

UNIVERSIDA AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



OCEANOLOGÍA

“VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA ESTRUCTURA TERMOHALINA Y LA
CIRCULACIÓN EN LA REGIÓN SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA,
AGOSTO 2004”

TESIS
que para obtener el título de
OCEANÓLOGO
presenta:
Aarón Eustolio Castillo Martínez

Ensenada, B. C. a 11 de agosto del 2006

“VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA ESTRUCTURA TERMOHALINA Y LA
CIRCULACIÓN EN LA REGIÓN SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA,
AGOSTO 2004”

TESIS

que presenta:

Aarón Eustolio Castillo Martínez

Aprobada por:



Dr. Rubén Castro Valdez
Presidente del Jurado



Sinodal Propietario
Dr. Rafael Hernández Walls



Sinodal Propietario
M. C. Víctor Manuel Godínez Sandoval

“VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA ESTRUCTURA TERMOHALINA Y LA
CIRCULACIÓN EN LA REGIÓN SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA,
AGOSTO 2004”

TESIS

que presenta:

Aarón Eustolio Castillo Martínez

Aprobada por:



Dr. Rubén Castro Valdez
Presidente del Jurado



Sinodal Propietario
Dr. Rafael Hernández Walls



Sinodal Propietario
M. C. Víctor Manuel Godínez Sandoval

Dedicatoria

Primero que nada, quiero agradecer a Dios por permitirme ser participe en esta vida; el tiempo y espacio brindado es el mejor.

A mi madre hermosa, Sra. Maria Elena Martínez González, por darme la vida, por todos esos consejos y regaños que me han enseñado a ser mejor y a tener una mente triunfadora. Este objetivo hoy alcanzado, no es más que un reflejo de su incondicionable apoyo, mamá, la amo.

A mi señor padre, Eustolio Castillo Álvarez, por todas las palabras de aliento en esos momentos de incertidumbre. Gracias por forjarme y enseñarme a ser una persona de bien y sobretodo por el apoyo que me sigue brindando en la nueva etapa de mi vida que estoy por iniciar, gracias "apá", lo quiero muchísimo.

A mis hermanos Fabián A. y A. Fabiola, por todas las cosas que hemos compartido juntos.

Muy especialmente a ti mi vida, Laura Patricia, por todo el amor brindado, por aguantarme ya casi 4 años, por todo tu apoyo, amor y comprensión; a pesar de vernos casi cada mes, has estado ahí, al pie del cañón, siguiendo y cuidando mis pasos y sobretodo por el regalo, que si Dios quiere, me darás muy pronto: ¡nuestra bebita!, todo lo que haga de hoy en adelante es por ustedes dos, las amo.

Agradecimientos

Al Dr. Rubén Castro Valdez, por permitirme realizar mi sueño de escribir mi tesis, en la cual recibí siempre, por parte suya, su apoyo y atinada dirección para que todo saliese bien y a tiempo; también por todo su tiempo prestado en la realización de ésta y sobretodo por ser, antes que un profesor, un amigo.

Al Dr. Rafael Hernández Walls y al M. C. Víctor Godínez Sandoval por sus atinados comentarios y correcciones a este trabajo.

Al proyecto de Investigación de la 10ma. Convocatoria de la UABC No. 0324 por el apoyo brindado a través de la Beca de Investigación.

A la colaboración NOAA-CICESE-UABC por la facilitación de la base de datos adquirida del crucero NAME-02 (FU-0406), en particular al Dr. M. Douglas y Dr. M. F. Lavín. A la tripulación del B/O Fco. de Ulloa y a todo el personal que participó en la campaña de mediciones, en específico al Dr. Emilio Beir, jefe científico del Crucero.

Al M. C. Alberto Sánchez, demostraste ser un gran amigo y aún esta en pie la invitación que te hice ehhhh.

A la familia Marín Covarrubias, por haberme brindado las puertas de su casa.

A mis amigos Joaquín y José Luis por todas esas largas pláticas que solemos tener y que siempre nos han dejado una enseñanza.

Al Meño (ya casi terminas canijo) y al Oc. Raúl Silvestre, gracias por ser mis amigos, demostrándome que cuando uno los ocupa están ahí.

A Sughey Astorga (los últimos serán los primeros) siempre recibí de tu parte un consejo que me hizo ver las cosas de forma diferente y créeme que ha sido para bien, "Güera", gracias, ya sabes que TQM.

Índice

	Página
Página de aprobación.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	v
Lista de Figuras.....	vi
Resumen.....	vii
I. Introducción.....	1
I.1. Antecedentes.....	2
I.2. Objetivos.....	5
II. Materiales y Métodos.....	6
II.1. Área de estudio.....	6
II.2. Metodología.....	8
III. Resultados.....	11
III.1. Diagramas θ -S.....	11
III.2. Distribución superficial de los vientos y distribución a 10m de profundidad de temperatura, salinidad y oxígeno.	13
III.3. Distribución vertical de temperatura potencial, salinidad, anomalía de densidad y oxígeno disuelto.....	17
III.4. Corrientes Geostróficas.....	29
IV. Discusión.....	36
V. Conclusión.....	43
VI. Referencias.....	45

Lista de Figura

Fig. 1	Figura 1. Localización de las estaciones hidrográficas (●) para agosto del 2004. NAME-02.....	7
Fig. 2	Diagramas θ -S. (a) Promedio de salinidad \pm una desviación estándar, se incluye la isolínea de $\gamma_{\theta}=26.5 \text{ kgm}^{-3}$ en negro, el resto de isolíneas en gris. De b) a l) diagramas por sección. Las masas de agua son incluidas.....	12
Fig. 3	(a) Vectores de vientos y su magnitud (ms^{-1}) a 10m sobre el nivel del mar; distribución a 10 m de profundidad de: (b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (c) salinidad y (d) oxígeno (ml/l). El intervalo de contorno para la temperatura es de $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, la salinidad de 0.1 y el oxígeno de 0.1 ml/l	16
Fig. 4	Distribución vertical de la temperatura potencial para cada una de las secciones. El intervalo de los contornos es de 2° C	18
Fig. 5	Distribución vertical de anomalía de densidad para cada una de las secciones. El intervalo de los contornos es de 0.5 kgm^{-3}	19
Fig. 6	Distribución vertical de salinidad para cada una de las secciones. El intervalo de los contornos es de 0.1	23
Fig. 7	Distribución vertical de oxígeno disuelto para cada una de las secciones. El intervalo de los contornos es de 0.5 ml/l	28
Fig. 8	Secciones X-D de velocidades geostróficas (cms^{-1}). El intervalo de contornos es de 5 cms^{-1} . Las secciones más oscuras (valores positivos) indican flujo hacia el interior del Golfo y la menos oscuras (valores negativos) indica flujo hacia el exterior del Golfo.....	30
Fig. 8 continuación de la Figura 8. Secciones E-I.....	33
Fig. 9	Secciones longitudinales de velocidades geostróficas (cms^{-1}): (a) Línea Oeste, (b) Línea Central y (c) Línea Este. El intervalo de contornos es de 5 cms^{-1} . Las secciones más oscuras (valores positivos) indican flujo hacia el oeste del Golfo y la menos oscuras (valores negativos) indica flujo hacia el este del Golfo.....	40
Fig.10.	Anomalía de Geopotencial (m^2s^{-2}) referido a 500 dbar. El intervalo de contorno es de $0.1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$	42

Variabilidad espacial de la estructura termohalina y la circulación en la región Sur del Golfo de California, Agosto de 2004

RESUMEN

Este estudio se enfoca a la variabilidad espacial de la estructura termohalina, oxígeno disuelto y corrientes geostróficas en la región sur y entrada del Golfo de California. Para esto, se utilizaron observaciones de 196 lances de CTD en 10 secciones transversales y una longitudinal, desde ~60 km de la entrada al Golfo hasta ~400 km hacia su interior. Los datos fueron obtenidos durante la campaña North American Monsoon Experiment (NAME-02) del 7 al 20 de agosto del 2004 a bordo del B/O Francisco de Ulloa. La distribución vertical de los lances fue de 1 dbar, la distancia de estaciones en los transectos fue de ~10 km y entre transectos ~40 km lo cual garantizó la detección de estructuras mesoescala. Los diagramas θ -S por sección revelan que el Agua de la Corriente de California (ACC) se encuentra principalmente al sur de la punta de la península con valores de 33.9-34.5 entre 50-60 dbar. Las otras dos masas de agua superficiales, el Agua Superficial Tropical (AST) y el Agua del Golfo de California (AGC) aparecieron en todas las secciones pero sin una dispersión definida respecto a su distribución a lo ancho del golfo. El AGC se detectó en el diagrama θ -S en dos posiciones, para aguas cálidas ($>25^{\circ}\text{C}$) y aguas frías (15 - 17°C). La estructura del campo hidrográfico presentó señales baroclínicas muy bien definidas para varios transectos sugiriendo la presencia de remolinos. El hundimiento de varias isoterms por debajo de los 150 dbar cerca de la parte central de algunas secciones se detectó en dos zonas: una en la parte sur del Golfo (23.5 - 24.5°N) la cual abarcó las secciones A-B-C-D y la otra zona alrededor de los 26°N entre las secciones G-H. Por otro lado el ascenso de varias isoterms produciendo enfriamiento en el centro de la sección, fue detectado en las secciones E-F (25 - 25.5°N) e I (26.5 - 27°N). Asociado a estas fuertes señales baroclínicas el campo geostrófico mostró el siguiente patrón: en las zonas de hundimiento flujos entrando al Golfo cerca de la península con velocidades de $\sim 20\text{ cms}^{-1}$ a 500 dbar y flujo saliendo por la parte central con valores de $\sim 15\text{ cms}^{-1}$ a 300 dbar. En las zonas de ascensos el patrón fue simétrico, flujo entrando desde la mitad de la sección hasta el continente con velocidades $\sim 30\text{ cms}^{-1}$ 200 dbar y flujo saliendo en el resto de la sección con valores de $\sim 20\text{ cms}^{-1}$ hasta 200 dbar. Los flujos alcanzaron profundidades hasta de 800 dbar en la zona de hundimientos y ~ 600 dbar en la zona de ascensos. Finalmente el campo de anomalía geopotencial (0-500 dbar) reveló la presencia de dos remolinos anticiclónicos y uno ciclónico bien definidos, y parte de otro remolino ciclónico.

I. INTRODUCCIÓN

Las corrientes marinas son masas de agua en movimiento impulsadas por procesos físicos que tienen su origen en la energía solar. Éstas son importantes porque actúan como un mecanismo regulador del clima terrestre, ya que transportan calor, agua y sal entre las diferentes latitudes. Tales corrientes oceánicas suceden a diferentes escalas espaciales y temporales y están asociadas a forzamientos como los atmosféricos, topográficos y planetarios [Panzarini, 1985]. Desafortunadamente hoy en día, la estructura tridimensional de las corrientes oceánicas no es bien conocida y en particular, el Golfo de California no es la excepción. Siendo el Golfo un mar marginal del Pacífico Mexicano (Fig. 1), esta sujeto a diferentes tipos de forzamientos propios y externos que producen una variedad de fenómenos. Al tener una comunicación libre con el Pacífico, ya que su entrada es ancha (~200 km) y profunda (~2.5 km), estos forzamientos resultan en ondas y corrientes que pueden incurrir al interior del Golfo. Además, dentro del Golfo los forzamientos atmosféricos (como los vientos estacionales) y el intercambio de calor con la atmósfera, originan sus señales propias y/o que pueden combinarse con las que recibe del Pacífico.

La estructura de las aguas oceánicas y la forma en que se mezclan, se puede estudiar a través de los diagramas de Temperatura-Salinidad (T-S), los cuales han sido utilizados desde mediados del siglo pasado [Sverdrup *et al.*, 1942]. Con estos diagramas es posible caracterizar las masas de agua que se distribuyen en varias partes del océano y que fluyen a otras regiones a lo largo de superficies de densidad constante. Estos diagramas han sido utilizados por distintos autores en el Golfo de California para la identificación y

distribución de las masas de agua [Bray, 1988b; Torres-Orozco, 1993; Castro *et al.*, 2000, 2006a].

I.1. Antecedentes

El Golfo de California es un mar marginal del Océano Pacífico Nororiental, al cual se le ha dado una atención especial por el hecho de tener condiciones meteorológicas y oceanográficas muy particulares, además de ser una zona con alta productividad biológica. Los primeros estudios de circulación en el Golfo de California fueron hechos por Thorade [1909, citado por Roden, 1958]. Examinando un gran número de registros de barcos construyó cartas de distribución de temperatura superficial para la parte sur del Golfo, encontrando una circulación ciclónica con transporte superficial neto en la dirección de los vientos estacionales, los cuales son hacia adentro del Golfo de California en el verano y hacia a fuera en el invierno. Observó también que la temperatura superficial del Golfo es independiente de la temperatura superficial del océano adyacente, y que las bajas temperaturas existentes a lo largo de la costa este en invierno son el resultado de surgencias provocadas por vientos del noroeste.

La circulación en la entrada y porción sur del Golfo presenta mucha variabilidad, con flujos que entran/salen del golfo [Roden, 1964; Warsh and Warsh, 1971; Roden, 1972; Mascarenhas *et al.*, 2004], aunque en promedio cerca de la sección A (Fig. 1), se ha encontrado la ocurrencia de un flujo hacia el norte del lado continental y hacia el sur del lado de la península [Mascarenhas *et al.*, 2004].

Emilson y Alatorre (1997) usando 4 cuerpos a la deriva, colocados inicialmente en una línea transversal al Golfo de California, entre La Paz, B. C. S. y Topolobampo, Sin., encontraron la presencia de un remolino ciclónico de meso-escala con un diámetro de ~100 km y una profundidad de 50 a 70 m. La topografía dinámica de la superficie, obtenida simultáneamente, presentó una depresión exactamente en la misma zona, lo cual establece el carácter baroclínico del remolino.

Observaciones recientes a través de imágenes de satélite (SeaWiFS) han mostrado en la región sur del Golfo la presencia de una serie de remolinos con un sentido de alternancia en su rotación [Pegau et al., 2002]. Estos autores mencionan que el mecanismo de generación es desconocido, pero sugieren la posibilidad de inestabilidades baroclínicas a lo largo de la costa producidas por interacciones entre ondas atrapadas y corrientes forzadas por vientos locales.

Figuroa *et al.* (2003), utilizando un banco de datos hidrográficos histórico investigó la circulación en el sur del Golfo de California. Estos autores encontraron evidencia de la existencia de remolinos; cuyas dimensiones horizontales y el sentido de rotación fue variable, además de que la posición de dichos remolinos no necesariamente coincide con las cuencas y umbrales. En la vertical estos remolinos alcanzan al menos 500 m y probablemente 1000 m.

