



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



ESTRUCTURA DEL ZOOPLANCTON DE LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S. Y SU RELACIÓN CON LA HIDROGRAFÍA DURANTE EL VERANO DEL 2004

T E S I S

que para obtener el grado académico de

M a e s t r a e n C i e n c i a s

(Biología Marina)

p r e s e n t a

Biól. ERIKA MOJICA RAMÍREZ

Co-Directora de Tesis:
Co-Director de Tesis:

Dra. María Adela Monreal Gómez
Dr. Adolfo Gracia Gasca

Comité Tutorial:

Dr. Martín Merino Ibarra
Dr. David Alberto Salas de León
Dr. Sergio Cházaro Olvera

México, D. F., 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.

Albert Einstein
(1879-1955)

DEDICATORIA

A las TRES personas más importantes en mi vida:

A mi viejito†:

Que aunque ya no estés conmigo físicamente, siempre te amaré y recordaré como el gran hombre y ser humano que siempre fuiste.

A mi Mamá Leonchi†:

Que siempre me viste como tu nieta y me quisiste como tal. Gracias por todas las lecciones de vida que me enseñaste y que lo sigues haciendo desde donde te encuentres.

A mi Mamá:

Que siempre sacrificaste muchas cosas por mí y que me soportaste durante todo este tiempo. Este trabajo es tuyo y no mío.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. María Adela Monreal Gómez por la dirección, asesoría y sobre todo por las enseñanzas en el desarrollo de la tesis, por sus consejos a nivel personal y sobretodo por su amistad.

El Dr. Adolfo Gracia Gasca, por sus comentarios, asesoría y por las facilidades otorgadas para la realización de esta tesis.

El Dr. David Alberto Salas de León, por su asesoría, sus clases, la dosis de café que me brindó, pero sobretodo por la amistad y sus supersabios consejos que me brinda en cada plática.

El Dr. Martín Merino Ibarra, por ser tan meticuloso en el escrito, sé que esos comentarios no eran por otra cosa más que para hacer un trabajo de lo mejor. Por los datos proporcionados y sus enseñanzas en la oceanografía química, GRACIAS.

El Dr. Sergio Cházaro Olvera por los comentarios, por su colaboración, conocimientos y por las excursiones a la FES Iztacala.

A la Dra. Ana Rosa Vázquez Bader por la asesoría y el apoyo en los análisis estadísticos.

A los participantes del Proyecto PALEO XII, así como al proyecto institucional DIPAL.

A mis dos ángeles de la guarda y a ti MAMA por apoyarme y acompañarme ahora durante el posgrado.

A mis hermanos: Humberto, Fabiola, Alejandro, Rodrigo por el apoyo moral y el económico.

A mi hermana LETICIA, por hacerme entrar en razón muchísimas veces, pero sobretodo por su cariño aún cuando estuvimos muy distanciadas. MUCHISIMAS GRACIAS HERMANITA!!! Te quiero mucho.

A José Hernández Hernández por su amistad, apoyo en las buenas y en las no tan buenas. Sabes que te quiero mucho, como a un hermano, tu pena es mía también, y sabes por quien lo digo.

A Mariana Chacón Romero, a pesar de la distancia geográfica seguimos apoyándonos, dándonos lata, y ya regresa pronto de UK!!

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de Oceanografía Física y anexos: Ikebana, Saraí, Miguel Ángel, Xavier Aldeco, Gilberto, Julián, Víctor, Habacuc, Fernando, Yemin, Leo, Juanito, Chucho, Ángeles. Gracias por todos esos días donde siempre hubo muchas risas.

A Ignacio Palomar y Rocío por rescatar la computadora mil y un veces y por su amistad por sobretodos las cosas.

A Vicente Anislado Tolentino y Héctor Lobera por sus consejos, su apoyo, su amistad y por el humo que echamos juntos muchísimas veces y lo seguimos haciendo.

A las hermosas chicas que están en las oficinas del posgrado del ICMYL, por la paciencia tan grande que tuvieron conmigo por tantas dudas que les dije. Gracias Lupita, Diana, Chantal y Gabriela.

A toda la gente que me ayudó de una u otra manera en esta tesis.

A todos ustedes

MIL GRACIAS!!!!!!

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivo General	5
1.2. Objetivos Particulares	5
CAPITULO II. AREA DE ESTUDIO	6
CAPITULO III. METODOLOGIA	
3.1. Datos hidrográficos	14
3.2. Datos biológicos	
Zooplancton	14
Clorofila-a	17
3.3. Datos químicos	
Nutrientes	19
Oxígeno Disuelto	19
CAPITULO IV. RESULTADOS	
4.1. Topografía de las isotermas de 15 Y 20 ° C	21
4.2. Secciones verticales	22
4.3. Perfiles de Temperatura, Salinidad y Densidad	30
4.4. Nutrientes y Oxígeno Disuelto	32
4.5. Perfiles de Clorofila-a e Irradianza	36
4.6. Composición y distribución de biomasa de zooplancton	43
CAPITULO V. DISCUSION	59
CONCLUSIONES	69
REFERENCIAS	70

RESUMEN

Se analizó la estructura de la comunidad del zooplancton en la Bahía de La Paz, B.C.S. y su relación con la hidrografía durante el verano de 2004. Se realizaron 44 estaciones hidrográficas utilizando un CTD Neil Brown Mark III, un perfilador de fluorescencia PNF-300 de Biospherical, se determinaron las concentraciones de oxígeno disuelto y de nutrientes. Se estableció una red de 30 estaciones para zooplancton haciendo arrastres oblicuos mediante una red bongo. Los resultados muestran la presencia de un giro ciclónico subsuperficial ubicado en la parte central de la bahía, orientado en dirección noroeste-sureste. El mayor gradiente de salinidad, densidad se localizó a 20 m de profundidad coincidiendo con la capa de la termoclina. Los valores mas altos tanto de nutrientes como de clorofila-a coincidieron con el centro del giro ciclónico haciendo la zona fótica una zona de fertilización. La estructura del zooplancton está compuesta por 24 grupos. La distribución de los organismos del zooplancton y de la biomasa se concentró en los alrededores del giro, en particular en el área cercana a las costas así como en Boca Grande. Los grupos del zooplancton con mayor abundancia fueron los cladóceros, copépodos, sifonóforos, quetognatos y larvas de otros crustáceos. La distribución de la biomasa y la abundancia del zooplancton están relacionadas principalmente con la temperatura, que a su vez está delimitada por la presencia del giro ciclónico.

ABSTRACT

We analyze the structure of the zooplankton community in La Paz Bay, B.C.S and his relationship with hydrography during summer of 2004. Forty four hydrographic stations were performed using a CTD Neil Brown Mark III, profiler fluorescence PNF-300 Biospherical, concentrations of dissolved oxygen and nutrients. A network of 30 stations for zooplankton done with bongo net doing oblique tows. The results show the presence of a subsurface cyclonic eddy located in the central part of the bay, oriented in northwest-southeast direction. Higher values of gradient of salinity, density were located at depth of 20 m with the depth of thermocline. The higher values of nutrients and chlorophyll a fit on the center of cyclonic eddy making a fertilization area the photic zone. The structure of zooplankton was composed of 24 groups. The distribution of the organisms and high values of zooplankton biomass concentrated in the surrounding of eddy, especial in the coastal area and in Boca Grande. The groups with more abundance of zooplankton were cladocera, copepods, siphonophores, chaetognata and larvae of other crustaceans. The distribution of biomass and abundance of zooplankton were related mainly by the temperature, which is delimited for the presence of cyclonic eddy.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El zooplancton es un importante eslabón en la cadena trófica de los organismos acuáticos, se alimenta de los productores primarios como son fitoplancton, algas marinas o plantas marinas, así como, de otros consumidores y es consumido a su vez por organismos mayores. Los niveles tróficos en los que están incluidos los organismos del zooplancton en la trama trófica son los herbívoros, omnívoros, carnívoros primarios, carnívoros secundarios y carnívoros terciarios (Raymont, 1983).

La biomasa de zooplancton, como medida para evaluar el comportamiento de su abundancia y distribución, brinda información sobre la productividad secundaria de las comunidades acuáticas. El zooplancton está asociado a factores bióticos como la disponibilidad de alimento, la tasa fotosintética del fitoplancton y factores abióticos como la salinidad, temperatura y densidad (Boltovskoy, 1981). Las condiciones hidrográficas, los procesos físicos tales como giros, frentes, influyen en la distribución del zooplancton (Gómez-Ponce y Gracia, 2003).

La comunidad del zooplancton es la base de muchas de las pesquerías de importancia comercial, por lo que tiene una gran importancia tanto ecológica como económica.

Los procesos físicos contribuyen en el enriquecimiento de la producción primaria en la capa fótica, dentro de la cual se localizan los organismos planctónicos. Los giros ciclónicos, generan un bombeo que acarrea aguas profundas ricas en nutrientes hacia la superficie por medio de advección. El agua del centro del giro es rica en nutrientes y puede llegar a ser tres veces más rica que en las áreas adyacentes a los giros (Basterretxea, 1994; Hernández-León et al., 2001; Libes, 1992; Merino y Monreal-Gómez, 2004).

En la Bahía de la Paz se han realizado pocos estudios de zooplancton, por un lado se menciona que es una región pobre en productividad primaria durante el invierno (Saavedra-Rojas, 2003) y por otro lado, se dice que la biomasa zooplanctónica es abundante (Signoret y Santoyo, 1980; González-Navarro y Saldierna-Martínez, 1997) por lo que existen grandes controversias sobre esta bahía.

El propósito de este estudio es el analizar la composición, distribución y abundancia de la comunidad zooplanctónica de la Bahía de la Paz y su relación con los parámetros y procesos físicos.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la composición, distribución, abundancia y biomasa del zooplancton con relación al giro ciclónico de la Bahía de la Paz, B.C.S., en verano de 2004.

1.1.1. OBJETIVOS PARTICULARES

- Obtener la composición y distribución de los grandes grupos del zooplancton.
- Determinar la distribución espacial de la abundancia relativa de los grupos de zooplanctones.
- Determinar la distribución espacial de la biomasa zooplanctónica.
- Determinar la distribución espacial de la concentración de clorofila-a.
- Analizar la relación entre la composición, distribución y abundancia del zooplancton con las concentraciones de clorofila-a y con los parámetros ambientales.

CAPITULO II

AREA DE ESTUDIO

La Bahía de la Paz está ubicada entre los 24.15° y los 24.97° N y 110.30° y los 110.75° W, tiene una extensión de 90 km de largo y en su parte más ancha de 50 km. Presenta una profundidad máxima de 450 m en Cuenca Alfonso, ubicada en la parte norte de la Bahía (Fig. 2.1). En esta cuenca la capa profunda se encuentra relativamente aislada de los procesos ambientales que tienen lugar en el Golfo de California. La Bahía se comunica con el Golfo a través de Boca Grande al norte, entre la Isla Roca Partida y Punta Mechudo y al sur por el Canal de San Lorenzo. En la Bahía se tiene un régimen de lluvias de verano, con promedios anuales de precipitación de 180 mm año⁻¹ y evaporación de 300 mm año⁻¹ por lo que la evaporación excede a la precipitación, no existen descargas importantes de ríos (Jiménez-Illescas, 1983), lo que resulta en un aumento de la salinidad superficial dentro de la bahía respecto a la que se observa en cuenca de la Paz (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

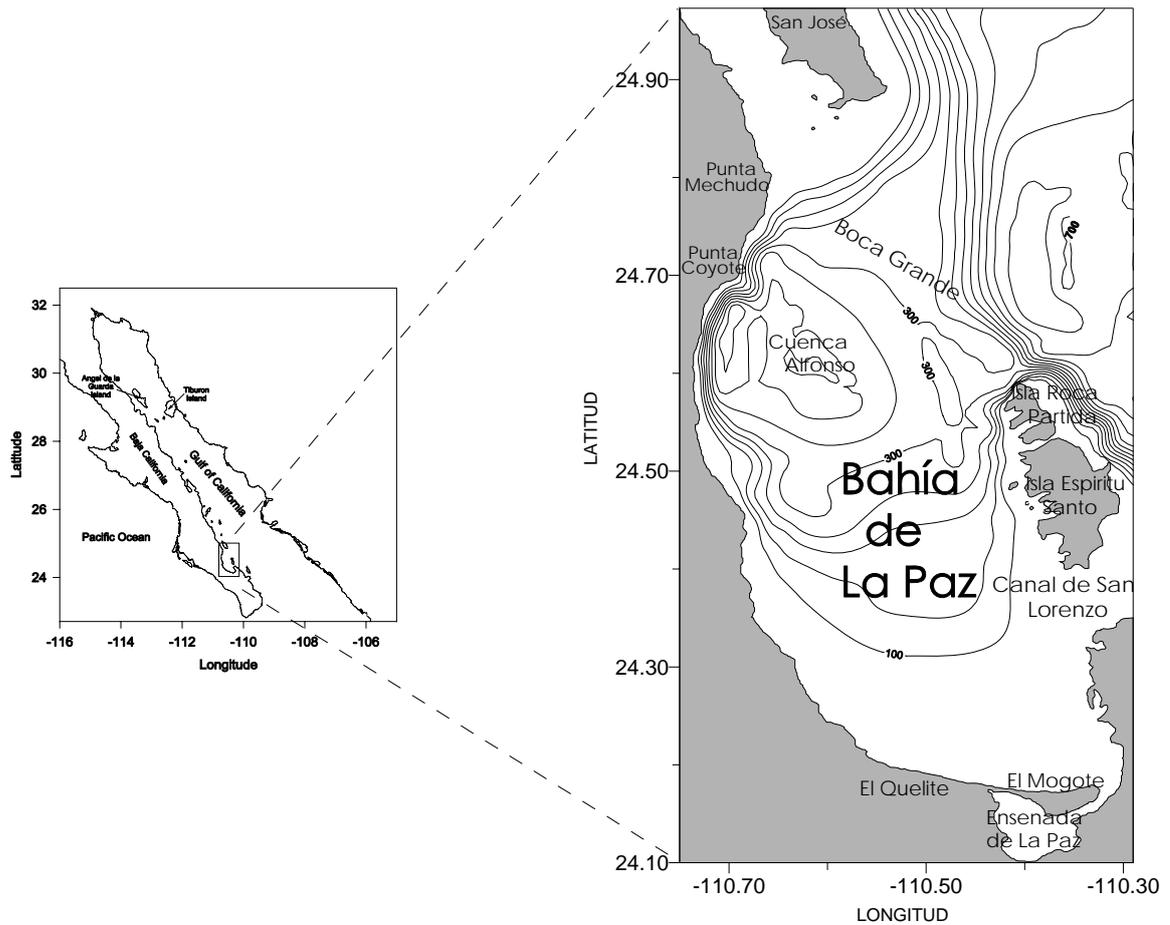


Figura 2.1. Localización del área de estudio y batimetría (m).

Durante primavera y verano, los vientos soplan del sureste y cuando son muy intensos son llamados localmente “Coromuel”. De otoño a invierno soplan del noroeste, cuando tienen grandes intensidades son conocidos localmente como “Coyas” (Monreal-Gómez *et al.*, 2001). En verano se presentan tormentas tropicales y en invierno se presentan tormentas del norte (Salinas-González *et al.*, 2003). Las calmas son frecuentes durante primavera y verano (Obeso-Nieblas *et al.*, 2002).

Durante el verano la termoclina se encuentra muy somera, aproximadamente a 20 m de profundidad. En las cercanías de la Ensenada de La Paz, las

variaciones son debidas principalmente a la marea, mientras que en boca grande son fundamentalmente debidas al intercambio con el Golfo de California (Jiménez-Illescas *et al.*, 1994). La estructura termohalina horizontal de la bahía, en octubre de 1997; noviembre de 1998 y agosto de 1999, se caracterizó como fuertemente baroclínica con una amplia zona fría en la parte oeste de Boca Grande (Salinas-González *et al.*, 2003). La circulación que se presenta en la Bahía de La Paz ha sido descrita por varios autores; Monreal-Gómez *et al.* (2001) encontraron a finales de la primavera de 1998 un giro ciclónico en la parte central de la Bahía. Mientras que Salinas-González *et al.* (2003) en otoño reportan un giro anticiclónico en el centro de la Bahía.

Obeso-Nieblas *et al.* (2002) simularon la circulación barotrópica de la Bahía a finales de primavera encontrando que está dominada por un giro anticiclónico. Durante el verano cuando los vientos del sur dominan, se presentan tres giros en la parte profunda de la bahía: dos anticiclónicos; uno frente a El Quelite y el otro frente a Punta Coyote, generando una zona de divergencia frente a la playa norte de la barrera arenosa de El Mogote y un giro ciclónico frente a la costa oeste de las Islas Espíritu Santo y Roca Partida. Cuando los vientos dominantes provienen del noroeste el flujo costero gira en sentido contrario a las manecillas del reloj, con un reflujó permanente que produce dos zonas de divergencia: una en la costa oeste de la Isla Espíritu Santo y la otra en la costa sur del Canal San Lorenzo, así como, la presencia de un giro ciclónico.

Se han reportado valores de materia orgánica en la bahía que oscilan entre 1 y 5 % (Fig. 2.2), los valores más bajos de materia orgánica (< 1.0 %) se localizan en casi toda la porción sur de la bahía y en un área pequeña en la parte

noroeste. Valores intermedios de 1 a 3 % se distribuyen en una franja curva desde el Canal de San Lorenzo hasta la parte central-oeste de la bahía, siguiendo en dirección norte hasta la altura de Isla Partida, debido a la trayectoria de las corrientes de fondo que entran por el Canal de San Lorenzo hacia la bahía (Cruz-Orozco *et al.*, 1996). Los valores altos (3 a 5 %) se encuentran frente a la Isla Espíritu Santo, que es la porción con corrientes de baja intensidad y donde no hay remoción de material (Cruz-Orozco *et al.*, 1996). En la vertical la concentración de clorofila-*a* máxima se encuentra dentro de la capa de mezcla, coincidiendo con los centros de los giros ciclónicos. Las concentraciones más bajas coinciden con el giro anticiclónico (Saavedra-Rojas, 2003).

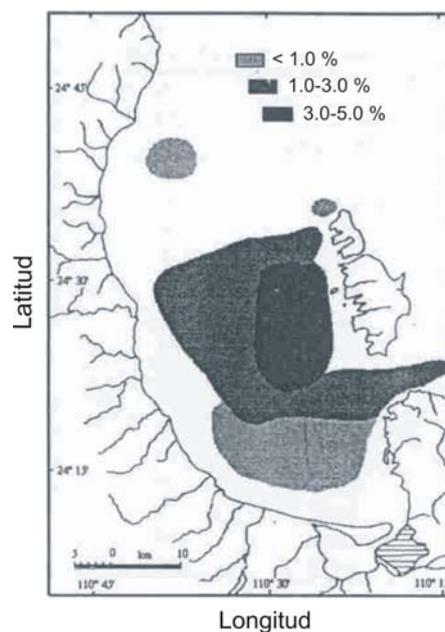


Figura 2.2. Distribución de porcentajes de materia orgánica en la Bahía de la Paz. (Tomado de Cruz-Orozco *et al.*, 1996)

Durante los periodos cálidos se presenta una termoclina muy somera y gran estratificación producto de la irradiación, registrando un máximo profundo de clorofila-*a*; mientras que en invierno, la incidencia de vientos fríos del noroeste, dan como resultado un incremento en el espesor de la capa de mezcla y se

produce un aumento de la biomasa de fitoplancton (Martínez-López *et al.*, 2001).

Saavedra-Rojas (2003) durante febrero y noviembre de 2000 en la Bahía de La Paz describió la presencia de un giro ciclónico cerca del área de Boca Grande. La concentración de los nutrientes durante febrero presentó una menor concentración de nitrato, el fosfato una mayor concentración con respecto a noviembre y la nutriclina se localizó entre los 40 y 70 metros. Encontró que la distribución vertical del oxígeno estuvo asociada con la distribución de la temperatura y con los nutrientes. Zonificó la distribución vertical de clorofila-a dentro de la bahía en tres regiones (Fig. 2.3); la primera ubicada en la región norte con un máximo somero, la segunda está asociada a la termoclina en la zona central y la última en el sur de la Bahía asociada a la mezcla.

En la bahía se ha observado la presencia de mareas rojas durante los primeros meses del año; siendo el mes de abril el de mayor densidad y causada por el dinoflagelado *Mesodinium rubrum*, considerado como fitociliado por ser autótrofo y productor primario, el cual no presenta toxicidad (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2001).

En el monte submarino EBES, en el Golfo de California, en las proximidades de la bahía, durante junio de 1999 se encontró una alta diversidad de especies de zooplancton. El monte actúa como un sustrato somero insertado dentro de una capa superficial biológicamente activa en una región oceánica, debido al proceso de refluo de la Bahía de La Paz, la cual transporta larvas y

zooplancton de regiones biológicamente diferentes a los montes submarinos (Trasviña-Castro *et al.*, 2003).



Figura 2.3. Zonificación de la Bahía de la Paz de acuerdo a la distribución vertical de clorofila-a (Tomado de Saavedra-Rojas, 2003).

En el sur de la Bahía de La Paz, en primavera se encontró una gran abundancia de zooplancton herbívoro como copépodos, mientras que en verano disminuye la densidad y se incrementa el zooplancton carnívoro. En otoño disminuyen los copépodos y en invierno hay un incremento en la comunidad zooplanctónica y un decremento en la variedad. En la bahía se presenta una mezcla de comunidades en la composición del zooplancton integrando formas de aguas templadas y subtropicales oceánicas (holoplancton), neríticas y costeras (meroplancton); así como, varias formas ticoplanctónicas (Signoret y Santoyo, 1980).

