

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

"CONDICIONES DE SURGENCIA COSTERA  
Y MASAS DE AGUA AL NW DE BAJA CALIFORNIA,  
MEXICO."

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
OCEANOLOGO  
PRESENTA  
GABRIEL LOPEZ CASTILLO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, DICIEMBRE DE 1994.

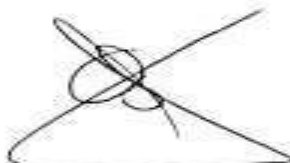
## RESUMEN

Con datos (Salinidad, Temperatura y Oxígeno Disuelto) obtenidos durante el crucero oceanográfico ECOBAC-1 (junio-julio, 1988), se analiza la estructura hidrográfica y las masas de agua presentes, desde la frontera con los E.U.A. hasta San Quintín, B.C.. Se observó una estructura hidrográfica de tres capas: una capa superficial de alta temperatura relativa ( $>15$  °C) y alto contenido de oxígeno disuelto ( $>5$  ml/l); una capa inferior de relativa baja temperatura ( $<12$  °C), alta salinidad ( $>33.7$  EPS) y bajo contenido de oxígeno disuelto ( $<4$  ml/l); una capa intermedia caracterizada por un gradiente vertical pronunciado de temperatura (termoclina) y con un mínimo salino. El fenómeno de surgencia costera fué el factor principal que afectó la estructura hidrográfica. Su influencia advectiva se detectó hasta por lo menos 40 km de la costa y el origen de las aguas transportadas a niveles superiores fué a profundidades de 90-100 m a 48 km de la costa. Se caracteriza a la estructura general obtenida durante la primera etapa de muestreo (24-28 de junio), como un estado de surgencia costera ocasionada por la intensificación estacional del esfuerzo del viento. La estructura general obtenida durante la segunda etapa (8-10 de julio), se caracteriza como post-surgencia. En Punta Colonet, la surgencia costera se presentó magnificada por efecto local y en Punta Descanso se observó una divergencia superficial de agua fría. El borde somero del talud continental, se presentó como factor de inclinación de isosuperficies, principalmente en Punta Colonet y en la zona adyacente a las Islas Coronado, justo frente a la frontera México-E.U.A. Las aguas de surgencia fueron de la Corriente de California, de origen subártico considerablemente transformadas, que corresponden a la Masa de Agua Californiana del Sur. Además se detectó la influencia de aguas transportadas por la Subcorriente de California, a profundidades  $>150$ m, que corresponden a la Masa de Agua Ecuatorial Transformada.

"CONDICIONES DE SURGENCIA COSTERA  
Y MASAS DE AGUA AL NW DE BAJA CALIFORNIA  
MEXICO"

T E S I S  
QUE PRESENTA:  
GABRIEL LOPEZ CASTILLO

Aprobada por:




---

Presidente del Jurado  
M. C. José Antonio Segovia Zavala.



---

Sinodal Propietario  
M. C. Francisco Delgadillo H.



---

Sinodal Propietario  
M. C. Rubén Castro V.

DEDICATORIA.

Con mucho cariño:

A Gaby.

A Sebastián y Maijañui.

A mis padres y hermanos.

A Rosa María, U. Beatriz, Yrene y Silvia Castillo Moctezuma.

A mi familia.

## AGRADECIMIENTOS.

Al M. en C. José Antonio Segovia Zavala por su paciencia, confianza y por la decidida dirección de esta investigación.

Al M. en C. Francisco Delgadillo Hinojosa y al M. en C. Rubén Castro Valdéz, por sus críticas objetivas e importantes recomendaciones para finalizar el presente estudio.

Al M. en C. Manuel Mancilla Peraza por sus valiosos comentarios didácticos durante el desarrollo de esta tesis.

Al M. en C. Luis C. Jiménez Pérez, al Tte. Frag. S.1. Ocean. René Navarro Palacios y al M. en C. Antonio Sánchez Dévora, por la confianza y facilidades para realizar este trabajo.

A los Oceanólogos Rafael Morales Chávez y Guillermo M. Martínez G., por su colaboración en los análisis químicos.

Al Ph. D. Paul N. Sund y al Pacific Environmental Group del NMFS/NOAA, de Monterey, Cal., por proporcionar los índices de surgencia costera de Bakun y la imagen de satélite.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC, por la beca crédito para la realización de esta tesis, dentro del proyecto "Estudio Marino de Contaminación Fronteriza México-E.U.", programa 4012. Mismo que recibió apoyo económico de la SEP, No. de convenio DGICSA 880531.

Al Centro de Cómputo del CICESE, por las facilidades otorgadas para hacer uso de sus computadoras PRIME 750 y SUN.

A la tripulación del B/O Alejandro de Humboldt y al personal técnico de la Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada (SM) y al del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC, por su desempeño durante el crucero ECOBAC-1.

## INDICE GENERAL.

	pag.
Resumen.....	i
Página de aprobación.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Indice general.....	vi
Indice de figuras.....	vii
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Objetivo.....	7
2. MATERIALES Y METODOS.....	8
2.1. Descripción del área de estudio.....	8
2.2. Sistemática de muestreo.....	8
2.3. Obtención y análisis de muestras.....	13
3. RESULTADOS.....	17
3.1. Temperatura.....	17
3.2. Salinidad.....	29
3.3. Densidad.....	30
3.4. Oxígeno disuelto.....	30
3.5. Diagramas T-S, T-O y S-O.....	31
3.6. Distribución horizontal de temperatura.....	31
3.7. Registro del viento, índices diarios y mensuales de surgencia costera e imagen de satélite.....	35
4. DISCUSIONES.....	40
5. CONCLUSIONES.....	52
6. REFERENCIAS.....	54

## INDICE DE FIGURAS.

	pag.
Fig. 1.- Localización y definición gráfica de la Cuenca del Sur de California.....	9
Fig. 2.- Area de estudio y localización de estaciones (1er. etapa).....	11
Fig. 3.- Area de estudio y localización de estaciones (2a. etapa).....	12
Fig. 4.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto A.....	18
Fig. 5.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto B.....	19
Fig. 6.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto C.....	20
Fig. 7.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto D.....	21
Fig. 8.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto E.....	22
Fig. 9.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto F.....	23
Fig. 10.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto G.....	24
Fig. 11.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto H.....	25
Fig. 12.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto I.....	26

INDICE DE FIGURAS.  
(cont.)

	pag.
Fig. 13.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto J.....	27
Fig. 14.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto K.....	28
Fig. 15.- Diagramas temperatura vs. salinidad de la primera etapa (a) y de la segunda etapa (b).....	32
Fig. 16.- Diagramas temperatura vs. oxígeno y salinidad vs. oxígeno de la primera etapa (a y c) y de la segunda etapa (b y d).....	33
Fig. 17.- Distribución horizontal de temperatura superficial (a), a 10 m de profundidad (b) y topografía de la isoterma de 13°C (c), de la zona adyacente a Islas Coronado (segunda etapa).....	34
Fig. 18.- Registro diurno promedio de la velocidad del viento (a), índices diarios de surgencia costera de Bakun (b).....	36
Fig. 19.- Imagen de la temperatura superficial del mar, obtenida por medio de satélite, del día 21 de junio de 1988.....	39

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1.- Índices mensuales de surgencia costera de Bakun.....	38
----------------------------------------------------------------	----

## 1. INTRODUCCION.

La surgencia costera es un fenómeno que ocurre a lo largo de la costa de California y de Baja California, se presenta por la fuerza de los vientos del Norte y del Noroeste, los que aunados al efecto de rotación de la tierra, producen que las aguas superficiales sean desplazadas hacia fuera de la costa ocasionando su reemplazo por aguas de niveles más bajos (Reid et al., 1958). Smith (1968), señala que Eckman en 1905 fué quien estableció las bases teóricas para su estudio. Posteriormente los trabajos de Sverdrup (1930, 1938), Gunther (1936), Defant (1936), Sverdrup y Fleming (1941), contribuyeron significativamente al conocimiento de este proceso. En general mostraron que es un fenómeno costero restringido a una estrecha franja (<100 Km) y está caracterizado por un levantamiento de agua hacia la superficie proveniente de profundidades entre los 100 y 200m, con intensificaciones enfrente de Puntas y Cabos que se proyectan en la corriente.

Los estudios de variabilidad estacional y espacial de surgencia frente a la costa Oeste de América del Norte, muestran que los valores máximos se observan en el Sur durante los primeros meses del año y emigran hacia el Norte conforme avanza el año (Bakun, 1973).

En el Sistema de la Corriente de California, el efecto de la surgencia costera provoca en la superficie una disminución de la temperatura y del contenido de oxígeno disuelto, los nutrientes y la salinidad aumentan (Wooster y Reid, 1963). El principal efecto es la fertilización de las capas superficiales con aguas de alto contenido de nutrientes, característicos de aguas profundas (Barton y Argote, 1980). Este enriquecimiento, que ocurre particularmente en la costa oeste de los continentes, en latitudes subtropicales donde prevalecen vientos de fuera de la costa y fuertes corrientes con frontera al este, produce un incremento en la biomasa del fitoplancton tan importante, que Ryther (1969) estima que en estas zonas de afloramiento, se puede generar la mitad de la producción total de peces en el mundo, a pesar de constituir sólo el 0.1 % de la superficie del océano.

En Baja California ocurren surgencias durante todo el año, con mayor intensidad en primavera y verano (Chávez y Alvarez, 1974; Bakun y Nelson, 1977; Barton y Argote, 1980; Torres-Moye y Acosta-Ruiz, 1986). Estos eventos se presentan más activamente durante 3 a 4 meses del año con duración de 3 a 10 días (Amador-Buenrostro, 1978).

En capas inferiores y en ocasiones en la superficie, existen flujos hacia el polo con características diferentes a las de la Corriente de California (mayor temperatura, mayor salinidad), presentando ambas gran variabilidad estacional en posición, fuerza y profundidad del núcleo (Wooster y Jones, 1970; Hickey, 1979; Gómez-Valdéz, 1983; Chelton, 1984). Esta variabilidad característica, ha sido la razón de considerar a la región de Baja California y California como una zona de transición extensiva entre aguas de origen subártico y ecuatorial (Sverdrup y Fleming, 1941).

Las principales Masas de Agua de la región son: la Masa de Agua Subártica del Pacífico (MASP), que es transportada hacia el Sur por la Corriente de California entre 0 y 200m de profundidad y está caracterizada por baja salinidad, alto contenido de oxígeno disuelto y relativamente alto contenido de fosfatos (Reid et al., 1958); la Masa de Agua Ecuatorial del Pacífico (MAEP), caracterizada por bajo contenido de oxígeno disuelto, alta salinidad y alto contenido de fosfatos, que es transportada por la Subcorriente de California entre 200 y 300m de profundidad (Sverdrup et al., 1942; Reid et al., 1958).

Aunado al potencial pesquero y a la variabilidad del Sistema de la Corriente de California, se cuenta con escasa

información oceanográfica de dominio costero desde Punta Banda, B. C. hasta la frontera con los Estados Unidos de América. Es importante resaltar que esta región costera se encuentra situada al Sur de la zona más industrializada y poblada de la costa Oeste del Continente Americano, que por su mismo desarrollo genera gran contaminación al medio ambiente natural (Sañudo-Wilhelmy y Russell-Flegal, 1991).

Se conoce que en la zona costera de Ensenada, Tijuana y el Sur de California, los gradientes espaciales de metales y pesticidas en organismos bioindicadores residentes en la zona litoral, entre California y Baja California, presentan valores que disminuyen de Norte a Sur (Nishikawa et al., 1984; Stephenson et al., 1987; Flores-Muñoz et al., 1987). Las más altas concentraciones de metales se localizan en Puntas e Islas (Nishikawa y Larsen, 1975; Suárez-Vidal y Acosta-Ruiz, 1976), donde los eventos de surgencia se caracterizan por fuertes movimientos ascendentes de agua subsuperficial hacia la superficie. Es de interés estudiar esta área costera y en particular la zona inmediata a Islas Coronado, cuya batimetría presenta una plataforma continental somera (<50m) y bastante amplia (>15 Km), que se extiende hasta cerca de Punta Descanso, en donde la profundidad aumenta bruscamente.

La presente investigación pretende identificar el origen de las aguas de surgencia costera, lo que está contemplado en el proyecto "Estudio Marino de Contaminación Fronteriza Mexico-E.U.A.", el cual plantea la importancia de estudiar la surgencia como posible mecanismo de transporte de sustancias contaminantes hacia la superficie, con el antecedente de que al Norte de la línea fronteriza y sobre territorio norteamericano se localiza el emisor submarino de Punta Loma, con una longitud de 4000m mar adentro y su profundidad de descarga ocurre en la isobata de los 60m. Este emisor descarga las aguas domésticas e industriales de San Diego, California. La isobata mencionada se continúa hacia el Sur bordeando a las Islas Coronado por su parte exterior y luego se prolonga en dirección a la costa en Punta Descanso.

### **1.1. Antecedentes.**

Dentro de las investigaciones a la fecha sobre el conocimiento de surgencias en Baja California, destacan a gran escala espacial las realizadas por CalCoFi, que por su estrategia no incluyen estaciones costeras, evaluando solamente corrientes geostroficas distantes a la costa.

Localmente están los estudios realizados por Cota-Villavicencio (1971) y Amador-Buenrostro (1975), quienes analizaron, en la zona adyacente a Punta Banda e Islas Todos

Santos, parámetros químicos y físicos durante un periodo activo de surgencia. Chávez-García (1975), reportó en la zona de Punta Banda, algunas condiciones de surgencia durante la primavera de 1974. Rodríguez-Osuna (1978), identificó las masas de agua presentes entre Punta San Telmo y Punta San Jacinto, B.C., determinando que las aguas de surgencia durante su periodo de muestreo (12-19 junio de 1976), fueron de características similares a las de la Corriente de California. En la misma área, García-Gaytán (1978) y Reynoso-Nuño (1978), analizaron variables físicas y químicas.

Otros trabajos locales, como el de Barton y Argote (1980), investigaron la variabilidad hidrográfica, vientos y corrientes del área frente a Punta Colonet en Junio de 1976, encontrando campos hidrográficos típicos de la surgencia estacional promedio. Torres-Moye y Acosta-Ruiz (1986), consideran al oxígeno disuelto como un indicador de eventos de surgencia costera, pudiéndolo emplear como una herramienta auxiliar en la caracterización de estos eventos. Gómez-Valdéz (1983), discutió la hidrografía promedio estacional frente a Baja California con la información de CalCoFi de la línea 100, situada frente a Punta Banda, encontrando que las surgencias más intensas ocurren en promedio de Abril a Julio, las aguas advectadas a la superficie provienen de profundidades inferiores a los 100m y la extensión hacia el

mar de la estructura horizontal superficial típica de surgencias, se observó hasta 50 km de la costa.

