

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**“ESTRUCTURA HIDROGRÁFICA Y CIRCULACIÓN COSTERA
FRENTE A BAJA CALIFORNIA SUR, EN EL PACÍFICO Y EN EL
GOLFO.”**

TESIS

que para obtener el título de

OCEANÓLOGO

presenta:

Patricia Alvarado Graef

Ensenada, B.C., Agosto de 1998


*Estructura hidrográfica y circulación costera frente
a Baja California Sur en el Pacífico y el Golfo*

TESIS

que presenta

Patricia Alvarado Graef

Aprobada por:



M.C. Rubén Castro Valdéz
Presidente del jurado

Dr. Affonso da Silveira
Mascarenhas, Jr.

Dr. Reginaldo Durazo Arvizu

Sinodal Propietario



Sinodal Propietario

Dedicatoria

A Carolina, por todo lo que hizo, todo lo que hace, y por soportarme por 24 años. A Carolina, por ser mi familia

A Paola y Manolo por toda una vida y porque sin su amistad no estaría aquí ahorita.

A Leslie y Beto por su apoyo incondicional. A Gaby y Octavio por su paciencia. A ambas parejas por su cariño y comprensión.

A Juan Madrid, Hugo Brodziak y Susy Sánchez por su ayuda cuando más la necesité.

A mis amigos: Gonzalo, Omar, David, Karen, Javier Santiago, Sergio y Alma, Eduardo, Sofia, Pablo, Oliver, Javier Moch, Gabriel, Vanessa, Rocío, Gabriel, Mariana, Grecia, Fernando, Lucy, Lalo, Chino y a todos aquellos que estuvieron conmigo a lo largo de la carrera.

A Alejandra Lavalle por no ser solamente mi prima. A Muttú.

A las familias Alvarado y Graef.

A todos los maestros que me hicieron amar la oceanología. A Héctor Bustos por siempre estar dispuesto a ayudar.

A César (y Schatten) porque mayor paciencia y cariño no pudo haber tenido; por todo su apoyo, compañía y por todo su tiempo y amor.

A mis padres.

A Dios.

Agradecimientos

A mí director de tesis, M.C. Rubén Castro, por todo su apoyo, su infinita paciencia y su amistad.

A mis sinodales, Dr. Reginaldo Durazo y Dr. Affonso da Silveira Mascarenhas, Jr., por compartir conmigo sus conocimientos y por su amistad.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas, en especial al Departamento de Oceanografía Física, por su apoyo para la realización de este trabajo.

A CONACYT por proporcionar los fondos necesarios para la realización de este crucero.

A la Secretaría de Marina (Armada de México), en especial al Capitán Octavio Rodríguez Toro, comandante del B/O Alejandro de Humboldt H-03, así como a toda la tripulación, por patrocinar los días de buque.

A todos los que participaron en el crucero oceanográfico PESCAR-06.

A la Escuela Naval de Posgraduados de Monterey, California, en especial al M.C. Tarry Rago, por el apoyo brindado en la calibración de los datos de salinidad.

A la Facultad de Ciencias Marinas, por su apoyo, ayuda y todo el conocimiento que me brindó.

Resumen

La Corriente de California transporta agua fría y de baja salinidad (Agua de la Corriente de California) a lo largo de la costa Pacífico hasta la porción sur de la Península de Baja California. La Corriente Costera de Costa Rica acarrea, a la misma zona, aguas de origen ecuatorial (Agua Superficial Ecuatorial y Agua Subsuperficial Subtropical). Por otra parte, del Golfo de California sale agua caliente y de alta salinidad (Agua del Golfo de California). En julio de 1995, se hicieron 24 secciones (121 lances de CTD de superficie a fondo) en forma de diente de sierra que abarcaron de Bahía Almejas al sur de Isla Cerralvo. En el presente trabajo se describe y analiza la estructura termohalina y circulación costera frente a Baja California Sur en la costa Pacífico y en una pequeña porción de la costa Golfo.

La columna de agua se puede dividir en tres capas. La más profunda se manifiesta como un mínimo profundo de salinidad y presenta pocos cambios en la distribución de temperatura y salinidad. La capa intermedia, ocupada por Agua Subsuperficial Subtropical, se caracteriza por un máximo de salinidad. La capa superficial es la más dinámica y la que presenta mayores cambios. En ella se encuentran Agua de la Corriente de California, Agua Superficial Ecuatorial y, en algunos casos, Agua del Golfo de California y Agua Subsuperficial Subtropical.

En base a sus características hidrológicas y de circulación, el área de estudio se puede dividir en cuatro zonas: Pacífico Norte, Todos Santos a Cabo San Lucas, Cabo San Lucas a Punta Arena y Golfo de California. En el Pacífico Norte hay poca variabilidad, tanto en la distribución de temperatura y salinidad como en su circulación geostrofica. Todos Santos a Cabo San Lucas es una zona muy dinámica en la que se presenta un giro. Entre Cabo San Lucas y Punta Arena se encuentra una zona de mezcla de Agua Superficial Ecuatorial, Agua de la Corriente de California y Agua del Golfo de California. Aquí hay poca variación espacial en la distribución de temperatura y salinidad. Esta zona está limitada al este y al oeste por la presencia de dos fuertes gradientes de salinidad. En el límite oeste, frente a Cabo San Lucas, el gradiente es mucho más intenso que en el límite este, frente a Punta Arena. Por último, en el Golfo de California se detecta Agua del Golfo de California mediante dos núcleos de alta salinidad, uno superficial y otro subsuperficial. El flujo geostrofico disminuye su intensidad hacia el interior del Golfo de California.

Índice

A. Introducción	1
B. Antecedentes	4
C. Área de estudio	11
D. Objetivo	13
E. Metodología	14
F. Resultados	18
<i>F.1. Descripción de la estructura termohalina</i>	18
F.1.i. Temperatura superficial	18
F.1.ii. Distribución horizontal de temperatura, densidad y salinidad	20
F.1.iii. Distribución vertical de temperatura, salinidad y densidad	29
F.1.iv. Distribución espacial de la profundidad de la termoclina y la pycnoclina	41
<i>F.2. Masas de agua</i>	42
<i>F.3. Superficies isentrópicas</i>	46
F.3.i. Salinidad	46
F.3.ii. Temperatura	48
F.3.iii. Presión	51
<i>F.4. Geostrofia</i>	53
G. Discusiones	61
<i>G.1. Bahía Almejas a Todos Santos</i>	61
<i>G.2. Todos Santos a Cabo San Lucas</i>	61
<i>G.3. Cabo San Lucas a Punta Arena</i>	62
<i>G.4. Golfo de California</i>	65
<i>G.5. Estructura hidrográfica</i>	65
<i>G.6. Masas de agua</i>	67
H. Conclusiones	69
I. Recomendaciones para estudios futuros	70
J. Bibliografía	71

Índice de tablas

Tabla 1.	Características de las masas de agua (Torres-Orozco, 1993).	6
Tabla 2.	Variación de las profundidades en las que se encuentra cada masa de agua.	45
Tabla 3.	Masas de agua asociadas a valores de la anomalía de densidad.	47

Índice de figuras

Figura 1.	Circulación superficial en el Océano Pacífico.	3
Figura 2.	Localización del área de estudio.	12
Figura 3.	Fotografía de satélite mostrando la temperatura superficial para el 13 de julio de 1995.	18
Figura 4.	Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 10 m de profundidad.	20
Figura 5.	Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 20 m de profundidad.	21
Figura 6.	Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 30 m de profundidad.	21
Figura 7.	Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 40 m de profundidad.	22
Figura 8.	Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 50 m de profundidad.	22
Figura 9.	Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 100 m de profundidad.	23
Figura 10.	Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 250 m de profundidad.	23
Figura 11.	Distribución espacial de salinidad a 10 m de profundidad.	24
Figura 12.	Distribución espacial de salinidad a 20 m de profundidad.	25
Figura 13.	Distribución espacial de salinidad a 30 m de profundidad.	26
Figura 14.	Distribución espacial de salinidad a 40 m de profundidad.	26
Figura 15.	Distribución espacial de salinidad a 50 m de profundidad.	27
Figura 16.	Distribución espacial de salinidad a 100 m de profundidad.	28
Figura 17.	Distribución espacial de salinidad a 250 m de profundidad.	28
Figura 18.	Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 1 a 6.	29
Figura 19.	Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 24 a 28.	30
Figura 20.	Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 56 a 60.	30
Figura 21.	Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 71 a 75.	31
Figura 22.	Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 75 a 81.	31
Figura 23.	Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 93 a 97.	32

Figura 24.	Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 102 a 106.	33
Figura 25.	Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 114 a 121.	33
Figura 26.	Distribución vertical de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a profundidades mayores a 300 m para los transectos: (a) 34 a 38;(b) 60 a 65;(c) 71 a 75; (d) 93 a 97;(e) 106 a 110; (f)114 a 121.	34
Figura 27.	Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 24 a 28.	35
Figura 28.	Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 60 a 65.	35
Figura 29.	Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 71 a 75.	36
Figura 30.	Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 97 a 102.	36
Figura 31.	Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 106 a 110.	37
Figura 32.	Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 114 a 121.	38
Figura 33.	Distribución vertical de salinidad a profundidades mayores a 300 m para los transectos : (a) 34 a 38; (b) 71 a 75; (c) 106 a 110.	39
Figura 34.	Distribución vertical de γ_{θ} y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en el transecto 71 a 75.	40
Figura 35.	Profundidad promedio de la piconclina (m).	41
Figura 36.	Profundidad promedio de la termoclina (m).	41
Figura 37.	Diagrama T-S : Costa Pacifico.	42
Figura 38.	Diagrama T-S : Cabo San Lucas a Punta Arena.	43
Figura 39.	Diagrama T-S : Golfo de California.	43
Figura 40.	Diagrama T-S : estación 59.	44
Figura 41.	Distribución de salinidad en la superficie de (a) $\gamma_{\theta} = 24$; (b) $\gamma_{\theta} = 24.5$; (c) $\gamma_{\theta} = 25$; (d) $\gamma_{\theta} = 26.5$;	46
Figura 42.	Distribución de temperatura en la superficie de (a) $\gamma_{\theta} = 24$; (b) $\gamma_{\theta} = 24.5$; (c) $\gamma_{\theta} = 25$; (d) $\gamma_{\theta} = 26.5$;	49
Figura 43.	Distribución de presión en la superficie de (a) $\gamma_{\theta} = 24$; (b) $\gamma_{\theta} = 24.5$; (c) $\gamma_{\theta} = 25$; (d) $\gamma_{\theta} = 26.5$;	51
Figura 44.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 13 a 18.	53
Figura 45.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 24 a 28.	54
Figura 46.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 34 a 38.	54
Figura 47.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 52 a 56.	55
Figura 48.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 60 a 65.	55
Figura 49.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 71 a 75.	56
Figura 50.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 75 a 81.	57
Figura 51.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 97 a 102.	58
Figura 52.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 106 a 110.	59
Figura 53.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 110 a 114.	60
Figura 54.	Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 114 a 121.	60

A. Introducción

El océano se manifiesta como un cuerpo dinámico mediante factores físicos, químicos, biológicos y geológicos de manera tal que la medición y observación del comportamiento de estas variables en el tiempo y el espacio, permite caracterizar una zona de estudio e inferir sobre las condiciones oceanográficas presentes en ella.

La oceanografía física descriptiva o sinóptica se centra en el análisis de la temperatura, salinidad y densidad ya que estas determinan, entre otros procesos, la estructura de la columna de agua y su circulación. Por estructura de la columna de agua se entiende la distribución espacial y temporal de las variables y su interacción.

Una de las consecuencias de la interacción y distribución de estas propiedades es la formación de masas de agua. Una masa de agua se define como un volumen de agua caracterizado por un rango de valores distintivos de temperatura y salinidad, los cuales son representativos de sus condiciones de formación. Cada par de valores de temperatura y salinidad se encuentra asociado a un valor de densidad, el cual no es una función lineal de estas variables. Así, dos masas de agua con características diferentes de temperatura y salinidad pueden presentar la misma densidad. Generalizando, en latitudes medias y bajas, debido a la relación entre la expansión térmica y la contracción salina, el valor de la densidad se ve más afectado por pequeños cambios en la temperatura que en la salinidad.

Una vez formada una masa de agua, ésta se desplaza tanto en la vertical como en la horizontal. Esto provoca que existan zonas en las que dos o más masas de agua se encuentran, lo cual puede generar frentes. Así, una zona de transición se define como una región en la que hay marcados cambios termohalinos debido a la confluencia de diferentes masas de agua. En una zona de transición, cuando la densidad de las masas de agua que confluyen es igual, se puede producir mezcla isopical y, por lo tanto, variación de los valores de temperatura, salinidad y densidad.

En el océano, el movimiento del agua se genera por varias fuerzas, por ejemplo, el esfuerzo del viento y el gradiente de presión; dicho movimiento se modifica por fuerzas como Coriolis y fricción. Las corrientes geostróficas se definen como aquellas que presentan un balance entre el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis. Sin embargo, en los océanos existen otras fuerzas cuya influencia en la circulación puede ser importante.

El campo de velocidades geostróficas es una aproximación al movimiento real que describe la circulación en términos de la variación espacial del campo de densidad. Así, en una zona donde se da la confluencia de masas de agua, se presentan variaciones espaciales en la distribución de la temperatura, salinidad y densidad, y, por lo tanto, el gradiente de presión asociado produce un campo de velocidades geostróficas de particular interés.

Dentro de la circulación general del océano son de particular interés a la oceanografía las zonas de transición debido a los cambios en la estructura termohalina que se presentan en dichas zonas. La costa occidental de México constituye la frontera sureste del giro anticiclónico del Pacífico Norte y es el límite Noreste de la circulación ecuatorial hacia el oriente (López-Bojorquez, 1996, Tomczak y Godfrey, 1994), por lo tanto, es el punto de reunión de aguas de origen subártico y aguas de la región ecuatorial (figura 1) (Alvarez-Sánchez *et al.*, 1978a; Wyrki, 1967; Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979, López-Bojorquez, 1996, Tomczak y Godfrey, 1994). La presencia de masas de agua, cuyos orígenes son tan diversos, produce mezcla y una estructura hidrográfica muy compleja, de forma tal que aún cerca de la costa, las características hidrológicas presentes dependen en gran parte de la influencia ejercida por las diferentes masas de agua. La confluencia de masas de agua de origen subártico y ecuatorial coincide espacialmente con la Boca del Golfo de California, lo que causa que la complejidad de la zona sea mayor y, por lo tanto, su estudio más interesante.

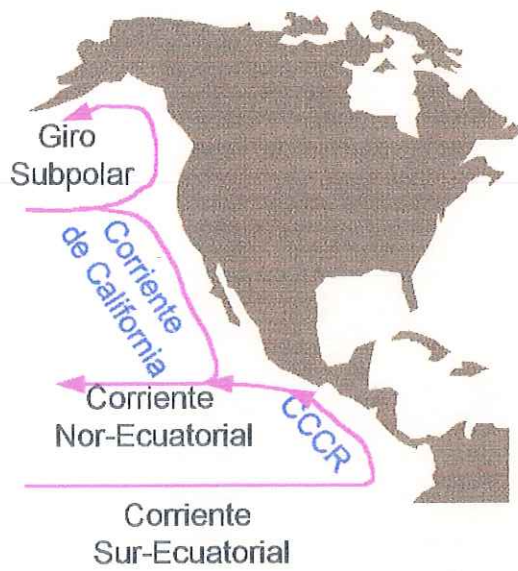


Figura 1. Circulación superficial en el Océano Pacífico.

B. Antecedentes

En la Zona de Convergencia de Convergencia Intertropical (ZCI) los vientos alisios de los Hemisferios norte y sur convergen. Su localización varía estacionalmente entre los 3°N y 10°N, por lo que se producen desplazamientos latitudinales de los sistemas de corrientes (López-Bojorquez, 1996; Lavín *et al.*, 1997). Así, durante los meses de julio a diciembre se presenta la mayor intensidad del sistema ecuatorial y, en consecuencia, del flujo proveniente del Ecuador y, a la vez, en estos meses hay una debilitación progresiva del flujo proveniente de latitudes subárticas. La intensidad mínima del sistema ecuatorial y del flujo ecuatorial, al igual que la mayor intensidad del flujo subártico, se da en marzo, abril y mayo (Badan-Dangon, 1997; López-Bojorquez, 1996; Lynn y Simpson, 1987). De igual forma, la zona en que se da la confluencia de aguas de origen tan diverso varía estacionalmente, ubicándose frente a Cabo San Lázaro, Baja California Sur, de julio a diciembre y más al sur de Cabo Corrientes en los meses de marzo a mayo, cuando el flujo hacia el polo tiene su intensidad mínima, mientras que el flujo hacia el Ecuador alcanza su extensión máxima (Badan-Dangon, 1997; Lynn y Simpson, 1987).

La porción sur de la Península de Baja California es, entonces, una zona de transición en la cual la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) y la Corriente de California (CC) confluyen (Wyrski, 1967). La CCCR conecta a la Contracorriente Ecuatorial (CCE) con la Corriente Norecuatorial (CNE) (figura 1) y fluye a lo largo de las costas continentales de Centroamérica y México. Frente a la Península de Baja California gira, junto con la CC, para realimentar al sistema ecuatorial (Badan-Dangon, 1997). La CCCR se extiende hasta 23° de latitud norte; su ancho es variable, entre 100 y 500 km y se le infiere un espesor cercano a los 600 m (Badan-Dangon, 1997).

La CC, la Corriente Subsuperficial (CSs) y la Contracorriente Costera (CcC), forman el Sistema de la Corriente de California (SCC), el cual en la zona sur de la Península de Baja California presenta diferencia en los patrones de flujo. La CC es un flujo superficial (0-300 m) que, a lo largo de todo el año, viaja paralelo a la costa y transporta agua del Golfo de Alaska

hacia el sur (Lynn y Simpson, 1987; Batteen *et al.*, 1995; Badan-Dangon, 1997). Constituye el brazo oriental del gran giro subtropical del Pacífico Norte (Tomczak y Godfrey, 1994; López-Bojorquez, 1996) y su expresión superficial tiene un ancho de unos 700 km (Badan-Dangon, 1997). Su velocidad promedio es menor que 25 cm/s (Reid y Schwatzlose, 1962), sin embargo, flujos con velocidades mayores a 4 cm/s no pasan a profundidades mayores de 150 m (Lynn y Simpson, 1987). La CcC, también llamada Corriente de Davidson, es un flujo superficial que, durante otoño e invierno, se dirige al polo (Hickey, 1979; Lynn y Simpson, 1987), sin embargo, la CSs, aún cuando tiene la misma dirección, es un flujo que viaja a lo largo del talud continental (Badan-Dangon, 1997; Lynn y Simpson, 1987) apareciendo claramente entre 200 y 500 m de profundidad (Batteen *et al.*, 1995).

Así, frente a la Boca del Golfo de California, debido a una serie de procesos oceanográficos y atmosféricos, se da la confluencia de masas de agua de origen subártico y ecuatorial acarreadas por la CC y CCCR, respectivamente. Aquí, la complejidad e importancia aumenta debido a la presencia de un mar marginal, Golfo de California, en el cual los procesos termohalinos provocan la presencia y, por ende, la confluencia de una masa de agua más.

La circulación en la entrada del Golfo de California ha causado gran controversia debido a la diversidad de resultados que se han obtenido. Álvarez-Sánchez *et al.* (1978a), utilizando 500 db como nivel de referencia, encontraron que el agua sale del Golfo de California por la costa de este y entra al Golfo por las partes central y oeste. Warsh y Warsh (1971) y Roden (1972) han reportado flujos de entrada y de salida variables en la Boca del Golfo de California, ambos utilizan un nivel de referencia variable, mientras que Roden y Groves (1959) mencionan que flujos superficiales hacia el interior del Golfo ocurren principalmente a lo largo de su frontera este. Collins *et al.*, (1997), utilizando un nivel de referencia variable (profundidad máxima común), observaron flujo de entrada al Golfo a lo largo de la costa de Sinaloa y, flujo de salida del Golfo de California hacia el sur y el oeste próximo a la Península. Por último, Lavín *et al.*,

(1997), encuentran un flujo de entrada del lado de la Península en invierno, mientras que en verano, el flujo de entrada se da del lado del continente.

Torres-Orozco (1993) hace un análisis volumétrico en el Golfo de California estableciendo en su trabajo valores de salinidad y temperatura característicos para las masas de agua presentes (Tabla 1).

En el Pacífico Tropical Oriental predominan el ASE, ASsSt. El ASE y ASsSt son llevadas al Norte por la CCCR, la primera en los niveles superiores, formando una capa de 20 a 50 m de espesor (Badan-Dangon, 1997), y la segunda en los inferiores, habiendo una relación entre su profundidad y la topografía de la termoclina (Wyrki, 1965,1966,1967). Su área de ocupación está determinada por las variaciones estacionales de la CCCR.

Tabla 1. Características de las masas de agua (Torres-Orozco, 1993)

Masa de agua	Salinidad	Temperatura	Profundidad media
Agua del Golfo de California : AGC	$S \geq 35$	$T > 12^{\circ} \text{C}$	0 - 230 m
Agua Superficial Ecuatorial : ASE	$S < 35$	$T \geq 18^{\circ} \text{C}$	0 - 70 m
Agua de la Corriente de California : ACC	$S < 34.5$	$12^{\circ} \text{C} \leq T \leq 18^{\circ} \text{C}$	
Agua Subsuperficial Subtropical : AssSt	$34.5 < S < 35$	$9^{\circ} \text{C} < T < 18^{\circ} \text{C}$	60 - 450 m
Agua Intermedia del Pacífico : AIP	$34.5 \leq S < 34.8$	$4^{\circ} \text{C} \leq T \leq 9^{\circ} \text{C}$	400 - 1160 m
Agua profunda del Pacífico : APP	$S > 34.5$	$T < 4^{\circ} \text{C}$	1160 m en adelante

Un máximo subsuperficial de salinidad caracteriza al ASsSt (Álvarez-Borrego y Schwarzlose, 1979). Llega hasta la zona de transición acarreada por la CCCR, sin embargo, sigue su trayectoria al norte con la Css (Badan-Dangon, 1997; Badan-Dangon y Trasviña, 1996). El flujo subsuperficial del ASsSt presenta pocos cambios a lo largo de su trayectoria (Badan-Dangon, 1997).

El ASE se distingue por un amplio rango de salinidades ($S < 35$) y temperaturas ($T \geq 180C$) debido a que se origina bajo condiciones de fuerte insolación y donde la precipitación supera a la evaporación lo cual genera valores bajos de salinidad y altos de temperatura para una masa de agua superficial originada en el Pacífico Tropical Oriental (Badan-Dangon, 1997).

La CC acarrea agua de origen subártico, ACC, en superficie, lo que produce que presente fuertes variaciones latitudinales en sus valores de salinidad y temperatura. La salinidad superficial varía de 33.5 cerca de la frontera norte de México hasta 34.0 frente a Cabo San Lucas con cambios estacionales mínimos (Badan-Dangon, 1997). En el Golfo de California se manifiesta por un núcleo de baja salinidad y temperatura (Álvarez-Sánchez *et al.*, 1978a; Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; Álvarez-Borrego, 1983) cuya contribución en el Golfo es mínima (Roden y Groves, 1959).

El AIP se caracteriza por un mínimo profundo de salinidad (Robles y Marinone, 1987; Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Bray y Robles, 1991) localizado entre los 600 y 900 m de profundidad (Wyrki, 1967). Su formación es en latitudes polares y, por tanto, es una masa de agua fría con salinidad baja (Wyrki, 1967; Badan-Dangon, 1997). La frontera inferior del AIP no presenta variaciones apreciables, sin embargo, la superior parece retraerse hacia el sur en verano y avanzar en invierno (Lavín *et al.*, 1997).

Por encontrarse a profundidades mayores que el AIP, el APP se distingue por un suave incremento en la salinidad (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; 1991; Bray y Robles, 1991).

Dentro del Golfo, se le observa hasta la Cuenca de Guaymas y, junto con el AIP, su distribución espacial está restringida por la batimetría (Torres-Orozco, 1993).

Una de las características distintivas del Golfo de California es la formación del AGC. Bray (1988b) hace una descripción de los procesos de formación de masas de agua dentro del Golfo. El AGC presenta altas temperaturas y salinidades como resultado del calentamiento y evaporación.

Las diferentes masas de agua determinan las características hidrológicas presentes. Roden (1964) menciona que la estructura termohalina en la Boca del Golfo de California es la misma que la del Pacífico Tropical Oriental por debajo de los 300 m. En la zona transicional de la Boca del Golfo de California y la porción sur de la Península de Baja California se presentan ASsSt, AIP y APP, por tanto, se produce un máximo subsuperficial de salinidad (ASsSt) seguido por una capa de salinidad mínima (AIP) para, a mayores profundidades presentar un suave incremento en la salinidad (APP).

Así, en la costa Pacífico de Baja California se observa la influencia del ACC en la estructura hidrográfica superficial. En particular, un núcleo mínimo de salinidad cercano a la costa es un buen indicador del camino de la CC, y por ende, del ACC (Lynn y Simpson, 1987). Dicho mínimo tiende a aumentar hacia el sur (Griffiths, 1968; Lynn y Simpson, 1987), con la profundidad (Wooster y Reid, 1963) y de la costa a mar adentro para, después, volver a aumentar hacia la frontera oeste del SCC (Batteen *et al.*, 1995). El perfil típico de salinidad para el SCC se distingue por la presencia de haloclinas permanentes que se encuentran más maracadas en el norte que en el sur (Batteen *et al.*, 1995).

Este esquema se ve modificado por eventos de surgencia que han sido detectados en primavera, con una disminución de la profundidad de la termoclina hacia la costa desde 100 m hasta superficie (Griffiths, 1968), y, en la parte norte, con mayor intensidad desde la misma

profundidad, de abril a julio (Larios Castillo, 1997). Estos eventos aportan ASsSt a superficie ya que es transportada hacia el norte por la CSs.

El intercambio de agua del Golfo de California con el Océano Pacífico ocurre de forma tal que la señal de salinidad se pierde rápidamente y no se extiende a más de 300 km de la costa (Roden y Emilsson, 1979). Entre Arroyo Vinorama y Mazatlán, se distinguen, de acuerdo a su salinidad, cuatro capas. De este esquema, destaca un mínimo de salinidad entre los 75 y 125 m, seguido por un máximo subsuperficial (125 a 400 m) y, por último un mínimo profundo de salinidad entre los 600 y 900 m (Roden, 1972).