Durante la primavera se presenta una capa de mezcla de 20 m de profundidad con valores altos de oxígeno (5 ml L^{-1}) y una fuerte estratificación durante el

verano en toda la bahía. Durante la primavera el zooplancton se compone principalmente de herbívoros y copépodos. Grupos de menor tamaño como cladóceros, doloideos y apendicularios resaltaron durante esta época. Condiciones óptimas de nutrición se dan durante el invierno y prevalecen en primavera presentándose una comunidad diversa de zooplancton herbívoro y carnívoro. En verano cuando se desarrolla la estratificación, se encuentran valores bajos tanto de clorofila, como de zooplancton. En otoño, la capa superficial se empieza a enfriar forzada por los vientos y se incrementa la abundancia de diatomeas (Lavaniegos y López-Cortés, 1997).

Se ha observado que la región sur de la Bahía de La Paz presenta los valores más altos de biomasa zooplanctónica, se ha analizado la variabilidad de esta biomasa encontrando que en verano de 1997 fue menor que en 1998, debido al transporte de agua desde el Golfo de California a lo largo de la costa oeste de la bahía. Aunado a esta variación temporal, en julio de 1997 se observó que la influencia de un giro ciclónico con núcleo frío en la parte central de la bahía detectado a 50 m de profundidad, induce la escasez de estos organismos en esa área (Sánchez-Velasco *et al.*, 2004).

González-Navarro y Saldierna-Martínez (1997) describen los patrones estacionales de temperatura superficial, biomasa zooplanctónica y composición, durante los meses de febrero a agosto de 1990, febrero y de abril a junio de 1991, en toda la bahía. Estos autores encuentran que la biomasa a lo largo del año, presenta una relación positiva durante el invierno y la primavera y una relación inversa durante el verano y que se compone

principalmente por copépodos, quetognatos y eufáusidos. Así mismo, relacionaron que el máximo de la biomasa que se da durante la primavera y el principio de verano, es debido al efecto de surgencias ocasionadas por los vientos del noroeste.

Para el verano de 2001 e invierno de 2002 en la Bahía de La Paz, Sánchez-Avelar (2005) obtuvo que la distribución de la biomasa zooplanctónica en verano presentó una mayor concentración en las zonas costeras de la bahía y una menor en el centro de la bahía debido a la presencia de un giro ciclónico a 50 m de profundidad. Durante el verano se presentó una mayor concentración de oxígeno disuelto en los primeros 15 m de profundidad y una concentración menor de clorofila-*a*. Mientras que en invierno la mayor concentración de biomasa zooplanctónica se distribuyó principalmente en la porción sur de la bahía, se presentó una capa de mezcla de 100 m de profundidad con un contenido mayor de oxígeno y una concentración ligeramente mayor de clorofila-*a*.

CAPITULO III

METODOLOGIA

DATOS HIDROGRÁFICOS

Los datos hidrográficos y muestras de zooplancton fueron obtenidos durante la campaña oceanográfica Paleo XII, realizada del 14 al 18 de junio de 2004 en la Bahía de La Paz, a bordo del B/O “El Puma” de la UNAM. Se efectuaron 44 estaciones hidrográficas donde se registraron temperatura, conductividad y presión con un CTD Neil Brown Mark III. La salinidad y densidad se calcularon a partir de los datos anteriores usando los polinomios de la UNESCO (Fofonoff y Millard, 1983).

DATOS BIOLÓGICOS

Zooplancton

Se estableció una red de 30 estaciones para zooplancton (Fig.3.1). Las muestras de zooplancton se obtuvieron mediante arrastres oblicuos utilizando una red bongo con malla de 333 y 505 μm . La profundidad de arrastre fue hasta 200 m o hasta cerca del fondo según la batimetría de la estación. En las bocas de las redes se colocó un contador de flujo para determinar el volumen de agua filtrada, durante el muestreo de zooplancton la velocidad promedio del buque fue de 1 m s^{-1} (dos nudos) y el tiempo de arrastre de 15 min.

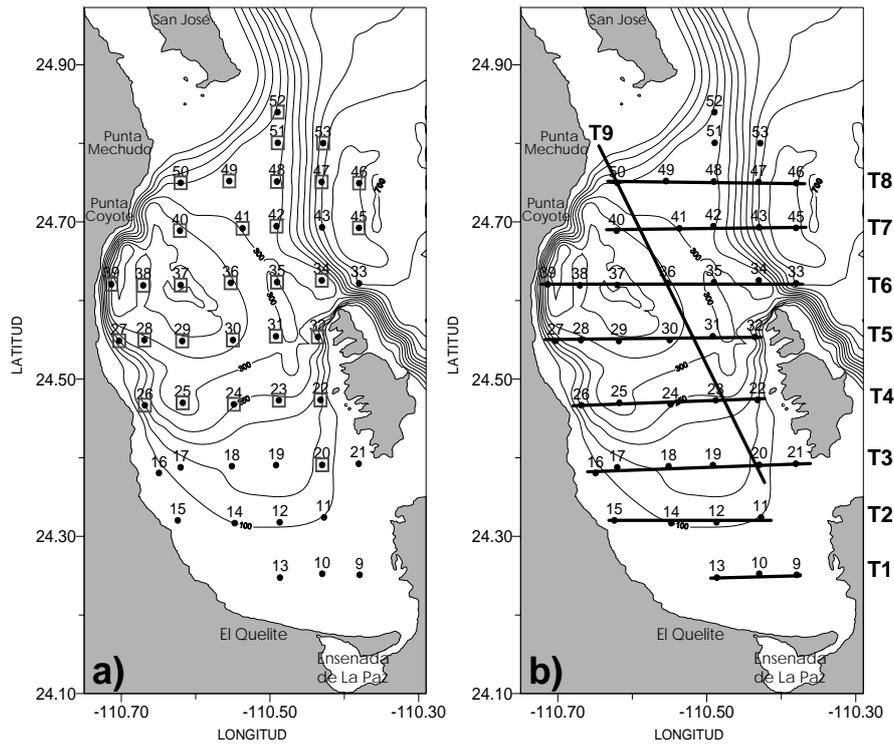


Figura 3.1. Red de estaciones hidrográficas (círculo), de muestreo del zooplancton (rectángulo) y ubicación de transectos.

Las muestras colectadas se fijaron utilizando una solución de formaldehído al 4 % en agua de mar, neutralizada con borato de sodio durante 24 h y se trasvasaron a alcohol etílico al 70 % para preservarlas. Con el fin de obtener la muestra óptima para determinar la abundancia relativa de los diversos grupos de zooplanctones, los cuales fueron identificados de acuerdo a Tregouboff (1957), se fraccionó la muestra hasta en 1/236 para construir la curva que muestra el punto donde ya no existe variación en el número de grupos en la muestra. Como resultado se obtuvo que 1/32 de fracción de muestra es el óptimo (Fig. 3.2), coincidiendo con Longhurst y Seibert (1967), para muestras con bajo contenido de zooplancton. En este estudio se utilizó 1/32 para muestra con alto contenido de organismos y 1/8 para aquellas con bajo contenido (Fig.3.2).

Para obtener la abundancia relativa de los diversos grupos de zooplanctones se fraccionaron las muestras en 1/32 de la muestra total (Fig. 3.2). La abundancia obtenida de los grupos del zooplancton se normalizó y estandarizó a un volumen filtrado de 100 m³.

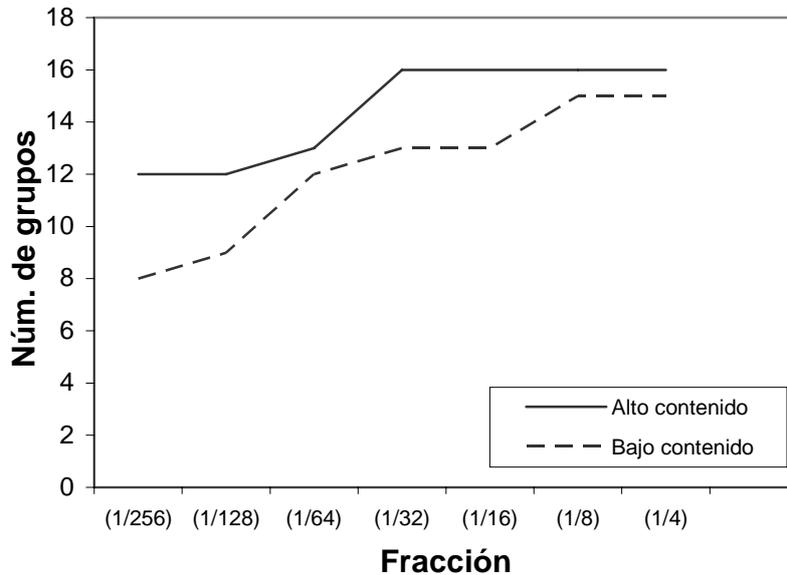


Figura 3.2. Curva para determinar la fracción óptima para determinar la abundancia relativa de los diversos grupos de zooplanctones. Mayor abundancia de organismos (—) y menor abundancia de organismos en la muestra (- - -)

En el laboratorio se determinó la biomasa zooplanctónica como peso húmedo y volumen desplazado, sometiendo cada muestra a un sistema de filtrado por succión a fin de extraer el líquido intersticial de las muestras. Una vez obtenido el peso húmedo y el volumen filtrado en la red se obtuvo la biomasa en g 100 m³ mediante la relación (Zavala-García y Flores-Coto, 1989):

$$Biomasa\ Zooplanctónica\ (g\ 100\ m^3) = \frac{Peso\ Neto\ (g)}{Volumen\ filtrado\ (m^3)} \times 100 \quad (1)$$

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

$$\text{Log}_{10}(DW) = 2.107 + 1.053 \text{Log}_{10}(WW) \quad (2)$$

donde DW es el peso seco y WW el peso húmedo. Esta transformación se hace debido a que el peso seco tiene una relación casi lineal con la cantidad de carbono que es una variable de mayor interés, en términos ecológicos.

Para calcular la abundancia como individuos por metro cúbico (ind m^{-3}) se consideró el número de submuestras (n) de la muestra, número de organismos (k) en la submuestra y el volumen de agua filtrada en la red (v) en m^3 mediante la siguiente relación (Harris *et al.*, 2000):

$$\text{Ind m}^{-3} = \left(\frac{n \times k}{v} \right) \quad (3)$$

Clorofila-a

Se utilizó un perfilador de fluorescencia natural (PNF-300 de Biospherical) para obtener valores de fluorescencia, Radiación fotosintética disponible (PAR), clorofila-a *in situ*, los cuales se transformaron a concentración de clorofila-a mediante (Kiefer y Chamberlin, 1989):

$$F_c = \frac{(\phi_c / \phi_f)_{\max} \times F_f \times k_{cf}}{k_{cf} + E_0(\text{PAR})} \quad (4)$$

donde:

F_c = Tasa fotosintética instantánea

ϕ_c = Producción de fotosíntesis natural (g C fijado / Einst absorbido)

ϕ_f = Fluorescencia natural producida (Einst emitido / Einst absorbido)

F_f = Fluorescencia natural (Einst m⁻³ s⁻¹)

k_{cf} = Coeficiente de atenuación difusa (m⁻¹)

E_0 = Irradiancia Escalar (Einst m⁻² s⁻¹)

(*PAR*)= Radiación fotosintética disponible

La relación entre la concentración de clorofila-a y la fluorescencia natural está determinada por el coeficiente de fluorescencia natural, la cantidad de fluorescencia natural producida por el fitoplancton y el coeficiente promedio de absorción específica del fitoplancton (Kiefer *et al.*, 1989).

El perfilador de fluorescencia natural es un sistema diseñado para medir la radiación fotosintética disponible (*PAR*) y calcular la fluorescencia natural del fitoplancton que es estimulada por la luz del sol disponible. Este perfilador contiene una serie de programas integrados con los cuales se calcula la concentración de clorofila-a mediante la ecuación (4).

DATOS QUIMICOS

Nutrientes

Se utilizó una roseta de General Oceanics equipada con botellas Niskin para obtener muestras de agua a diferentes profundidades de la columna de agua. Las muestras para el análisis de fósforo reactivo soluble (Murphy and Riley 1962), amonio (Solórzano 1969), nitrito, nitrato y silicatos (Strickland and Parson 1972) se depositaron en botellas de polipropileno después de filtrarse en membranas de nitrocelulosa de 0.45 y 0.22 μm (Millipore tipo HA), se mantuvieron congelados hasta 48 horas para su análisis en un autoanalizador de flujo-segmentado continuo Skalar San-plus.

Oxígeno disuelto

La obtención y preservación de las muestras para la determinación de oxígeno disuelto se realizaron mediante el método Winkler, así con las recomendaciones de Strickland y Parsons (1972) y de Grasshoff (1983) para submuestras de volúmenes pequeños. Los reactivos que se utilizaron se prepararon de acuerdo a Strickland y Parsons (1972) utilizando sales de grado analítico.

La concentración de oxígeno disuelto se calculó mediante la relación (Strickland y Parsons, 1972):

$$\text{mg-at } O_2 \text{ l}^{-1} = 0.1006 \times f \times V \quad (5)$$

$$O_2(ml^{-1})=11.2 \times mg-at O_2 l^{-1} \quad (6)$$

donde:

f = factor del tiosulfato, que varia según la concentración

V = volumen de tiosulfato gastado (ml)

Con esta información se realizó un análisis de correlación canónica para identificar las variables relacionadas con la biomasa zooplanctónica, abundancia como individuos, clorofila-a, temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y nutrientes con la profundidad de la capa de la termoclina.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. TOPOGRAFÍA DE LAS ISOTERMAS DE 15 Y 20 ° C

El análisis de la topografía de la isoterma de los 15 °C (Fig.4.1.a) muestra que ésta se encuentra mas somera en el centro de la bahía, formando un domo. La parte más superficial se encuentra a 60 m de profundidad ubicándose entre las estaciones 30, 31 y 36; la profundidad de la isoterma va aumentando en forma concéntrica generando una superficie elíptica que abarca gran parte de la bahía hasta alcanzar los 75 m de profundidad en sus extremos. La forma de domo que presenta la isoterma sugiere una estructura típica de un giro ciclónico. La topografía de la isoterma de los 20 °C, temperatura donde se encuentra la termoclina, confirma la existencia de un giro ciclónico; esta superficie isotérmica tiene una profundidad máxima de 30 m en Boca Grande. La menor profundidad de esta superficie isoterma se localiza entre las estaciones 37, 41 y 30. En esta topografía no se observa una forma de domo tan marcada como en la superficie de la isoterma de 15 °C, en ésta el giro ciclónico se presenta en forma de lengua cercana a Boca Grande. A los lados de este domo la isoterma de 20 °C se hunde, frente a isla Roca Partida en la estación 32 y en la región de Boca Grande, alcanzando una profundidad de 30 m. En la parte sur oeste de la Bahía entre 24.30 y 24.50 °N se encuentra otra área de hundimiento de la isoterma con una profundidad de 19 m. La estructura ciclónica se aprecia mejor definida en la

topografía de la isoterma de 15 °C, que se encuentra debajo de la termoclina, debido a que existen menores variaciones.

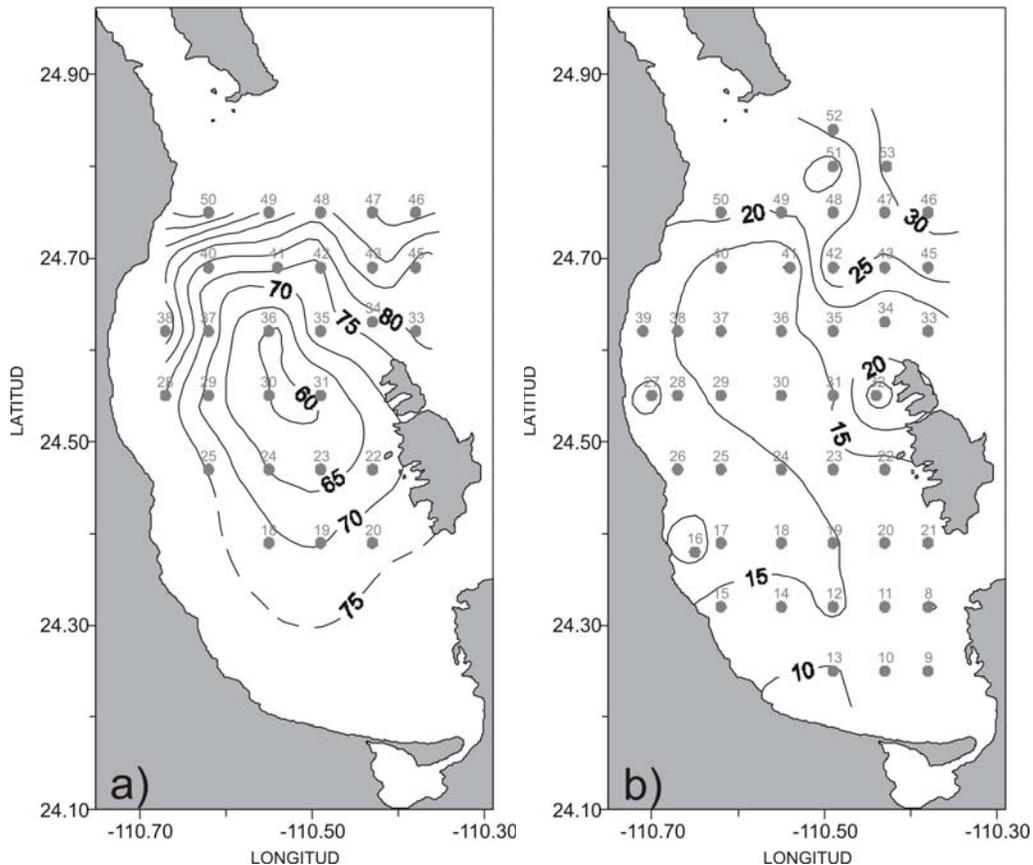


Figura 4.1. Topografía (m) de la isoterma de: a) 15 °C y b) 20 °C. Cada isolínea representa 5 m de profundidad. Los puntos indican las estaciones hidrográficas.

4.2. SECCIONES VERTICALES

En este apartado se analiza la variación vertical de los parámetros abióticos a través de transectos que fueron definidos en la figura (3.1.b). En la sección vertical de temperatura del transecto T4, ubicado entre las estaciones 26 y 22 (Fig. 4.2.a), se observa la distribución vertical de la temperatura con una estructura que permite identificar el giro ciclónico en la capa a partir de 20 m de profundidad. El

domo se observa con mayor intensidad entre los 20 y 50 m. Por debajo de los 50 m de profundidad, la estructura de domo no es tan evidente, por lo que en las siguientes figuras se analiza la variación sólo hasta los 50 m de profundidad.

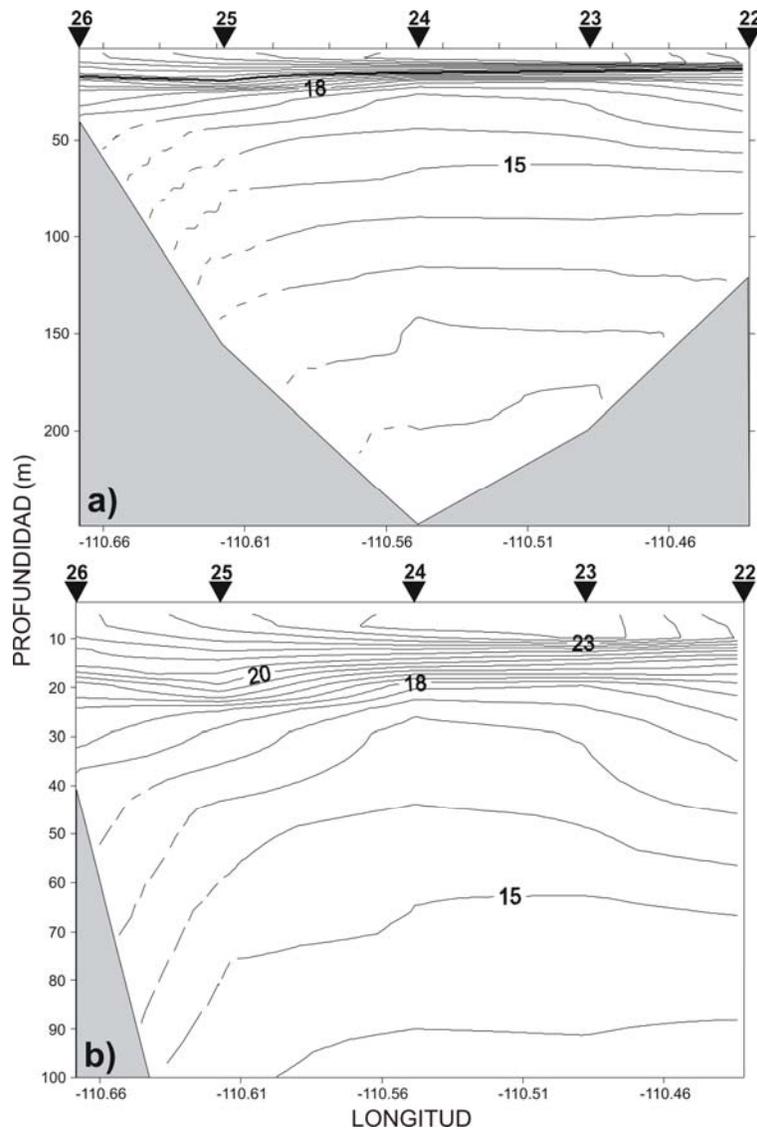


Figura 4.2. Sección vertical de temperatura (°C) transecto T4, entre las estaciones 26 y 22 en la capa superficial de los a) 250 m y b) 100 m de profundidad. En la parte superior se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

La temperatura muestra un ascenso de las isotermas en la estación 24 muy evidente en la isoterma de 16 °C que va de 50 a 30 m en la estación 25 a la 24 (Fig. 4.3.a)

La salinidad también muestra un ascenso de la isohalina de 35 desde los 50 hasta los 15 m de profundidad (Fig. 4.3.b). A los 22 m se expande presentando una forma de hongo con centro en la estación 24 y extensión hasta la estación 25 que se encuentra cercana a la costa oeste de la bahía; por el otro lado llega hasta la estación 23, donde esta divergencia se da a los 16 m de profundidad; en la estación 24 llega hasta los 15 m.