De acuerdo a los antecedentes y al período de estudio de esta investigación (24 de junio-10 de julio de 1988), se espera detectar la influencia del fenómeno de surgencia costera en la distribución de propiedades del agua; la presencia de aguas de la Masa de Agua Subártica del Pacífico (MASP), transportadas por la Corriente de California y de la Masa de Agua Ecuatorial del Pacífico (MAEP), que es transportada por la Subcorriente de California; y el efecto de las irregularidades batimétricas y de la línea de costa en la estructura hidrográfica.

### 1.2. Objetivo.

El objetivo del presente trabajo es generar conocimiento básico para:

- A) Caracterizar la estructura hidrográfica.
- B) Identificar los factores que afectan la estructura hidrográfica durante la época de surgencias.
- C) Identificar las masas de agua en el área.

## 2. MATERIALES Y METODOS.

### 2.1 Descripción del área de estudio.

El área de estudio comprende las aguas costeras del Noroeste de Baja California, situadas entre los 30° 18' y 32° 35' Latitud Norte y entre los 116° 00' y 117° 35' Longitud Oeste. Esta zona forma la parte Sur de la llamada Cuenca del Sur de California, la cual está definida al Este por la línea de costa extendida desde Punta Concepción, California (E.U.A.) hasta Punta Colonet, Baja California (México) y al Oeste por la Corriente de California (Mearns, 1973), (fig. 1). Esta zona está incluida dentro del Sistema de la Corriente de California, el que se encuentra constituido por un complejo sistema de corrientes en el cual la Corriente de California predomina transportando agua hacia el Sur. El núcleo de la corriente está caracterizado por relativa baja temperatura, baja salinidad y alto oxígeno disuelto (Lynn et al., 1982).

### 2.2. Sistemática de muestreo.

Durante el crucero oceanográfico ECOBAC-1, se realizaron dos campañas de muestreo hidrológico a bordo del B/O Alejandro de Humboldt de la Secretaría de Marina. La primer etapa (del 24 al 28 de Junio de 1988), fué desde San Quintín, B.C. hasta la frontera con los E.U.A., y se realizaron seis transectos perpendiculares a la costa (A, B, C, D, E, F) con

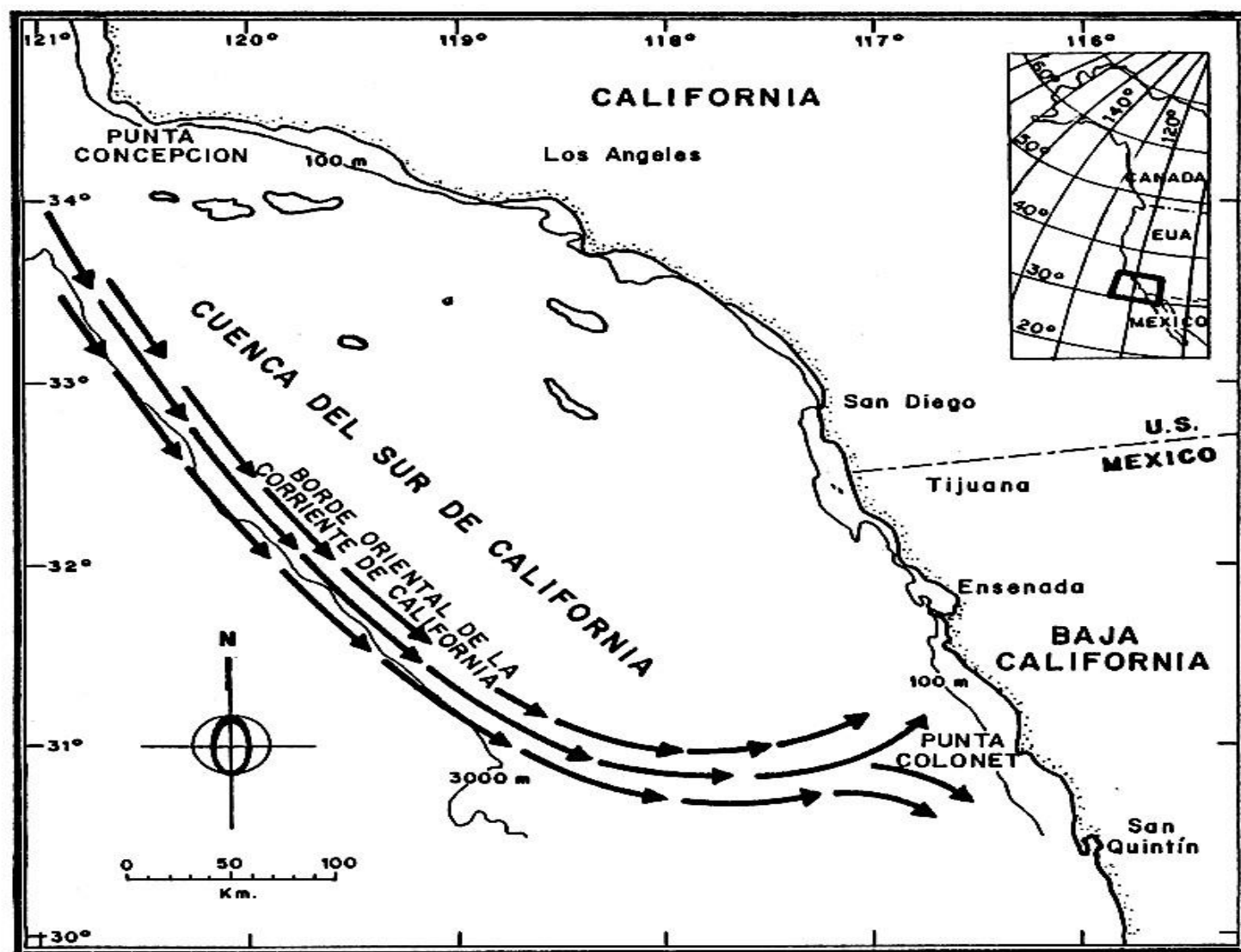


Fig. 1.- Localización y definición gráfica de la Cuenca del Sur de California (Mearns, A. J., 1973).

cinco estaciones cada uno. Las estaciones más alejadas de la costa fueron a 48 Km y las más cercanas a 3 Km (fig. 2).

La segunda etapa de muestreo (del 8 al 10 de Julio de 1988), fué en la zona adyacente a Islas Coronado, B.C., realizando cinco transectos hidrográficos perpendiculares a la costa (G, H, I, J, K) con cinco estaciones cada uno, de las cuales la más cercana se encontró a 2 Km y la más alejada a 35 Km de la costa (fig. 3).

El período de muestreo fué decidido de acuerdo a Bakun (1973), quien reporta para esta zona altos índices de surgencias durante primavera-verano. Las estaciones de muestreo fueron de acuerdo al plan elaborado y la localización fué con un sistema de posicionamiento de satélite. Los niveles muestreados fueron a las profundidades estandar de muestreo (1, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200 y 300m) y su número dependió de la profundidad existente en cada estación, la cual fué proporcionada por la ecosonda de la nave. Se obtuvieron un total de 348 muestras a las cuales se les determinó su temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (EPS) y oxígeno disuelto (ml/l).

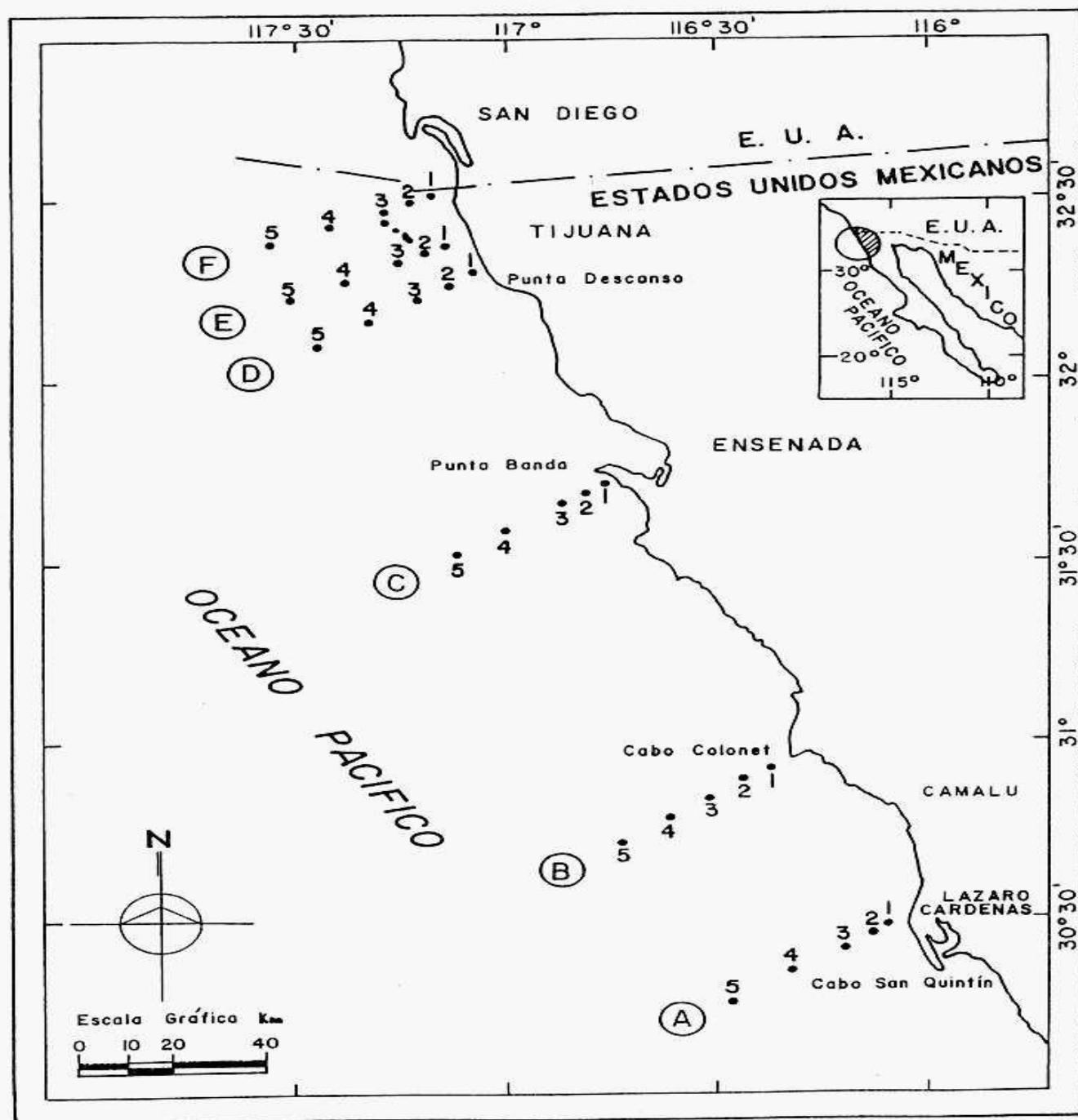


Fig. 2.- Area de estudio y localización de estaciones de la primera campaña hidrográfica (24-28 junio, 1988).

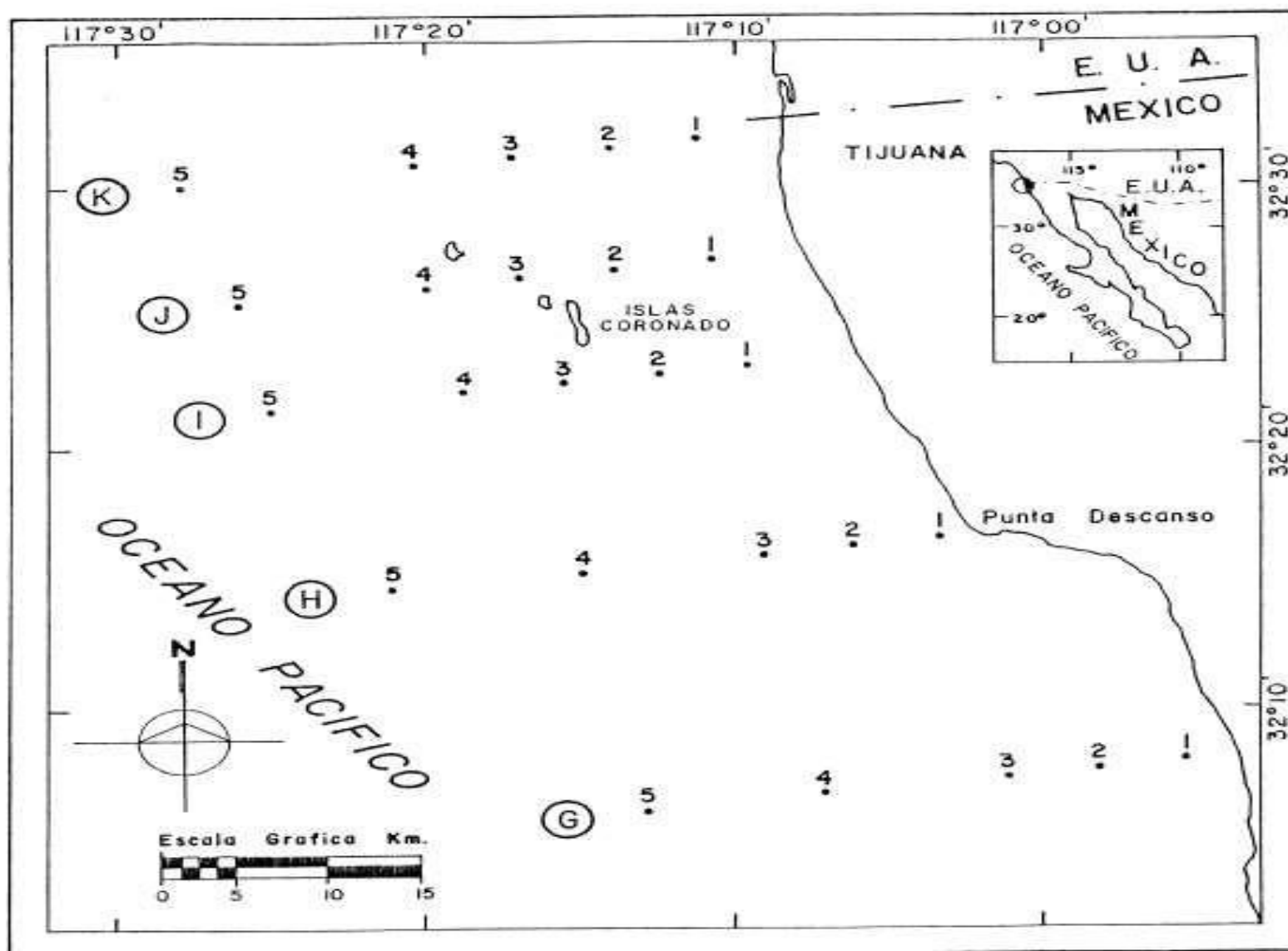


Fig. 3.- Area de estudio y localización de estaciones de la segunda campaña hidrográfica (8-10 julio, 1988)

### 2.3. Obtención y análisis de muestras.

En cada nivel se utilizaron botellas Niskin (5 l), equipadas con portatermómetros. Para la obtención de la temperatura se instalaron un par de termómetros protegidos marca Kahlsico modelo 295WA100 (con intervalo de  $-2$  a  $35^{\circ}\text{C}$  y precisión de  $0.01$ ) y termómetros para pesquerías modelo 295WA255 (con intervalo de  $-2$  a  $35^{\circ}\text{C}$  y precisión de  $0.02$ ), estos últimos para propósito de comparación. Las lecturas de la temperatura la realizaron dos observadores de manera independiente y se tomó el promedio de ambas lecturas.

