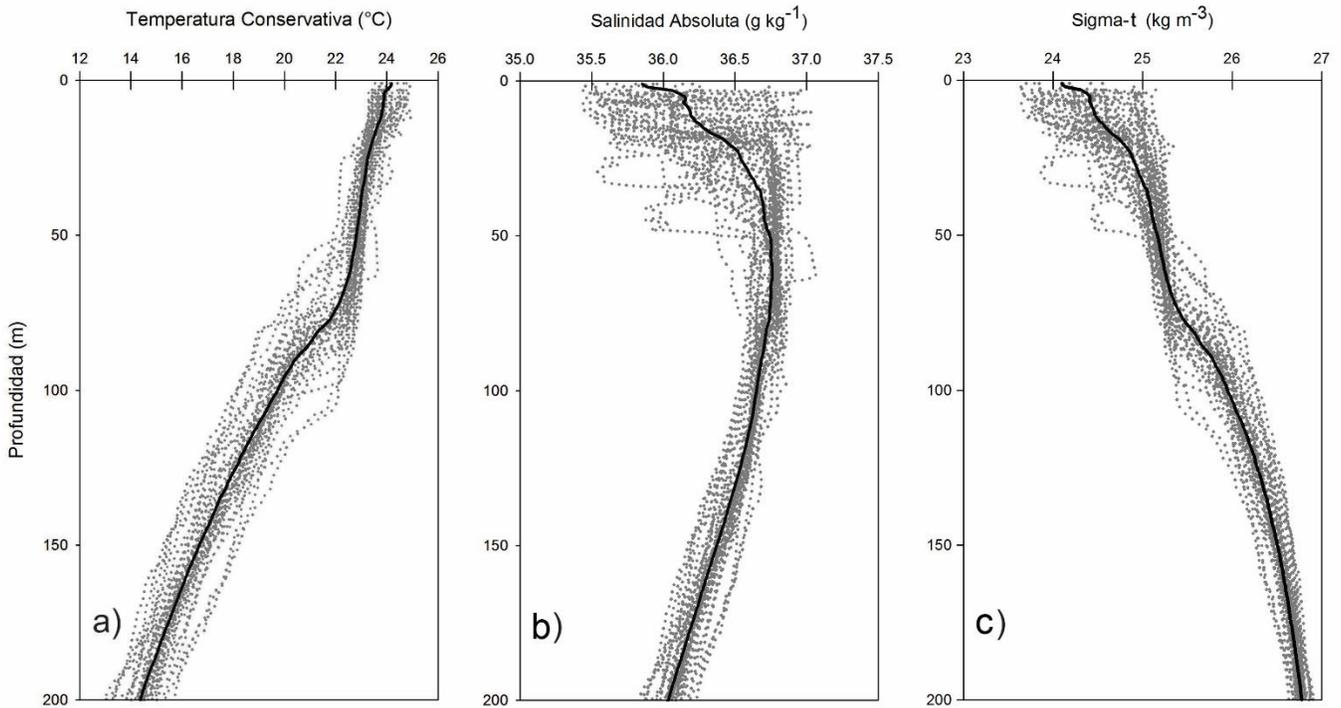


Figura 7. Perfiles verticales acumulativos de: A) temperatura conservativa (°C), B) salinidad absoluta (g kg⁻¹) y C) sigma-t (kg m⁻³) en los primeros 200 m de la columna de agua, durante la época de nortes de 2011. La línea sólida negra representa el perfil promedio.

7.4 Secciones verticales de variables hidrográficas

7.4.1 Temperatura conservativa, salinidad absoluta y sigma-t

Con base en la distribución horizontal de las variables hidrográficas y con la finalidad de poder representar y describir el comportamiento vertical de cada una de las variables en diferentes zonas, se eligieron tres diferentes transectos para mostrar la distribución de las variables en secciones verticales. El primero de ellos representa el gradiente que se observa de este a oeste, el segundo el dipolo ciclón-anticiclón al sureste y el tercero el gradiente observado de sur a norte.

El primero de ellos atravesó diagonalmente el área de estudio de sur a norte e incluyó las estaciones 37, 35, 27, 21, 17 y 7, tal como se muestra en la Figura 8. Se confirma que la termoclina, y la pycnoclina se encontraron a los 90 m de profundidad (Figuras 8A y C), mientras que la salinidad mostró un gradiente importante en la capa superior de 40 m, lo cual en los perfiles acumulativos de salinidad se mostró como gran dispersión de los valores en la capa superficial. También, se observó la elevación de aguas frías de alta salinidad y densidad en la estación 17 que indica la presencia de un giro ciclónico.

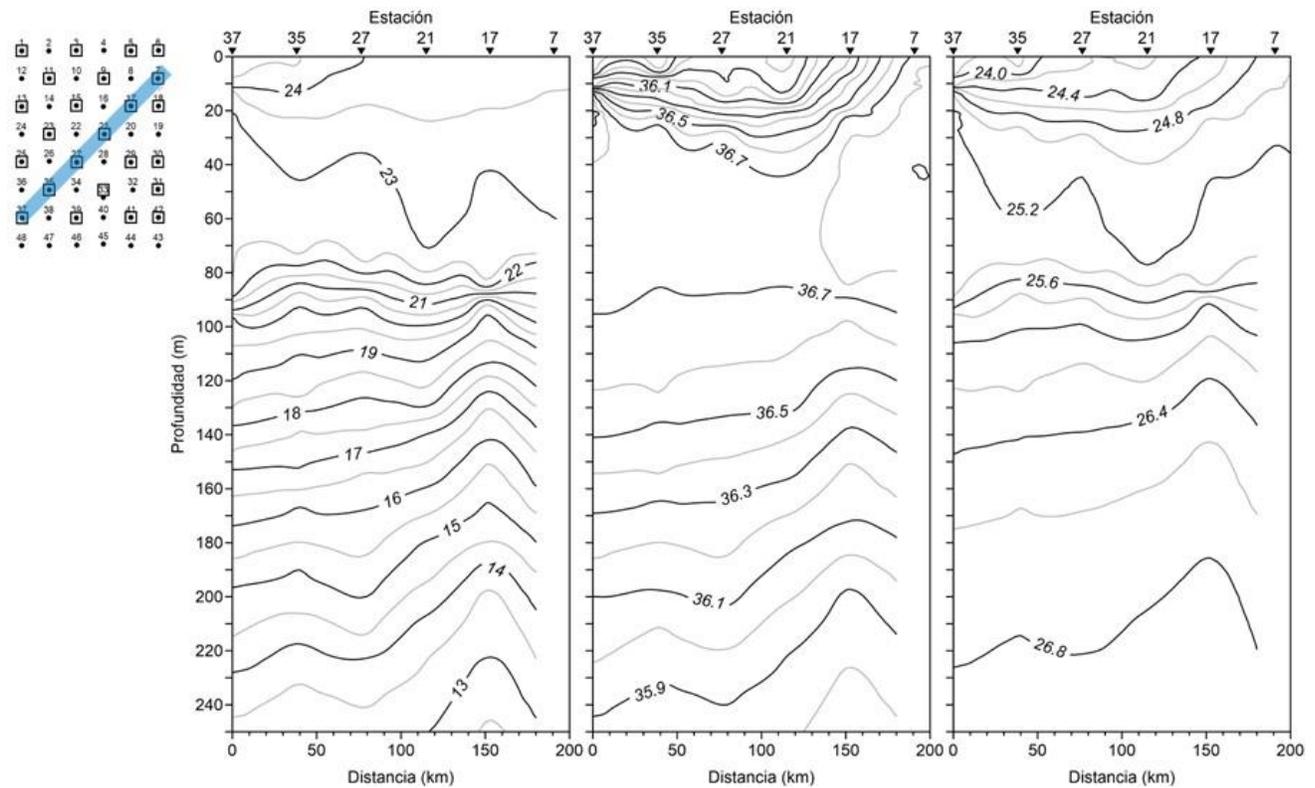


Figura 8. A) Sección vertical de las variables hidrográficas a lo largo del transecto que incluye las estaciones 37-7 desde la superficie hasta los 250 m de profundidad: A) Temperatura conservativa ($^{\circ}\text{C}$), B) Salinidad absoluta (g kg^{-1}) y C) Sigma-t (kg m^{-3}).

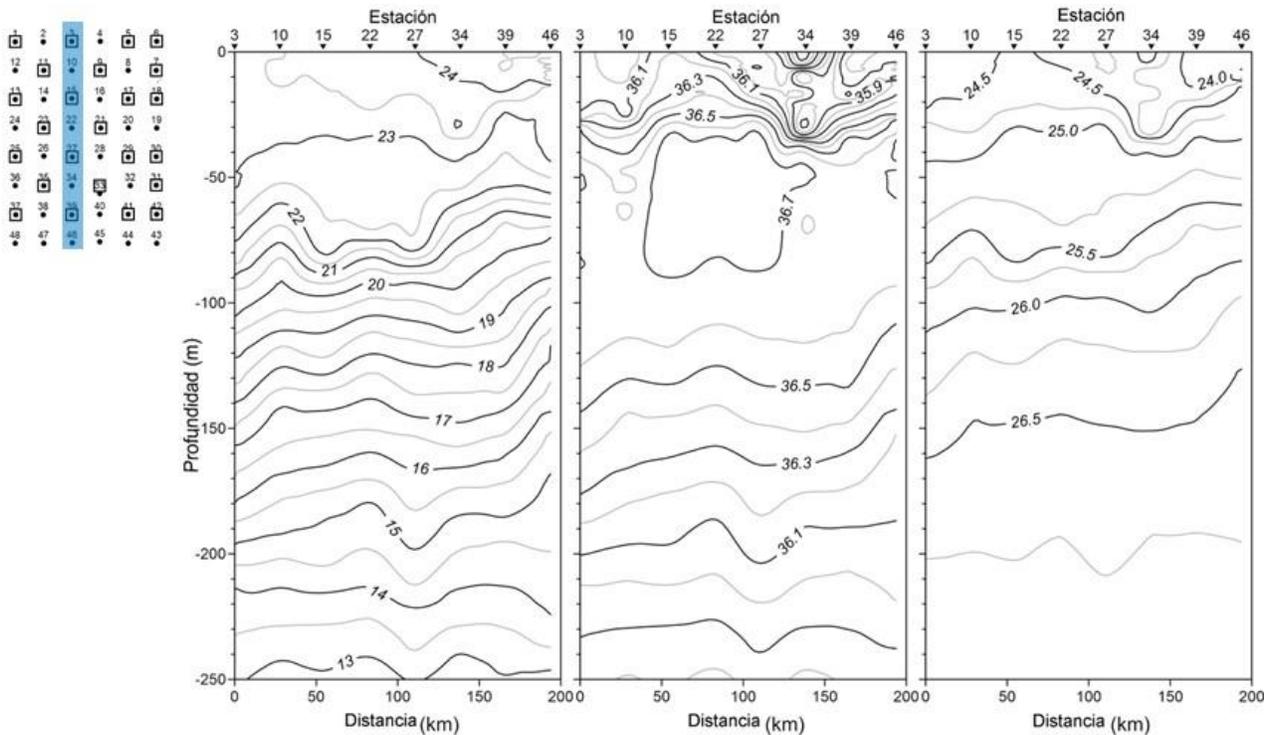


Figura 9. Sección vertical de las variables hidrográficas a lo largo del transecto que incluye las estaciones 3-46: A) temperatura conservativa ($^{\circ}\text{C}$), B) salinidad absoluta (g kg^{-1}) y C) sigma-t (kg m^{-3}).

El segundo transecto atravesó el área de estudio de norte a sur (Figura 9). En este caso, como en el transecto anterior la termoclina y la picnoclina se observaron a 90 m, y un fuerte gradiente de salinidad en la capa superficial de los 40 m. Entre la superficie y los 50 m, la temperatura conservativa osciló entre 24.5°C y 23°C , después de esto descendió con la profundidad y llegó a 13°C a los 250 m. La salinidad en la capa superficial de 40 m mostró el máximo gradiente vertical, la salinidad se incrementó 36.0 a 36.7 g kg^{-1} desde la superficie hasta ~ 50 m, después disminuyó hasta 35.8 g kg^{-1} a 250 m. Sigma-t en la capa de los 40 m tiene una distribución similar a la temperatura conservativa y a la salinidad absoluta, a 90 m de profundidad se observó la picnoclina, y después el gradiente vertical de sigma-t fue más débil. También, en las estaciones 39 y 46 se apreció una pequeña elevación de las isolíneas de temperatura y densidad. En la estación 10 la elevación de las isolíneas de dichos parámetros fue más evidente, desde los 150 m de profundidad.

El último transecto atravesó diagonalmente la región sureste (Figura 10). Las isothermas indicaron un cambio importante después de los 70 m de profundidad, antes de la cual se mantuvo una temperatura muy uniforme de $\sim 23^{\circ}\text{C}$. La salinidad comenzó a descender gradualmente a partir de los 90 m. La

distribución de la densidad en la capa de los 50 m mantuvo un patrón muy similar al de la salinidad absoluta y temperatura conservativa. La presencia de la termoclina y de la piconclina fue evidente a ~ 90 m. El levantamiento de las isotermas e isopicnas en la estación 39 sugiere la presencia de una circulación ciclónica.

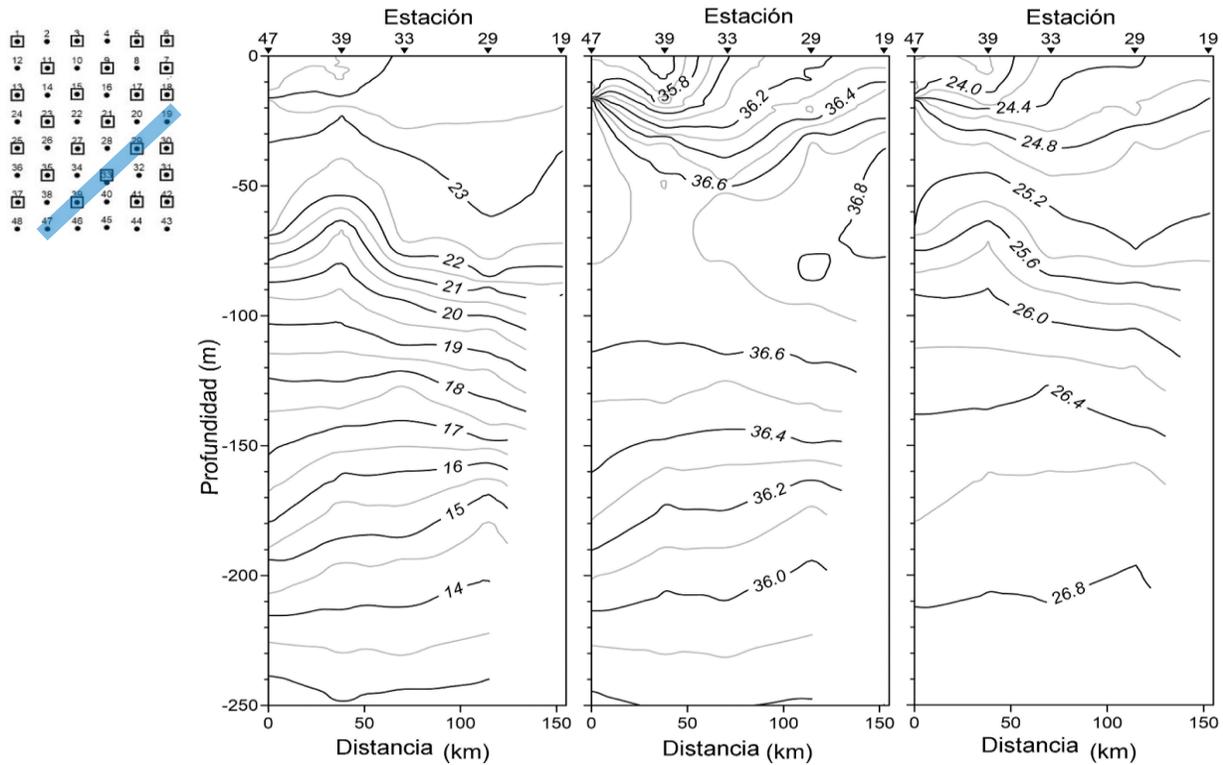


Figura 10. Sección vertical de las variables hidrográficas a lo largo del transecto que incluye las estaciones 47-19 A) temperatura conservativa ($^{\circ}\text{C}$), B) la salinidad absoluta (g kg^{-1}) y C) sigma-t (kg m^{-3}).

7.3 Masas de agua

Se identificaron seis masas de agua en el área de estudio, según la clasificación propuesta por Durán-Campos et al. (2017) y Portela et al. (2018) (Tabla 1 y Figura 11). Se identificó, con temperaturas de 22°C con máximos de 24.5°C , salinidades de entre 35.4 a 36.7 g kg^{-1} el Agua remanente del mar Caribe (AMCr), el Agua común del golfo (ACG) con temperaturas de entre los 20 y 22.5°C y salinidades de 36.1 a 36.4 g kg^{-1} . Estas dos masas de agua se pueden encontrar entre los 50 m y 150 m. El Agua subsuperficial del Atlántico Norte (ASUAN) con temperaturas de 22°C a los 24.5°C y salinidades absolutas de 36.8 - 37.2 g kg^{-1} que suele encontrarse a profundidades de 150 a 230 m. El Agua tropical del Atlántico central (ATAC) con temperaturas conservativas de 8 a 20°C y salinidades absolutas de 35.1 a 36.6 g kg^{-1} , común entre los 300 m y 700 m de profundidad y de esta última el ATACn descrita como una masa que es

característica por presentarse dentro de núcleos con intervalos de temperatura conservativa de entre 9 y 13 °C y 35.25 a 35.9 g kg⁻¹ de salinidad absoluta. Por último, se registró el Agua intermedia antártica (AIA), que suele encontrarse entre los 700 y 850 m de profundidad con valores de 6.1 a 6.30 °C de temperatura conservativa y 34.91 a 35 g kg⁻¹ de salinidad absoluta.

Tabla 1. Clasificación de las masas de agua presentes en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011 con base en la clasificación de Durán-Campos et al. (2017) y Portela et al. (2018).

Nombre	Temperatura (°C)	Salinidad (g kg⁻¹)	Profundidad (m)
AMCr	22-24.5	35.4-36.7	50-150
ACG	20-22.5	36.1-36.4	50-150
ASUAN	22-24.5	36.8-37.2	150-230
ATAC	8-20	35.1-36.6	300-700
ATACn	9-13	35.25-35.9	400-600
AIA	6.1-6.3	34.91-35	700-850

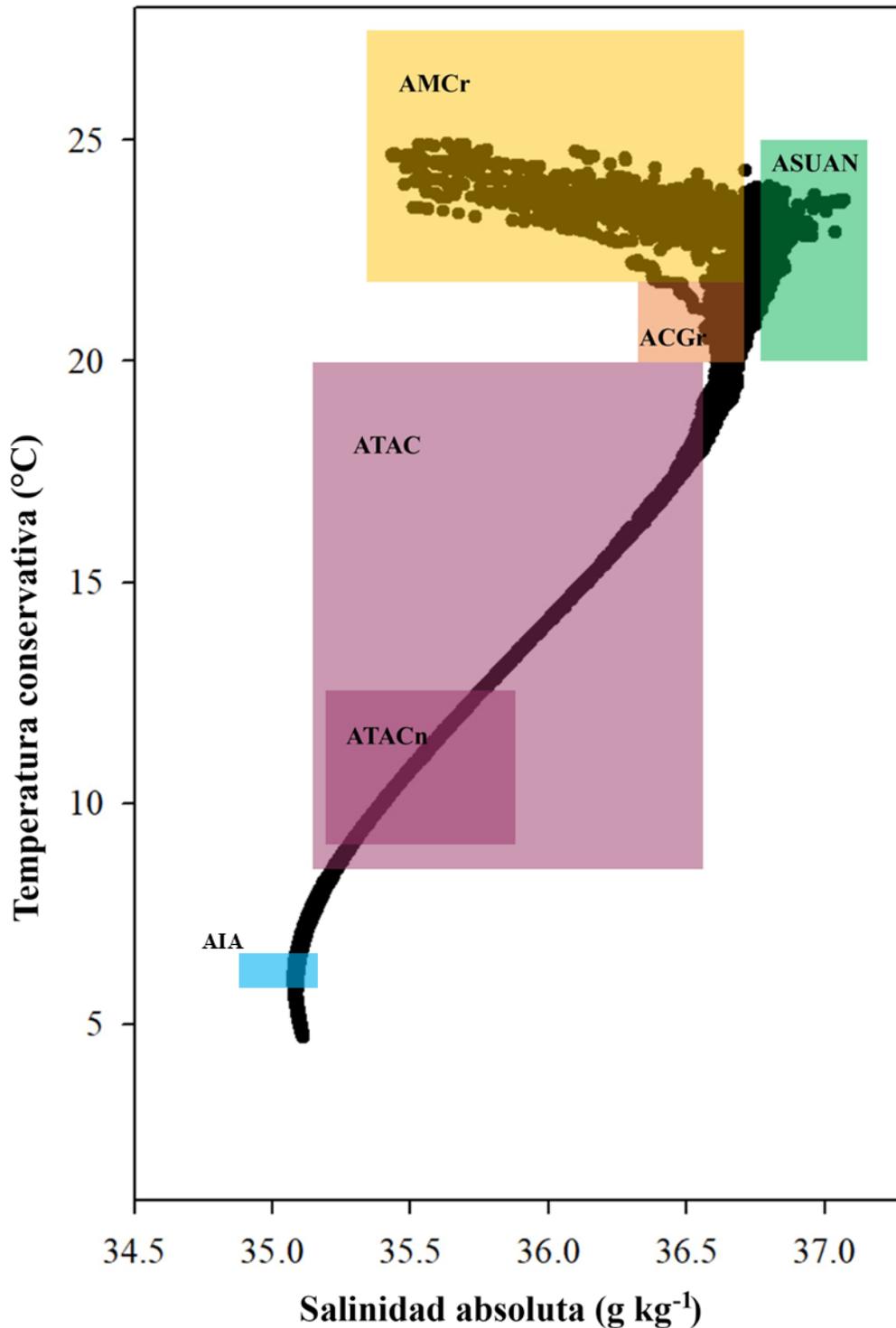


Figura 11. Diagrama T-S que muestra las masas de agua presentes en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011, con base en la clasificación de Durán-Campos et al. (2017) y Portela et al. (2018). AMCr indica el remanente del Agua del mar Caribe, ACG el Agua común del golfo, ASUAN el Agua subsuperficial del Atlántico Norte, ATCA el Agua tropical central del Atlántico, ATCAn el Agua tropical central del Atlántico de núcleos y AIA el Agua intermedia Antártica.