En la capa superficial de 50 m la densidad que se presenta en el transecto T4, entre las estaciones 26 y 22 (Fig. 4.3.c), varía entre los 23.90 y 25.80 kg m⁻³ y se muestra bien definido el giro ciclónico mediante el ascenso de agua de mayor densidad hacia la superficie en el centro de la sección vertical, específicamente en la estación 24.

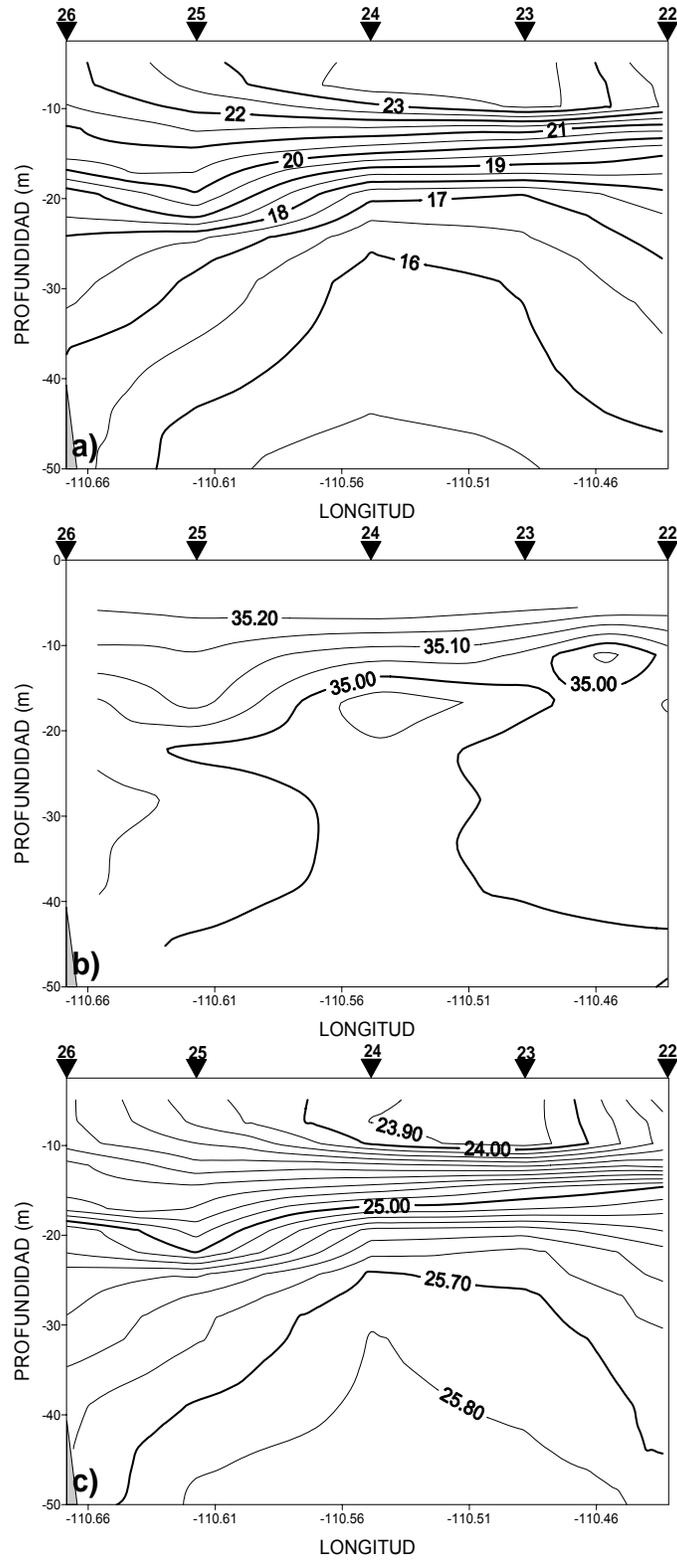


Figura 4.3. Sección vertical del transecto T4, entre las estaciones 26 y 22, a) temperatura (°C), b) salinidad y c) densidad (kg m⁻³). En la parte superior se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

En el transecto T5 que comprende las estaciones 27 a 32, las isotermas también muestran el ascenso de agua más fría hacia la superficie, representando de esta manera la estructura del giro ciclónico; en este caso con máxima elevación en la estación 30 que se encuentra a la misma longitud que la estación 24. En la estación 32 se ve el hundimiento de las isotermas (Fig. 4.4.a)

La salinidad de 35 en este transecto (Fig. 4.4.b) muestra con mayor claridad el ascenso, en la estación 30 donde asciende hasta 9 m de la superficie.

La densidad en la capa de los 50 m (Fig. 4.4.c) tiene valores entre los 24.00 y 25.80 kg m⁻³ teniendo un intervalo menor que en el transecto T4.

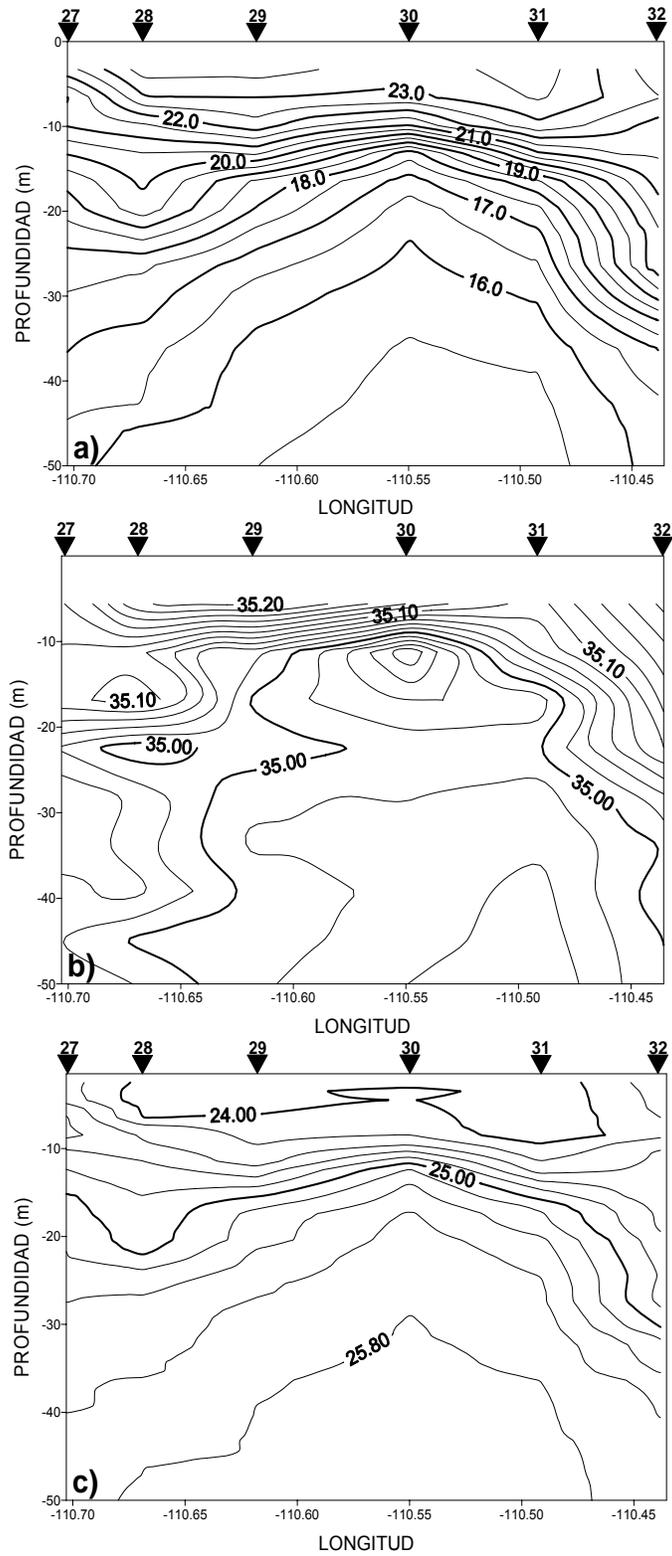


Figura 4.4. Sección vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad y c) densidad (kg m⁻³) entre las estaciones 27 y 32, transecto T5. En la parte superior se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

En lo que corresponde a la temperatura en el transecto T1 (estaciones 9, 10 y 13) (Fig. 4.5.a), se observa en la capa superficial una forma de lengua entre las estaciones 9 y 10. Entre los 10 y 15 m las isotermas indican la presencia de la capa de la termoclina. En el transecto T2 (estaciones 11, 12, 14 y 15) (Fig. 4.5.b), se presenta una intrusión de agua fría en la estación 11 que se encuentra cercana al Canal de San Lorenzo entre los 10 y 20 m. El transecto T3 (estaciones 16 a 21) (Fig. 4.5.c) muestra un ascenso de agua fría desde los 40 m alcanzando los 20 m de profundidad entre las estaciones 19 y 20. La distribución de la temperatura en los transectos T4 (estaciones 22 a la 26) y T5 (estaciones 27 a la 32) se describieron anteriormente en las figuras 4.3 y 4.4. A lo largo del transecto T6 (estaciones 33 a la 39) (Fig. 4.5.d) se observa un ascenso de agua fría de mayor profundidad en la estación 37 y un descenso de las isotermas en la estación 35. En el transecto T7 (estaciones 40 a 45) (Fig. 4.5.e) se observa un ascenso de las isotermas en la estación 41 y un descenso muy marcado en la estación 43 la cual puede ser debida a la presencia del umbral. En el transecto T8 (estaciones 46 a la 50) (Fig. 4.5.f), se observa un hundimiento de las isotermas debido a que esta zona se encuentra frente a la Boca Grande y fuera de la Bahía, por lo que la batimetría juega un papel importante.

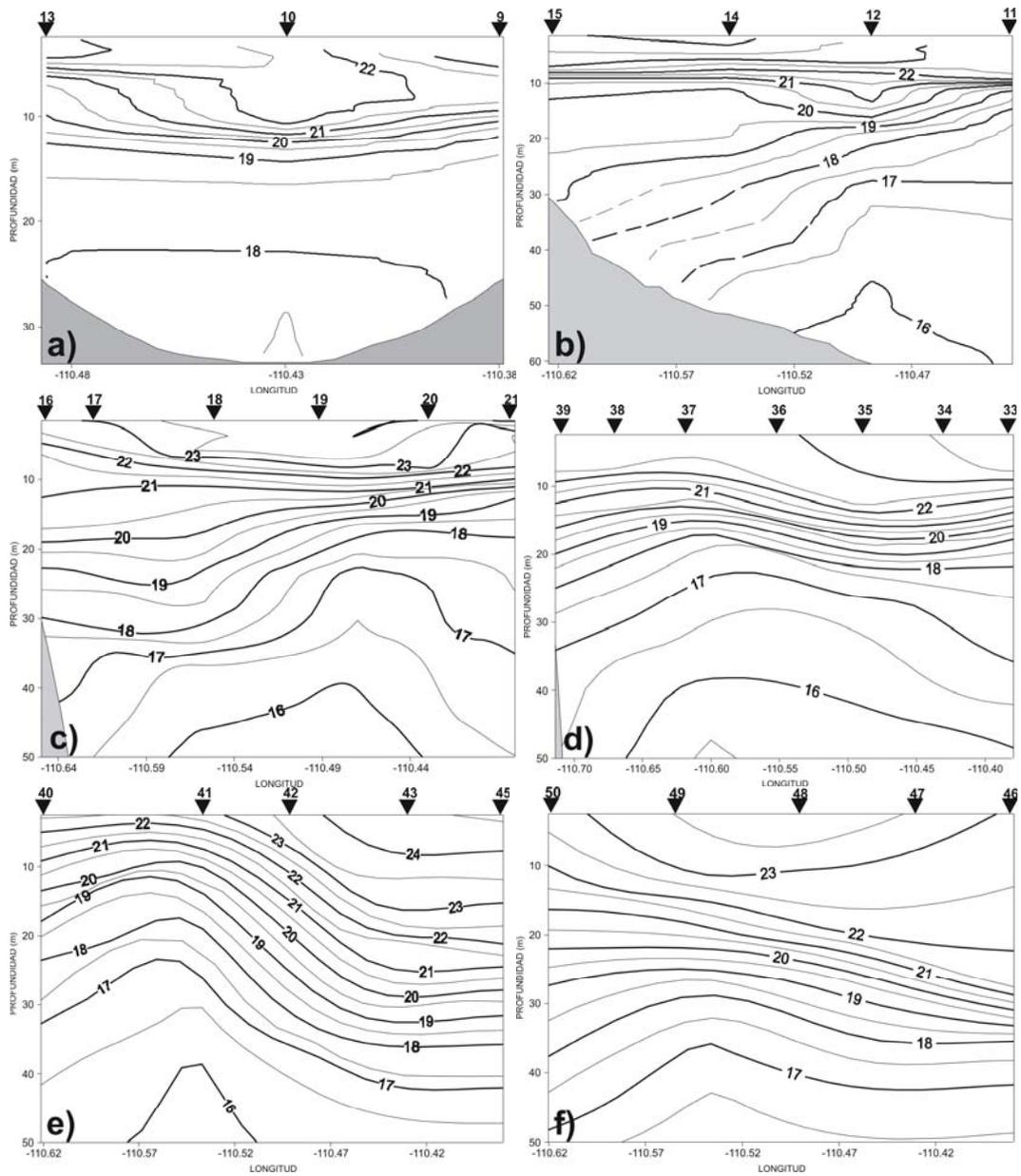


Figura 4.5. Secciones verticales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) por transectos a) T1, b) T2, c) T3, d) T6, e) T7, f) T8. En la parte superior se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

En la figura 4.6 se puede observar la distancia que abarca el giro ciclónico en el transecto T9 orientado de Noroeste a Sureste, en el cual se ve que presenta aproximadamente 35 km de semi eje mayor de la elipse, abarcando gran parte de la bahía. Se observa nuevamente la forma de domo localizando el centro del giro

entre las estaciones 36 y 20, mientras que en la estación 50 sólo se observa el ascenso de agua más fría hasta los 20 m de profundidad.

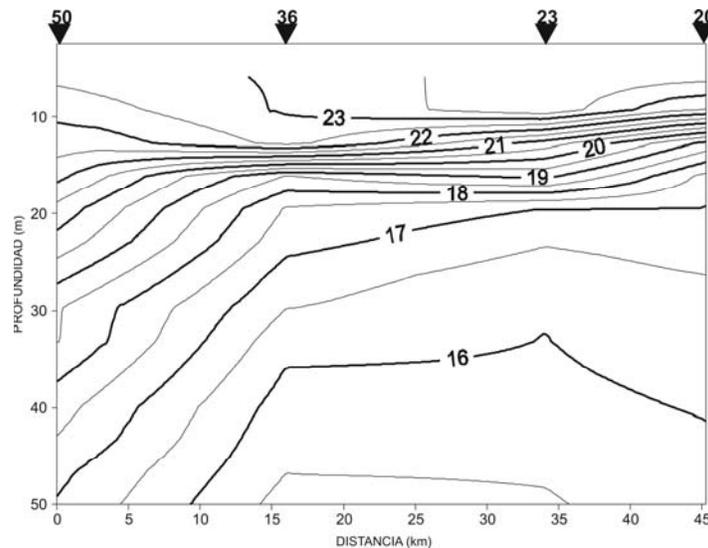


Figura 4.6. Distancia que abarca el giro ciclónico de acuerdo a las Isolíneas de temperatura (°C). En la parte superior se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

4.3. PERFILES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y DENSIDAD

Los perfiles de temperatura, salinidad y densidad relativa (σ_t) (Fig. 4.7), en las estaciones que se encuentran en el centro del giro ciclónico muestran que la capa de la termoclina, haloclina y pycnoclina en la estación 30 se encuentran muy someros, aproximadamente entre los 8 y 13 m de profundidad, en la estación 31 entre los 10 y 15 m y en la estación 36 a los 13 y 18 m. En la estación 32 las clinas se localizan entre los 31 y 37 m y en la estación 42 entre los 32 y 37 m de profundidad. Estas estaciones coinciden con las dos pequeñas áreas donde las isoterma presentan un hundimiento.

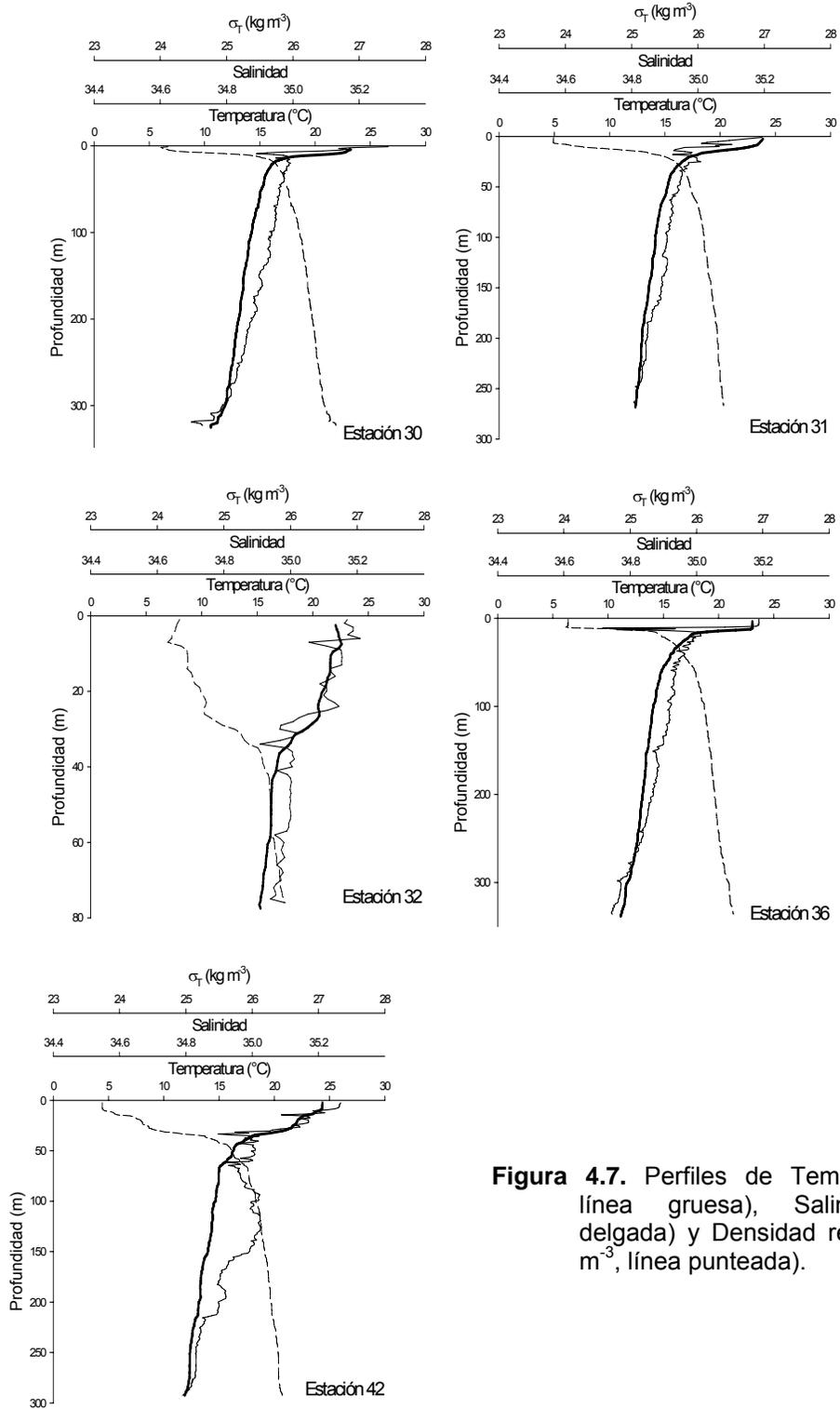


Figura 4.7. Perfiles de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, línea gruesa), Salinidad (línea delgada) y Densidad relativa (σ_t , kg m^{-3} , línea punteada).

4.4. NUTRIENTES

La distribución de los fosfatos en la sección vertical del transecto T5, en el cual se manifiesta el centro del giro, muestra que hay un ascenso de las isolíneas a partir de la estación 28 y que la isolínea de 1.5 μM de fosfatos llega hasta la superficie en la estación 30, después de ésta se presenta un descenso hacia la estación 31 (Fig. 4.8.a, b, d). La concentración de los fosfatos varía entre 1 y 4 μM . Los nitratos, en este mismo transecto, presentan el ascenso de las capas con mayor concentración hacia la superficie a partir de la estación 28, como en el caso del fosfato la isolínea de 15 μM asciende 20 m en la estación 30 con respecto a la profundidad en la que se encuentra en la estación 29, en la estación 31 se da el descenso de las isolíneas (Fig 4.8.b). La concentración de los nitratos va de 1 a 19 μM incrementándose con la profundidad. Los nitritos, varían de una concentración de 0.2 a 1 μM con un núcleo de altas concentraciones alrededor de la estación 30, principalmente entre las profundidades de 10 y 30 m (Fig 4.8.c). Los silicatos varían entre 4 y 22 μM , en la sección vertical este nutriente (Fig. 4.8.d) tiene una distribución muy similar a la de los nitratos, que a su vez coincide con la configuración de las isopícnas.