En el Golfo de California están presentes diversas masas de agua. Sin embargo, la distinción entre éstas no es sencilla en todos los casos, debido a que distintos autores asignan nomenclatura e intervalos T-S distintos a una misma masa de agua, así como a efectos de procesos locales de mezcla, aislamiento y evaporación que modifican sus

características distintivas [Torres-Orozco, 1993]. Este mismo autor realizó un análisis volumétrico de las masas de agua en el Golfo de California, estableciendo valores de temperatura y salinidad característicos para las masas de agua presentes.

Castro et al. (2000, 2006a) utilizaron datos hidrográficos de alta resolución para estudiar la variabilidad termohalina en la entrada y porción sur del Golfo de California. Mostraron que el campo promedio arriba de los 200 m de profundidad para 9 cruceros (Fig. 1, sección A), tiene a las aguas más calidas y de menor salinidad cerca de la plataforma de Sinaloa, y las aguas relativamente más frías y salinas al oeste de la sección. En invierno y parte de la primavera observaron la mayor presencia de Aguas del Golfo de California, distribuidas a lo largo de la capa superficial entre 0-130 m. Entre primavera y otoño se caracterizó por la presencia de núcleos (o capas) tanto de las aguas del Golfo, como Aguas de la Corriente de California y de Aguas Tropicales, ya sea en superficie y/o subsuperficialmente, aunque, las aguas del Pacífico incidieron al centro y este de la sección. En la porción Sur del Golfo, las Aguas Tropicales son frecuentes, pero Aguas de la Corriente de California la reportaron cerca de Isla Cerralvo solo en el verano, a ~50 m de profundidad. Esta última ha sido reportada en primavera en la zona de la entrada al Golfo y en la porción sur del Golfo cerca de la península [Griffiths, 1968; Álvarez-Sánchez *et al.*, 1978a; Alvarado-Graef, 1998].

Álvarez Sánchez *et al.*, (1978a), haciendo un análisis geográfico con un nivel de referencia de 500db, encontraron que el agua sale del Golfo de California por la costa este y entra al Golfo por las partes central y oeste. Álvarez Sánchez *et al.* (1978b) estudiaron la circulación en los 250 m superiores, comparando las corrientes medidas

con flotadores contra la asociada con variaciones del campo de masa en la región de la boca. Encontraron que las corrientes medidas directamente concuerdan con la circulación general determinada por el método geostrófico. También reportaron en primavera (marzo) la presencia de un giro anticiclónico estacional de mesoescala que invierte su sentido para la época de otoño (septiembre).

Si bien recientemente se han realizado varios trabajos en la parte sur y boca del Golfo de California [Collins *et al.*, (1997), Castro *et al.*, (2000, 2006a) y Mascarenhas *et al.*, (2004)], éstos han estado basados en estaciones cercanas (~10 km) pero en secciones transversales aisladas; de aquí la importancia de la realización del presente estudio, ya que se cuenta con mayor resolución, lo cual nos permitirá un mayor y mejor análisis, al menos en el verano.

I.2. Objetivo

- Describir y analizar la variabilidad espacial de la estructura termohalina, oxígeno y del campo de corrientes en la entrada y región sur del Golfo de California, durante agosto de 2004.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1 Área de estudio

El Golfo de California está ubicado entre los 23 y 32° latitud norte y 107 y 115° longitud oeste, en una región predominantemente árida. Esta delgada porción de mar mide a lo largo aproximadamente 1200 km y de ancho promedio 135 km. Su topografía es muy irregular, con varias cuencas que varían entre poco más de 3000 m a 200 m de profundidad, separadas entre sí por umbrales. La plataforma se hace más amplia en la cabeza del Golfo en donde la profundidad promedio es de 20 m, la pendiente en la costa de Sonora es relativamente menor y se incrementa de nuevo hacia el sur a partir de la mitad del Golfo (Lavín *et al.* 1997).

En este trabajo el área de estudio abarca lo que es la zona de la entrada del Golfo y la parte sur (Fig. 1); la primera está limitada por las líneas que unen a Cabo San Lucas, B. C. S., con Cabo Corrientes; a Cabo San Lucas con El Dorado, Sin., y la línea de costa entre El Dorado y Cabo Corrientes (ver detalles en Lavín y Marinone, 2003). Esta zona es muy profunda (~3000 m) e incluye parte de la Cuenca Pescadero y la Cuenca Mazatlán. Su principal característica hidrográfica es que en ella se encuentran en contacto varias masas de agua, lo cual genera frentes termohalinos. La parte sur del Golfo es la más extensa y abarca desde la línea Cabo San Lucas-El Dorado hasta los umbrales de las grandes islas. Esta zona contiene una serie de cuencas cuya profundidad máxima disminuye hacia adentro del golfo. Una característica batimétrica es que, del lado de la península, la plataforma continental es casi inexistente, pero del lado opuesto

hay una plataforma continental de unos 30km de ancho (Lavín *et al.* 1997; Lavín y Marinone, 2003).

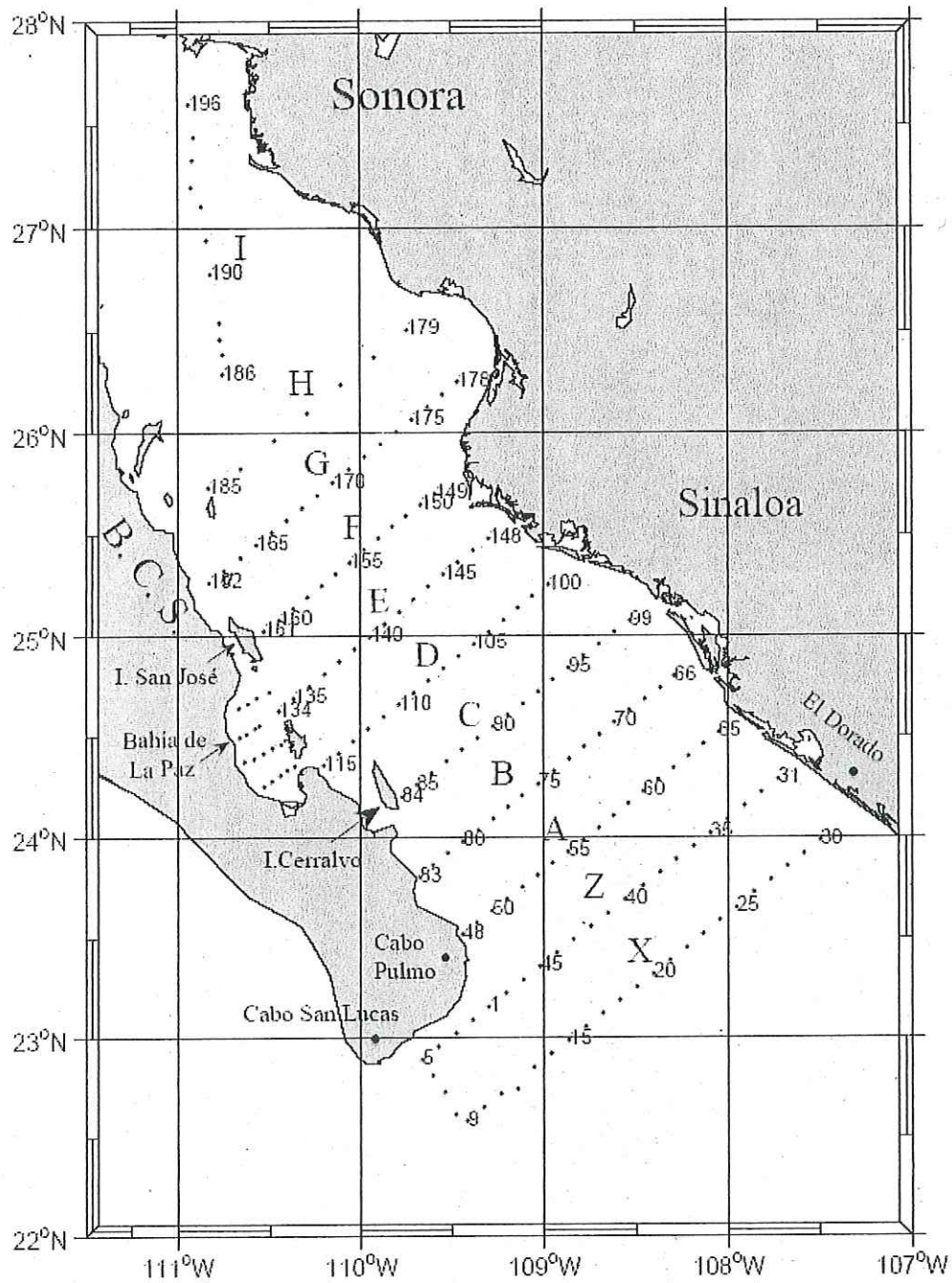


Figura 1. Localización de las estaciones hidrográficas (●) para agosto del 2004, crucero NAME-02.

II.2 Metodología

Los datos utilizados en este estudio fueron recopilados a través del proyecto general “North American Monsoon Experiment” (NAME) y en particular, del proyecto “The Role of Oceanic Processes on the Gulf of California SST Evolution during the North American Monsoon Experiment”, financiado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), bajo el programa (GC04-219). Durante el 05 al 18 de Junio (NAME-01) y del 07 al 20 de agosto de 2004 (NAME-02), se efectuaron dos cruceros oceanográficos en el B/O Francisco de Ulloa en la región de la entrada y región sur del Golfo de California. Este estudio se enfoca solo al NAME-02, donde se hicieron muestreos con un CTD (Conductivity-Temperature-Depth) marca SeaBird SBE-911 plus, con sensor primario y secundario a una razón de 24 Hz. Se incluyó también un sensor de Oxígeno (SB43). Los datos fueron procesados y promediados a 1 dbar lo cual esta documentado en Castro et al. (2006). La salinidad fue calculada con la Practical Salinity Scale (1978), la temperatura potencial, θ ($^{\circ}\text{C}$), y la anomalía de densidad potencial, γ_{θ} (kgm^{-3}), fueron calculadas de acuerdo a la UNESCO (1991). Se realizaron 196 lances de CTD en 11 secciones (X, Z, A-I), desde la entrada al Golfo hasta aproximadamente la parte central (Fig. 1). La distancia entre lances a lo largo de las secciones fue de ~ 10 km y entre las secciones ~ 40 km. La profundidad máxima de los lances fue de 1000 m, o cerca del fondo en localidades más someras.

La metodología consiste en:

- Realización de graficas en contornos para cada sección transversal de distancia vs. profundidad, así como de cortes horizontales en superficie de las variables:

temperatura potencial, salinidad, anomalía de densidad potencial y oxígeno. A estas variables se les aplicó la técnica estadística de análisis objetivo para eliminar variabilidad espacial de menor escala que son generadas por fenómenos transitorios, por ejemplo, ondas internas.

Velocidad geostrófica:

Siguiendo a Pond and Pickard (1983), de la ecuación de movimiento del océano expresada en forma vectorial resulta:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla}P - 2\vec{\Omega}_x \vec{V} + \vec{g} + \nu \nabla^2 \vec{V} \quad (1)$$

Donde \vec{V} es el vector velocidad en sus componentes u (E-O), v (N-S) y w (vertical), ρ (Kgm^{-3}) es la densidad, P (Ntm^{-2}) es la presión, g es la gravedad (m s^{-2}), ν (m^2s^{-1}) coeficiente de fricción.

Suponiendo flujo estacionario $\frac{d\vec{V}}{dt} = 0$ y sin fricción $\nu \nabla^2 \vec{V} = 0$, se obtiene la

elevación de balance geostrófico:

$$\frac{1}{\rho} \vec{\nabla}P = -2\vec{\Omega}_x \vec{V} \quad (2)$$

Las componentes horizontales de la velocidad geostrófica son:

$$f_v = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (3), \quad f_u = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \quad (4)$$

Despejando la componente v (Norte-Sur) de (3) $v = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial P}{\partial x}$, donde, f es el parámetro de Coriolis = $2\Omega \sin \varphi$; Ω es la velocidad angular de la tierra = $7.292 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, φ es la latitud en grados y $\frac{\partial P}{\partial x}$ es el gradiente de presión a lo largo de la línea entre estaciones de CTD.

La forma práctica de la velocidad geostrófica (UNESCO, 1991) es calculada como la diferencia de altura dinámica (ΔD) entre un par de estaciones denotadas por A y B y resulta en lo siguiente.

$$(V_1 - V_2) = 10 \frac{1}{L f} [\Delta D_B - \Delta D_A] \quad (5)$$

$\Delta D = \int \delta \, dp$ es la distancia geopotencial, integrada desde la superficie hasta un nivel de no movimiento, δ es la anomalía de volumen específico, L es la distancia entre par de estaciones, y el factor 10 es requerido si la altura dinámica es expresada en metros dinámicos.

En este estudio el cálculo de velocidad geostrófica se realizó a partir de las salidas de los datos hidrográficos interpolados con análisis objetivo, para esto se utilizaron las librerías de SEAWATAER con las rutinas de MATLAB de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). Para la velocidad geostrófica también se realizaron contornos de las secciones verticales a lo largo de los transectos y a lo largo del Golfo donde se utilizó la profundidad máxima común entre par de estaciones como nivel de referencia.

III. RESULTADOS

III.1 Diagramas θ -S

En la figura 2 se muestran los diagramas θ -S para todas las secciones realizadas en el crucero. Cabe señalar que los intervalos de temperatura y salinidad para caracterizar las masas de agua del Golfo de California fueron los propuestos por Torres-Orozco (1993). En la figura 2a se incluye el promedio de salinidad $\bar{S} \pm$ una desviación estándar. Este promedio se calculó en función de la temperatura potencial para los valores contenidos en intervalos $\Delta\theta = 0.5^\circ\text{C}$, desde el mínimo, $\theta = 3.7^\circ\text{C}$, hasta el máximo, $\theta = 31.7^\circ\text{C}$. El inicio del aumento de la dispersión de salinidad, ocurre sobre el Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), la cual es delimitada por la anomalía de densidad potencial, $\gamma_\theta = 26.5 \text{ kgm}^{-3}$. Debido a la poca influencia del Agua de la Corriente de California (ACC) en las secciones, sobre todo en las del interior del Golfo, ni el promedio de salinidad ni su desviación estándar alcanzó a tener valores en ese rango. Sin embargo, el Agua del Golfo de California (AGC) fue detectada en el promedio sólo para valores altos de temperatura ($>27^\circ\text{C}$), en cambio para la desviación estándar, se presentó en dos posiciones del diagrama, para temperaturas entre de 13°C - 17°C con salinidades >35.0 así como para temperaturas $>25^\circ\text{C}$ donde alcanzó salinidades mayores (~ 35.4).