Como se mencionó anteriormente, la estructura termohalina de la Boca del Golfo de California corresponde a la del Pacífico Tropical Oriental, modificada en la superficie por calentamiento y evaporación (Roden y Groves, 1959; Roden, 1964; Wyrki, 1967; Roden, 1972; Álvarez-Sánchez *et al.*, 1978a; Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; Bray y Robles, 1991) o bien por la mezcla que se produce al salir el agua del Golfo de California (Torres-Orozco, 1993). Roden (1964) y Álvarez-Sánchez *et al.*, (1978a) encuentran una termoclina bien desarrollada en el Golfo, presente entre los 40 y 100 m de profundidad. La capa de mezcla, queda restringida hasta los 10 o 50 m (Collins *et al.*, 1997). En la costa oeste del Golfo de California se dan surgencias durante el verano con vientos provenientes del sur (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

Griffiths (1968), Warsh y Warsh (1971), Roden (1972), Warsh y Warsh (1973), Álvarez-Sánchez *et al.*, (1978a), Álvarez-Sánchez *et al.*, (1978b.), López-Bojorquez (1996) y Collins *et al.*, (1997) son algunos de los autores que han trabajado en la Boca del Golfo de California, considerando así las interacciones entre ambos cuerpos de agua. La Boca del Golfo de California es una zona de transición, por lo cual hay generación de frentes de temperatura, salinidad y/o densidad. En particular, en el Pacífico Nororiental hay un frente subtropical debido a la confluencia de la CC con las aguas de origen ecuatorial. Este frente tiene marcados cambios

estacionales, desde un frente de salinidad en verano y otoño hasta un frente de temperatura y salinidad en invierno y primavera (López-Bojorquez, 1996). La confluencia del ACC y AGC produce un frente que se extiende aproximadamente 185 km hacia el sur de Cabo San Lucas, sin embargo, más hacia el sur y hacia el oeste, dicho frente presenta cada vez más influencia del ACC y de ASE Griffiths (1968). Existen evidencias de la formación de un eddy y a consecuencia, el agua superficial del Golfo parece quedar contenida en Cabo San Lucas por agua de la CC (Griffiths, 1968).

Se han realizado varios estudios en el Golfo de California, sin embargo, Lavín *et al.* (1997), consideran que la limitación más grave de muchos esquemas hipotéticos de circulación es el que han excluido al Océano Pacífico y su influencia. Tanto el mecanismo que produce que el ASsSt alimente a la CSs como la estructura detallada de la confluencia frente a la Boca del Golfo de California, se desconocen (Badan-Dangon, 1997). También, se ha discutido mucho acerca de la influencia del AGC sobre el Pacífico y del ACC sobre el Golfo. Para estudiar a fondo la diferencia entre la estructura hidrográfica, la presencia e influencia de las diversas masas de agua y la circulación geostrofica en la costa oeste de entrada del Golfo de California y la costa Pacífico de la Península de Baja California el Instituto de Investigaciones Oceanográficas (UABC) estableció un plan de trabajo a largo plazo que contribuyera a la descripción, análisis y comprensión de los procesos que se presentan. Así, se cubre una porción del área de confluencia de ACC, ASE, AGC, AIP y APP cerca de la costa, lo que permitirá una descripción en detalle de los fenómenos físicos que aquí se desarrollan.

C. Área de estudio

El área de estudio se localiza entre los 113° y 108° W y entre los 22° y 25° N (figura 2) y abarca la costa Pacífico de la Península de Baja California y la costa oeste del Golfo de California. En la costa del Océano Pacífico, las estaciones se localizan a partir de Bahía Almejas, llegan a Cabo San Lucas y dan la vuelta a la Península para terminar en el Golfo de California antes de la Isla Cerralvo.

El Golfo de California se encuentra en comunicación con el Océano Pacífico a través de una Boca de 200 km de ancho, aproximadamente. Debido a su formación, la batimetría dentro del Golfo, que presenta varias cuencas y umbrales, es mucho más irregular que la del Océano Pacífico adyacente. En la parte sur y central del Golfo de California los umbrales tienen profundidades mayores a 1500 m por lo cual, existe una libre circulación entre el Océano Pacífico y el Golfo de California (Bray, 1988b). La costa Pacífico presenta una plataforma continental más amplia que la costa occidental del Golfo, ya que en éste la plataforma es generalmente rocosa y delgada (Alvarez Borrego, 1983).

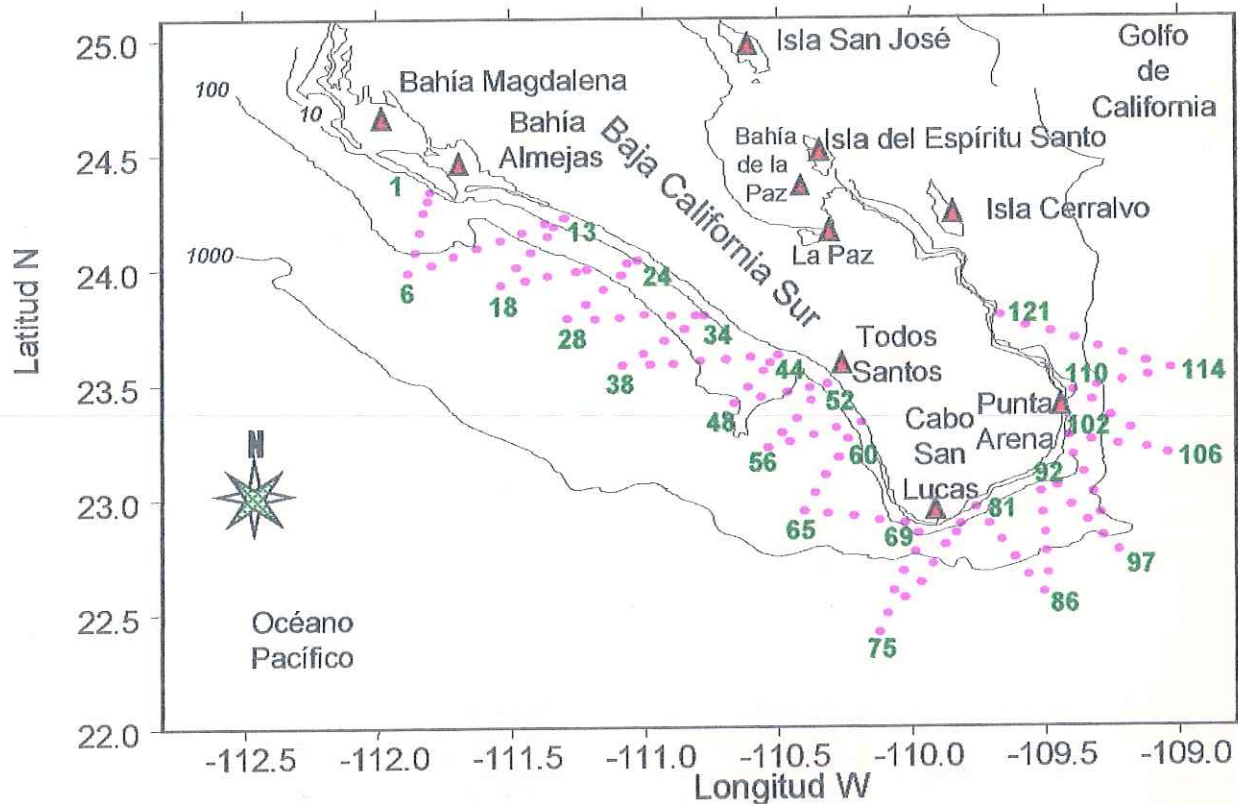


Figura 2. Localización del área de estudio. Los círculos muestran la ubicación de las estaciones de muestreo. Profundidad en brazas.

D. Objetivo

Describir y analizar la estructura termohalina (salinidad, temperatura y densidad) en el Pacífico Este y Golfo de California frente a Baja California Sur.

Identificar las masas de agua presentes en la zona de estudio, su posible camino de esparcimiento e interacciones.

Describir y analizar la circulación geostrófica en la zona.

E. Metodología

El muestreo se realizó durante el Crucero PESCAR-06 (Pegasus in the Sea of Cortes Area). Los datos de Conductividad-Temperatura-Presión (CTD) se colectaron utilizando un CTD SBE 25 del Instituto de Investigaciones Oceanológicas. La precisión de los sensores es de 0.001 para salinidad, 0.1 db para presión, y 0.0050C para el sensor de temperatura (Collins y Chu, 1995). Se tomaron muestras de agua bajando, con el CTD, dos botellas tipo Niskin de 5 l cada una, de manera tal que se obtuvieron muestras de agua superficial y de fondo. Las muestras se almacenaron en botellas de barita y se enviaron a la Escuela Naval de Posgraduados de Monterey, Ca. en donde se determinó su salinidad para, después, calibrar las mediciones hechas con el CTD.

El período de muestreo fue del 11 al 19 de julio de 1995 a bordo del buque oceanográfico de la Armada de México B/O Alejandro de Humboldt H-03. El muestreo comprendió 121 lances del CTD abarcando de superficie a fondo, que se pueden dividir en 24 secciones en forma de diente de sierra (figura 2) (Larios-Castillo, Blanco-Betancourt et al., 1996). La distancia de la costa varía entre 1.8 y 113.6 km.

Como parte inicial del procesamiento de los datos, se graficaron temperatura, salinidad, densidad y presión para obtener una descripción del comportamiento espacial de dichas variables, tanto en la vertical como en la horizontal. La termoclina y la piconclina representan una zona de mayor cambio en temperatura o densidad con respecto a la profundidad, esto es, la zona de pendiente máxima. En la estructura vertical de la columna de agua, ésto se entiende como un cambio en la pendiente de los perfiles de temperatura y densidad. Las pendientes se definieron como:

Temperatura:
$$m_T = \frac{\Delta T}{\Delta Z} \quad (4)$$

Densidad:

$$m_{\gamma\theta} = \frac{\Delta\gamma_t}{\Delta Z} \quad (5)$$

donde T es la temperatura, Z la profundidad (valor negativo), y γ_θ la anomalía de densidad. De ésta forma, se calcularon las pendientes cada 2 m de profundidad (ΔZ). Las pendientes resultantes se compararon entre sí para encontrar la zona en que la pendiente era mayor. La profundidad es, entonces, el valor promedio entre el inicio y final de la zona en que se presentó el mayor cambio en la pendiente.

La identificación de las masas de agua presentes se realizó mediante diagramas T-S, utilizando los valores propuestos por Torres-Orozco (1993) (Tabla 1).

En el océano los gradientes de presión se deben a variaciones en la elevación de la superficie del mar, por ejemplo, por efecto del viento, o bien, a diferencias de densidad en el agua. La presión en la columna de agua varía con la profundidad, y ésta se puede aproximar con la ecuación de presión hidrostática:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g, \quad (1)$$

donde p es presión, ρ densidad, g gravedad y z profundidad.

El gradiente de presión se puede definir mediante el uso de la ecuación hidrostática y el geopotencial (ϕ). El último define la superficie de un océano sin movimiento. Entonces,

$$d\phi = g dz = -\frac{1}{\rho} dp = -\alpha dp, \quad (2)$$

donde α es el volumen específico. Al integrar (2) sobre un intervalo de presión (por ejemplo, entre un nivel de referencia y superficie), se obtiene la altura dinámica (Neumann y Pierson, 1966; Pond y Pickard, 1983; Collins y Chu, 1995). De ésta forma, la velocidad de una corriente geostrófica entre los puntos A y B está dada por:

$$v_g = \frac{\delta D_A - \delta D_B}{fL}, \quad (3)$$

donde f es el parámetro de Coriolis ($f=2\Omega\sin\theta$) y L es la distancia entre A y B, dos estaciones oceanográficas. La dirección del flujo geostrófico está dada por el signo, positivo o negativo, que presenta la velocidad. Entonces, existe un gradiente de presión dado por la diferencia entre la altura dinámica de dos puntos, lo cual produce un flujo del punto donde la presión es mayor a el punto en que la presión es menor. Al existir un movimiento de agua, éste se ve afectado por el movimiento de rotación de la Tierra. La esencia del método geostrófico es la suposición de que la fuerza del gradiente de presión se opone a la fuerza de Coriolis.

Para el cálculo de la velocidad geostrófica es necesario asumir que existe una profundidad a la cual las superficies isobáricas, o de igual presión, son horizontales y, por lo tanto, la fuerza del gradiente de presión es cero. A esta profundidad se le conoce como nivel de referencia.

Se obtuvieron los valores de la velocidad geostrófica para las 24 secciones. Para ello, se utilizaron las rutinas de Morgan (1994). Se tomó un nivel de referencia variable, esto es, la menor profundidad común entre cada par de lances, método utilizado por Roden (1972) y Collins et al., (1997). Debido a éste el nivel de referencia utilizado, se pudieron calcular velocidades geostróficas a todo lo largo de cada sección, aún cerca de la costa.

En estudios meteorológicos, se ha utilizado el estudio de la variación de diversos parámetros sobre superficies de igual entropía (Defant, 1961; Montgomery, 1937). Su aplicación en la oceanografía se ha hecho mediante superficies de igual densidad y, aún cuando no es totalmente correcto, se les ha denominado superficies isentrópicas. El análisis de variables como profundidad (presión) y salinidad dentro de las superficies isentrópicas se lleva a cabo para estudiar flujos y variabilidad espacial en las masas de agua (Defant, 1961; Montgomery, 1937). Entonces, para llegar a una descripción y análisis más detallado del área de estudio se

graficaron superficies isentrópicas para valores de γ_{θ} de 24.0, 24.5, 25.0 y 26.5. Estos valores se eligieron debido al análisis de los diagramas T-S, a la distribución espacial de las propiedades y al hecho de que la superficie de $\gamma_{\theta}=25.0$ se asocia a la CC, y la de $\gamma_{\theta}=26.5$ permite observar el máximo de salinidad correspondiente a la CSs (Larios-Castillo, 1997).

En éste trabajo se incluyó una fotografía de satélite mostrando la temperatura superficial el día 13 de julio de 1995.

La presentación de resultados está organizada como sigue: (J.1.) descripción de la estructura termohalina (temperatura superficial; distribución horizontal de temperatura, salinidad y densidad; distribución vertical de temperatura, salinidad y densidad; distribución espacial de la profundidad de la termoclina y la piconclina); (J.2.) masas de agua; (J.3.) superficies isentrópicas; y (J.4.) geostrofia.

F. Resultados

F.1. Descripción de la estructura termohalina

F.1.i. Temperatura superficial

La figura 3 muestra una fotografía de satélite del área de estudio en donde se observa un aumento de temperatura de Bahía Almejas a Cabo San Lucas. Sin embargo, cerca de la costa, al norte de Todos Santos hay un lente de temperatura mínima a partir del cual, hay una zona de poco cambio en la temperatura. A la vez, se observa que el agua fría en superficie se aleja de la costa hacia el oeste a partir del mínimo costero al norte de Todos Santos.



Figura 3. Fotografía de satélite mostrando la temperatura superficial para el 13 de julio de 1995.

La fotografía de satélite, también, sugiere un flujo de agua caliente que sale del Golfo de California y rodea a la Península hasta el norte de Cabo San Lucas. Esta franja de agua caliente se encuentra alejada de la costa en el Golfo de California y, al norte de Cabo San Lucas se observa junto a la costa. La temperatura disminuye conforme se acerca a la costa de manera tal que es mucho mayor en el Golfo que frente a Cabo San Lucas.

Alrededor de Punta Arena, la temperatura cerca de la costa es baja y el ancho de esta franja de temperatura disminuye al entrar al Golfo de California. Esta distribución de temperatura sugiere que hay agua fría atrapada cerca de la costa frente a Punta Arena.

F.1.ii. Distribución horizontal de temperatura, densidad y salinidad

F.1.ii.a. Temperatura

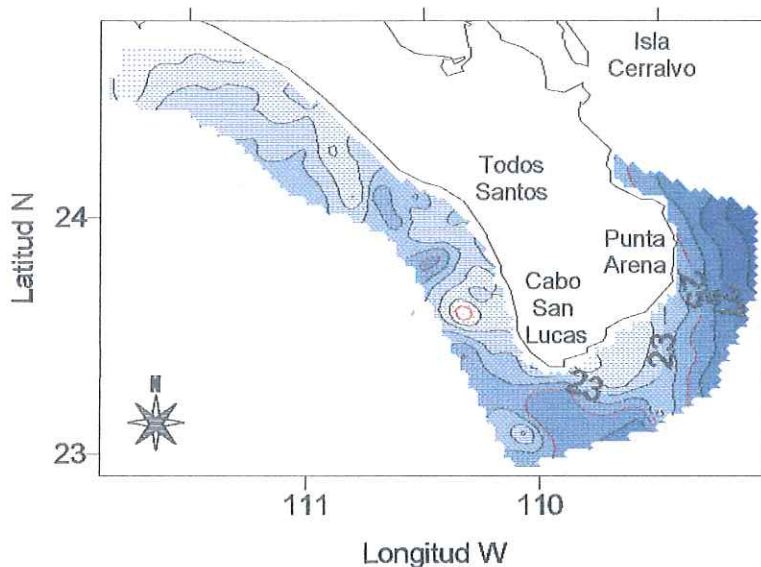


Figura 4. Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 10 m de profundidad. El color aumenta con la temperatura. Hay una línea roja cada 5°C . $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

Entre 10 y 30 m la distribución espacial de la temperatura presenta poco cambio (figuras 4, 5 y 6). A estas profundidades, la costa Pacífico se distingue por un marcado aumento de temperatura de Bahía Almejas a Cabo San Lucas. El cambio en el valor de la temperatura es máximo, 6°C , a los 20 m de profundidad (figura 5). Entre Todos Santos y Cabo San

Lucas hay un lente de temperatura mínima (20°C), en los primeros 30 m. El gradiente alrededor de dicho lente disminuye con la profundidad.

En la esquina suroeste del área de estudio, en los primeros 20 m, se observa un lente de temperatura baja, el cual se encuentra alejado de la costa. A 30 m, la isoterma de 18°C presenta un comportamiento similar, sin embargo, se localiza más cerca de la costa y forma dos lentes mínimos (figura 6). Entre Cabo San Lucas y Punta Arena hay poca variación de este parámetro cerca de la costa. El aumento de temperatura se da hacia mar adentro. A 30 m hay un aumento en la temperatura hacia mar adentro y, el máximo, 21°C , se localiza frente a Cabo San Lucas y Punta Arena. Por otra parte, a 10 y 20 m de profundidad, el máximo de temperatura se encuentra lejos de la costa en el Golfo de California, de 28 y 26°C , respectivamente.

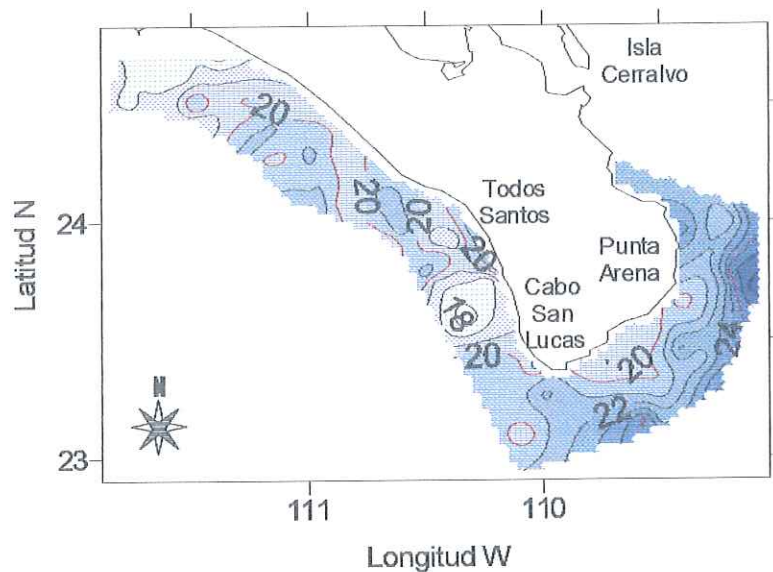


Figura 5. Distribución espacial de temperatura (°C) a 20 m de profundidad. El color aumenta con la temperatura. Hay una línea roja cada 5°C. $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

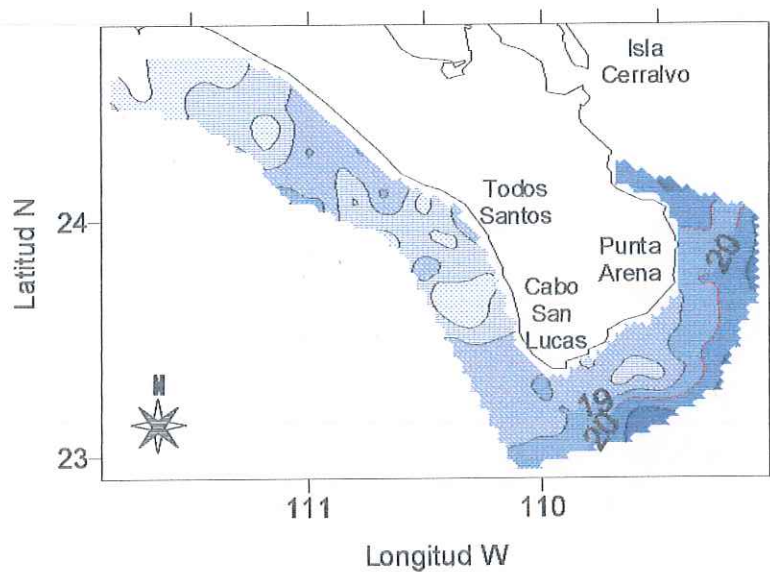


Figura 6. Distribución espacial de temperatura (°C) a 30 m de profundidad. El color aumenta con la temperatura. Hay una línea roja cada 5°C. $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

En la figura 7, varias de las características descritas para la costa Pacífico se conservan, como son la dirección del aumento de temperatura y la presencia del lente de temperatura mínima entre Todos Santos y Cabo San Lucas. Es importante hacer una descripción independiente debido a los pequeños cambios que se observan. Frente a Todos Santos hay un máximo de temperatura cerca de la costa, el cual, se encuentra separado de Cabo San Lucas

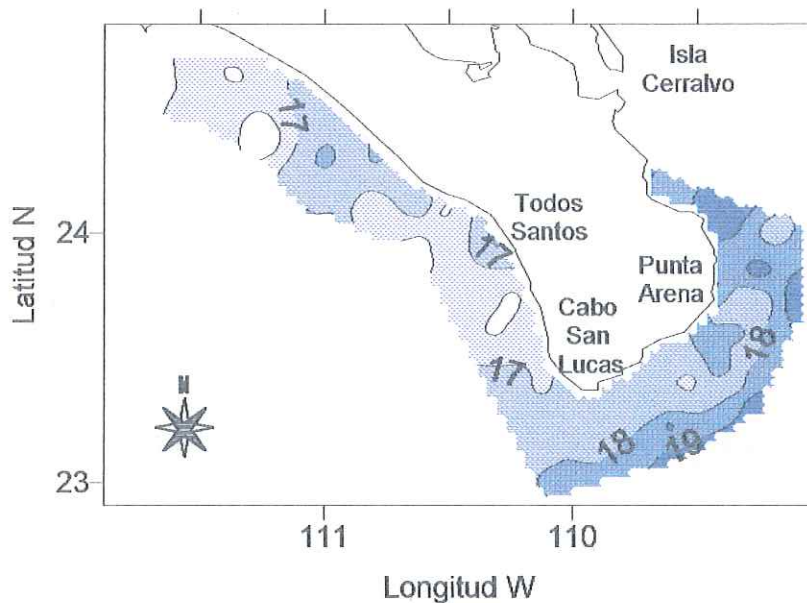


Figura 7. Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 40 m de profundidad. El color aumenta con la temperatura. Hay una línea roja cada 0.5°C . $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

por un lente mínimo. Se detecta una lengua de 18°C que se extiende desde Cabo San Lucas (lejos de la costa) hacia Punta Arena (cerca de la costa), por lo cual a esta profundidad hay evidencias de la penetración esta isoterma al Golfo de California. La temperatura máxima, 19°C , varía su posición con respecto a la costa, se encuentra alejada

frente a Cabo San Lucas, y cercana al sur de la Isla Cerralvo. Sin embargo, la isoterma de 19°C no es continua, se rompe frente a Punta Arena por un lente de 18°C .

A 50 m (figura 8), se observa un aumento de temperatura hacia el sureste en la costa Pacífico, el máximo de Todos Santos y una lengua de 17°C que abarca un área menor que la de 18°C a 40 m. Por su parte, la temperatura máxima, 19°C , se encuentra lejos de la costa al sur de la Isla Cerralvo.

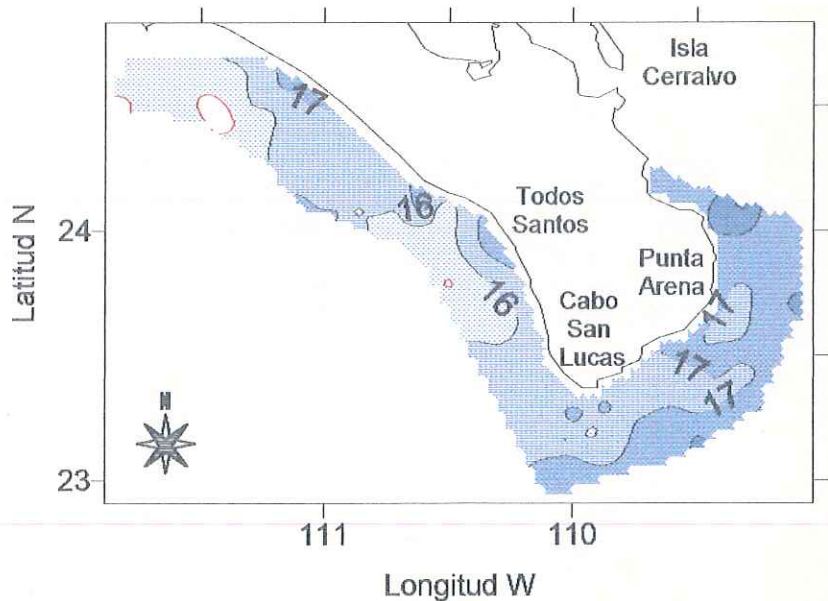


Figura 8. Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 50 m de profundidad. El color aumenta con la temperatura. Hay una línea roja cada 0.5°C . $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

La distribución espacial de la temperatura a 100 m muestra el mínimo de temperatura lejano a la costa frente a Cabo San Lucas (figura 9). Así, en la costa Pacífico, a 100 m de profundidad, hay un cambio en la dirección del gradiente de temperatura. Esta distribución de temperatura se conserva a mayores profundidades (figura

10). Por otra parte, el máximo de temperatura está localizado en la costa al sur de la Isla Cerralvo y como un pequeño lente lejano a la costa entre Cabo San Lucas y Punta Arena (figura 9). En la figura 10 se observa que, a mayores profundidades el máximo de temperatura se distribuye de manera más uniforme a lo largo del área de estudio.