Las temperaturas se corrigieron considerando la expansión del vidrio, del mercurio y los errores de escala. Se utilizó la siguiente ecuación (Armada Argentina, 1972):

$$T_w = T' + C + I$$

donde:  $T_w$  es el valor de temperatura correcto.  $T'$  es la lectura del termómetro principal.  $I$  es el índice de corrección para errores de escala del termómetro principal.  $C$  es la corrección por expansión térmica, como sigue:

$$C = (T' + V_0) (T' - \mu) / (K - 100)$$

donde:  $V_0$  es el volumen de mercurio bajo la marca de  $0^{\circ}\text{C}$  determinado a  $0^{\circ}\text{C}$  en el termómetro principal.  $\mu$  es la lectura de temperatura del termómetro auxiliar corregido.  $K$  es el recíproco del coeficiente de expansión térmica del sistema.

Las muestras de agua para la determinación de salinidad, se submuestrearon a botellas de Citrato de Magnesio con tapón a presión para evitar evaporación. Para determinar la salinidad se utilizó un salinómetro de inducción marca Beckman modelo RS-10 (precisión de 0.003 EPS), el cual registra una razón de conductividad de las muestras. Las lecturas se hicieron por duplicado.

Para la obtención de la salinidad, se transformó la razón de conductividad y se aplicaron correcciones por deriva del aparato y por temperatura. Se utilizaron las tablas de salinidad de Lewis (1980).

El oxígeno disuelto se determinó por el método Iodométrico Micro-Winkler (S.I.O., 1971), basado en la titulación del iodo equivalente, liberado en una reacción asociada a la fijación de oxígeno.

El cálculo del oxígeno disuelto se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$[O_2] = \left( \frac{[R - b]}{[S - b]} \right) (559.8 / V_f - 2) - 0.014$$

donde:  $[O_2]$  es la concentración de oxígeno disuelto. R es la lectura de la bureta, del volumen de tiosulfato de sodio usado en la titulación de la muestra. S es el promedio de titulaciones del estandar. b es el promedio del blanco de

reactivos.  $V_f$  es el volumen del matraz. 2 es el volumen de muestra desplazada por adiciones de reactivos. 559.8 es la constante relativa al volumen del estandar de Iodato, su Normalidad y su equivalencia con el oxígeno. 0.014 es la cantidad de oxígeno agregado a las muestras con el  $MnCl_2$  y  $NaOH-NaI$  cuando 1 ml de cada reactivo es agregado a 115 ml de muestra.

El cálculo de la densidad ( $\sigma_t$ ), se realizó a partir de la temperatura y de la salinidad, utilizando un programa de computación con doble precisión del Polinomio de Knudsen (Askren y Badan, 1978).

Para evidenciar la estructura hidrográfica en ambas etapas de muestreo, se realizaron gráficos de la distribución vertical de cada variable considerada.

La identificación de las masas de agua se realizó de acuerdo a Kin'dyushev (1970), con los diagramas de Temperatura vs Salinidad (T-S), además de los Temperatura vs Oxígeno (T-O) y Salinidad vs Oxígeno (S-O), que fueron generados para ambas campañas hidrográficas.

Con la finalidad de particularizar el estudio en la zona adyacente a Islas Coronado y la frontera con los Estados

Unidos, se realizaron gráficos de la distribución horizontal de temperatura (superficie y 10m) y de la topografía de la isoterma de 13°C; esta última para evidenciar zonas de afloramiento de aguas del nivel termoclinal. Estos gráficos se elaboraron utilizando los datos de temperatura de los transectos G, H, I, J y K (segunda etapa).

Se obtuvo el registro de la velocidad del viento diurno promedio, durante los meses de junio y julio de 1988, proporcionado por la Estación Meteorológica de El Ciprés, B.C., de la Fuerza Aérea del Ejército Mexicano. La estación está situada en 31°40'11" Latitud Norte y 116°32'42" Longitud Oeste.

Los índices diarios y mensuales de surgencia costera de Bakun, para el año de 1988 y la imagen de satélite del día 21 de junio del mismo año, fueron proporcionados por el National Marine Fisheries Service de la NOAA, de Monterey, California.

### 3. RESULTADOS.

En general se presentó una estructura de las aguas en la que se distinguen tres capas principales. Una capa superficial de alta temperatura relativa ( $>15$  °C) y alto contenido de oxígeno disuelto ( $>5$  ml/l); una capa de transición en temperatura que corresponde a la termoclina asociada con mínimos de salinidad; y una capa inferior, de baja temperatura ( $<12$  °C), alta salinidad ( $>33.7$  EPS) y bajo contenido de oxígeno disuelto ( $<4$ ml/l), figs. 4-14.

#### 3.1 Temperatura.

La distribución vertical de temperatura muestra una inclinación de las isotermas con respecto de la superficie del mar, localizándose los niveles superiores en el extremo costero de los transectos (figs. 4a-9a). Por consecuencia, la termoclina se encontró a menor profundidad cerca de la costa que lejos de ella. Esto ocasionó menores temperaturas superficiales en las estaciones costeras.

La inclinación de isotermas aumenta justo encima del borde del talud (figs. 5a, 7a, 8a, 9a, 11a, 12a, 13a, 14a). La inclinación de la isoterma de  $11^{\circ}\text{C}$  fué la más pronunciada (figs. 5a-9a), definiendo aguas por debajo de la termoclina que afloran a niveles tan someros como 30m (fig. 8a).

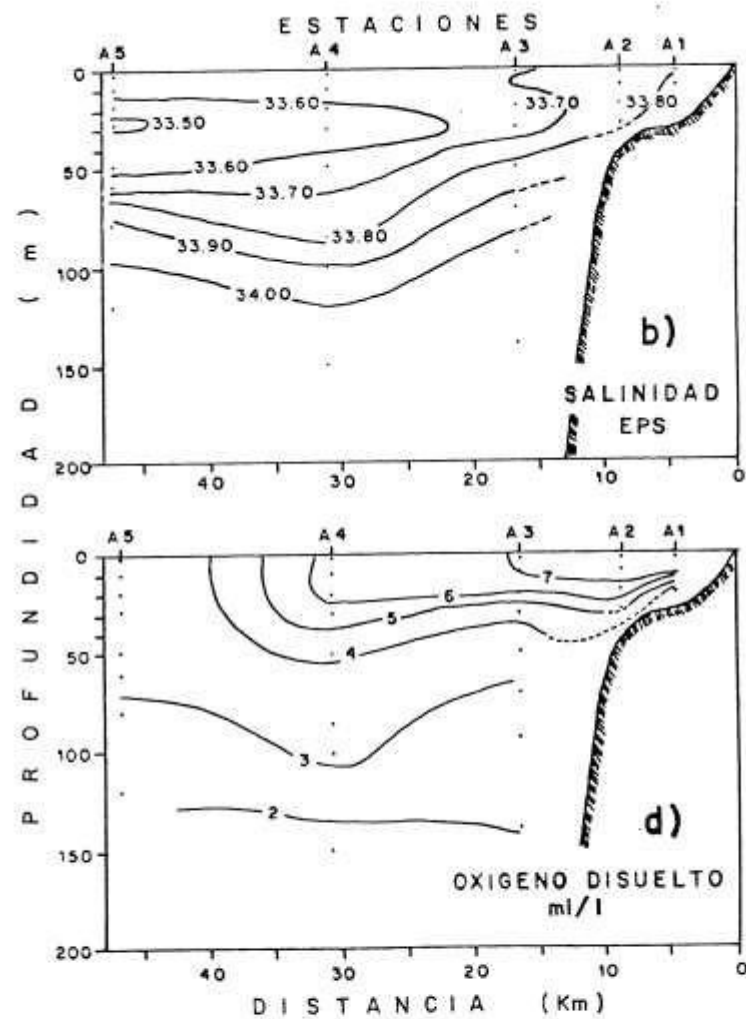
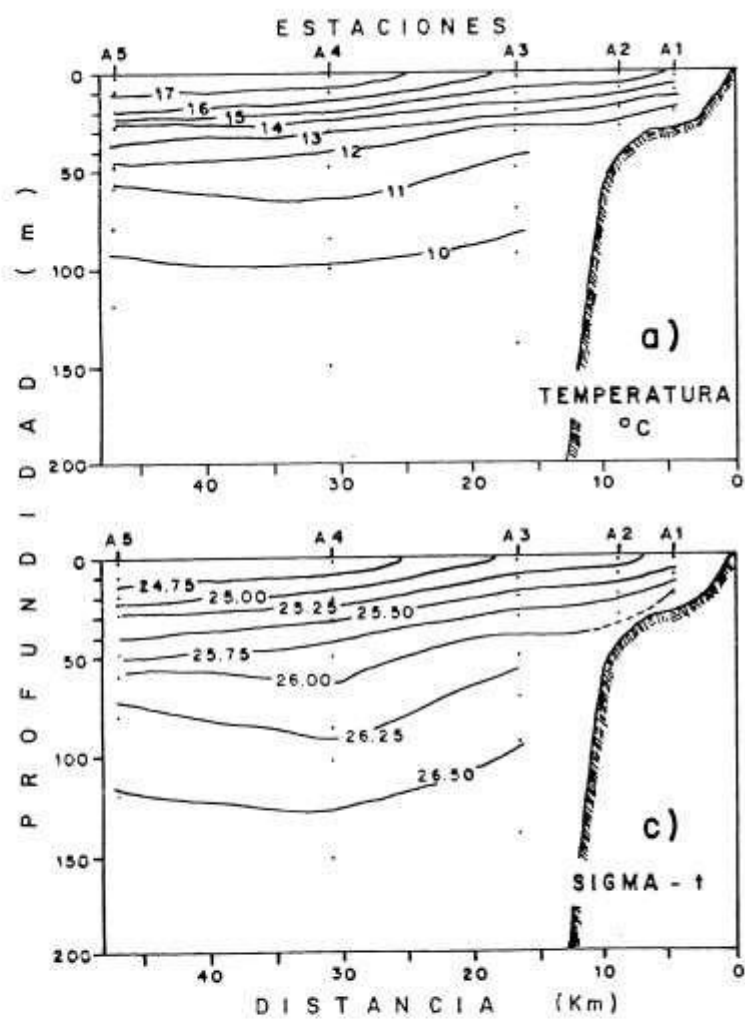


Fig. 4.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto A.

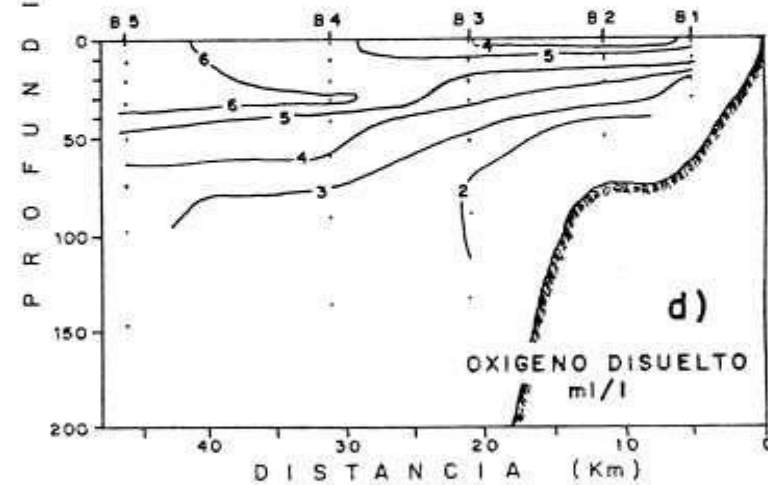
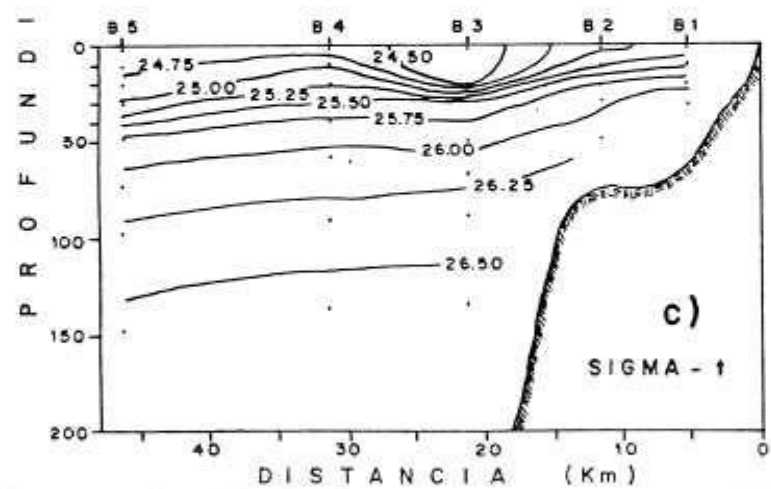
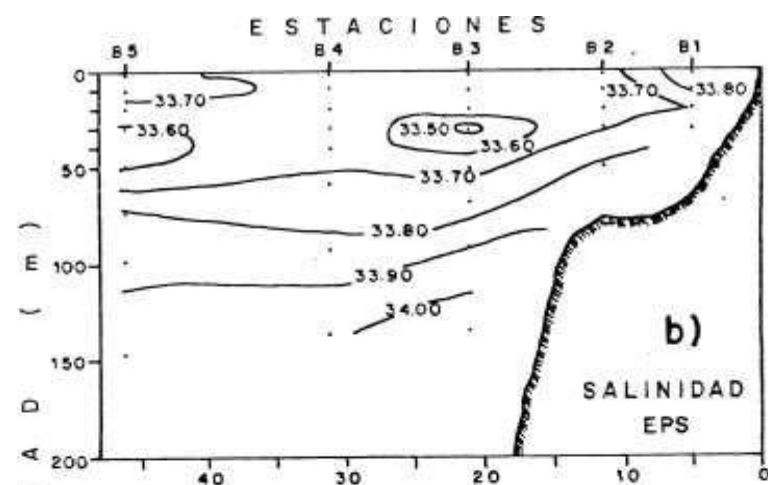
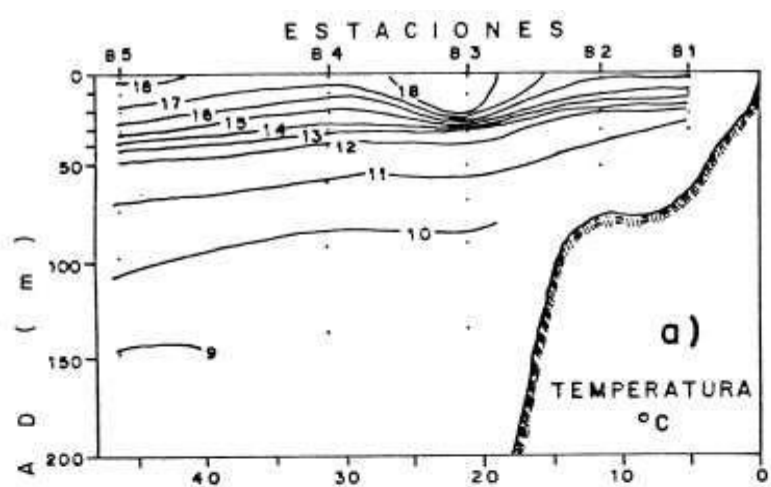


Fig. 5.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto B.