En cuanto a los diagramas por transecto, las secciones más sureñas (X y Z) están invadidas por el ACC y el Agua Superficial Tropical (AST) (Figs. 2b y 2c). En la sección X se alcanzan salinidades hasta de 33.9 entre 18°C y 21°C , y en la sección Z de 34.1 alrededor de 16°C . Para las aguas más cálidas ($>28^\circ\text{C}$) se detectó claramente el AGC. En la sección A (Fig. 2d) podemos observar aún la presencia del ACC,

principalmente en un par de estaciones cercanas a la península, con temperaturas de ~ 19 °C y $S < 34$.

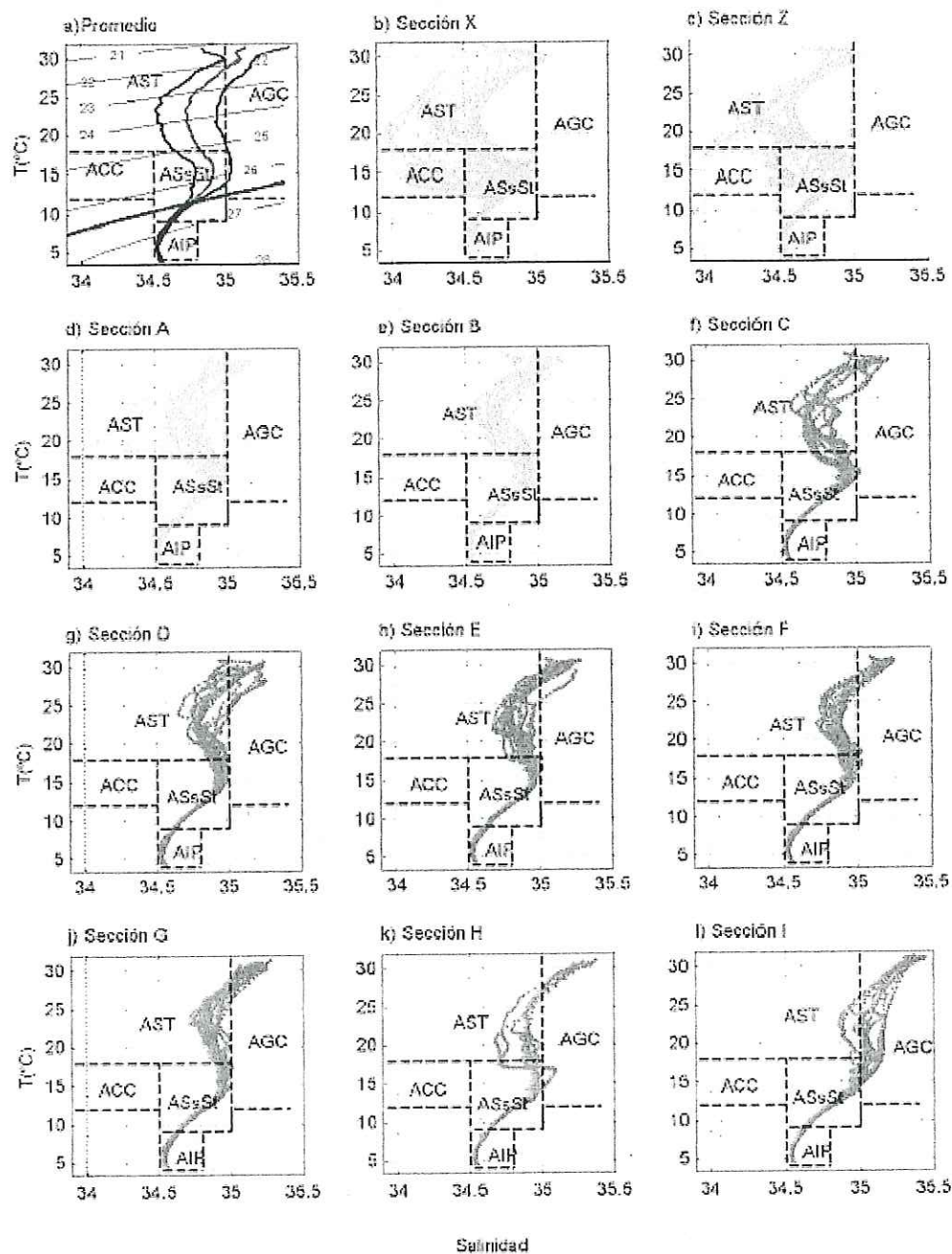


Figura 2. Diagramas θ -S. (a) Promedio de salinidad \pm una desviación estándar, se incluye la isolínea de $\gamma_0 = 26.5 \text{ kgm}^{-3}$ en negro, el resto de isolíneas en gris. De b) a l) se muestran los diagramas por sección. Las masas de agua son incluidas.

Una característica muy notable en los diagramas es que, a partir de la sección C (Fig. 2f) y hasta la I (Fig. 2l) las propiedades termohalinas de cada transecto no muestran gran dispersión o una separación, esto significa que entre la plataforma de Sinaloa y la península se distribuyen características similares. Conforme nos adentramos al interior del Golfo la presencia del AGC es mayor, y es muy visible cerca de la superficie para temperaturas $>26^{\circ}\text{C}$ y entre $15 \leq \theta^{\circ}\text{C} \leq 17$, lo cual corresponde a profundidades entre 100-130 dbar (ver Figs. 5c-5h). Cabe mencionar que la sección I (Fig. 2l) debido a que corresponde a un corte longitudinal y que alcanza latitudes más altas al interior, presentó aguas del Golfo en un intervalo de temperaturas más amplio (14°C - 30.7°C).

III.2 Distribución superficial de los vientos y distribución a 10m de profundidad de temperatura, salinidad y oxígeno.

En la figura 3 se muestra el patrón de vientos a 10 m sobre el nivel del mar, así como la distribución horizontal a 10 m de profundidad de temperatura, salinidad y oxígeno.

Los vientos para esta época del año mostraron el patrón típico del Monzón de Norteamérica (Bordoni et al., 2004; Marinone et al., 2004), con vientos preferentemente hacia el nor-noroeste en gran parte de las estaciones (Fig. 3a). En la sección X los vientos provenientes del Pacífico soplaron hacia el este y noreste con magnitudes entre 2 y 5 ms^{-1} . En la sección Z se observa que la dirección fue predominante hacia el norte en la parte oeste de la sección y cerca del continente con velocidades entre 1.8 y 4.1 ms^{-1} , mientras que en la parte central los vientos prevalecieron hacia el noroeste y de mayor intensidad, 6- 7.2 ms^{-1} . En la sección A cerca de la península dirección de los vientos fue

hacia el noroeste, en la parte central hacia el noreste y cerca del continente hacia el sureste. Entre las secciones B-D la dirección de los vientos se mantuvo hacia el noroeste en las estaciones de la mitad oeste, con velocidades de 1.8 ms^{-1} en el centro y hasta de 7 ms^{-1} adyacente a la península, mientras que la mitad este su dirección principal fue hacia el norte y se incrementaron hacia el continente donde alcanzaron $\sim 4.9 \text{ ms}^{-1}$. En las secciones E-F se observó un incremento en la intensidad de los vientos; con velocidades entre 2.7 y 6.9 ms^{-1} para la sección E y entre 3.0 y 9.0 ms^{-1} en la sección F, la componente principal fue hacia el noroeste. En las secciones G y H los vientos fueron más débiles, su dirección en la mitad oeste de la sección fue hacia el noroeste y cerca del continente al este-noreste. Finalmente sobre la sección I, en la parte sur los vientos tomaron dirección norte con velocidades entre 2.4 - 3.8 ms^{-1} , mientras que en la parte más norte su dirección fue noroeste entre 2 - 6 ms^{-1} .

Con respecto al campo de temperatura a 10 m de profundidad, en general se observa que las temperaturas menores se encuentran cerca de la península y las mayores del lado del continente. Se detectó una pequeña franja de agua relativamente fría adyacente a la península (27 - $30 \text{ }^\circ\text{C}$) de 144 km de ancho en el transecto X, y conforme nos adentramos al Golfo se hizo más angosta, incluyendo la Bahía de La Paz e internándose hasta la Isla San José (25° N), entre el transecto E y F (Fig. 3b). Una franja de agua más cálida (30.5 - $31 \text{ }^\circ\text{C}$) se presentó adyacente a la plataforma de Sinaloa, la cual abarcó la parte cercana al continente: sobre el transecto X mostró un ancho de ~ 66.5 km, en su parte más angosta (entre las secciones D-E) el ancho fue de ~ 7 km para luego alcanzar un ancho de ~ 100 km sobre el transecto H. El resto del área de estudio presentó

temperaturas de 29-30.5 °C, con un núcleo de 29.5 °C sobre la sección C y con un ancho de ~36 km.

En términos de salinidad, podemos observar claramente que las salinidades más altas se ocurren en las secciones más al norte, disminuyendo hacia la entrada del Golfo. Estas salinidades indican que desde la mayor parte de la sección A hasta la sección I (Fig. 3c), la zona de estudio está inmersa con AGC, delimitada por la isohalina de 35, alcanzando valores máximos de 35.4 sobre la sección I. Las salinidades más bajas ($34.4 \leq S \leq 34.8$) se presentaron en una pequeña intrusión de ~36 km de ancho aproximadamente en el centro las secciones X y Z (Fig. 3c); dicha intrusión parece indicar que se trata del AST. Otra intrusión, de salinidades entre 34.7 y 34.9 se observó adyacente a la plataforma de Sinaloa, la cual abarcó desde la sección X hasta la C (Fig.3c) y presentó un ancho transversal de ~64 km. Aunque en la parte más al sur de la zona de estudio las salinidades fueron menores que 35, podemos observar que se presentaron salinidades aun más bajas del lado de la plataforma de Sinaloa (34.7-34.9) que del lado de la península (34.9), esto observándose desde la sección más al sur (X) hasta la sección C.

La distribución de oxígeno disuelto (Fig. 3d) presentó en gran parte de la zona de estudio valores menores que 4.4 ml/l. El valor más bajo registrado fue de 4.3 ml/l y se observó en un núcleo sobre la sección I. Los valores más altos de oxígeno se observaron del lado del continente con concentraciones de 4.5-5 ml/l en dos núcleos: uno entre las secciones X-A, con un ancho de ~62 km, el otro núcleo se presentó entre las secciones A-C, mostrando un ancho de ~42 km.

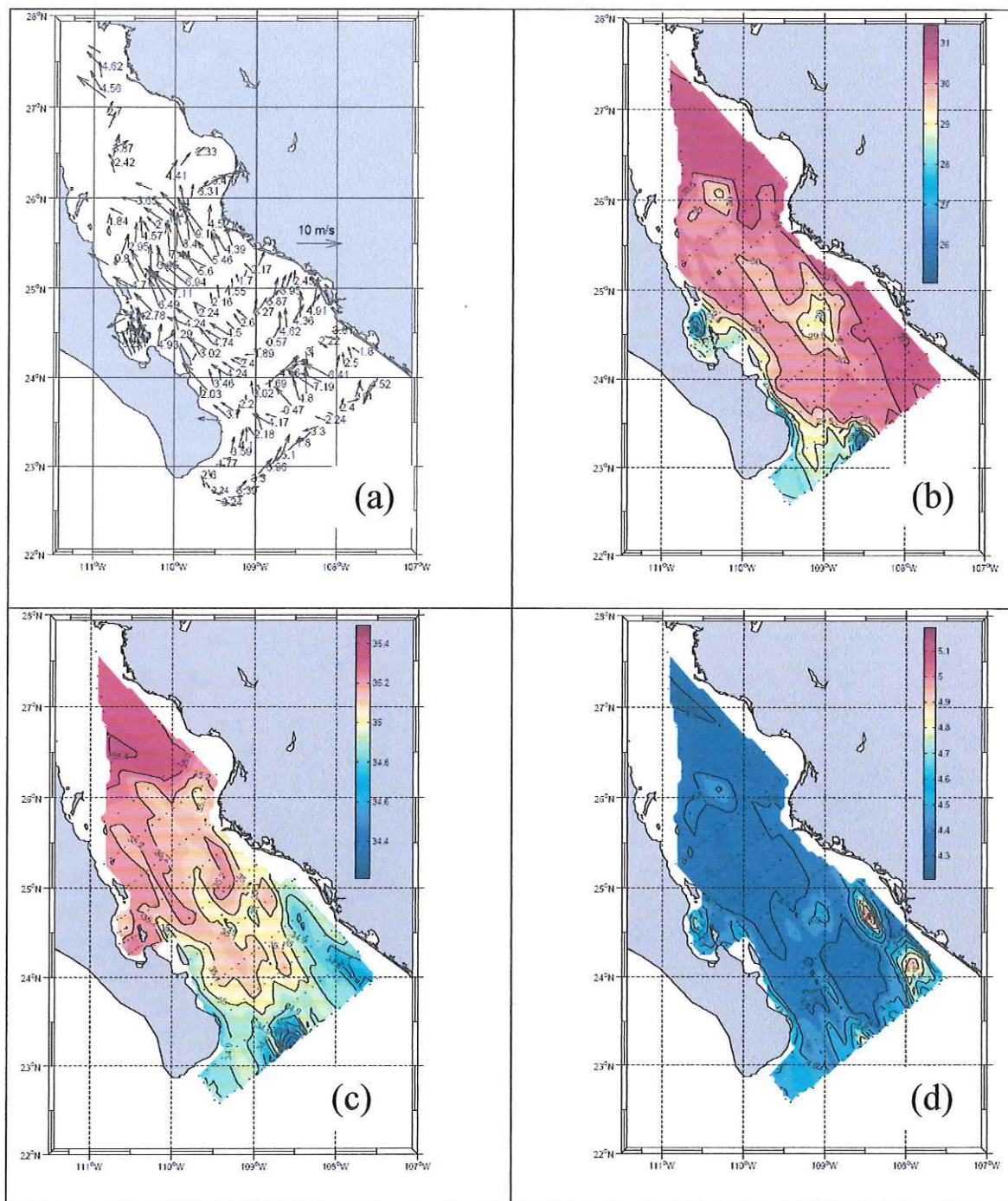


Figura 3. (a) Vectores de vientos y su magnitud (ms^{-1}) a 10 m sobre el nivel del mar; distribución a 10 m de profundidad de: (b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (c) salinidad y (d) oxígeno (ml/l). El intervalo de contorno para la temperatura es de 0.5 $^{\circ}\text{C}$, la salinidad de 0.1 y el oxígeno de 0.1 ml/l .