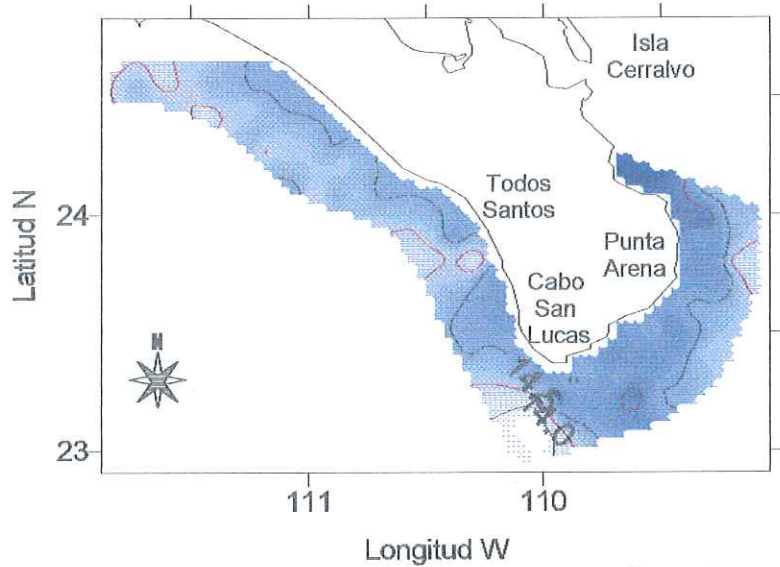


Figura 9. Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 100 m de profundidad. El color aumenta con la temperatura. Hay una línea roja cada 0.5°C . $\Delta T=0.5^{\circ}\text{C}$.

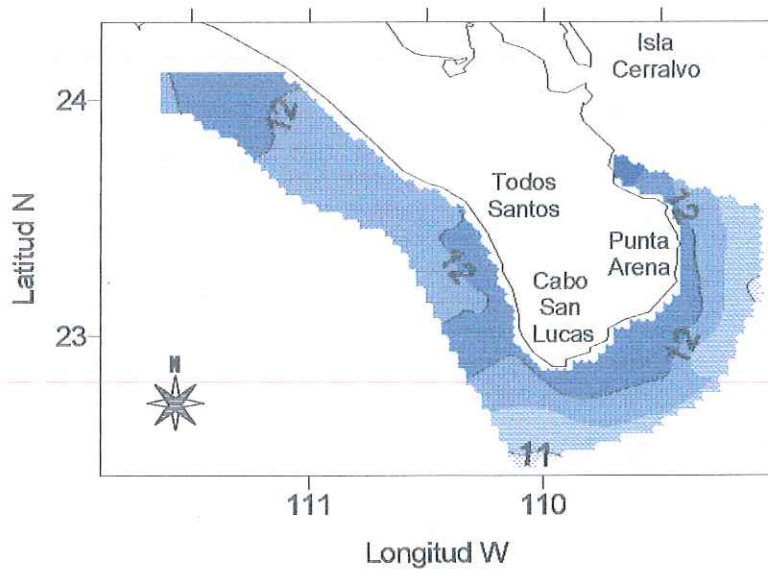


Figura 10. Distribución espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 250 m de profundidad. El color aumenta con la temperatura. $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

F.1.ii.b. Densidad

La variación espacial de γ_θ es muy similar a la de temperatura, por lo cual únicamente se le mencionará cuando su comportamiento varíe.

F.1.ii.c. Salinidad

En la variación espacial de la salinidad en los primeros 50 m (figura 11 a la 15) se observa que, al norte de Todos Santos, la salinidad disminuye hacia el mar. En éste intervalo de profundidades, se observan, también, uno o más lentes mínimos de salinidad entre Cabo San Lucas y Todos Santos. Aledaño a estos lentes, hay un máximo de salinidad cuyo valor aumenta con la profundidad.

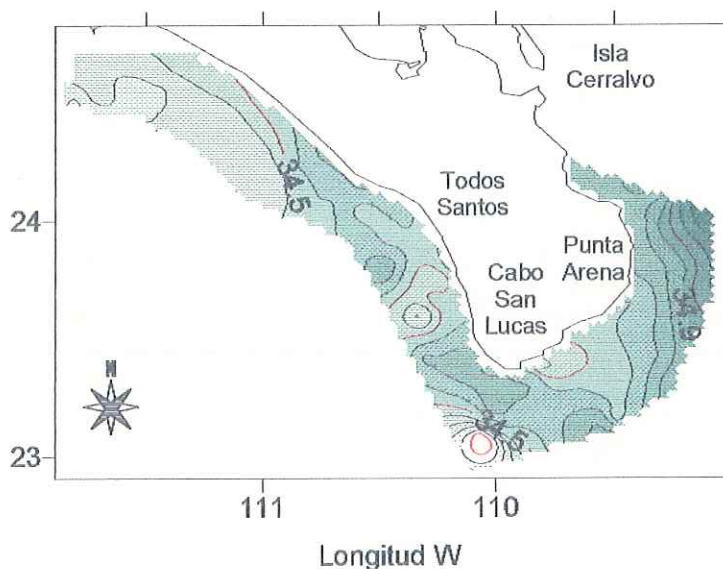


Figura 11. Distribución espacial de salinidad a 10 m de profundidad. El color aumenta con la salinidad. Hay una línea roja cada 0.5. $\Delta S=0.1$.

Así, a 10 m de profundidad (figura 11), frente a Cabo San Lucas, se distingue un fuerte gradiente de salinidad, En esta zona, la salinidad aumenta hacia la costa de 34.0 a 34.5 en una distancia de, aproximadamente, 27 km. Se encuentra separado de la costa por un lente máximo de salinidad de 34.7, que, a la vez, lo separa de un mínimo de 34.4

hacia el norte. Entre Cabo San Lucas y Punta Arena hay poca variación en la salinidad, y hay un aumento en éste parámetro hacia mar afuera, presentando frente a Punta Arena otro fuerte gradiente de salinidad. Este es de menor intensidad que el de Cabo San Lucas, y con valores de

salinidad de 34.7 cerca de la costa y 35.2 lejos de ella. El gradiente de salinidad de Punta Arena abarca una distancia de aproximadamente 30 km.

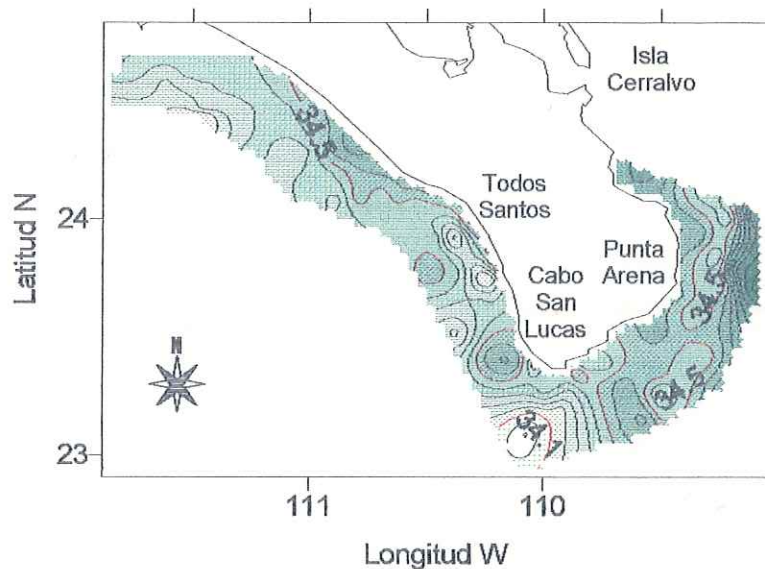


Figura 12. Distribución espacial de salinidad a 20 m de profundidad. El color aumenta con la salinidad. Hay una línea roja cada 0.5. $\Delta S = 0.1$.

A 20 m de profundidad (figura 12) se siguen observando los fuertes gradientes de salinidad. El gradiente halino de Cabo San Lucas se encuentra más cerca de la costa. Su salinidad varía de 33.9 a 34.4 y se distribuye en una distancia de, aproximadamente, 70 km. En cuanto al gradiente de salinidad frente de Punta Arena, el máximo de salinidad se observa más al sur, con una variación de salinidad de 35.1 a 34.5 en una distancia de cerca de 22 km. Caso contrario al gradiente frente a Cabo San Lucas, aquí se observa que hay mayor variación de salinidad en menor área, esto es, el gradiente de Punta Arena se intensifica a 20 m. Entre estas zonas de fuertes gradientes, hay poca variación de la salinidad: se presentan dos lentes de salinidad mínima de 34.3 y 34.2.

En la figura 13 se muestra la distribución de salinidad a los 30 m de profundidad. Frente a Todos Santos hay un lente de salinidad mínima de 34.0 con un fuerte gradiente asociado que llega a 34.4 en 13 km. El aumento de salinidad en este lente es hacia el mar. El gradiente frente

a Cabo San Lucas se encuentra más cercano a la costa y varía a lo largo de aproximadamente 100 km, de 33.8 a 34.4. Frente a Punta Arena, el gradiente de salinidad varía de 35 a 34.7 en una distancia cercana a los 20 km, y al igual que a 20 m, se encuentra alejado de la costa.

Entre Cabo San Lucas y Punta Arena hay dos lentes, uno

máximo (34.7) cerca de la costa en la porción oriental de la Península, y uno mínimo (34.4) hacia el sur del primero. A 40 m de profundidad (figura 14) se observan varios lentes de salinidad de 34.5 o menor entre Cabo San Lucas y la entrada al Golfo de California (lejos de la costa). Así, a 30, 40 y 50 m de profundidad se detectan pequeños lentes de salinidad mínima (aproximadamente, 34.5) entre Cabo San Lucas y el Golfo, los cuales pueden indicar la presencia y movimiento del ACC hacia el Golfo.

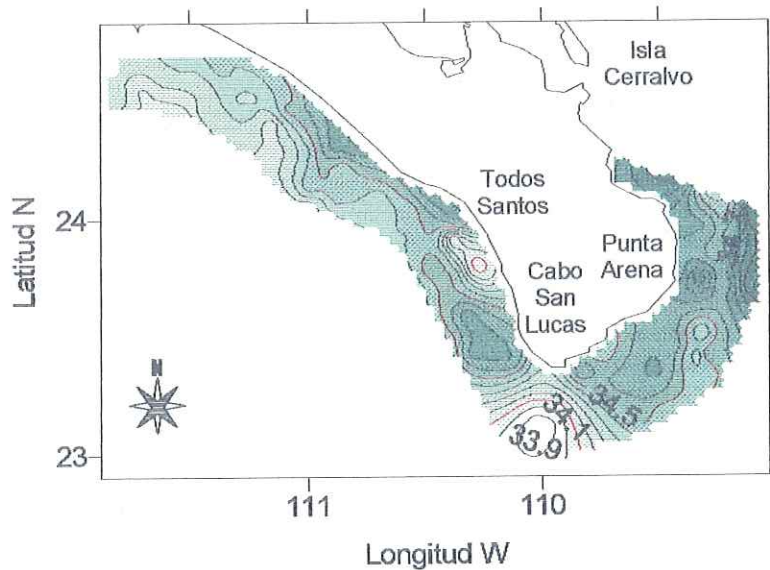


Figura 13. Distribución espacial de salinidad a 30 m de profundidad. El color aumenta con la salinidad. Hay una línea roja cada 0.5. $\Delta S=0.1$.

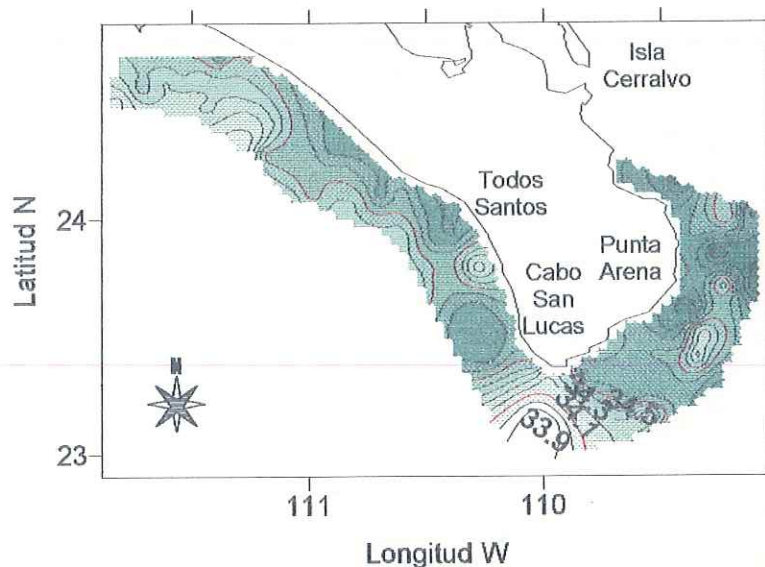


Figura 14. Distribución espacial de salinidad a 40 m de profundidad. El color aumenta con la salinidad. Hay una línea roja cada 0.5. $\Delta S=0.1$.

El lente situado frente a Todos Santos a una profundidad de 40 m (figura 14) presenta un gradiente menos intenso, variando de 34.3 a 34.5 en 10 km. A esta profundidad ya no se observa el fuerte gradiente de salinidad de Punta Arena, inclusive, se detecta un mínimo de 34.4, el cual se mencionó anteriormente. El gradiente de salinidad frente a Cabo San Lucas, se encuentra cerca de la costa y varía de 33.8 a 34.6 en una distancia cercana a 100 km.

A 50 m de profundidad (figura 15) se observa un mínimo de 34.7 lejos de la costa en el Golfo, y, al noroeste, también lejos de la costa, se detecta un máximo de salinidad de 35.0. El gradiente de salinidad frente a Cabo San Lucas no varía su intervalo de salinidad a esta profundidad, sin embargo, a 100 m se presenta alejado de la costa y su salinidad varía de aproximadamente 34.1 a 34.7 a lo largo de 30 km (figura 16). A profundidades mayores la variación espacial de la salinidad es poca (figura 17).

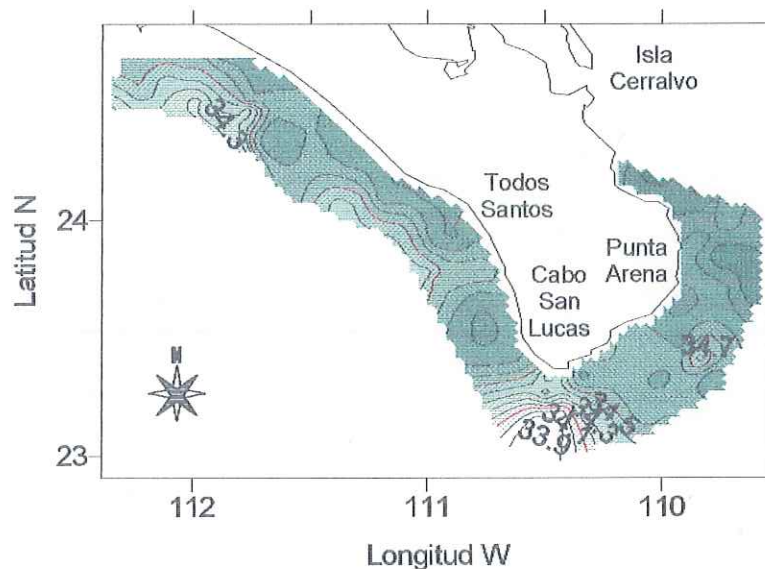


Figura 15. Distribución espacial de salinidad a 50 m de profundidad. El color aumenta con la salinidad. Hay una línea roja cada 0.5. $\Delta S=0.1$.

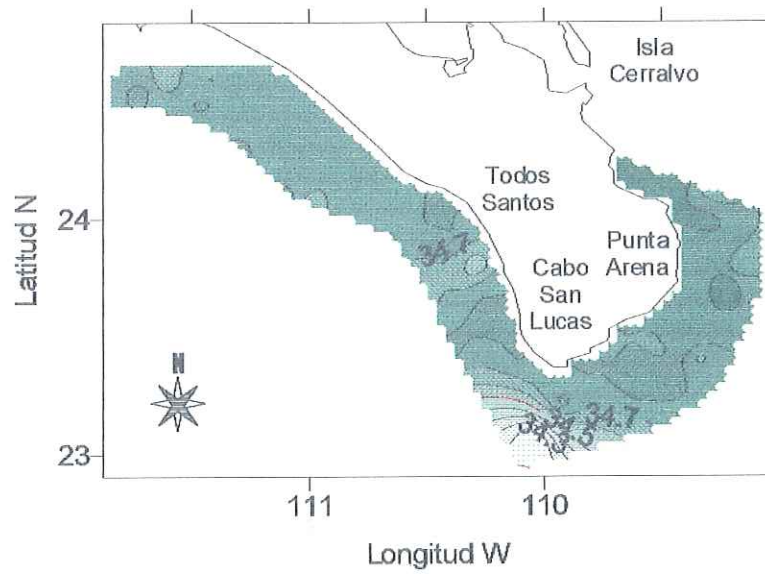


Figura 16. Distribución espacial de salinidad a 100 m. El color aumenta con la salinidad. Hay una línea roja cada 0.5. $\Delta S=0.1$.

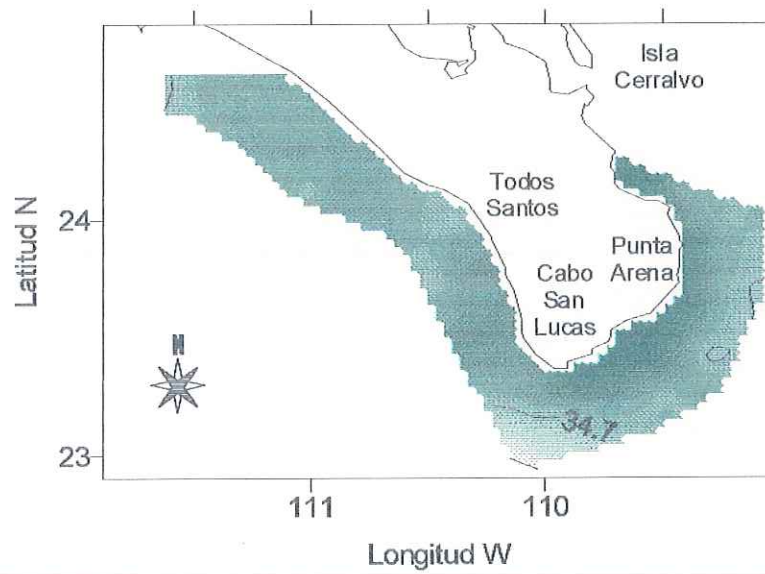


Figura 17. Distribución espacial de salinidad a 250 m. El color aumenta con la salinidad. Hay un línea roja cada 0.5. $\Delta S=0.1$.

F.1.iii. Distribución vertical de temperatura, salinidad y densidad

F.1.iii.a. Temperatura

La mayor variación en la distribución vertical de salinidad, temperatura y densidad se presenta en los primeros 300 m. A profundidades mayores, la diferencia entre secciones es muy poca.

Pertencientes a la costa Pacífico se muestran, de la figura 18 a la figura 20, tres secciones que representan el comportamiento de la temperatura con respecto a la profundidad en la costa Pacífico. En el primer transecto, que corresponde a las estaciones 1 a 6, se observa que para temperaturas mayores a 18°C , la profundidad de las isothermas disminuye hacia la costa y, por lo tanto, la temperatura máxima se encuentra lejos de la costa. Para temperaturas menores o iguales a 17°C , las isothermas tienden a hacerse más profundas hacia la costa.

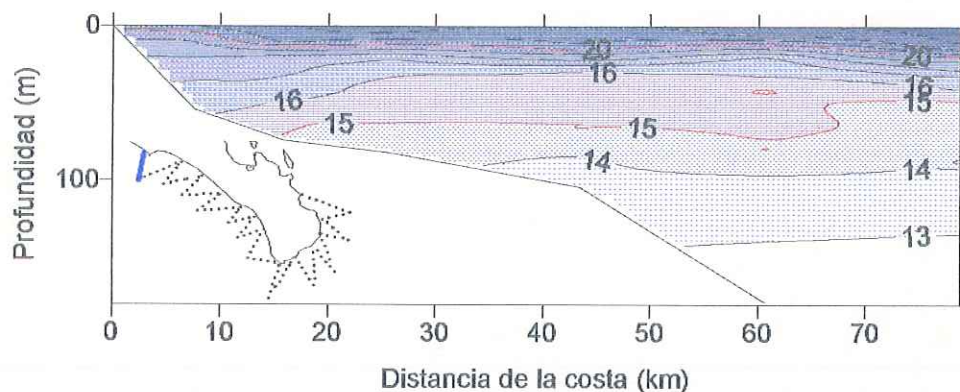


Figura 18. Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 1 a 6. Hay una línea roja cada 5°C . $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

En la figura 19 se observa una capa de mezcla somera cuyo ancho es menor cerca de la costa. No hay un cambio de profundidad significativo en las isothermas someras, con temperaturas mayores o iguales a 19°C , sin embargo, para temperaturas menores, la variación a lo largo de transecto es mucho mayor. Hay un aumento en la profundidad de estas isothermas hacia la costa. Lo mismo sucede para el transecto que se presenta en la figura 20. Sin

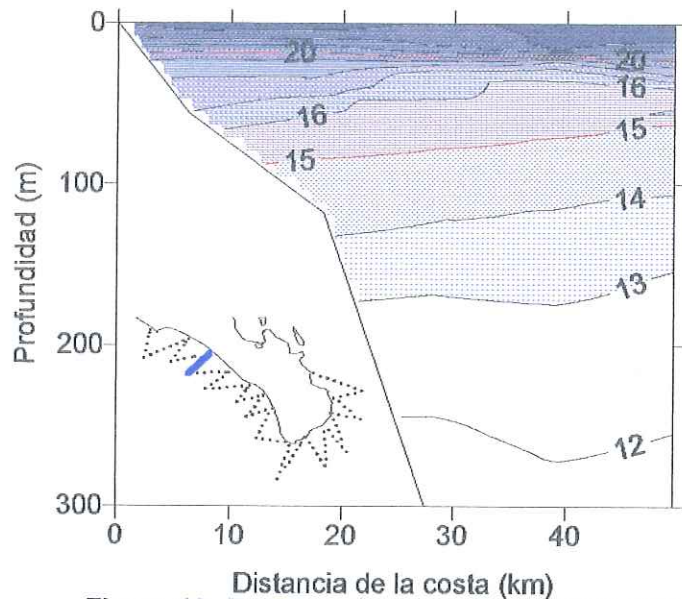


Figura 19. Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 24 a 28. Hay una línea roja cada 5°C . $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

embargo, en este caso, aún en los primeros 50 m se observa este cambio en la profundidad de las isotermas.

En la costa Pacífico las isotermas a profundidades mayores de 50 m se hacen más someras mar afuera, característica indicativa de baroclinicidad. La isoterma mínima presente es de 12°C . No hay un comportamiento general en los primeros 50 m, se presentan tres casos: la presencia de una capa de mezcla somera, la disminución y el aumento de la profundidad de las

isotermas hacia la costa. Esto implica que el cambio en la profundidad de las isotermas con respecto a la costa no es efecto de los procesos que se presentan en las capas superficiales.

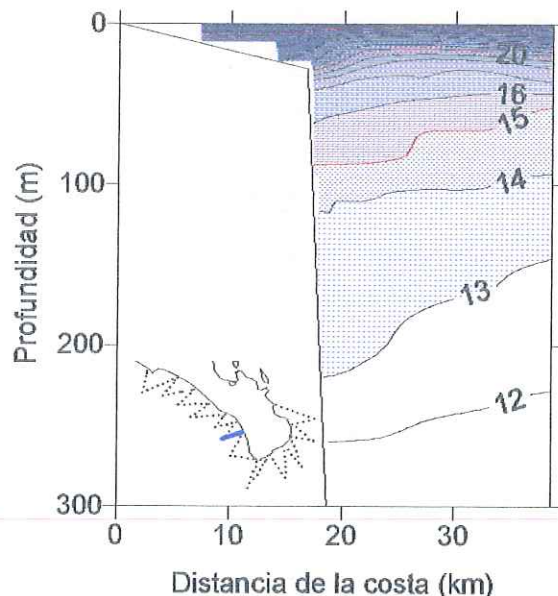


Figura 20. Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 56 a 60. Hay una línea roja cada 5°C . $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

Entre Cabo San Lucas y Punta Arena, el comportamiento de las isotermas varía menos entre transectos. La excepción a esto se presenta en las secciones frente a Cabo San Lucas. En la figura 21 se muestra que el máximo de temperatura se encuentra cerca de la costa, y las isotermas en los primeros 300 m de la columna de agua presentan un aumento en la profundidad hacia la costa. Sin embargo, en la figura 22, para valores mayores a 22°C, las isotermas rompen en superficie cerca de la costa y a temperaturas de 16°C y menores, presentan un comportamiento contrario: aumentan su profundidad hacia la costa.

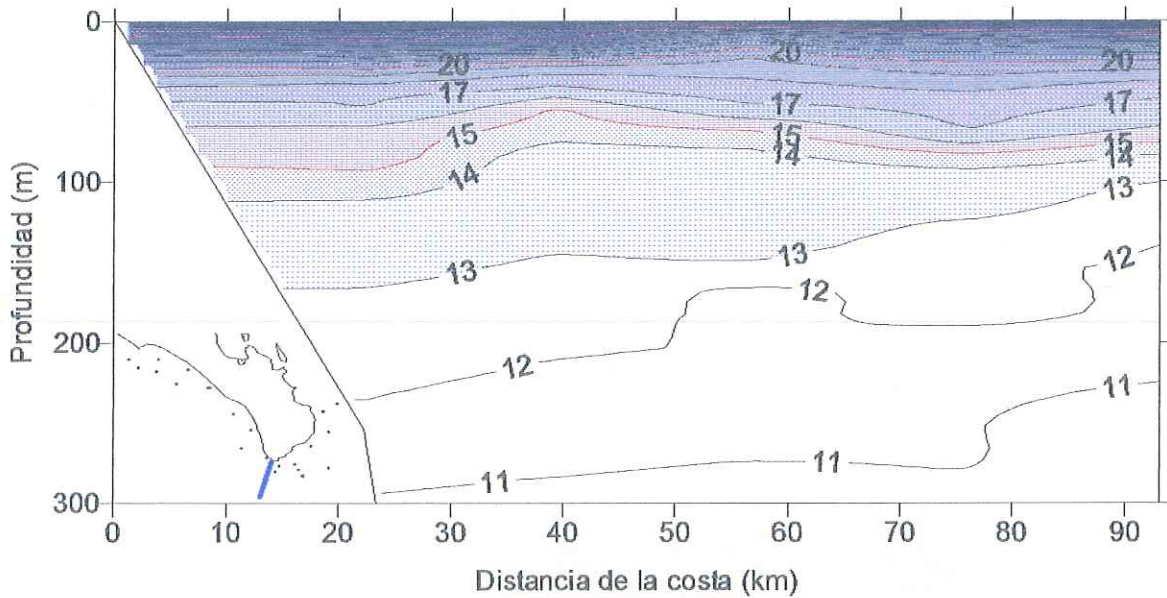


Figura 21. Distribución vertical de temperatura (°C) en la sección formada por las estaciones 71 a 75. Hay una línea roja cada 5°C. $\Delta T=1^\circ\text{C}$.