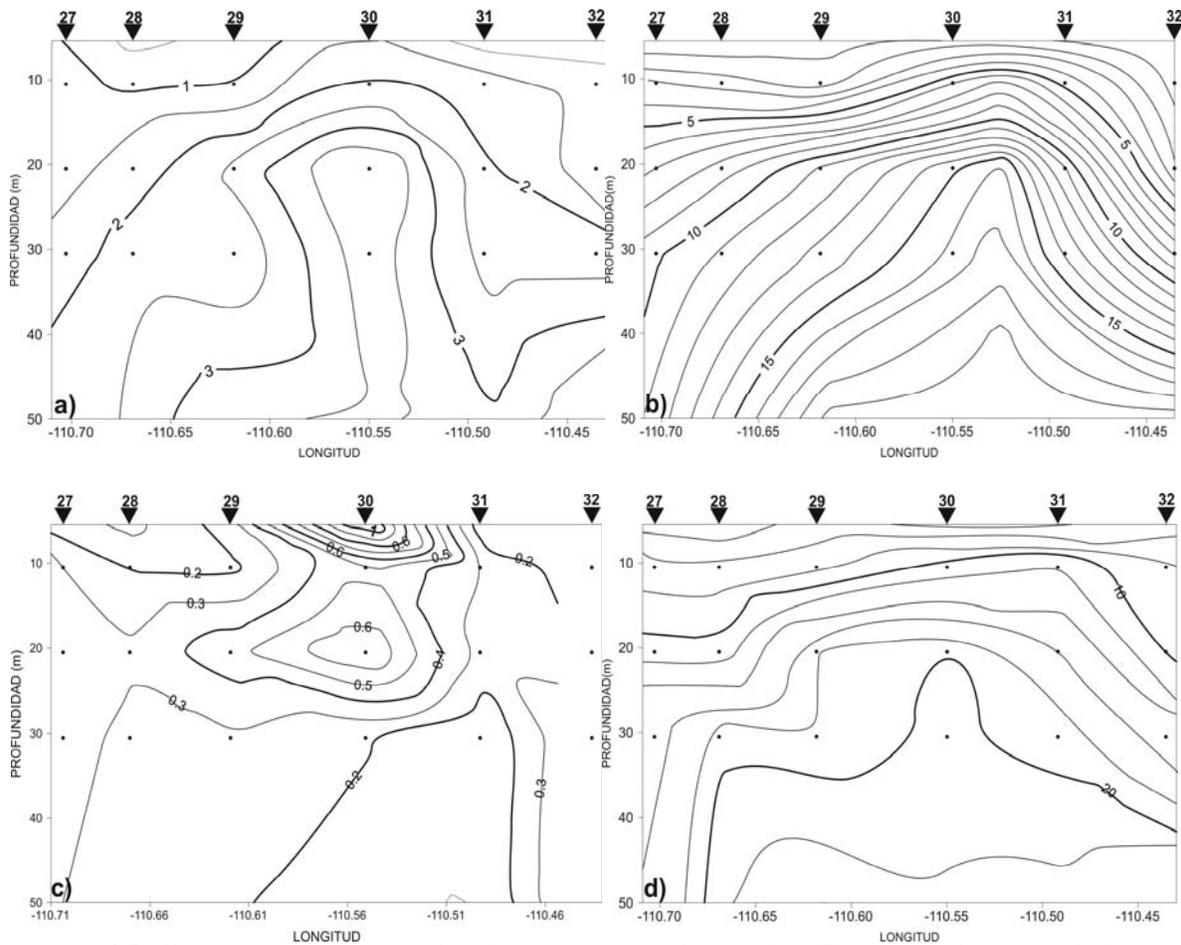


Figura 4.8. Sección vertical de nutrientes (μM) en el transecto T5. a) Fosfatos, b) Nitratos, c) Nitritos y d) Silicatos. En la parte superior se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

En el transecto T9 la concentración de fosfatos presenta valores de 1 a 4 μM (Fig 4.9.a), con una distribución que presenta una mayor concentración en la estación 36 donde las isolíneas de 4 μM alcanzan los 30 m, posterior a este punto se presenta un descenso en toda la columna de agua. Los nitratos varían entre 1 y 22 μM y presentan también, un ascenso en las isolíneas de mayor concentración de nitratos (Fig 4.9.b). La distribución de los nitritos presenta dos núcleos localizados en la estación 23 y en la estación 50, donde se tienen los valores más altos siendo éstos alrededor de 0.5 μM (Fig. 4.9.c). A partir de los 40 m de profundidad la

isolínea de 0.5 μM de nitritos presenta un ascenso hasta alcanzar los 20 m de profundidad en la estación 20.

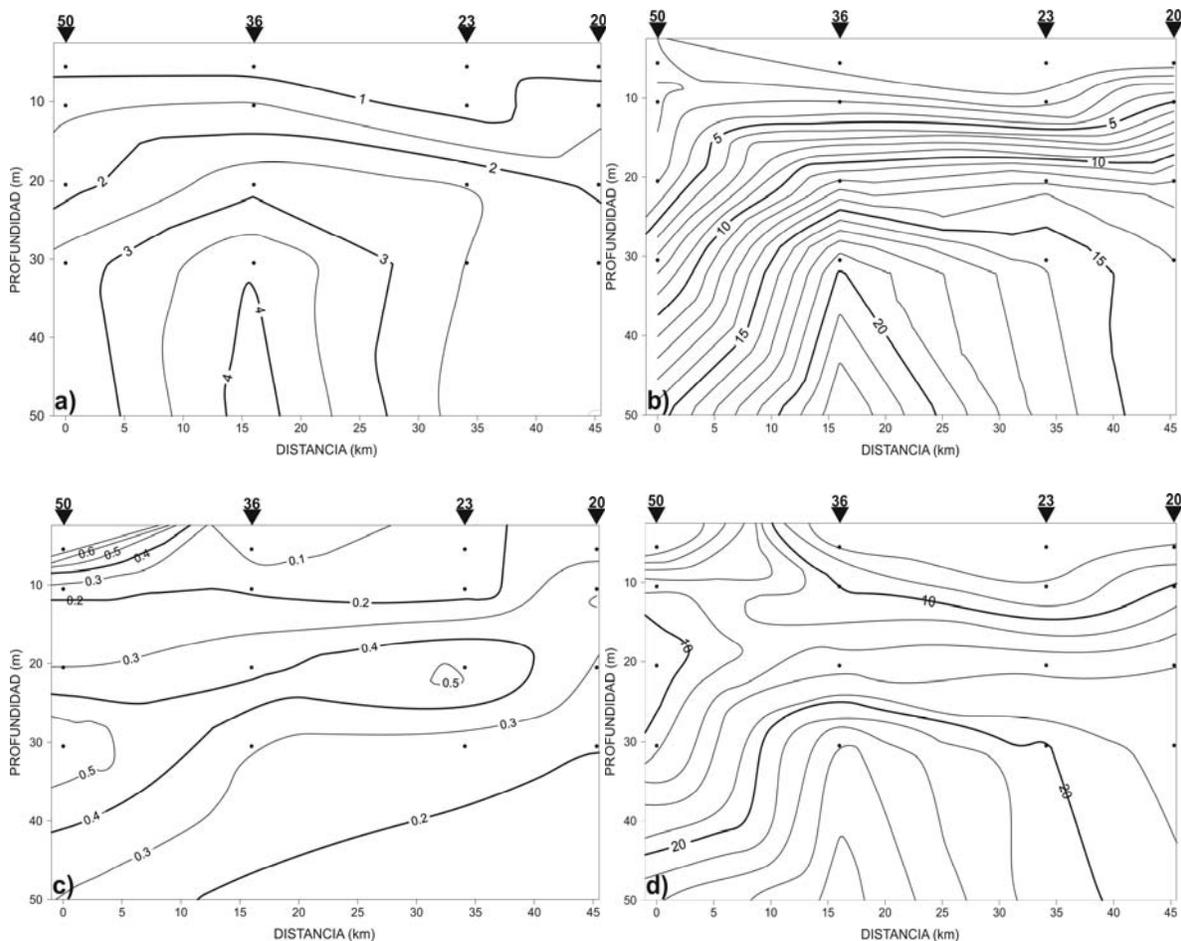


Figura 4.9. Sección vertical de nutrientes (μM) en el transecto T9. a) Fosfatos, b) Nitratos, c) Nitritos y d) Silicatos. En la parte superior se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

Los silicatos presentan valores de 5 a 24 μM (Fig 4.9.d). En este caso se observa una distribución en forma de domo como en el caso de los nitratos, aunque menos pronunciado. En la estación 50 se da un ligero hundimiento de la isolíneas y una menor concentración de silicatos (Fig 4.9.d).

La distribución de oxígeno disuelto (Fig 4.10) oscila entre 1.5 y 8.5 mg L⁻¹. El oxígeno decrece con la profundidad, tanto en el transecto T5 como en el transecto T9 en los cuales se observa una distribución en forma de domo con centro en la estación 30 en el transecto T5 (Fig. 4.10.a) y 23 en el transecto T9 (Fig. 4.10.b), en ambos casos la isolínea de 2 mg L⁻¹ se eleva hasta una profundidad de 20 m.

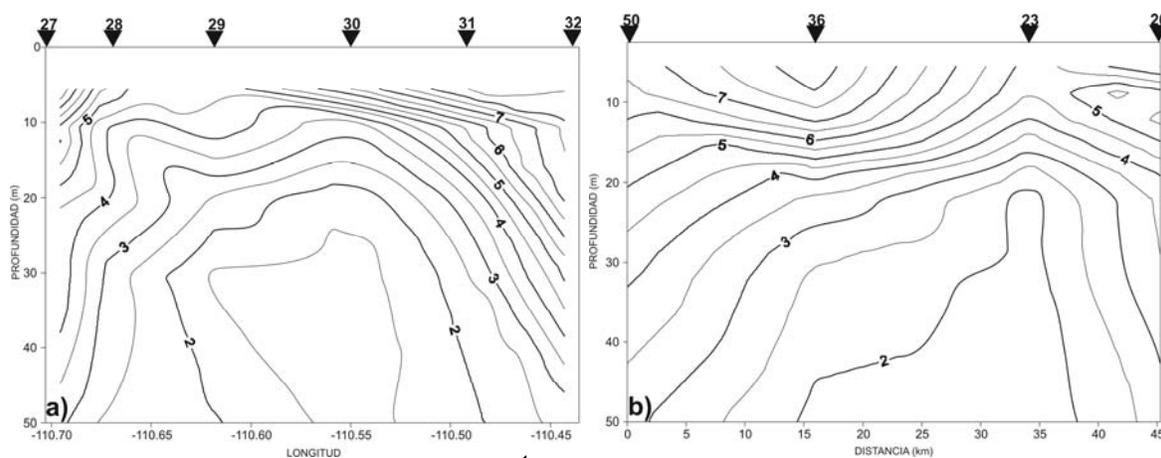
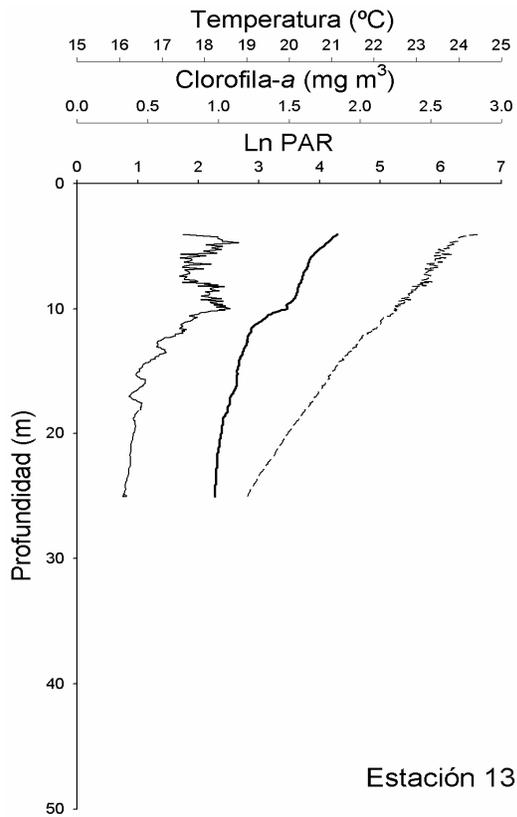


Figura 4.10. Distribución de oxígeno (mg L⁻¹) en la capa de 50 m en a) transecto T5 y b) transecto T9. En la parte superior se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

4.5. PERFILES DE CLOROFILA-a E IRRADIANZA

Los perfiles verticales de clorofila-a en la estación 13 que corresponde al transecto T1, presentan dos máximos de clorofila-a, el primero a 5 m con valor de 1.1 mg m^{-3} y el segundo a 9 m de profundidad con valor de 1.0 mg m^{-3} (Fig. 4.11.a). En las estaciones 11, 12, 14 y 15 que corresponden al transecto T2, ubicado al sur de la Bahía, el máximo se localizó en los primeros 10 m de profundidad (Fig 4.11.b). A excepción de la estación 17 donde el máximo se localizó a 5 m de profundidad (Fig. 4.11.c) en las estaciones 17, 18 y 19 que corresponden al transecto T3, se presenta el máximo de clorofila-a a los 15 m de profundidad con valores de 0.8 y 1.0 mg m^{-3} a excepción de la estación 16 que no presenta un máximo marcado. La estación 26, que pertenece al transecto T4, presenta el máximo de clorofila-a a 5 m de profundidad siendo este de 0.9 mg m^{-3} (Fig. 4.11.d). En las estaciones 27, 28, 29, 30 y 31 del transecto T5, el cual coincide con el centro del giro, los máximos van de 0.8 a 2.5 mg m^{-3} de clorofila-a y se presenta entre los 15 y 20 m de profundidad, a excepción de la estación 27 que se encuentra cerca de la costa oeste de la bahía el máximo se localizó a los 5 m de profundidad (Fig. 4.11.d). En las estaciones 36, 37, 38 y 39 que corresponden al transecto T6, se observaron valores máximos de clorofila-a de 0.9 a 2.5 mg m^{-3} entre los 10 y 15 m de profundidad en todo el transecto (Fig. 4.11.e). Para el transecto T7 se tienen sólo las estaciones 40 y 41 que se localizan en el área de Boca Grande, en las cuales el valor máximo de clorofila-a es de 1.1 mg m^{-3} a 10 m de profundidad (Fig. 4.11.e). Para las estaciones del transecto T8 el máximo fue de 0.8 a 2.1 mg m^{-3} y se localizó entre los 5 y 20 m de profundidad, siendo las estaciones localizadas en

el golfo, las que presentaron el valor máximo a una mayor profundidad (Fig. 4.11.f). Los valores máximos de clorofila-a se presentan en las estaciones del centro de la bahía y en la capa superficial de los 15 m aproximadamente, lo cual coincide con el centro del giro ciclónico.



Estación 13

Figura 4.11.a. Perfiles verticales de clorofila-a (mg m^{-3} , línea continua), irradianza ($\ln \text{PAR}$, línea punteada) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$, línea gruesa) en el transecto T1.

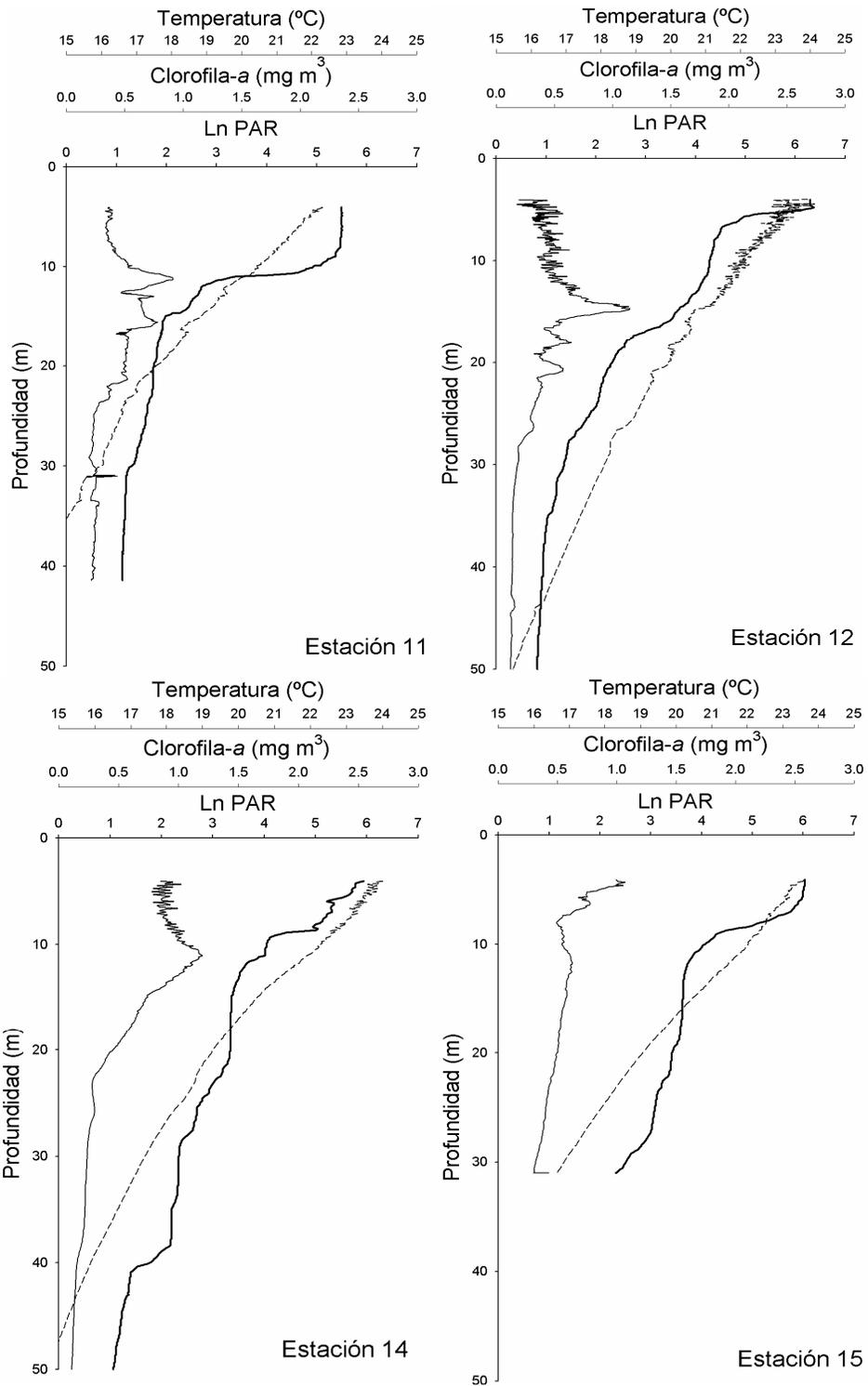


Figura 4.11.b. Perfiles verticales de clorofila-a (mg m^{-3} , línea continua), irradianza (Ln PAR , línea punteada) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$, línea gruesa) en el transecto T2.

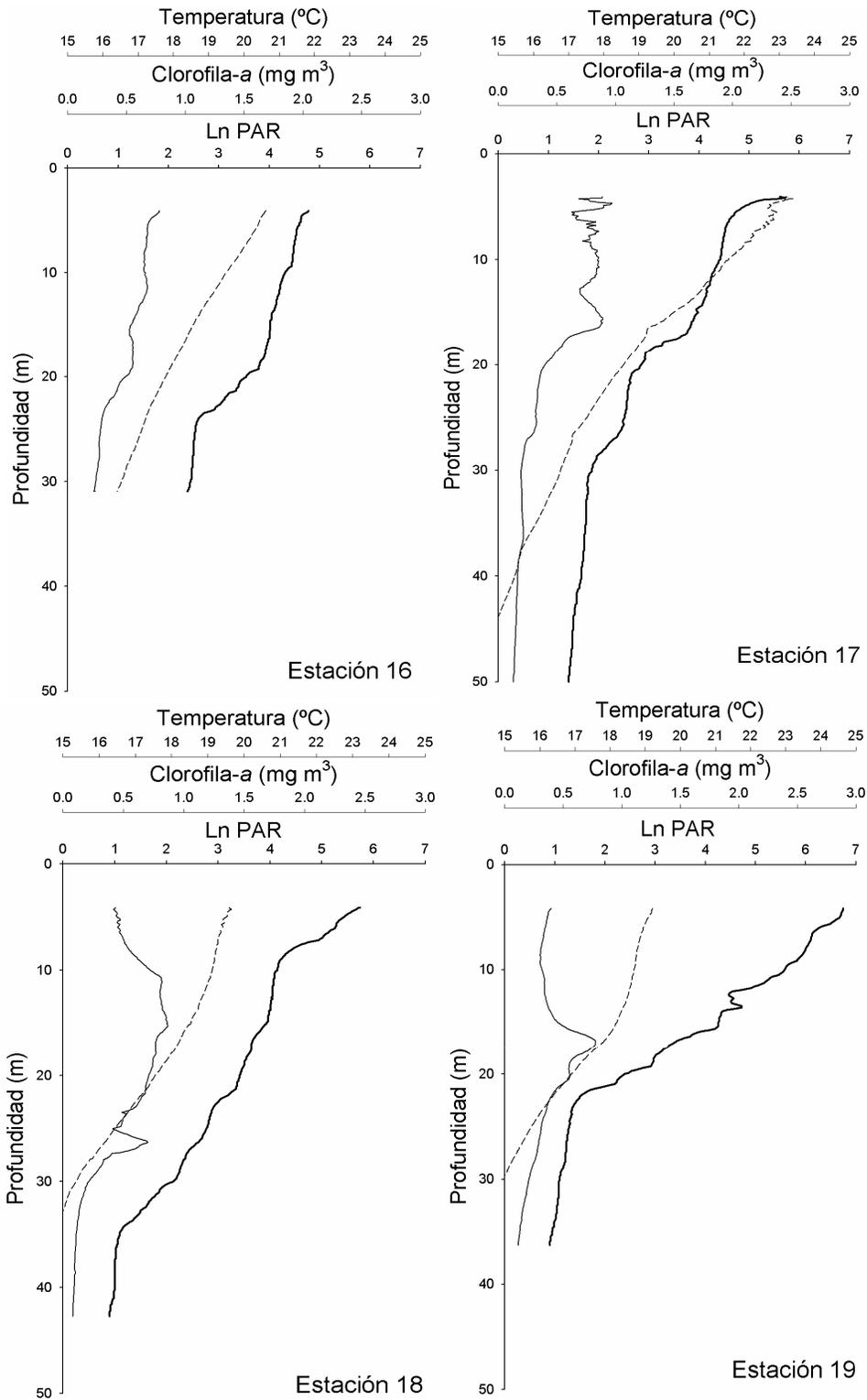


Figura 4.11.c. Perfiles verticales de clorofila-a (mg m^{-3} , línea continua), irradianza (Ln PAR , línea punteada) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$, línea grues) en el transecto T3.