III.3 Distribución vertical de temperatura potencial, salinidad, anomalía de densidad y oxígeno disuelto.

En este apartado se describirá la estructura vertical hasta los 500 dbar de la temperatura potencial (θ), salinidad, anomalía de densidad (γ_θ), y oxígeno disuelto correspondiente a cada una de las secciones de la Figura 1.

La estructura vertical de θ y γ_θ presentaron características muy similares. La mayor estratificación ocurrió por arriba de los 100 dbar, entre los 17°C (25.5 kgm⁻³) y 29°C (21.5 kgm⁻³) en todas las secciones, a excepción del transecto X y Z (Figs. 4a-4b y 5a-5b), en donde la temperatura en el límite de los 100 dbar fue de 15 °C. En estas dos secciones se observó que la isoterma de 29 °C rompe en la superficie, es decir, en la sección X (Fig. 4a) ocurrió a ~25 km y a ~100 km de distancia de la parte más oeste y en la sección Z (Fig. 4b) lo hizo a ~40 km, mientras que en el resto de las secciones rompió muy cerca de la península o no lo hizo. Por debajo de los 100 dbar, la variación de la temperatura (densidad) ocurrió desde los 15 °C (26 kgm⁻³) hasta los 9 °C (26.5 kgm⁻³) en todas las secciones, a excepción de la X y Z, en donde la variación de la temperatura fluctuó entre los 13 °C y los 9 °C (Figs. 4a-4b y 5a-5b).

Un rasgo notable en la distribución de isotermas e isopicnas fue la presencia de hundimientos (anti-domos) y de ascensos (domos), en la parte central (o cerca de esta) de varias secciones y por debajo de los 150 dbar. Tales señales fueron también detectables en la distribución de salinidad y oxígeno disuelto como se verá más adelante.

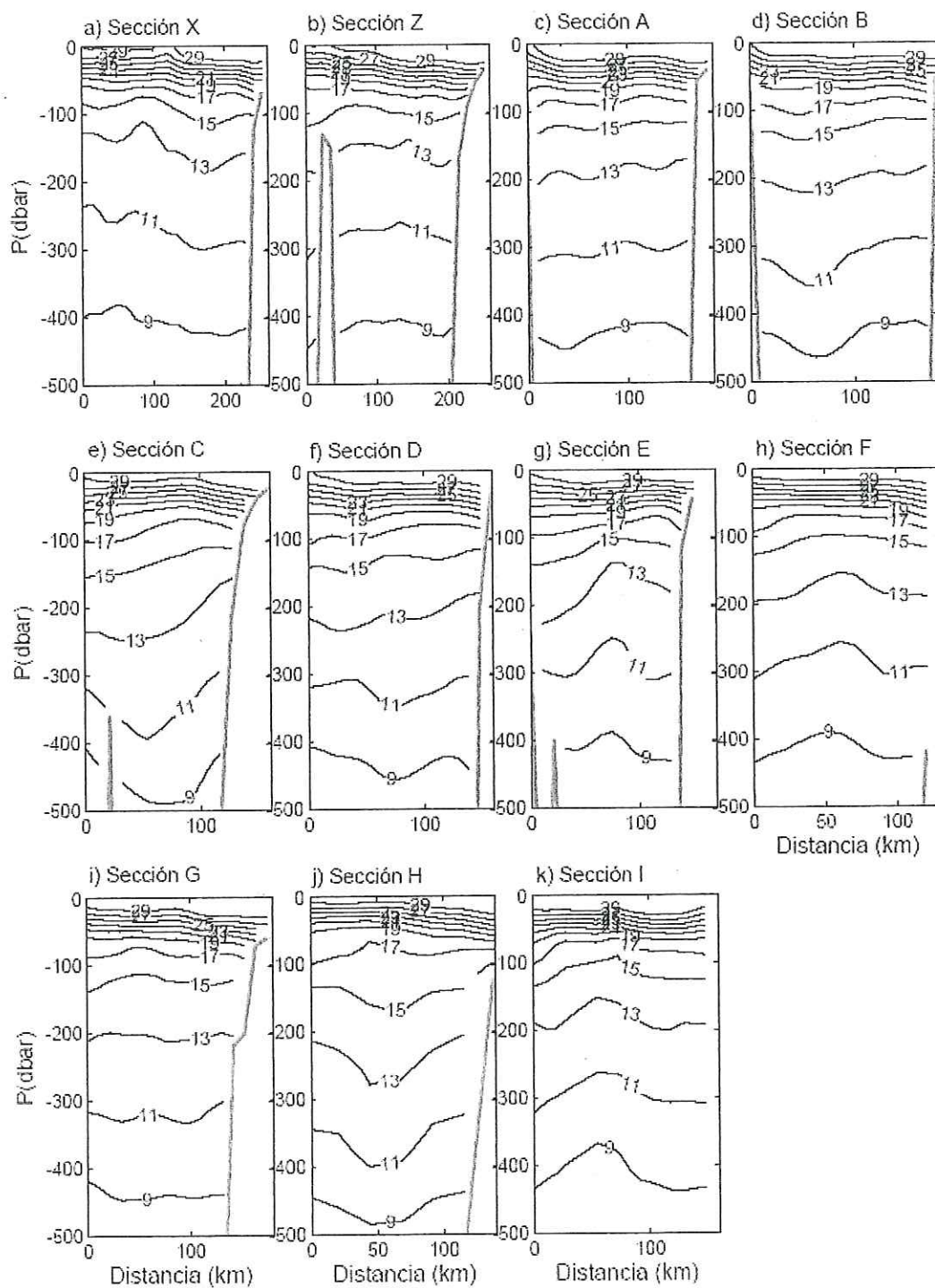


Figura 4. Distribución vertical de la temperatura potencial para cada una de las secciones. El intervalo de los contornos es de 2 °C.

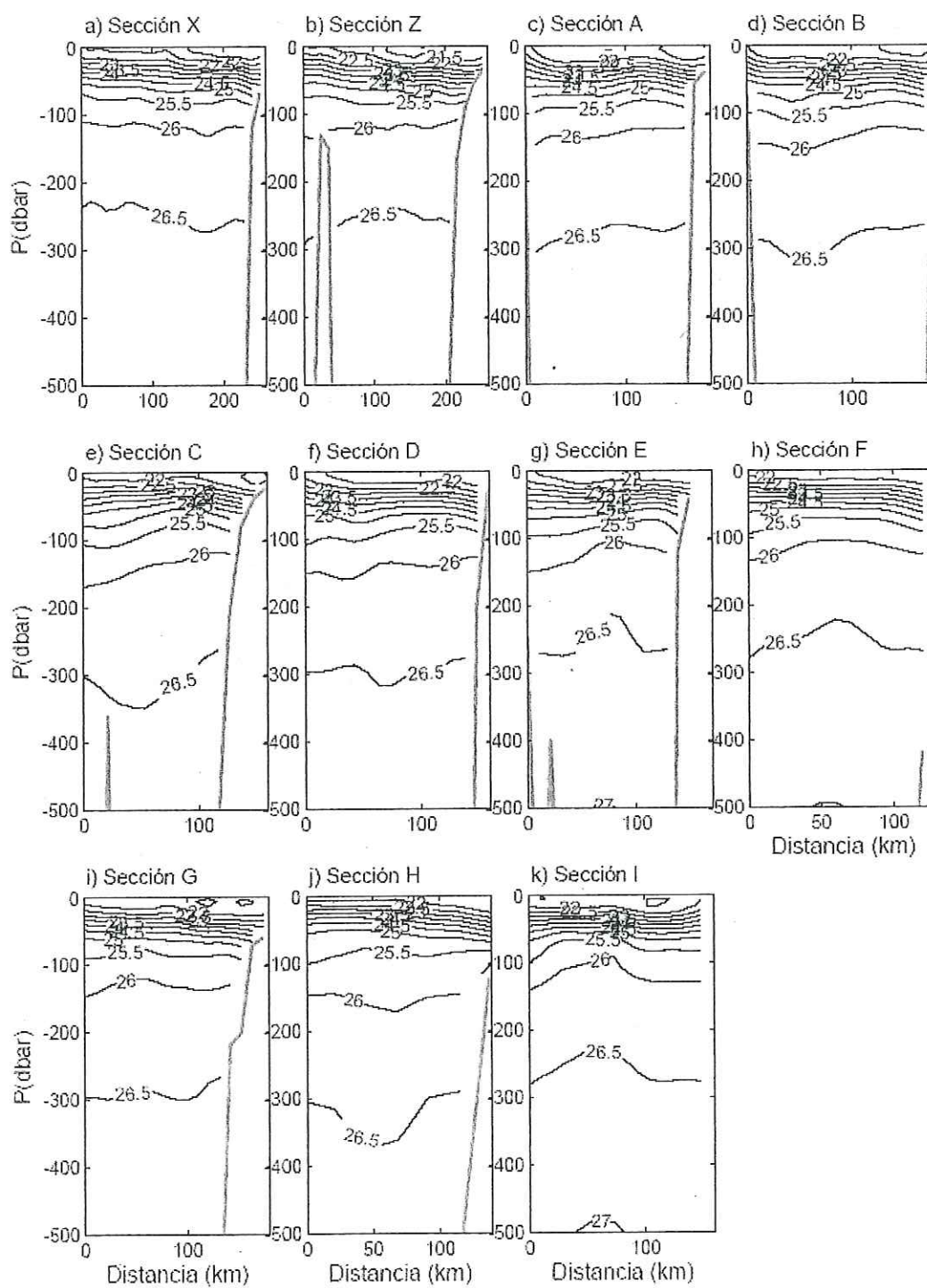


Figura 5. Distribución vertical de anomalía de densidad para cada una de las secciones. El intervalo de los contornos es de 0.5 kg m^{-3} .

Los hundimientos se observaron en las secciones B, C, D y H (Figs. 4d, 4e, 4f, 4j y 5d, 5e, 5f, 5j), los cuales. Estos hundimientos fueron más desarrollados en la sección C en donde se observó un descenso de la isoterma de 11 °C desde los 300 dbar hasta los 390 dbar, mientras que la isopicna de 26.5 kgm^{-3} se hundió desde los 260 dbar hasta los 350 dbar, a una distancia de ~50 km de la península. Un comportamiento similar mostró la isoterma de 9 °C en esta misma sección, con la diferencia de que la variación fue de 80 dbar (entre 410 dbar y 490 dbar). Por otro lado, en la sección H (Figs. 4j y 5j) la isoterma de 11 °C presentó un descenso desde los 320 dbar hasta los 400 dbar y la isopicna de 26.5 kgm^{-3} fluctuó entre los 290 dbar y 370 dbar a ~40 km de distancia de la península. En las secciones B y D (Figs. 4d, 4f, 5d y 5f) los hundimientos fueron menos visibles: la isoterma (isopicna) de 11 °C (26.5 kgm^{-3}) obtuvo un descenso desde los 290 dbar (260 dbar) hasta los 360 dbar (330 dbar) y de 300 dbar (275 dbar) hasta los 350 dbar (320 dbar) respectivamente, a una distancia de ~60 km de la península.

Respecto a los domos (ascensos) de isotermas e isopícnas, éstos ocurrieron principalmente en las secciones E, F e I (Figs. 4g, 4h, 4k y 5g, 5h, 5k), aunque muy débil también en las secciones X y Z (Figs. 4a, 4b y 5a, 5b). En la sección E (Figs. 4g y 5g) la isoterma de 11 °C exhibió un ascenso desde los 310 dbar hasta los 250 dbar, mientras que la isopicna de 26.5 kgm^{-3} entre 270 dbar y 210 dbar a una distancia de ~75 km de la península. En la sección F (Figs. 4h y 5h) dicho ascenso en la isoterma (isopicna) de 11 °C (26.5 kgm^{-3}) ocurrió desde los 305 dbar (280 dbar) hasta los 255 dbar (220 dbar) a ~60 km de distancia de la península. En la sección I (Figs. 4k y 5k) el ascenso de la isoterma de 9 °C fue desde ~440 dbar hasta ~380 dbar, mientras que la

isopícnica de 26.5 kgm^{-3} lo hizo desde ~ 290 hasta 220 dbar a $\sim 55 \text{ km}$ de distancia de la península.

En la estructura de la salinidad (Fig. 6), a excepción de los transectos X, Z y A (Figs. 6a, 6b y 6c), en general no se observa un contraste claro en la distribución de ésta en ambas plataformas. Muchos de los transectos presentan valores muy similares; por ejemplo, en el transecto F (Fig. 6h) se observó una distribución horizontal muy homogénea en la parte superficial (0-40 dbar), es decir, las salinidades tanto en la península como en la plataforma fueron prácticamente iguales. Por debajo de los $\sim 40 \text{ dbar}$ se observaron afloramientos en las isohalinas < 34.9 en la parte central de la sección pero en ambas plataformas las salinidades son prácticamente iguales.

Los valores más bajos de salinidad observaron en la sección X (Fig. 6a) los cuales tienen características del ACC ($S \leq 34.5$). Aproximadamente en los primeros 150 km de la parte oeste de la sección, entre 0 y 140 dbar se observaron las menores salinidades, las cuales fueron delimitadas por la isohalina de 34.6 . Esta isohalina se encontró entre 40 y 60 dbar en la parte más oeste de la sección y en su distribución hacia el este se divide hacia la superficie y hacia una mayor profundidad, a una distancia de 100 km se hunde hasta 130 dbar , 50 km más hacia el este asciende a 50 dbar y finalmente rompe en la superficie. Entre $30\text{-}60 \text{ dbar}$ y $\sim 30 \text{ km}$ de ancho se presentó un núcleo con salinidad de 34.5 en la parte más oeste de la sección, así como uno de 34.2 a $\sim 90 \text{ km}$ al este. Aunque salinidades altas, entre 34.7 y 34.9 , se observaron del lado oeste en una capa superficial delgada ($\sim 25 \text{ dbar}$) y ancha ($\sim 100 \text{ km}$), también se detectaron en lado de la plataforma en una capa más gruesa (0-40 dbar) y del mismo ancho. Cabe destacar la presencia de un

gran núcleo (~130 km de ancho) adyacente a la plataforma continental, el cual se extendió desde los 70 dbar hasta los 310 dbar, con salinidades entre 34.7 y 34.9, que podría corresponder a Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt).