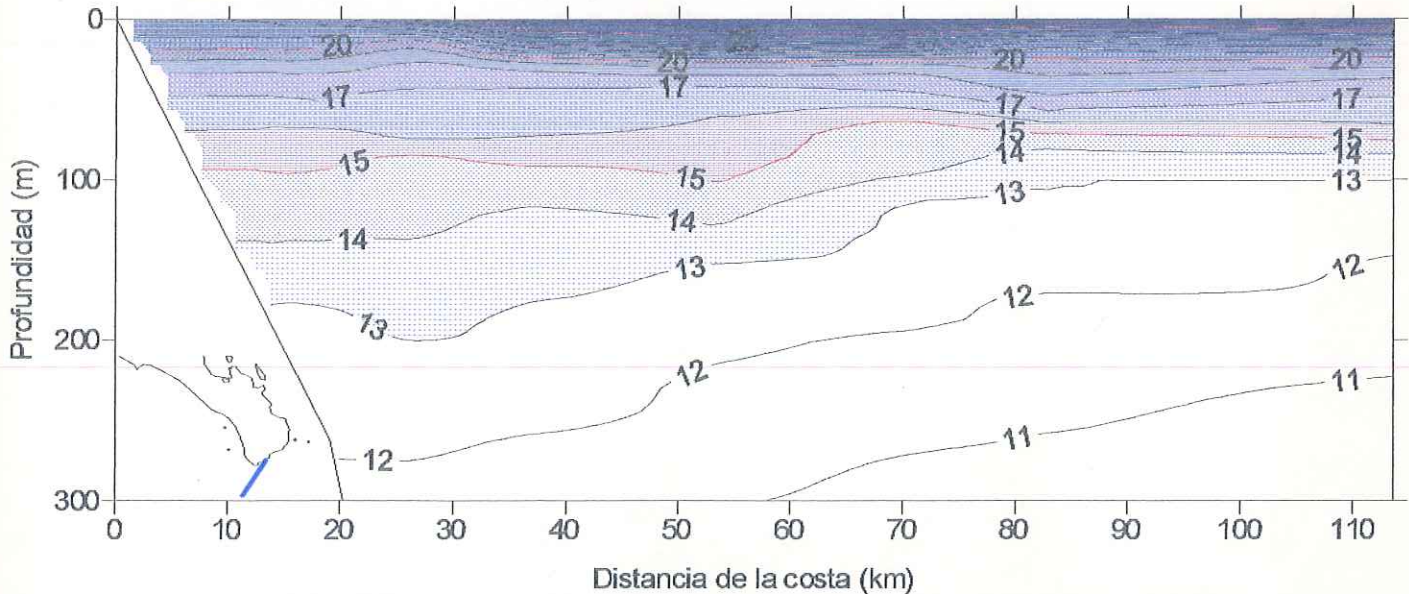


Figura 22. Distribución vertical de temperatura (°C) en la sección formada por las estaciones 75 a 81. Hay una línea roja cada 5°C. $\Delta T=1^\circ\text{C}$.

En la figura 23 se puede observar la distribución general de temperatura para esta zona. Dos características destacan: las isotermas a profundidades menores de 50 m (aproximadamente 18°C), se hacen más someras hacia la costa y llegan a romper en superficie, y por debajo de los 100 m hay un aumento en la profundidad de las isotermas hacia la costa. La isoterma mínima presente es de 11°C.

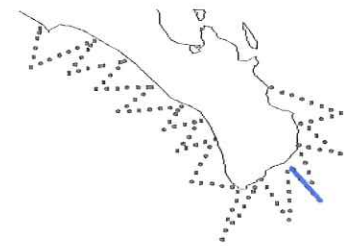
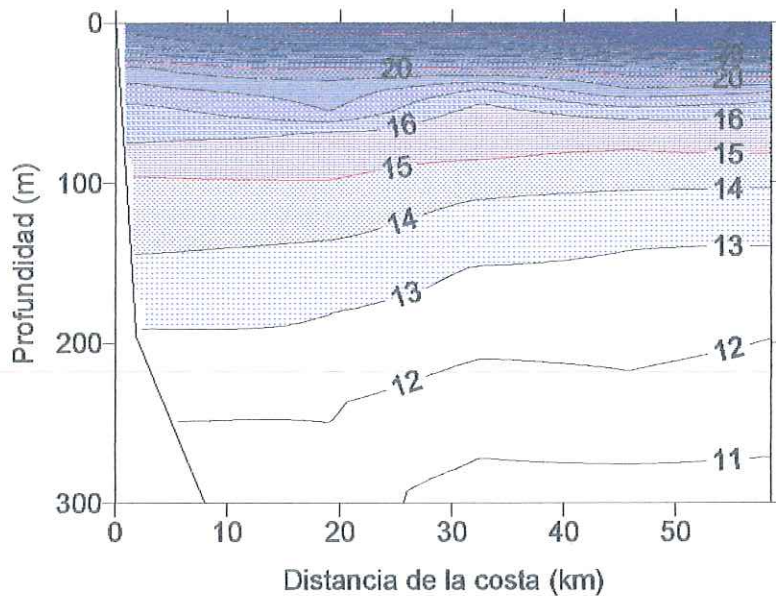


Figura 23. Distribución vertical de temperatura (°C) en la sección formada por las estaciones 93 a 97. Hay una línea roja cada 0.5°C. $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

En las secciones ubicadas dentro del Golfo de California (figuras 24 y 25), se observa que la profundidad de las isotermas disminuye hacia la costa en los primeros 50 m y algunas rompen en superficie cerca de la costa. Las isotermas presentes a mayores profundidades presentan un comportamiento contrario, sin embargo, el aumento en la profundidad de las isotermas se hace más brusco al acercarse estas a la costa (figura 24 y 25). La distribución vertical de temperatura que se muestra en la figura 25 es ligeramente diferente ya que hay una mayor separación entre isotermas cerca de la costa. La isoterma mínima presente es de 11°C.

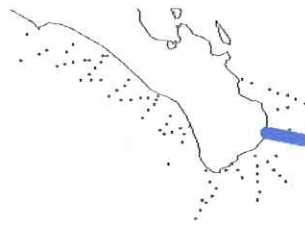
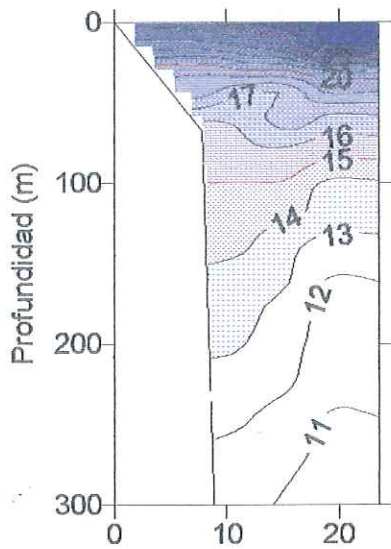


Figura 24. Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 102 a 106. Hay una línea roja cada 5°C . $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$.

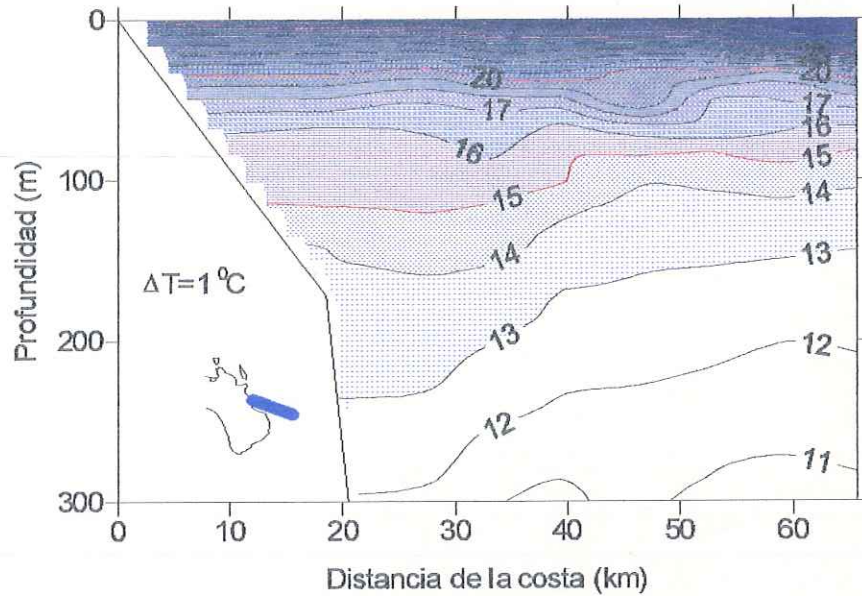


Figura 25. Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la sección formada por las estaciones 114 a 121. Hay una línea roja cada 50C . $\Delta T=10\text{C}$.

A profundidades mayores de 300 m, el gradiente vertical de temperatura se hace más débil al aumentar la profundidad. Como se observa en la figura 26, en donde se presentan las secciones 34 a 38, 60 a 65, 71 a 75, 93 a 97, 106 a 110 y 114 a 121, el mayor cambio de profundidad en la isotermas se da en el intervalo de 11 a 14°C en el cual, a excepción de la sección mostrada en la figura 26-b, estas se hunden hacia la costa. El intervalo de temperatura mencionado se presenta en una capa de 200 m de ancho, aproximadamente.

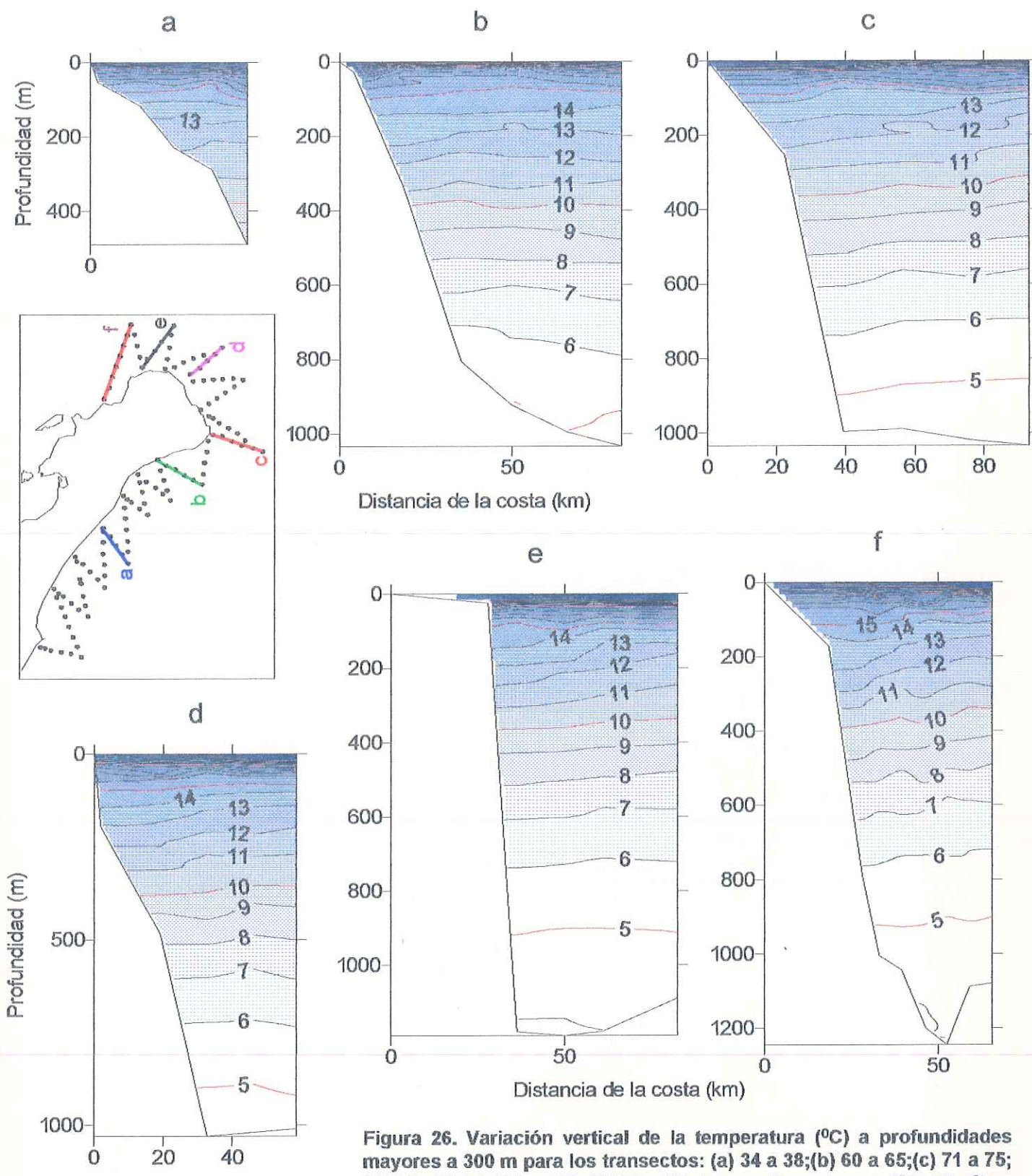
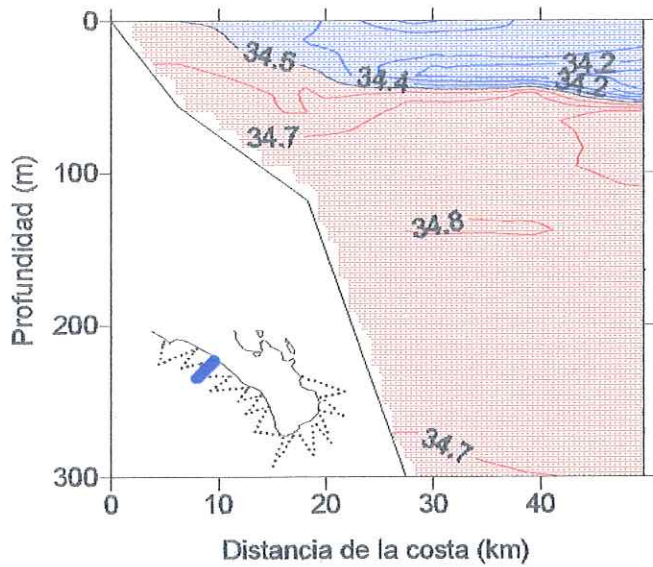


Figura 26. Variación vertical de la temperatura ($^{\circ}C$) a profundidades mayores a 300 m para los transectos: (a) 34 a 38; (b) 60 a 65; (c) 71 a 75; (d) 93 a 97; (e) 106 a 110; (f) 114 a 121. Hay una línea roja cada $5^{\circ}C$. $\Delta T = 1^{\circ}C$.

F.1.iii.b. Salinidad



Al norte de Todos Santos, en la costa Pacífico se observa un mínimo superficial de salinidad ($S \leq 34.3$) a una distancia de la costa mayor a 20 km con una profundidad máxima de 75 m (figura 27 y 28). Entre Todos Santos y Cabo San Lucas, ligeramente más cercano a la costa, se detecta un segundo mínimo de salinidad con valores de salinidad y profundidad muy similares al primer mínimo mencionado (figura 28). En ningún caso se juntan estos núcleos.

a

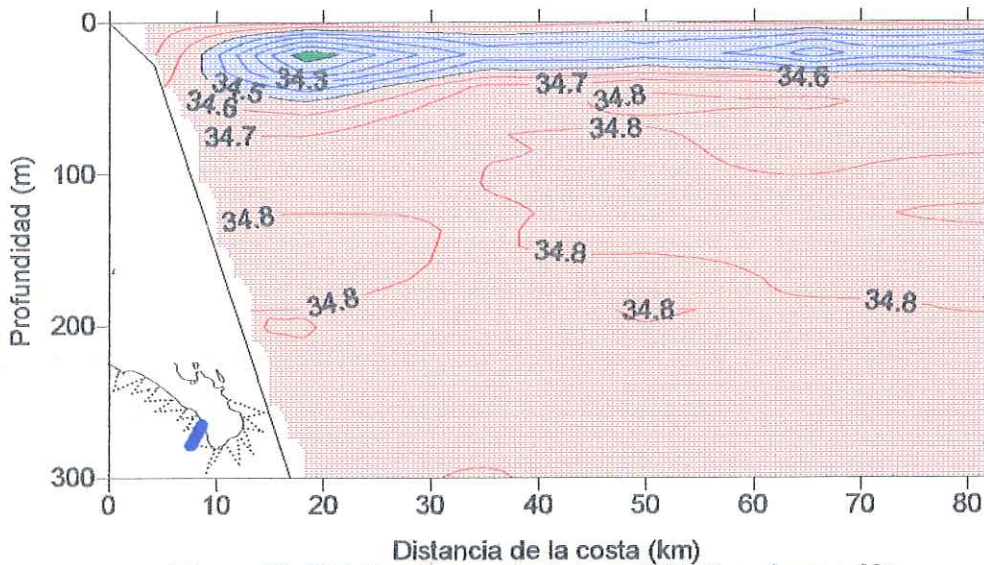


Figura 28. Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 60 a 65. $\Delta S = 0.1$.

Como se mencionó anteriormente, frente a Cabo San Lucas se detecta un fuerte gradiente de salinidad. Este se observa en la estructura vertical en la figura 29 como un mínimo

de salinidad que varía de 33.7 a 34.3 y que abarca casi la totalidad de los primeros 100 m de la columna de agua. Se observan salinidades menores a 34.3 en superficie a una distancia de la costa mayor a 60 km. A distancias menores y hasta la costa, se detectan salinidades del orden de 34.8 en superficie. La isohalina de 34.5 presenta profundidades cercanas a 280 m lejos de la costa, y su profundidad disminuye hacia la costa para llegar a 60 m.

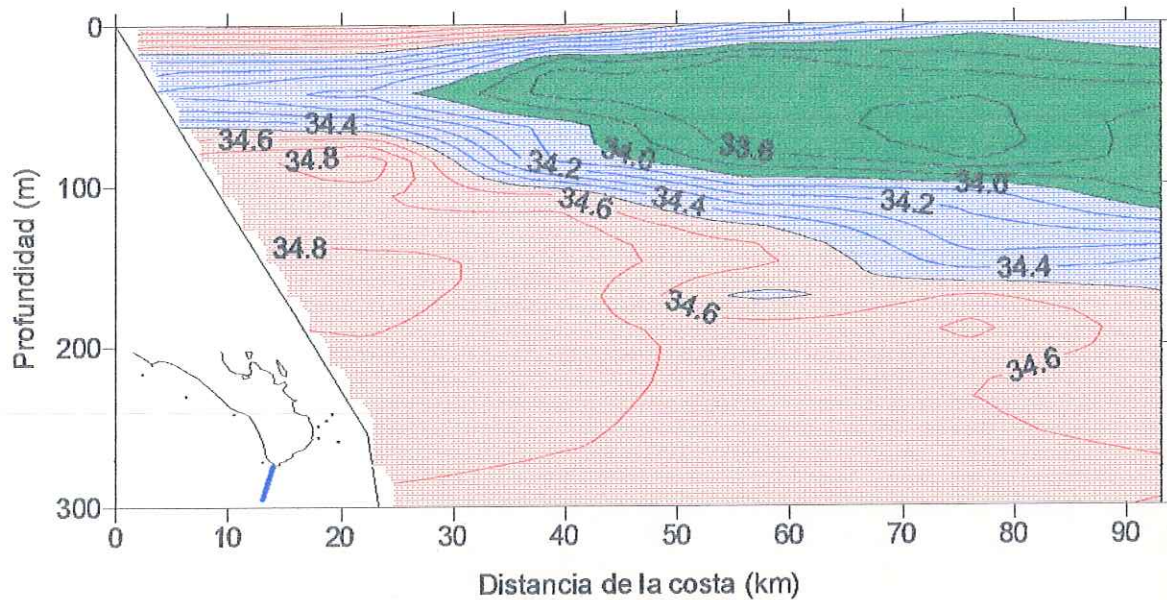


Figura 29. Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 71 a 75. $\Delta S=0.1$.

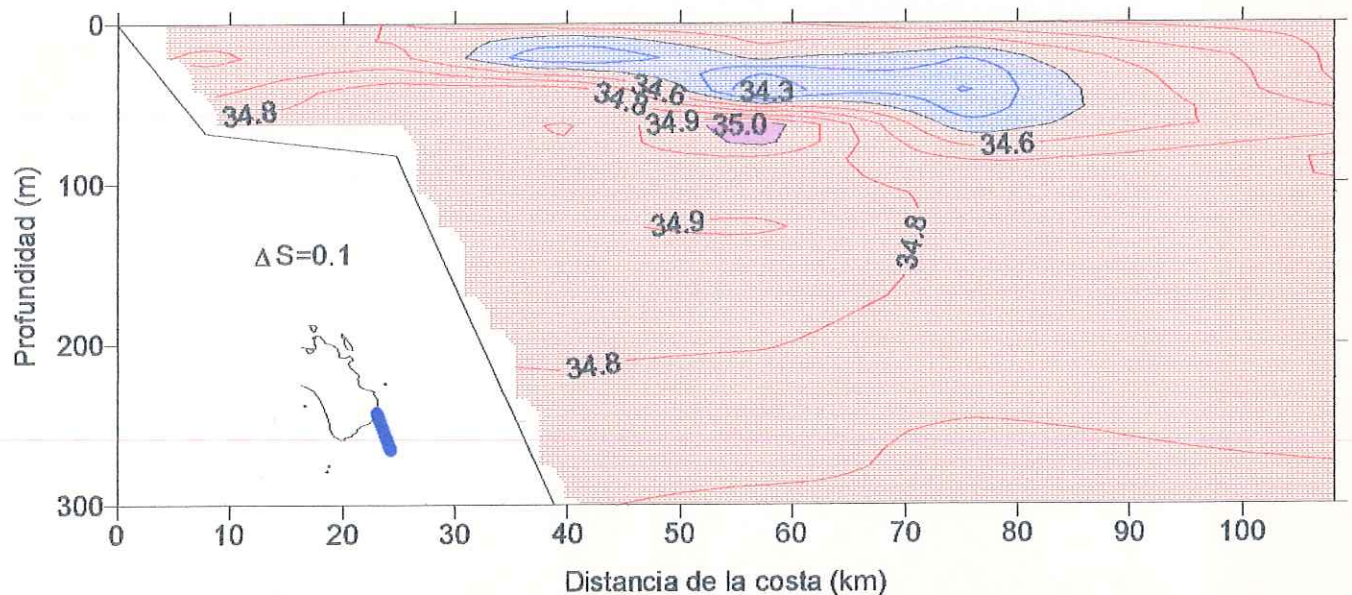


Figura 30. Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 97 a 102. $\Delta S=0.1$.

Entre Cabo San Lucas y Punta Arena se sigue detectando un mínimo de salinidad ($S \leq 34.5$) en los primeros 100 m de la columna de agua cuya posición con respecto a la costa varía entre secciones (figura 30). En esta zona, en superficie, se observa un máximo superficial de 34.8 lejos de la costa.

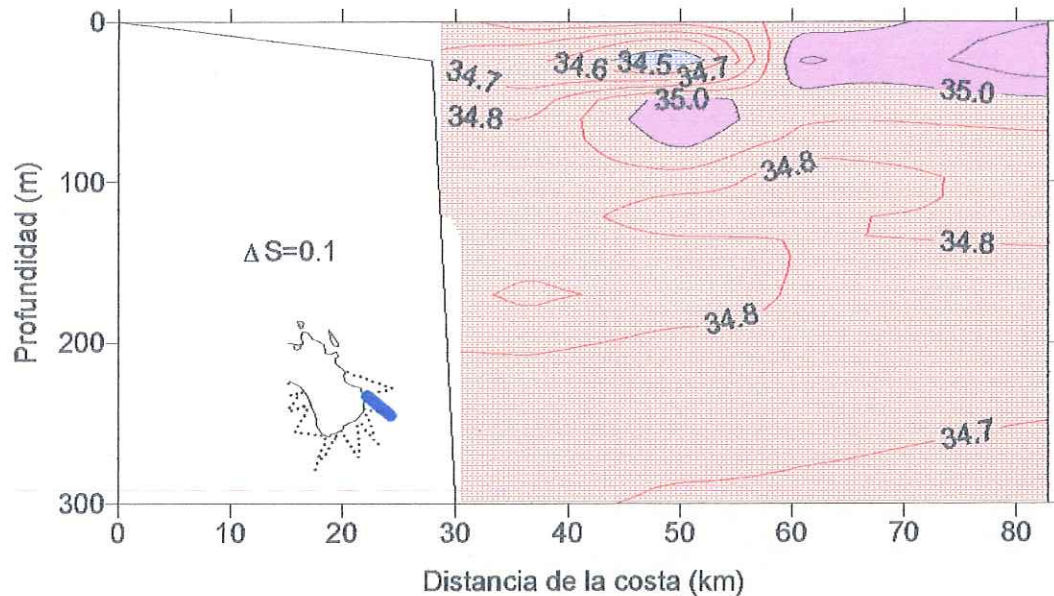


Figura 31. Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 106 a 110. $\Delta S=0.1$.

Un mínimo de salinidad ($S \leq 34.5$) se observa cerca de la costa en los primeros 75 m de la columna de agua (figura 31 y 32) dentro del Golfo de California. Únicamente en el transecto formado por las estaciones 114 a 121 (figura 32) se encuentra lejos de la costa. Las secciones ubicadas en el Golfo se distinguen por un máximo superficial de salinidad ($S \geq 35$) lejano a la costa en los primeros 80 m de la columna de agua (figura 31 y 32).

Todas las secciones tienen en común un máximo subsuperficial de salinidad de 34.8 (figura 27 a 32). En el Pacífico, al norte de Todos Santos (figura 27), se le observa entre 40 y 140 m de profundidad y su posición con respecto a la costa varía entre transectos, sin embargo, entre Todos Santos y Cabo San Lucas (figura 28) se le encuentra entre 50 y 200 m de profundidad a lo largo de casi todo el transecto. Al norte de Cabo San Lucas (figura 28) la

isohalina de 34.8 está separada por cerca de 8 km en dos máximos. El máximo lejano a la costa, a una distancia de 37 km de la costa, es más somero que el máximo ubicado en los primeros 29 km a partir de la costa.