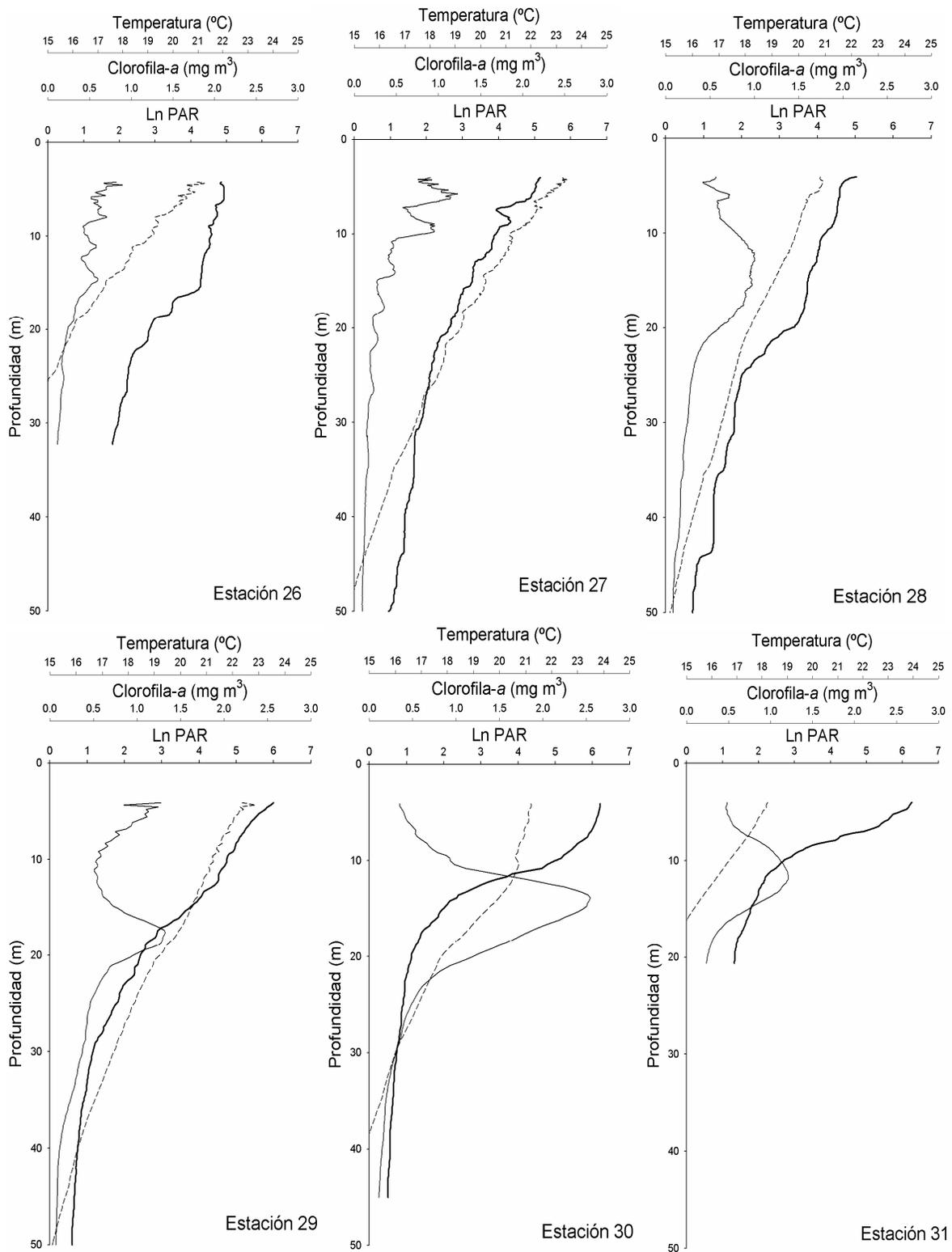


Figura 4.11.d. Continuación. Perfiles verticales de clorofila-a (mg m^{-3} , línea continua), irradiancia (Ln PAR, línea punteada) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$, línea gruesa) en el transecto T4 y T5.

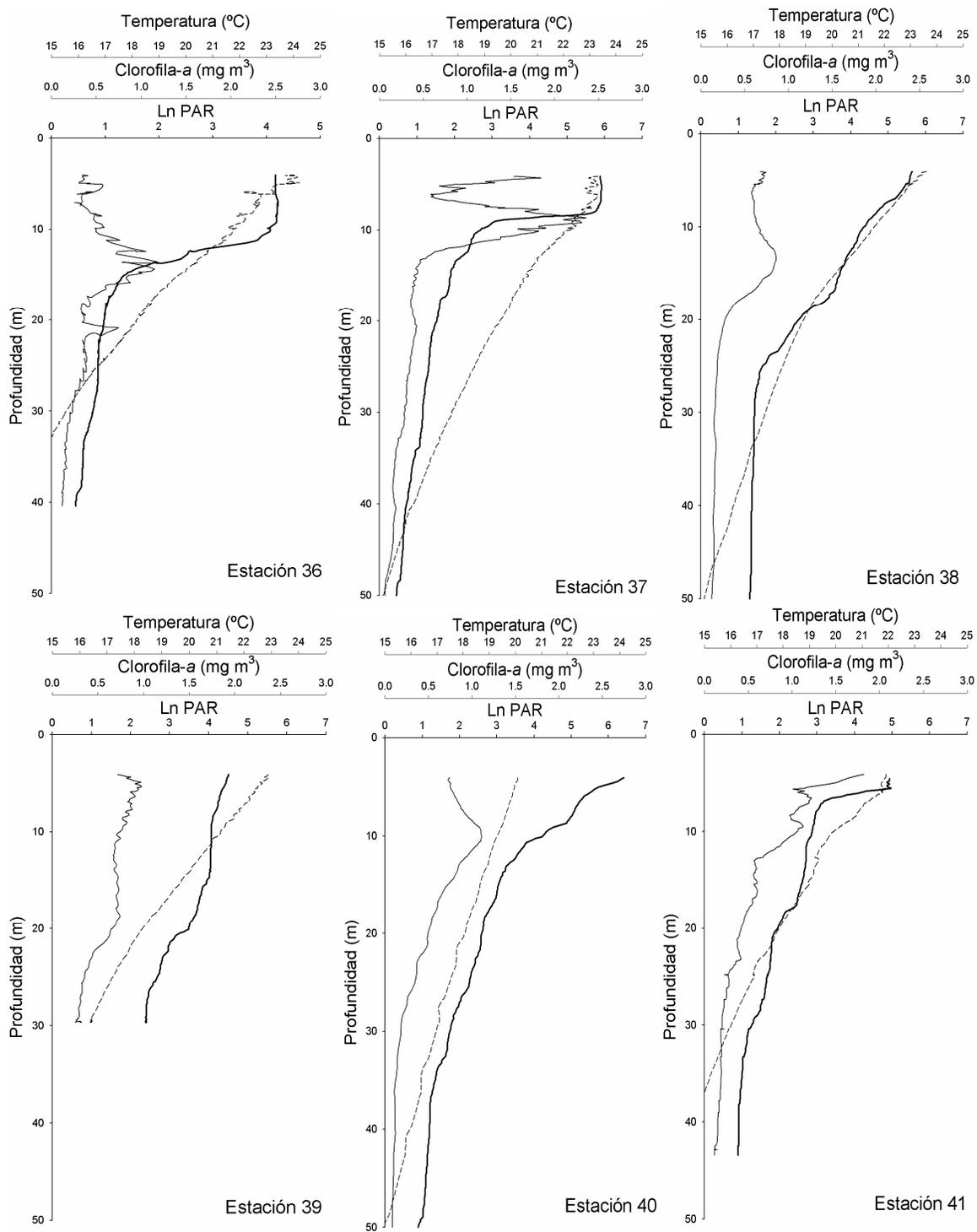


Figura 4.11.e. Perfiles verticales de clorofila-a (mg m^{-3} , línea continua), irradianza ($\ln \text{PAR}$, línea punteada) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$, línea gruesa) en el transecto T6 y T7.

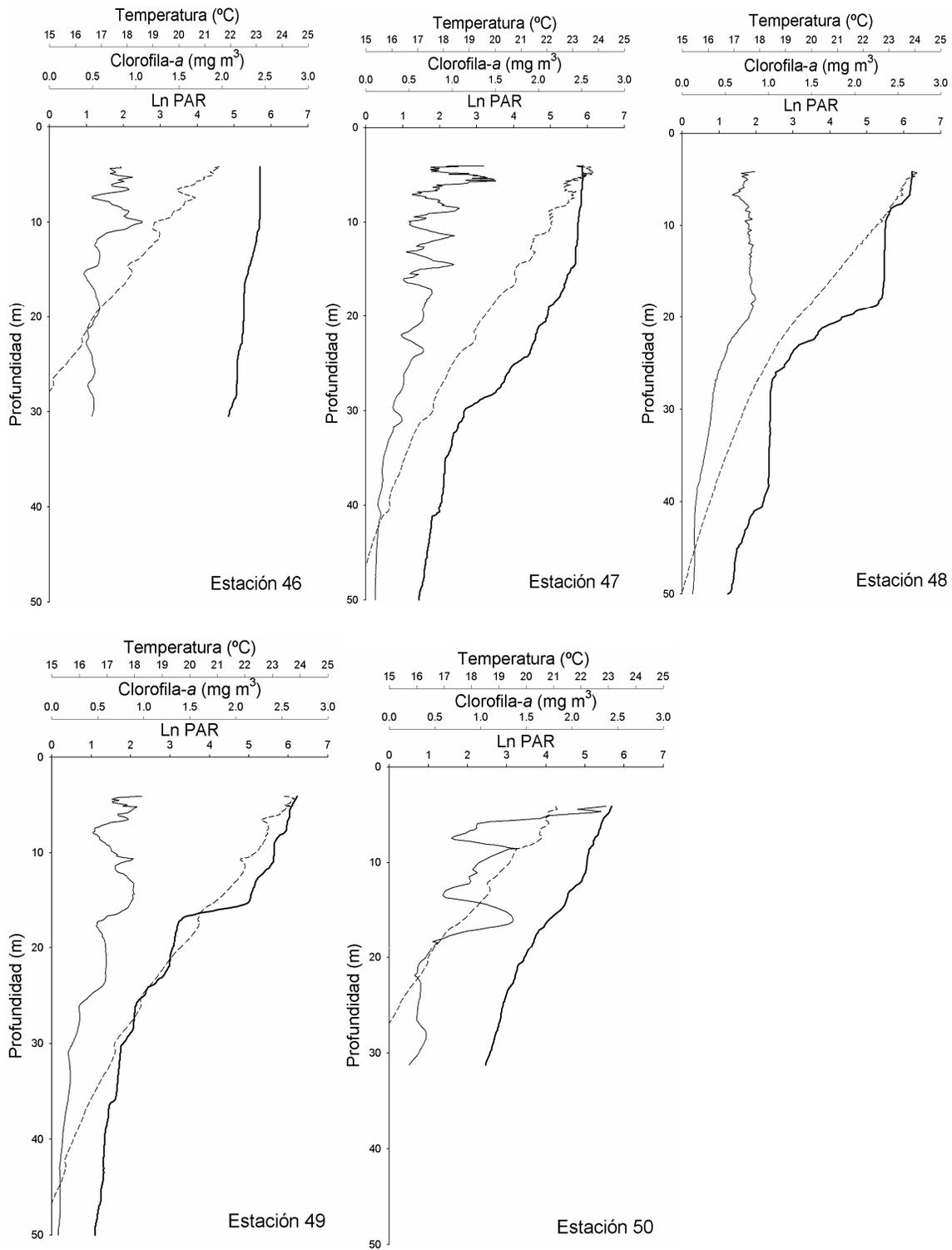


Figura 4.11.f. Perfiles verticales de clorofila-a (mg m^{-3} , línea continua), irradianza (Ln PAR , línea punteada) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$, línea gruesa) en el transecto T8.

La distribución de la clorofila-a integrada presenta valores que van de 17 a 33 mg m⁻² (Fig. 4.12), los máximos se localizan en dos regiones; en la parte central de la bahía, frente a la isla Roca Partida en forma concéntrica y en el área de Boca Grande, en tanto que en la parte sur la clorofila presenta valores menores estando estos alrededor de 17 mg m⁻². En general la distribución de clorofila-a muestra sus máximos en el centro del giro ciclónico y en Boca Grande, siguiendo la distribución de la isoterma de los 20 °C.

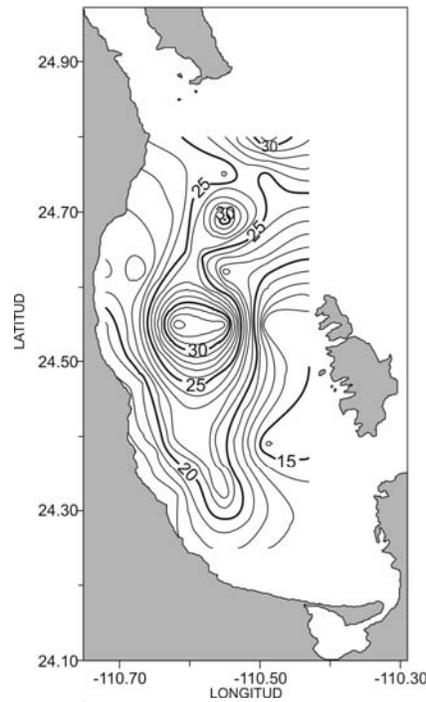


Figura 4.12. Concentración de clorofila-a integrada verticalmente (mg m⁻²). Intervalo de contorno de 1 mg m⁻².

4.6. COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA DE ZOOPLANCTON

De las muestras obtenidas con la red de 505 µm se han identificado 24 grupos de zooplancton (Tabla 1). Los grupos más abundantes, en términos de individuos en

cien metros cúbicos ($\text{ind} / 100 \text{ m}^3$), fueron los cladóceros, copépodos, sifonóforos, quetognatos y larvas de crustáceos.

En cuanto a la distribución de la biomasa en peso húmedo y peso seco obtenida de las muestras de la red de $333 \mu\text{m}$ (Fig. 4.13. a y c), ésta presenta los valores más altos en torno al giro ciclónico. En la parte central del giro la biomasa es menor mientras que en la periferia de éste se acumula, así como, en el área de Boca Grande.

Los valores más altos de la biomasa obtenidos con la red de $505 \mu\text{m}$ (Fig. 4.13. b y d) se localizan cerca de las costas, en la parte central de la Bahía y en el área de Boca Grande, en tanto que en el área de la periferia del giro ciclónico esta biomasa es menor.

La distribución para cada grupo del zooplancton, se presenta como número de individuos en 100 m^3 junto con la topografía de la isoterma de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (Fig. 4.14). En general, la distribución de los grupos del zooplancton presenta una mayor densidad en la zona de Boca Grande, en las estaciones ubicadas en el área del Golfo de California.

Tabla 1. Grupos de zooplancton presentes en las muestras obtenidas con la red de 505 μm por orden de abundancia.

1. Cladóceros	13. Misidáceos
2. Copépodos	14. Poliquetos
3. Sifonóforos	15. Ictioplancton
4. Quetognatos	16. Cirripédios
5. Larvas de Crustáceos	17. Hidromedusas
6. Salpas	18. Heterópodos
7. Eufáusidos	19. Asteroidea
8. Pterópodos	20. Camarón (Penéidos)
9. Ostrácodos	21. Anfípodos
10. Foraminífera	22. Ctenóforos
11. Apendicularia	23. Doloideos
12. Medusas	24. Cefalópodos

Los quetognatos, pterópodos, foraminíferos, medusas, poliquetos, cirripédios, heterópodos y camarones peneidos presentan los valores más altos de densidad frente a la costa oeste de la bahía y en el área de Boca Grande (Fig. 4.14. d, h, j, l, n, p, r, t), mientras que en la región que comprende el centro del giro los cladóceros, sifonóforos, larvas de crustáceos, salpas, apendicularias presentan el mayor número de individuos (Fig. 4.14. a, c, e, f y k).

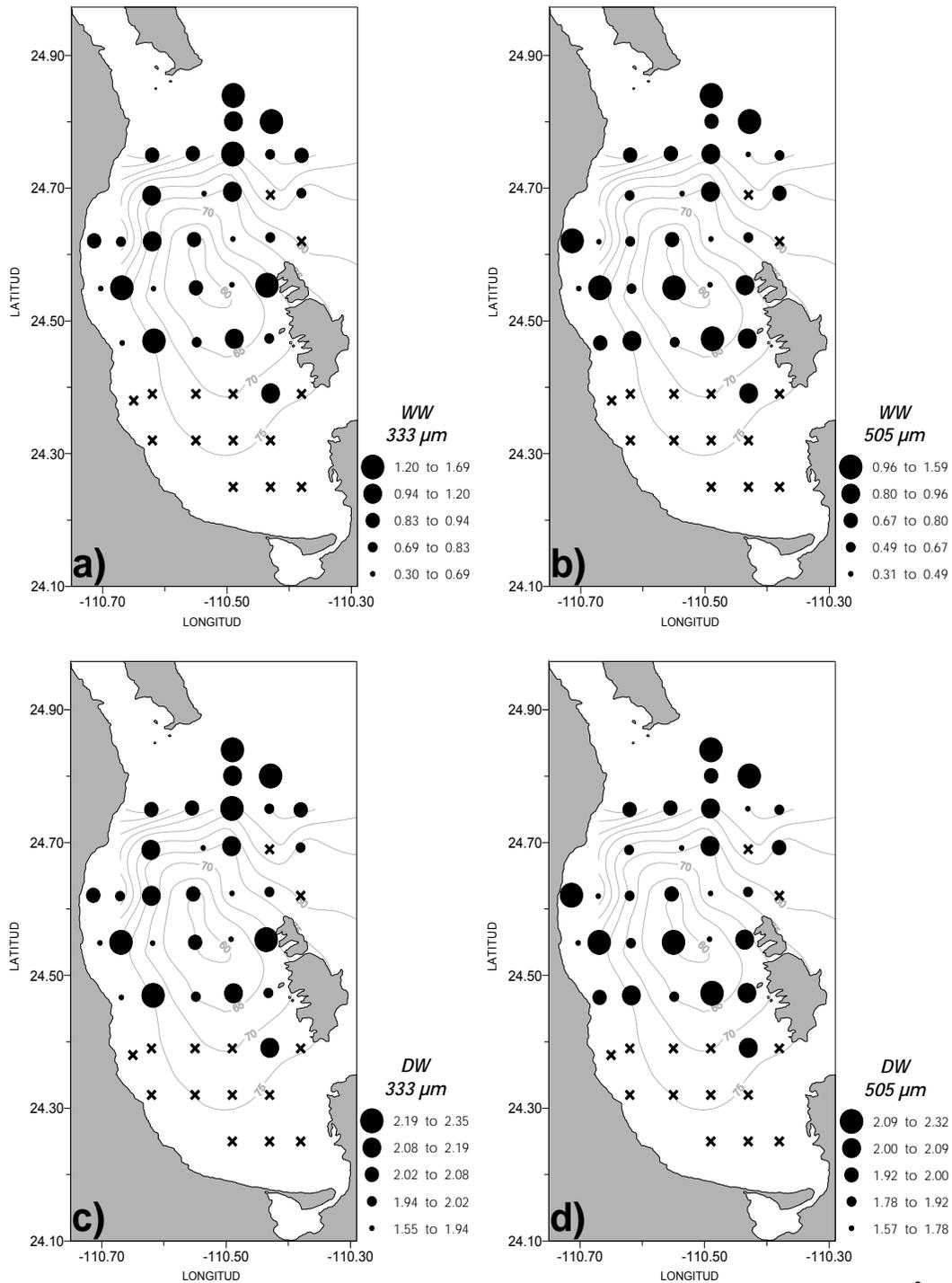


Figura 21. Distribución de la Biomasa zooplanctónica en a) peso húmedo ($\text{g} / 100 \text{m}^3$) de las muestras obtenidas con la red de $333 \mu\text{m}$, b) peso húmedo ($\text{g} / 100 \text{m}^3$) de las muestras obtenidas con la red de $505 \mu\text{m}$, c) peso seco ($\text{mg} / 100 \text{m}^3$) de las muestras obtenidas con red de $333 \mu\text{m}$ d) peso seco ($\text{mg} / 100 \text{m}^3$) de las muestras obtenidas con red de $505 \mu\text{m}$. Las líneas representan la topografía de la isoterma de los 15°C .