En la sección Z (Fig. 6b) se observó una intrusión de oeste a este de aguas con salinidad baja (con el mínimo de 34.3) y delimitadas por la isohalina de 34.6, y que en su parte más angosta (oeste) se distribuye en una capa entre 15-55 dbar y alcanza ~125 dbar a ~50 km de distancia de la parte más oeste; esta intrusión tuvo un ancho de ~140 km. Se presentaron también salinidades altas (34.7-34.9), en una capa delgada en la parte oeste (~15 dbar) y que conforme nos acercamos a la plataforma alcanzó profundidades de ~45 dbar. Cabe destacar que el gran núcleo presente en la sección X (Fig. 6a) también aparece en ésta, con la diferencia de que no fue tan profundo (80-210 dbar), fue menos ancho (~70 km) y fue más salino (34.8-34.9).

A partir de la sección A (Fig. 6c) las salinidades en la parte superficial fueron mayores que 34.9. Por ejemplo, en la sección A se observó un núcleo delimitado por la isohalina de 34.9 que va desde la superficie y alcanzó ~40 dbar, abarcando casi por completo toda la sección (rompe en la superficie a una distancia de ~130 km de la península), además presentó 2 máximos (35.1) a ~60 km y ~100 km de distancia de la península. En este mismo lado se localizó un núcleo delimitado por la isohalina de 34.7, el cual abarca desde los 20-75 dbar, ~35 km de ancho y con el mínimo de 34.4, que es la salinidad más baja de esta sección. Además se observó un núcleo con $S = 34.9$ y un ancho de ~120 km, que abarcó desde los 80-175 dbar.

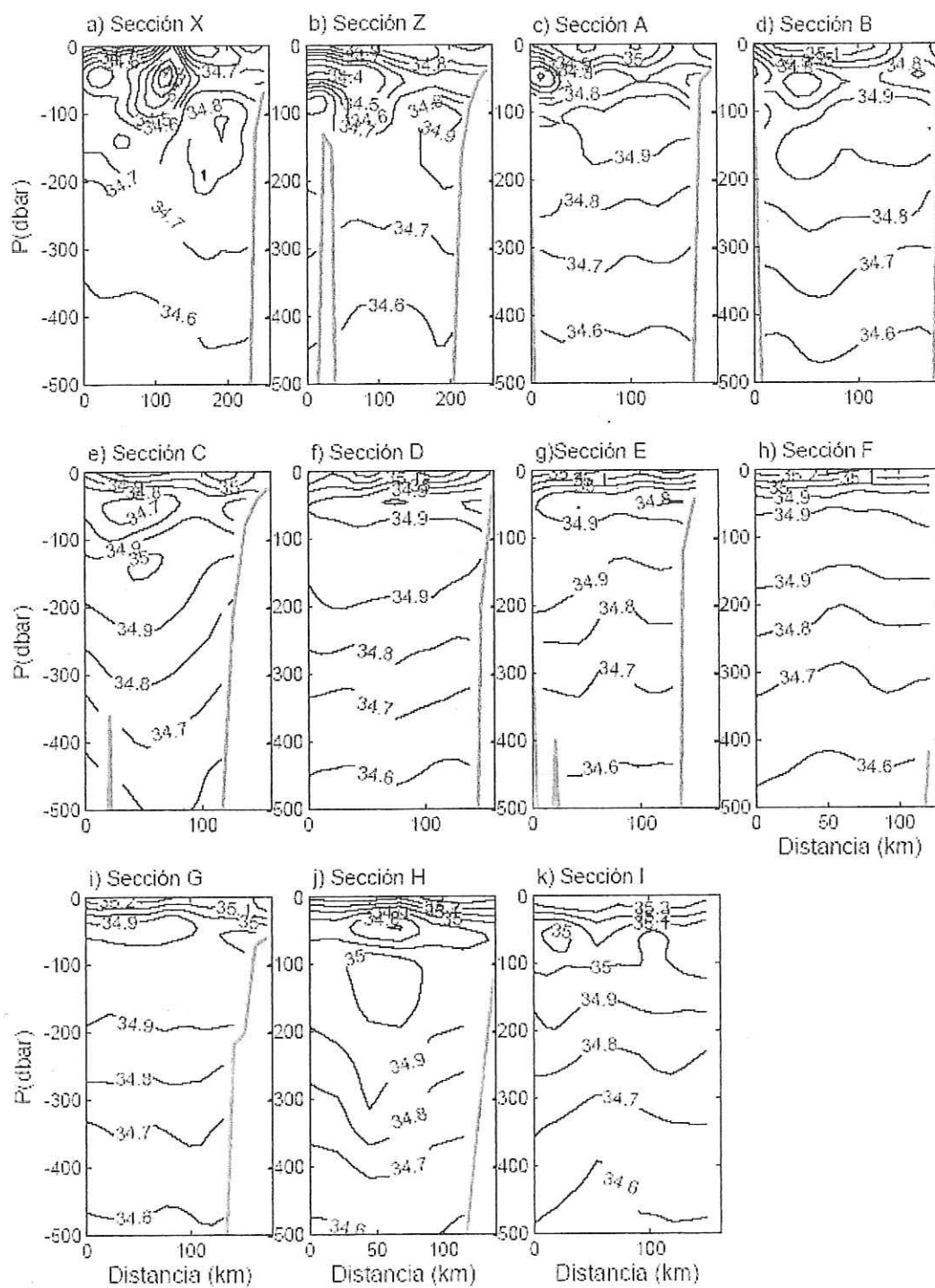


Figura 6. Distribución vertical de salinidad para cada una de las secciones. El intervalo de los contornos es de 0.1.

Este mismo núcleo se observó en la sección B (Fig. 6d) aunque abarcó desde los 80-200 dbar y tuvo un ancho de 130 km. En esta misma sección en la superficie las salinidades fueron mayores que 34.9, aquí se apareció otro núcleo delimitado por la isohalina de 34.9 que rompió en la superficie a una distancia de 140 km de la península y alcanzó ~40 dbar. Un rasgo muy importante en la sección B, C y D (Fig. 6d, 6e y 6f) fue el hundimiento de las isohalinas <34.9. Este rasgo fue más visible en la sección C (Fig. 6e) en donde la isohalina de 34.9 se hundió desde los ~115 dbar hasta ~240 dbar a una distancia de 50 km de la península e inclusive, la isohalina de 34.6 se hunde desde los 410 dbar y rompe en el límite de los 500 dbar, esto quizá se deba a la presencia (intrusión) de un núcleo con salinidades de 35 a 150 dbar y a una distancia de ~50 km de la península. Esta misma sección observaron salinidades altas en la capa superficial (>34.9) en una porción delgada (~30 dbar) y ancha, que cubrió todo el transecto, presentando 2 máximos de 35.1 que rompen en la superficie, a 45 y 110 km de distancia de la península. Además floreció otro núcleo adyacente a la península delimitado por la isohalina de 34.8 que abarcó desde los 20 hasta los 100 dbar y tuvo un ancho de ~75 km.

En las secciones D, E, F y G (Fig. 6f, 6g, 6h y 6i) la isohalina de 34.9 (~50 dbar) cubrió por completo todo el transecto y apareció por primera vez la isohalina de 35.2. Cabe destacar que en la sección E (Fig. 6g) las isohalinas <34.9 (~200 dbar) mostraron un notable afloramiento de ~50 dbar en la parte central del transecto. Además, en la capa de los primeros 50 dbar, las salinidades son mayores del lado de la península (34.9-35.2) que del lado de la plataforma (34.9-35.1). La parte superficial (0-40 dbar) de la sección F (Fig. 6h) es la que manifestó una mayor homogeneidad, es decir, las salinidades tanto

en la península como en la plataforma son prácticamente iguales (no existe pendiente en las isohalinas). Además reapareció el afloramiento, aunque no es tan notable como en la sección anterior. En la sección G (Fig. 6i), la isohalina de 34.9 que se localiza por arriba de los 100 dbar, formó un núcleo con un ancho que va desde la península hasta 100 km al este, mientras que del lado de la plataforma continental, se presenta también un núcleo de la misma salinidad, de ~20 km de ancho.

En la sección H (Fig. 6j), se observaron salinidades altas (35.2-35.3) en la capa superficial (0-30 dbar), por debajo de esta, en una capa delgada (40-60 dbar) la salinidad disminuyó, donde un núcleo de 34.9 cubrió casi todo el transecto con un mínimo de 34.7 en el centro de la sección (~70 km de la península). Sin embargo, entre 90-190 dbar, la salinidad aumentó de nuevo debido a la presencia un núcleo con salinidad de 35 y de un ancho de ~60 km en el centro de la sección. En las capas más profundas destacó el hundimiento de las isohalinas ≤ 34.9 desde los 200 dbar hasta más de 500 dbar aproximadamente en el centro de la sección.

La sección I (Fig. 6k), sección longitudinal, presenta rasgos muy interesantes; por arriba de los 100 dbar mostró salinidades ≥ 35 , con valores hasta de 35.3 en superficie a lo largo de todo el transecto, un núcleo de 35 en la parte más al sur entre ~50-90 dbar, con un ancho de ~20 km, además, la isohalina de 35 presenta un pequeño domo en la parte más al norte de la sección, ascendiendo desde ~110 hasta ~50 dbar. Las isohalinas ≤ 34.9 se observan por debajo de ~150 dbar y presentan un ascenso en el centro de la sección.

Respecto a la estructura vertical del oxígeno disuelto (Fig. 7), las concentraciones más altas del crucero fueron de 5 ml/l y ocurrieron en las secciones de la entrada X, Z y A (Fig. 7a, 7b y 7c), las cuales se distribuyeron en la capa superficial (0-50 dbar). En el resto de las secciones se alcanzaron valores de 4.5 ml/l en una capa similar. Además, podemos observar en todas las secciones que, por encima de ~80 dbar el comportamiento de las isolíneas es muy homogéneo y los valores de oxígeno presente a lo largo de cada uno de los transectos es muy similar.

Como se mencionó anteriormente, en estas secciones también existe la presencia de hundimientos (anti-domos) y ascensos (domos) en la estructura de las isolíneas de oxígeno disuelto por debajo de los 100 dbar. Los hundimientos se detectaron en las secciones X, Z, C y H (Fig. 7a, 7b, 7e y 7j, respectivamente). Estos anti-domos fueron más notables en la sección H, en donde se observó un descenso de la isolínea de 1 ml/l desde ~200 dbar hasta ~350 dbar, a una distancia de 40 km de la península. El mismo comportamiento se presentó en la isolínea de 0.5 ml/l, en donde se observó un hundimiento desde ~250 dbar hasta ~370 dbar, a la misma distancia del anti-domo anterior; esto quizá se deba a la intrusión de un núcleo con valor de 2 que se observa entre 50-80 dbar y tiene un ancho de ~50 km (30-80 km de distancia de la península). En la sección C, el hundimiento fue también importante: la isolínea de 1 ml/l presentó un descenso desde ~140 dbar del lado de la plataforma de Sinaloa hasta ~240 dbar, a una distancia de 50 km de la península. En las secciones X y Z los hundimientos fueron muy débiles y en ambas secciones se detectaron adyacentes a la plataforma de Sinaloa; en el transecto X la isolínea de 1 ml/l presentó un hundimiento desde ~80-150 dbar y la de 0.5

desde ~100-180 dbar, mientras que en la sección Z la isolínea de 1 ml/l fluctuó entre ~90-160 dbar y la de 0.5 ml/l entre ~115-200 dbar.

En relación a los domos (ascensos), estos se presentaron solamente en las secciones E, F e I (Fig. 7c, 7d y 7k, respectivamente). En el transecto E, donde fue mas notable, la isolínea de 1 ml/l presentó un ascenso de ~70 dbar (130-200 dbar), mientras que la de 0.5 ml/l lo hizo desde ~250-170 dbar, ambas a una distancia de ~80 km de la península. La sección I, transecto a lo largo de eje del Golfo, presentó, en la isolínea de 1 ml/l, un ascenso desde ~200-125 dbar, mientras que la de 0.5 ml/l mostró un ascenso de ~60 dbar (260-200 dbar), ambas situaciones se observaron a una distancia de ~50 km de la parte más sureña del transecto.

Por otro lado, la sección X (Fig. 7a) presentó un gran núcleo de 5 ml/l que abarca la mayor parte del transecto, desde la parte más oeste hasta ~170 km y va desde los 20-50 dbar en su parte más ancha. Además se observó otro pequeño núcleo adyacente a la plataforma de Sinaloa de 20 km de ancho y abarca desde los 20-30 dbar. En la sección Z siguió apareciendo el núcleo de la sección X, aunque aquí se divide en 2, uno que rompe en el límite oeste y va hasta ~60 km y el otro se desplaza desde ~35-65 km de la parte más oeste, ambos a las mismas profundidades que el del transecto X. En la secciones F y G (Fig. 7h y 7i, respectivamente) se observa un núcleo de 4.5 ml/l que cubre por completo todo el largo de la sección pero solamente en la superficie. En la sección I (Fig. 7k) también aparece el núcleo de 4.5 ml/l pero va desde la parte más sureña hasta ~90 km de ésta y abarca desde ~10-50 dbar.