7.4 Patrón de corrientes geostróficas

Con base en lo observado en las Figuras 7, 8, 9 y 10 se pudo constatar que las clinas se localizaron a los 90 m de profundidad, por lo tanto, en la Figura 12 se muestra el patrón de las corrientes geostróficas a esta profundidad. Esta representación de las velocidades geostróficas confirmó la presencia de una circulación ciclónica en la región suroeste centrada en 19.7°N y 93°O, un vórtice ciclónico en el noreste del área de estudio, centrado en ~ 20.9 °N y 93.2 °O, un vórtice anticiclónico en la región centro-este del área de estudio en aproximadamente 20.3°N y 92.6°O. Al sureste, los vectores de velocidad indicaron movimiento que sugiere la entrada de agua proveniente del noreste que se bifurca, una parte hacia el sur y otra que se dirige al norte y acarreada al este.

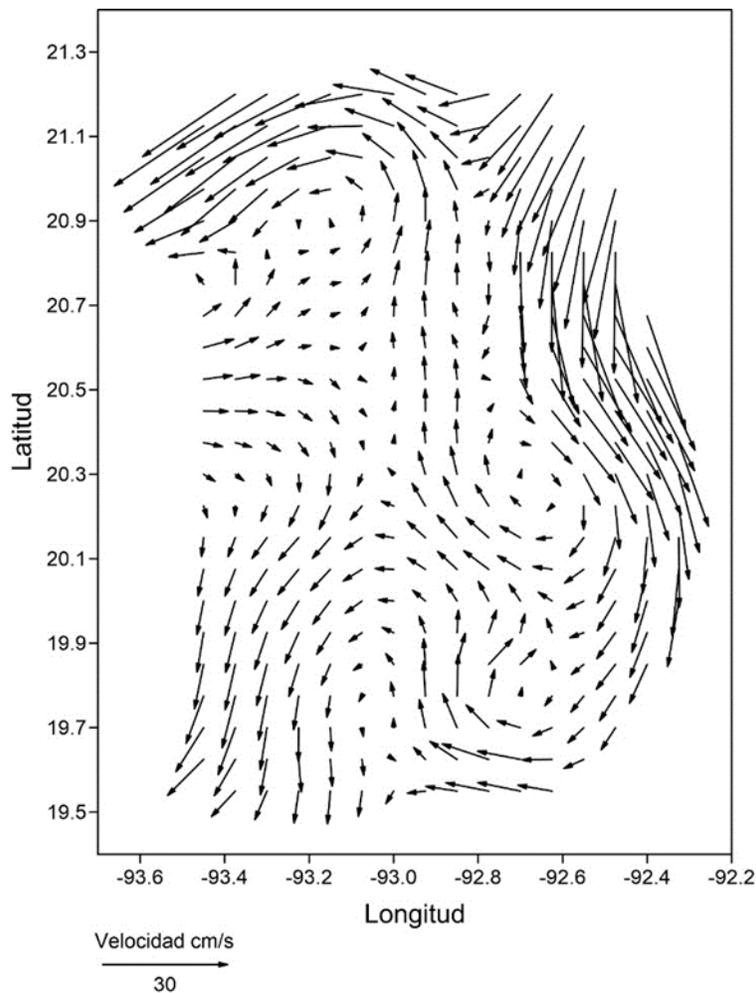


Figura 12. Patrón de corrientes geostróficas (cm s^{-1}) a 90 m de profundidad en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.

7.5 Moluscos holoplanctónicos (Mollusca: Pteropoda y Pterotracheoidea)

7.5.1 Composición taxonómica

Los moluscos holoplanctónicos obtenidos de 65 muestras tomadas en el cañón de Campeche en 4 diferentes estratos sumaron un total de 19,964 organismos, los cuales pertenecieron a dos órdenes, tres subórdenes, dieciséis familias, veintinueve géneros y treinta y siete especies, 33 de ellas fueron pterópodos y cuatro de la superfamilia Pterotracheoidea. Cuatro de las especies colectadas no se habían registrado dentro del golfo de México (Tabla 11, Anexo IV). Es importante considerar que, en el caso de la superfamilia Pterotracheoidea, los organismos del género *Atlanta* no fueron determinados a especie, por lo tanto, la riqueza de estos últimos no se evaluó completamente.

Tabla 2. Listado taxonómico de las especies de la superfamilia Pterotracheoidea y orden Pteropoda.

Phyllum Mollusca

Clase Gastropoda Blainville, 1824

Subclase Caenogastropoda Cox, 1960

Orden Littorinimorpha Golikov & Starobogatov, 1975

Superfamilia Pterotracheoidea Rafinesque, 1814

Familia Atlantidae Rang, 1829

Atlanta Lesueur, 1817

Oxygyrus Benson, 1835

Oxygyrus inflatus Benson, 1835

Familia Carinariidae Blainville, 1818

Carinaria Lamarck, 1801

Carinaria pseudorugosa Vayssière, 1904

Familia Pterotracheidae Rafinesque, 1814

Firoloida Lesueur, 1817

Firoloida desmarestia Lesueur, 1817

Pterotrachea Forsskål, 1775

Pterotrachea hippocampus Philippi, 1836

Subclase Heterobranchia Burmeister, 1837

Infraclasse Euthyneura

Subclase Tectipleura

Orden Pteropoda Cuvier, 1804

Suborden Euthecosomata Meisenheimer, 1905

Superfamily Cavolinioidea Gray, 1850 (1815)

Familia Cavoliniidae Gray, 1850 (1815)

Subfamilia Cavoliniinae Gray, 1850 (1815)

Cavolinia Abildgaard, 1791

Cavolinia uncinata (d'Orbigny, 1835)

Cavolinia inflexa (Lesueur, 1813)

Diacavolinia van der Spoel, 1987

Diacavolinia limbata (d'Orbigny, 1835)

Diacavolinia stangulata (Deshayes, 1823)

*Diacavolinia constricta** van der Spoel, Bleeker & Kobayasi, 1993

Diacavolinia longirostris (Blainville, 1821)

Subfamilia Diacriinae Rampal, 2019

Diacria J.E. Gray, 1840

Diacria major (Boas, 1886)

Telodiacria Rampal, 2019

Telodiacria danae (van Leyen & van der Spoel, 1982)

Familia Cliidae Jeffreys, 1869

Clio Linnaeus, 1767

Clio pyramidata Linnaeus, 1767

Clio cuspidata (Bosc, 1801)

Familia Creseidae Rampal, 1973

Creseis Rang, 1828

Creseis acicula (Rang, 1828)

Creseis conica Eschscholtz, 1829

Creseis virgula (Rang, 1828)

Boasia Dall, 1889

Boasia chierchiae (Boas, 1886)

Styliola Gray, 1847

Styliola subula (Quoy & Gaimard, 1827)

Familia Hyalocylidae A. W. Janssen, 2020

Hyalocylis Fol, 1875

Hyalocylis striata (Rang, 1828)

Superfamilia Limacinoidea Gray, 1840

Familia Heliconoididae Rampal, 2019

Heliconoides d'Orbigny, 1836

Heliconoides inflatus (d'Orbigny, 1835)

Familia Limacinidae Gray, 1840

Limacina Bosc, 1817

Limacina bulimoides (d'Orbigny, 1835)

Limacina lesueurii (d'Orbigny, 1836)

Limacina trochiformis (d'Orbigny, 1835)

Suborden Pseudothecosomata Meisenheimer, 1905

-
- Superfamilia Cymbulioidea Gray, 1840
Familia Peraclidae Tesch, 1913
 Peracle Forbes, 1844
 Peracle diversa (Monterosato, 1875)
 Peracle reticulata (d'Orbigny, 1835)
 Peracle bispinosa Pelseneer, 1888
Familia Desmopteridae Chun, 1889
 Desmopterus Chun, 1889
 Desmopterus papilio Chun, 1889
Familia Cymbuliidae Gray, 1840
Subfamilia Cymbuliinae Gray, 1840
 Cymbulia Péron & Lesueur, 1810
 Cymbulia peronii Blainville, 1818
Subfamilia Glebinae van der Spoel, 1976
 Corolla Dall, 1871
Suborden Gymnosomata Blainville, 1824
Superfamilia Clionoidea Rafinesque, 1815
Familia Clionidae Rafinesque, 1815
 Clione Pallas, 1774
 Clione limacina (Phipps, 1774)
 Paraclione Tesch, 1903
 Paraclione longicaudata (Souleyet, 1852)
 Thliptodon Boas, 1886
 Thliptodon diaphanus (Meisenheimer, 1902)
Familia Cliopsidae O. G. Costa, 1873
 Cliopsis Troschel, 1854
 Cliopsis krohnii Troschel, 1854
Familia Notobrancheidae Pelseneer, 1886
 Notobranchea Pelseneer, 1886
Familia Pneumodermatidae Latreille, 1825
 Pneumoderma de Roissy, 1805
 Pneumoderma violaceum d'Orbigny, 1835
 Pneumoderma Keferstein, 1862
 *Pneumoderma macrochira** Meisenheimer, 1905
 Schizobranchium Meisenheimer, 1903
 *Schizobranchium polycotylum** Meisenheimer, 1903
 Spongiobranchea d'Orbigny, 1836
 *Spongiobranchea intermedia** Pruvot-Fol, 1926

*Nuevo registro

7.5.2 Riqueza

Las estaciones que presentaron mayor número de especies fueron; la 37 ubicada en la zona suroeste del cañón con 25 especies, la 31 con 22 especies y en la sección norte la 1, 5 y 13 con 23 a 22 especies. Las estaciones cercanas a la plataforma continental presentaron las riquezas menores con siete y cuatro especies.

El estrato que presentó la mayor riqueza fue el de 100 m, con 30 especies, mientras que aquel que presentó el menor número de especies fue el de 200 m, con 20 especies. Las profundidades de 10 m y 50 m registraron una riqueza de 26 especies.

En el plano horizontal, a los 10 m de profundidad, se observó un gradiente de la riqueza, donde las estaciones con mayor número de especies se presentaron al norte del área de estudio con intervalos de 16 a 13 especies por estación, el cual fue disminuyendo hacia el sur, con estaciones de hasta cinco especies (Figura 13). La riqueza más alta parece coincidir con temperaturas más bajas.

A 50 m de profundidad, los sitios con mayor número de especies (15 a 13 especies) se presentaron al sureste, en zonas adyacentes a la circulación ciclónica. En este estrato las estaciones parecen presentar mayor número de especies a diferencia del estrato anterior, principalmente en los límites del área de estudio. También, dos de los sitios con pocas especies fueron aquellos cercanos al anticiclón.

En el estrato de 100 m de profundidad, la riqueza más alta fue en uno de los sitios ubicados en la parte central del lado este y el sitio 1, al noreste del cañón, con 19 y 18 especies, respectivamente. En esta capa la riqueza menor fue de cuatro especies en la zona norte. Es importante destacar que cerca de un núcleo cálido se encontró la estación con mayor riqueza.

Por último, a 200 m de profundidad las mayores riquezas (15 especies) se presentaron cerca del gradiente de transición de temperatura del lado este, donde se observa un frente térmico.

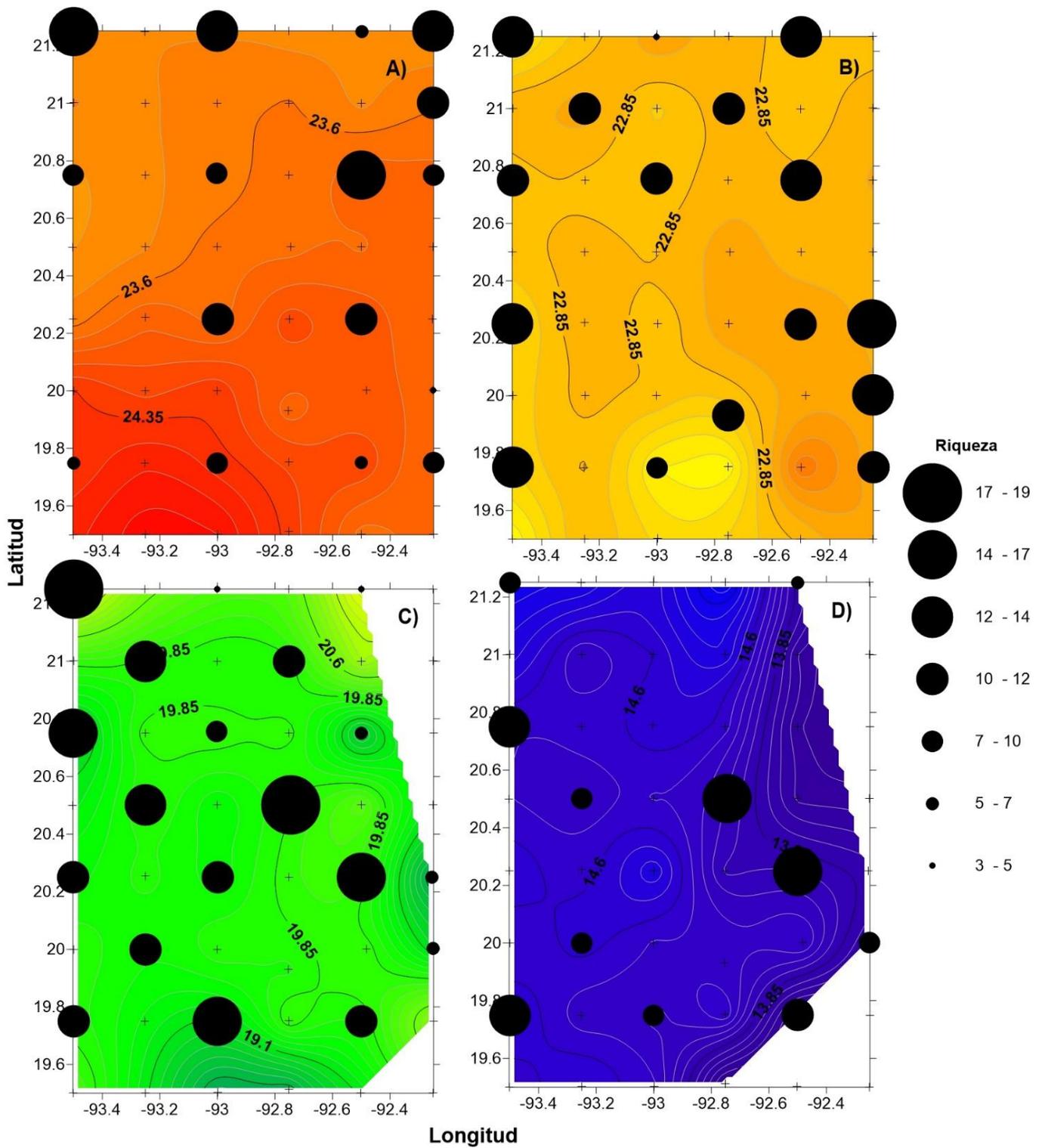


Figura 13. Distribución de la riqueza y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañon de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.

7.5.3 Abundancia

La abundancia de organismos está representada con relación al volumen de agua muestreada, en términos de densidad. El estrato que presentó la mayor densidad de organismos fue el de 10 m de profundidad (mediana=138 org 100 m⁻³, media=244.5 org 100 m⁻³) seguido del estrato de 50 m (mediana=71.8 org 100 m⁻³, media=123.6 org 100 m⁻³). Mientras que los estratos más profundos presentaron menores densidades (Figura 14).

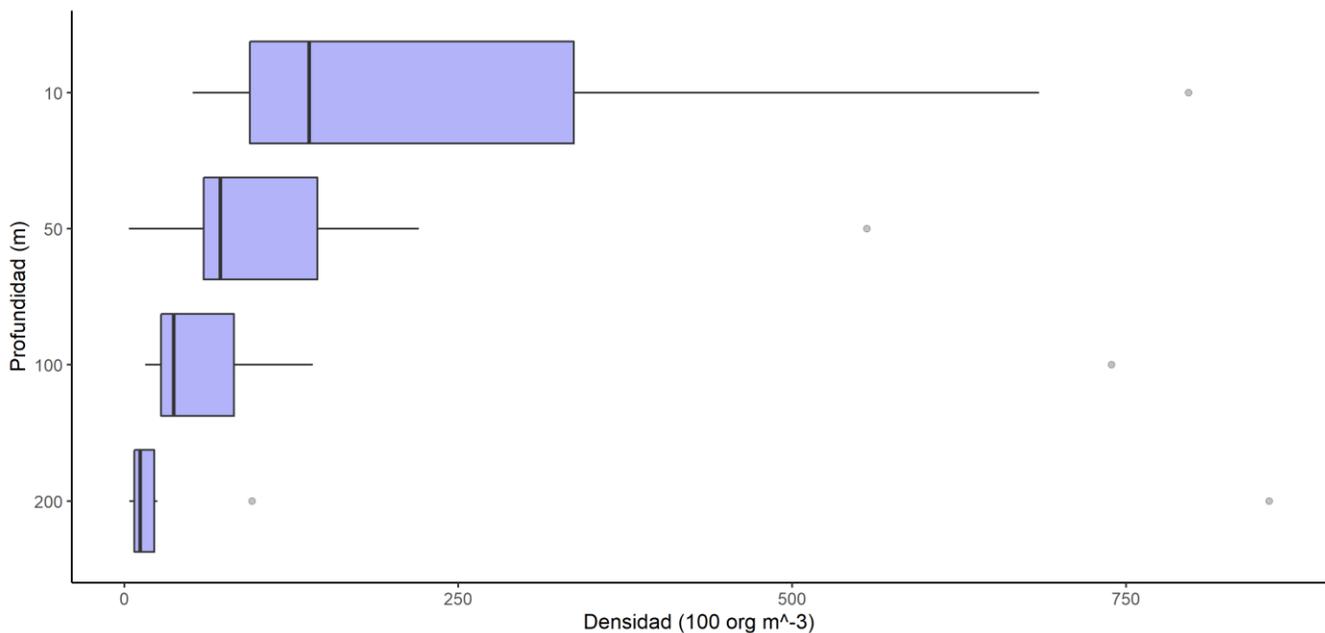


Figura 14. Diagramas de caja y bigotes de las densidades a los 10, 50, 100 y 200 m de los organismos del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011. Las barras indican la mediana.

La distribución horizontal de la densidad de organismos por estrato se muestra en la Figura 15. En la capa superficial, 10 m, las estaciones 37 al suroeste y 17 al noreste fueron las de mayor densidad con 796.7 org 100 m⁻³ y 684.9 org 100 m⁻³, respectivamente. En este estrato se muestra claramente que aquellos sitios ubicados en la región con temperaturas ligeramente más bajas presentaron valores bajos de densidad (< 200 org 100 m⁻³). A los 100 m de profundidad el sitio con mayor densidad fue la región oeste (estación 23) con 739.1 org 100 m⁻³. En general, a esta profundidad los sitios presentaron valores de <150 org 100 m⁻³. En el caso de los 200 m de profundidad, el valor más alto de densidad fue de 857.1 org 100 m⁻³ en la estación 35 al suroeste del cañón, pasando la zona de transición. Nuevamente, el resto de los sitios presentó densidades bajas con valores < 100 org 100 m⁻³.

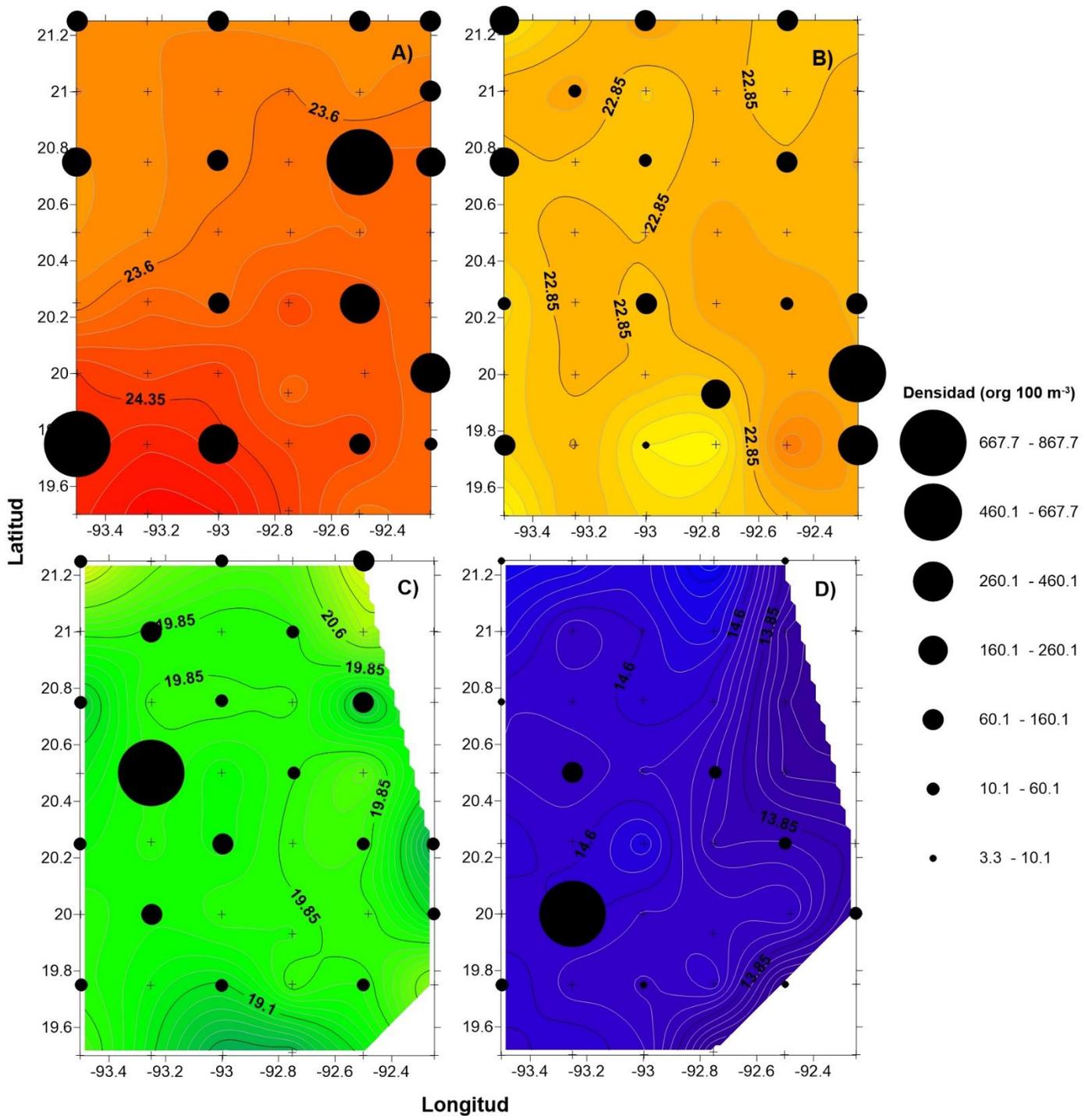


Figura 15. Densidad total de moluscos holoplanctónicos (org 100 m⁻³) y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.

Las especies que se presentaron con mayor frecuencia y densidad fueron *Heliconoides inflatus* (2 228.5 org 100 m⁻³), *Creseis conica* (1 541.7 org 100 m⁻³) y *Limacina trochiformis* (1 416.7 org 100 m⁻³) (Figura 16); en términos de densidad relativa tan solo estas tres especies representaron el 53.5 % de todo el muestreo. Los organismos heterópodos del género *Atlanta* se ubican en el cuarto lugar en cuanto a densidad total con 848.0 org 100 m⁻³, sin embargo, estos no fueron determinados a nivel de especie. Las especies de pterópodos *Clio cuspidata*, *Cymbulia peroni*, *Clione limacina* y el heterópodo *Pterotrachea hippocampus* presentaron valores más bajos de todo el muestreo < 0.3 org 100 m⁻³.