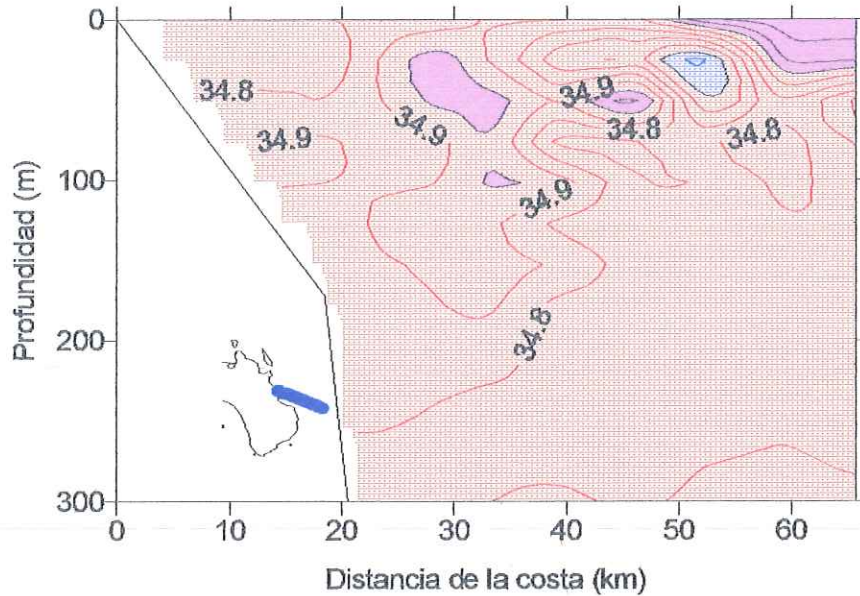


Figura 32. Distribución vertical de salinidad en la sección formada por las estaciones 114 a 121. $\Delta S=0.1$.

Entre Cabo San Lucas y Punta Arena el máximo subsuperficial de 34.8 se observa desde profundidades de 50 m hasta 230 m (figura 30). Frente a Cabo San Lucas (figura 29) se observa hasta una distancia de la costa de 60 km. En los demás transectos ubicados en (figura 30), y el núcleo de

salinidad máxima se encuentra en el límite mar afuera del núcleo de 34.8 a profundidades de entre 50 y 100 m.

Dentro del Golfo de California, la isohalina de 34.8, en todos los transectos, se puede observar en superficie. Se ubica entre los núcleos máximo y mínimo de salinidad descritos anteriormente. La profundidad de la isohalina de 34.8 varía de 0 a 250 m dentro del Golfo de California (figura 31 y 32).

Al igual que entre Cabo San Lucas y Punta Arena, dentro del Golfo de California se observa un núcleo de $S \geq 34.9$. Se encuentra separado de la costa por una distancia, diferente

para cada sección, que abarca desde 25 hasta 60 km. Su profundidad varía a lo largo de los primeros 200 m de la columna de agua (figuras 30 a 32).

A partir de los 300 m, la salinidad presenta pocos cambios. En general, hay una disminución de la salinidad con la profundidad. A los 300 m se observa una salinidad de 34.7 y,

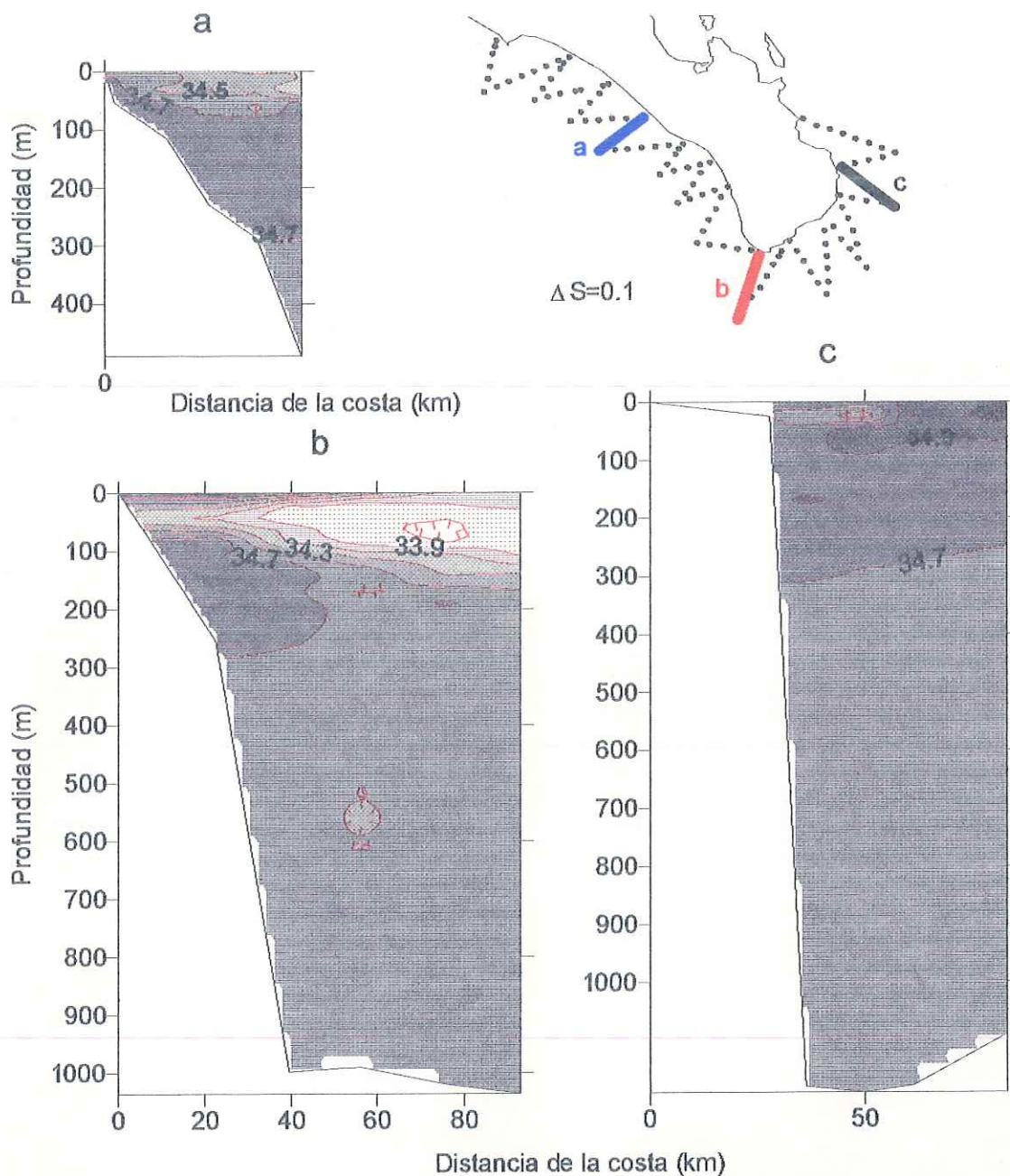


Figura 33. Distribución vertical de salinidad a profundidades mayores a 300 m para los transectos : (a) 34 a 38; (b) 71 a 75; (c) 106 a 110. $\Delta S = 0.1$.

cuando la batimetría lo permite, llega a haber salinidades de 34.6. Hay pequeñas variaciones en forma de núcleos mínimos de salinidad y en la profundidad de la isohalina de 34.7. En los transectos próximos a Cabo San Lucas (figura 33-b y 33-c) se presenta un lente de salinidad mínima de 34.5 a profundidades mayores de 500 m. En cuanto a las variaciones en la profundidad, la isohalina de 34.7 aumenta su profundidad hacia la costa algunos transectos de la costa Pacífico (figura 33-a). En los demás transectos, dicha isohalina disminuye su profundidad hacia la costa.

F.1.iii.c. Densidad

Hasta este momento, no se ha descrito la variación espacial de la densidad debido a que su comportamiento es muy similar al de la temperatura. Sin embargo, es necesario hacer una excepción. En los transectos 71 a 75 y 75 a 81 la variación de la salinidad con respecto a la distancia y profundidad es tal que se presentan pequeñas variaciones en la distribución de la densidad, principalmente en el primer caso (figura 34).

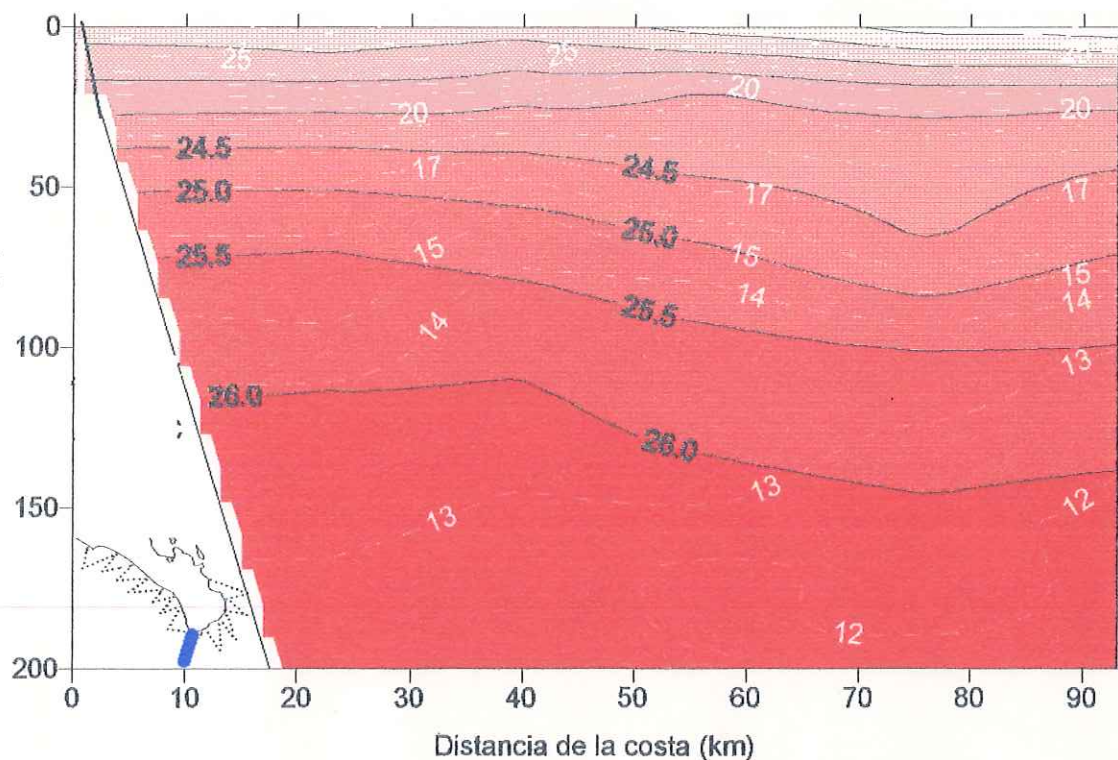


Figura 34. Distribución vertical de γ_{θ} y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en el transecto 71 a 75. Las isoclasas blancas son de temperatura mientras que el color y las isoclasas negras son de γ_{θ} . $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$. $\Delta \gamma_{\theta}=0.5$.

F.1.iv. Distribución espacial de la profundidad de la termoclina y la pincoclina

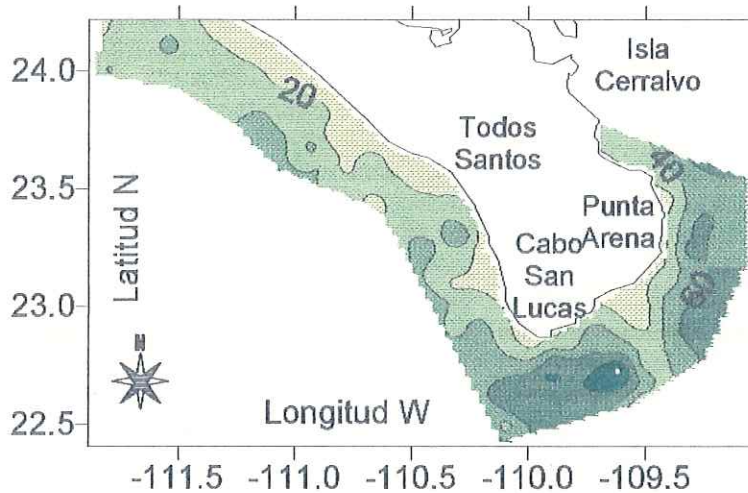


Figura 35. Profundidad promedio de la pincoclina (m).

En las figuras 35 y 36 se observa la profundidad de la pincoclina y termoclina, respectivamente. En ambos casos hay un aumento en su profundidad hacia el mar. La variación de la profundidad, en ambos casos, es menor en la

costa Pacífico que en el resto del área de estudio. La profundidad máxima de la pincoclina y la termoclina se localiza frente a Cabo San Lucas. Es importante destacar que no incluye a la sección 71 a 75, sin embargo, involucra al transecto 75 a 81. Entre Cabo San Lucas y Punta Arena se observan profundidades de la termoclina y pincoclina someras. La zona de Todos Santos presenta un máximo de profundidad de ambas características cerca de la costa. En el caso de la pincoclina, el máximo tiene forma de lente. Aún cuando el comportamiento de la termoclina es muy similar al de la pincoclina, existen diferencias entre sus profundidades. La profundidad máxima frente a Cabo San Lucas llega a 90 m para la pincoclina y a 80 para la termoclina. La ubicación de estos máximos es ligeramente distinta.

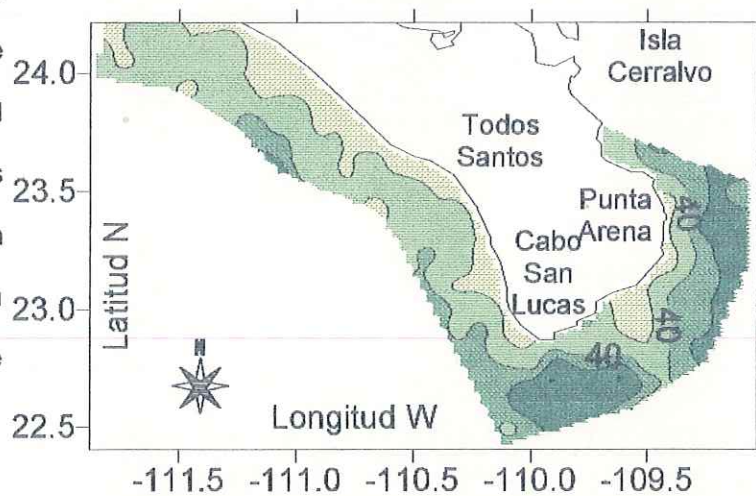
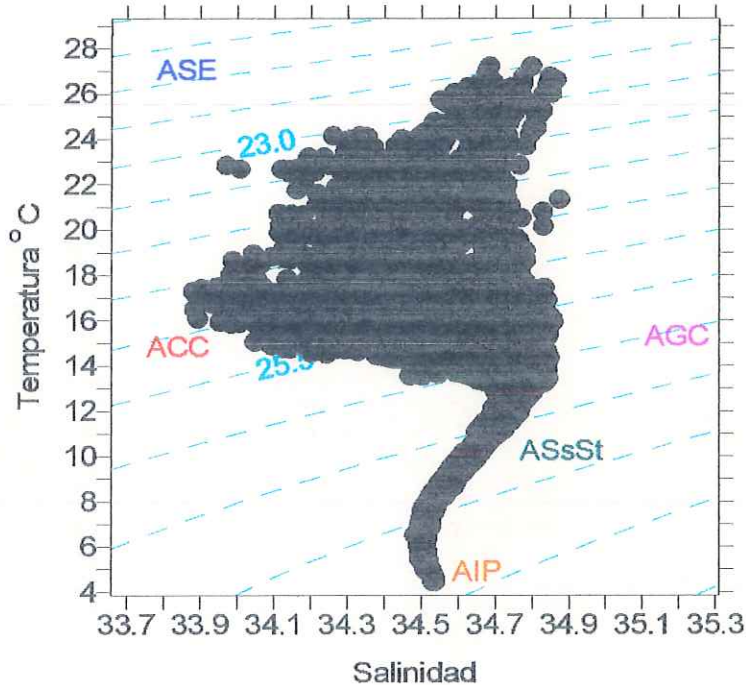


Figura 36. Profundidad promedio de la termoclina (m)

F.2. Masas de agua

Los diagramas T-S para la costa Pacífico, la zona entre Cabo San Lucas y Punta Arena y el Golfo de California se muestran en las figuras 37, 38 y 39, respectivamente. En estas figuras se observa que las masas de agua presentes en la zona son ACC, ASE, AGC, ASsSt y AIP.

El ASE se presenta en todas las estaciones. En el Pacífico se le encuentra sobre el ACC, sin embargo, cuando hay AGC, el ASE puede encontrarse tanto por encima como por debajo del AGC. Es en estos casos en que se encuentra la profundidad máxima de esta masa de agua, 60 m. En la costa Pacífico, la salinidad de ASE no es mayor a 34.9 mientras que su



salinidad mínima es de alrededor de 34.0. Entre Cabo San Lucas y Punta Arena, el rango de salinidad se amplía a $33.7 \leq S \leq 35$. Dentro del Golfo, el límite mínimo de salinidad es de 34.1. Su rango de temperatura es muy similar en las tres zonas, y cubre de 18°C a cerca de 29°C . Entonces, la variación en los valores de salinidad del ASE se encuentra muy relacionada a las masas de agua que la rodean.

El ACC se puede encontrar en las tres zonas. En la costa Pacífico su temperatura es, en la mayor parte de los casos, mayor a 14°C . A la vez, la salinidad se encuentra por arriba de 33.8. Entre Cabo San Lucas y Punta Arena, tanto el rango de temperatura como el de salinidad, se amplía a $12^{\circ}\text{C} \leq T \leq 18^{\circ}\text{C}$ y $33.6 \leq S \leq 34.5$. Dentro del Golfo, el ACC que se detecta presenta temperaturas mayores a 14°C y salinidades mayores a 34.2. El ACC tiene una profundidad

mínima de 20 m y máxima de 180 m. La profundidad máxima se presenta frente a Cabo San Lucas, lejos de la costa.

El límite superior está determinado por el valor de temperatura, no por el de salinidad, ya que en superficie se presentan salinidades bajas con temperaturas superiores a 18°C. El límite inferior del ACC varía entre 20 y 60 m. La profundidad mínima de la frontera inferior del ACC corresponde a la costa Pacífico y aumenta mar afuera. En Todos Santos cerca de la costa, en la estación 59 se detecta un pequeño núcleo de ACC entre 96 y 100 m (figura 40).

Unicamente se encuentra AGC entre Cabo San Lucas y Punta Arena y dentro del Golfo. Dentro del Golfo se le detecta de superficie a 50 m y, en ambas zonas, se le encuentra como una masa de agua subsuperficial entre 20 y 80 m de profundidad. Su temperatura mínima es de 14°C. En ningún caso se observa que el AGC llegue de superficie

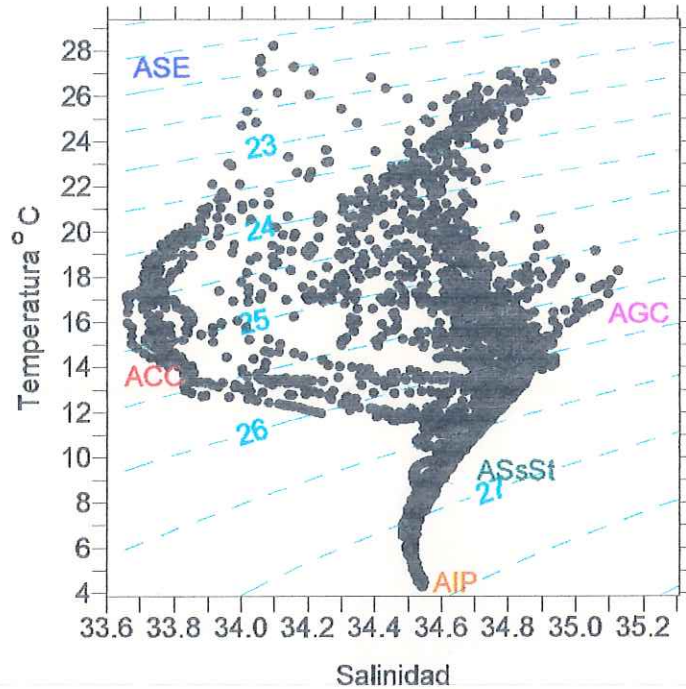


Figura 38. Diagrama T-S: Cabo San Lucas a Punta Arena

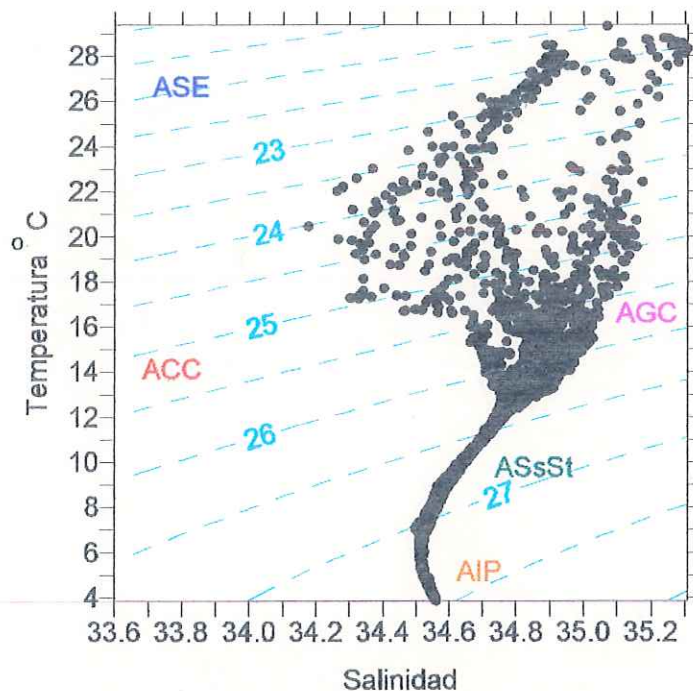
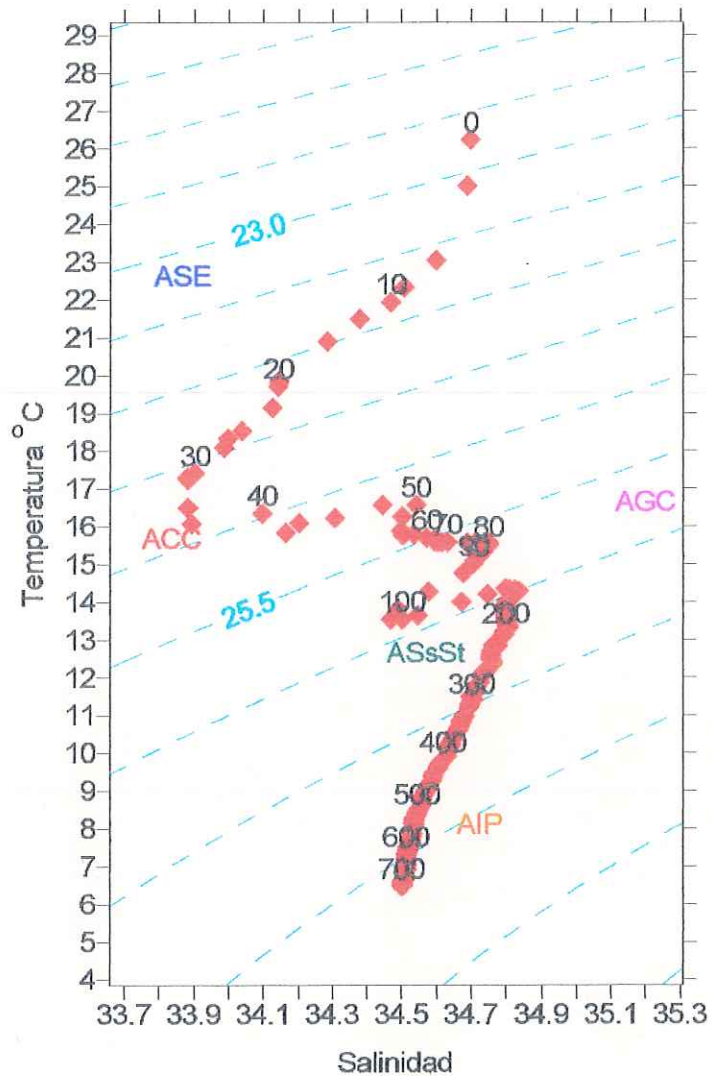


Figura 39. Diagrama T-S: Golfo de California

a 70 m, se ve interrumpido por valores de temperatura y salinidad que caen dentro de los rangos de ASsSt o ASE.

El ASsSt se encuentra en la mayoría de las estaciones. No se le detecta en los lances más someros. En el Pacífico y el Golfo, por debajo de los 12°C, el ASsSt no presenta muchas variaciones en su salinidad. Sin

embargo, entre Cabo San Lucas y Punta Arena, la salinidad de esta masa de agua, correspondiendo a valores de temperatura menores o iguales a 12°C, llega a ser menor que en la costa Pacífico y Golfo de California. Así, a 9°C el mínimo de salinidad es muy cercano a 34.5. Por arriba de los 12°C, la salinidad máxima del ASsSt en el Pacífico es de 34.9, mientras que entre Cabo San Lucas y Punta Arena y dentro del Golfo abarca un rango mayor de salinidades. En cuanto a su profundidad mínima, es de 30 m para el Pacífico y la zona entre Cabo San Lucas y Punta Arena. En el Golfo es ligeramente más profunda, a partir de 40 m se le llega a encontrar. Su límite inferior varía entre 400 y 500 m.



En el Pacífico el AIP presenta poca variabilidad, al igual que dentro del Golfo. Entre Cabo San Lucas y Punta Arena, se presentan salinidades ligeramente menores hasta, aproximadamente, 6⁰C. Se le encuentra por debajo de el ASsSt y está limitada por la profundidad.

En la tabla 2 se muestran las profundidades máximas y mínimas de los límites superior e inferior de cada masa de agua. Se observa que el límite superior de todas las masas de agua presenta menor variación que el inferior. El límite superior del AGC se presenta a profundidades mayores que el del ACC, sin embargo, la profundidad promedio del límite superior del AGC es menor que el del ACC. Esto se debe a que el AGC se detecta en dos núcleos, uno superficial lejano a la costa y otro subsuperficial (figuras 30 a 32).

Los límites superior e inferior del ASsSt presentan grandes cambios. Por otra parte, el límite inferior del AIP presenta gran variabilidad puesto que este límite se encuentra dado por la batimetría ya que no se encontró APP.

Tabla 2. Variación de las profundidades en las que se encuentra cada masa de agua

	Limite superior (m)				Limite inferior (m)			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Varianza	Máximo	Mínimo	Promedio	Varianza
ACC	52	12	28.78	72.17	162	22	55.06	788.66
ASE	48	0	1.62	54.04	54	10	31.93	106.111
AGC	76	0	25.68	557.163	102	10	53.68	587.48
ASsSt	170	24	49.58	538.024	480	46	295.797	22029
AIP	482	380	434.86	392.551	1246	486	924.64	41531

F.3. Superficies isentrópicas

F.3.i. Salinidad

En la Tabla 3 se muestran las masas de agua que se asocian a los valores de la anomalía de densidad con los que se trabajó. En las figuras 41-a a 41-d se observa la distribución espacial de la salinidad. En las primeras tres superficies

($\gamma_0 = 24$, $\gamma_0 = 24.5$, y $\gamma_0 = 25$) dicha distribución es muy similar. En la parte norte de la costa Pacífico, la salinidad aumenta hacia el sureste y, lejos de la costa presenta poca variación (figura 41-a, 41-b y 41-c). En esta costa, en las superficies $\gamma_0 = 24$, $\gamma_0 = 24.5$, y $\gamma_0 = 25$ se observan dos máximos, ambos de 34.6, separados por un mínimo de salinidad

de 34.4. La distribución de salinidad en cada una de las superficies isentrópicas mostradas difiere únicamente en la ubicación con respecto a la costa y dimensión de los máximos y el mínimo antes descritos.