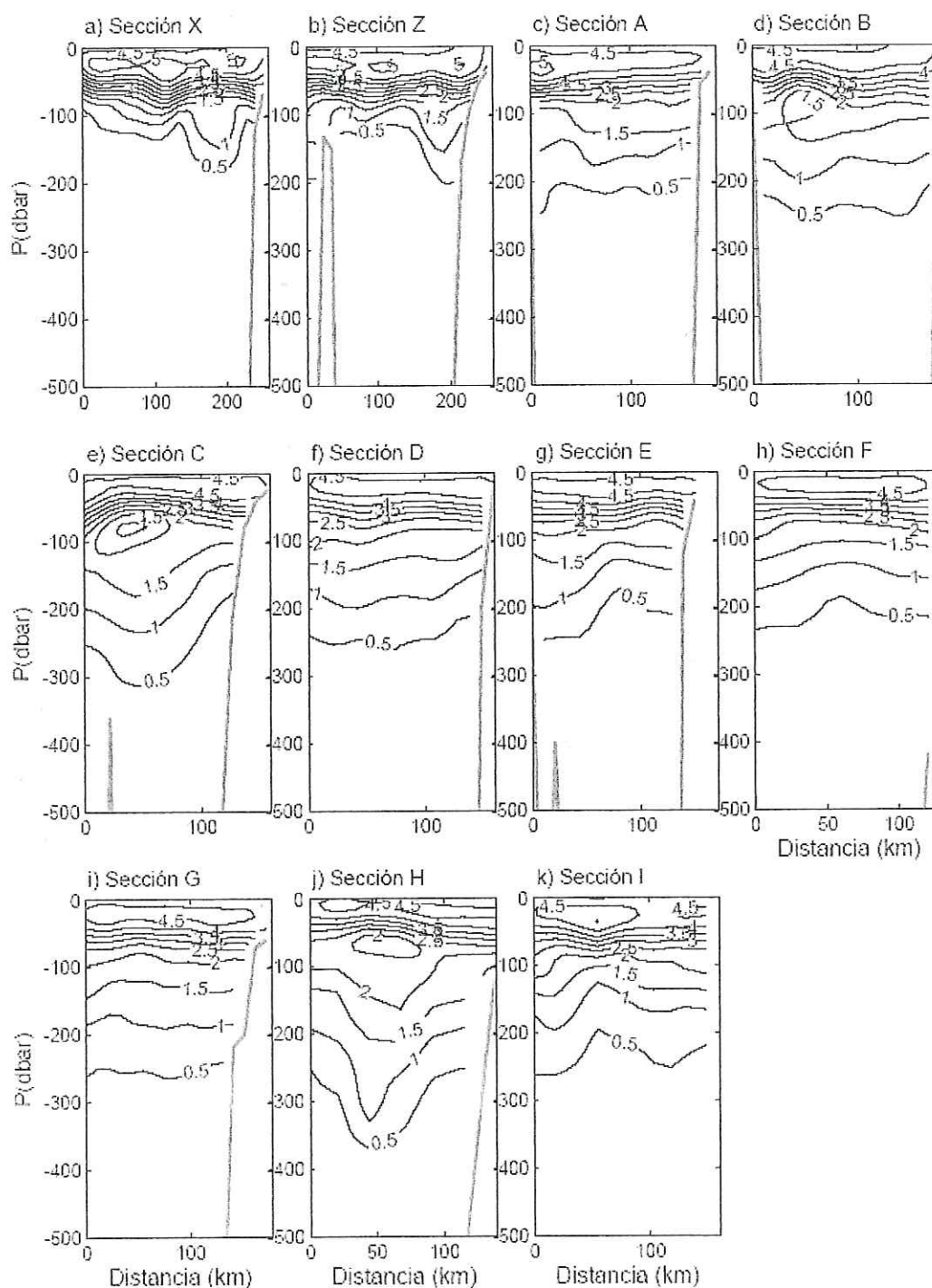


Figura 7. Distribución vertical de oxígeno disuelto para cada una de las secciones. El intervalo de los contornos es de 0.5 ml/l.

III.4 Corrientes geostróficas

En la figura 8 se muestran las secciones del campo de velocidad geostrófica, valores positivos indican un flujo hacia dentro del Golfo o hacia el noroeste y negativos hacia afuera del Golfo o al sureste. En general, se observan 3 situaciones en la dirección del flujo geostrófico a través de las secciones: una alternancia en los flujos de entrada y salida en las secciones más al sur, X y Z (Figs. 8a y 8b) y de manera similar en la sección G (Fig. 8i) al interior del Golfo; flujos bien definidos penetrando al interior del Golfo adyacentes a la península y a la plataforma de Sinaloa y el flujo de salida por la parte central de las estaciones A, B, C y D (Figs. 8c, 8d, 8e y 8f), por otro lado un flujo simétrico entre las entradas y salidas en las secciones E, F y H (Figs. 8g, 8h y 8j).

En las secciones X y Z los flujos en general son débiles, por abajo de los 150 dbar las velocidades son de $\sim 5 \text{ cms}^{-1}$ (Figs. 8a y 8b). En la sección X se observaron tres núcleos con flujo positivo en la capa superficial a lo largo de la sección: uno en la parte más oeste de la sección, de $\sim 40 \text{ km}$ de ancho, el cual alcanzó $\sim 200 \text{ dbar}$ y velocidades de 10 cms^{-1} cerca de la superficie; el otro núcleo se ubicó en la parte central de la sección, de $\sim 80 \text{ km}$ de ancho y un poco más profundo, el cual se observó a $\sim 250 \text{ dbar}$ y con velocidades de $10\text{-}20 \text{ cms}^{-1}$ entre $0\text{-}100 \text{ dbar}$; el tercer núcleo se detectó adyacente a la plataforma, fue más somero ($0\text{-}90 \text{ dbar}$) pero con velocidades hasta de 25 cms^{-1} en superficie. Se detectaron dos flujos de salida, el más fuerte se localizó a $\sim 50 \text{ km}$ de distancia de la plataforma de Sinaloa, de $\sim 30 \text{ km}$ de ancho, alcanzó los $\sim 400 \text{ dbar}$, con velocidades superficiales de 15 cms^{-1} . La sección Z mostró los flujos más débiles de toda la zona, con velocidades que fluctuaron entre 5 y 10 cms^{-1} en la capa $0\text{-}100 \text{ dbar}$.

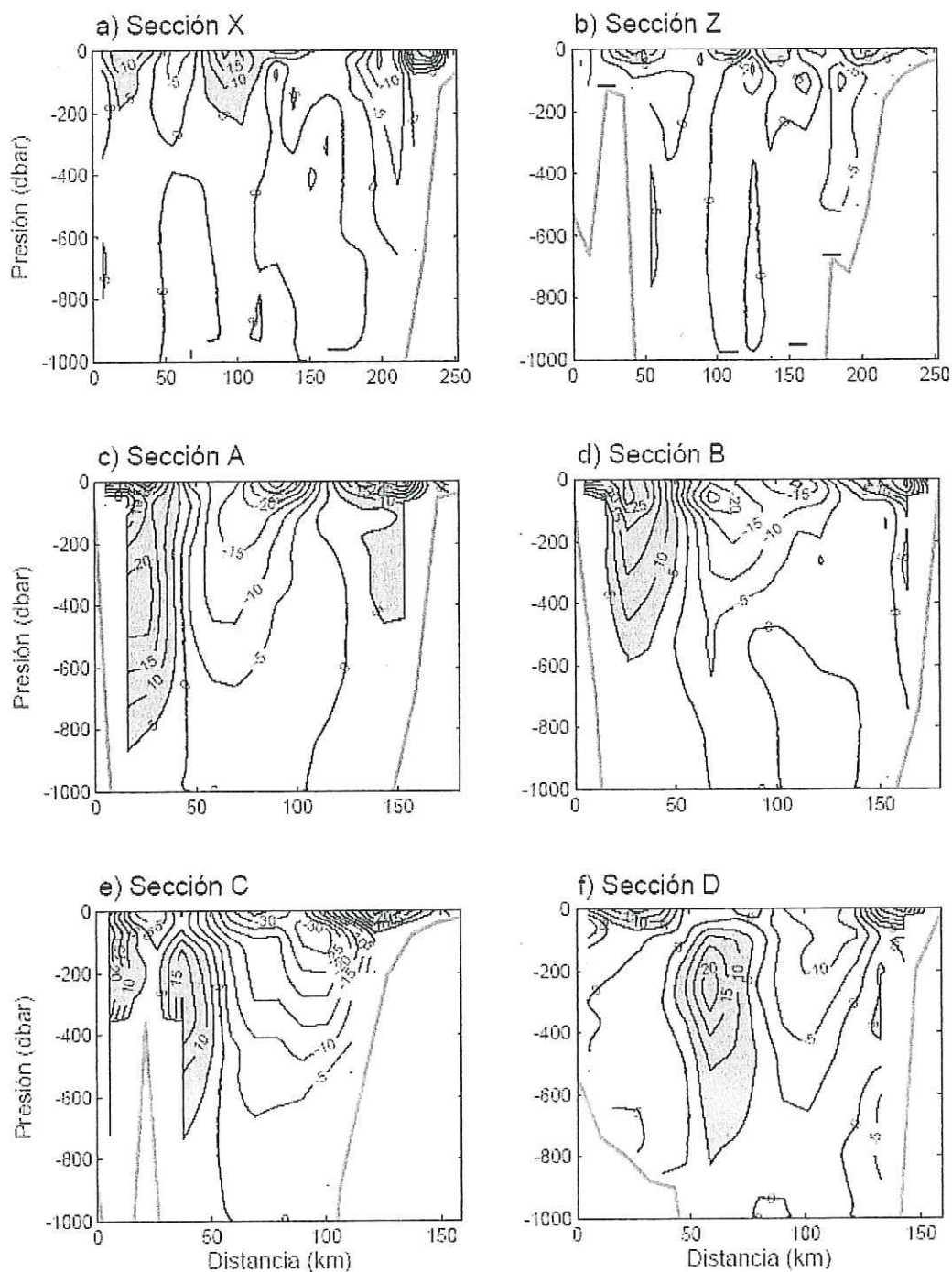


Figura 8. Secciones X-D de velocidades geostóficas (cms^{-1}). El intervalo de contornos es de 5 cms^{-1} . Las secciones más oscuras (valores positivos) indican flujo hacia el interior del Golfo y la menos oscuras (valores negativos) indica flujo hacia el exterior del Golfo.

En la sección A (Fig. 8c) se observó la presencia de un flujo positivo de ~50 km de ancho adyacente a la península, desde la superficie hasta los ~800 dbar, con velocidades de 20 cms^{-1} en los primeros 50 dbar y entre 300-500 dbar; en la parte superficial se observan velocidades hasta 30 cms^{-1} . El otro flujo positivo se encontró adyacente a la plataforma de Sinaloa en un chorro de ~45 km de ancho que alcanzó profundidades de ~100 dbar y velocidades de 35 cms^{-1} en la superficie. El flujo negativo se localizó en el centro de la sección, con ~75 km de ancho y alcanzó profundidades de ~800 dbar, las velocidades máximas (35 cms^{-1}) fueron entre 0-50dbar.

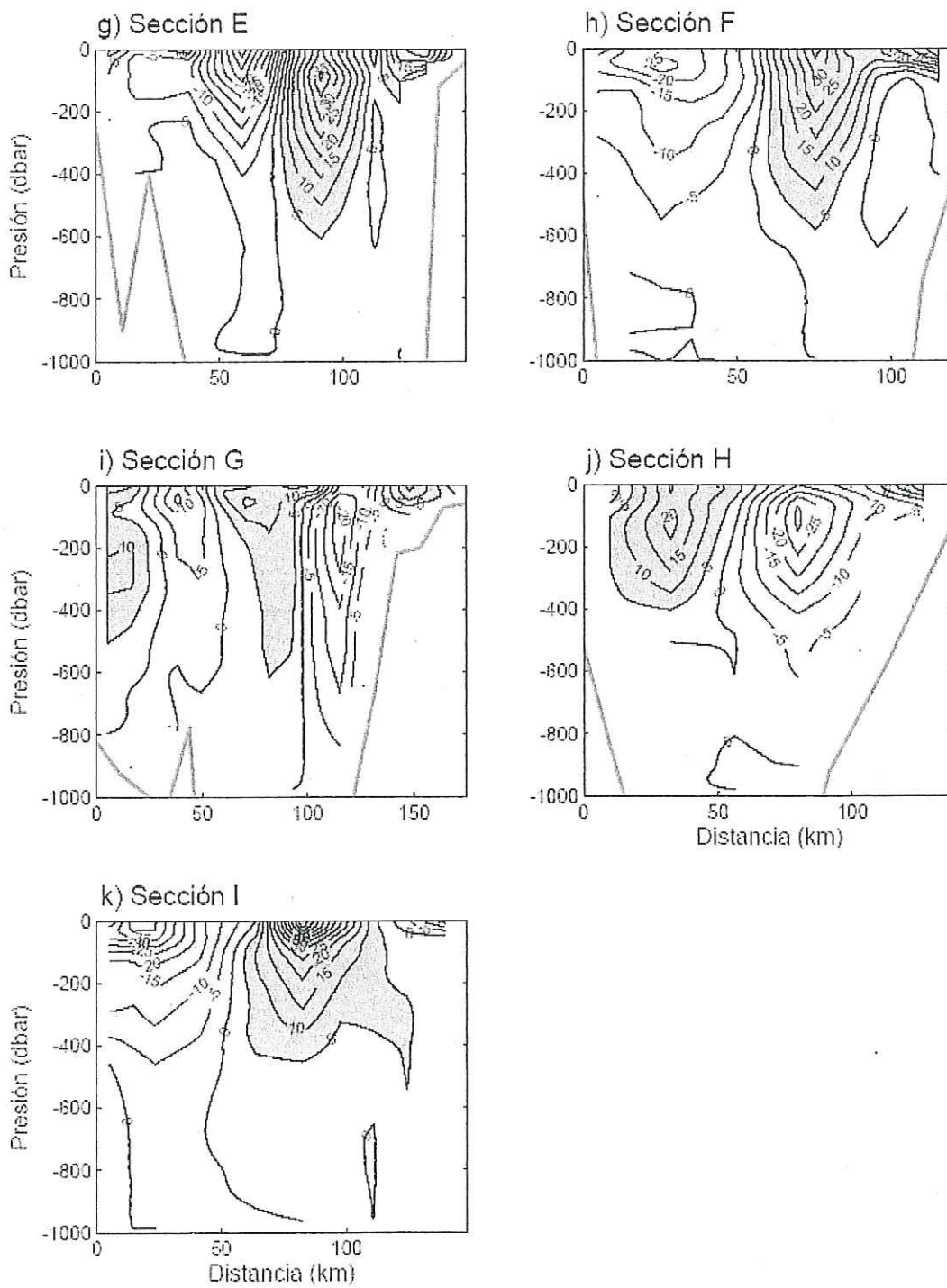
En la sección B (Fig. 8d) se muestra un comportamiento similar al de la sección anterior; cuyo flujo de entrada adyacente a la península alcanza profundidades de ~600 dbar y con un ancho de ~50 km, con el flujo más intenso (30 cms^{-1}) entre 0-100 dbar. La intrusión por el lado de la plataforma de Sinaloa fue más débil y somera que la sección A. Aunque presenta un ancho de ~50 km, velocidades de 5 cms^{-1} no rebasan los ~400 dbar y cerca de la superficie (0-50 dbar) las velocidades son entre 20 y 25 cms^{-1} . Con lo que respecta al flujo de salida (al sur), este se detectó en el centro de la sección, ocupando ~80 km de ancho, alcanzando los ~600 dbar y presentando 2 máximos (25 cms^{-1}): el primero a una distancia de 75 km de la península, entre 50-100 dbar y otro a ~110 km de distancia de la península entre la superficie y ~25 dbar.

En la sección C (Fig. 8e) se sigue presentando un comportamiento parecido a las dos secciones anteriores: flujo entrante adyacente a la península, con un ancho de ~25 km y abarcando desde la superficie hasta los ~400 dbar, con un flujo máximo de 20 cms^{-1} , además se observa un núcleo que abarca desde los ~100-800 dbar con el flujo más

intenso (20 cms^{-1}) entre los 300-380 dbar a una distancia de ~ 40 km de la península. El flujo adyacente a la plataforma alcanzó sólo los ~ 100 dbar y cubrió aproximadamente 50 km de ancho, con un flujo máximo de 25 cms^{-1} en la parte superficial. El flujo de salida (al sur) es más extenso (~ 80 km de ancho), alcanza profundidades de ~ 600 dbar, muestra un núcleo de 30 cms^{-1} a una distancia ~ 90 km de la península, entre los ~ 50 y 150 dbar; se presenta otro núcleo superficial de $30\text{-}35 \text{ cms}^{-1}$ en la capa superficial de ~ 50 dbar, con un ancho de ~ 30 km.