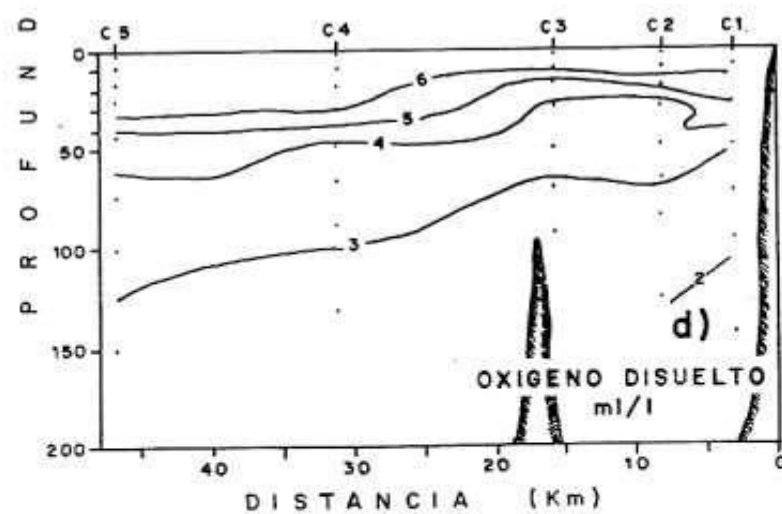
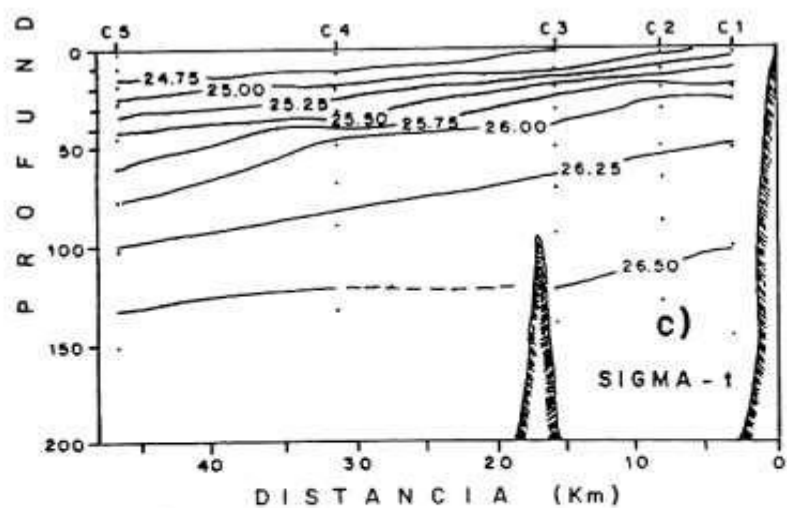
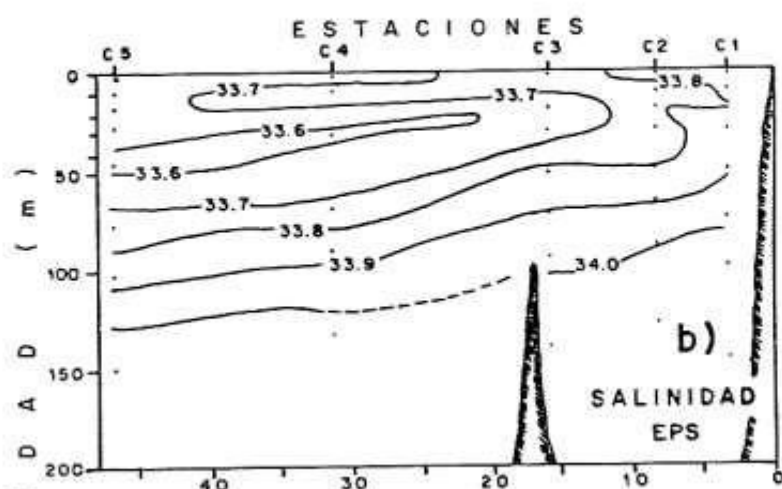
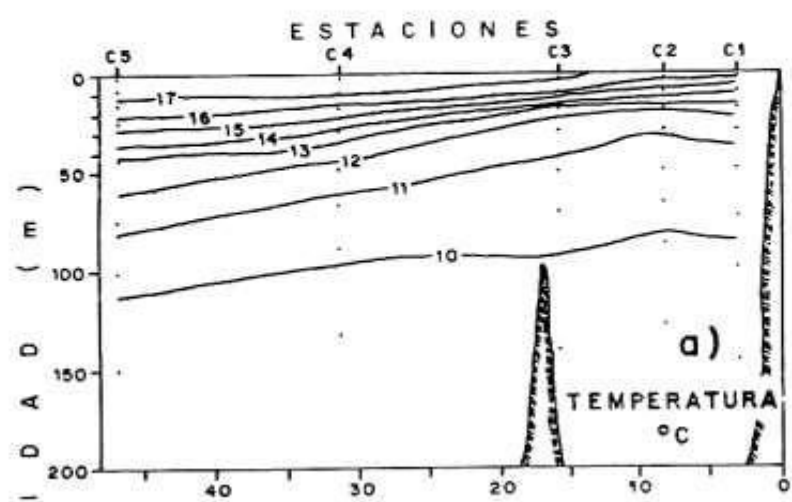


Fig. 6.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto C.

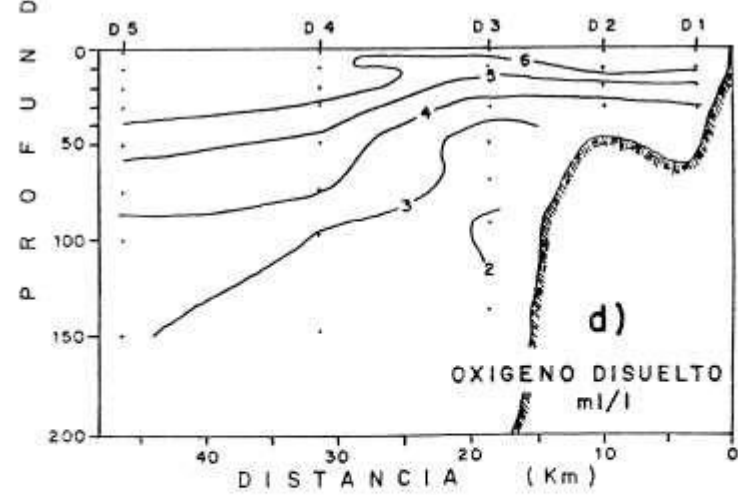
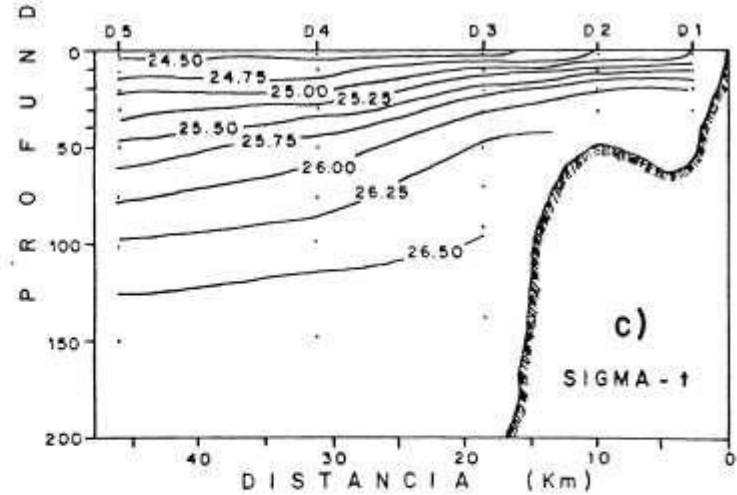
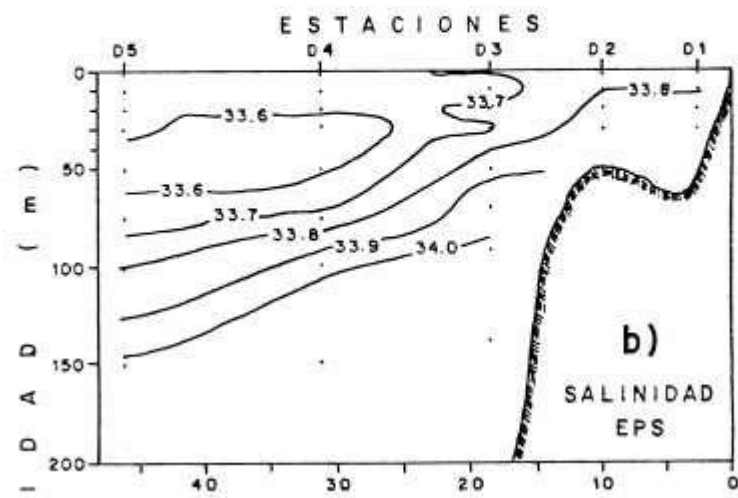
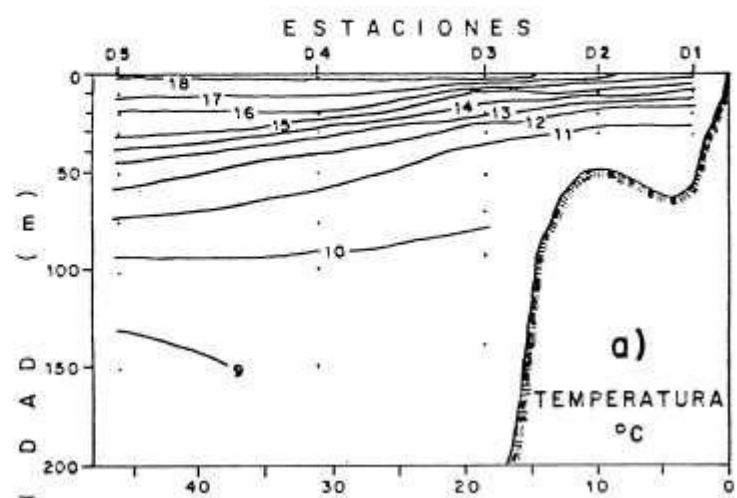


Fig. 7.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto D.

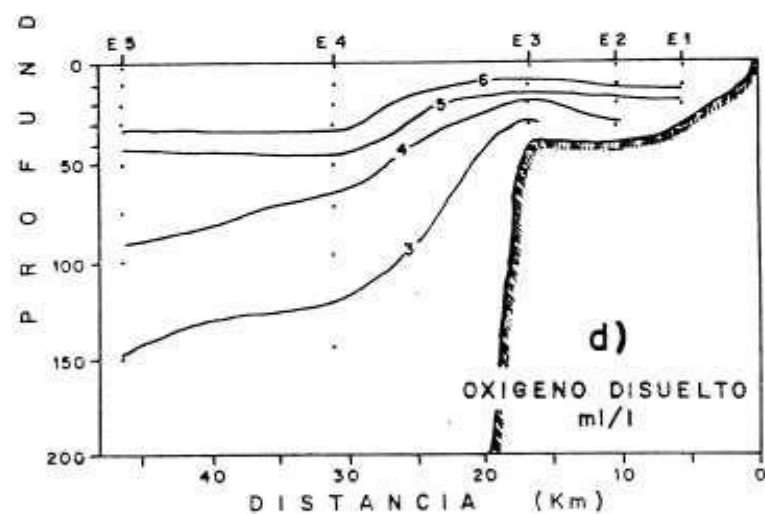
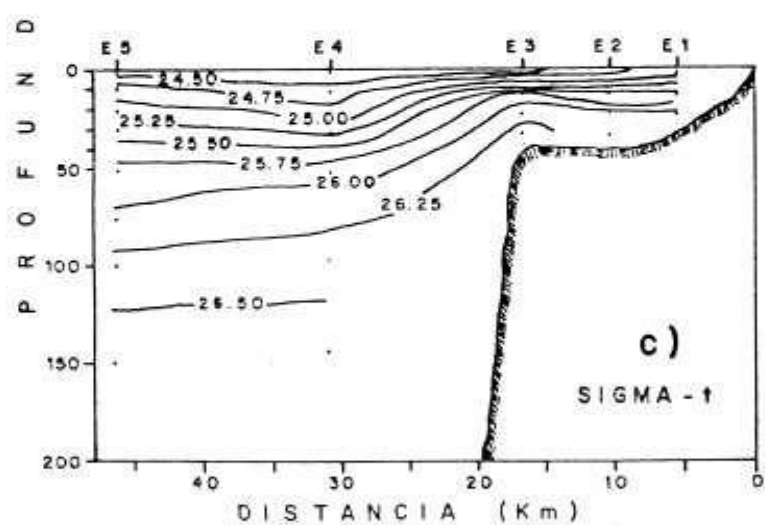
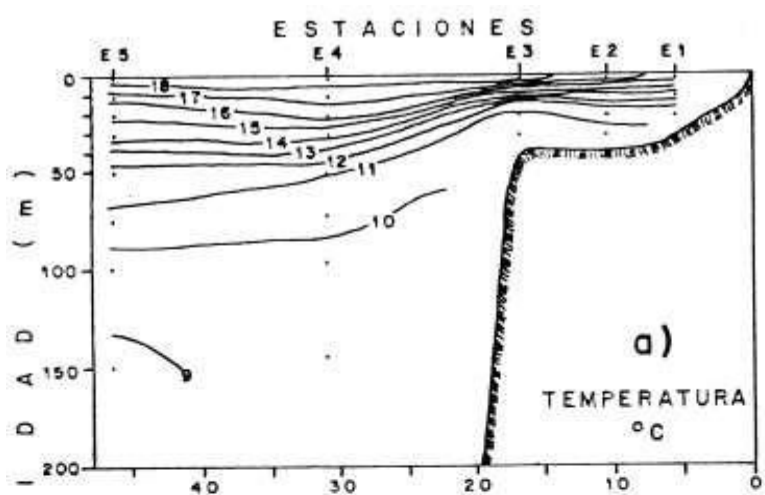


Fig. 8.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto E.