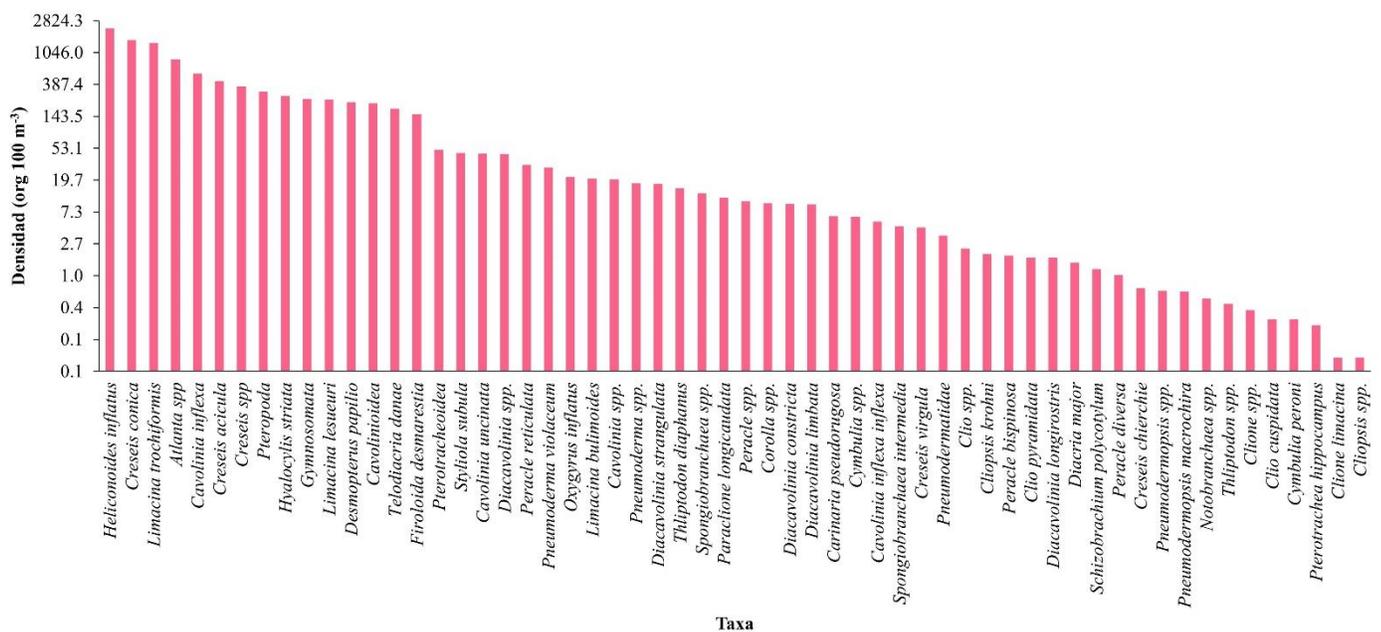


Figura 16. Densidad de los taxa de moluscos holoplanctónicos determinados en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011.

En cuanto a la composición de especies en cada uno de los estratos, *C. conica* fue la de mayor densidad relativa en el estrato de los 10 m con un 21.2 % (Figura 17), mientras que en los estratos de 50 y 100 m la especie *H. inflatus* fue la más representativa con 36.6 % y 21.8 % de densidad relativa, respectivamente. En el caso del estrato de 200 m, los organismos del género *Creseis* fueron los mejor representados con un 28.7 %.

L. trochiformis, ocupó el tercer lugar en densidad relativa en las profundidades de 10 m, 50 m y 200 m con 17.4 %, 11.9 % y 10.2 %, respectivamente. En el estrato de 100 m esta especie fue la segunda con 15.3 %. Los organismos del género *Atlanta* disminuyeron su densidad relativa con la profundidad

(15.5 % a 10 m, 5.8 % a 50 m, 5.2% en los 100 m y 1.7% a 200 m). Otros taxa que se mantuvieron constantes en densidad para cada una de las profundidades fueron *Cavolinia inflexa* con 4.8 % a 6.3% y *Hyalocylis striata* que pareció incrementar su abundancia en el estrato de 100 m (6.8 %).

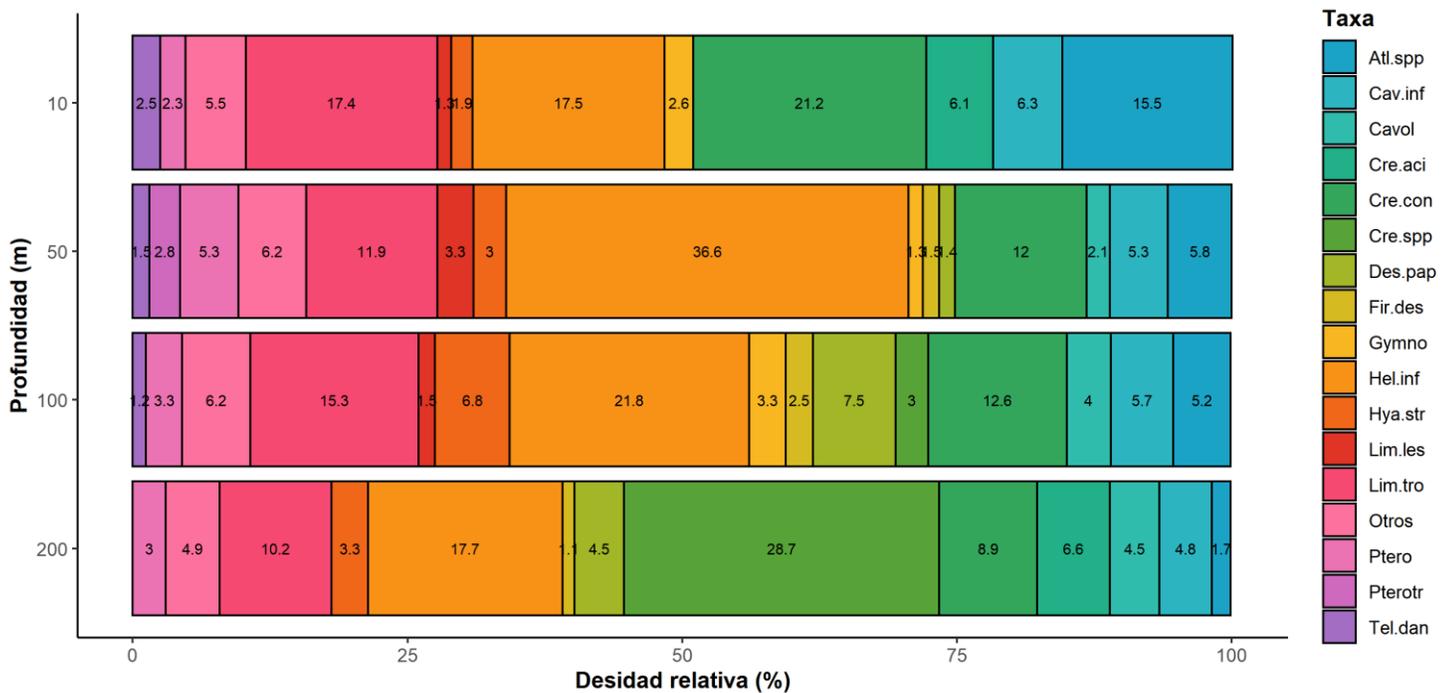


Figura 17. Densidad relativa de los taxa del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea en los estratos de 10 m, 50 m, 100 m y 200 m en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011. Atl.spp=*Atlanta* spp., Cav.inf= *Cavolinia inflata*, Cavol= familia Cavolinidae, Cre.aci=*Creseis acicula*, Cre.con= *Creseis conica*, Cre.spp= *Creseis* spp., Des.pap= *Desmopterus papilo*, Fir.des=*Firoloida desmarestia*, Gymno= orden Gymnosomata, Hel.inf=*Heliconoides inflatus*, Hya.str=*Hyalocylis striata*, Lim.les=*Limacina lesueuri*, Lim.tro=*Limacina trochiformis*, Ptero= orden Pteropoda, Pterotr= familia Pterotracheidae, Tel.dan= *Telodiacria danae* y Otros = taxa con < 1 % de densidad relativa.

7.5.4 Caracterización

De acuerdo con la prueba de Olmstead-Tukey realizada con el total de las especies, 14 de ellas fueron dominantes (Figura 18) entre las que se encuentran los pterópodos tecosomados *H. inflatus*, *C. conica*, *C. acicula*, el gymnosomado *P. violaceum* y el heterópodo *O. inflatus*; 20 se consideraron raras y *T. diaphanus* y *L. bulimoides* como constantes.

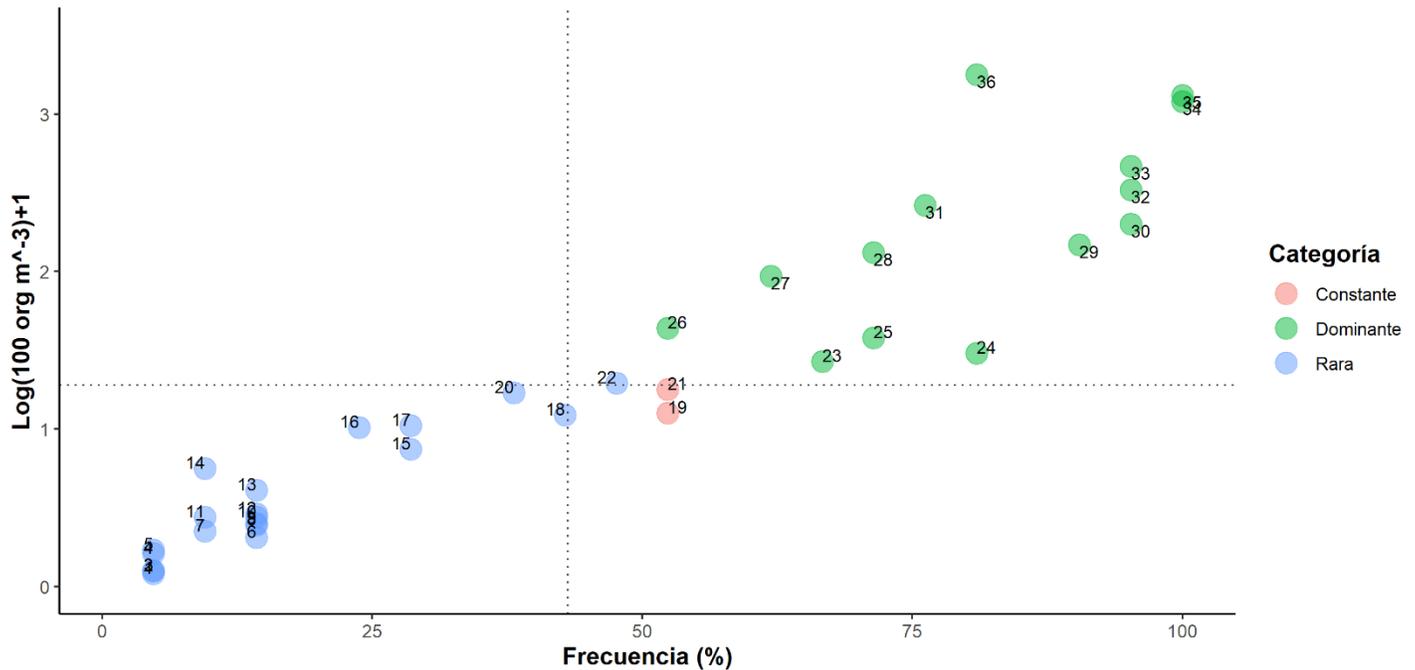


Figura 18. Diagrama Olmstead-Tukey del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011. 1. *Pterotrachea hippocampus*, 2. *Clio cuspidata*, 3. *Cymbulia peroni*, 4. *Pneumodermopsis macrochira*, 5. *Creseis chierchie*, 6. *Peracle diversa*, 7. *Schizobranchium polycotylum*, 8. *Cliopsis krohni*, 9. *Diacria major*, 10. *Diacavolinia longirostris*, 11. *Clio pyramidata*, 12. *Peracle bispinosa*, 13. *Cresis vigula*, 14. *Spongiobranchea intermedia*, 15. *Carinaria pseudorugosa*, 16. *Diacria limbata*, 17. *Diacria constricta*, 18. *Paraclione longicaudata*, 19. *Thliptodon diaphanus*, 20. *Diacria strispinosa*, 21. *Limacina bulimoides*, 22. *Oxygyrus inflatus*, 23. *Pneumoderma violaceum*, 24. *Peracle reticulata*, 25. *Cavolinia uncinata*, 26. *Styliola subula*, 27. *Firoloida desmarestia*, 28. *Limacina lesueurii*, 29. *Telodiacria danae*, 30. *Desmopterus papilio*, 31. *Hyalocylis striata*, 32. *Creceis acicula*, 33. *Cavolinia inflexa*, 34. *Limacina trochiformis*, 35. *Creceis conica*, 36. *Heliconoides inflatus*.

La distribución de las tres especies más dominantes se presenta en las Figuras 19, 20 y 21. La primera de ellas es *H. inflatus*, la cual presentó su mayor densidad de organismos en la región sur del área de estudio, con valores de 225.2 org 100 m⁻³ y 210.1 org 100 m⁻³, en el estrato más superficial (Figura 19). En la región norte y sureste se observó que la densidad fue más baja con valores < 5 org 100 m⁻³. La capa de

los 50 m fue aquella donde *H. inflatus* tuvo sus mayores densidades con 395.1 org 100 m⁻³ y 316.5 org 100 m⁻³ en las estaciones 9 y 31, respectivamente, por encima de la isoterma de los 22.85 °C y en el caso de la estación 31 cercana al ciclón. A 100 m de profundidad, la densidad de esta especie disminuyó, con valores máximos de 185.1 org 100 m⁻³ y 78.6 org 100 m⁻³ en la región central del área de estudio, por encima de la isoterma de los 19.85 °C. El resto de los sitios presentaron densidades < 12 org 100 m⁻³. En el estrato de 200 m, la densidad mayor de *H. inflatus* fue en los sitios 35 y 23 con 134.7 org 100 m⁻³ y 26.3 org 100 m⁻³ en la región central-este, sin embargo, en el resto de los sitios fue < 10 org 100 m⁻³.

La segunda especie, *C. conica*, tuvo un comportamiento similar a *H. inflatus* en el estrato más superficial. En el cual, las densidades más altas fueron en los sitios ubicados al sur, en particular, al suroeste en la estación 37 con 255.2 org 100 m⁻³ y cerca de la plataforma continental con 138.7 org 100 m⁻³. En general, a 10 m de profundidad se presentó la mayor densidad de organismos de esta especie. Mientras que a 50 m los valores de densidad fueron menores, con máximos de 93.1 a 60.8 org 100 m⁻³, todos ellos cerca de la plataforma continental y zonas adyacentes a los vórtices. En el estrato de 100 m, los sitios tuvieron densidades de *C. conica* menores a 20 org 100 m⁻³, con excepción del sitio 23 con 122.2 org 100 m⁻³. Finalmente, a los 200 m las densidades de esta especie fueron menores que todos los estratos, con el valor máximo de 70.5 org 100 m⁻³, pero el resto de las estaciones con presencia de esta especie tuvieron valores menores a 10 org 100 m⁻³.

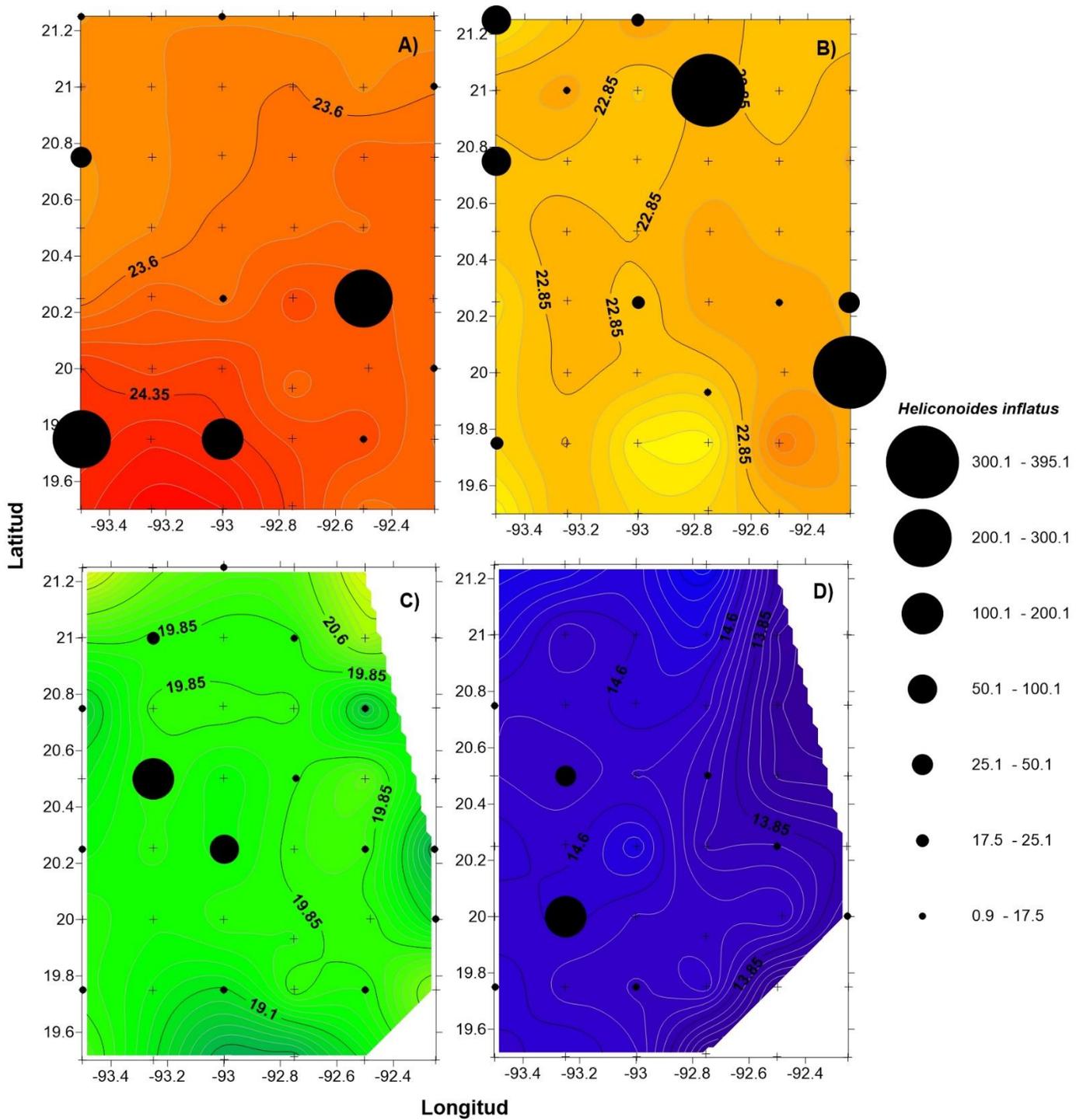


Figura 19. Densidad (org 100 m⁻³) y distribución de *Heliconoides inflatus* y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.

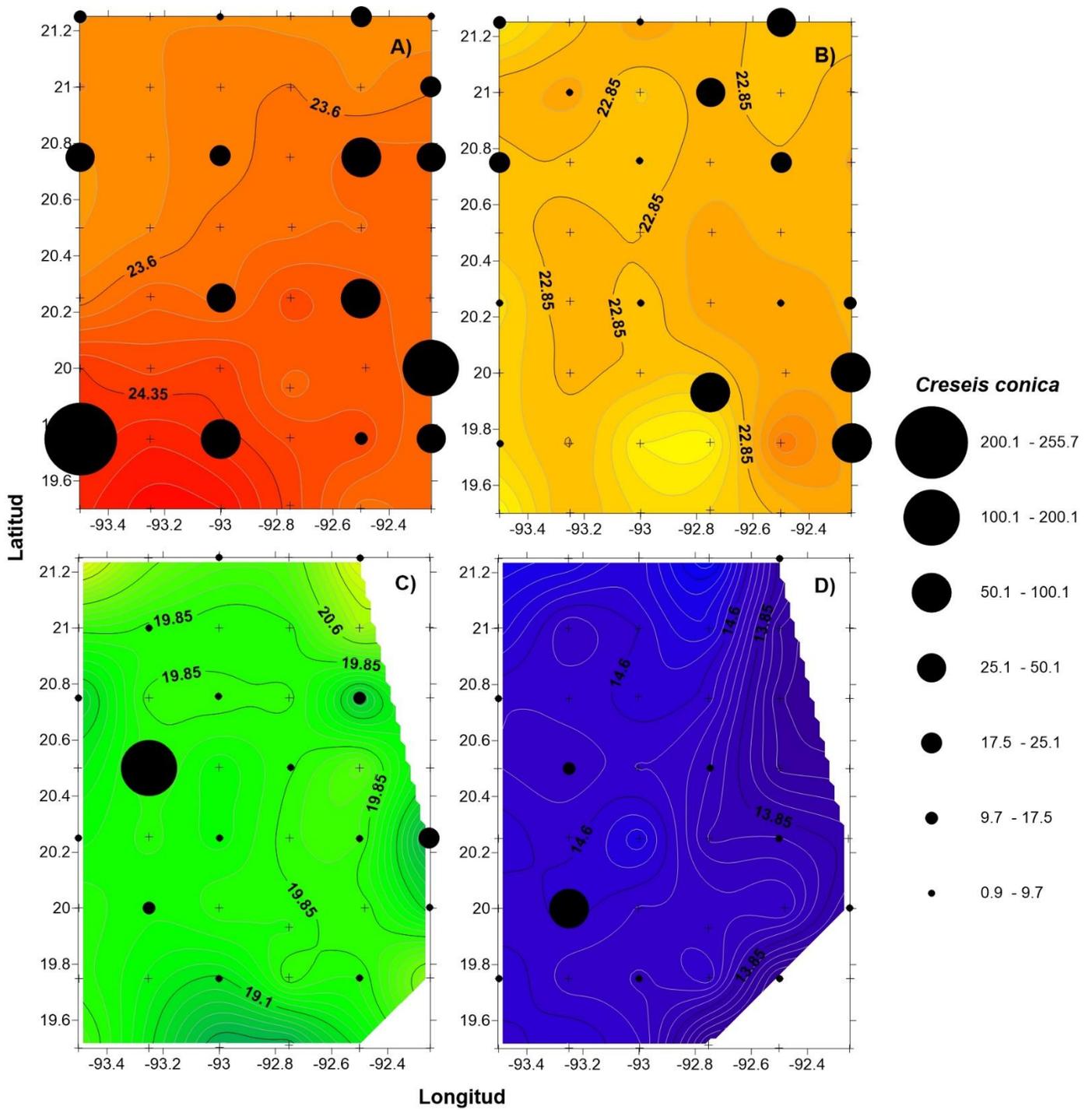


Figura 20. Densidad ($\text{org } 100 \text{ m}^{-3}$) y distribución de *Creseis conica* y su relación con la temperatura conservativa ($^{\circ}\text{C}$) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.