En la sección D (Fig. 8f) podemos observar una intrusión hacia el norte de un flujo adyacente a la península que va desde la superficie hasta los ~ 100 dbar, con un ancho de ~ 45 km y velocidades máximas de 20 cms^{-1} ; de igual manera podemos observar un flujo de entrada entre los $\sim 100\text{-}800$ dbar, de un ancho de 30 km a una distancia de ~ 50 km de la península, presentando un flujo máximo de 20 cms^{-1} entre $\sim 200\text{-}350$ dbar. El flujo de entrada adyacente a la plataforma se observó cada vez más angosto (~ 25 km) y abarcó desde la superficie hasta los ~ 100 dbar, con velocidades máximas superficiales de 25 cms^{-1} . El flujo de salida (al sur) presenta velocidades muy bajas ($5\text{-}10 \text{ cms}^{-1}$), alcanzado los ~ 400 dbar y ~ 200 dbar respectivamente. En base a estas 4 secciones, podemos indicar la existencia de un remolino anticiclónico que cubre las estaciones A, B, C y D (Figs. 8c, 8d, 8e y 8f, respectivamente).

Las secciones E y F (Figs. 8g y 8h, respectivamente) mostraron una simetría muy marcada entre los flujos de entrada y salida.



..... continuación de la Figura 8. Secciones E-I.

En la sección E, el flujo de salida ocurrió desde el centro de la sección hacia la península con un ancho de ~ 75 km, mientras que la entrada se distribuyó hacia la plataforma de Sinaloa. En la parte superficial el flujo de salida fue más intenso que el de la entrada, con velocidades de entre $35-45 \text{ cms}^{-1}$ por encima de los ~ 100 dbar. El flujo de entrada presenta un núcleo de entre $30-40 \text{ cms}^{-1}$ que rompe en la superficie y alcanza ~ 200 dbar. Además, el flujo de entrada alcanza mayores profundidades (~ 600 dbar), mientras que el de salida sólo alcanza los ~ 400 dbar.

La sección F (Fig. 8h) presentó un comportamiento similar a la sección E, aunque el flujo de salida no alcanzó velocidades tan altas: este flujo alcanzó los ~ 600 dbar, sin embargo el flujo más intenso que se detectó fue de 25 cms^{-1} en un pequeño núcleo entre $50-100$ dbar. El flujo de salida llegó hasta los ~ 600 dbar y la isotaca de 25 cms^{-1} alcanzó hasta ~ 175 dbar con una velocidad máxima superficial de 30 cms^{-1} . En base a la dirección de los flujos en estas 2 secciones, podemos decir que se manifiesta un giro ciclónico en esta zona.

En la sección G (Fig. 8i) se observó un flujo de entrada adyacente a la península que alcanza profundidades de ~ 800 dbar y mostró un máximo de 10 cms^{-1} entre $\sim 200-380$ dbar (15 km de ancho). Además se presentó otro flujo de entrada en el centro de la sección que alcanzó ~ 600 dbar, con un ancho de 50 km en la superficie y velocidades máximas de 15 cms^{-1} entre $\sim 50-100$ dbar. Adyacente a la plataforma de Sinaloa se detectó otro pequeño flujo hacia adentro del Golfo de ~ 20 km de ancho, con velocidades máximas de 15 cms^{-1} . La presencia de un flujo negativo (al sureste) a ~ 30 km de distancia de la península que alcanza ~ 300 dbar con velocidades máximas en la

superficie de 15 cms^{-1} . Además de un flujo de salida a 100 km de distancia de la península, de un ancho de 25 km y que alcanza ~ 800 dbar; presenta velocidades máximas de 20 cms^{-1} entre 50 y 150 dbar a una distancia de ~ 115 km de la península.

En la sección H (Fig. 8j) la situación fue diferente a E y F, ya que los flujos se invirtieron. El flujo de entrada fue adyacente a la península y alcanzó ~ 400 dbar y cerca de la superficie, entre 100-200 dbar y a una distancia de 25 km de la península mostró el flujo máximo con un pequeño núcleo de 20 cms^{-1} . El flujo de salida ocurrió adyacente a la plataforma, alcanzando profundidades de ~ 600 dbar y presentó un pequeño núcleo de 25 cms^{-1} entre ~ 90 y 180 dbar a 80 km de distancia de la península.

La sección I (Fig. 8k) representa el transecto a lo largo del eje del Golfo, donde valores positivos indican flujos hacia el oeste y negativos hacia el este. El flujo hacia la península alcanzó profundidades de ~ 550 dbar en la parte más norte del transecto, donde el flujo más intenso (50 cms^{-1}) ocurrió entre la superficie y ~ 75 dbar. También se observó la presencia de un flujo hacia la plataforma en la parte más al sur de la sección, el cual abarcó los ~ 450 dbar y presentó el flujo más intenso (40 cms^{-1}) en la superficie. Lo anterior nos puede indicar la presencia de un remolino ciclónico en esta parte del Golfo. Cabe mencionar que en esta sección se presentaron los flujos más intensos de todo el crucero, tanto al este (hacia la plataforma de Sinaloa) como al oeste (hacia la península) con valores de 40 y 60 cms^{-1} , respectivamente.

IV. DISCUSIÓN

El patrón mostrado en los diagramas θ -S (Fig. 2) para las distintas secciones, sobre todo de B a I, donde la estructura termohalina tuvo poca variabilidad, nos da una idea de que a lo ancho del golfo se encuentran distribuidas el ATS y el AGC. Como se analiza más adelante, esta situación esta relacionada con remolinos de mesoescala que podrían acarrear agua de una plataforma a otra. Castro *et al.*, (2006b) durante junio de 2004 (NAME-01), en un diagrama θ -S similar mostraron una situación muy diferente, ya que observaron una separación del campo termohalino, donde por un lado del diagrama se distribuyeron el ACC y el AST y por el otro el AGC. Lo anterior fue ligado a un flujo hacia dentro del golfo cerca del continente acarreado aguas del Pacífico y a la presencia del AGC cerca de la península en su distribución hacia el sur.

En la distribución del campo de temperatura a través de las secciones se observó que en los primeros ~ 60 dbar, las isotermas presentan un pequeño levantamiento en la parte del lado de la península (Figs. 4a-4e) y esto, asociado a lo que se observó en el campo superficial de temperatura, en donde éstas son menores en la península que del lado de la plataforma de Sinaloa (Fig. 3b) nos podría estar indicando la presencia de un evento de surgencia, posiblemente relacionado al campo de vientos del sureste (Fig. 3a).

Por otro lado, basándonos en la distribución de salinidad en los primeros 100 dbar, secciones X y Z (Figs. 6a-6b), se observan salinidades ≤ 34.5 en la parte oeste, el ACC se limitó a esta área. La presencia del ACC en junio de 1995 fue reportada Alvarado-Graef (1998) desde Cabo San Lucas hasta cerca de Cabo Pulmo, en una capa entre ~ 20 y 40 dbar y que se extiende hasta ~ 80 km de la costa. También fue reportada por Castro *et al.*,

(2000, 2006a) para agosto de 1995, en la parte central y este de la sección A, en un núcleo de 34.3 entre ~60 y 80 dbar, y al norte de Isla Cerralvo en un pequeño núcleo de 34.2-34.6 a ~50 dbar.

Adyacente a la península, se observaron núcleos de salinidad baja (≤ 34.7) en las secciones A-B-C (Figs. 6c-6d), lo cual nos sugiere la presencia de un flujo hacia el interior del Golfo con características del AST. Del lado de la plataforma de Sinaloa se observaron temperaturas un poco más cálidas que del lado de la península en la capa superficial (0-60 dbar) (Figs. 3, 4c-4j), así como con salinidades relativamente más bajas (Figs. 6e-6j), este patrón asimétrico fue observado también por Castro *et al.*, (2000).

El rasgo más sobresaliente en la distribución de isotermas e isopícnas fue la presencia de hundimientos (anti-domos) y ascensos (domos) en la parte central (o cerca de esta) en varias de las secciones por debajo de los 150 dbar. Los hundimientos (calentamiento) en el centro de las secciones B, C y D (Figs. 4d, 4e, 4f y 5d, 5e, 5f) nos indican la presencia de un flujo anticiclónico, mientras que los ascensos (enfriamiento), que se presentaron en las secciones E, F e I (Figs. 4g, 4h, 4k y 5g, 5h, 5k), nos indican un flujo ciclónico. Estructuras baroclínicas han sido reportadas por Castro *et al.*, (2000, 2006a), quienes observaron en una sección de la entrada, entre Cabo Pulmo, B. C. S. y el Dorado, Sinaloa (Fig. 1) ascensos (domos) en mayo (1992, 1998), noviembre (1997) y diciembre (1992) y también en las secciones E-F para noviembre (1997). Hundimientos fueron sólo en invierno (febrero, 1999) sobre la sección E.

Respecto al campo de velocidades geostroficas, en general se observaron flujos bien definidos, a excepción de las secciones de la entrada (X, Z) donde la circulación

presentó mucha variabilidad, con una alternancia en los flujos de entrada y salida. Un resultado similar fue obtenido recientemente por Mascarenhas *et al.*, (2004), para una sección cercana a la sección A en el verano (Agosto 1995, 1998). Sin embargo, hacia el interior del Golfo (a excepción de la sección G), resultó muy interesante como el patrón de entrada y/o salida para algunas secciones se intercambió, de flujo con características de anticiclónico en A-D (en la mayor parte de la sección) y en la sección H, a flujo ciclónico muy bien definido en las secciones E, F e I.

Rosas-Cota (1976) encontró, para agosto de 1957, un remolino ciclónico en la circulación superficial a la altura de Guaymas ($27^{\circ} 30' N$). La sección I de estudio coincide con dicha posición, donde se pudo observar un claro patrón en la circulación ciclónica, ya que en la parte sur de la sección se observó flujo en dirección este (hacia la plataforma de Sinaloa) y en la parte más al norte un flujo hacia el oeste (hacia la península), lo cual nos podría estar indicando la presencia de un remolino ciclónico, que alcanza ~ 400 dbar con velocidades de 5 cms^{-1} y velocidades máximas superficiales de 60 cms^{-1} en el flujo hacia el oeste y de 40 cms^{-1} hacia el este. Por otro lado, Rosas-Cota reportó la presencia de otro remolino, pero anticiclónico, a la altura de $\sim 25^{\circ} N$ y a una profundidad de 200 m con velocidades de $\sim 10 \text{ cms}^{-1}$. Dicha posición corresponde en el presente estudio a las secciones E y F (Fig. 1). En estos transectos se encontró una simetría muy marcada en los flujos (Figs. 8g y 8h, respectivamente), donde se observó flujo de salida (al sur) desde el centro de la sección hasta la península, con velocidades máximas de $35\text{-}45 \text{ cms}^{-1}$ encima de los 100 dbar y un flujo de entrada (al norte) del centro hacia la plataforma de Sinaloa, con velocidades máximas de $30\text{-}40 \text{ cms}^{-1}$ encima

de los 100 dbar. Lo anterior nos puede estar indicando la presencia de un remolino ciclónico que alcanzó ~ 600 dbar con velocidades de 5 cms^{-1} , lo cual difiere a lo encontrado por Rosas-Cota (1976). Sin embargo este flujo ciclónico coincide con Emilson y Alatorre (1997), ya que observaron la presencia un remolino ciclónico de mesoescala frente a la Isla San José y la Bahía de La Paz (Fig. 1) para agosto de 1978, utilizando mediciones directas de cuerpos a la deriva e hidrografía. También, para las secciones E-F, Castro *et al.*, (2006a) reportaron un flujo ciclónico en Noviembre de 1997, pero para agosto de 1995 un flujo anticiclónico no bien definido.

En las secciones A-D del campo geostrófico (Figs. 8c-8f), se pueden observar flujos bien definidos penetrando al Golfo (positivos) adyacentes a la península y a la plataforma de Sinaloa y un flujo de salida (negativo) por la parte central. Este comportamiento nos puede estar indicando la presencia de un remolino anticiclónico ubicado un poco más al oeste, que alcanza por lo menos ~ 600 dbar.