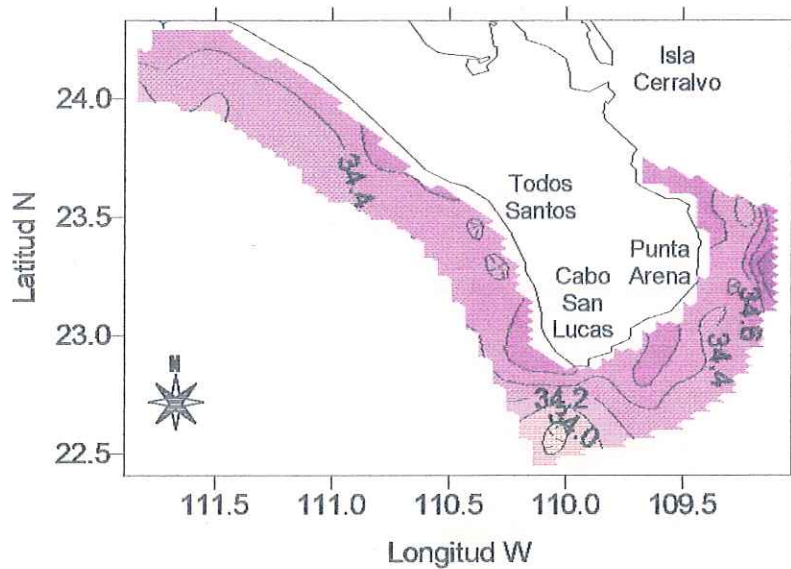


Figura 41-a. Distribución de salinidad en la superficie de $\gamma_0 = 24$. $\Delta S = 0.2$.

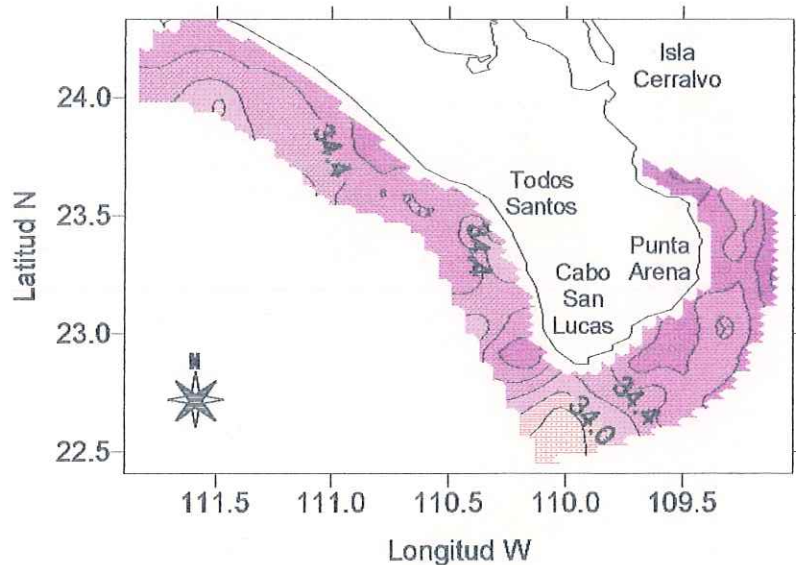


Figura 41-b. Distribución de salinidad en la superficie de $\gamma_0 = 24.5$. $\Delta S = 0.2$.

Tabla 3. Masas de agua asociadas a valores de la anomalía de densidad

Superficie	$\gamma_0 = 24$	$\gamma_0 = 24.5$	$\gamma_0 = 25$	$\gamma_0 = 26.5$
Masas de agua	ASE y AGC	ACC, ASE y AGC	ACC, ASsSt, ASE y AGC	ASsSt y AGC

Frente a Cabo San Lucas se presenta en las superficies de $\gamma_0 = 24$, $\gamma_0 = 24.5$, y $\gamma_0 = 25$ un mínimo de salinidad de 33.8, el cual, únicamente, varía en tamaño. Entre Punta Arena y Cabo San Lucas, cerca la costa, el valor de salinidad es de 34.6. En estas superficies lejos de la costa frente a Punta Arena se observan salinidades de 35 o mayores. En la superficie de $\gamma_0 = 25$,

el máximo de 35 se encuentra más cerca de la costa que en las superficies de $\gamma_0 = 24$ y $\gamma_0 = 24.5$. Al sur de la Isla Cerralvo y cerca de la costa en las superficies de $\gamma_0 = 24.5$ y $\gamma_0 = 25$ hay otro máximo de salinidad de 35.

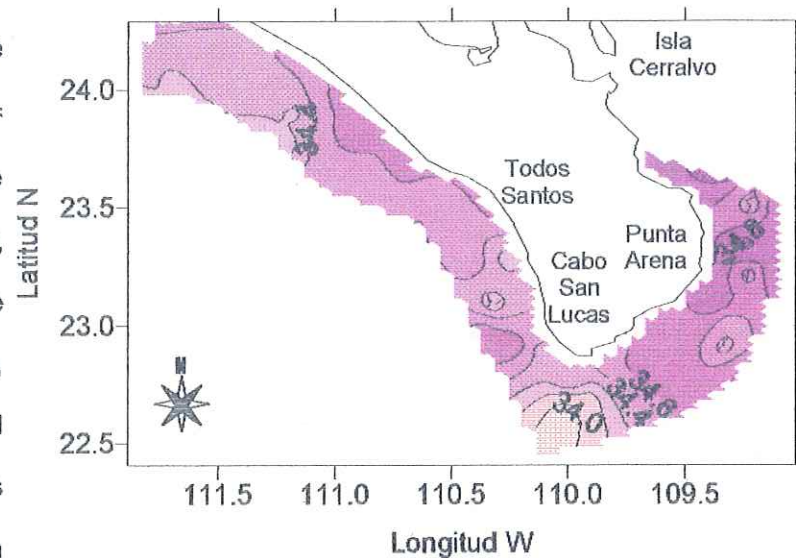


Figura 41-c. Distribución de salinidad en la superficie de $\gamma_0 = 25$. $\Delta S = 0.2$.

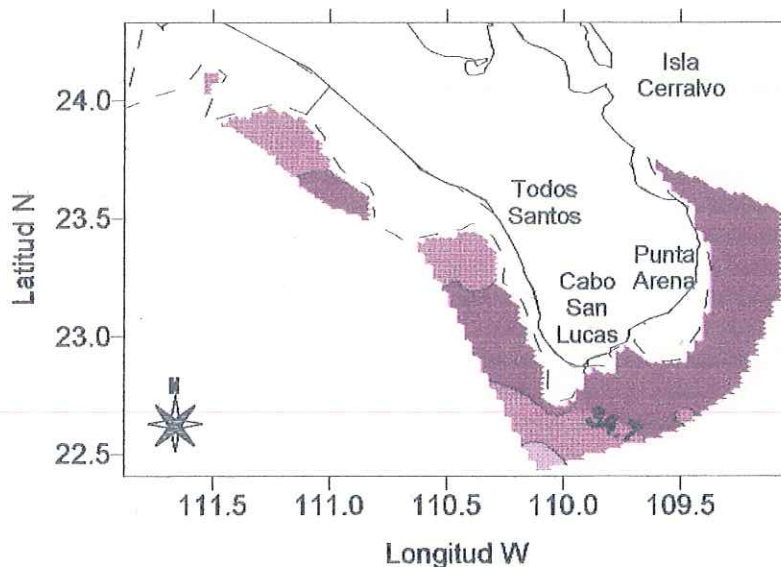


Figura 41-d. Distribución de salinidad en la superficie de $\gamma_0 = 26.5$. $\Delta S = 0.05$.

Como se aclaró en la metodología, las superficies de igual γ_0 no son iguales a las de igual entropía, por lo cual se puede dar la mezcla isopical. En la superficie de $\gamma_0 = 24$ se detecta únicamente ASE y AGC, pero, el AGC se encuentra únicamente lejos de la costa frente a Punta Arena. Por otra

parte, en la superficie de $\gamma_0 = 24.5$, el ACC se distingue por salinidades menores a 34 por lo cual solo se le observa lejos de la costa frente a Cabo San Lucas. El ASsSt en la superficie de $\gamma_0 = 25$ presenta valores de salinidad de $34.5 < S < 34.7$. Entonces, en ésta superficie se detectan ACC, ASE, ASsSt y AGC. El AGC solo aparece como dos máximos, mientras que el ACC y ASsSt ocupan la costa Pacífico del área de estudio. El ASsSt se detecta como máximos costeros de salinidad, los cuales se describieron anteriormente. Considerando que una mezcla de ACC con AGC puede dar como resultado valores de temperatura y salinidad que entren dentro del rango del ASE y del ASsSt, es interesante destacar que entre Cabo San Lucas y Punta Arena se pueden identificar estas dos masas de agua. Otra evidencia a la mezcla en esta zona es el aumento de salinidad de Cabo San Lucas (donde hay ACC) a Punta Arena (donde hay AGC).

En la figura 41-d se observa la variación de salinidad para la superficie de $\gamma_0 = 26.5$, la cual es mucho menor que en los casos anteriores. En ella se observan salinidades de 34.7 cerca de la costa desde el Golfo de California hasta Cabo San Lucas. Salinidades de 34.6 se presentan lejos de la costa frente a Cabo San Lucas y en la costa Pacífico. Esto muestra que solo hay ASsSt a lo largo de esta superficie de igual γ_0 .

F.3.ii. Temperatura

La porción norte de la costa Pacífico se caracteriza, por la disminución del valor de la temperatura mar afuera en todos los casos, en las superficies de $\gamma_0 = 24.5$ y $\gamma_0 = 25$ (figuras 42-b y 42-c) por la presencia de un máximo al norte de Todos Santos y un mínimo al sur de Todos Santos, ambos cercanos a la costa. Al oeste de Cabo San Lucas se observa un pequeño máximo en estas dos superficies. Por otra parte, en la costa oriental de la Península se detectan valores altos de temperatura al sur de la Isla Cerralvo y lejos de la costa frente a Punta Arena. En la superficie de $\gamma_0 = 25$ hay varios lentes de temperatura mínima (18°C) entre Cabo San Lucas y el Golfo de California. Para una anomalía de densidad de 26.5, la variación en el valor de temperatura es mínima. No se hace una descripción de las masas de agua presentes y su

ubicación puesto que es la misma que fue descrita para salinidad.

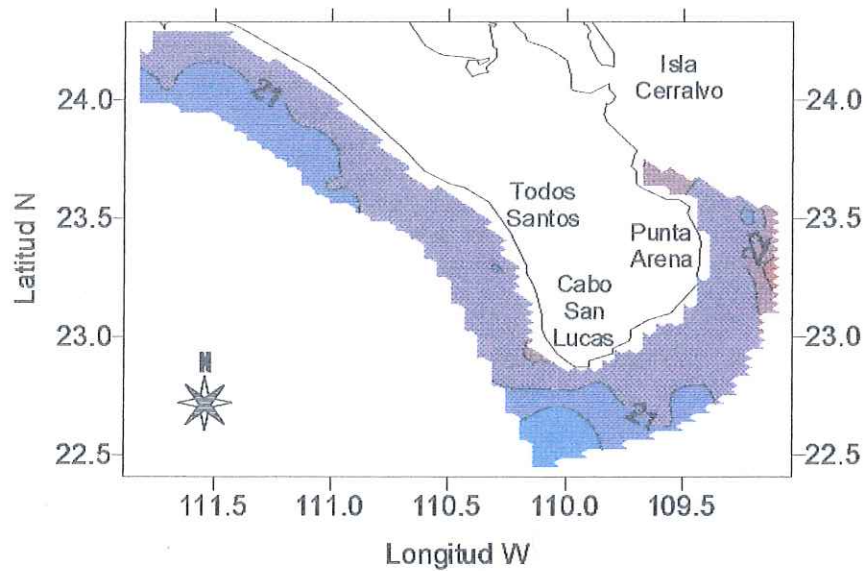


Figura 42-a. Distribución de temperatura en la superficie de $\gamma_{\theta} = 24.0$. $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$.

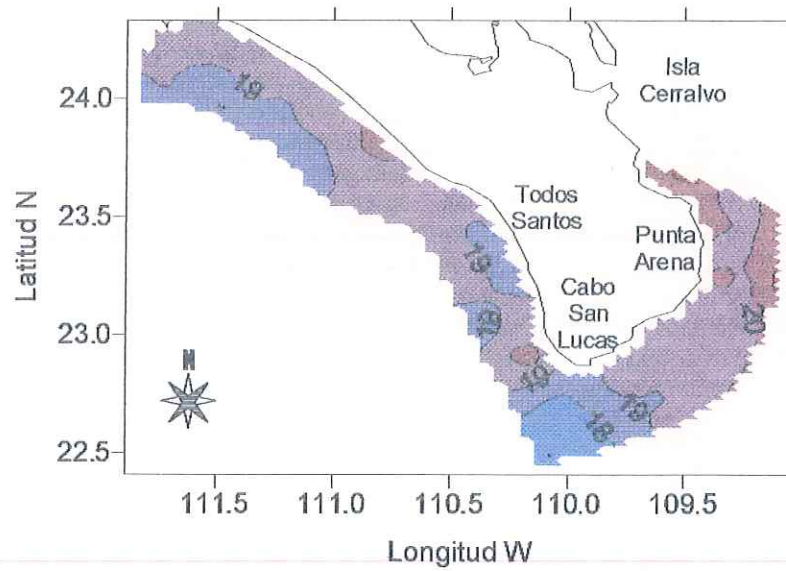


Figura 42-b. Distribución de temperatura en la superficie de $\gamma_{\theta} = 24.5$. $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$.

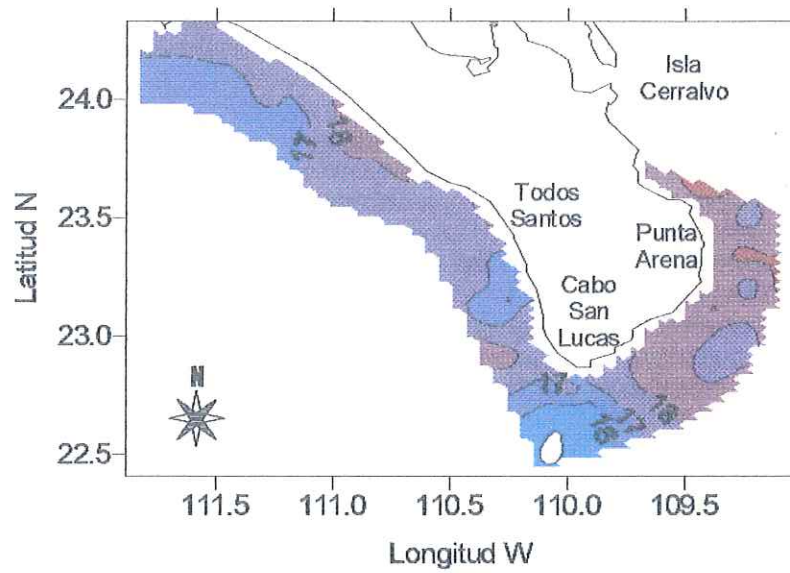


Figura 42-c. Distribución de temperatura en la superficie de $\gamma_{\theta} = 25$. $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$.

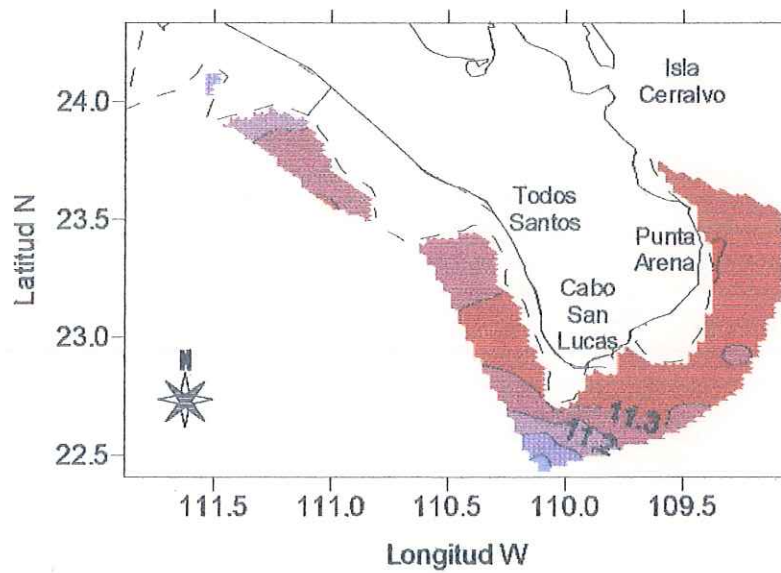


Figura 42-d. Distribución de temperatura en la superficie de $\gamma_{\theta} = 26.5$. $\Delta T = 0.1^{\circ}\text{C}$.

F.3.iii. Presión

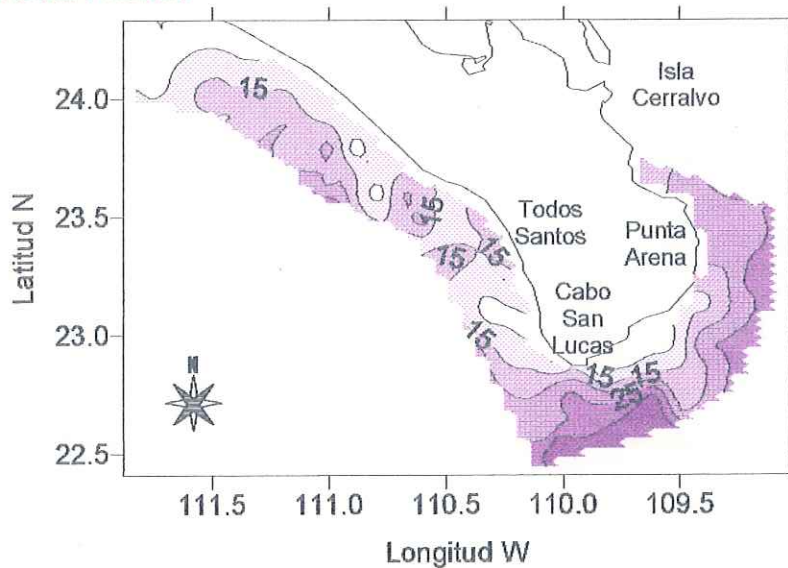


Figura 43-a. Distribución de presión en la superficie de $\gamma_0 = 24$. $\Delta P = 5$ db.

En las isobaras en las superficies de $\gamma_0 = 24$, $\gamma_0 = 24.5$, y $\gamma_0 = 25$ la presión aumenta hacia el sur en la costa Pacífico, lo cual sugiere que el flujo geostrofico que se dirige hacia el oeste (figura 43-a, figura 43-b, y figura 43-c). Posterior a esto, se presentan 2 mínimos y 2

máximos de presión que sugieren la existencia de una serie de pequeños giros locales ciclónicos y anticiclónicos. Entre Todos Santos y Cabo San Lucas hay un mínimo de presión que mediante un giro en sentido de las manecillas del reloj acarrea agua hacia el norte. Frente a Cabo San Lucas, lejos de la costa, se ubica un máximo de presión, mientras que entre Cabo San Lucas y Punta Arena se observa, cerca de la costa, un mínimo de presión. Esto sugiere que frente a Punta Arena el flujo geostrofico se aleja de la costa, mientras que frente a Cabo San Lucas se vuelve a la costa nuevamente y se dirige al Océano Pacífico. Por último, al sur de la Isla Cerralvo y lejos de la costa se detecta un máximo de presión que sugiere que parte del flujo geostrofico

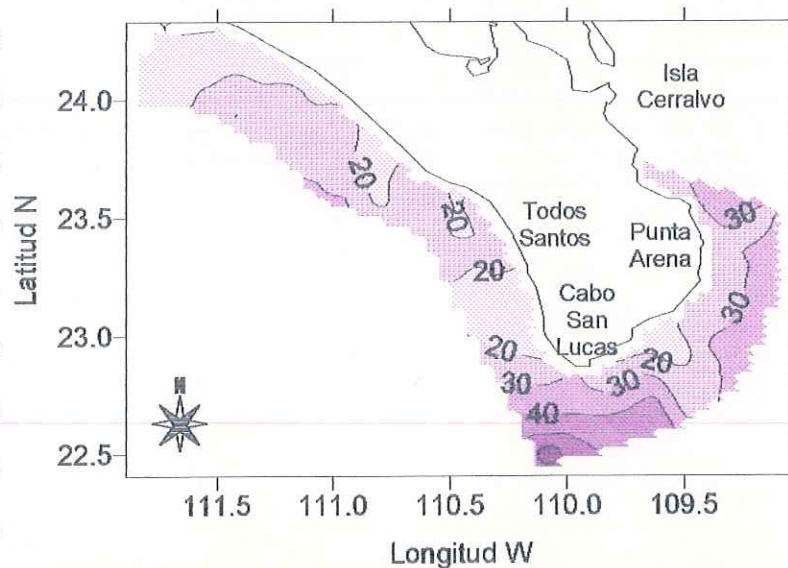


Figura 43-b. Distribución de presión en la superficie de $\gamma_0 = 24.5$. $\Delta P = 5$ db.

dirigido al sur, invierta su dirección.

Estas características generales hacen más interesante a la distribución de las isóbaras en la superficie de $\gamma_0 = 26.5$ (figura 43-d). De Cabo San Lucas al sur de la Isla Cerralvo, el mínimo de presión se localiza lejos de la costa, lo

que sugiere que el flujo geostrofico se dirige al Golfo de California. Entre Cabo San Lucas y Todos Santos y frente a Todos Santos cerca de la costa se observan dos máximos de presión, lo que sugiere un flujo geostrofico hacia Cabo San Lucas. Al norte de Todos Santos se observa un mínimo y, por lo tanto se sugiere un giro en sentido de las manecillas del reloj.

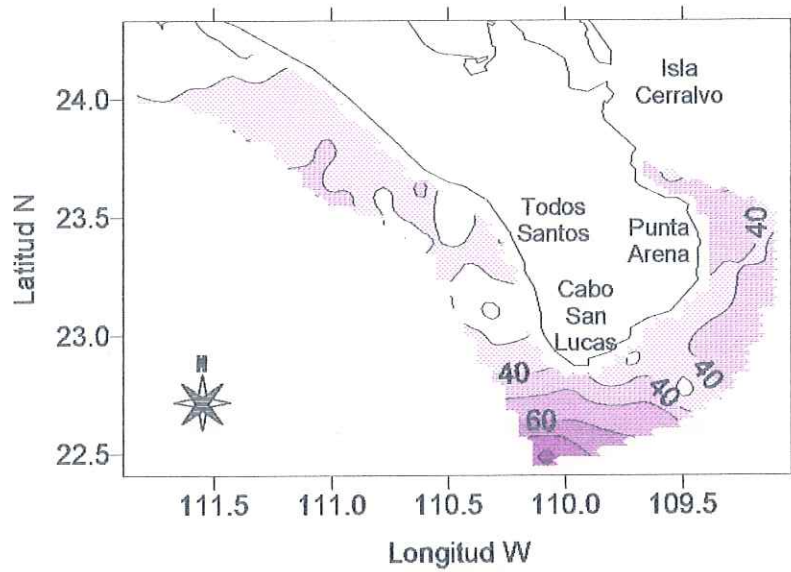


Figura 43-c. Distribución de presión en la superficie de $\gamma_0 = 25$. $\Delta P = 5$ db.

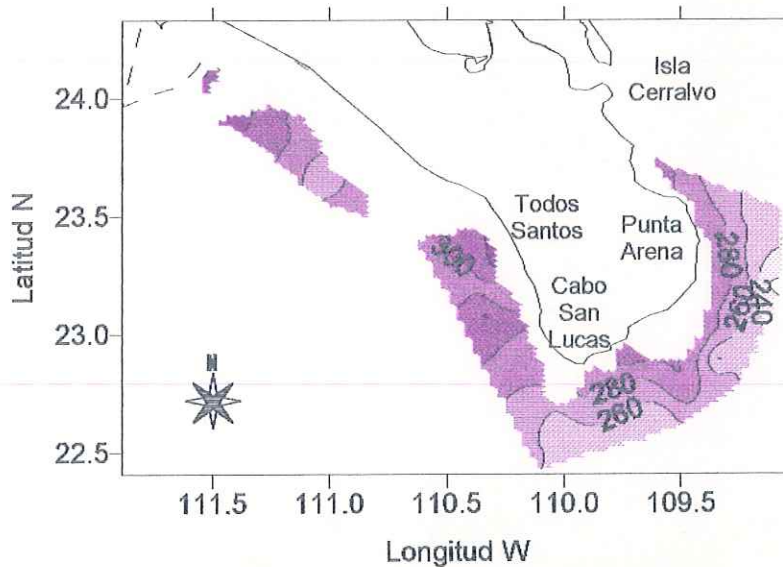


Figura 43-d. Distribución de presión en la superficie de $\gamma_0 = 26$. $\Delta P = 5$ db.

F.4. Geostrofia

El campo de velocidad geostrófica en la porción norte de la costa Pacífico se caracteriza por la presencia de núcleos dirigidos al noroeste entre superficie y 100 m (figura 44, 45 y 46). El núcleo con dirección noroeste acarrea ASE. El ASsSt es transportado en diferentes direcciones a lo largo de la columna de agua. Sin embargo, junto al talud continental, a profundidades variables, se presenta ya sea un flujo hacia el noroeste o bien, un cambio en la dirección del flujo geostrófico, aún cuando éste presente magnitudes muy pequeñas. Este flujo presenta su velocidad máxima en el transecto que incluye las estaciones 24 a 28 (figura 45) con un valor de 0.05 m/s. En general, en la mayor parte de la columna de agua en los transectos ubicados en la costa Pacífico hay un flujo hacia el sur. En ésta zona, la velocidad máxima se encuentra en la sección 34 a 38 a más de 30 km de la costa en los primeros 50 m (figura 46). Se dirige al sureste a una velocidad de 0.25 m/s.