L. trochiformis ocupó el tercer lugar de las especies dominantes. Esta especie presentó su densidad más alta en el estrato más superficial con un máximo de $162.1 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$ en la zona noreste del cañón, en el sitio 17 y $125.3 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$ en la región suroeste, sitio 37 (Figura 21). La mayoría de las estaciones mantuvieron valores $< 100 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$. A los 100 m de profundidad, en la región central-oeste, se presentó la mayor densidad de *L. trochiformis* con $109.5 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$, así como en los sitios 5 y 17 con densidades de 50.1 y $35.6 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$, en el resto de los sitios su densidad fue $< 7 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$. Finalmente, en el estrato de 200 m, las densidades más importantes fueron de 83.4 y $19 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$, en los sitios 35 y 23, respectivamente. En este último estrato la densidad fue $< 2 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$.

Los heterópodos del género *Atlanta* fueron el cuarto taxon dominante. Estos organismos, al igual que los taxa anteriores tuvieron sus densidades más altas en la capa más superficial (Figura 22), principalmente en sitios de la región este cercanas a la plataforma continental, con máximos de $287.4 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$, al noreste. Las áreas noroeste y sureste fueron zonas de baja densidad de organismos con valores $< 10 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$, en el sitio 17 en la zona este central, cerca de la pendiente de la plataforma continental. A 50 m de profundidad, *Atlanta* spp. registró su mayor densidad de organismos en la región este, con intervalos de 43.9 a $10 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$, el valor más alto se observó cerca de un núcleo cálido. Las zonas con densidades $< 5 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$ fueron en el área central y oeste del área de estudio. A los 100 m el máximo valor de densidad fue de $43.9 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$ en el centro de un núcleo frío, en la zona noreste del cañón, colindante con la plataforma continental. La densidad fue $< 7 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$ en el resto de los sitios. Finalmente, en el estrato más profundo el valor máximo fue de $6.4 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$, al oeste del cañón. En este estrato la mayoría de los sitios tuvieron densidades de *Atlanta* spp. $< 3.1 \text{ org } 100 \text{ m}^{-3}$.

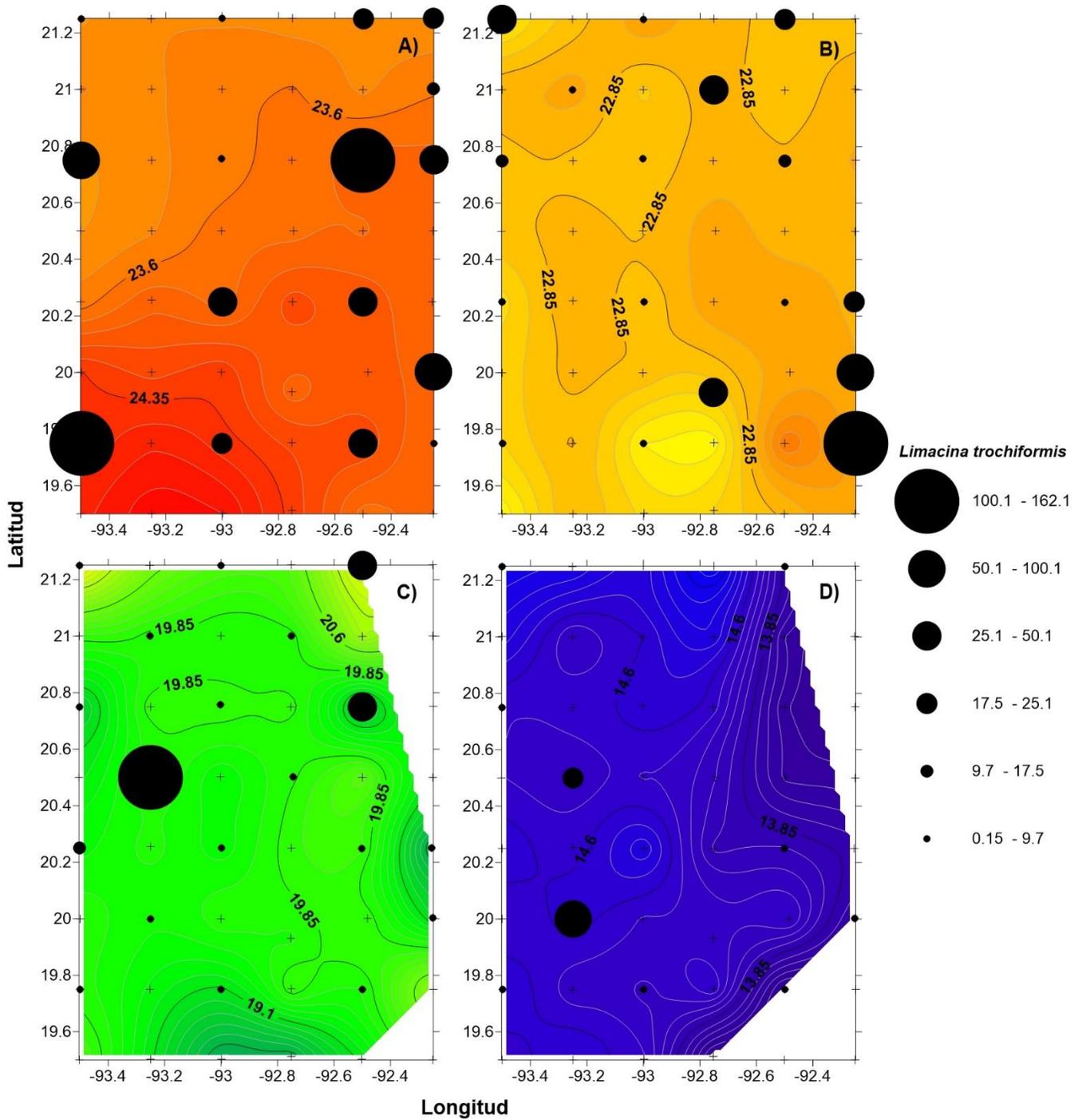


Figura 21. Densidad (org 100 m⁻³) y distribución de *Limacina trochiformis* y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañon de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.

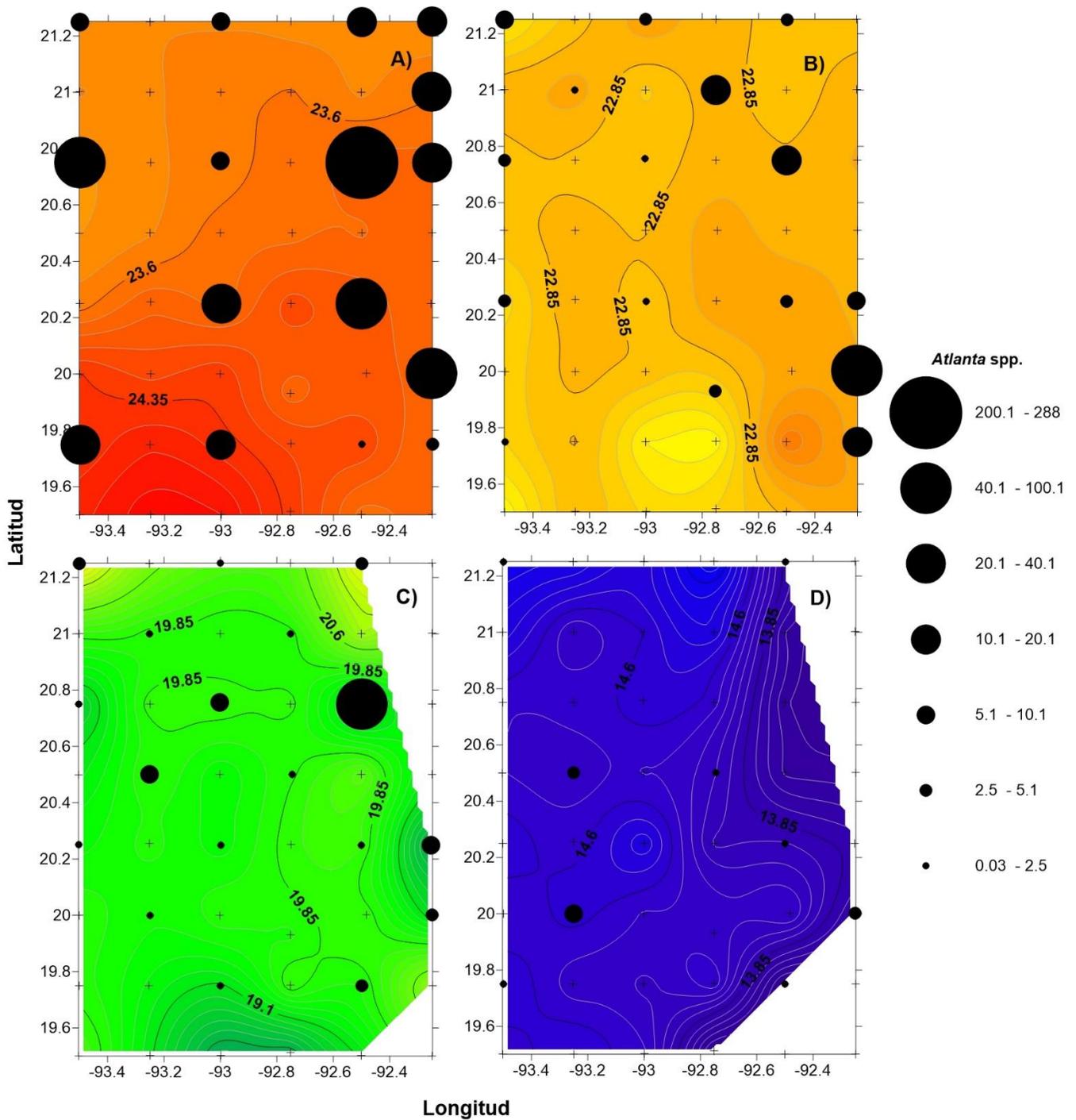


Figura 22. Densidad (org 100 m⁻³) y distribución de *Atlanta* spp. hoplanctónicos y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.

7.5.5 Diversidad y equidad

El estrato de 100 m mostró los valores de diversidad más altos, < 2.1 bits org⁻¹ (Figura 23). En general, aquellas estaciones que presentaron valores de diversidad > 1 bits org⁻¹ fueron la 6 y 15 a 10 m (0.71 bits org⁻¹ y 0.84 bits org⁻¹, respectivamente), la estación 5 a 100 m (0.941 bits org⁻¹) y la 21 a 200 m (0.9 bits org⁻¹).

Los intervalos de diversidad más bajos en los cuatro estratos analizados fueron los de la capa superficial (Figura 24). En este estrato, las regiones con altos valores de diversidad fueron la oeste, noroeste y sureste del cañón de Campeche. Mientras que en la parte central la diversidad fue menor. En el caso del estrato de 50 m, las estaciones al suroeste y el extremo norte del cañón tuvieron valores de 2.1 bits org⁻¹. También, la diversidad aumentó desde el extremo este al oeste del cañón. El estrato de los 100 m fue el que obtuvo el mayor valor de diversidad de todo el muestreo (2.42 bits org⁻¹), al noreste del cañón. En la parte central y noreste se presentaron las zonas con menor diversidad (< 1.5 bits org⁻¹) a esta profundidad. El valor más bajo a los 200 m fue en la estación 21 (< 1 bits org⁻¹), todas las estaciones analizadas tuvieron valores < 1.5 bits org⁻¹ con máximos ≥ 2 bits org⁻¹ en el extremo suroeste del área de estudio (estaciones 35 y 37) y al sureste cerca de la plataforma continental (estación 31).

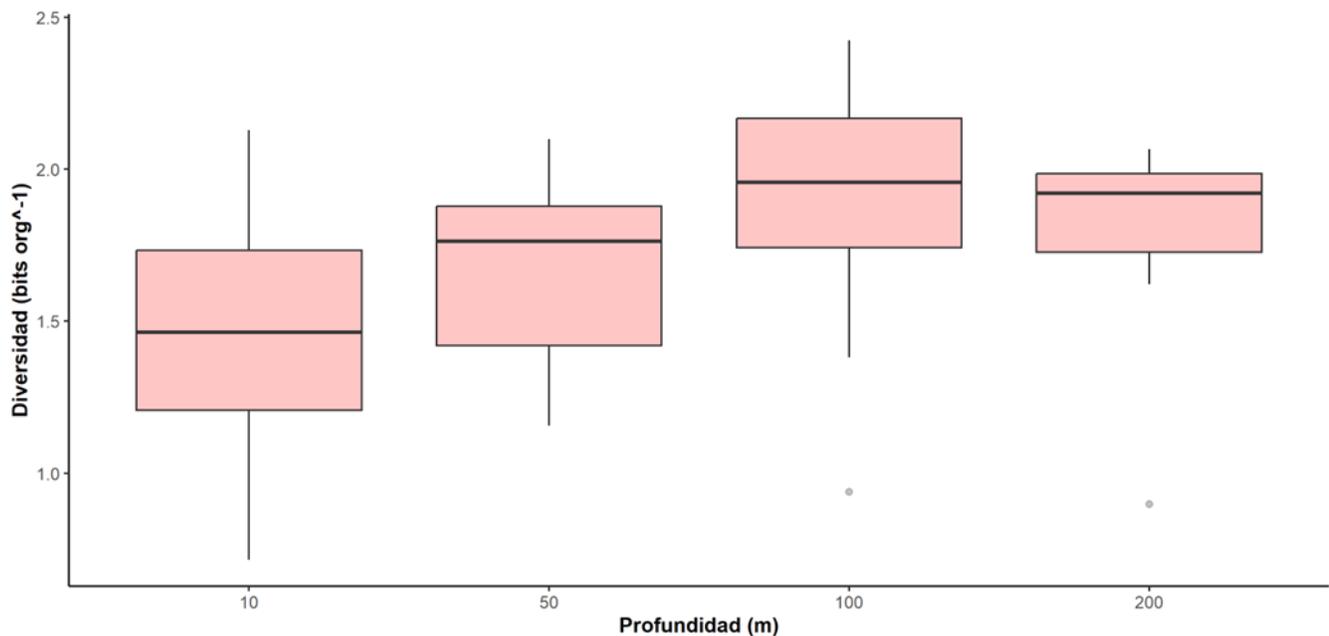


Figura 23. Diversidad de Shannon Wiener (bits org⁻¹) en cuatro estratos del cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011.

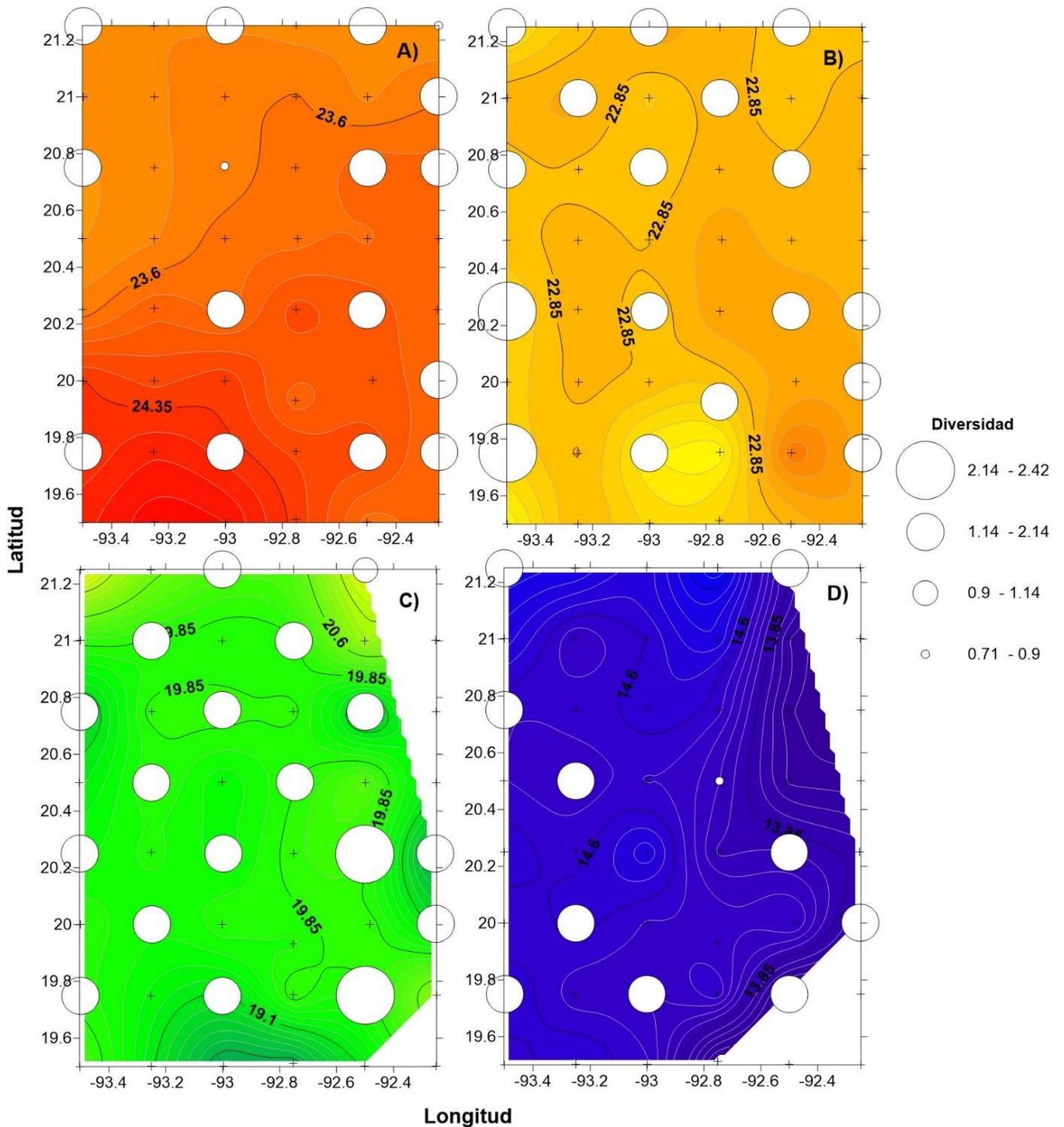


Figura 24. Distribución de la diversidad de especies de moluscos hoplancónicos y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.

En términos de equidad, también fue evidente que esta fue mayor en los estratos más profundos (Figura 25). El estrato superficial presentó intervalos de 0.48 a 0.83. donde los sitios con equidad < 0.7 se ubicaron en las orillas del área de muestreo principalmente al norte del cañón (Figura 26). A los 50 m de profundidad, el intervalo de equidad fue similar al de superficie (0.44 a 0.85). En este estrato las zonas con menor equidad entre sus especies estuvieron al noreste y sureste, cercanas a la plataforma continental, mientras que aquellas zonas con valores < 7 se distribuyeron en la mayor parte del área de estudio, principalmente en la estación 29, en contraste con el estrato superficial. Los intervalos de equidad a 100 m fueron los más altos de todos los estratos (0.4 a 0.9) en donde al menos la mitad del área de estudio presentó valores ≥ 8 y la estación de muestreo 29 presentó el valor más alto, en contraste con la estación colindante. La equidad fue más homogénea a 200 m con intervalos de 0.7 a 0.9 de equidad.

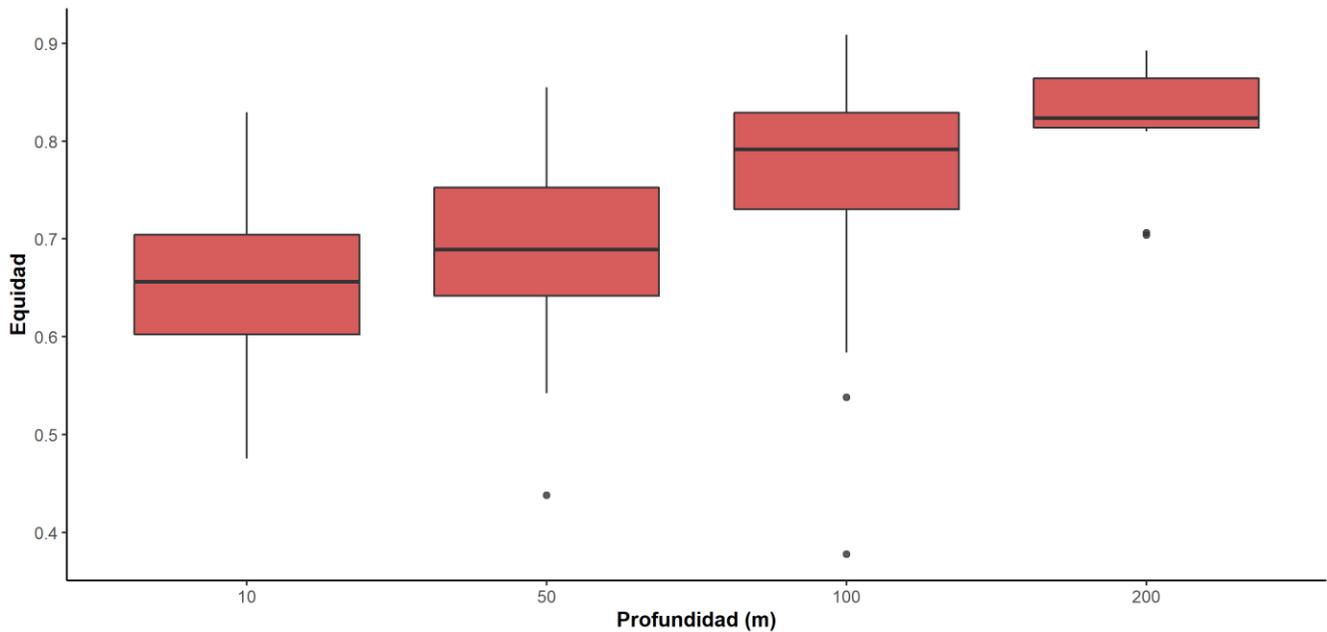


Figura 25. Equidad de Pielou en cuatro estratos del cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.