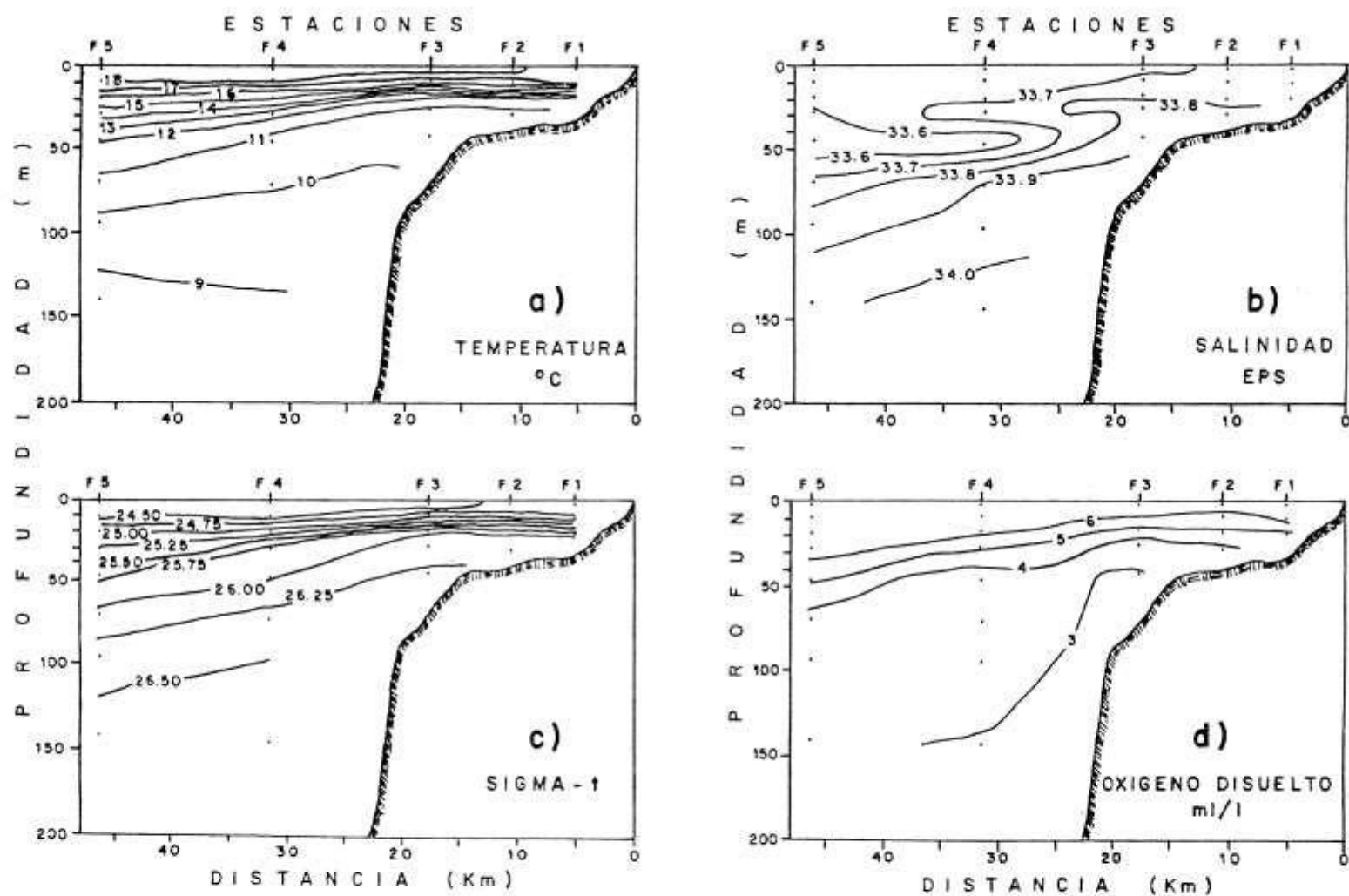


Fig. 9.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto F.

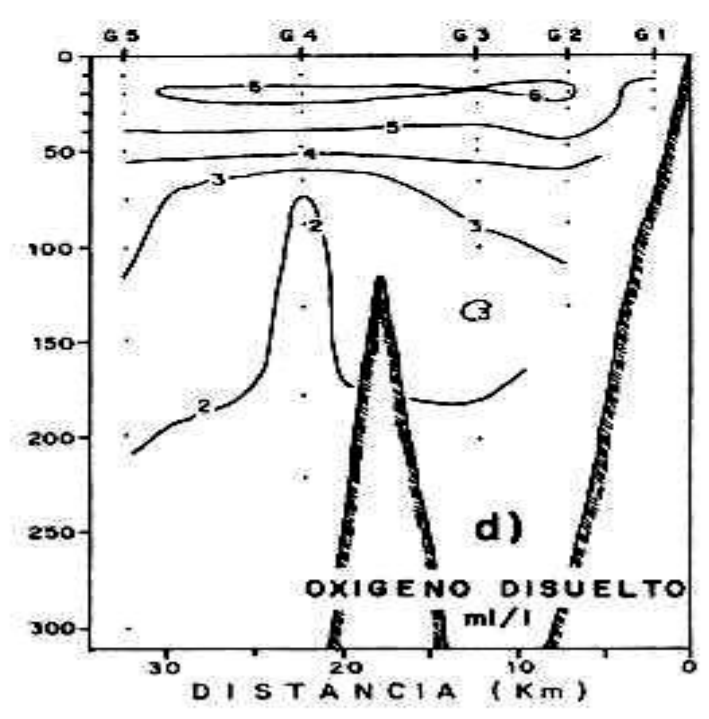
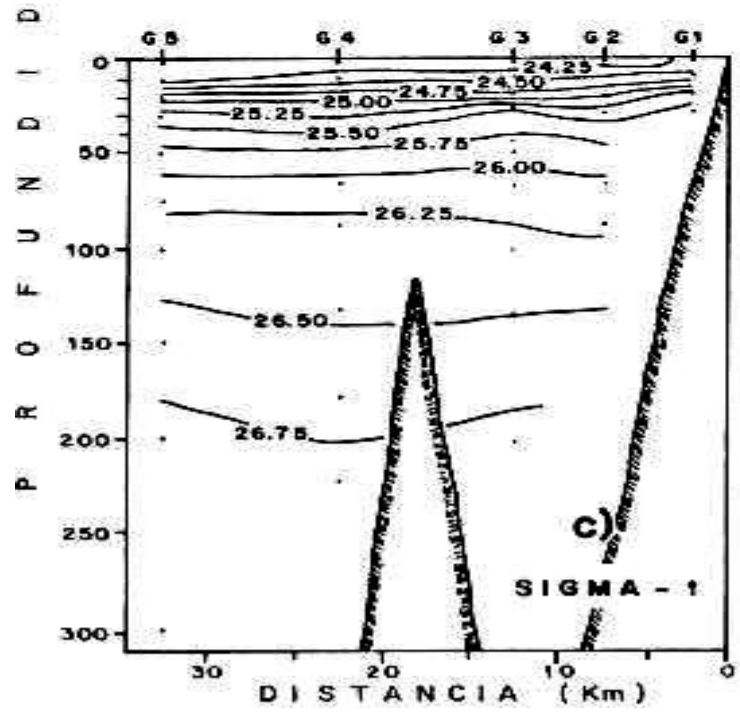
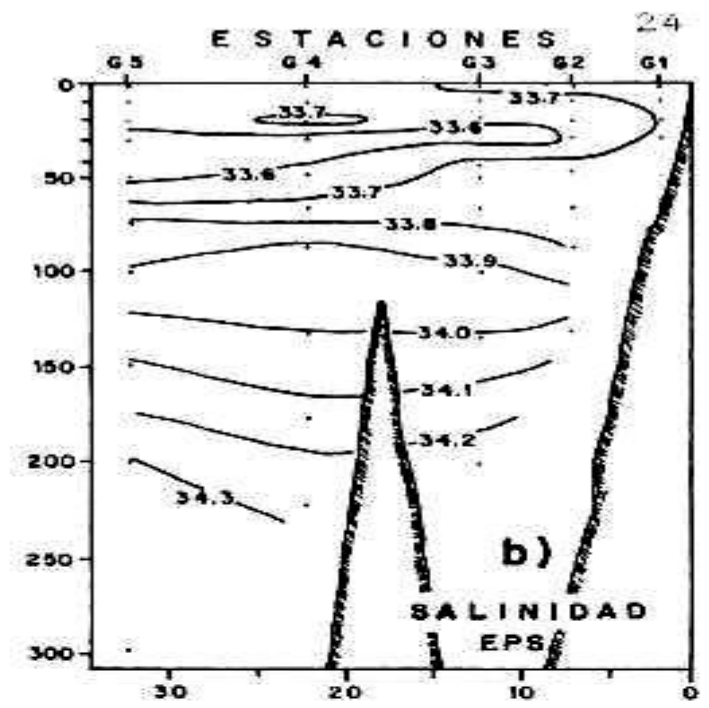
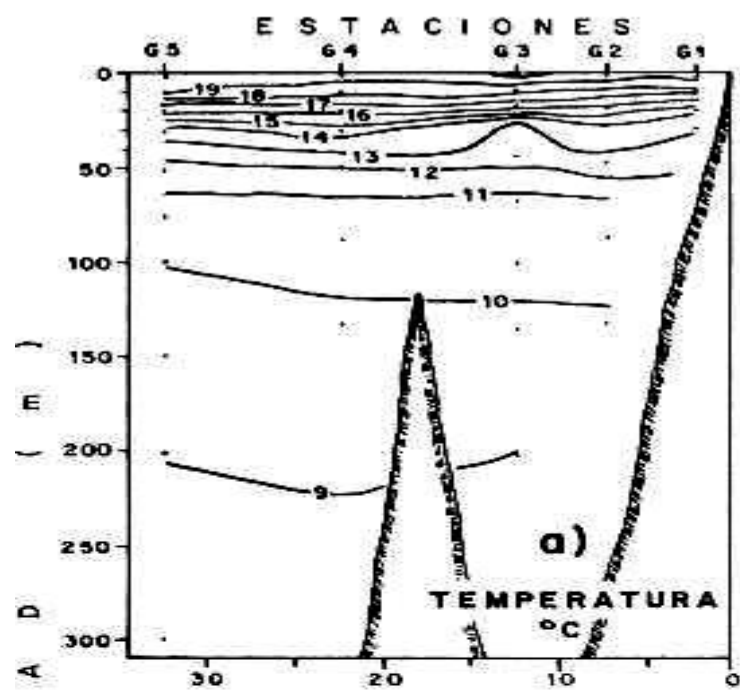


Fig. 10.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto G.

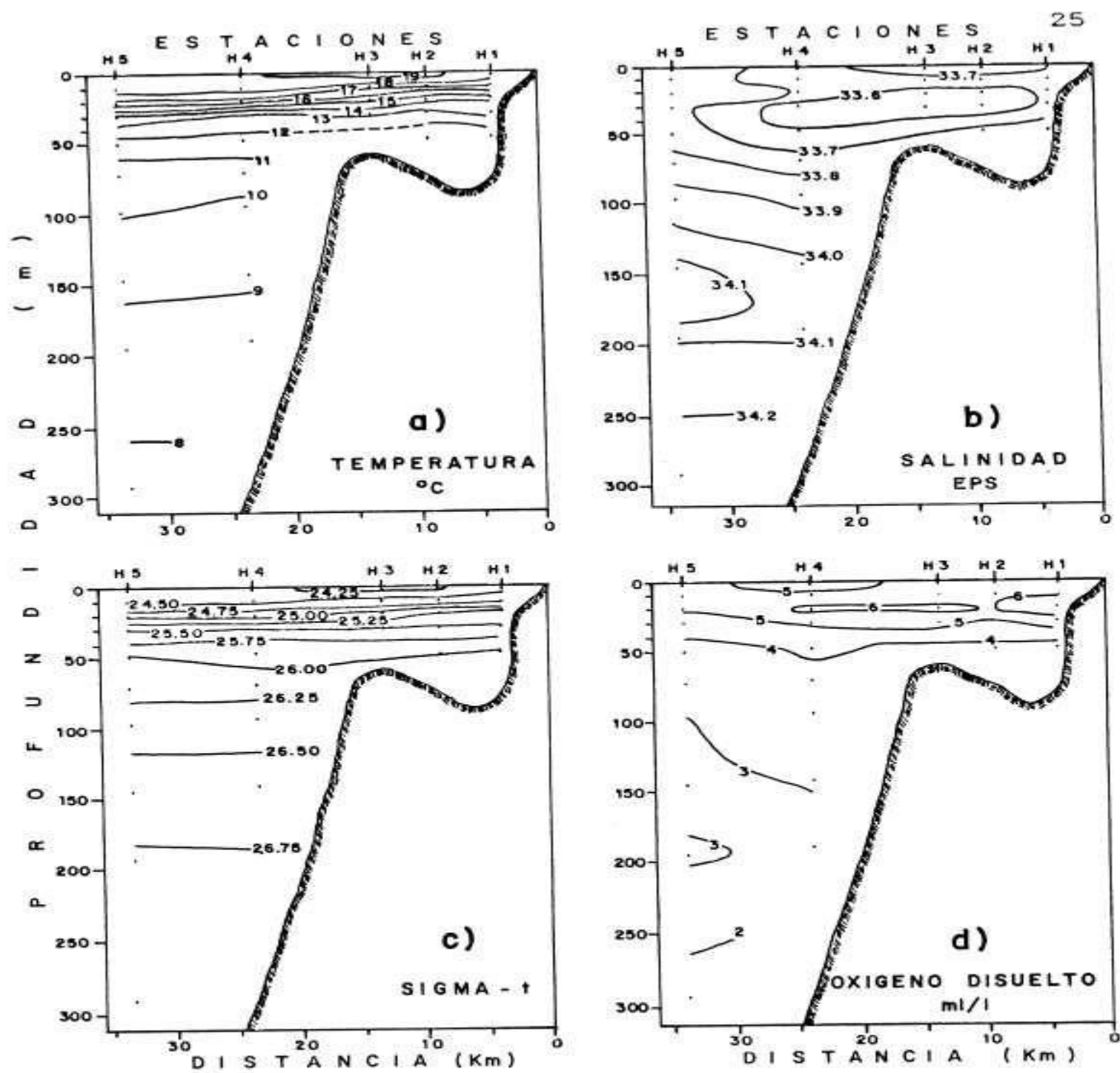


Fig. 11.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto H.