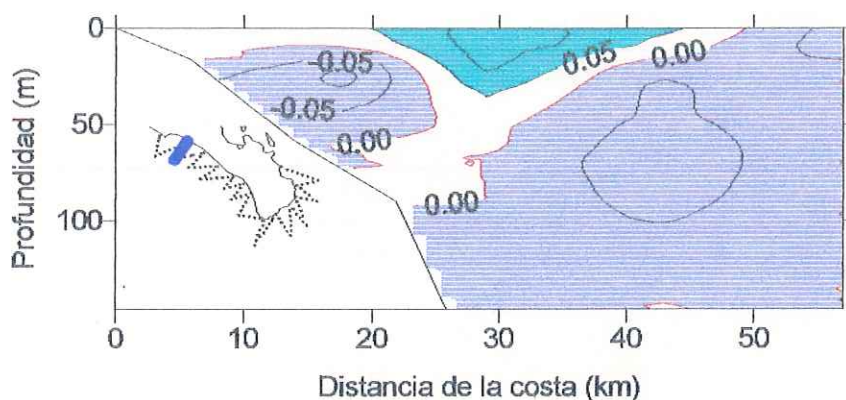


Figura 44. Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 13 a 18. Las velocidades positivas son hacia el noroeste, mientras que las negativas, hacia el sureste. $\Delta Vg=0.05$ m/s. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

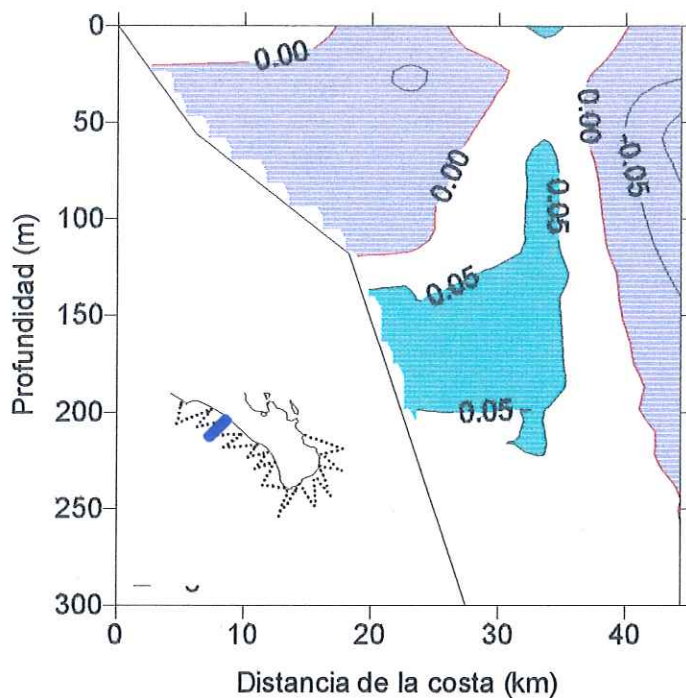


Figura 45. Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 24 a 28. Las velocidades positivas son hacia el noroeste, mientras que las negativas, hacia el sureste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

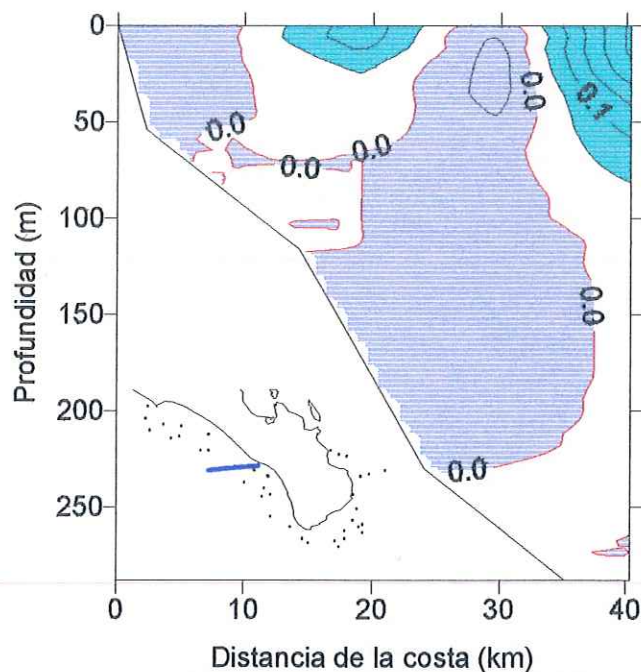


Figura 46. Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 34 a 38. Las velocidades positivas son hacia el noroeste, mientras que las negativas, hacia el sureste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

Entre Todos Santos y Cabo San Lucas la dirección del flujo, así como la distribución vertical de las isotacas varía fuertemente, como se observa en la figura 47 y en la figura 48. El primero muestra un flujo hacia el sureste en toda la columna de agua. La mayor velocidad es de -0.24 m/s. Al igual que en los transectos anteriores, en la sección 52 a 56 se detecta ASE, ACC y ASsSt. Por otra parte, en la figura 48 se observa que de la costa a los 30 km de distancia la mayor parte de la columna de agua

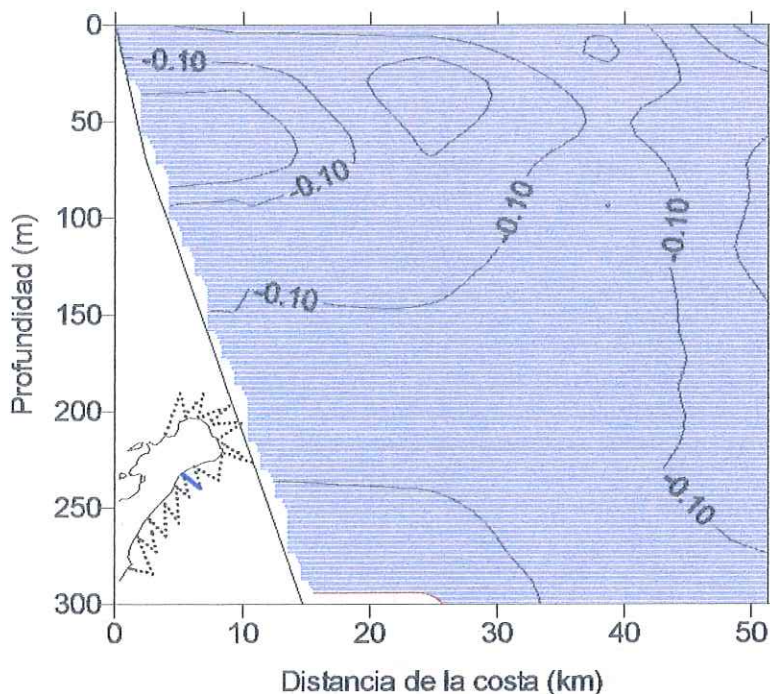


Figura 47. Campo de velocidad geostrofica (m/s) para el transecto 52 a 56. Las velocidades positivas son hacia el noroeste, mientras que las negativas, hacia el sureste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

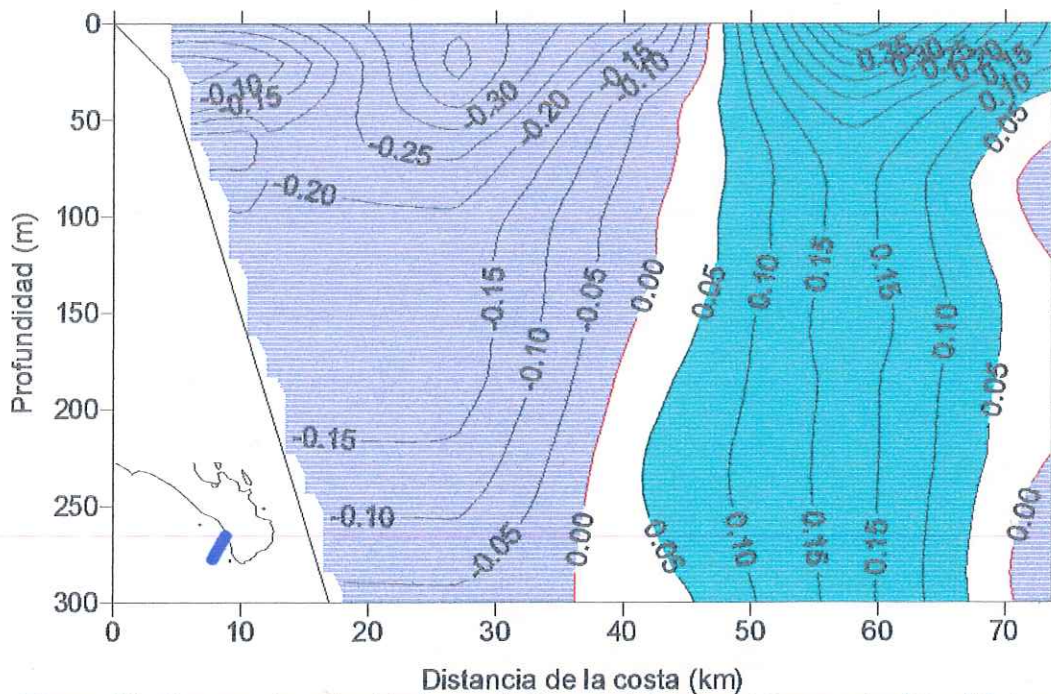


Figura 48. Campo de velocidad geostrofica (m/s) para el transecto 60 a 65. Las velocidades positivas son hacia el noroeste, mientras que las negativas, hacia el sureste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

presenta velocidades negativas, esto es, dirigidas al sureste y cuya magnitud disminuye con la profundidad desde -0.4 m/s cerca de la superficie hasta valores mínimos de 0.05 m/s. Así, posterior a 30 km de distancia de la costa, en la columna de agua se observa un flujo geostrófico, tanto hacia el noroeste como hacia el suroeste, presenta una disminución en la magnitud de la velocidad con la profundidad a partir de un valores máximos de 0.45 y -0.4 m/s, respectivamente, hasta velocidades con magnitud de 0.05. Debido al cambio en la dirección del flujo geostrófico, se sugiere la presencia de un giro. A causa de que abarca los primeros 300 m de la columna de agua, las masas de agua sujetas al flujo geostrófico en ambas direcciones son ASE, ACC y ASsSt.

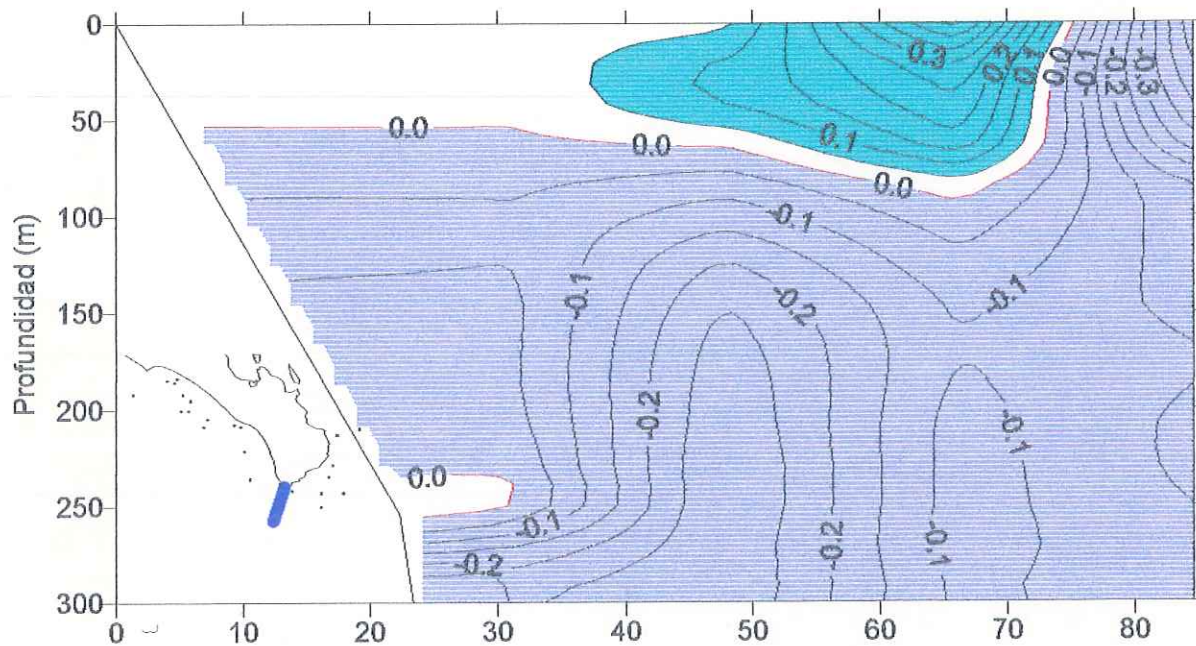


Figura 49. Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 71 a 75. Las velocidades positivas son hacia el noroeste, mientras que las negativas, hacia el sureste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

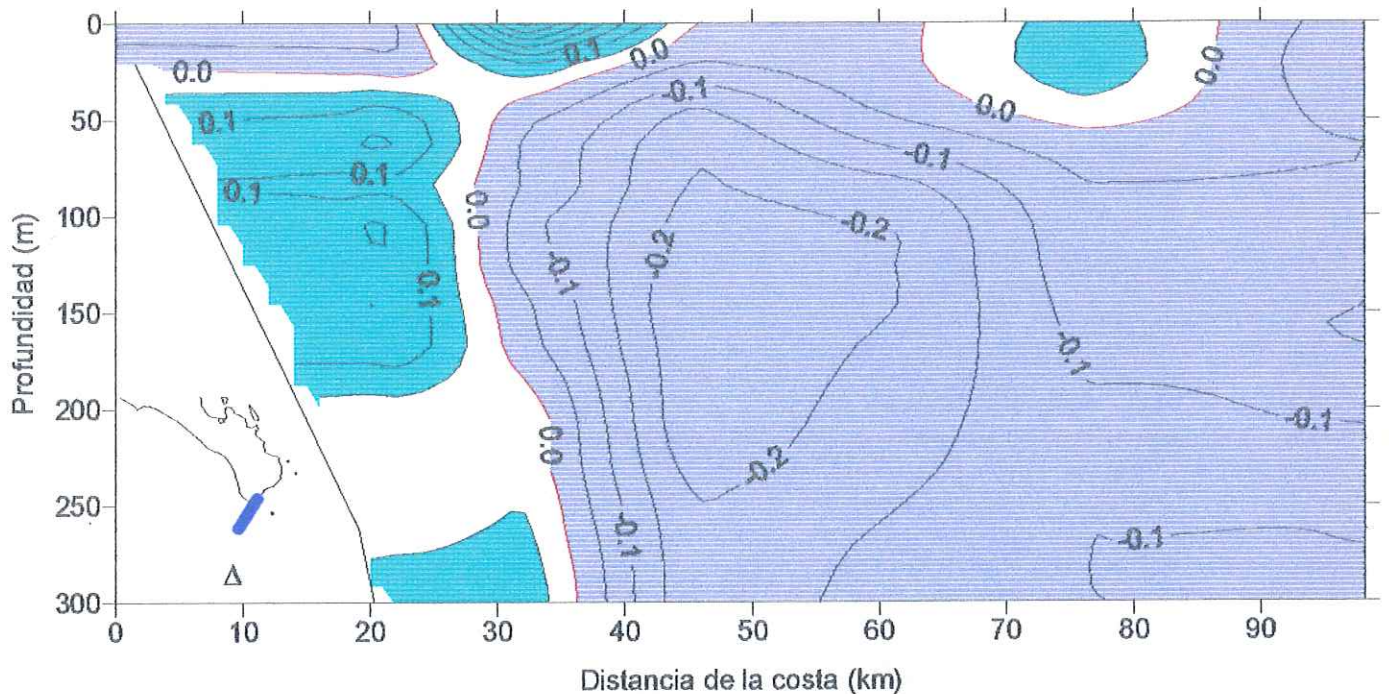


Figura 50. Campo de velocidad geostrofica (m/s) para el transecto 75 a 81. Las velocidades positivas son hacia el noroeste, mientras que las negativas, hacia el sureste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

Entre Cabo San Lucas y Punta Arena el comportamiento de la columna de agua presenta mayores cambio. En estas secciones (figura 49, figura 50 y figura 51) se presenta un núcleo de velocidad máxima de -0.2 m/s núcleo en los primeros 600 m de la columna de agua y, a excepción del transecto 71 a 75 se le encuentra a, al menos, 30 km de la costa. Frente a Cabo San Lucas (figura 49 y figura 50) la mayor parte de la columna de agua presenta velocidades geostroficas hacia el noroeste. Lejos de la costa, en los primeros 100 m de la columna de agua, puede observarse en el transecto 71 a 75 (figura 49) que hay un cambio en la dirección del flujo geostrofico, comportamiento que sugiere la presencia de un giro. En esta sección, hacia la costa hay una zona en la que la velocidad geostrofica presenta valores menores a 0.05 m/s. Al igual que en el transecto 71 a 75, en la sección 75 a 81 (figura 50) se observa que la mayor parte de la columna de agua está sujeta a un flujo geostrofico dirigido hacia el sureste. Las masas de agua que se presentan en ésta zona son ACC, ASE y ASsSt. En el caso de la sección 75 a 81, se observa junto al talud continental un núcleo de flujo geostrofico dirigido al noroeste que transporta ASsSt.

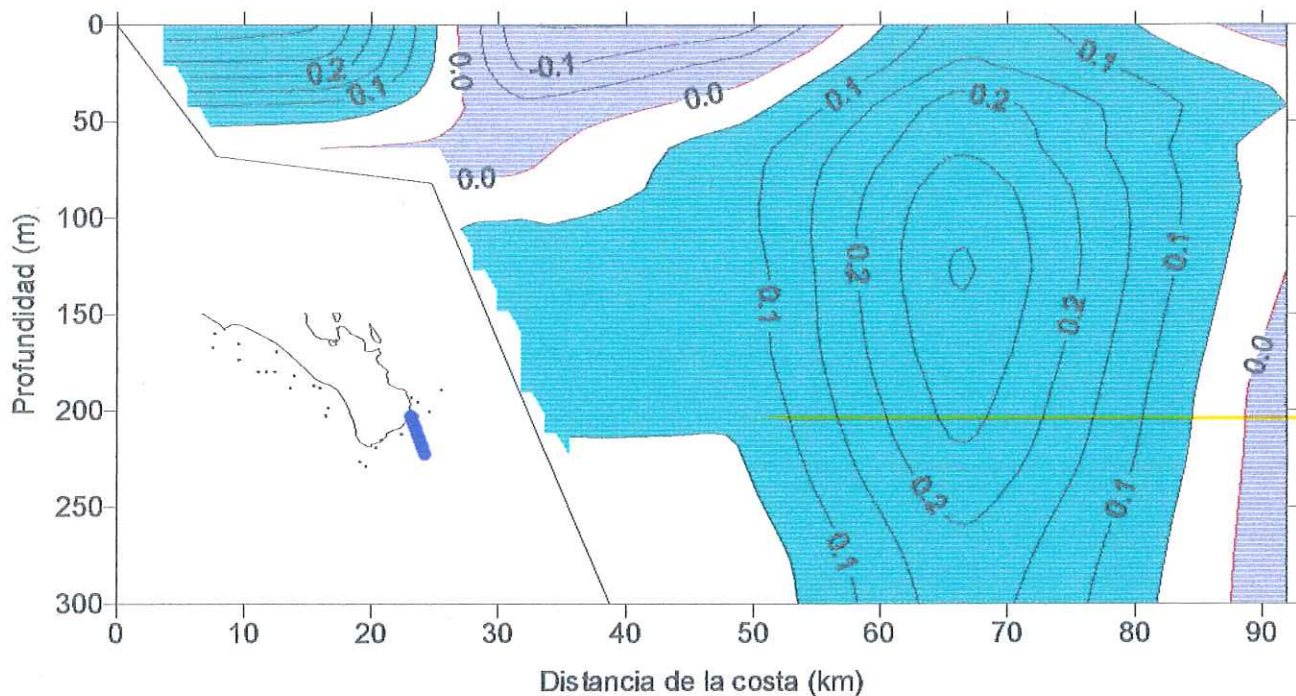


Figura 51. Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 97 a 102. Las velocidades positivas son hacia el este, mientras que las negativas, hacia el oeste. $\Delta V_g = 0.05$ m/s.

El transecto frente a Punta Arena (figura 51) presenta dirección superficial de flujo variable. La mayor parte de la columna de agua presenta un flujo hacia el este, mientras que lejos de la costa, en superficie y a partir de aproximadamente 130 m hay velocidades negativas. En este transecto se presentan ACC, ASE, AGC y ASsSt. Hacia el este el flujo geostrófico acarrea a todas las masas antes mencionadas y, hacia el oeste lleva ASsSt y ASE.

En los transectos ubicados dentro del Golfo de California (figuras 52 a 54) hay una disminución en la magnitud de las velocidades geostróficas hacia el noreste, y la dirección de la mayor parte de la columna de agua es hacia el noreste. Por debajo de los 300 m de profundidad hay poca variación en el campo de velocidades. En la figura 52 se observa un núcleo de velocidad de 0.2 en los primeros 100 m de la columna de agua a una distancia menor de 60 km de la costa. Cerca de la costa en superficie se observa un flujo hacia el suroeste, el cual, también se detecta en la figura 53. En el transecto 110 a 114 el máximo de velocidad se ubica en los primeros 20 km de distancia de la costa hasta una profundidad de 150 m. En cuanto a la

figura 54, se observa que la magnitud de las velocidades es pequeña. La dirección del flujo varía más que en los transectos 106 a 110 y 110 a 114. Así, en las secciones ubicadas dentro del Golfo se observan ACC, ASE, AGC y ASsSt. En algunos casos (figura 53, por ejemplo) se detecta a el AGC que viaja en superficie lejos de la costa hacia el suroeste. Sin embargo, se mencionó anteriormente que el AGC se detecta, también, como un núcleo subsuperficial, el cual, de acuerdo al flujo geostrófico vuelve a entrar al Golfo de California.

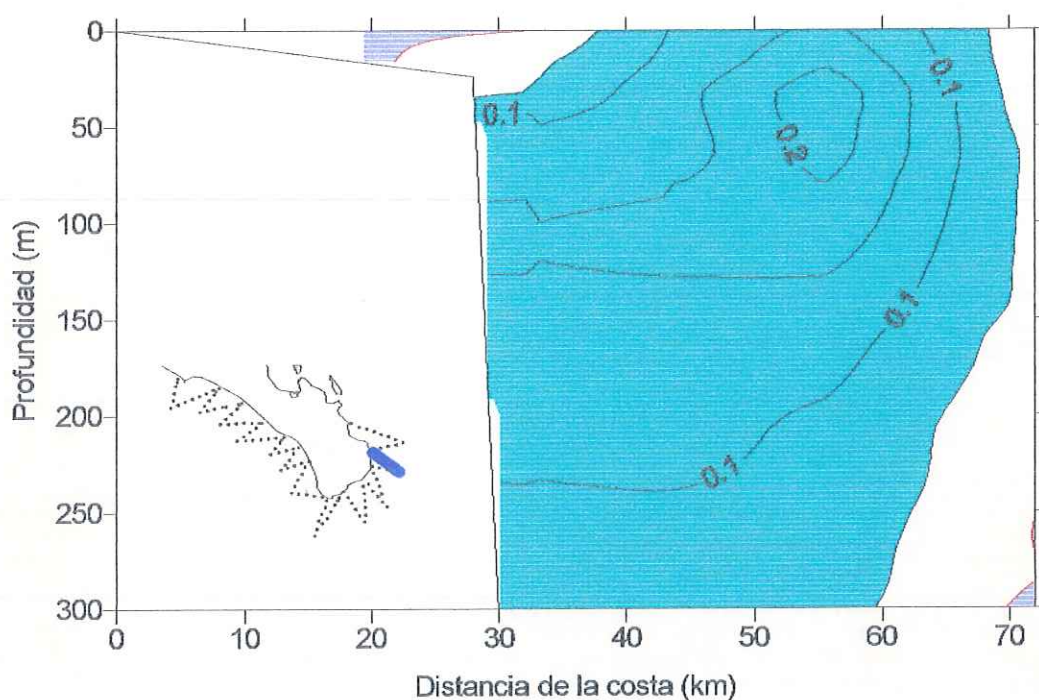


Figura 52. Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 106 a 110. Las velocidades positivas son hacia el noreste, mientras que las negativas, hacia el suroeste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

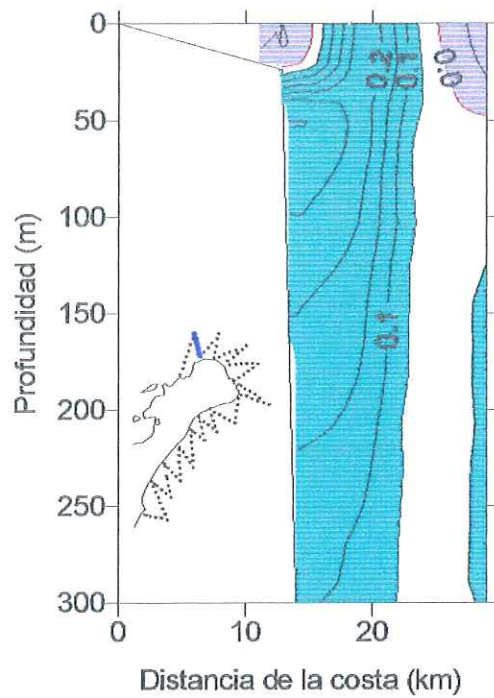


Figura 53. Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 110 a 114. Las velocidades positivas son hacia el noreste, mientras que las negativas, hacia el suroeste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

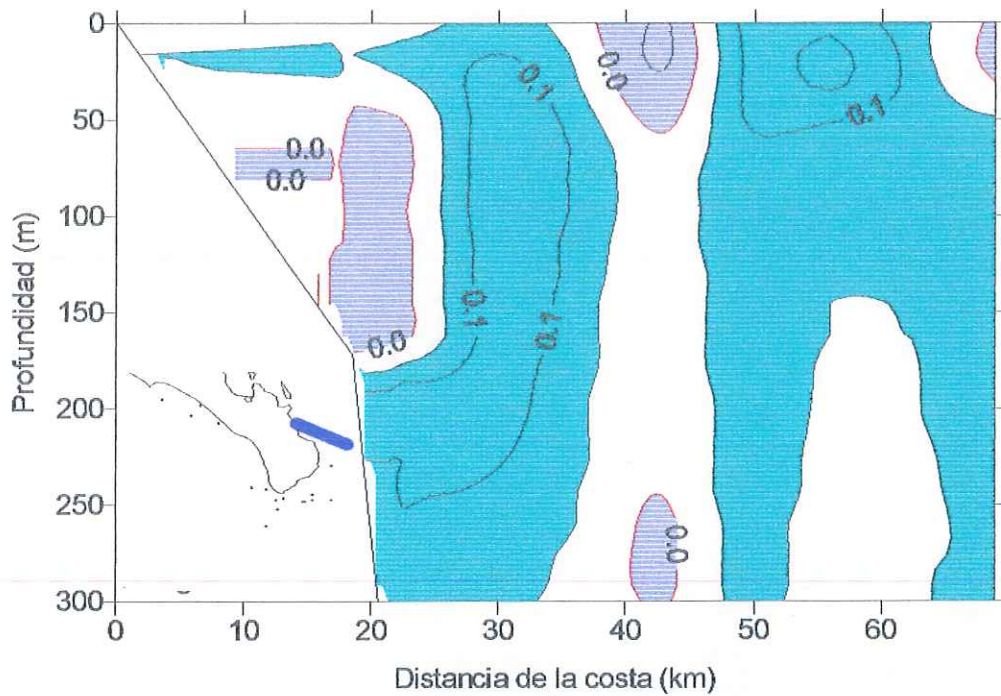


Figura 54. Campo de velocidad geostrófica (m/s) para el transecto 114 a 121. Las velocidades positivas son hacia el noreste, mientras que las negativas, hacia el suroeste. $\Delta Vg=0.05$ m/s.