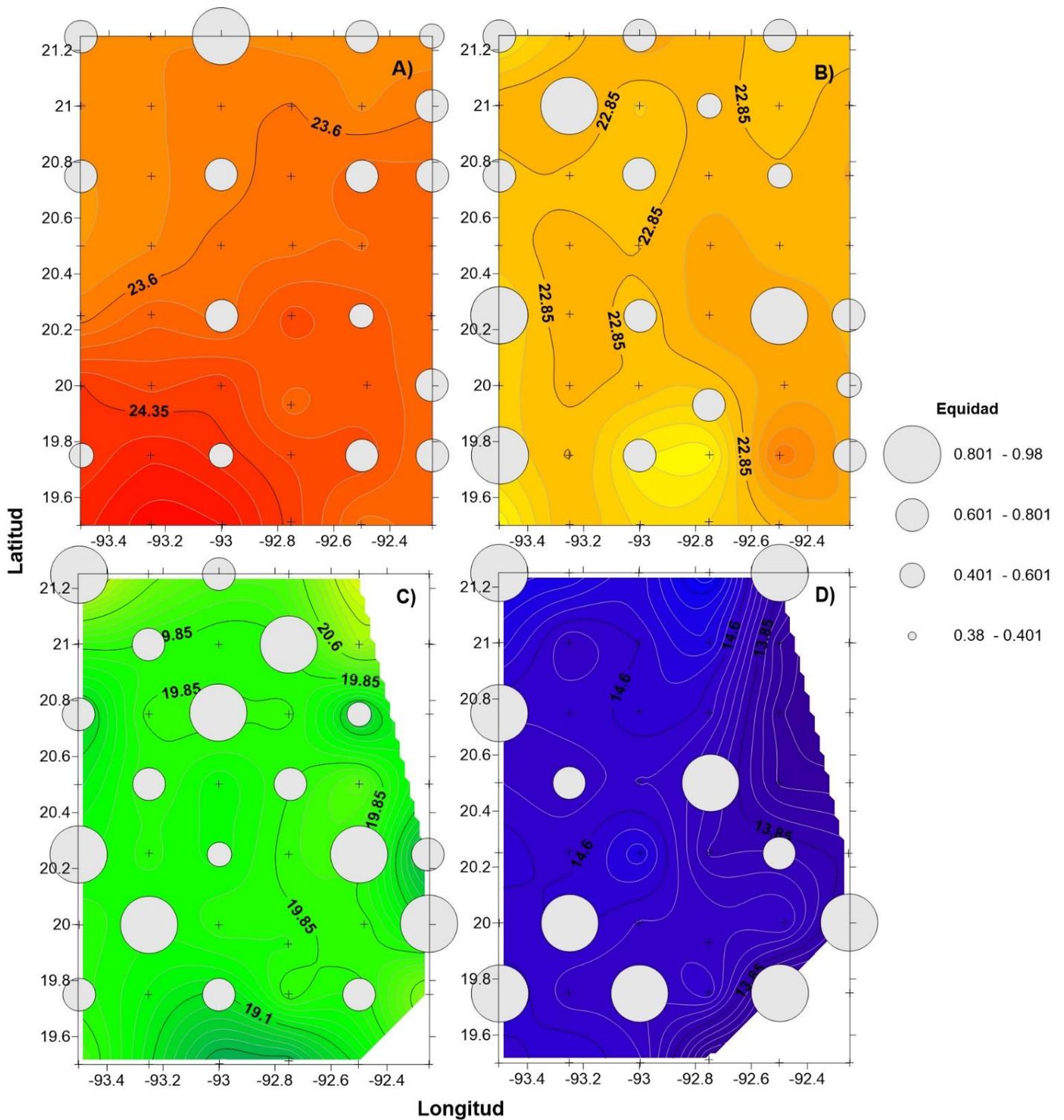


Figura 26. Distribución de la equidad de especies de moluscos holoplanctónicos y su relación con la temperatura conservativa (°C) en el cañón de Campeche durante la época de nortes de 2011: A) 10 m, B) 50 m, C) 100 m y D) 200 m de profundidad.

7.5.6 Secciones verticales de sigma-t y densidad de especies

Las densidades de las tres especies más abundantes (*H. inflatus*, *C. conica* y *L. trochiformis*) fueron sobrepuestas a las secciones verticales de densidad (sigma-t) (Figuras 27, 28 y 30), y también se analizaron por hora de muestreo. En el transecto que incluyó las estaciones 37-7, la densidad de las especies *H. inflatus*, *C. conica* y *L. trochiformis* en el estrato superficial fue mayor que en el resto de los niveles, principalmente en los muestreos realizados a las 18:12 h, y 16:52 h en el caso de *L. trochiformis* (Figura 27).

En los 50 m y 100 m de profundidad, cercanos a la pycnoclina, la densidad de organismos fue mucho menor, con excepción de *H. inflatus* en la estación 27 que fue muestreada a las 17:00 h. La profundidad de 200 m fue donde hubo mayor densidad de organismos, después del estrato de los 10 m.

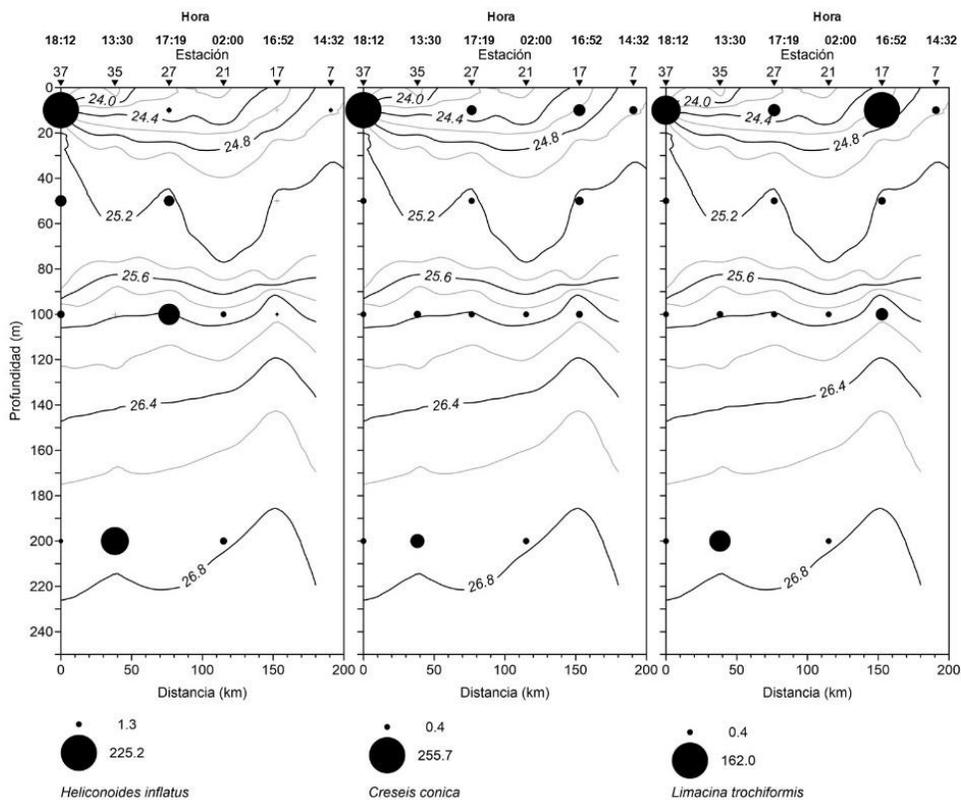


Figura 27. Valores de densidad (org 100 m⁻³) de *Heliconoides inflatus*, *Limacina trochiformis* y *Creseis conica*, a lo largo del transecto 37-7 en el cañón de Campeche. Las isóneas corresponden a la distribución vertical de sigma-t (kg m⁻³).

En el transecto que incluye las estaciones 3-46, la densidad de organismos tuvo los valores más altos a 10 m de profundidad (Figura 28). *L. trochiformis*, aunque tuvo densidades menores que *H. inflatus* y *C.*

conica, estas parecieron mantenerse constantes en superficie. También, las estaciones en las que se observó mayor cantidad de organismos fueron aquellas que se colectaron a las 18:20 h y a las 00:10 h. En los niveles de 50 m, 100 m y 200 m las densidades de las tres especies fueron bajas. Al sureste del cañón de Campeche, las densidades obtenidas a lo largo del transecto 47-19 tuvieron un patrón similar al transecto anterior (Figura 29), es decir, las mayores densidades se mantuvieron a los 10 m de profundidad, mientras que en el resto de las profundidades estas fueron muy bajas.

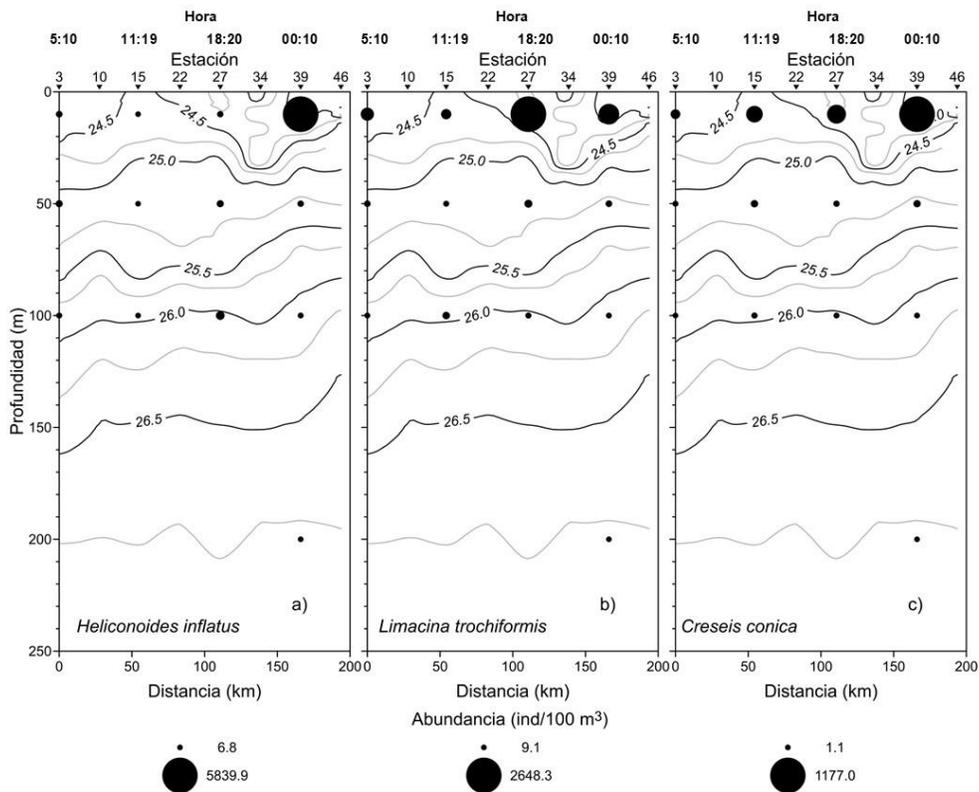


Figura 28. Valores de densidad ($\text{org } 100 \text{ m}^{-3}$) de *Heliconoides inflatus*, *Limacina trochiformis* y *Creseis conica*, a lo largo del transecto 3-46 en el cañón de Campeche. Las isolíneas corresponden a la distribución vertical de sigma-t (kg m^{-3}).

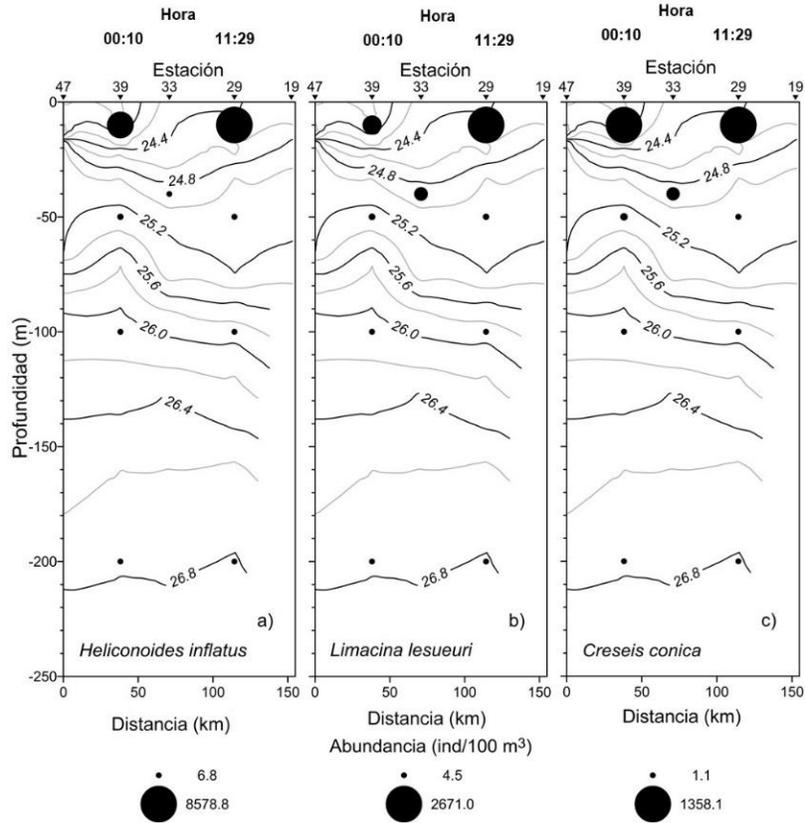


Figura 29. Valores de densidad ($\text{org } 100 \text{ m}^{-3}$) de *Heliconoides inflatus*, *Limacina trochiformis* y *Creseis conica*, a lo largo del transecto 47-19 en el cañón de Campeche. Las isolíneas corresponden a la distribución vertical de sigma-t (kg m^{-3}).

7.6 Parámetros físicos y la comunidad de moluscos holoplanctónicos

Los primeros dos componentes del PCA aplicado a las variables físico-ambientales explicaron un 60 % de la variación de las muestras (Figura 30). En el caso del primer componente, el oxígeno y la temperatura fueron aquellas variables que tuvieron una mayor influencia, mientras que en el segundo componente fueron la latitud y la longitud (Tabla 3). Las muestras que fueron obtenidas a los 200 m de profundidad presentaron un conjunto de puntos que se caracterizó por agruparse contrario a los vectores de fluorescencia, temperatura, salinidad y velocidad. Contrario a lo observado para estaciones como la 1, 3, 5, 17, 30, 31, 39 de 10 m de profundidad, que mostraron estar relacionadas con altos valores de oxígeno, salinidad, temperatura, fluorescencia. En este caso, estaciones con profundidades de 50 m y 100 m parecieron estar mezcladas, es decir, pareció no haber una diferenciación clara entre estos dos niveles. Esto puede estar influenciado por varios factores como la capa de mezcla que llegó hasta los 90 m o que el horario de muestreo entre estaciones fue variable.

Por otro lado, estaciones como la 29, 31, 39, 41 y 42, ubicadas principalmente en la región sureste tuvieron una relación con la latitud y la longitud. Estos dos últimos vectores indican la influencia de gradientes. Latitudinal en la capa superficial (10 m) y longitudinal en las capas más profundas, mismos observados en los mapas de distribución horizontal (Figuras 2-6).

Tabla 3. Valores propios de cada uno de los vectores.

Variable	PC1	PC2
Latitud	-0.313	0.584
Longitud	-0.025	-0.569
Salinidad	-0.425	-0.153
Temperatura	-0.444	-0.23
Fluorescencia	-0.345	-0.375
Oxígeno	-0.514	0.326
Velocidad	-0.375	-0.106

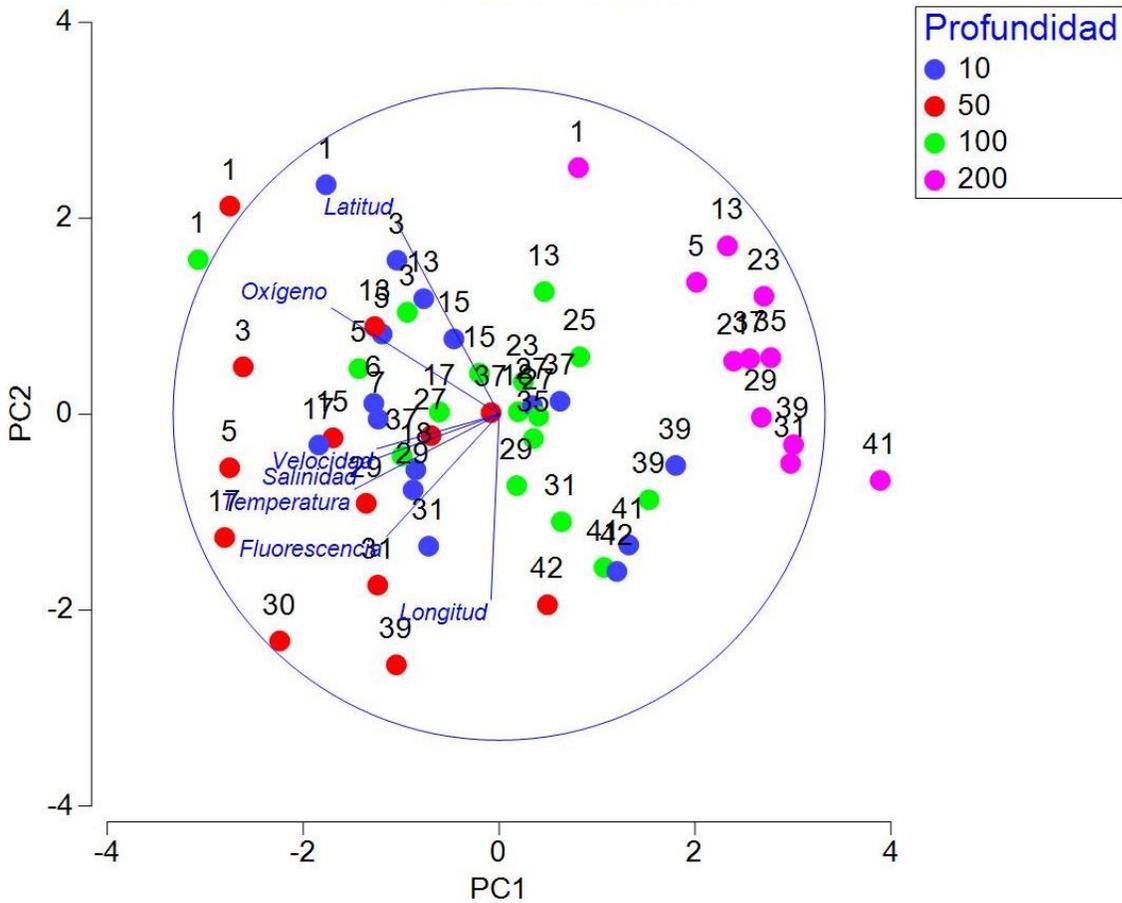


Figura 30. Análisis de componentes principales de las variables físicas en el Cañón de Campeche en febrero de 2011.

En el análisis de escalamiento multidimensional no métrico, con un estrés de 0.13 (Figura 31) la dispersión de las estaciones en función de la composición y abundancia (densidad) mostró agrupaciones. Para definir con mayor rigurosidad dichos grupos se aplicó una prueba SIMPROF que definió 7. En los primeros dos, la mayoría de las comunidades fueron aquellas correspondientes a los 10 m de profundidad, con excepción de las siguientes: 1, 5, 17 y 31 a los 50 m, 23 a los 100 m y 35 a los 200m. El tercer grupo, se formó por 12 estaciones, de las cuales 6 se tomaron a los 50 m de profundidad (estaciones 3, 13, 27, 30 y 37), dos de ellas a los 10 m (estaciones 1 y 3), la estación 27 a 100 m y las estaciones 27 y 35 a los 200 m. En el caso del cuarto y quinto grupo, estos se caracterizaron por ser de 100 m de profundidad, del mismo modo que el sexto grupo de 200 m. Es decir, la composición y abundancia de los taxos de moluscos holoplanctónicos en el cañón de Campeche tuvo diferencias importantes según la profundidad en la que fueron colectados.

Es decir, las comunidades de moluscos holoplanctónicos que se obtuvieron a los 10 m de profundidad están influenciadas principalmente por altos valores de oxígeno, temperatura, biomasa fitoplanctónica (fluorescencia). Retomando lo observado en la Figura 17, *C. conica* fue la especie más abundante de este estrato y por lo tanto con mayor afinidad a estas condiciones. A los 50, 100 y 200 m de profundidad la longitud es el factor que parece influir de manera importante en los taxa encontrados en especial *H. inflatus*.

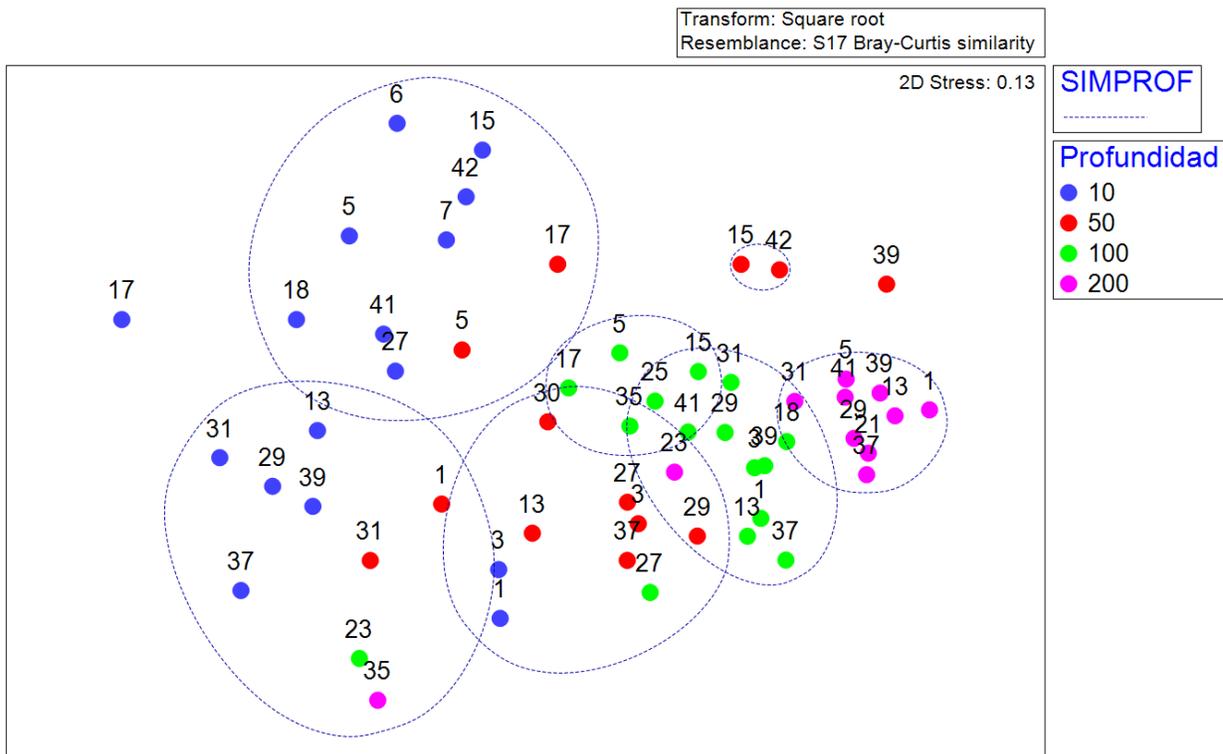


Figura 31. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico y prueba SIMPROF, según la composición de especies de moluscos holoplanctónicos del cañón de Campeche en febrero de 2011.