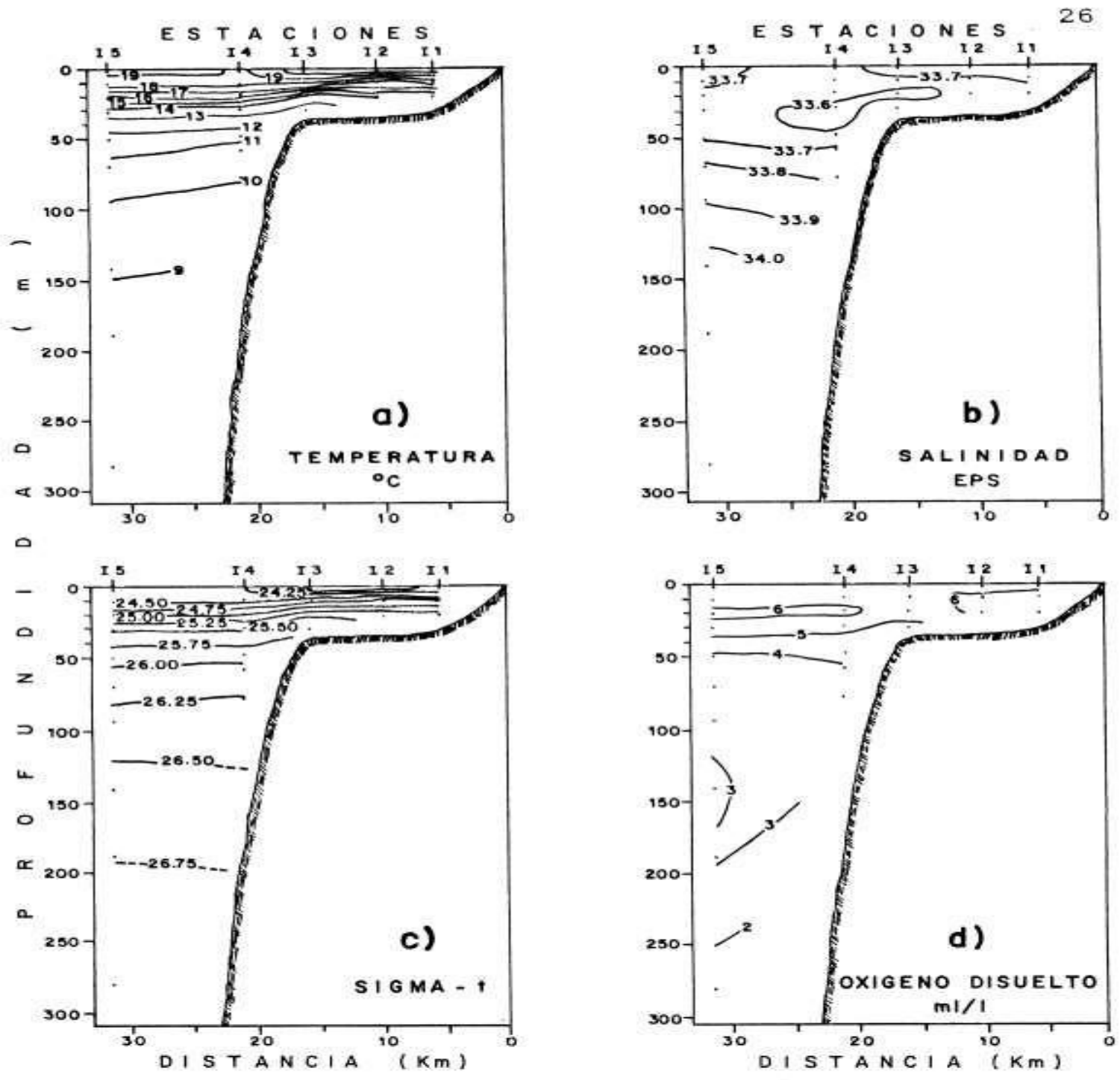


Fig. 12.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto I.

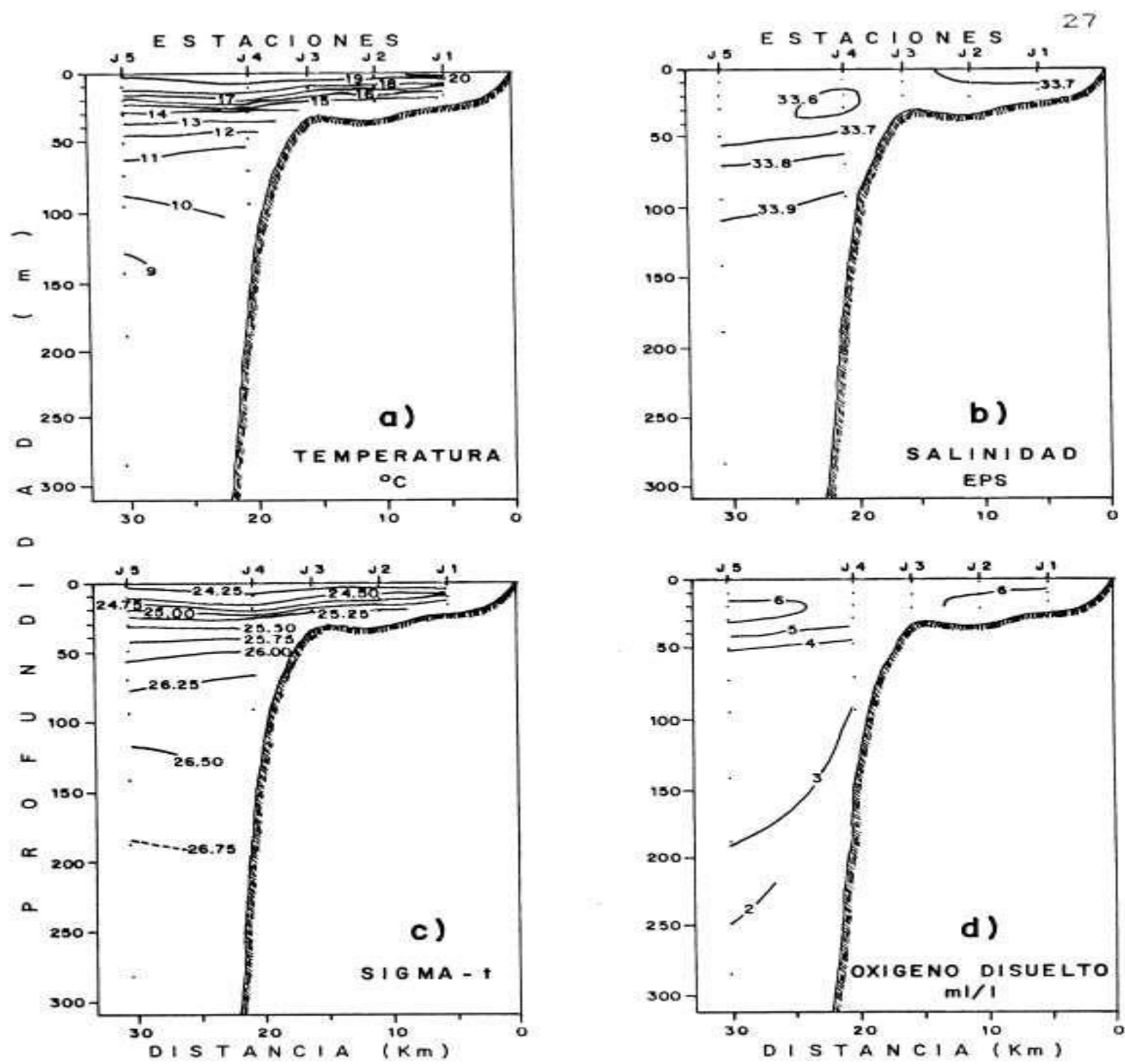


Fig. 13.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto J.

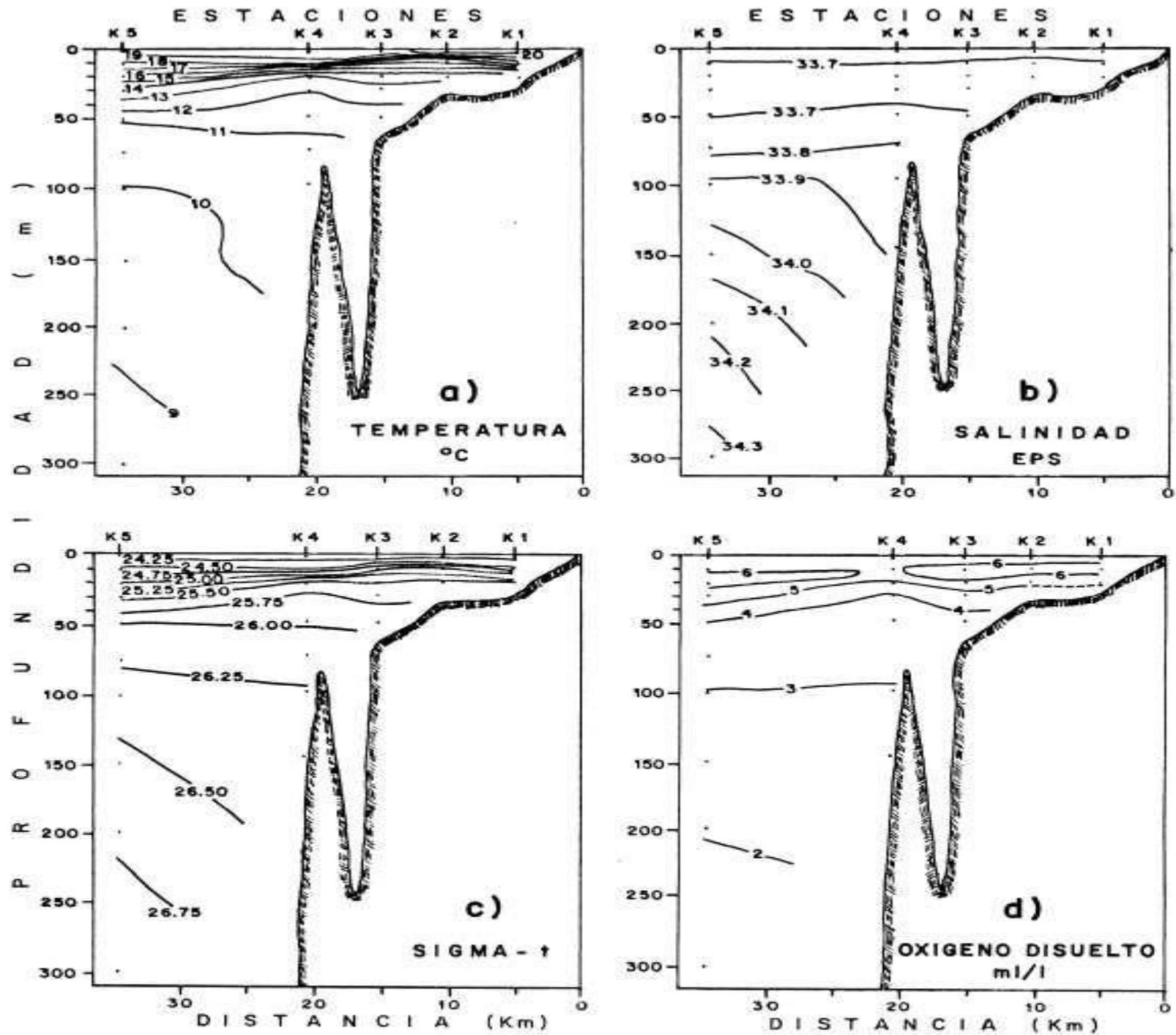


Fig. 14.- Distribución vertical de temperatura (a), salinidad (b), sigma-t (c) y oxígeno disuelto (d), en el transecto K.

En la superficie del transecto B (fig. 5a), se observa un núcleo de agua tibia ( $>18^{\circ}\text{C}$ ), centrado aproximadamente a 21 Km de la costa.

Se observó un descenso de isotermas ( $<10^{\circ}\text{C}$ ) en las aguas cercanas al talud continental, a profundidades  $>100\text{m}$  (figs. 5a, 7a, 8a, 9a, 13a, 14a).

### 3.2. Salinidad.

Cerca de la costa, se presentó un ascenso de isohalinas (figs. 4b-10b), que revela afloramiento de aguas ( $>33.7$  EPS) de profundidades  $>50\text{m}$ .

La distribución vertical de salinidad presentó valores mínimos subsuperficiales ( $<33.6$  EPS), en forma de lengüetas que desaparecen hacia la costa (figs. 4b, 6b, 7b, 9b, 10b) o en núcleos (figs. 5b, 8b, 11b, 12b, 13b). Esta inversión vertical de salinidad se presentó hasta profundidades de 60 m a 48 km de la costa (fig. 7b).

Las mayores salinidades ( $>34$  EPS) se detectaron en los niveles mas profundos (figs. 4b-14b), con máximos relativos abajo de los 100m, junto al talud continental (figs. 4b-9b).

### 3.3. Densidad.

La distribución vertical de la densidad ( $\sigma_t$ ), es similar a la de la temperatura. De tal manera que, la inclinación de isopícnas es mayor por encima del borde del talud continental (figs. 5c, 8c, 12c, 13c, 14c) y la pícnoclina, definida por la banda de 25.25-25.75  $\sigma_t$ , se hace más profunda hacia fuera de la costa (figs. 4c-14c).

En general, el efecto de la salinidad y en mayor grado la temperatura, se refleja en la tendencia de las isopícnas a ser horizontales conforme aumenta la profundidad (figs. 4c-11c), este equilibrio se observa interrumpido en la región cercana al talud.

### 3.4. Oxígeno disuelto.

La distribución vertical del oxígeno disuelto, muestra un descenso en la concentración con la profundidad y una inclinación de isoxinas, observándose las menores concentraciones relativas cerca de la costa (figs. 5d-9d).

En los transectos de la segunda etapa de muestreo (figs. 10d-14d), se presentaron núcleos bien definidos de valores máximos subsuperficiales (5-25m), los cuales se detectaron más someros hacia la costa.

En particular, cerca de la costa del transecto B (fig. 5d), se presentaron bajas concentraciones superficiales ( $<4$  ml/l) y además se encontró la isoxina de 2 ml/l por encima de la plataforma, a 40 m de la superficie.

### 3.5. Diagramas T-S, T-O y S-O.

La distribución de tipos de agua presentada en los diagramas T-S de la primera etapa (fig. 15a) y de la segunda etapa (fig. 15b), así como en los diagramas S-O de la primera y segunda etapas (fig. 16c, 16d), muestran un vértice de baja temperatura relativa ( $\approx 12^{\circ}\text{C}$ ), baja salinidad ( $\approx 33.5$  EPS) y alta concentración de oxígeno ( $\approx 5$  ml/l), que corresponde a los tipos de agua de niveles termoclinales (20-50m).

Los diagramas T-S, T-O y S-O (figs. 15a, 15b, 16a, 16b, 16c, 16d) muestran tipos de agua profunda ( $>60\text{m}$ ), con alta salinidad ( $>33.8$  EPS), baja temperatura ( $<11^{\circ}\text{C}$ ) y bajo oxígeno disuelto ( $<4\text{ml/l}$ ).

### 3.6. Distribución horizontal de temperatura.

#### (Islas Coronado).

La distribución superficial de temperatura (fig. 17a), muestra a las aguas más frías frente a Punta Descanso. Las máximas temperaturas fueron detectadas justo al Sur de las islas y cerca de la costa (excepto junto a Punta Descanso).