G. Discusiones

G.1. Bahía Almejas a Todos Santos

Esta zona es la que presenta menores cambios en la distribución espacial de las propiedades. El límite de esta zona con la de Todos Santos está marcado por cambios en la estructura hidrográfica (como el número de núcleos de salinidad mínima) y en la circulación (giro frente a Todos Santos). En la temperatura superficial se detecta este límite entre zonas debido a las altas temperaturas costeras, en comparación con la costa Pacífico Norte. Se observan velocidades geostróficas intermitentes y superficiales dirigidas hacia el norte. Debido a su ubicación y dirección, se puede identificar como el flujo intermitente asociado a la CcC, parte del SCC. Sin embargo, frente a Bahía Almejas este flujo se toma al oeste.

Hay un flujo de velocidad menor a 0.05 m/s junto al talud continental a profundidades mayores de 50 m, el cual presenta características T-S del ASsSt. La superficie de $\gamma_0=26.5$ permite observar el máximo de salinidad correspondiente a la CSs (Larios Castillo, 1997), sin embargo, no se detecta en todas las estaciones ya que la profundidad de estas no lo permite.

G.2. Todos Santos a Cabo San Lucas

Esta zona comprende los transectos 48 a 52 a 65 a 69. Debido a que la porción sur de la Península de Baja California es una zona de transición y al comportamiento de la CC en su parte final (Lynn y Simpson, 1987), el patrón de circulación descrito mediante el campo de velocidad geostrófica y el análisis de las superficies isentrópicas es muy complejo. En el transecto 52 a 56 se presenta flujo en toda la columna de agua dirigido hacia el sur, mientras que en el transecto 60 a 65 se presenta un cambio brusco en la dirección del flujo debido a la presencia de un giro. Este se detecta en el campo de salinidad por la presencia de dos núcleos separados de salinidad mínima (ACC) y dos núcleos subsuperficiales, también separados, de salinidad máxima (ASsSt). En las superficies isentrópicas de $\gamma_0 < 26$ aparece como un mínimo de

presión que produce un giro en el sentido de las manecillas del reloj. Así, agua proveniente de Cabo San Lucas se mueve hacia el noroeste y gira hacia la costa para regresar a Todos Santos. Otra evidencia de este comportamiento se presenta en la fotografía de satélite en donde se observa agua caliente proveniente del Golfo.

Es la complejidad en la circulación en esta pequeña zona lo que produce un cambio en la distribución de temperatura y salinidad. Hay un aumento de la profundidad de las isotermas hacia la costa lo cual es indicativo de un flujo hacia el noroeste en varias secciones en esta zona.

En la estructura vertical de salinidad se detecta un máximo próximo al talud continental que sugiere la presencia de la CSs, sin embargo, debido a la circulación local, no se detecta en el flujo geostrofico, lo que indica que es únicamente parte del mismo patrón de movimiento en la columna de agua. En la superficie isentrópica asociada a la CSs hay un máximo de presión lejos de la costa que sugiere un giro en contra de las manecillas del reloj. Aún cuando este máximo de presión sugiere un giro ligeramente más al norte que el descrito para menores profundidades, la dirección de flujo geostrofico propuesto se opone.

G.3. Cabo San Lucas a Punta Arena

El gradiente de salinidad frente a Cabo San Lucas, como se describió anteriormente, se caracteriza por un núcleo de salinidad baja que abarca los primeros 100 m de la columna de agua. Las características de salinidad y temperatura correspondientes indican que es ACC. A 100 m de profundidad, el gradiente horizontal de temperatura se invierte aún cuando sigue presentando valores dentro de los rangos del ACC. Este cambio en el gradiente de temperatura coincide con profundidades máximas de la pycnoclina y la termoclina. En el campo de velocidad geostrofica se observa que al sur de Cabo San Lucas, debido a el cambio en la dirección del flujo, se sugiere un giro. La profundidad máxima éste es de 80 m aproximadamente. Hacia la costa en las secciones 71 a 75 y 75 a 81 se observa en el campo de velocidades geostroficas una zona con muy poco movimiento. En esta zona, ambas secciones se presentan salinidades

del orden de 34.8 en superficie y temperaturas elevadas. En estos transectos, los núcleos máximos de temperatura y salinidad se diferencian entre sí por su ubicación con respecto a la costa.

El movimiento del agua es hacia el oeste de acuerdo a la circulación sugerida por las superficies isentrópicas de $\sigma_t < 26.5$. Esto es, en superficie el agua tiende a moverse hacia el Pacífico suroccidental llevando consigo agua de salinidad cercana a 34.8, la cual, por sus características de salinidad y temperatura, corresponde al ASE.

El fuerte gradiente de salinidad que se ha descrito frente a Cabo San Lucas es ocasionado por la presencia de un giro. En el núcleo de salinidad mínima se detecta únicamente agua de origen subártico. La CC viaja cerca de la costa (Lynn y Simpson, 1987; Badan-Dangon, 1997), sin embargo, en la costa Pacífico, no se detecta un núcleo que ocupe de las dimensiones del núcleo de Cabo San Lucas, más de 100 m en la vertical o más de 60 km en la horizontal. Por lo tanto, frente a Cabo San Lucas, se observa que la CC se acerca a la costa y presenta velocidades superficiales del orden de 0.45 m/s, las cuales pueden, también, asociarse a la CC (Lynn y Simpson, 1987), aún cuando sus características se encuentren modificadas por la presencia de un giro.

Frente a Cabo San Lucas y lejos de la costa frente a Punta Arena se observan los mayores gradientes de temperatura y salinidad. Sin embargo, entre Cabo San Lucas y Punta Arena hay poca variación en la distribución de estas propiedades. Los campos de geostrofia para la zona indican que desde el transecto 71 a 75 hasta el transecto 93 a 97 hay velocidades geostroficas con magnitudes muy pequeñas. Con el análisis de las superficies isentrópicas se sugirió que debido a los gradientes de salinidad y temperatura hay mezcla isopical.

Por otra parte, en esta zona se llegan a detectar ASE, ACC, AGC, ASsSt y AIP. Sin embargo, la estructura en la vertical de la columna de agua no es comparable ni con la que se presenta en la costa Pacífico ni la de la costa Golfo.

En el transecto 75 a 81 se detectan velocidades geostóficas hacia el noroeste centradas en los 200 m de profundidad que transportan, a lo largo del talud continental, agua cuyas características de salinidad y temperatura la identifican como ASsSt. Estas características son las que definen a la CSs (Badan-Dangon, 1997; Lynn y Simpson, 1987; Batteen et al., 1995) y se alcanzan a detectar en la costa Pacífico. En la superficie de $\gamma_0=26.5$ el patrón de circulación sugerido indica que el flujo tiende a ser hacia el este frente a Cabo San Lucas.

Hacia el este de Cabo San Lucas hasta Punta Arena, el flujo en el campo de velocidad geostrófica se dirige hacia el este en la mayor parte de la columna de agua. Cerca de la costa, la dirección del flujo es variable, destacando dentro de estos transectos el 97 a 102 en el cual se observan velocidades mayores a 0.1 m/s. Se distingue un núcleo de velocidad máxima de 0.2 m/s que se asocia a el flujo hacia el este del ACC, la cual se observa como un lente mínimo de salinidad en los primeros 100 m de la columna de agua, lo cual coincide con los lentes de salinidad mínima y la lengua de 18°C que se describieron anteriormente.

En esta zona, las superficies isentrópicas de $\gamma_0 < 26.5$ muestran un flujo que se aleja de la costa frente a Punta Arena y se acerca a la misma frente a Cabo San Lucas.

En la fotografía de satélite se observa que hay agua fría cerca de la costa en esta zona. A excepción hecha del transecto 71 a 75, las isotermas disminuyen su profundidad hacia la costa.

Se detecta un núcleo subsuperficial de alta salinidad (AGC) que se separa rápidamente de la costa y, así, su señal se pierde rápidamente.

G.4. Golfo de California

Hay un flujo geostrófico hacia el interior del Golfo de California que acarrea agua mezclada proveniente de la zona entre Cabo San Lucas y Punta Arena así como ACC. El ACC es transportada por un núcleo subsuperficial de velocidad máxima de 0.2 m/s. En el transecto 114 a 121 tanto el flujo como la estructura vertical de la salinidad se toman difusos: hay entrada y salida de agua salada asociada al AGC y entrada de ACC. Estos flujos están, a su vez, asociados a la presencia de un frente lejos de la costa en Punta Arena que se forma por la cercanía a la que viajan estas masas de agua. Hay, entonces, una recirculación del AGC en la zona.

La fotografía de satélite, que muestra la temperatura superficial, indica la presencia de agua fría en la zona y de agua caliente proveniente del Golfo. No existe, aparte de agua proveniente del Pacífico, fuente de agua fría, por lo cual la presencia de temperaturas superficiales bajas debe comprobar la existencia de un flujo hacia el interior del Golfo de California.

Por otra parte, en la superficie de $\gamma_{\theta}=26.5$ se observa un flujo costero de entrada hacia el Golfo de California de ASsSt.

G.5. Estructura hidrográfica

En el área de estudio la estructura hidrográfica se caracteriza por una capa superficial con gran variabilidad. Le sigue un máximo subsuperficial de salinidad causado por la presencia de ASsSt. El límite superior del ASsSt se relaciona estrechamente a la profundidad de la termoclina y la piconclina lo que produce que la profundidad máxima de la capa superficial se encuentre, también, regulada por estas estructuras (Wyrki, 1965, 1966, 1967). Por debajo de esta capa se encuentra AIP que se identifica como un mínimo profundo de salinidad (Robles y Marinone, 1987; Alvarez-Borrego y Lara Lara, 1991; Bray y Robles, 1991).

Así, dentro del área de estudio se encuentra que la estructura hidrográfica es la del Pacífico Tropical Oriental (Roden y Groves, 1959; Roden, 1964; Wyrki, 1967; Roden, 1972; Álvarez-Sánchez et al., 1978a; Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; Bray y Robles, 1991; Torres-Orozco, 1993) modificada en superficie por la presencia de otras masas de agua, mezcla (Torres-Orozco, 1993) evaporación y calentamiento (Roden y Groves; 1959; Roden, 1964; Wyrki, 1967; Roden, 1972; Alvarez Sanchez *et al.*, 1978a; Alvarez Borrego y Schwartzlose, 1979; Bray y Robles, 1991).

En la costa Pacífico, la capa superior presenta un mínimo de salinidad asociado al ACC. En esta capa, la temperatura es la mínima del área de estudio. Hay poca diferencia entre la profundidad de la termoclina y la pincoclina, ambas aumentando su profundidad mar afuera. En Todos Santos se encuentra la profundidad máxima cerca de la costa.

Entre Cabo San Lucas y Punta Arena, como se ha mencionado anteriormente, hay una zona de poco cambio en la distribución de las propiedades encerrada por dos gradientes de temperatura, salinidad y densidad frente a Cabo San Lucas y Punta Arena. En cuanto a la profundidad de la termoclina y pincoclina la profundidad aumenta hacia el sureste y suroeste. La capa superior presenta máximos y mínimos. En general, se observa un núcleo de salinidad mínima que corresponde al ACC limitado hacia superficie y mar afuera por un máximo superficial de salinidad (AGC) y hacia costa y profundidad por un máximo subsuperficial (AGC) el cual, en esta zona, alcanza valores mayores de salinidad que el máximo ubicado en superficie.

En el Golfo de California, se presenta una distribución muy similar a la descrita anteriormente para la capa superficial. Sin embargo, el máximo en superficie, AGC, presenta mayor salinidad que el subsuperficial. Tanto en el Golfo como entre Punta Arena y Cabo San Lucas, el límite de la capa superficial varía por la presencia de un máximo subsuperficial de salinidad que se encuentra alrededor de los 100 m. Las temperaturas y salinidades máximas en

la capa superficial se encuentran lejos de la costa en el Golfo de California. Aquí, la profundidad de la termoclina y la pycnoclina aumenta mar adentro.

G.6. Masas de agua

Lynn y Simpson (1987) consideran que el núcleo mínimo de salinidad es buen indicador del camino que sigue la CC. Por otra parte, Griffiths (1968) y Lynn y Simpson (1987) encuentran un aumento en la salinidad al disminuir la latitud. Entre Bahía Magdalena y Cabo Corrientes se presenta la confluencia de masas de agua de origen ecuatorial y subártico (Badan-Dangon, 1987), por lo cual el área de estudio se encuentra en la zona terminal de la CC y se espera que las características de salinidad dentro del núcleo mínimo se hayan modificado. Entonces, es lógico que la temperatura también haya variado. Así, en las superficies de $\sigma_t=24$, $\sigma_t=24.5$ y $\sigma_t=25$ para temperatura y salinidad, se observa que en la costa Pacífico, los valores T-S son bajos. La evaporación y calentamiento del ACC producen una agua con características de ASE, por lo tanto, el ASE encontrada en la costa Pacífico puede ser el resultado de la modificación de las características de temperatura y salinidad del ACC. La capa superficial en la costa Pacífico presenta ACC y ACC modificada por calentamiento y evaporación.

A partir del transecto 65 a 69 hasta el transecto 114 a 121 se detectan altas salinidades en superficie ($S \leq 34.7$). Entre Cabo San Lucas y Punta Arena hay una zona de poco cambio cuyos valores de temperatura y salinidad son bajos. La ubicación de este máximo con respecto a la costa, su profundidad, al igual que las características del mínimo de salinidad y la presencia de la zona de poco cambio descartan la posibilidad de que su origen sea por evaporación. En una surgencia, habría aporte de agua de salinidad similar a superficie, sin embargo, las altas temperaturas que presenta esta capa debilitan esta teoría. Entonces, su origen debe de ser mezcla. En la circulación antes descrita, se observa que el agua rodea a la zona de poco cambio entre Cabo San Lucas y Punta Arena. La ubicación de este máximo muestra que este es su camino, por lo cual, la mezcla debe ser entre AGC, ACC y, posiblemente ASE y, ACC

modificada. Esto es posible puesto que sus densidades llegan a ser similares. En la fotografía de satélite, aunado a la circulación descrita, se observa que agua caliente sale del Golfo de California lejos de la costa y, hacia Cabo San Lucas, se acerca a la misma, y durante esta trayectoria, su temperatura disminuye. Esto confirma el proceso de mezcla que resulta en un pequeño máximo de salinidad.

El ASsSt, de acuerdo al análisis de geostrofia y superficies isentrópicas, entra a la zona de Cabo San Lucas y Punta Arena por el oeste. El aporte de ASsSt al Pacífico se puede asociar a la presencia de giros que acarrearán agua hacia el norte y que, a su vez, al norte de Todos Santos, se acercan a la costa por efecto de los giros mismos. Esto justifica que entre Cabo San Lucas y Punta Arena, al igual que dentro del Golfo, el ASsSt viaje al este y al norte, respectivamente. La CSs se detecta, como tal, en la costa Pacífico entre Bahía Almejas y Todos Santos.

H. Conclusiones

- Se distinguen cuatro zonas dentro del área de estudio de acuerdo a sus características hidrológicas y circulación: Pacífico Norte, Todos Santos a Cabo San Lucas, Cabo San Lucas a Punta Arena y Golfo de California.
- Entre Cabo San Lucas y Punta Arena existe una zona de mezcla, cercana a la costa, que presenta poco cambio en la estructura hidrográfica. Esta zona se encuentra delimitada por dos fuertes gradientes de salinidad.
- El ACC se detecta en la costa Pacífico Norte mediante un mínimo de salinidad. Entre Todos Santos y Cabo San Lucas el ACC se detecta en dos núcleos mínimos de salinidad que fluyen al noroeste y al sureste. Frente a Cabo San Lucas presenta el núcleo de ACC su mayor tamaño, y hacia el este se detecta como un pequeño núcleo acarreado hacia el este. Entonces, hacia el Golfo de California, su señal disminuye y solo se presenta como un pequeño núcleo subsuperficial dirigido hacia el noreste.
- El AGC se presenta únicamente en el área contigua al Golfo de California y tiende a alejarse del área de estudio. Dentro del Golfo de California, el AGC se presenta como dos máximos: uno superficial y uno subsuperficial. Su señal se pierde por mezcla con ACC y ACC modificada o ASE para el superficial y ASsSt para el subsuperficial. El núcleo superficial mezclado se detecta hasta Cabo San Lucas, mientras que el núcleo subsuperficial se pierde al oeste de Punta Arena.
- En la capa superficial, hay un flujo geostrofico de salida del Golfo (AGC) que se aleja de la costa rápidamente y, frente a la zona de poco cambio, se dirige hacia la costa en Cabo San Lucas. La influencia de esta circulación se detecta hasta Todos Santos. El núcleo subsuperficial de AGC se ubica cerca de la costa y fluye hacia el noreste.
- Hay un giro frente a Todos Santos que transporta agua, en su parte ubicada lejos de la costa, de sur a norte. A la vez, modifica las características hidrológicas de la zona adyacente. Hacia el sur, frente a Cabo San Lucas hay evidencias de un giro que transporta agua, en su parte ubicada lejos de la costa, de norte a sur.

I. Recomendaciones para estudios futuros

La red de estaciones de muestreo del PESCAR 6 cubre la porción costera de varios procesos de mesoescala como son la parte final de la CC y la confluencia de ACC, ASE, ASsSt y AGC. Esto permitió observar en detalle la estructura y dinámica de la zona, por ejemplo, giros y zona de mezcla. Para estudios futuros se sugiere:

- ❑ hacer muestreos a lo largo del año para determinar la variación estacional;
- ❑ un par de transectos más dentro del Golfo de California permitirían conocer el camino del ACC y del AGC, lo cual aclararía el patrón de recirculación del AGC;
- ❑ mediante transectos de 150 km de distancia de la costa se podrían observar varios procesos o zonas de una manera más completa, por ejemplo, el límite sur de la zona de mezcla y la salida del núcleo superficial del AGC y su trayectoria.

J. Bibliografía

- Alvarez Borrego, S. 1983. Gulf of California, in *Estuaries and enclosed seas*, editado por B.H. Ketchum, Ch. 17, Elsevier, Nueva York.
- Alvarez Borrego, S., Schwartzlose, R. 1979. Masas de Agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas* 6,(1,2):43-63.
- Alvarez Sanchez, L. G., Stevenson, M.R., Wyatt, B. 1978a. Circulación y Masas de Agua en la región de la Boca del Golfo de California en la Primavera de 1970. *Ciencias Marinas* 5,(1):57-69.
- Alvarez Sanchez, L.G., Stevenson, M.R., Wyatt, B. 1978b. Corrientes en la Región de la Boca del Golfo de California en la Primavera de 1970. *Ciencias Marinas*, 5,(1):105-117.
- Badan, A., 1977. La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano, en: *Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana*, p. 99-112.
- Badan, A., Herdershott, M.C., Lavin, M.F., 1991. Underway DOPPLER current profiles in the Gulf of California. *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 72,(19):209,217-218.
- Badan-Dangon, A., Koblinsky, D.J., Baumgartner, T. 1985. Spring and Summer in the Gulf of California: Observations of Surface Thermal patterns, *Oceanol. Acta* 8,(1):13-22.
- Badan-Dangon, A., Robles, J.M., García, J. 1989. Poleward flows off Mexico's Pacific coast, in *Poleward Flows along Eastern Ocean Boundaries, Coastal and Estuarine Studies, No. 34*, editado por S.J. Neshyba, Ch. N.K. Mooers, R.L. Smith y R.T. Barber, pop. 176-201. Springer-Verlag, New York.
- Badan-Dangon, A., Trasviña, A. 1996. Water mass confluence at the mouth of the Gulf of California. *EOS*, 76,201.
- Barton, E.D., Argote, M.L. 1980. Hydrographic variability in an upwelling area off Northern Baja California in June, 1976, *Journal of Marine Research*, 38,631-649.
- Batteen, M.L., Collins, C.A., Gunderson, C.R., Nelson, C.S. 1995. The Effect of Salinity on Density in the California Current System. *Journal of Geophysical Research*, 100,(C5):8733-8749.

- Bray, N.A. 1988a. Thermohaline Circulation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 93,(C5):4993-50-20.
- Bray, N.A. 1988b. Water Mass Formation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 93,(C8):9223-9240.
- Bray, N.A., Robles, J.M. 1991. Physical Oceanography of the Gulf of California. Invited review paper, part V, Ch. 25 in the Gulf and Peninsular Provinces of the Californias, AAPG Memoir 47,511-553. Editado por J.P. Dauphin y B.R. Simoneit, Tulsa Oklahoma.
- Brown, J. et al. 1993. Ocean Circulation. The Open University. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- Chelton, D.B., 1982. Large-scale response of the California Current. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Repts.*, XXIII, 130-148.
- Collins, C.A., Chu, P.C. 1995. Oceanography. *Encyclopedia of Applied Physics*, Vol. 12, VCH Publishers, Inc., 47-76.
- Collins, C.A., Garfield, N., Mascarenhas Jr.,A.S., Spearman, M.G., Rago, T.A., 1997. Ocean currents across the entrance to the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 102,(C9):20927-20936.
- Defant, A., 1961. *Physical Oceanography*. Vol. 1. Pergamon Press, Great Britain, 729 pp.
- Eckart, C., 1962. The equations of motion of sea-water. *The Sea*, Vol. 1, New York, Interscience, 31-41.
- 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.
- Hickey, B.M., 1979. The California current system- hypotheses and facts. *Progress in Oceanography*, 8, 191-279.
- Kin'dyushev, V.I., 1970. Seasonal variations of water masses in the California region of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 10,(4):456-464.
- Larios Castillo, S., Blanco Betancourt, R., Gil Silva, E., Sánchez Dévora, A.J., Mascarenhas Jr., A. S., Collins, C.A. 1996. Datos Hidrográficos del Crucero PESCAR6, Julio 11-19, 1995. PESCAR Press. USA.

- Larios Castillo, S.I., 1997. Características de la circulación en la región costera entre Tijuana y San Quintín, Baja California, México, durante octubre de 1995 y junio de 1996. Tesis de Maestría. UABC.
- Lavín, M.F., Beier, E., Badan, A., 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual, en: Contribuciones a la oceanografía física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. p. 139-169.
- López-Bojorquez, J.M., 1996. Hidrografía y dinámica del Pacífico Transicional Mexicano. Tesis de Maestría. CICESE.
- Lynn, R.J., Simpson, J.J., 1987, The California Current System: the seasonal variability of its physical characteristics, *Journal of Geophysical Research*, 93,(C8):9223-9240.
- Martínez Sepúlveda, M. 1994. Descripción de la capa mezclada superficial en el Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC. 48 pp.
- Merrifield, M.A., Winant, C.D., 1989. Shelf circulation in the Gulf of California: a description of the variability. *Journal of Geophysical Research*, 94,(C12):18133-18160.
- Montgomery, R.B., 1937. A suggested method for representing gradient flow in isentropic surfaces, *Bulletin American Meteorological Society*, June-July, '37, 210-212.
- Morgan, P.P., 1994. SEAWATER. A Library of MATLAB® Computational Routines for the Properties of Sea Water. CSIRO Marine Laboratories Report 222, 29 p.
- Navarro-Olache, L.F., Mascarenhas Jr., A. S., Durazo, R., Collins, C. A. 1997. Una nota sobre la temperatura y salinidad de la capa superior del océano en la entrada del Golfo de California en Agosto 1992. *Ciencias Marinas* 23(2):273-284.
- Neumann, G., Pierson Jr., W.J. 1966. *Principles of Physical Oceanography*. Prentice Hall. USA. 543 pp.
- Pares-Sierra, A., López, M., Pavía, E.G. 1997. Oceanografía física del Océano Pacífico Nororiental, en *Contribuciones a la oceanografía física en México. Serie Monografías Geofísicas, Unión Geofísica Mexicana. Monografía No. 3, 1-24.*
- Pond, S., Pickard, G.L. 1983. *Introductory Dynamical Oceanography*. Segunda edición. Pergamon Press. Great Britain.

- Reid, J.L., 1965. Intermediate waters of the Pacific Ocean. Baltimore. The Johns Hopkins Press, 86 pp.
- Reid, J.L., Mantyla, A.W., 1976. The effect of the geostrophic flow upon coastal elevations in the northern North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 81:3100-3110.
- Robles, J.M., Marinone, S.G. 1987. Seasonal and Interannual Thermohaline variability on the Guaymas Basin in the Gulf of California, *Cont. Shelf. Res.*, 7,715-733.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic Aspects of the Gulf of California, in *Marine Geology of the Gulf of California*, Mem. Am. Assoc. Pet. Geol., Vol. 3 editado por T.H. Van Andel y G. G. Shor, 30-58, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa Oklahoma.
- Roden, G.I. 1972. Thermohaline Structure and Baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revillagigedo Islands region. *Journal of Physical Oceanography*, 2, No. 2, 177-183.
- Roden, G.I., Emilsson, I. 1979. *Physical Oceanography of the Gulf of California*, presentado en el Simposio del Golfo de California en conmemoración del 50 Aniversario de la Universidad Nacional Autonoma de México, UNAM, México.
- Roden, G.I., Groves, G.W. 1959. Recent Oceanographic Observations in the Gulf of California. *Journal Marine Research.*, 18,10-35.
- Santamaría del Angel, E., Alvarez Borrego, S., Müller-Karger, F.E., 1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99,(C4):7423-7431.
- Spearman, 1993. Masas de agua y circulación termohalina en la entrada del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICESE.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W., Fleming, R.H., 1942, *The Oceans, their physics, chemistry and general biology*. Prentice Hall, Engelwood Cliffs, N.J., 1087 pp.
- Tomczak, M., Godfrey, J.S., 1994. *Regional Oceanography, An Introduction*. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- Torres Orozco, E. 1993. Análisis Volumétrico de las Masas de Agua del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICESE.

- Van Andel, T.H., Shor, G.G., 1964: Marine Geology of the Gulf of California. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Tulsa, Okla, Memoir No. 3, 408 pp.
- Vigoreux, P., Hershey, J.B., 1962, Sound in the Sea. The Sea, Vol. 1, New York, Interscience, 476-497.
- Warsh, C.E., Warsh, K.I., 1971. Water exchange at the mouth of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 76(C3):8098-8106.
- Warsh, C.E., Warsh, K.L., Stanley, R.C., 1973. Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. *Deep-sea Res.* 20:561-570.
- Wyrki, K. 1967. Circulation and Water Masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Journal of Oceanology and Limnology*, 1(2):117-175.
- Wyrki, K., 1965. Surface currents of the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 9(5):259-304.