Frente a la costa de las islas Roca Partida y Espíritu Santo, los eufáusidos presentan mayor densidad (Fig. 4.14. g). Los grupos que presentan el mayor número de individuos frente a la costa oeste de la bahía y frente a las islas Roca Partida y Espíritu Santo son copépodos, ostrácodos, misidáceos, ictioplancton, anfípodos y ctenóforos (Fig. 4.14 b, i, m, o, u, v). El número mayor de hidromedusas y asteroidea (Fig. 4.14 q, s) se encuentra al norte de la bahía en la costa oeste, así como, en el área de Boca Grande. El grupo de los doloideos presenta su máximo número de individuos en la parte sur de la bahía, frente a las islas Roca Partida y Espíritu Santo (Fig. 4.14 w), mientras que los cefalópodos solo se presentan en el área de Boca Grande (Fig 4.14 x).

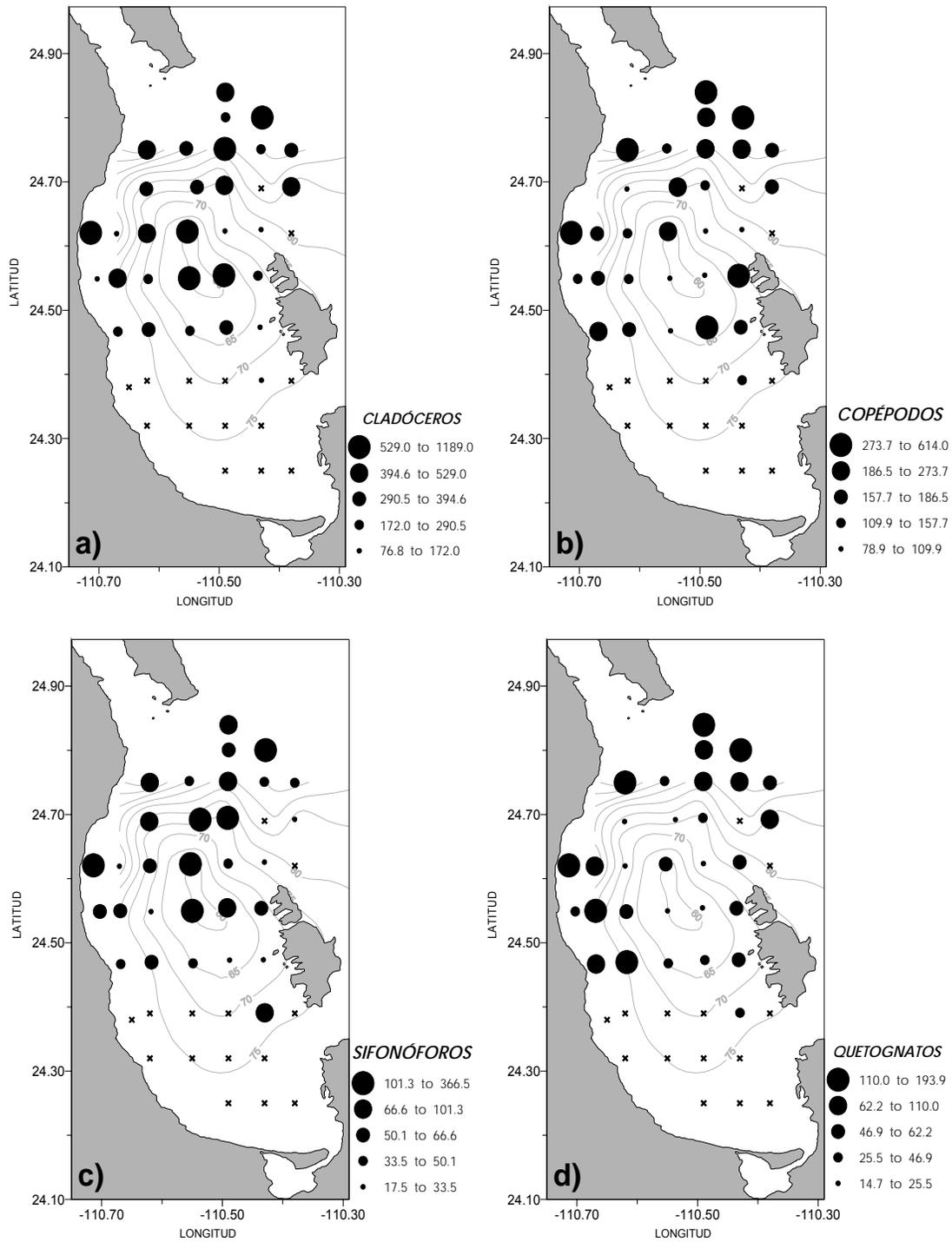


Figura 4.14. Distribución del número de individuos (ind / 100 m³) de cada grupo identificado. Las líneas son la topografía (m) de la isoterma de 15 °C

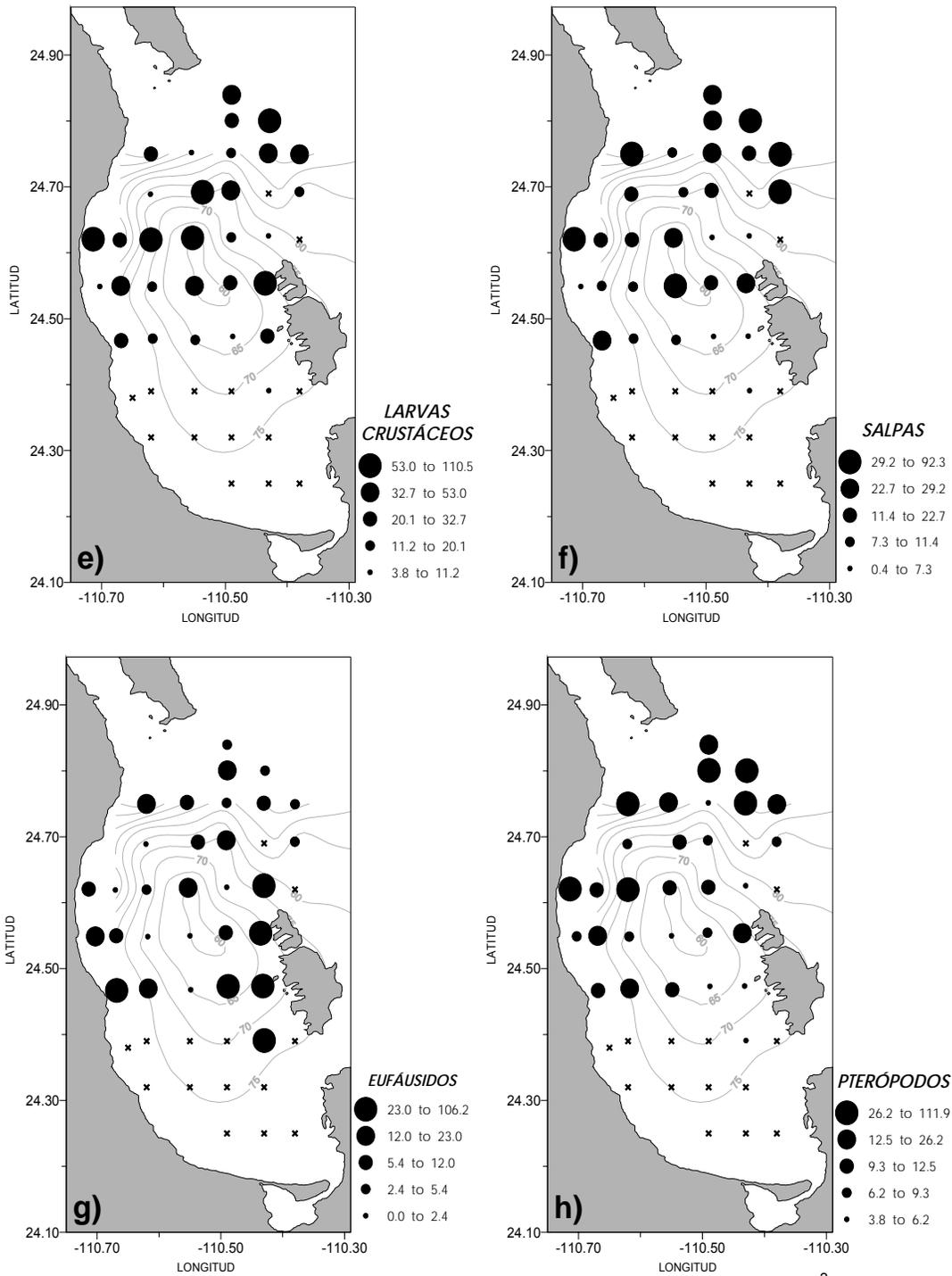


Figura 4.14. Continuación. Distribución del número de individuos (ind / 100 m³) de cada grupo identificado. Las líneas son la topografía (m) de la isoterma de 15 °C

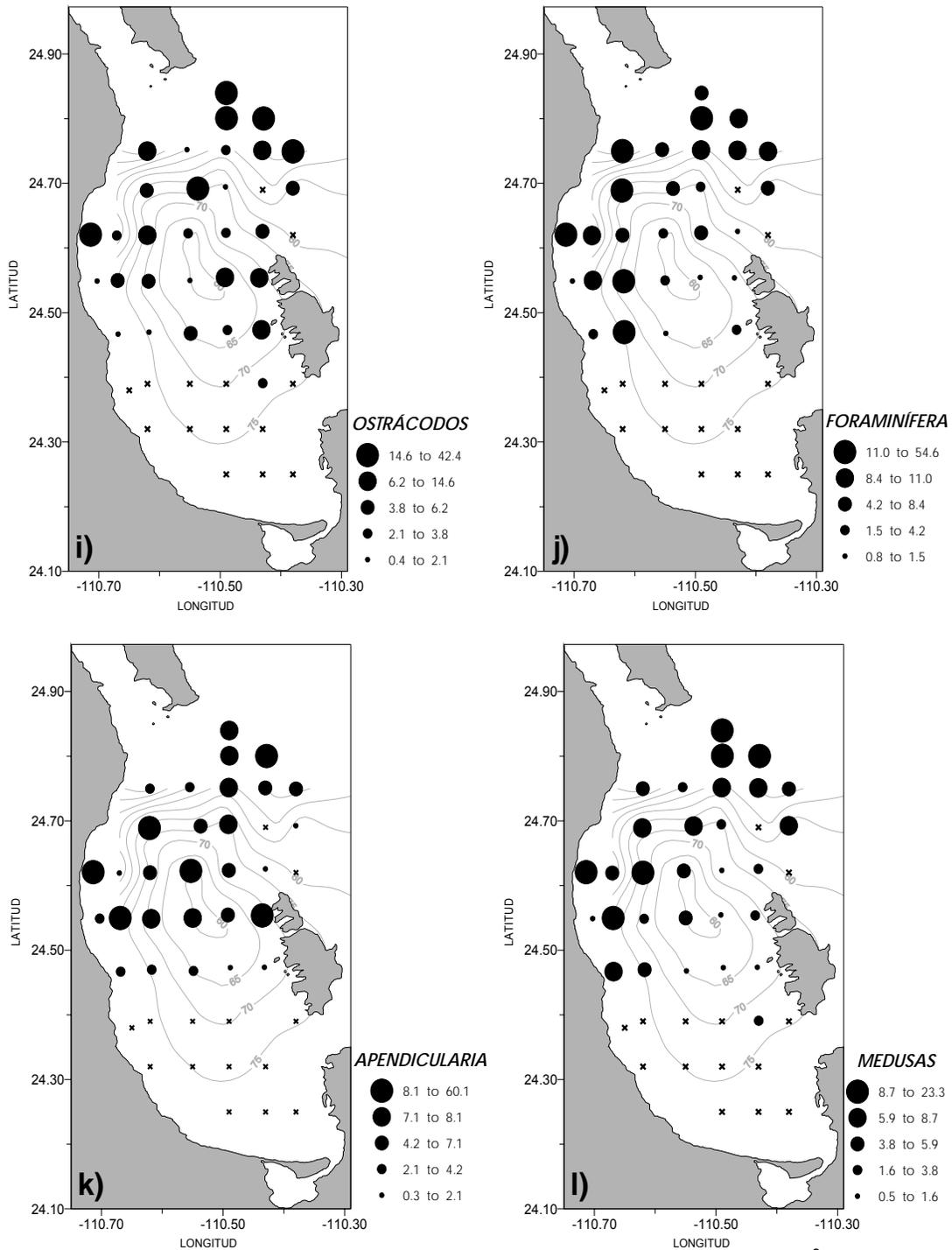


Figura 4.14. Continuación. Distribución del número de individuos (ind / 100 m³) de cada grupo identificado. Las líneas son la topografía (m) de la isoterma de 15 °C

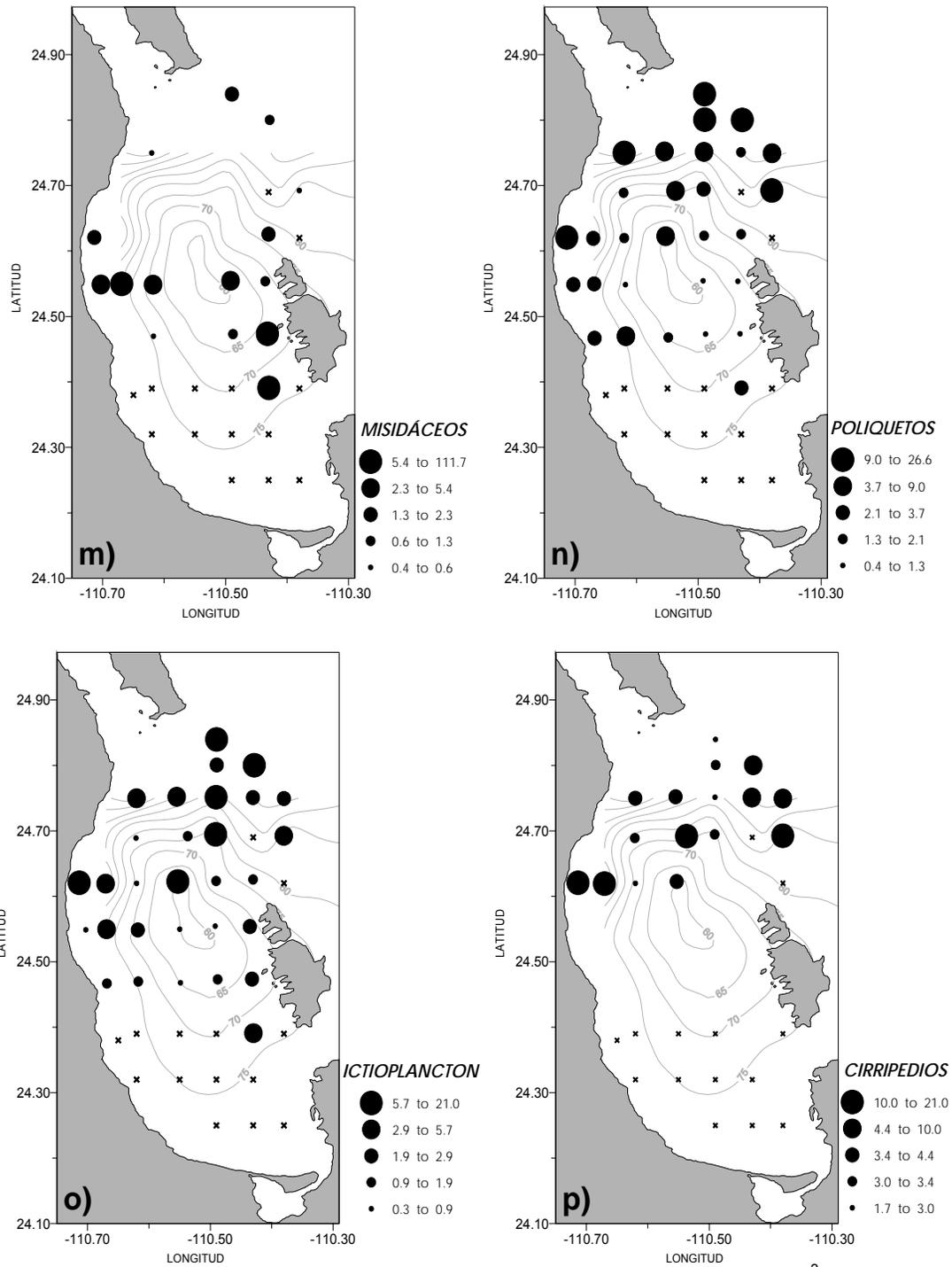


Figura 4.14. Continuación. Distribución del número de individuos (ind / 100 m³) de cada grupo identificado. Las líneas son la topografía (m) de la isoterma de 15 °C

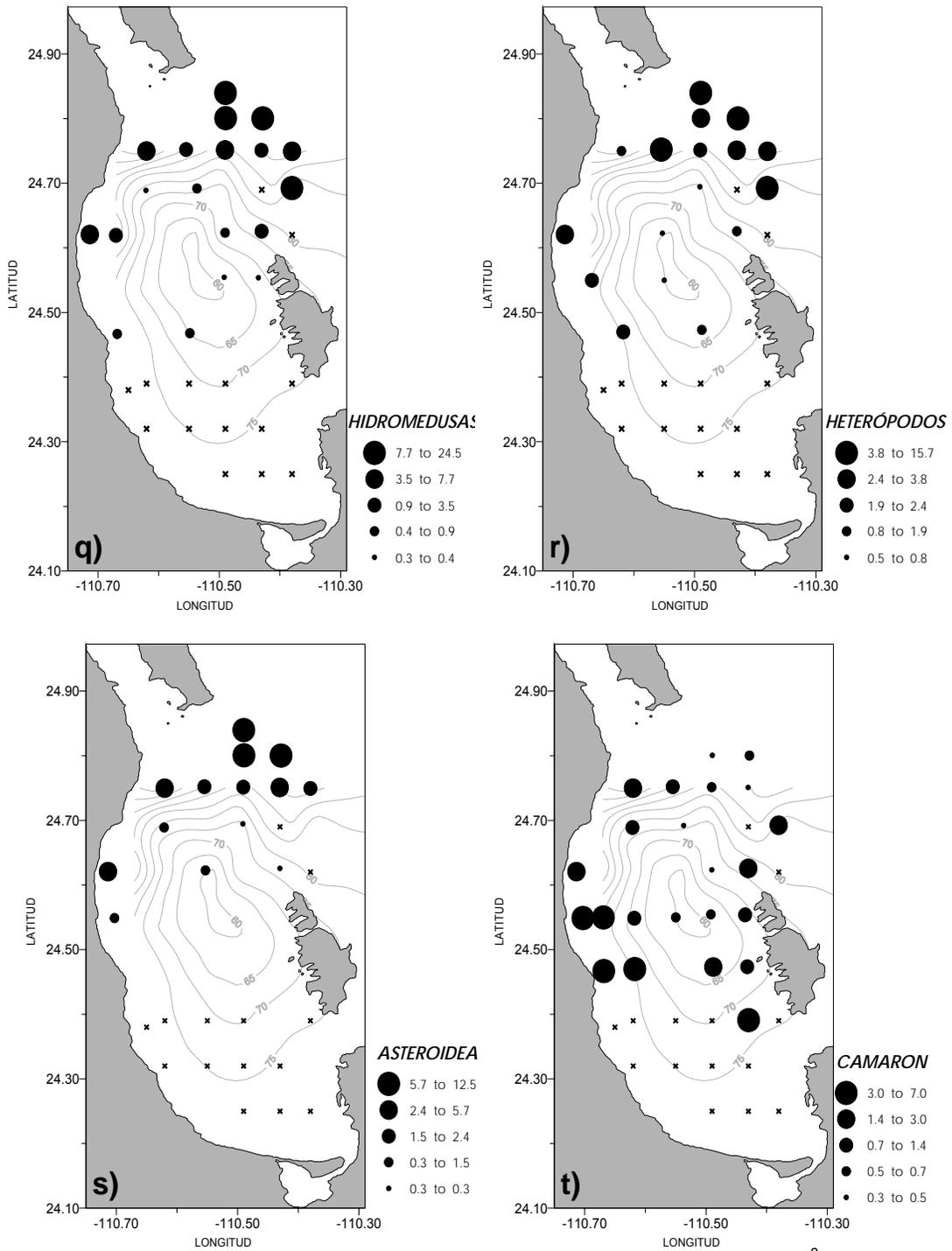


Figura 4.14. Continuación. Distribución del número de individuos (ind / 100 m³) de cada grupo identificado. Las líneas son la topografía (m) de la isoterma de 15 °C

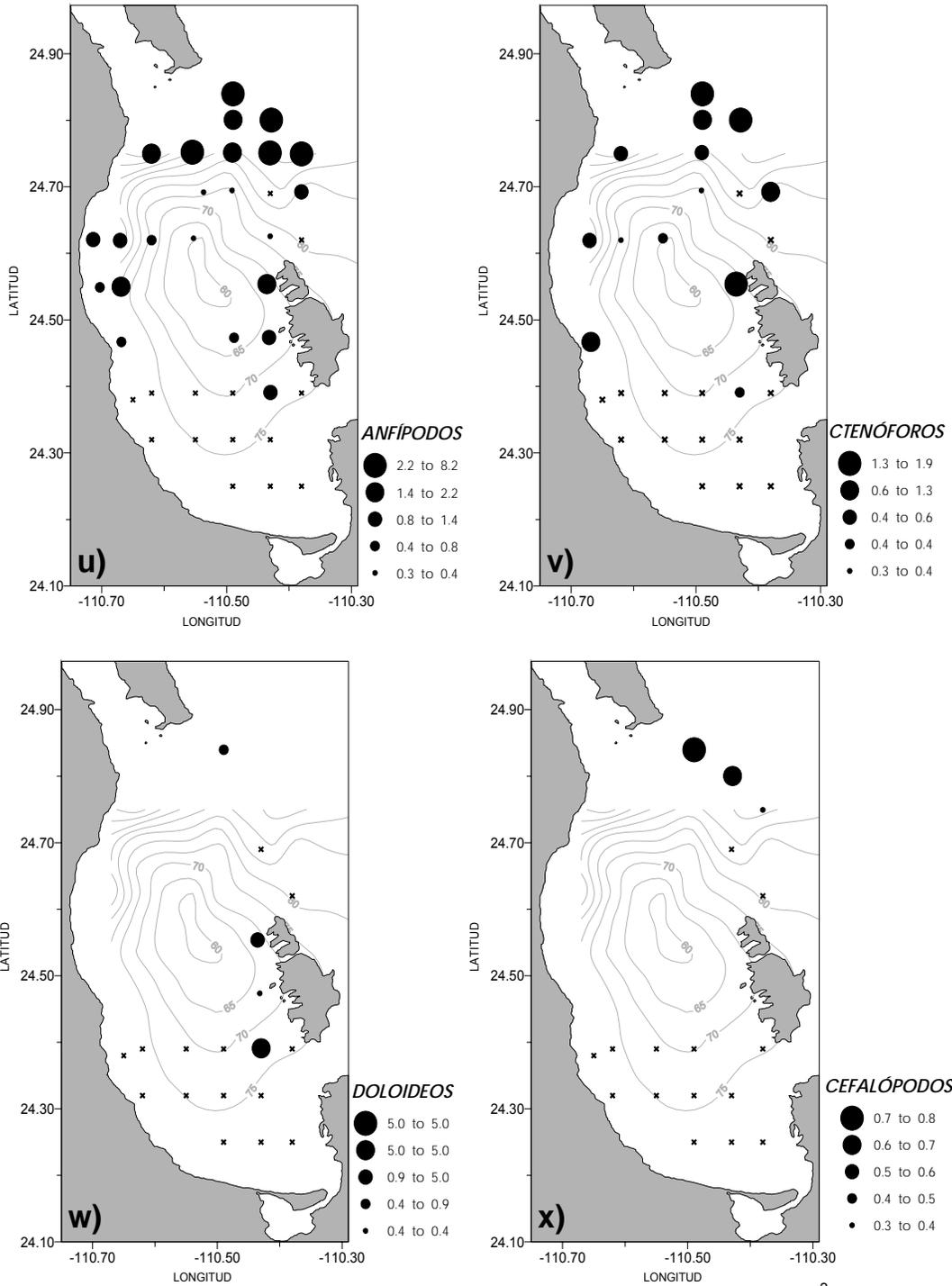


Figura 4.14. Continuación. Distribución del número de individuos (ind / 100 m³) de cada grupo identificado. Las líneas son la topografía (m) de la isoterma de 15 °C

El análisis de correlación canónica de los grupos del zooplancton con relación a las variables ambientales, mostró que la temperatura es el parámetro ambiental que tiene mayor co-relación solamente en la distribución de los grupos del zooplancton. En segundo término se encuentran los fosfatos, seguido por los silicatos, nitritos, nitratos, la profundidad de la termoclina, el oxígeno y por último la clorofila-a (Fig. 4.15).