VIII. DISCUSIÓN

8.1 Hidrografía

El cañón de Campeche es una zona que se ha distinguido en el golfo de México por su formación geológica, la cual genera diversos e interesantes procesos hidrodinámicos (Rosales-Navarro, 2007; Salas-de-León et al., 2004; Santiago-Arce, 2010). En el presente estudio, se mostró evidencia de la presencia de núcleos cálidos y fríos, principalmente a los 50 m de profundidad. Los vórtices ciclónicos o núcleos fríos, debido a la dirección de su rotación, en contra de las manecillas del reloj, generan la elevación de la termoclina y picnoclina, es decir, masas de agua frías y ricas en nutrientes llegan a la capa superficial. Por otro lado, los vórtices anticiclónicos o núcleos cálidos son de baja densidad, pero de alta temperatura y salinidad, esto provoca el hundimiento de la termoclina y picnoclina. En el cañón de Campeche, ambos casos se presentaron y formaron un dipolo, estructura característica de la zona, ha sido reportado anteriormente por otros autores en distintas épocas del año (Arriola-Pizano, 2012; Durán-Campos et al., 2017; García Álvarez, 2015; Mojica-Ramírez, 2003; Ramírez-Cruz, 2005; Rivera-Hernández, 2013; Rosales-Navarro, 2007; Salas-de-León et al., 2004; Santiago-Arce, 2010). Dichos patrones fueron confirmados con lo observado en los mapas de distribución horizontal de los parámetros de temperatura, salinidad y sigma-t a diferentes profundidades (Figuras 2-4), así como el cálculo y representación de las corrientes geostróficas a 90 m de profundidad (Figura 12). En la bahía de Campeche se sabe que hay una circulación ciclónica permanente (Díaz-Flores et al., 2017) debido principalmente a la geometría de la cuenca (Díaz-Flores et al., 2017; Monreal-Gómez & Salas-de-León, 1990), que puede generar anticiclones según la época del año. En invierno, este ciclón toma fuerza, el esfuerzo generado por los vientos y la topografía de la cuenca influyen de manera importante en la circulación de la región este de la bahía de Campeche, donde se encuentra el cañón (Dimarco et al., 2005; Vázquez-de-la-Cerda et al., 2005).

El análisis de la distribución vertical de los parámetros hidrográficos en tres transectos a lo largo del cañón, aunado a los perfiles acumulativos, confirmaron la posición de la termoclina cerca de los 90 m de profundidad, similar a lo descrito en muestreos realizados para la misma época (Ramírez-Cruz, 2005; Rivera-Hernández, 2013) en los cuales las clinas ocurrieron por debajo de los 80 m. En el caso contrario, durante la época de lluvias (junio a agosto) y finales de nortes (abril y mayo) la termoclina, la haloclina y la picnoclina se han documentado entre los 20 m y 45 m de profundidad (e. g. Arriola-Pizano, 2012; Durán-Campos et al., 2017; Mojica-Ramírez, 2003; Ramírez-Cruz, 2005; Rosales-Navarro, 2007; Santiago-Arce, 2010). Estos resultados muestran que en la época de nortes la capa de mezcla es más profunda como lo menciona Ramírez-Cruz (2005) al analizar la hidrografía del cañón de Campeche en

diferentes épocas del año. Esto ocurre como resultado del choque de vientos fríos provenientes del continente con los vientos cálidos del golfo, generan frentes con fuertes precipitaciones y remueven las masas de agua superficiales de la zona (Monreal-Gómez, Salas-de-León, & Velasco-Mendoza, 2004; Salas-de-León et al., 2004). La distribución horizontal de los parámetros físicos también evidenció fuertes gradientes que se extienden desde el este al oeste del cañón, y otro en el lado sureste el cual puede ser explicado por el flujo intenso de agua proveniente del sur a lo largo de la plataforma continental (Durán-Campos et al., 2017). Santiago-Arce (2010) también mostró estos gradientes, que parecen ser comunes del cañón de Campeche.

Las masas de agua en los primeros 200 m de la columna de agua (AMCr, ACG y ASUAN) han sido descritas para el área de estudio en trabajos previos (e.g. Durán-Campos et al., 2017; Portela et al., 2018; Rosales-Navarro, 2007; Santiago-Arce, 2010). Las tres masas de agua profundas registradas en el área de estudio, de este proyecto (ATAC ATACn y AIA) también se encontraron descritas con anterioridad (e.g. Durán-Campos et al., 2017; Rosales-Navarro, 2007; Santiago-Arce, 2010). Es interesante resaltar que el AIA tiene su origen en el límite ente los frentes polares Antárticos, después de formarse viaja hacia el norte cerca del talud continental del Atlántico Occidental, en su trayecto va cambiando levemente sus características y su extensión. En la parte oriental del Mar Caribe esta agua se encuentra entre los 700 y 900 m, con salinidad de 34.75 ups, en el Caribe Central se distribuye entre 650 y 850 m con salinidades mayores a 34.80 ups. Al llegar al Canal de Yucatán presenta una temperatura de 6.30 °C y una salinidad alrededor de 34.86 ups y se localiza entre 700 y 950 m. En el centro del golfo de México, esta agua se caracteriza por tener un valor de salinidad de 34.88 y se encuentra entre 700 y 850 m. Esta masa de agua se identifica por el mínimo de salinidad en el golfo, con temperaturas de 6.10-6.30 °C y salinidades entre 34.86 y 34.89 ups (Monreal-Gómez, Salas-de-León, & Velasco-Mendoza, 2004).

8.2 Composición de moluscos holoplanctónicos en el cañón de Campeche

Una lista taxonómica de alrededor de 53 especies de pterópodos (López-Arellanes, 2019) y 15 especies de heterópodos (Espinosa-Balvanera, 2017; Lemus-Santana et al., 2014a) se ha desprendido del estudio de los moluscos holoplanctónicos en el golfo de México. El listado taxonómico de este trabajo, el cual incluyó 33 especies de pterópodos y 4 de heterópodos, representó el 53.1 % de la riqueza de moluscos holoplanctónicos, el 57.9 % de pterópodos y el 26.6 % de heterópodos del golfo de México.

Las especies *P. macrochira*, *S. polycotylum* y *S. intermedia* todas del clado Gymnosomata, fueron nuevos registros para el golfo de México. En el continente americano, *P. macrochira* solo ha sido

encontrada en el golfo de California (Angulo-Campillo et al., 2011) y en el mar de Argentina (Larrazábal & Solares de Oliveira, 2003). *S. intermedia* en la corriente de Brasil de igual manera que *S. polycotylum*, la cual se ha registrado principalmente en zonas de surgencias en el Atlántico sur (van der Spoel & Dadon, 1999). Según lo explicado anteriormente, son consideradas como una extensión de rango y también son nuevos registros para México. El estudio de los moluscos holoplanctónicos ha tenido un sesgo considerable hacia pterópodos tecosomados, la mayoría de los listados publicados y tesis no considera al clado Gymnosomata (Leal-Rodríguez, 1965; Matsubara-Oda, 1975; McGowan, 1997; Michel & Michel, 1991; Sánchez-Campos, 2018; Suárez-Morales, 1994). Su determinación se dificulta debido a que gran parte de los gymnosomados se retraen en el proceso de fijación y es imposible observar las estructuras bucales que son primordiales para su identificación. En este caso es posible que la época de muestreo, temporada de gran dinamismo hidrográfico generado por los nortes y que representa una dificultad para realizar campañas oceanográficas, sea un factor importante que permitió poder encontrar estas especies. López-Arellanes et al. (2019) consideró en un análisis de rarefacción, que en el cañón de Campeche se han descrito cerca del 80 % de las especies presentes. Sin embargo, esta afirmación se aplica para la época de primavera, sin mencionar que aún queda un hueco de conocimiento para los heterópodos de los cuales se requiere un mayor esfuerzo de muestreo.

Los taxa más abundantes correspondieron a organismos en su mayoría pterópodos tecosomados, los cuales suelen dominar la comunidad de moluscos pelágicos de las comunidades a diferencia de los heterópodos (Álvarez-Cadena et al., 2007; Murcia-Riaño & Giraldo-López, 2007). Este patrón se ha reportado en aguas del Pacífico mexicano (Angulo-Campillo et al., 2011; Espinosa-Balvanera, 2008; Guerrero-Vázquez, 1985; López-Cabello, 2017; Moreno-Alcántara et al., 2014; Sánchez-Hidalgo & Anda, 1989; Zárate-Juárez, 2006) y del golfo de México (Espinosa-Balvanera, 2017; Flores-Coto et al., 2013; Lemus-Santana et al., 2014b, 2014a; López-Arellanes, 2019; López-Arellanes et al., 2018; Matsubara-Oda, 1975; Sanvicente-Añorve et al., 2013). La mayoría de los pterópodos tecosomados se distribuyen principalmente en aguas cálidas circunglobales, sin embargo, se pueden encontrar en todos los mares del mundo (Lalli & Gilmer, 1989). El caso de *H. inflatus*, especie de hábitos oceánicos (Espinosa-Balvanera, 2017; López-Arellanes et al., 2018), es de abundancia alta en la capa superficial, principalmente en época de nortes en el cañón de Campeche (Espinosa-Balvanera, 2017), como se observa en el presente estudio.

La especie *L. trochiformis* es de hábitos tropicales y subtropicales (van der Spoel & Dadon, 1999). En el golfo de México se ha encontrado tanto en zonas neríticas como oceánicas, pero con una mayor abundancia. *C. conica* al igual que *L. trochiformis*, habita regiones tanto neríticas como oceánicas en el

sur del golfo de México (Espinosa-Balvanera, 2017; Lemus-Santana, 2011; Lemus-Santana et al., 2014b, 2014a; López-Arellanes et al., 2018; Sánchez-Campos, 2018). *C. conica* y *C. acicula* se caracterizan por ser organismos euritermos y eurihalinos debido a esto son organismos que dominan las comunidades en zonas con altos valores de temperatura y salinidad.

En el caso de los organismos heterópodos del género *Atlanta*, cuarto lugar en densidad total en este trabajo, no obstante que no fueron determinados a nivel de especie se ha visto que *Atlanta lesueurii* ha sido abundante en la época de nortes sobre el área de estudio (Espinosa-Balvanera, 2017) y se ha documentado incluso a 500 m de profundidad. Sin embargo, por lo general son epipelágicos y su abundancia declina rápidamente con la profundidad (Lalli & Gilmer, 1989) como se observó en este estudio con valores más elevados en el estrato de los 50 m, cerca de núcleos cálidos.

8.3 Diversidad

La diversidad y equidad fueron mayores en estratos profundos. El estrato de 100 m fue el de mayor riqueza. Asimismo, la equidad fue mayor en el estrato más profundo (200 m). Se aprecia que la comunidad de moluscos tiene un mayor equilibrio en cuanto a su riqueza y abundancia en los ambientes más profundos (temperaturas más frías, menor valor de oxígeno, mayor densidad del agua de mar y poca biomasa fitoplanctónica). También, en todos los estratos se observó que los valores más altos de diversidad y equidad fueron en zonas frías. Mackas et al., (2005) consideraron que los organismos más exitosos del zooplankton pasan gran parte de su vida debajo de la capa de mezcla, ya que esto ayuda a minimizar los efectos del afloramiento lento y divergencia superficial que acompaña al debilitamiento de las corrientes geostróficas anticiclónicas, el lavado rápido pero intermitente de la capa superficial por transporte de Ekman durante eventos de viento fuerte y el intercambio a través del margen de remolinos o líneas de corriente geostróficas causados por el desplazamiento temporal de las corrientes de inercia impulsadas por el viento.

8.4 Clinas

Las especies dominantes mostraron patrones de migración vertical. Según lo observado en los transectos analizados, los organismos fueron capaces de atravesar las clinas y a estratos mayores a los 100 m de profundidad, atravesando la termoclina y picnoclina, como un posible mecanismo para evitar la depredación en horas de mayor luz. Dicho patrón ha sido bien analizado en ambientes de aguas continentales a través de estudios con perfiles acústicos (Valle-Levinson et al., 2014). Incluso, Maas et al.

(2012) documentaron que las especies de pterópodos del Océano Pacífico Norte tropical oriental, transportan materia orgánica y el carbono producto de la respiración por debajo de la termoclina gracias a la migración vertical.

En época de lluvias y finales de nortes se ha visto que los estratos más productivos son los superficiales, por encima de las clinas (e.g. Arriola-Pizano, 2012; Durán-Campos et al., 2017; Mojica-Ramírez, 2003; Ramírez-Cruz, 2005), mientras que en época de nortes la mayoría de los datos muestran mayor productividad en estratos profundos, por debajo de la termoclina (Arriola-Pizano, 2012; García Álvarez, 2015; Rivera-Hernández, 2013). Según Torres-Martínez et al. (2020), en febrero de 2011, el máximo de clorofila-*a* sobre el cañón de Campeche se asoció con la termoclina y picnoclina por lo que también fue profundo. Se sabe que la variación de las concentraciones de clorofila-*a* a gran escala afecta la tasa metabólica de los pterópodos (Maas et al., 2011). Es decir, este patrón podría favorecer la migración de los moluscos a ambientes contrastantes, altas profundidades. Recordando también que la especie *H. inflatus* tuvo altas concentraciones en algunas estaciones a los 100 m de profundidad y esto pudo ser debido a la alta productividad.

8.5 Gradientes y vórtices

Se observaron dos gradientes. Uno de ellos fue en el estrato superficial, de sur a norte, que corresponde con la disminución de la temperatura y densidad de organismos, así como el aumento de la riqueza y equidad al norte, mismo descrito por Torres-Martínez et al. (2020). El segundo fue observado a partir de los 50 m de profundidad tanto de densidad total de organismos, como de riqueza y diversidad corresponden con el patrón observado en la temperatura, salinidad, densidad y biomasa fitoplanctónica, descritos por Santiago-Arce (2010) y Durán-Campos et al. (2017). Koppelman et al. (2013), en un estudio de los pterópodos de la Corriente de Benguela, aseguran que las áreas cercanas al talud son de alta productividad, generada por la presencia de partículas de nano y microplancton, las cuales generan condiciones favorables para alimentación y reproducción de pterópodos, que en su mayoría son detritívoros, omnívoros y filtradores (Lalli & Gilmer, 1989). Por otro lado, también en zonas adyacentes a los vórtices, se observaron indicios de aumento de densidad de algunas especies dominantes como *H. inflatus* y *Atlanta* spp., así como de la riqueza, principalmente en el vórtice ciclónico observado a los 50 m. Sin embargo, es difícil describir un patrón más detallado, con los sitios muestreados, la ubicación y tamaño del ciclón.

8.6 Influencia de las variables físicas en la comunidad de moluscos

En el cañón de Campeche, durante época de nortes, la temperatura fue una de las variables ambientales que mayor importancia tuvo en la configuración de la comunidad de moluscos al igual que en aguas del sur del golfo y mar Caribe (López-Arellanes et al., 2018; Rubio-Sandoval, 2016; Sánchez-Campos, 2018). Lo anterior se observó en la capa superficial más cálida y con alta densidad de organismos (dada por especies dominantes como *H. inflatus* y *Creseis conica*). Asimismo, en este nivel la diversidad y equidad fueron desfavorecidas, por lo tanto, se sugiere que la temperatura es un factor que afecta directamente a estos dos parámetros de la comunidad. En términos de distribución horizontal se evidenció la presencia de un gradiente longitudinal oeste-este, en el cual la riqueza aumenta y la densidad de organismos disminuye siguiendo el mismo patrón de zonas frías favorables. Se ha demostrado que el óptimo desarrollo de la síntesis de conchas se asocia a ambientes cálidos y de pH alto (Bednaršek & Ohman, 2015; Mekkes et al., 2021) y aunque en este estudio el pH no se midió, es congruente con el patrón de especies dominantes que son pterópodos tecosomados que poseen una concha.

Los organismos presentes en el estrato de 100 m fueron los más cercanos a la termoclina, picnoclina, y al máximo de clorofila (Torres-Martínez et al., 2020), en esta profundidad la equidad y diversidad fueron significativamente altas. La disminución de organismos de diferentes especies a mayores profundidades podría estar relacionada con su capacidad de reaccionar ante los cambios que ocurren en el ambiente al aumentar la profundidad. El oxígeno también represento una variable importante en el cañón, Maas et al. (2012) probaron que algunas especies de pterópodos tecosomados reducen de un 60 % a 70 % su respiración por debajo de los 200 m de profundidad. En cuanto a la hora de colecta es un factor que puede estar influenciando los resultados de este estudio como se pudo observar en las secciones verticales de las especies más dominantes que registraron sus mayores densidades en la superficie en sitios con horas de poca luz.

En los ambientes oceánicos hay múltiples variables que pueden influir en las comunidades biológicas, entre ellas está la formación de microambientes en estructuras de meso y microescala, cuya turbulencia genera heterogeneidad en los ambientes acuáticos (Lévy et al., 2015) como los descritos en el presente estudio. En las comunidades planctónicas se ha observado que ocurre la coexistencia prolongada de un gran número de especies de plancton en áreas determinadas, un fenómeno conocido como "la paradoja del plancton" (Begon et al., 2006; Hutchinson, 1961). La competencia jerárquica de las especies lleva al dominio de una sola en ambientes estables, en este caso pueden ser *H. inflatus*, *L. trochiformis* o *C. conica*, mientras que las perturbaciones locales son las responsables de reiniciar las secuencias

sucesionales (Levín, 2000), las cuales generan variación del ambiente físico que mantiene la diversidad biológica y permite la ampliación de patrones de variación para crear más de los existentes (Levin & Painet, 1974). Los cambios en el ambiente conducen al aumento o disminución de la diversidad biológica (Levín, 2000). Según Begon et al. (2006) los entornos suelen ser un mosaico de hábitats favorables y desfavorables; los parches a menudo solo están disponibles temporalmente; y a menudo aparecen en momentos y lugares impredecibles. Incluso cuando ocurre una competencia interespecífica, no necesariamente continúa hasta completarse, es entonces que los sistemas no necesariamente alcanzan el equilibrio y los competidores superiores no necesariamente tienen tiempo para excluir a sus inferiores. Un ejemplo de este proceso es en el caso de estudios en comunidades de fitoplancton donde se ha visto que debido a la presencia de vórtices existen diferentes tipos de organismos mutuamente excluyentes en un ambiente con recursos limitados, siendo uno de ellos el que domina sobre el otro (Perruche et al., 2011).

En ecología se sabe que siempre que se creen brechas con la frecuencia adecuada, es posible que coexistan una especie "fugitiva" y una especie altamente competitiva. La especie fugitiva tiende a ser la primera en colonizar los claros; se establece y se reproduce. La otra especie tiende a ser más lenta para invadir los espacios, pero al comenzar a hacerlo, supera y eventualmente excluye al fugitivo de ese espacio en particular (Begon et al., 2006). Los vórtices pueden ser utilizados como zonas de refugio de especies de plancton "fugitivas" (Bracco et al., 2000). En el caso de zooplancton se ha documentado que dentro de estructuras de mesoescala (como vórtices), logran acumularse especies que se desplazan con la trayectoria del vórtice que según las condiciones aumenta o disminuye su abundancia y la retención dentro de la estructura parece ser más efectiva en especies que realizan migraciones verticales (Mackas & Galbraith, 2002), mismas que llevan a cabo los moluscos.

Los resultados del presente estudio representan una aportación valiosa ya que los muestreos en época de nortes son complicadas de llevar a cabo debido a las condiciones de fuertes vientos, por lo anterior algunas estaciones no contaron con muestra de organismos para los cuatro estratos, por lo que esta situación representa datos perdidos en el análisis. Es importante considerar que en puntos donde se presentó el centro de vórtices no se contó con muestras de zooplancton ya que la malla de estaciones con datos biológicos fue menos fina que los datos físicos. Esta situación fue una limitante para realizar un análisis más minucioso de la relación con los vórtices encontrados. Por lo tanto, una malla igual a la de datos físicos para toma de muestras biológicas mejoraría la interpretación de los resultados para esta comparación.

IX. CONCLUSIONES

- En el cañón de Campeche, en febrero de 2011, se observó la termoclina, haloclina y picnoclina cerca de los 90 m de profundidad.
- Se confirmó la presencia de vórtices ciclónicos y anticiclónicos, así como gradientes de temperatura, salinidad y sigma-t a lo largo del cañón, en estratos profundos.
- Se identificó un total de 37 especies de moluscos holoplanctónicos, los cuales pertenecieron a dos órdenes, tres subórdenes, 16 familias, 29 géneros y 37 especies, 33 de las cuales fueron pterópodos y cuatro de la superfamilia Pterotracheoidea.
- Las especies con mayor densidad en el área de estudio fueron los pterópodos *Heliconoides inflatus*, *Limacina trochiformis* y *Creseis conica*.
- Las especies de gimnosomados *Pneumodermopsis macrochira*, *Schizobrachium polycotylum* y *Spongiobranchaea intermedia*, son nuevos registros para el golfo de México.
- El estrato superficial (10 m) fue el que presentó mayor abundancia de moluscos holoplanctónicos en el cañón de Campeche.
- La mayor riqueza de especies en la columna de agua se localizó cerca de las clinas, en el estrato de los 100 m, por lo tanto, la termoclina favorece la riqueza de especies.
- En los estratos más profundos (100 m y 200 m) la comunidad de moluscos tuvo mayor diversidad y equidad.
- Se observaron dos gradientes: el primero, sur-norte, en la capa superficial y el segundo, este-oeste que corresponden a cambios de los parámetros ambientales y dinámica de la comunidad de moluscos.
- En la cercanía de núcleos fríos se observó mayor riqueza y densidad de organismos a diferencia de los núcleos cálidos, principalmente a los 50 m.
- La configuración de la comunidad de moluscos holoplanctónicos en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011 fue principalmente influenciada por el oxígeno y la temperatura.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Cadena, J. N., Ordóñez-López, U., Valdés-Lozano, D., Rosa Almaral-Mendívil, A., & Uicab-Sabido, A. (2007). Estudio anual del zooplancton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, mar Caribe de México Annual study of zooplankton: composition, abundance, biomass and hydrology from the north of Quintana Roo, Mexican Caribbean Sea. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(2), 421–430.
- Angulo-Campillo, O., Aceves-Medina, G., & Avedaño-Ibarra, R. (2011). Holoplanktonic mollusks (Mollusca: Gastropoda) from the Gulf of California, México. *Check List*, 7(3), 337–342. <https://doi.org/10.15560/7.3.337>
- Arriola-Pizano, J. G. (2012). *Estimación de la biomasa del zooplancton en la región del Cañón de Campeche* [Tesis de Maestría]. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Bednaršek, N., Naish, K. A., Feely, R. A., Hauri, C., Kimoto, K., Hermann, A. J., Michel, C., Niemi, A., & Pilcher, D. (2021). Integrated assessment of ocean acidification risks to pteropods in the northern high latitudes: Regional comparison of exposure, sensitivity and adaptive capacity. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.671497>
- Bednaršek, N., & Ohman, M. D. (2015). Changes in pteropod distributions and shell dissolution across a frontal system in the California Current System. *Marine Ecology Progress Series*, 523, 93–103. <https://doi.org/10.3354/meps11199>
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: From Individuals to Ecosystems* (4a ed.). Blackwell Publishing Ltd.
- Betzer, P. R., Byrne, R. H., Acker, J. G., Lewis, C. S., Jolley, R. R., & Feely, R. A. (1984). The Oceanic Carbonate System: A Reassessment of Biogenic Controls. *Science, New Series*, 226(4678), 1074–1077. <https://www.jstor.org/stable/1693631>
- Bouchet, P., Rocroi, J. P., Hausdorf, B., Kaim, A., Kano, Y., Nützel, A., Parkhaev, P., Schrödl, M., & Strong, E. E. (2017). Revised Classification, Nomenclator and Typification of Gastropod and Monoplacophoran Families. En *Malacologia* (Vol. 61, Números 1–2, pp. 1–526). Institute of Malacology. <https://doi.org/10.4002/040.061.0201>
- Bracco, A., Provenzale, A., & Scheuring, I. (2000). Mesoscale vortices and the paradox of the plankton. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 267(1454), 1795–1800. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1212>

- Burridge, A. K., Van Der Hulst, R., Goetze, E., & Peijnenburg, K. T. C. A. (2019). Assessing species boundaries in the open sea: an integrative taxonomic approach to the pteropod genus *Diacavolinia*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 187(4), 1016–1040. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlz049>
- Clarke, K. R., Gorley, R. N., Somerfield, P. J., & Warwick, R. M. (2014). *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation* (3rd ed.). PRIMER-E Ltd, Plymouth.
- Díaz-Flores, M. Á., Salas-de-León, D. A., & Monreal-Gómez, M. A. (2017). Origin and evolution of cyclonic eddy of the bay of Campeche, Gulf of Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3), 441–450. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572017000300003>
- Dimarco, S. F., Nowlin, W. D., & Reid, R. O. (2005). A statistical description of the velocity fields from upper ocean drifters in the gulf of Mexico. En *Geophysical Monograph Series* (Vol. 161, pp. 101–110). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1029/161GM08>
- Duran-Campos, E., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Aldeco-Ramírez, J., & Coria-Monter, E. (2015). Differential zooplankton aggregation due to relative vorticity in a semi-enclosed bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 164, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.06.030>
- Durán-Campos, E., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., & Coria-Monter, E. (2017). Patterns of chlorophyll-a distribution linked to mesoscale structures in two contrasting areas Campeche Canyon and Bank, Southern Gulf of Mexico. *Journal of Sea Research*, 123, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.03.013>
- Espinosa-Balvanera, S. G. (2008). *Distribución y abundancia de los gasterópodos holoplanctónicos en el sur de las grandes islas del Golfo de California, durante el otoño de 1978* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Espinosa-Balvanera, S. G. (2017). *Estudio de los moluscos holoplanctónicos en dos sistemas hidrológicamente distintos en el Sur del Golfo de México* [Tesis de Maestría]. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Flores-Coto, C., L. Arellanes, H., Sánchez Robles, J., & López Serrano, A. (2013). Composición, abundancia y distribución de Pteropoda (Mollusca: Gastropoda) en la zona nerítica, del sur del Golfo de México (agosto, 1995). *Hidrobiológica*, 23(3), 348–364.