Para corroborar lo anterior, se realizaron 3 cortes longitudinales: el primero adyacente a la península, el segundo a través del centro de las secciones y el último adyacente a la plataforma de Sinaloa (Figs. 9a-9c, respectivamente). En estas figuras podemos observar que en las estaciones más al norte (F y G) el flujo es positivo, es decir, hacia el oeste, mientras que en las estaciones del centro (entre la C y E) el flujo es negativo, es decir, hacia el este, por lo tanto, uniendo los cortes transversales de las figuras 9g y 9h con las anteriores, existe la presencia de un remolino ciclónico en esta zona del Golfo de California. Teniendo en cuenta que en los cortes verticales de temperatura de las secciones E, F (Figs. 4g y 4h) las isotermas presentan un enfriamiento

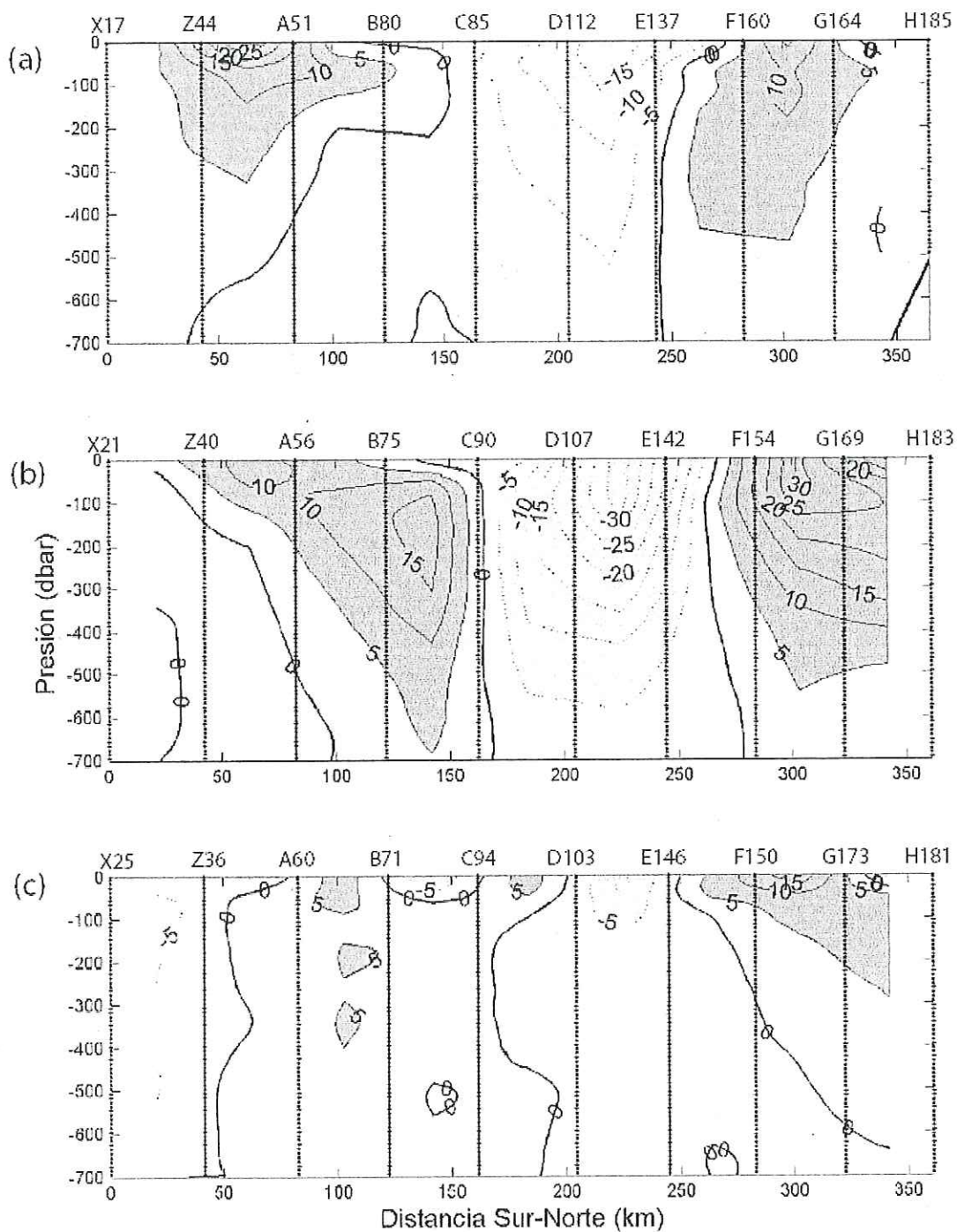


Figura 9. Secciones longitudinales de velocidades geostóficas (cm s^{-1}): (a) Línea Oeste, (b) Línea Central y (c) Línea Este. El intervalo de contornos es de 5 cm s^{-1} . Las secciones más oscuras (valores positivos) indican flujo hacia el oeste del Golfo y la menos oscuras (valores negativos) indica flujo hacia el este del Golfo.

en la parte central de éstas, podemos confirmar, aun más, la presencia de remolinos ciclónicos.

En la figura 10 se presenta un mapa de anomalía geopotencial (m^2s^{-2}) relativo a la superficie (0-500 dbar), con el objeto de mostrar en detalle la distribución de los remolinos. Se observa claramente que los valores más altos ($\sim 10.9 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$) de anomalía geopotencial se localizaron entre las secciones A-D, indicando la presencia de un remolino anticiclónico de $\sim 120 \text{ km}$ de largo y de $\sim 80 \text{ km}$ de ancho. Sobre la sección G-H se observa un patrón similar, pero con valores de $\sim 10.6 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$, revelando la presencia de otro remolino anticiclónico, de $\sim 40 \text{ km}$ de largo y $\sim 30 \text{ km}$ de ancho. Entre las secciones E-F, se observaron valores menores ($\sim 9.4\text{-}9.6 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$), mostrando la presencia de un remolino ciclónico de $\sim 60 \text{ km}$ de largo y de $\sim 50 \text{ km}$ de ancho, orientado a la península. Este mismo comportamiento en las isolíneas se alcanza a distinguir sobre la sección I.

La presencia de remolinos en el Golfo ha sido poco documentada, y su formación aún menos. Este estudio no se enfoca a explicar la generación de los mismos, solo su descripción, sin embargo, modelos numéricos recientes han argumentado sobre el origen de éstos. Martínez (2002) utilizando el modelo numérico Princeton Ocean Model (POM), encontró la presencia de múltiples remolinos con escalas horizontales del orden del ancho del golfo (100 km) y escala vertical de 1000 m. Los giros se encuentran centrados la región sur del Golfo de California y presentan una circulación ciclónica y anticiclónica. Según este autor, la formación de estos remolinos es debida a inestabilidades baroclínicas. Por otro lado, Allende-Arandía (2005), utilizando el

Modelo Regional de Sistemas Oceánicos (ROMS) encontró también la presencia de remolinos en la región sur del Golfo. Argumentó que la formación de estos se debe a inestabilidad de tipo barotrópico.

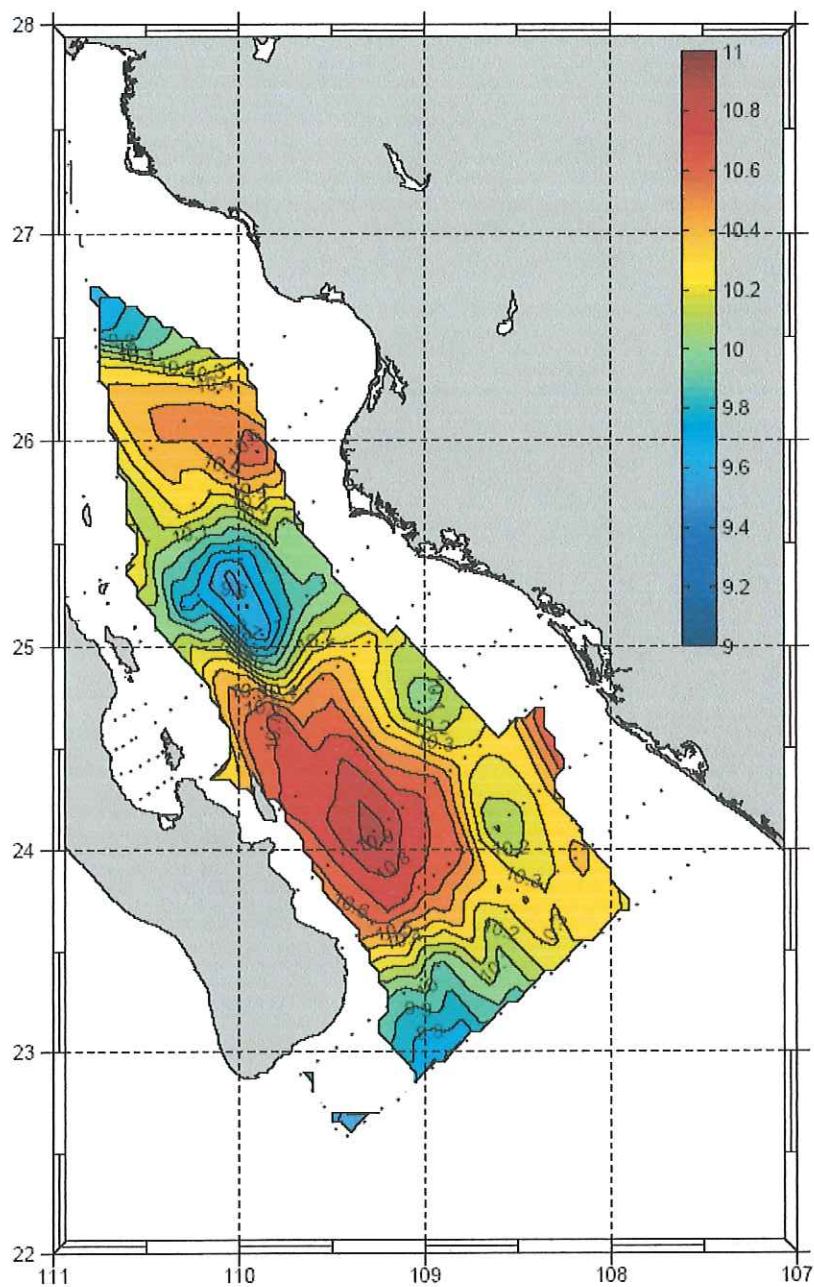


Fig.10. Anomalia de Geopotencial (m^2s^{-2}) relativo a la superficie (0-500 dbar). El intervalo de contorno es de $0.1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$.

V. CONCLUSIÓN

Los vientos superficiales mostraron el patrón típico del Monzón de Norteamérica, con vientos soplando hacia el nor-noroeste en la mayor parte de las estaciones.

Las mayores temperaturas (30.5-31 °C) se presentaron del lado continental, mientras que del lado de la península fueron relativamente menores (27-30 °C). Cabe señalar que estas temperaturas sólo se presentaron en 2 franjas delgadas sobre dichas plataformas, mientras que en el resto del área de estudio se presentaron temperaturas de 29-30.5 °C.

Las salinidades superficiales se incrementaron hacia el interior del Golfo, indicando que la zona desde la sección A hasta la I está inmersa con AGC. Las salinidades más bajas se presentaron en el centro de las secciones X y Z, con características del AST (34.4-34.8). En general las salinidades adyacentes a la plataforma de Sinaloa fueron menores (34.7-34.9) que las del lado de la península (34.9).

En el campo de oxígeno superficial se observó que la mayor parte de la zona de estudio presenta valores ≤ 4.4 ml/l. Las concentraciones más altas (4.5-5.0 ml/l) se presentaron del lado de la plataforma de Sinaloa, entre las secciones X-C.

Los diagramas θ -S revelaron que el ACC sólo estuvo presente en las estaciones más al sur de la zona de estudio (frente a la punta de la península), con valores de 33.9 a 34.5 y entre 50-60 dbar. Conforme nos adentramos al Golfo las propiedades termohalinas sobre las secciones no mostraron una separación clara entre las aguas del AST y AGC.

El campo hidrográfico mostró señales baroclínicas bien definidas: hundimientos (calentamiento) en varias isotermas por debajo de los 150 dbar en las secciones A-D y G-H, sugiriendo la presencia de remolinos de carácter anticiclónico. También se

presentaron ascensos (enfriamientos) en varias isothermas en las secciones E-F e I, lo cual indica un flujo ciclónico. Aunado a lo anterior y basándonos en el campo geostrofico, se observaron claramente 4 remolinos: 2 anticiclónicos y 2 ciclónicos. Las máximas velocidades de los remolinos anticiclónicos (35 cms^{-1}) fueron menores que las mostradas por los remolinos ciclónicos (60 cms^{-1}). En cambio, las profundidades alcanzadas por los primeros ($\sim 800 \text{ dbar}$) fueron más grandes, mientras que los remolinos ciclónicos sólo alcanzaron $\sim 600 \text{ dbar}$.

Castro, R., Godínez, V. M., Lavín, M. F., Beier, E. and Cabrera-Ramos, C. E. 2006. Hydrography of the southern Gulf of California during the North American Monsoon Experiment: Campaign NAME-02, August 7-20, 2004. Departamento de Oceanografía Física, CICESE. 221 pp. (46143)

Castro, R., Durazo, R., Mascarenhas, A. S., and Collins, C. A. 2006a. Thermohaline variability and geostrophic circulation in the Southern portion of the Gulf of California. *Deep Sea Research I*, 53 (2006):188–200.

Castro, R., M. F. Lavín, E. Beier and A. Amador (2006b). Thermohaline structure and currents in the southern Gulf of California during the NAME: I, June 2004. Manuscript in process.

Collins, C. A., Garfield, N., Mascarenhas, A. S., Spearman, M. G. and Rago, T. A. 1997. Ocean current across the entrance to the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 102(C9):20927-20936.

Emilson, I. y Alatorre, M. A. 1997. Evidencias de un remolino ciclónico de mesoescala en la parte sur del Golfo de California. *Contribuciones de la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana: 173-182.*

Figueroa, M., Marinone, G. and Lavín, M. F. 2003. Geostrophic gyres in the southern Gulf of California. *O. U. Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Ed. Kluwer. 237-255.

Griffiths, R. C., 1968. Physical, chemical and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California, spring 1960. U. S. Fish and Wildlife Services Special Scientific Report 573. 47 pp.

Lavín, M. F., Beier, E. y Badán, A. 1997. Estructura hidrográfica y Circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. Contribuciones de la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana: 139-169.

Lavin, M. F. and Marinone, S.G. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. *Nonlinear Processes in Geophysical fluid dynamics*. Ed. Kluwer. 173-204.

Marinone, S. G., Parés-Sierra, A., Castro, R. and Mascarenhas, A. S. 2004. Correction to "Temporal and Spatial variation of the surface winds in the Gulf of California". *Geophysical Research Letters*. Vol. 1, L10305, doi:10.1029/2004GL020064.

Martínez, J.A. 2002. Modeling studies of mesoscale Circulation in the Gulf of California". PhD thesis. Oregon State University. Oregon. 190 pp.

Mascarenhas, A. S., Castro R., Collins C. A. and Durazo R. 2004. Seasonal variation of geostrophic velocity and heat flux at the entrance to the Gulf of California, Mexico. *Journal of Geophysical Research* , 109(7), doi:10.1029/2003JC002124.

Panzarini, R. N. 1985. Compendio de Oceanografía Física. Instituto de Publicaciones Navales del Centro de Buenos Aires, República de Argentina. 197 pp.

Pegau, E. S., Boss, E. and Martínez, A. 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters* 29.

Pond, S. and Pickard, G. I. 1983. *Introductory Dynamical Oceanography*. Ed. 2nd. Pergamon Press. Great Britain. 241 pp.

Roden, G. I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. *Pacific Sci.* 12:21-45.

Roden, G. I. 1964. Oceanographic Aspects of the Gulf of California. Marine Geology of the Gulf of California: a symposium, Memories American Association of Petroleum Geologists. 3:30-58.

Roden, G. I. 1972. Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and the Revillagigedo Islands region. Journal of Physical Oceanography. 2:177-183.

Rosas-Cota, J. A. 1976. Corrientes geostroficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 metros. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 58 pp.

Sverdrup, H. U., Jonson, M. W. and Fleming, R. H. 1942. The Oceans, their physics, chemistry and general biology. Prentice-Hall, Engelwood Cliffs, N. J., 1087 pp.

Torres-Orozco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, Baja California. 80 pp.

Warsh, C. E. and Warsh, K. I. 1971. Water exchange at the mouth of the Gulf of California. Journal of Geophysical Research, 76(C3):8098-8106.

UNESCO, 1991. Processing of Oceanographic Station Data. JPOTS Ed. panel, Paris, 138 pp.