Las variables ambientales que presentaron una relación positiva con las variables bióticas fueron temperatura, fosfatos, silicatos, nitratos y clorofila, mientras que los nitritos, oxígeno salinidad y profundidad de la termoclina presentaron una relación negativa, lo cual va a determinar la afinidad de los grupos del zooplancton con las variables ambientales (Fig. 4.15).

Se generaron 4 núcleos en los cuales se agrupó el zooplancton. El primer grupo está compuesto por misidáceos, doloideos y eufáusidos los cuales presentan una co-relación mas estrecha con la concentración de nitritos. Un segundo grupo conformado por sifonóforos, cladóceros, apendicularia y larvas de otros crustáceos, los cuales están co-relacionados con la temperatura, fosfatos, silicatos, nitratos y con la clorofila (Fig 4.15).

Un tercer grupo formado por los copépodos, camarones, ostrácodos, quetognatos, medusas, pterópodos, ictioplancton, salpas, foraminíferos y cirripédios esta co-relacionado principalmente con la salinidad, la profundidad de la termoclina y el oxígeno. El cuarto grupo esta formado por poliquetos, anfípodos, ctenóforos,

heterópodos, hidromedusas, asteroideas y cefalópodos, los cuales también están co-relacionados por la salinidad, la profundidad de la termoclina y por el oxígeno pero en menor intensidad que en el tercer grupo (Fig 4.15).

En cuanto a cada grupo en particular, se observa que los sifonóforos están co-relacionados principalmente por los nitratos y los cladóceros por los fosfatos. Las apendicularia por la clorofila-a. Las larvas de otros crustáceos, así como, los cirrípedos están asociadas a la clorofila-a y a la profundidad de la termoclina. El ictioplancton y los pterópodos están influenciados por la salinidad y la profundidad de la termoclina (Fig 4.15).

Quetognatos y medusas están asociados a la salinidad, los ostrácodos a la salinidad y al contenido de oxígeno. Copépodos y camarones están con el contenido del oxígeno. Poliquetos, anfípodos, ctenóforos, heterópodos, hidromedusas, asteroideos y cefalópodos conforman un grupo aparte que presenta afinidad con la salinidad en su distribución. Misidáceos, doloideos y eufáusidos se presentan como un grupo asociado a la concentración de nitritos (Fig. 4.15).

En cuanto a la asociación que se presenta entre las estaciones y las variables ambientales se obtiene el mismo tipo de relación que la presentada con los grupos de zooplancton (Fig. 4.16 a).

En el análisis por estaciones se observa que se generaron tres grupos de asociación, el primer grupo esta compuesto por las estaciones 24, 28, 30, 31, 35, 36, 37, 40, 41, 42 y 48 las cuales están co-relacionadas con la temperatura, seguida por fosfatos, silicatos, nitratos y clorofila. Un segundo grupo conformado por las estaciones 25, 26, 27, 29, 32, 38, 39, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 53 está influenciado por la salinidad en primer termino, seguido por la profundidad de la termoclina y el oxígeno. El tercer grupo esta compuesto por las estaciones 20, 22, 23 y 34 las cuales están definidas por la concentración de nitritos (Fig. 4.16 b).

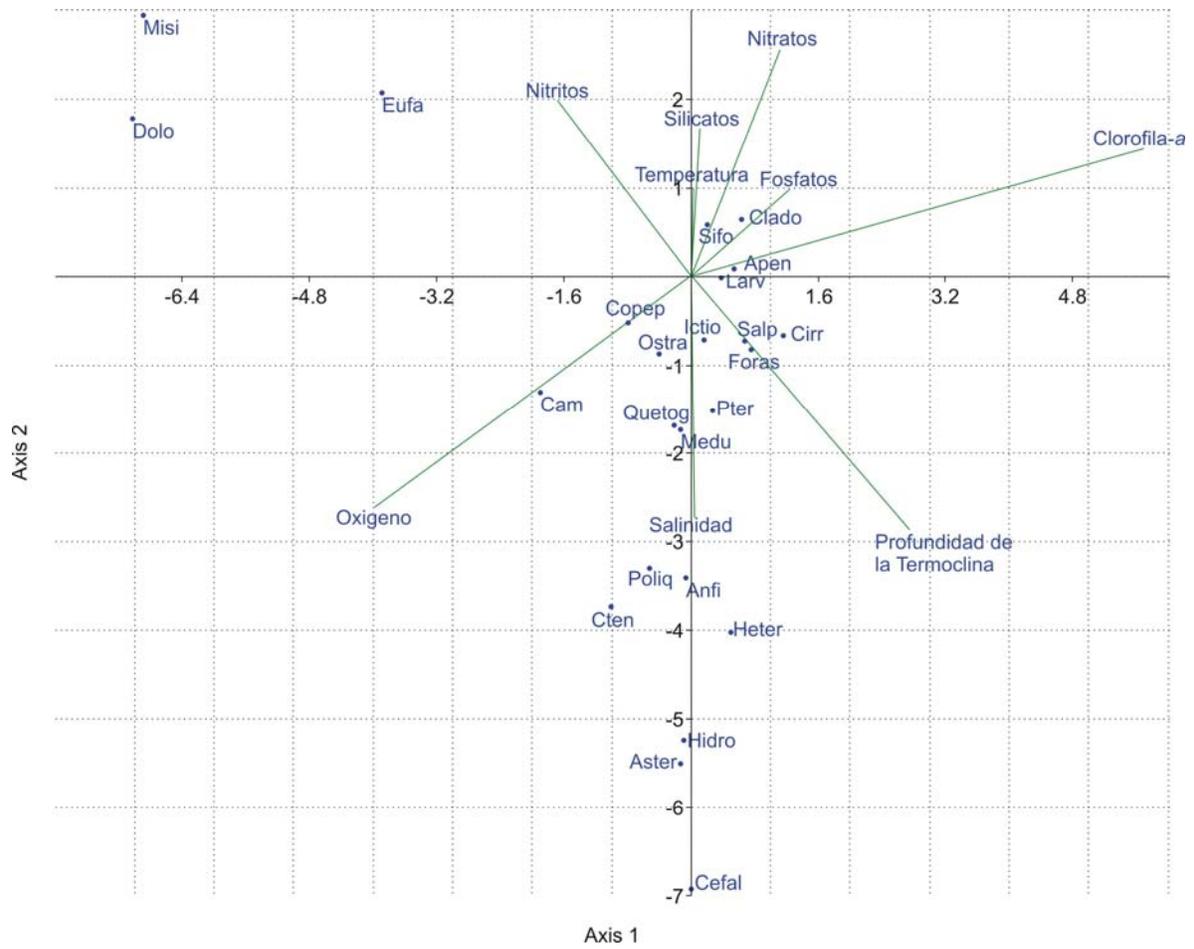


Figura 23. Análisis Canónico para los grupos del zooplancton.

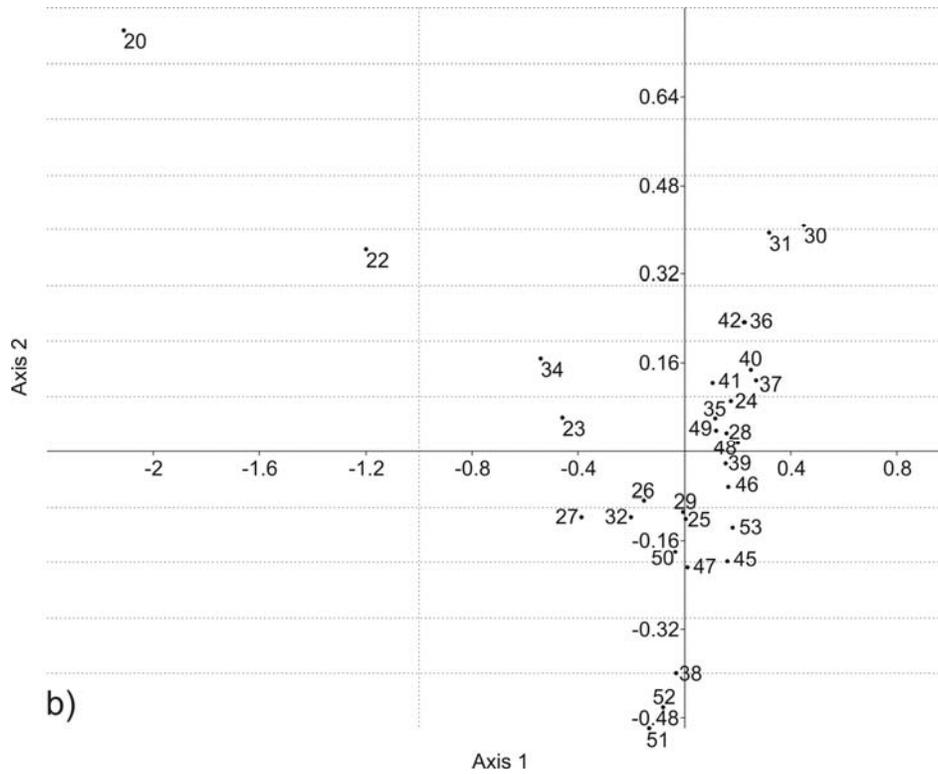
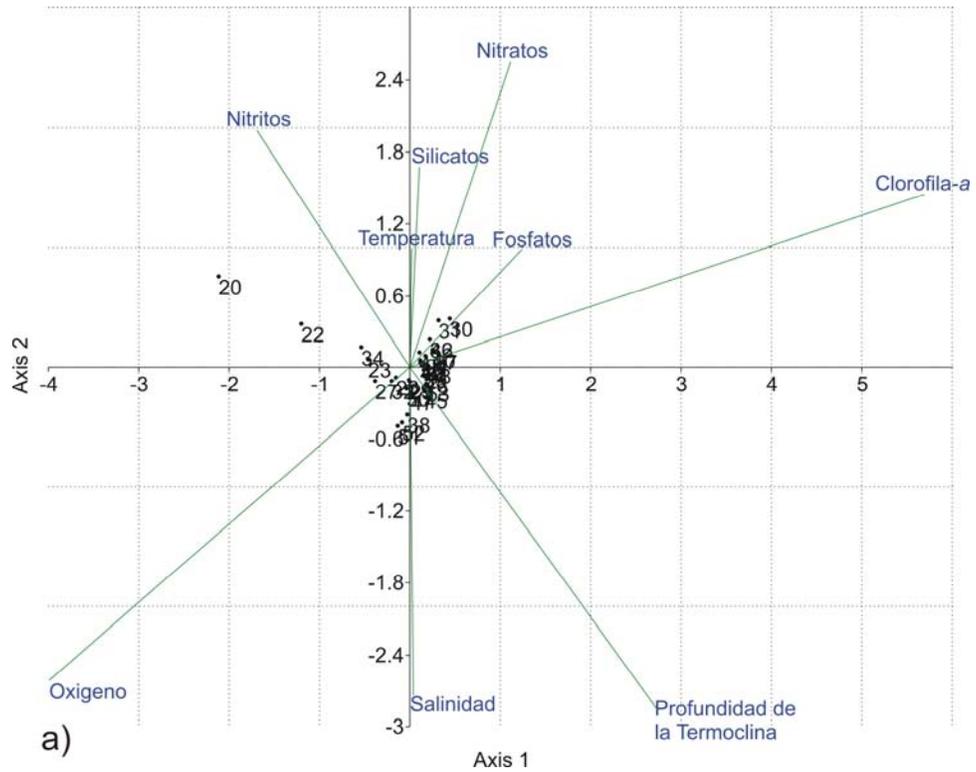


Figura 4.16. Análisis canónico para las estaciones con muestreo de zooplancton.

CAPITULO V

DISCUSION

La circulación en la Bahía de La Paz, en el verano de 2004 presentó un giro ciclónico sub-superficial de forma elíptica, con eje mayor de 35 km en dirección norte-sur y con centro en $\sim 24.6^\circ\text{N}$, el núcleo frío se identificó mediante la topografía de la isoterma de 15°C . Esta característica de la circulación coincide con lo reportado por Jiménez-Illescas *et al.* (1997), Monreal-Gómez *et al.* (2001), Saavedra-Rojas (2003), Sánchez-Velasco *et al.* (2004).

En la Bahía de la Paz también se han reportado giros anticiclónicos; en octubre de 1997 en el centro de la bahía este rasgo se detectó mediante el hundimiento de las isopicnas (Salinas-González *et al.*, 2003), en febrero del 2000, al sur de Punta Coyote se observó mediante la topografía de la isoterma de 20°C (Saavedra-Rojas, 2003), el giro anticiclónico se ha simulado utilizando un modelo numérico que considera viento del sur y marea como mecanismo generador de la circulación (Obeso-Nieblas *et al.*, 2002). En el presente estudio no se detectó la presencia de giros anticiclónicos bien definidos. En la mayoría de los estudios de circulación, el giro ciclónico se localiza en la parte norte de la bahía y el anticiclónico al sur en la región mas somera, como el patrón obtenido mediante la circulación geostrófica en julio de 2001, por Sánchez-Velasco *et al.*, (2006).

El origen del giro ciclónico de la Bahía de La Paz aun no está bien establecido, se le ha atribuido a la influencia del viento (Jiménez-Illescas *et al.* 1997, Monreal-Gómez *et al.*, 2001), al intercambio de agua entre la bahía y el

golfo a través de Boca Grande, bajo la influencia de El Niño 97-98 (Sánchez-Velasco *et al.*, 2004).

En la Bahía existe fuerte estacionalidad, la cual se manifiesta en la profundidad de la termoclina, alrededor de 20 m en época de verano y de 50 m en invierno, debido a que el esfuerzo del viento en invierno produce mezcla vertical en la capa superficial provocando el hundimiento de la termoclina la cual se vuelve muy intensa. Esta fuerte termoclina normalmente conlleva a una intensa picnoclina. El calentamiento mantiene una capa superficial calida con temperaturas entre 20 y 26 °C la mayor parte del año (Molina-Cruz *et al.*, 2002), en el verano el agua calida de la capa superficial, debida a su baja densidad no se mezcla y genera fuerte estratificación.

En verano de 2004, la termoclina, haloclina y picnoclina en la bahía, se presentaron a profundidades alrededor de 25 m, coincidiendo con lo reportado por Villaseñor-Casales (1979) y Monreal-Gómez *et al.* (2001), y mas somera que en verano de 1996, cuando se presentó a 50 m de profundidad (Reyes-Salinas *et al.*, 2003). A diferencia de lo que ocurre en otoño e invierno, en verano en el sur de la bahía en profundidades menores a 50 m se presentó termoclina, e incluso se ha reportado que en verano a lo largo de la bahía no existe una capa de mezcla (Obeso Nieblas *et al.*, 2007), por lo que ocurre una estratificación continua.

La distribución de oxígeno disuelto y nutrientes a excepción de los nitritos presentan un comportamiento consistente con la temperatura, la salinidad y la densidad relativa; la nutriclina se encontró entre 15 y 35 m de profundidad, siendo mas somera en el centro del giro que en su periferia, coincidiendo con la profundidad de la termoclina.

El sur del Golfo de California es considerado un gran depósito de evaporitas, lo cual conlleva a la presencia de valores máximos de nutrientes por debajo de los 50 m de profundidad (Álvarez-Borrego y Chee-Barragan, 1976). La alta concentración de fosfatos y de nitratos dentro de la bahía puede estar asociada al intercambio de agua entre el golfo y la bahía, ya que en el verano existe una entrada de agua a través de Boca Grande y además en esta época la circulación en la costa oeste del Golfo de California es hacia el sur, transportando agua rica en nutrientes desde el alto golfo (Bustos-Serrano y Castro-Valdez, 2006).

Se ha discutido la influencia de la marcada estratificación que se presenta en la bahía durante verano, argumentando que dicha estratificación inhibe el paso de nutrientes a capas superficiales lo que conlleva a una marcada disminución en la productividad primaria, mientras que en invierno los procesos de convección favorecen la fertilización de las capas superficiales (Reyes-Salinas *et al.* 2003). Sin embargo comparativamente en invierno en la parte central de la bahía, en la capa superficial de 50 m, los nitratos varían de 1 a 10 μM , (Saavedra Rojas, 2003), mientras que en el verano en dicha capa se obtuvieron valores de 1 a 25 μM , debido a que la termoclina y nutriclina son someras, lo que origina una mayor productividad. Existen mecanismos en la fertilización de la bahía, en verano la nutriclina es somera y la presencia del giro bombea nutrientes hacia la capa superficial garantizando la alta productividad, en invierno la mezcla vertical es debida al viento y el bombeo mediante el giro ciclónico el cual lleva los nutrientes hacia la capa eufótica (Saavedra-Rojas, 2003).

Las concentraciones de los nutrientes pueden estimular el aumento de la biomasa fitoplanctónica y la producción primaria, así como, las concentraciones de éstos pueden ser el resultado tanto de la denitrificación bacteriana que se lleva a cabo en los primeros metros de la columna de agua en condiciones de bajo contenido de oxígeno (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978; Bustos-Serrano y Castro-Valdez, 2006; Kristiansen y Schaanning, 2002), como del consumo del fitoplancton por actividad fotosintética y la excreción de los organismos (Falkowski *et al.*, 1991; McGillicuddy y Robinson, 1997; Smith *et al.*, 2003; Mendoza-Salgado *et al.*, 2005).

El Sílice es utilizado por ciertos organismos del fitoplancton para formar su exoesqueleto y su concentración puede ser un índice de la abundancia relativa de estos organismos como lo es en el caso de las diatomeas, que al morir, sus exoesqueletos pueden disolverse de manera relativamente lenta aumentando los silicatos en el agua de mar (Álvarez-Borrego y Chee-Barragan, 1976).

Con lo anterior se confirma la importancia de estos mecanismos en la productividad de la Bahía de la Paz debido a que el sílice es el elemento más abundante en el sedimento asociado a la productividad (Molina-Cruz *et al.*, 2002).

De acuerdo a la posición del máximo de clorofila-*a* respecto a la profundidad de la termoclina, en el verano de 2004, se presentaron dos zonas en la bahía (Fig. 5.1). La primera de ellas denominada *máximo superficial* debido a que los valores máximos de clorofila se encuentran por arriba de la termoclina. En la segunda zona denominada *máximo asociado a la termoclina*, el máximo de clorofila-*a* coincide con la profundidad de la termoclina y nutriclina. En general el máximo de clorofila estuvo por encima de los 25 m de profundidad, lo cual concuerda con lo reportado por Martínez-López *et al.* (2001). La zonación obtenida

en la bahía en verano de 2004, difiere de la reportada en otoño e invierno por Saavedra-Rojas (2003), debido a que en la zona sur durante el verano se presentó termoclina, mientras que en invierno se tiene una mezcla vertical, originando una columna homogénea.

La distribución de clorofila-*a* integrada verticalmente muestra máximas concentraciones en el centro y norte de la bahía, y bajas concentraciones en la parte sur. El máximo somero de clorofila-*a* se debe al reciclamiento de nutrientes en la capa superficial ya que son incorporados inmediatamente por actividad fotosintética (De Silva-Dávila y Palomares-García, 1998).