- García Álvarez, D. E. (2015). *Distribución vertical de las comunidades ictioplanctónicas y su relación con la hidrodinámica en la Región del Cañón de Campeche, Golfo de México* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Gardner, J., Manno, C., Bakker, D. C. E., Peck, V. L., & Tarling, G. A. (2018). Southern Ocean pteropods at risk from ocean warming and acidification. *Marine Biology*, 165(1). <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3261-3>
- Gasca, R., & Janssen, A. W. (2014). Taxonomic review, molecular data and key to the species of Creseidae from the Atlantic Ocean. *Journal of Molluscan Studies*, 80(1). <https://doi.org/10.1093/mollus/eyt038>
- Guerrero-Vázquez, S. (1985). *Distribución y abundancia de los moluscos pterópodos y heterópodos (Gastropoda: Prosobranchia y Opistobranchia de la Bahía de Matanchen, San Blas, Nayarit, México* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, Universidad de Guadalajara.
- Harbison, G. R., & Gilmer, R. W. (1986). Effects of animal behavior on sediment trap collections: implications for the calculation of aragonite fluxes. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 33(8), 1017–1024. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(86\)90027-0](https://doi.org/10.1016/0198-0149(86)90027-0)
- Hunt, B. P. V., Pakhomov, E. A., Hosie, G. W., Siegel, V., Ward, P., & Bernard, K. (2008). Pteropods in Southern Ocean ecosystems. En *Progress in Oceanography* (Vol. 78, Número 3, pp. 193–221). <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.06.001>
- Hutchinson, G. E. (1961). The Paradox of the Plankton. *The American Naturalist*, 95(882), 137–145. <https://doi.org/10.1086/282171>
- Janssen, A. W., Bush, S. L., & Bednarsek, N. (2019). The shelled pteropods of the northeast Pacific Ocean (Mollusca: Heterobranchia, Pteropoda). *Zoosymposia*, 13(1). <https://doi.org/10.11646/zoosymposia.13.1.22>
- Johnson, K. M., & Hofmann, G. E. (2017). Transcriptomic response of the Antarctic pteropod *Limacina helicina antarctica* to ocean acidification. *BMC Genomics*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4161-0>
- Kindt, R., & Coe, R. (2005). Tree diversity analysis; A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies. *World*, January.
- Koppelman, R., Kullmann, B., Lahajnar, N., Martin, B., & Mohrholz, V. (2013). Onshore–offshore distribution of Thecosomata (Gastropoda) in the Benguela Current upwelling region off Namibia:

species diversity and trophic position. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(6), 1625–1640. <https://doi.org/10.1017/S0025315413000052>

Kramer, D., Kalin, M. J., Stevens, E. G., Thrailkill, J. R., & Zweifel, J. R. (1972). *Collecting and Processing Data on Fish Eggs and Larvae in the California Current Region* (1a ed., Vol. 370).

Kramer, D. (1972). Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current region (Vol. 370). US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service.

Lalli, C. M., & Gilmer, R. (1989). *Pelagic Snails* (1a ed., Vol. 1). Stanford University Press.

Larrazábal, M. E., & Soares de Oliveira, V. (2003). Thecosomata e Gymnosomata (Mollusca, Gastropoda) da cadeia Fernando de Noronha, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(2), 351–360. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752003000200028>

Le Quéré, C., Harrison, S. P., Prentice, I. C., Buitenhuis, E. T., Aumont, O., Bopp, L., Claustre, H., Cotrim da Cunha, L., Geider, R., Giraud, X., Klaas, C., Koheeld, K. E., Legendre, L., Manizza, M., Platt, T., Rivkin, R. B., Sathyendranath, S., Uitz, J., Watson, A. J., & Wolf-Gladrow, D. (2005). Ecosystem dynamics based on plankton functional types for global ocean biogeochemistry models. *Global Change Biology*, 11, 2016–2040. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01004.x>

Leal-Rodríguez, D. (1965). Distribución de pterópodos de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología*, 36, 249–251.

Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology* (3rd ed.). Elsevier.

Lemus-Santana, E. (2011). *Estructura de la comunidad de moluscos holoplantónicos en el Sur del Golfo de México* [Tesis de Maestría]. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Lemus-Santana, E., Sanvicente-Añorve, L., Hermoso-Salazar, M., & Flores-Coto, C. (2014a). The holoplanktonic Mollusca from the southern Gulf of Mexico. Part 1: heteropods. *Cahiers de Biologie Marine*, 55, 229–239.

Lemus-Santana, E., Sanvicente-Añorve, L., Hermoso-Salazar, M., & Flores-Coto, C. (2014b). The holoplanktonic Mollusca from the southern Gulf of Mexico. Part 2: pteropods. *Cahiers de Biologie Marine*, 55, 241–258.

Levín, S. A. (2000). Multiple scales and the maintenance of biodiversity. *Ecosystems*, 3(6). <https://doi.org/10.1007/s100210000044>

- Levin, S. A., & Painet, R. T. (1974). Disturbance, Patch Formation, and Community Structure (spatial heterogeneity/intertidal zone). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 71(7), 2744–2747. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.71.7.2744>
- Lévy, M., Jahn, O., Dutkiewicz, S., Follows, M. J., & D’Ovidio, F. (2015). The dynamical landscape of marine phytoplankton diversity. *Journal of the Royal Society Interface*, 12(111). <https://doi.org/10.1098/rsif.2015.0481>
- Lischka, S., Greenacre, M. J., Riebesell, U., & Graeve, M. (2022). Membrane lipid sensitivity to ocean warming and acidification poses a severe threat to Arctic pteropods. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.920163>
- López-Arellanes, H. (2019). *Variación espacio-temporal en la estructura de la comunidad de los pterópodos y su relación con la hidrografía en el suroeste del Golfo de México* [Tesis doctoral]. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN.
- López-Arellanes, H., Funes-Rodríguez, R., Flores-Coto, C., Zavala-García, F., & Espinosa-Fuentes, M. L. (2018). Comparison of pteropod assemblages and their relationship with environmental variables in the southern Gulf of Mexico. *Journal of Molluscan Studies*. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyy029>
- López-Cabello, Z. (2017). *Análisis de la composición de pterópodos y heterópodos (Mollusca Gastropoda) en bahía de Banderas, Pacífico mexicano, octubre 2004* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Maas, A. E., Elder, L. E., Dierssen, H. M., & Seibel, B. A. (2011). Metabolic response of Antarctic pteropods (Mollusca: Gastropoda) to food deprivation and regional productivity. *Marine Ecology Progress Series*, 441, 129–139. <https://doi.org/10.3354/meps09358>
- Maas, A. E., Wishner, K. F., & Seibel, B. A. (2012). Metabolic suppression in thecosomatous pteropods as an effect of low temperature and hypoxia in the eastern tropical North Pacific. *Marine Biology*, 159(9), 1955–1967. <https://doi.org/10.1007/s00227-012-1982-x>
- Mackas, D. L., & Galbraith, M. D. (2002). Zooplankton distribution and dynamics in a North Pacific Eddy of coastal origin: I. Transport and Loss of continental margin species. *Journal of Oceanography*, 58(5), 725–738. <https://doi.org/10.1023/A:1022802625242>
- Mackas, D. L., Tsurumi, M., Galbraith, M. D., & Yelland, D. R. (2005). Zooplankton distribution and dynamics in a North Pacific Eddy of coastal origin: II. Mechanisms of eddy colonization by and

- retention of offshore species. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 52(7–8), 1011–1035. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2005.02.008>
- Mann, K. H., & Lazier, J. R. N. (2005). *Dynamics of marine ecosystems* (1a ed., Vol. 1). Blackwell Publishing Ltd.
- Matsubara-Oda, J. A. (1975). *Sistemática, distribución, abundancia y relaciones ambientales de los pterópodos tecosomados de la Bahía de Campeche, México* [Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- McGillicuddy, D. J. (2016). Mechanisms of Physical-Biological-Biogeochemical Interaction at the Oceanic Mesoscale. *Annual Review of Marine Science*, 8, 125–159. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015606>
- McGillicuddy, D. J., Anderson, L. A., Bates, N. R., Bibby, T., Buesseler, K. O., Carlson, C. A., Davis, C. S., Ewart, C., Falkowski, P. G., Goldthwait, S. A., Hansell, D. A., Jenkins, W. J., Johnson, R., Kosnyrev, V. K., Ledwell, J. R., Li, Q. P., Siegel, D. A., & Steinberg, D. K. (2007). Eddy/Wind interactions stimulate extraordinary mid-ocean plankton blooms. *Science*, 316(5827), 1021–1026. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1136256/SUPPL_FILE/MCGILLICUDDY.SOM.PDF
- McGowan, J. A. (1997). *Distributional atlas of pelagic molluscs in the California Current region*. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Atlas No. 6, Marine Research Committee.
- Mekkes, L., Renema, W., Bednaršek, N., Alin, S. R., Feely, R. A., Huisman, J., Roessingh, P., & Peijnenburg, K. T. C. A. (2021). Pteropods make thinner shells in the upwelling region of the California Current Ecosystem. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81131-9>
- Michel, H. B., & Michel, J. F. (1991). Heteropod and Thecosome (Mollusca: Gastropoda) macroplankton in the Florida Straits. *Bulletin of Marine Science*, 49(1–2), 562–574.
- Mojica-Ramírez, E. (2003). *Variabilidad de la biomasa zooplanctónica en la Región del Cañón de Campeche durante la Campaña PROMEBIO-I* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- MolluscaBase eds. (2023a). *Pteropoda*. World Register of Marine Species. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=325345> on 2022-10-17
- MolluscaBase eds. (2023b). *Pterotracheoidea Rafinesque, 1814*. World Register of Marine Species. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=387338> on 2022-10-17

- Monreal-Gómez, M. A., & Salas-de-León, D. A. (1990). Simulación de la circulación en la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29(2), 101–111.
- Monreal-Gómez, M. A., Salas-de-León, D. A., & Gracia, A. (2004). Golfo de México, circulación y productividad. *Ciencias*, 76, 24–33.
- Monreal-Gómez, M. A., Salas-de-León, D. A., & Velasco-Mendoza, H. (2004). La hidrodinámica del Golfo de México. En M. Caso, I. Pisanty, & E. Ezcurra (Eds.), *Diagnostico Ambiental del Golfo de México* (Vol. 1, pp. 1–626).
- Moreno-Alcántara, M., Aceves-Medina, G., Angulo-Campillo, O., & Paul Murad-Serrano, J. (2014). Holoplanktonic molluscs (Gastropoda: Pterotracheoidea, Thecosomata and Gymnosomata) from the southern Mexican Pacific. *Journal of Molluscan Studies*, 80(2), 131–138. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyu006>
- Murcia-Riaño, M., & Giraldo-López, A. (2007). Condiciones oceanográficas y composición del Mesozooplankton en la zona oceánica del Pacífico colombiano, durante septiembre-octubre 2004. *Boletín Científico CCCP*, 14. https://doi.org/10.26640/01213423.14.83_94
- Ojeda, E., Appendini, C. M., & Mendoza, E. T. (2017). Storm-wave trends in Mexican waters of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(8). <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1305-2017>
- Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O’Hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., Durand, S., ... Weedon, J. (2022). *Vegan: Community Ecology Package* (2.6-4; pp. 1–297). R package. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Perruche, C., Rivière, P., Lapeyre, G., Carton, X., & Pondaven, P. (2011). Effects of surface quasi-geostrophic turbulence on phytoplankton competition and coexistence. *Journal of Marine Research*, 69(1). <https://doi.org/10.1357/002224011798147606>
- Pond, S., & Pickard, G. L. (2013). Introductory Dynamical Oceanography. En *Introductory Dynamical Oceanography: Second Edition* (2a ed.). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-24288-7>

- Portela, E., Tenreiro, M., Pallàs-Sanz, E., Meunier, T., Ruiz-Angulo, A., Sosa-Gutiérrez, R., & Cusí, S. (2018). Hydrography of the Central and Western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(8), 5134–5149. <https://doi.org/10.1029/2018JC013813>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Cruz, V. (2005). *Distribución de la biomasa zooplanctónica en la región del Cañón de Campeche en fin de temporada de nortes, tesis de licenciatura* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Richter, G., & Seapy, R. (1999). Heteropoda. En D. Boltovskoy (Ed.), *South Atlantic Zooplankton*. (1a ed., Vol. 1, pp. 621–647). Backhuys Publishers.
- Rivera-Hernández, F. (2013). *Efecto de la vorticidad en la distribución de la biomasa de zooplancton en el Cañón de Campeche* [Tesis de Maestría]. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Rosales-Navarro, I. S. (2007). *Hidrografía y corrientes geostróficas en la región del Cañón de Campeche*. [Tesis de Maestría]. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Rubio-Sandoval, K. Z. (2016). *Aspectos ecológicos de la comunidad de moluscos holoplanctónicos en las costas del Caribe mexicano* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias.
- Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Signoret, M., & Aldeco, J. (2004). Anticyclonic-cyclonic eddies and their impact on near-surface chlorophyll stocks and oxygen supersaturation over the Campeche Canyon, Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(5). <https://doi.org/10.1029/2002JC001614>
- Sánchez-Campos, M. A. (2018). *Influencia de los factores ambientales sobre la abundancia y distribución de los moluscos holoplanctónicos (Gastropoda: Thecosomata) frente a la zona centro del Estado de Veracruz, Golfo de México* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Sánchez-Hidalgo, M., & Anda. (1989). Gasterópodos holoplanctónicos de la costa occidental de Baja California Sur, en mayo y junio de 1984. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 4(1), 1–14. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/14421>
- Santiago-Arce, T. (2010). *Análisis de la vorticidad en el Cañón de Campeche, Golfo de México* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.

- Sanvicente-Añorve, L., Lemus-Santana, E., Flores-Coto, C., & Alatorre-Mendieta, M. (2013). Vertical segregation of holoplanktonic molluscs in the epipelagic layer, southern Gulf of Mexico. *Helgoland Marine Research*, 67(2), 397–405. <https://doi.org/10.1007/s10152-012-0331-2>
- Shannon, C. E., & Wiener, W. (1949). *The mathematical theory of communication* (1a ed., Vol. 1). University of Illinois.
- Silver, M. W., & Bruland, K. W. (1981). Differential feeding and fecal pellet composition of salps and pteropods, and the possible origin of the deep-water flora and olive-green “Cells”. *Marine Biology*, 62(4), 263–273. <https://doi.org/10.1007/BF00397693>
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (2012). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research* (4a ed.).
- Suárez-Morales, E. (1994). Distribución de los pterópodos (Gastropoda: Thecosomata y Pseudothecosomata) del Golfo de México y zonas adyacentes. *Revista Biológica Tropical*, 42(3), 523–530. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/oai>
- Suthers, I. M., & Rissik, D. (2009). *Plankton: A guide to their ecology and monitoring for water quality* (1a ed., Vol. 1). Csiro Publishing.
- Tesch, J. J. (1948). *Gymnosomata II*. Carlsberg Foundation, Report no. 36, Oceanographical Expedition Round the World 1928-30 and previous “DANA” Expedition.
- Torres-Martínez, C. M., Coria-Monter, E., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., & Durán-Campos, E. (2020). Hydrography and phytoplankton biomass in the Campeche Canyon and Bank, southern Gulf of Mexico, during February of 2011. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 15(2), 64–73. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>
- Valle-Levinson, A., Castro, L., Cáceres, M., & Pizarro, O. (2014). Twilight vertical migrations of zooplankton in a Chilean fjord. *Progress in Oceanography*, 129, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.03.008>
- van der Spoel, S. (1972). Notes on the identification and speciation of Heteropoda (Gastropoda). *Zoologische Mededelingen*, 47(45), 545–560.
- van der Spoel, S. (1996). Heterópoda. En R. Gasca & E. Suarez-Morales (Eds.), *Introducción al estudio del zooplancton* (1a ed., Vol. 1, pp. 649–706). El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/CONACYT.

- van der Spoel, S., Bleeker, J., & Kobayasi, H. (1993). From *Cavolinia longirostris* to twenty-four *Diacavolinia* taxa, with a phylogenetic discussion (Mollusca, Gastropoda). *Bijdragen tot de Dierkunde*, 62(3), 127–166.
- van der Spoel, S., & Dadon, J. R. (1999). Pteropoda. En D. Boltovskoy (Ed.), *South Atlantic Zooplankton* (1a ed., Vol. 1, pp. 649–706). Backhuys Publishers.
- Vázquez-de-la-Cerda, A. M., Reid, R. O., DiMarco, S. R., & Jochens, A. E. (2005). Bay of Campeche Circulation: An Update. En W. Sturges & A. Lugo-Fernández (Eds.), *Descriptive analysis of masses of ocean water that arrive to the Gulf of Mexico* (1a ed., Vol. 1, pp. 279–293). American Geophysical Union. <https://doi.org/Doi: 10.1029/161GM20>
- Wall-Palmer, D., Smart, C. W., Kirby, R., Hart, M. B., Peijnenburg, K. T. C. A., & Janssen, A. W. (2016). A review of the ecology, palaeontology and distribution of atlantid heteropods (Caenogastropoda: Pterotracheoidea: Atlantidae). En *Journal of Molluscan Studies* (Vol. 82, Número 2, pp. 221–234). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyv063>
- Wentz, F. J., Scott, J., Hoffman, R., Leidner, M., Atlas, R., & Ardizzone, J. (2015). *Remote Sensing Systems Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) 00006-hourly ocean vector wind analysis product on 0.25 deg grid, [2011-02-22 to 2011-02-27] (2.0)*. Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA. www.remss.com/measurements/ccmp
- Wickham, H. (2018). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. En *Springer-Verlag* (Vol. 1, Número 1). Springer New York. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>
- Zárate-Juárez, K. M. (2006). *Composición, distribución y abundancia de los moluscos holoplanctónicos (Gastropoda) en la región de las grandes islas del Golfo de California, México, otoño, 1978* [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R., Mateos-Jasso, A., & Morey, S. L. (2014). The response of the Gulf of Mexico to wind and heat flux forcing: What has been learned in recent years? *Atmósfera*, 27(3), 317–334. [https://doi.org/Doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71119-1](https://doi.org/Doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71119-1)
- Zavala-Hidalgo, J., Salmerón, O., Aguilar, V., Cerdeira, S., & Kolb, M. (2006). *Caracterización y regionalización de los procesos oceanográficos de los mares mexicanos*. Comisión Nacional para la Biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanogr%C3%A1ficos

ANEXO I

Tabla 4. Promedio diario de la velocidad del viento (m/s) del 22 al 27 de febrero del 2011 (Wentz et al., 2015).