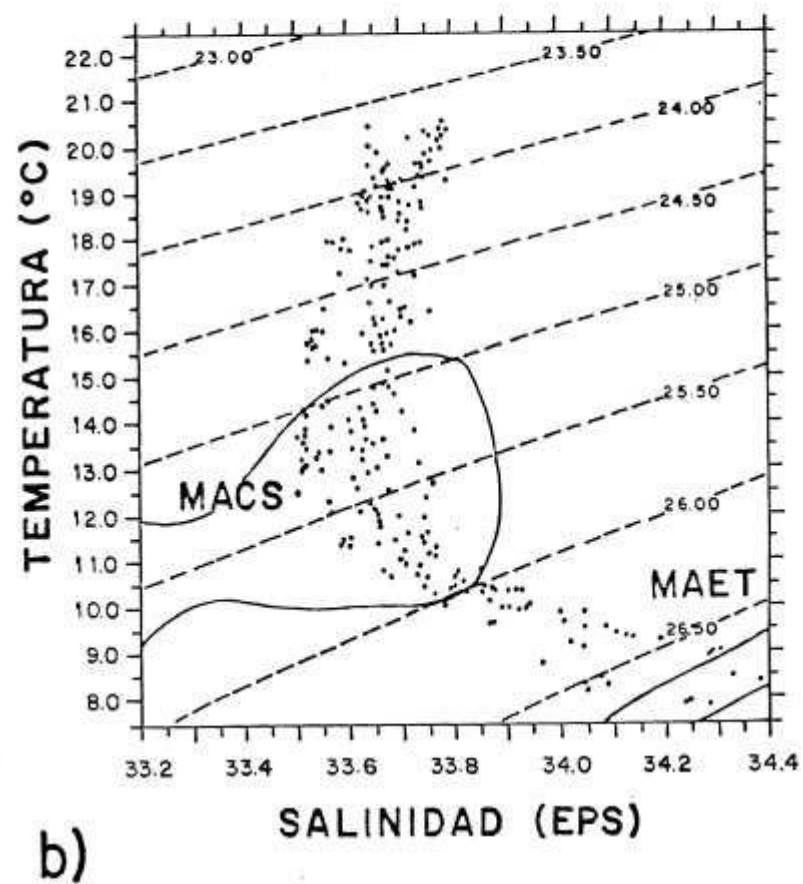
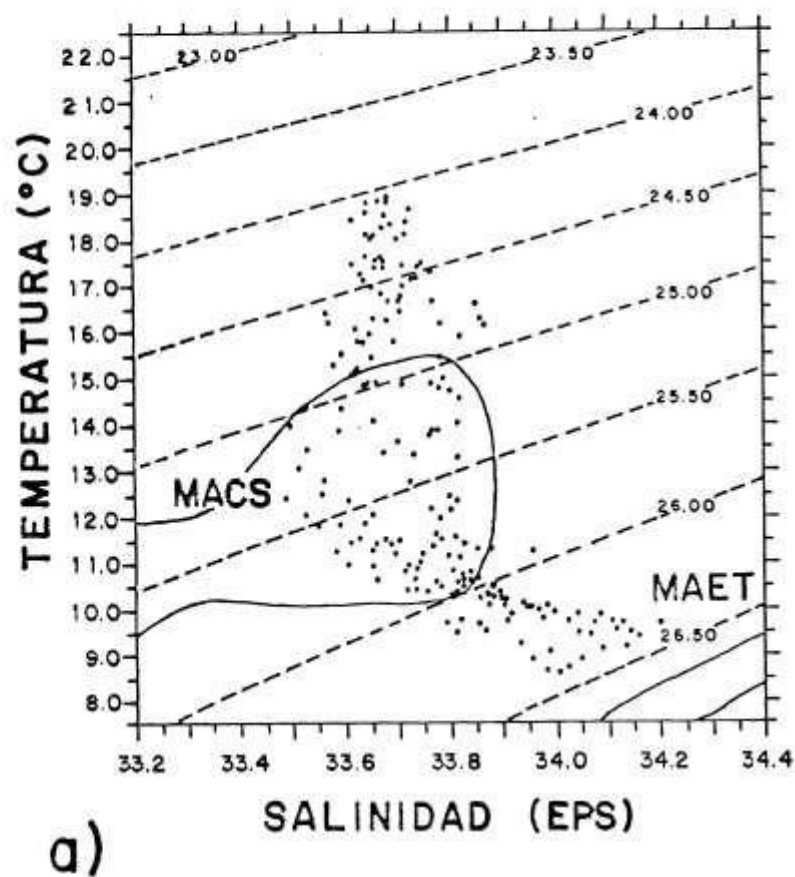


Fig. 15.- Diagramas T-S de la primera campaña hidrográfica (a) y de la segunda campaña hidrográfica (b). Las masas de agua según Kin'dyushev (1970).

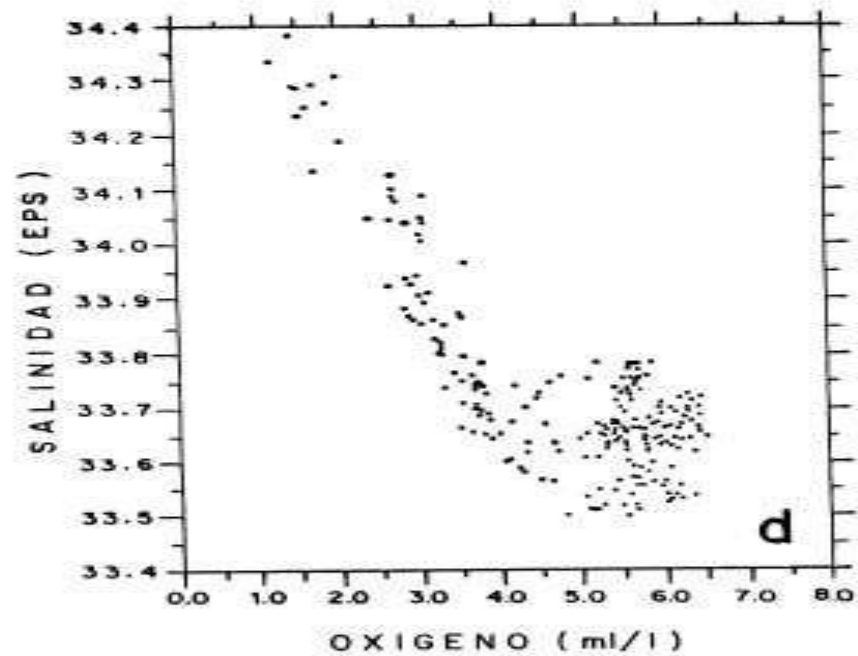
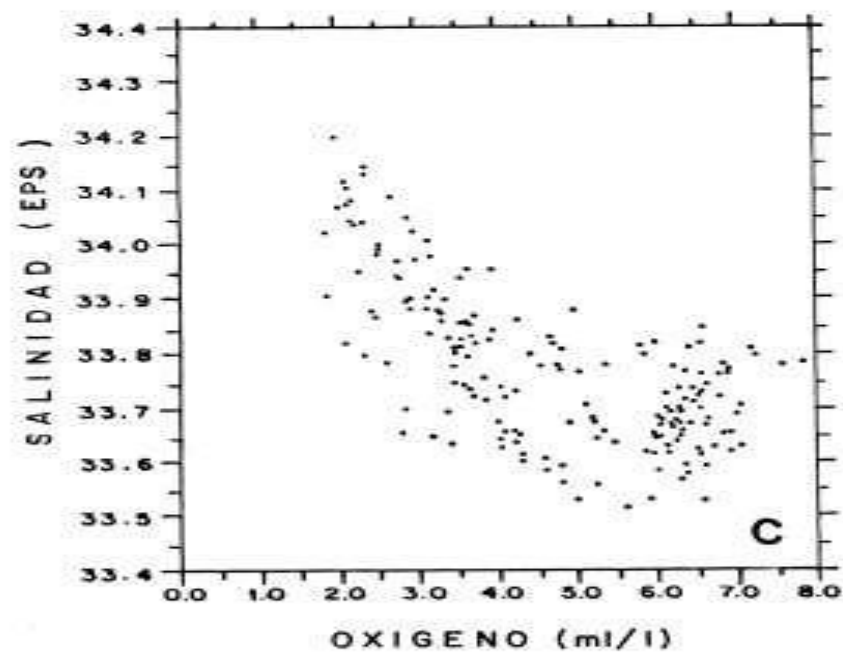
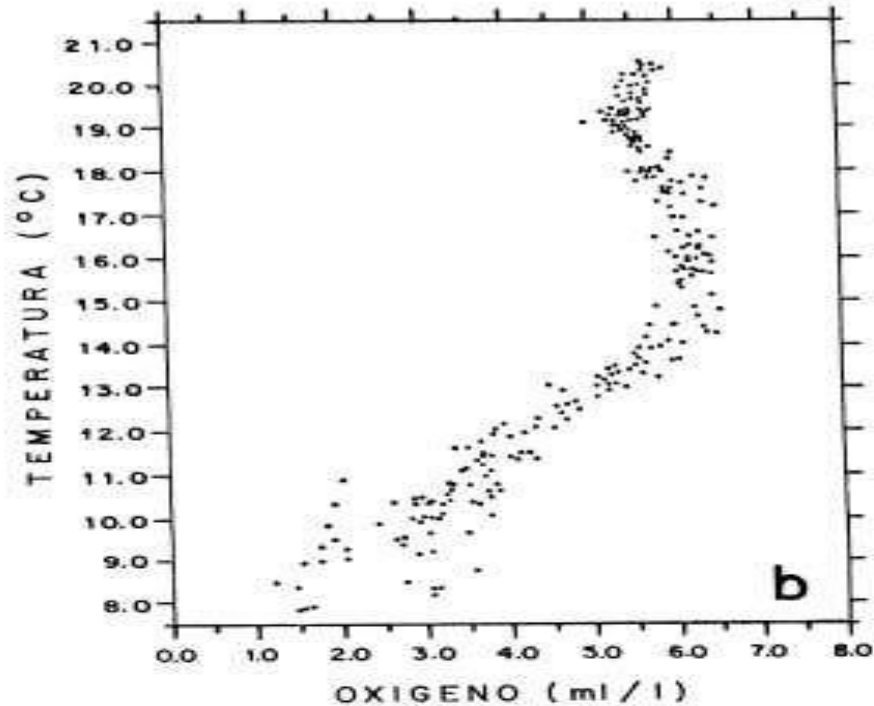
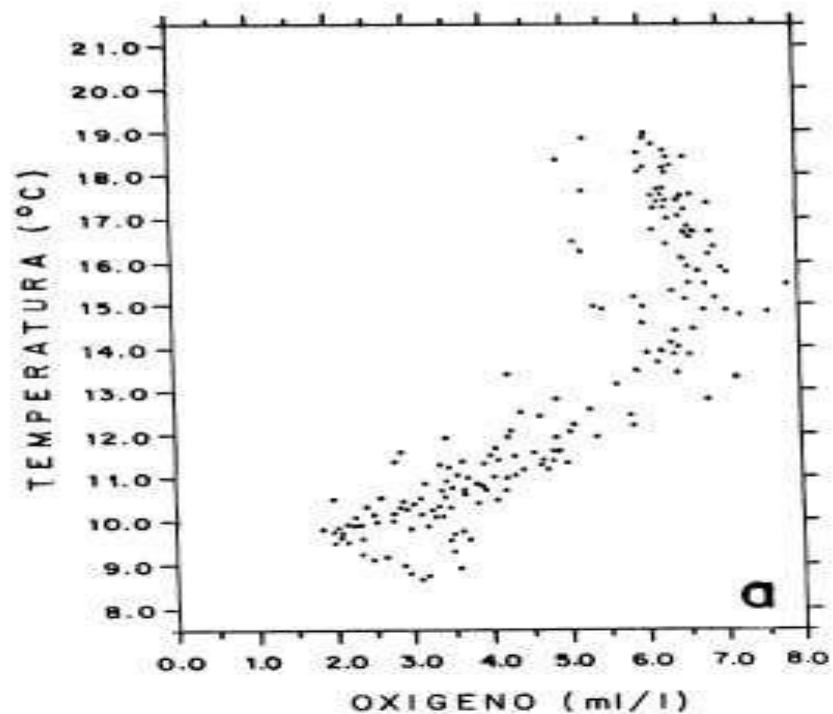


Fig. 16.- Diagramas T-O y S-O de la primera campaña hidrográfica (a y c) y de la segunda campaña hidrográfica (b y d).