Los valores de clorofila-*a* integrada verticalmente ($15-30 \text{ mg m}^{-2}$) son del mismo orden de magnitud que los de las zonas de surgencia de la costa este de los continentes; en Florida ($6-54 \text{ mg m}^{-2}$), en Cabo Frío, Brasil ($10-44 \text{ mg m}^{-2}$), en la plataforma de Yucatán ($10-92 \text{ mg m}^{-2}$), en Somalia ($18-99 \text{ mg m}^{-2}$), (Merino, 1992).

En este estudio se identificaron 24 grupos de zooplancton siendo los cladóceros, copépodos, sifonóforos, quetognatos y larvas de otros crustáceos los grupos de mayor abundancia, lo cual coincide con lo encontrado por González-Navarro y Saldierna-Martínez (1997), que consideran a los copépodos, quetognatos son los principales componentes del zooplancton durante un ciclo anual en la bahía y que en la Ensenada sobresalen en abundancia los decápodos, anfípodos, cladóceros, sifonóforos, medusas, ctenóforos y larvas de peces.

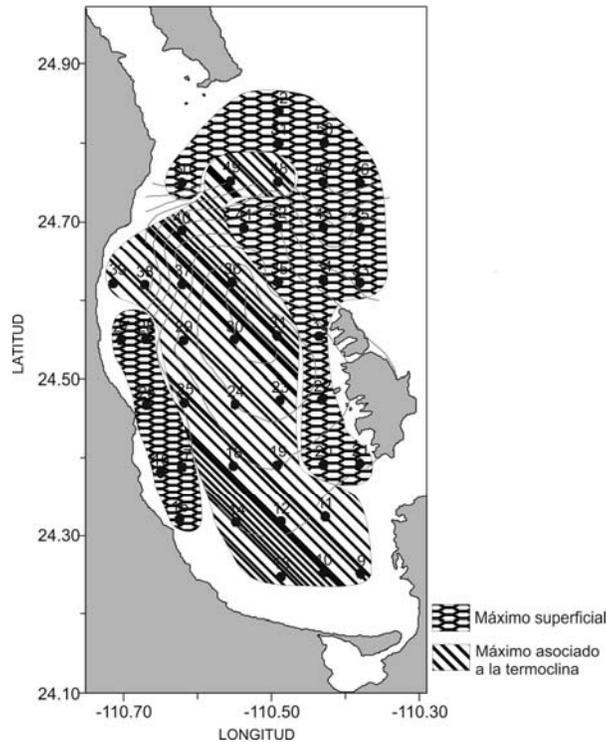


Figura 5.1. Zonación de acuerdo a la localización del máximo de clorofila-a respecto a la termoclina.

La composición de los grupos que se describieron en este estudio coincide con 10 de los grupos mencionados por Signoret y Santoyo (1980) para la Ensenada de la Paz y con 16 grupos mencionados por Brinton *et al.* (1986) para el Golfo de California, que al igual que en este estudio encuentra que los cladóceros fueron el grupo más abundante en cuanto a número de individuos.

Signoret y Santoyo (1980) encontraron en el área de la Ensenada de la Paz que los grupos mas abundantes fueron copépodos, heterópodos, cladóceros, larvas de crustáceos, quetognatos, foraminíferos, medusas, sifonóforos, pterópodos y ostrácodos. Brinton *et al.* (1986) reportaron durante febrero-marzo y mayo-julio que los cladóceros fueron los más abundantes en la boca del golfo, también registraron foraminíferos dentro del golfo, medusas, sifonóforos,

hidromedusas, ctenóforos, heterópodos, pterópodos, salpas, apendicularios, quetognatos (distribuidos ampliamente), copépodos (en aguas costeras), ostrácodos, anfípodos (son especies de aguas calidas), misidáceos (en la boca del golfo), eufáusidos y decápodos peneidos que se localizaron en la boca del golfo y en la parte norte del golfo principalmente.

En este trabajo se encontraron cinco grupos del zooplancton que no se habían registrado en la bahía, siendo estos poliquetos, cirripédios, asteroideos, doloideos y cefalópodos. Con la composición del zooplancton descrita y la circulación que se presenta en esta área, se puede inferir que la mayoría de los grupos del zooplancton son introducidos a la bahía por el intercambio de agua con el Golfo de California.

La mayor biomasa de zooplancton para el verano del 2004 se distribuyó en torno al giro ciclónico presentándose valores altos en la periferia del giro mientras que los valores menores se localizaron en la parte central de éste. Esto coincide con lo reportado por Sánchez-Velasco *et al.* (2004) que encontraron los valores más elevados de biomasa en la parte sur de la Bahía y los valores más bajos en la parte central y norte de la bahía.

La biomasa de zooplancton ha sido relacionada con los principales rasgos de la circulación como son los núcleos calidos y fríos, asociando valores altos de biomasa a temperaturas superficiales mas bajas, y bajas biomasa con altas temperaturas superficiales, la escasez de individuos en la parte central de la bahía la atribuyen a la divergencia de masa del giro ciclónico (Sánchez-Velasco *et al.*, 2004).

La distribución de los copépodos muestra las mayores abundancias en Boca Grande, las cuales pueden estar asociadas a la entrada de agua del golfo a través de dicha boca, ya que el giro ciclónico conecta la bahía con el golfo. Las abundancias son altas frente a la costa oeste de la bahía y a las islas Roca Partida y Espíritu Santo en la periferia del giro ciclónico.

Los eufáusidos se localizaron principalmente frente a las costas de las islas Roca Partida y Espíritu Santo, los cuales se han asociado al efecto del borde continental y al giro ciclónico semi-permanente de la región Norte de la bahía donde se presentan los valores más altos de biomasa (De Silva-Dávila y Palomares-García, 2002).

En cuanto a las variables ambientales que afectan la distribución de la biomasa de zooplancton, existe una correlación directa con los nitritos, resultados similares con el Pacífico Ecuatorial, donde además los patrones de distribución de la biomasa de zooplancton guardan una correlación directa con la clorofila-a, la producción primaria y la concentración de fosfatos y una correlación inversa con la profundidad de la termoclina (Fernández-Álamo y Färber-Lorda, 2006).

La distribución en el análisis canónico muestra que la asociación de los diferentes grupos del zooplancton está correlacionada principalmente con las variables ambientales. El primer grupo del análisis canónico coincide en que su máxima abundancia se localiza en el área del centro del giro, donde la temperatura presenta valores menores que en el área donde no hay una influencia directa de este giro. En el centro del giro, al haber un ascenso del agua fría con baja concentración de oxígeno y un alto contenido de nutrientes, es la que fertiliza la zona central de la bahía, aunado a los procesos de desnitrificación bacterial que

se da en columna de agua. Este grupo tiene en común que todos son depredadores en cuanto a su nivel trófico y pertenecen principalmente al holoplancton.

El segundo grupo en su mayoría formado por herbívoros y carnívoros en menor proporción, se distribuye principalmente frente a la costa oeste y en el área de Boca Grande donde generalmente se presentan las abundancias máximas, la concertación de clorofila-a es menor y la concentración de oxígeno es mayor que en el área central del giro.

El tercer grupo, esta constituido en su mayoría por organismos que son depredadores, se ubican principalmente frente a la parte norte de la costa oeste y en el área de Boca Grande. En esta área las variables ambientales presentan el gradiente a una mayor profundidad debido a que en esta región es donde se da el intercambio de agua con el Golfo de California y no hay una influencia tan directa del giro ciclónico.

El cuarto grupo, esta formado por organismos carnívoros, su distribución se da principalmente frente a las costas de las islas Espíritu Santo y Roca Partida, donde las condiciones ambientales presentan una baja concentración de clorofila-a y alta concentración de oxígeno.

La asociación de las estaciones de acuerdo al análisis canónico está influenciada por la presencia del giro ciclónico, la abundancia de los grupos en la costa oeste y el área de Boca Grande, así como por la distribución de los nutrientes (Fig. 5.2). Para el primer grupo, las estaciones que se relacionan están ubicadas en el área del centro del giro ciclónico. El segundo grupo se localiza en

la zona de menor influencia del giro. El último grupo se localiza frente a las costas de las islas Roca Partida y Espíritu Santo.

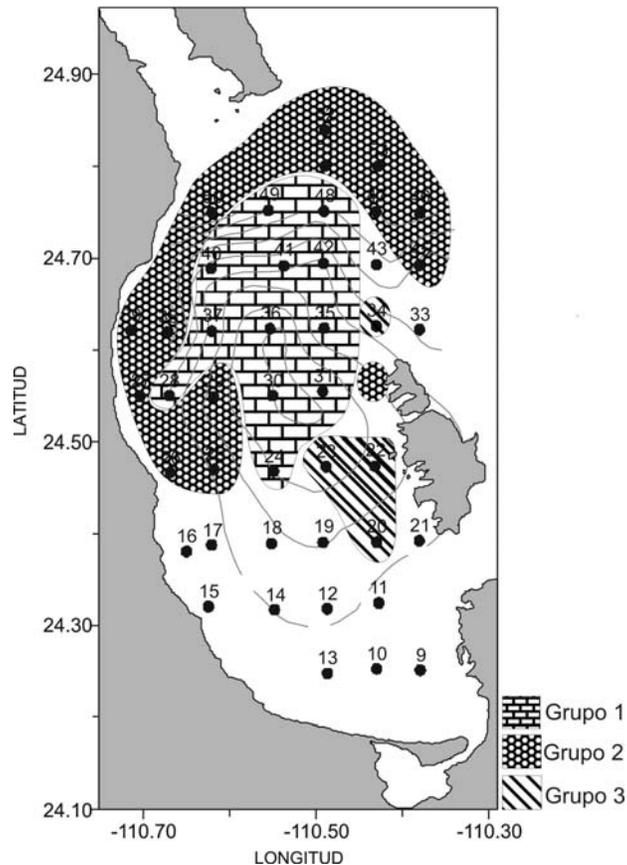


Figura 5.2. Distribución de los grupos obtenidos en el análisis canónico para cada estación. Los puntos representan las estaciones hidrográficas y la isolínea muestra la isoterma de los 15 °C.

En este estudio se confirma que la bahía presenta estratificación, donde la productividad primaria (p.p) está regulada por los nutrientes. Por tal motivo, la distribución que se presenta para la biomasa y abundancia de los grupos del zooplancton está dirigida principalmente por la distribución de la temperatura la cual está determinada de manera directa por la presencia de un giro ciclónico.

CONCLUSIONES

En el verano de 2004 la circulación de la bahía de la Paz estuvo dominada por un giro ciclónico de forma elíptica, el cual contribuye a la fertilización de la zona fótica.

La presencia del giro ciclónico en la Bahía de La Paz determina la estructura hidrográfica y la distribución de nutrientes y clorofila-a favoreciendo la producción biológica.

La Bahía de la Paz en verano se divide en dos zonas de acuerdo a la posición del máximo de clorofila-a respecto a la termoclina, mostrando mayor concentración en el centro del giro y en Boca Grande.

No obstante que en el centro del giro ciclónico existe la mayor concentración de nutrientes y clorofila-a la mayor biomasa zooplanctónica se localiza en la periferia.

En el verano de 2004, la comunidad del zooplancton estuvo formada por 24 grupos, de los cuales cinco no habían sido reportados en la bahía.

La comunidad del zooplancton esta conformada mayormente por carnívoros, sin embargo, los grupos con mayor número de individuos son cladóceros, copépodos y sifonóforos que son organismos herbívoros y que en verano se encuentran en el centro del giro.

REFERENCIAS

- Álvarez-Borrogo S. y A. Chee-Barragán. 1976. Distribución superficial de fosfatos y silicatos en Bahía San Quintín, B.C. *Ciencias Marinas* 3(1): 51-61.
- Álvarez Borrogo, S., J. A. Rivera, G. Gaxiola Castro, M. J. Acosta Ruiz y R. A. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 5(2): 53-71.
- Basterretxa, G. 1994. *Influencia de las estructuras oceanográficas mesoscales sobre la producción primaria en la región Canaria*. PhD Thesis, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 113 pp.
- Boltovskoy, D. 1981. *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton*. INIDEP. Mar de Plata, Argentina. 936 pp.
- Brinton, E.; A. Fleminger y D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 26:228-266.
- Bustos-Serrano, H. y R. Castro-Valdez. 2006. Flux of nutrients in the Gulf of California: Geostrophic approach. *Marine Chemistry* 99: 210-219.
- Cruz-Orozco, R., C. Martínez N. y A. Mendoza M. 1996. Batimetría y sedimentos de la Bahía de la Paz, B.C.S., México. *Oceánides* 11(1): 21-27.
- De Silva-Dávila y R. Palomares García. 1998. Unusual larval growth production of *Nyctiphanes simplex* in Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Journal of Crustacean Biology* 18: 490-498.
- De Silva-Dávila y R. Palomares-García. 2002. Distributional patterns of the euphausiid community in Bahía de La Paz, B.C.S., México. En: M.E. Hendrickx (eds). *Contribution to the study of East Pacific Crustaceans*. 383 pp. Vol. 1: 109-129.
- Falkowski, P. G., D. Ziemann, Z. Kolber y P. Bienfang. 1991. Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean. *Nature* 352: 55-58.
- Fernández-Álamo, M.A. y J. Färber-Lorda. 2006. Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*. 69: 318-359.
- Fofonoff, N.P. y Millard Jr., 1983. Algorithms for computations of fundamental properties of seawater. *UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci.*, 44. 53 pp.

- Gárate-Lizárraga, I., M.L. Hernández-Orozco, C. Band-Schmidt y G. Serrano-Casillas. 2001. Red tides along the coasts of Baja California Sur, México (1984 to 2001). *Oceánides* 16(2): 127-134.
- Gómez-Ponce, M.A. y A. Gracia. 2003. Distribution and abundance of larvae and adults of *Solenocera* (Decapoda, Solenoceridae) in the southwestern Gulf of Mexico. *Crustaceana* 76(6): 681-698.
- González-Navarro, E. y R. Saldierna-Martínez. 1997. Zooplankton de la Bahía de La Paz, B.C.S. (1990-1991). 43-57. En: Urban R.J. y M. Ramírez R. (eds) 1997. *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Scripps Institution of Oceanography, La Paz, B.C.S. 345 pp.
- Grasshoff, K. 1983. Determination of oxygen. En: K. Grasshoff, M. Ehrhardt y K. Kremling (Eds.). *Methods of seawater analysis*. Pub. Verlag Chemie. Germany. 61-72.
- Harris, R.P.; P.H. Wiebe; J. Lenz, H.R. Skjoldal y M. Huntley. 2000. *ICES Zooplankton Methodology Manual*. Academic Press, San Diego EUA. 684 pp.
- Hernández-León, S.; C. Almeida; M. Gómez; S. Torres, I. Montero y A. Portillo-Hahnefeld. 2001. Zooplankton biomass and indices of feeding and metabolism in island-generated eddies around Gran Canaria. *Journal of Marine Systems*. 30: 51-66.
- Jiménez-Illescas, A.R. 1983. Aplicación de un modelo hidrodinámico numérico a la Ensenada de La Paz, B.C.S. Tesis de Maestría, CICESE. Ensenada, B.C., México.
- Jiménez-Illescas, A.R., M. Obeso N, M.A. Alatorre M., S. Troyo D. y H. García E. 1994. Hidrología de la bahía de La Paz. *Oceanología* 2: 115-131.
- Jiménez-Illescas, A.R., M. Obeso N., D.A. Salas de León. 1997. Oceanografía Física de la Bahía de La Paz. B.C.S. 31-41. En: Urban R.J. y M. Ramírez R (eds) 1997. *La Bahía de La Paz, Investigaciones y conservación*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Scripps Institution of Oceanography, La Paz. B.C.S. 345 pp.
- Kiefer, D.A. y W.S. Chamberlin. 1989. Natural fluorescence of chlorophyll a: Relationship to photosynthesis and chlorophyll concentration in the western South Pacific gyre. *Limnol. Oceanogr.* 34(5): 868 – 881.
- Kristiansen, S. Y M. Thorne Schaanning. 2002. Denitrificación in the water column of an intermittently anoxic fjord. *Hydrobiologia* 469:77-86.

- Lavaniegos, B.E. y D. López-Cortés. 1997. Fatty acid composition and community structure of plankton from the San Lorenzo Channel, Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 45: 845-854.
- Libes, M. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley y Sons, Inc. New York. 734 pp.
- Longhurst, A.R. y D.L.R. Seibert (1967) Skill in the use of Folsom's plankton sampler splitter. *Limnology and oceanography* 12(2): 334-335
- Martínez-López, A., R. Cervántes-Duarte, A. Reyes-Salinas y J. E. Valdez-Holguín. 2001. Cambio estacional de clorofila *a* en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Hidrobiológica* 11(1): 45-52.
- McGillicuddy, D. y A. Robinson. 1997. Eddy-induced nutrient supply and new production in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Research* 44(8): 1427-1450.
- Mendoza-Salgado, R. A., C. H. Lechuga-Devéze, A. Ortega-Rubio. 2005. First approach of a method to assess water quality for arid climate bay in the Gula of California. *Science of the Total Environment* 347: 208-216.
- Merino Ibarra, M. 1992. Afloramiento en la plataforma de Yucatán: Estructura y Fertilización. Tesis Doctoral. UACPyP, ICMYL, UNAM. 255 p.
- Merino, M. y M. A. Monreal-Gómez, (2004), Ocean currentes and their impact on marine life. En Marine Ecology, [Eds. Carlos M. Duarte, and Antonio Lot], en *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK.
- Molina-Cruz, A. L. Pérez-Cruz y M.A. Monreal-Gómez. 2002. Laminated sediments in the Bay of La Paz, Gulf of California: a depositional cycle regulated by pluvial flux. *Sedimentology* 49: 1401-1410.
- Monreal-Gómez, M.A., A. Molina-Cruz y D.A. Salas-de-León. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *Journal of Marine Systems* 30: 305-315.
- Murphy, J. Y J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chim Acta* 27:26-30.
- Obeso-Nieblas, M., J.H. Gaviño R., A.R. Jiménez I. y B. Shirasago G. 2002. Simulación numérica de la circulación por marea y viento del noroeste y sur en la Bahía de La Paz, B.C.S. *Océánides* 17(1): 1-12.

- Obeso-Nieblas, M., B. Shirasago-Germán, J.H. Gaviño-Rodríguez, H. Obeso-Huerta, E.L. Pérez-Lezama y A.R. Jiménez-Illescas. 2007. Hidrografía en la Boca Norte de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 33(3): 281-291.
- Raymont, J.E.G. 1983. *Plankton and productivity in the oceans. Vol. 2 Zooplankton*. Pergamond Press. Oxford.
- Reyes-Salinas, A., R. Cervantes-Duarte, R.A. Morales-Pérez y J.E. Valdez-Holguín. 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de La Paz, B.C.S. *Hidrobiológica* 13(2): 103-110.
- Salinas-González, F., O. Zaytse y V. Makarov. 2003. Formation of the thermohaline structure of water in the Bahía de La Paz from summer to autumn. *Ciencias Marinas* 29(1): 51-65.
- Saavedra Rojas, N.C. 2003. *Estructura hidrográfica, nutrientes y pigmentos fotosintéticos de la Bahía de La Paz, Golfo de California, en febrero y noviembre del 2000*. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. 79 p.
- Sánchez Avelar, L.M. 2005. *Distribución de la biomasa zooplanctónica en la Bahía de La Paz, B.C.S., México y su relación con parámetros ambientales, durante dos épocas extremas (verano 2001 – invierno 2002)*. Tesis Licenciatura. Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar. UABCS. 73 pp.
- Sánchez-Velasco, L.; S. P. A. Jiménez-Rosenberg; B. Shirasago y M. Obeso-Nieblas. 2004. Distribution and abundance of fish larvae in Bahía de La Paz (Gulf of California) and their relation to hydrographic variability during summer (1997 – 1998). *Deep-Sea Research II*. 51: 723 - 737 pp
- Sánchez-Velasco, L., E. Beber, C. Avalos-García y M.F. Lavín. 2006. Larval fish assemblages and geostrophic circulation in Bahía de La Paz and the surrounding southwestern region of the Gulf of California. *Journal of Plankton Research* 28(11): 1081-1098.
- Signoret, M. y H. Santoyo. 1980. Aspectos ecológicos del plankton de la Bahía de La Paz. *Anales Centro Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM 7(2): 217-248.
- Smith, S.V., D.P. Swaney, L. Talaue-McManus, J.D. Bartley, P.T. Sandhei y C.J. McLaughlin. 2003. Humans, hydrology, and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *Bioscience* 53: 235-245.
- Solórzano, L. 1969. Determination of ammonium in natural waters by phenol-hypochlorite method. *Limnology oceanography* 14:799-801.

- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater análisis. *Fish. Res. Bd. Canada Bull.* 167:310 p.
- Trasviña-Castro, A., G. Gutierrez de Velasco, A. Valle-Levinson, R. González-Armas, A. Muhlia y M.A. Cosío. 2003. Hydrographic observations of the flow in the vicinity of a shallow seamount top in the Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57:149-162.
- Tregouboff, G. (1957) Manuel de planctonologie mediterraneenne. Tome II. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Villaseñor-Casales, A. 1979. Distribución vertical de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la Bahía de La Paz, B.C.S., durante la primavera de 1976. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*. 20: 146-149.
- Wiebe, P.H. 1988. Functional regression equation for zooplankton displacement volumen, wet weight, dry weight, and carbon: A correction. *Fishery Bulletin* 86(4): 833-835.
- Zavala-García, F. y C. Flores-Coto. 1989. Medición de biomasa zooplanctónica. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM 16(2): 273-278.