Fecha	Velocidad del viento (m s^{-1})		
	mínima	mediana	máximo
22	4.6	7.2	8.8
23	5.3	7.3	8.2
24	3.6	8.0	10.3
25	3.4	6.6	8.6
26	3.3	5.5	7.5
27	2.8	7.2	8.6

ANEXO II
Orden Pteropoda Cuvier, 1894

Suborden Euthecosomata Meisenheimer, 1905

Superfamilia Cavolinioidea Gray, 1850 (1815)

Familia Cavoliniidae Gray, 1850 (1815)



1 mm

Styliola subula

Creseis conica



1 mm



2 mm

Creseis acicula



Creseis virgula

1 mm



1 mm

Hyalocylis striata

Familia Cavoliniidae Gray 1850 (1815)
Subfamilia Cavoliniinae Gray, 1850 (1815)

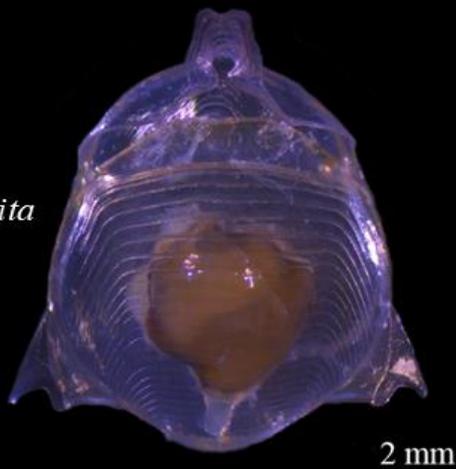
Cavolinia inflexa



Cavolinia iuncinata



Diacavolinia constricta



Subfamilia Diacriinae Rampal, 2019

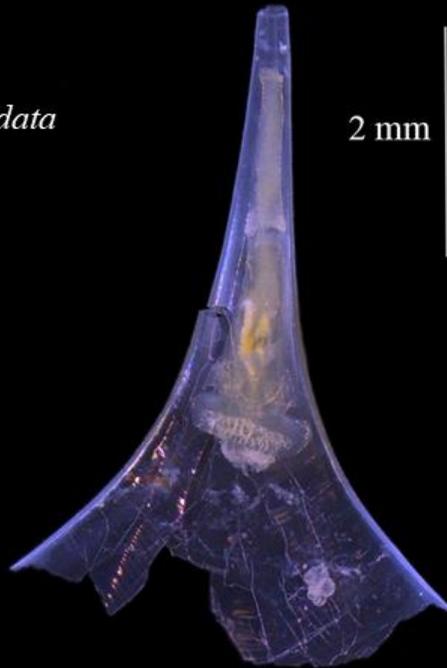


Telodiacria danae

1 mm

Familia Cliidae Jeffreys, 1869

Clio cuspidata



2 mm

Superfamilia Limacinoidea Gray, 1840

Familia Heliconoididae Rampal, 2019



Heliconoides inflatus

0.5 mm

Familia Limacinidadae Gray, 1840



Limacina bulimoides

0.5 mm



Limacina trochiformis

0.5 mm



Limacina lesueuri

0.5 mm

Suborden Pseudothecosomata Meisenheimer, 1905

Superfamilia Cymbulioidea Gray, 1840

Familia Peraclidae Tesch, 1913

Peraclis diversa



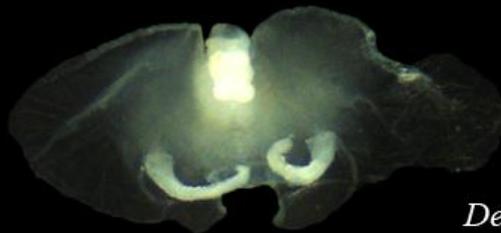
0.5 mm

Peraclis reticulata



1 mm

Familia Desmopteridae Chun, 1889



1 mm

Desmopterus papilio

Suborden Gymnosomata Blainville, 1824

Superfamilia Clionoidea Rafinesque, 1815

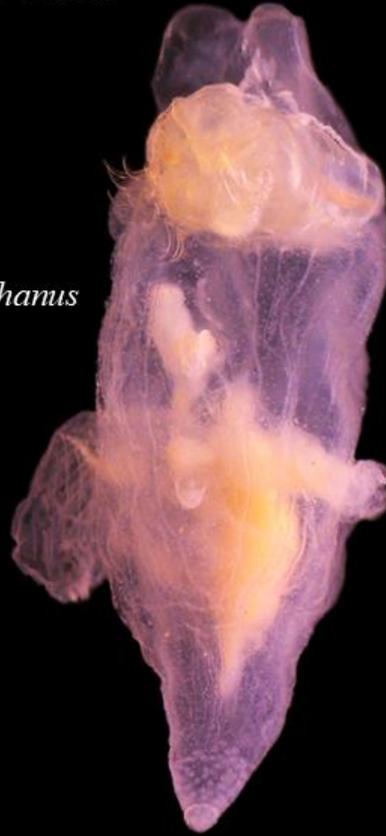
Familia Clionidae Rafinesque, 1815



Paraclione longicaudata

1 mm

Thliptodon diaphamus



2 mm

Familia Pneumodermatidae Latreille, 1825

Pneumoderma violaceum



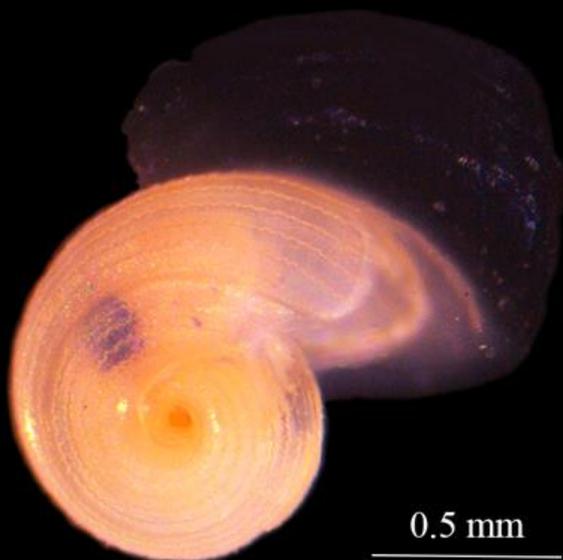
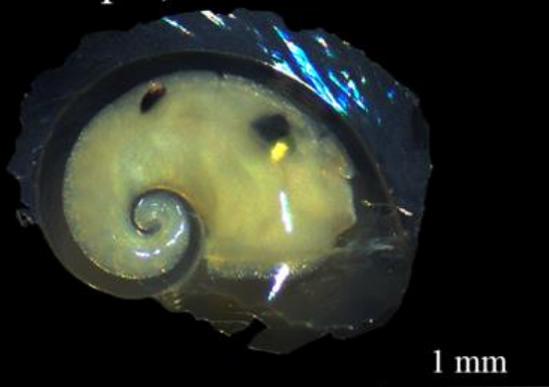
1 mm

Orden Littorinimorpha Golikov & Starobogatov, 1975

Superfamilia Pterotracheoidea Rafinesque, 1814

Familia Atlantidae Rang, 1829

Atlanta Lesueur, 1817



Oxygyrus inflatus

Familia Carinariidae Blainville, 1818

Carinaria pseudorugosa



1 mm

Familia Pterotracheidae Rafinesque, 1814

Pterotrachea hippocampus



2 mm

ANEXO III

Tabla 5. Densidades totales (org 100 m⁻³) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011.

Todo	
Taxa	Densidad total
<i>Heliconoides inflatus</i>	1955.1
<i>Creseis conica</i>	1093.3
<i>Limacina trochiformis</i>	967.1
<i>Atlanta</i> spp.	753.4
<i>Cavolinia inflexa</i>	405.2
<i>Creseis</i> spp.	322.1
<i>Creseis acicula</i>	309.2
<i>Limacina lesueuri</i>	235.6
<i>Pteropoda</i>	234.7
<i>Gymnosomata</i>	217.6
<i>Hyalocylis striata</i>	194.5
<i>Cavolinioidea</i>	156.2
<i>Desmopterus papilio</i>	141.8
<i>Telodiacria danae</i>	113.7
<i>Firoloida desmarestia</i>	105.5
<i>Diacavolinia</i> spp.	55.2
<i>Pterotracheoidea</i>	50.1
<i>Styliola subula</i>	45.0
<i>Peracle reticulata</i>	27.0
<i>Cavolinia uncinata</i>	26.7
<i>Limacina bulimoides</i>	18.4
<i>Oxygyrus inflatus</i>	17.3
<i>Cavolinia</i> spp.	16.4
<i>Pneumoderma violaceum</i>	15.7
<i>Spongiobranchaea</i> spp.	12.9
<i>Thliptodon diaphanus</i>	7.9
<i>Peracle</i> spp.	6.0
<i>Paraclione longicaudata</i>	5.7
<i>Cavolinia inflexa inflexa</i>	5.4
<i>Carinaria pseudorugosa</i>	5.0
<i>Corolla</i> spp.	4.7
<i>Cymbulia</i> spp.	4.6
<i>Peracle</i> cf. <i>Diversa</i>	4.4
<i>Diacavolinia constricta</i>	3.4

<i>Creseis virgula</i>	2.6
<i>Pneumoderma</i> spp.	2.1
<i>Clio</i> spp.	1.9
<i>Clio pyramidata</i>	1.8
<i>Diacavolinia limbata</i>	1.7
<i>Peracle diversa</i>	1.4
<i>Diacria major</i>	1.2
<i>Diacavolinia longirostris</i>	0.6
<i>Pneumodermopsis</i> spp.	0.6
<i>Diacavolinia strangulata</i>	0.5
<i>Paraclione</i> spp.	0.4
<i>Clione</i> spp.	0.3
<i>Paraclione</i> cf. <i>longicaudata</i>	0.3
<i>Cymbulia</i> cf. <i>Peroni</i>	0.3
<i>Schizobrachium polycotylum</i>	0.2
<i>Pterotrachea hipocampus</i>	0.2
<i>Peracle bispinosa</i>	0.1

Tabla 6. Densidades relativas (%) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011, en el estrato de 10 m.

Taxa	Densidad relativa
<i>Creseis conica</i>	21.22
<i>Heliconoides inflatus</i>	17.47
<i>Limacina trochiformis</i>	17.35
<i>Atlanta</i> spp.	15.46
<i>Cavolinia inflexa</i>	6.23
<i>Creseis acicula</i>	6.08
<i>Gymnosomata</i>	2.58
<i>Telodiacria danae</i>	2.50
<i>Pteropoda</i>	2.32
<i>Hyalocylis striata</i>	1.90
<i>Limacina lesueuri</i>	1.29
<i>Diacavolinia</i> spp.	0.75
<i>Styliola subula</i>	0.58
<i>Firoloida desmarestia</i>	0.47
<i>Desmopterus papilio</i>	0.46
<i>Oxygyrus inflatus</i>	0.42
<i>Cavolinioidea</i> (juv)	0.41
<i>Diacavolinia strangulata</i>	0.31
<i>Cavolinia</i> spp.	0.23
<i>Diacavolinia constricta</i>	0.22

<i>Paraclione longicaudata</i>	0.22
<i>Diacavolinia limbata</i>	0.21
<i>Pneumoderma violaceum</i>	0.18
<i>Cavolinia uncinata</i>	0.18
<i>Pneumoderma spp.</i>	0.15
<i>Peracle reticulata</i>	0.11
<i>Limacina bulimoides</i>	0.11
<i>Peracle spp.</i>	0.09
<i>Carinaria pseudorugosa</i>	0.07
<i>Creseis spp.</i>	0.07
<i>Creseis virgula</i>	0.07
<i>Cavolinia inflexa inflexa</i>	0.06
<i>Corolla spp.</i>	0.06
<i>Spongiobranchaea intermedia</i>	0.06
<i>Pneumodermatidae</i>	0.03
<i>Diacavolinia longirostris</i>	0.03
<i>Schizobrachium polycotylum</i>	0.02
<i>Clio spp.</i>	0.02
<i>Creseis chierchie</i>	0.02
<i>Cymbulia spp.</i>	0.01

Tabla 7. Densidades relativas (%) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011, en el estrato de 50 m.

Taxa	Densidad relativa
<i>Heliconoides inflatus</i>	32.705
<i>Creseis conica</i>	13.284
<i>Limacina trochiformis</i>	12.478
<i>Limacina lesueuri</i>	5.254
<i>Cavolinia inflexa</i>	5.154
<i>Atlanta spp.</i>	4.412
<i>Pteropoda</i>	4.177
<i>Creseis acicula</i>	3.615
<i>Cavolinioidea (juv)</i>	2.838
<i>Gymnosomata</i>	2.579
<i>Firoloida desmarestia</i>	2.450
<i>Hyalocylis striata</i>	1.913
<i>Telodiacria danae</i>	1.821
<i>Pterotracheoidea</i>	1.497
<i>Desmopterus papilio</i>	1.170
<i>Creseis spp.</i>	0.579
<i>Cavolinia uncinata</i>	0.578

<i>Styliola subula</i>	0.496
<i>Spongiobranchaea spp.</i>	0.429
<i>Peracle reticulata</i>	0.327
<i>Limacina bulimoides</i>	0.264
<i>Pneumoderma violaceum</i>	0.254
<i>Diacavolinia spp.</i>	0.239
<i>Cavolinia spp.</i>	0.233
<i>Diacavolinia spp.</i>	0.154
<i>Pneumoderma spp.</i>	0.127
<i>Thliptodon diaphanus</i>	0.119
<i>Diacavolinia strangulata</i>	0.119
<i>Oxygyrus inflatus</i>	0.117
<i>Corolla spp.</i>	0.107
<i>Spongiobranchaea intermedia</i>	0.083
<i>Pneumodermatidae</i>	0.071
<i>Cymbulia spp.</i>	0.070
<i>Cavolinia inflexa inflexa</i>	0.066
<i>Creseis virgula</i>	0.059
<i>Paraclione longicaudata</i>	0.031
<i>Cliopsis krohni</i>	0.030
<i>Diacavolinia limbata</i>	0.030
<i>Diacavolinia longirostris</i>	0.020
<i>Pneumodermopsis spp.</i>	0.012
<i>Diacria major</i>	0.011
<i>Clio spp.</i>	0.011
<i>Schizobrachium polycotylum</i>	0.010
<i>Clio limacina</i>	0.003
<i>Cliopsis spp.</i>	0.003
<i>Peracle spp.</i>	0.001

Tabla 8. Densidades relativas (%) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011, en el estrato de 100 m.

Taxa	Densidad relativa
<i>Heliconoides inflatus</i>	21.74
<i>Limacina trochiformis</i>	14.91
<i>Creseis conica</i>	12.70
<i>Desmopterus papilio</i>	7.28
<i>Hyalocylis striata</i>	6.16
<i>Cavolinia inflexa</i>	5.46

<i>Atlanta spp</i>	5.39
<i>Cavolinioidea (juv)</i>	3.89
<i>Pteropoda</i>	3.50
<i>Gymnosomata</i>	3.48
<i>Firoloida desmarestia</i>	2.91
<i>Creseis spp</i>	2.66
<i>Limacina lesueuri</i>	1.61
<i>Telodiacria danae</i>	1.25
<i>Cavolinia uncinata</i>	0.89
<i>Peracle reticulata</i>	0.89
<i>Creseis acicula</i>	0.78
<i>Thliptodon diaphanus</i>	0.56
<i>Limacina bulimoides</i>	0.45
<i>Styliola subula</i>	0.44
<i>Pneumoderma violaceum</i>	0.37
<i>Peracle spp.</i>	0.35
<i>Pterotracheoidea</i>	0.29
<i>Pneumoderma spp.</i>	0.28
<i>Corolla spp.</i>	0.23
<i>Carinaria pseudorugosa</i>	0.21
<i>Diacavolinia spp.</i>	0.19
<i>Paraclione longicaudata</i>	0.12
<i>Cavolinia spp.</i>	0.11
<i>Diacavolinia strangulata</i>	0.11
<i>Oxygyrus inflatus</i>	0.11
<i>Clio pyramidata</i>	0.10
<i>Clio spp.</i>	0.10
<i>Cymbulia spp.</i>	0.09
<i>Diacria major</i>	0.07
<i>Cavolinia inflexa inflexa</i>	0.07
<i>Cliopsis krohni</i>	0.05
<i>Peracle diversa</i>	0.04
<i>Notobranchaea spp.</i>	0.03
<i>Diacavolinia constricta</i>	0.03
<i>Thliptodon sp</i>	0.02
<i>Diacavolinia spp.</i>	0.02
<i>Clio cuspidata</i>	0.02
<i>Cymbulia cf. peroni</i>	0.02
<i>Pneumodermopsis spp.</i>	0.02
<i>Schizobrachium polycotylum</i>	0.01
<i>Pterotrachea hippocampus</i>	0.01

Tabla 9. Densidades relativas (%) de los taxa en el cañón de Campeche, durante la época de nortes de 2011, en el estrato de 200 m.

Taxa	Densidad relativa
<i>Creseis spp</i>	28.68
<i>Heliconoides inflatus</i>	17.69
<i>Limacina trochiformis</i>	10.22
<i>Creseis conica</i>	8.95
<i>Creseis acicula</i>	6.61
<i>Cavolinia inflexa</i>	4.80
<i>Cavolinioidea (juv)</i>	4.50
<i>Desmopterus papilio</i>	4.45
<i>Hyalocylis striata</i>	3.29
<i>Pteropoda</i>	3.05
<i>Atlanta spp</i>	1.75
<i>Firoloida desmarestia</i>	1.08
<i>Telodiacria danae</i>	0.79
<i>Gymnosomata</i>	0.76
<i>Pneumoderma violaceum</i>	0.74
<i>Cavolinia uncinata</i>	0.49
<i>Limacina lesueuri</i>	0.37
<i>Pneumoderma spp.</i>	0.33
<i>Cavolinia spp.</i>	0.21
<i>Cymbulia spp.</i>	0.20
<i>Thliptodon diaphanus</i>	0.20
<i>Peracle reticulata</i>	0.20
<i>Peracle bispinosa</i>	0.18
<i>Styliola subula</i>	0.09
<i>Limacina bulimoides</i>	0.08
<i>Pneumodermopsis macrochira</i>	0.06
<i>Peracle spp.</i>	0.05
<i>Pterotracheoidea</i>	0.05
<i>Diacavolinia constricta</i>	0.04
<i>Cliopsis krohni</i>	0.03
<i>Peracle diversa</i>	0.03
<i>Corolla spp.</i>	0.02

Tabla 10. Índices de diversidad (Shannon y Wiener, 1996) y equidad (Pielou, 1977) por estrato.

Profundidad			
Estación	(m)	H'	J'
1	10	2.01	0.74
3	10	2.13	0.83
5	10	1.17	0.73
6	10	0.71	0.51
7	10	1.22	0.68
13	10	1.79	0.70
15	10	0.84	0.61
17	10	1.28	0.66
18	10	1.60	0.65
27	10	1.57	0.65
29	10	1.36	0.53
31	10	1.78	0.64
37	10	1.72	0.58
39	10	1.14	0.48
41	10	1.71	0.74
42	10	1.32	0.68
1	50	1.76	0.69
3	50	2.10	0.74
5	50	1.60	0.67
9	40	1.54	0.57
11	30	1.30	0.80
13	50	1.60	0.64
15	50	1.34	0.69
17	50	1.25	0.54
25	35	1.63	0.84
27	50	1.99	0.73
29	50	1.88	0.85
30	50	1.42	0.62
31	50	1.16	0.44
33	40	1.53	0.69
37	50	2.08	0.79

39	50	1.87	0.75
42	50	1.87	0.78
42	30	1.22	0.49
1	100	2.42	0.84
3	100	1.98	0.73
5	100	0.94	0.38
9	80	1.46	0.81
11	70	1.97	0.77
13	100	2.08	0.79
15	100	1.82	0.83
17	100	1.54	0.58
21	100	1.81	0.73
23	100	1.87	0.78
25	100	2.16	0.84
25	65	1.99	0.83
27	100	1.38	0.54
29	100	2.18	0.91
30	90	1.61	0.65
31	100	1.49	0.83
35	100	1.99	0.80
37	100	2.25	0.83
39	100	1.93	0.78
41	100	2.25	0.79
1	200	1.97	0.82
5	200	1.96	0.82
13	200	1.86	0.89
21	200	0.90	0.82
23	200	1.62	0.70
29	200	1.63	0.71
31	200	2.00	0.87
35	200	2.01	0.81
37	200	2.06	0.86
39	200	1.83	0.83
41	200	1.92	0.87

ANEXO IV

Tabla 11. Antecedentes de listados taxonómicos en el golfo de México.

Número	Cita	Área de estudio	Época y año de muestreo
1	Leal-Rodríguez (1965)	Veracruz	1963-1964
2	Lemus-Santana (2014)	Sur GM	mayo 1995
3	Flores-Coto et al. (2013)	Sur GM	1995
4	Matsubara- Oda (1975)	Banco de Campeche	1972
5	López-Arellanes (2018)	Sur GM	mayo- junio 2006
6	López-Arellanes (2018)	Sur GM	mayo-junio 2010
7	López-Arellanes (2019)	Sur GM	primaveras 2000-2010
8	Espinosa-Balvanera (2017)	Sur GM	febrero 2004
9	Espinosa-Balvanera (2017)	Sur GM	junio 2004
10	López-Cabello (2023)	Cañón de Campeche	febrero 2011

Tabla 12. Lista de especies del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea según los antecedentes en el golfo de México.

	1	2	3	4	nerítico-cañón			cañón de Campeche		
					5	6	7	8	9	10
Orden Pteropoda										
1 <i>Boasia chierchiae</i>	*			*						*
2 <i>Cavolinia gibbosa</i>						*				
3 <i>Cavolinia inflexa</i>	*	*			*	*	*	*	*	*
4 <i>Cavolinia tridentata</i>				*						
5 <i>Cavolinia uncinata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6 <i>Cephalobrachia macrochaeta</i>		*	*				*			
7 <i>Clio cuspidata</i>					*	*		*	*	*
8 <i>Clio polita</i>	*			*						
9 <i>Clio pyramidata</i>	*	*				*	*	*	*	*
10 <i>Clio recurva</i>				*	*	*	*			
11 <i>Clione limacina</i>					*	*	*			*
12 <i>Cliopsis krohni</i>							*			*
13 <i>Corolla cf spectabilis</i>		*			*	*				
14 <i>Corolla cupula</i>		*					*	*		
15 <i>Corolla intermedia</i>		*					*	*		
16 <i>Corolla ovata</i>		*						*		
17 <i>Corolla spectabilis</i>							*			
18 <i>Creseis acicula</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19 <i>Creseis conica</i>	*		*		*	*	*	*	*	*
20 <i>Creseis virgula</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*
21 <i>Cuvierina atlantica</i>			*		*	*	*			
22 <i>Cuvierina columnella</i>	*	*		*			*	*		
23 <i>Cymbulia peronii</i>						*	*			*
24 <i>Cymbulia sibogae</i>					*	*	*			
25 <i>Desmopterus papilio</i>		*	*		*	*	*	*	*	*
26 <i>Diacavolinia constricta*</i>										*
27 <i>Diacavolinia limbata</i>										*
28 <i>Diacavolinia longirostris</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29 <i>Diacavolinia strangulata</i>					*	*	*			*
30 <i>Diacria major</i>		*			*	*	*	*	*	*
31 <i>Diacria trispinosa</i>				*						
32 <i>Gleba cordata</i>		*	*							
33 <i>Heliconoides inflatus</i>		*	*		*	*	*	*	*	*
34 <i>Hyalocylis striata</i>	*	*		*	*	*	*	*	*	*
35 <i>Limacina bulimoides</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*
36 <i>Limacina helicina</i>				*						
37 <i>Limacina lesueuri</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*
38 <i>Limacina trochiformis</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*
39 <i>Notobranchea cf mcdonaldi</i>		*								

Tabla 11. Lista de especies del orden Pteropoda y superfamilia Pterotracheoidea según los antecedentes en el golfo de México. Continuación.

	1	2	3	4	nerítico-cañón			cañón de Campeche		
					5	6	7	8	9	10
40							*			
41					*	*	*	*	*	*
42		*	*		*	*	*	*	*	*
43										*
44		*	*		*	*	*	*	*	*
45		*					*			*
46										*
47										*
48										*
49		*	*	*	*	*	*	*	*	*
50		*	*		*	*	*	*	*	*
51	*			*				*		
52							*			*
Superfamilia										
Pterotracheoidea										
1		*						*	*	*
2		*						*	*	
3								*	*	
4		*						*	*	
5								*	*	
6		*						*	*	
7		*						*	*	
8		*						*	*	
9		*								
10		*						*	*	
11		*						*		*
12		*								
13		*						*	*	*
14		*						*	*	
15		*						*		*