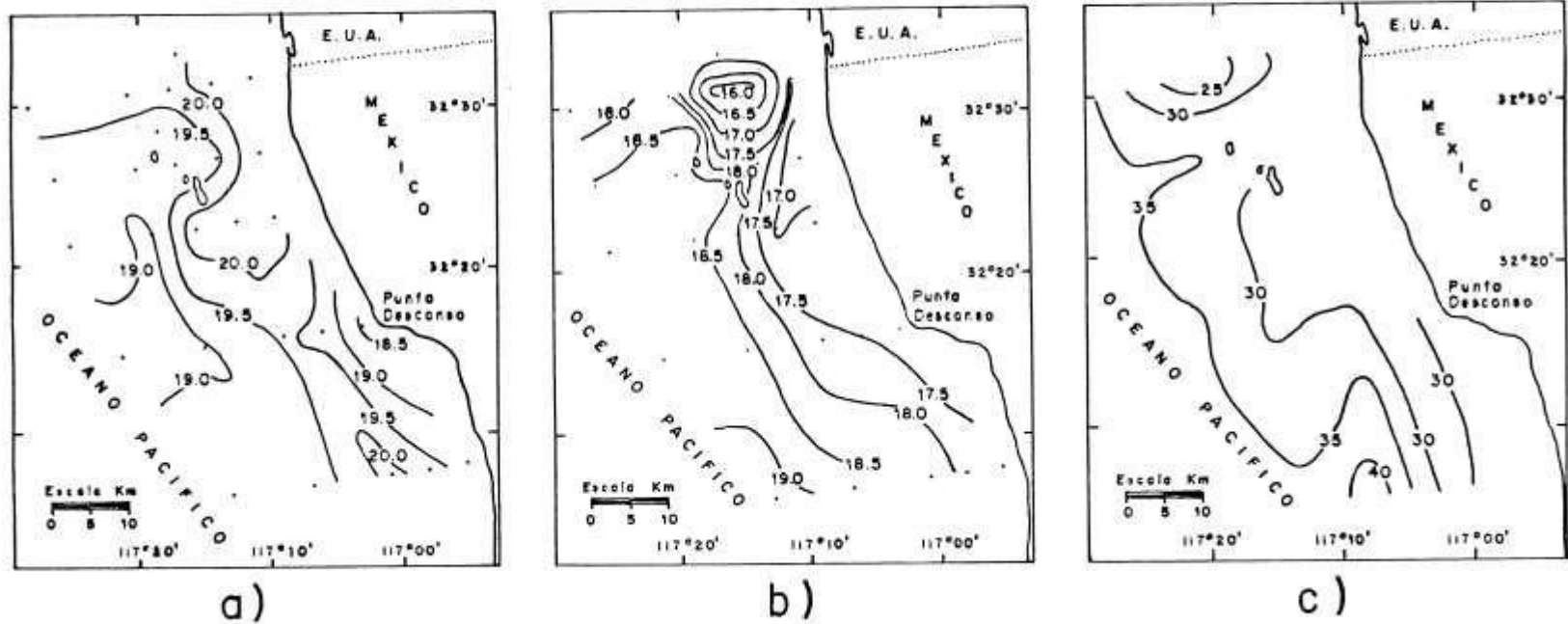


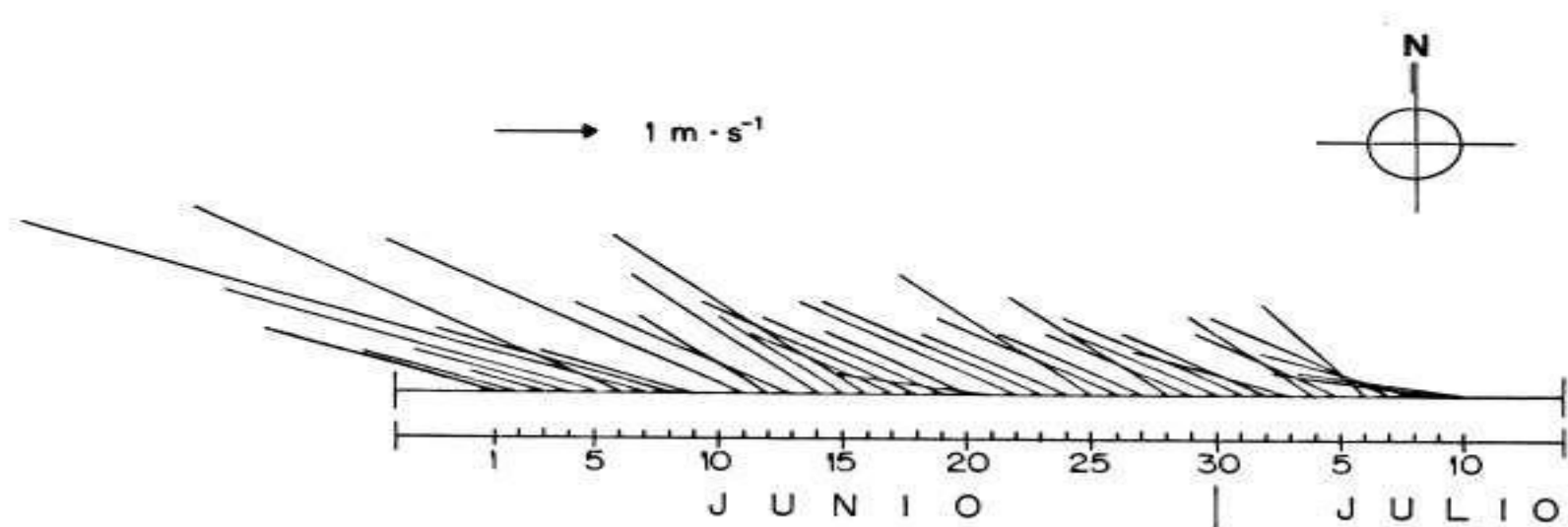
Fig. 17.- Distribución horizontal de temperatura superficial (a), a 10 m de profundidad (b) y topografía de la isoterma 13°C (c); de la zona adyacente a Islas Coronado (segunda campaña hidrográfica).

En el nivel de 10m (fig. 17b), se presentó un patrón uniforme de disminución de la temperatura, determinando un gradiente perpendicular a la línea de costa. Sin embargo, al norte de las Islas Coronado, en la zona adyacente a la línea imaginaria de la frontera con los E. U. A., se observó un foco de agua fría (fig. 17b), que también se presenta en la topografía de la isoterma de los 13°C (fig. 17c), la cual se ubicó más cercana a la superficie (25m) en la misma área.

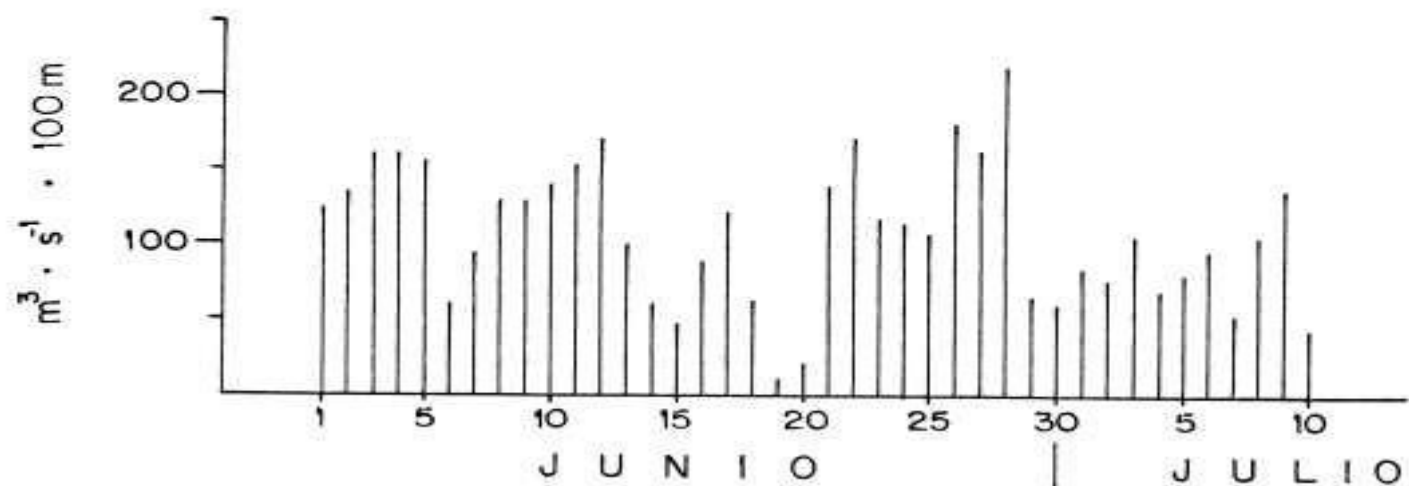
### **3.7. Registro del viento, índices diarios y mensuales de surgencia costera e imagen de satélite.**

La velocidad del viento presentó valores diurnos promedio mayores a 3 m/s, con dirección WNW, durante los días 22, 23 y 25 de junio, dos días anteriores y durante la primer campaña hidrográfica (24-28 de junio), produciéndose calma relativa los días posteriores, incluso hasta la finalización de la segunda campaña (8-10 de julio) (fig. 18a).

Los índices diarios de surgencia costera (fig. 18b), fueron relativamente altos de 181 y 218  $m^2 \times s^{-1} \times 100m$ , durante los días 26 y 28 de junio respectivamente; sin embargo, los días 8, 9 y 10 de julio los valores fueron relativamente bajos, de 105, 136, y 43  $m^2 \times s^{-1} \times 100m$ , respectivamente.



a



b

Fig. 18.- Registro diario promedio de la velocidad del viento (a), (Est. Meteorológica de El Ciprés, B.C., FAM). Indices diarios de surgencia costera de Bakun (b), (NMFS/NOAA, Monterey, Cal.).

Los índices mensuales de surgencia costera (tabla 1), presentan la variación intranual para las áreas cercanas a la costa, desde los 60° N hasta los 21° N. Los índices máximos se observaron durante julio y agosto al norte de nuestra área de estudio y durante mayo-junio al sur de la misma.

La imagen obtenida por medio de satélite (fig. 19), que muestra el campo de la temperatura superficial del mar del día 21 de junio (tres días previos al 1er. muestreo), presenta bajas temperaturas relativas a lo largo de la costa de la zona de estudio, principalmente justo al Sur de las Puntas Descanso, Banda y Colonet, con temperaturas <math><14^{\circ}\text{C}</math>.

Tabla 1.- Indices mensuales de surgencia costera de Bakun, de enero a septiembre de 1988. Las unidades son metros cúbicos por segundo por 100 m de costa. Los valores negativos indican transporte hacia la costa de aguas superficiales, resultando hundimiento de las mismas. (NMFS/NOAA, Monterey, Cal.).

Position	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
60N 149W	-84	-103	-56	-26	-5	-2	4	1	-4
60N 146W	-115	-134	-77	-33	-6	-3	2	-4	-11
57N 137W	-150	-168	-114	-40	-29	-21	-6	-22	-35
54N 134W	-78	-116	-104	-24	-35	-28	-14	-5	-25
51N 131W	-65	-30	-34	-2	-26	-9	3	18	6
48N 125W	-152	-16	-12	1	-6	12	54	55	15
45N 125W	-125	-6	-9	0	-6	14	66	71	17
42N 125W	-92	0	11	6	13	65	136	122	44
39N 125W	-22	43	111	23	82	175	263	182	144
36N 122W	0	23	143	53	191	205	212	148	113
<b>33N 119W</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>109</b>	<b>106</b>	<b>305</b>	<b>321</b>	<b>287</b>	<b>269</b>	<b>154</b>
<b>30N 119W</b>	<b>39</b>	<b>27</b>	<b>145</b>	<b>83</b>	<b>219</b>	<b>208</b>	<b>128</b>	<b>179</b>	<b>131</b>
27N 116W	65	35	125	86	190	229	132	200	159
24N 113W	40	21	68	52	80	143	61	68	83
21N 107W	24	99	149	261	324	155	28	14	23

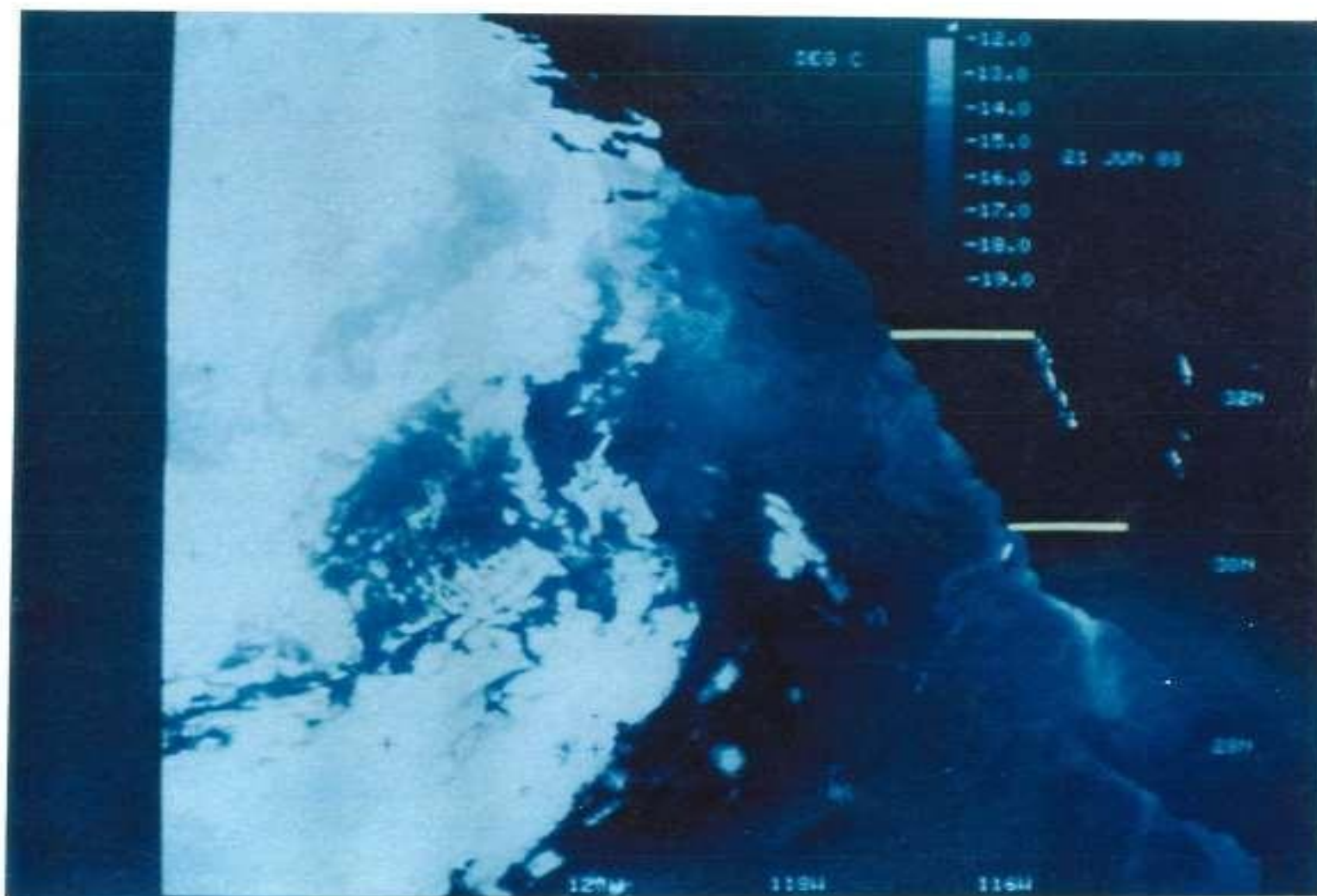


Fig. 19.- Imagen de la temperatura superficial del mar, obtenida por medio de satélite, el día 21 de junio de 1988. (NMFS/NOAA, Monterey, Calif.) Las líneas horizontales delimitan la zona de estudio al norte y al sur.

#### 4. DISCUSIONES.

La estructura vertical de 3 capas ha sido observada en la región costera del Sistema de la Corriente de California (Reid et al., 1958; Winant y Bratkovich, 1981; Mancilla y Martínez, 1991; Mancilla et al., 1993). Esta estructura se presenta durante primavera y verano, asociada al evento anual de surgencia costera, que introduce por debajo, aguas relativamente frías de la MASP y después de la MAET, con alta salinidad y baja concentración de Oxígeno disuelto. Mientras que en la superficie se recibe más calor y por procesos de mezcla se forma una capa más o menos homogénea, que al final del verano logra su máxima profundidad. La capa intermedia (termoclina estacional) por su alta estabilidad puede reducir el transporte vertical a través de la pycnoclina, permitiendo el almacenamiento de calor en la capa superior (Mancilla et al., 1993).

A gran escala, el fenómeno de la surgencia costera está asociado a la circulación del Océano en zonas de movimiento ciclónico. Nuestra área de investigación se encuentra en el límite oriental del gran Giro Anticiclónico del Pacífico Norte, que constituye la Corriente de California (Reid, 1967; Lynn y Simpson, 1987).

La variación estacional en el flujo de la Corriente de California determina la magnitud del balance geostrófico, el cual se establece con mayor inclinación de isopícnas a periodos de intensificación de la corriente (Gómez Valdéz, 1983).

La inclinación de isotermas, isohalinas, isopícnas e isoxinas, observada en la estructura hidrográfica de la primer etapa de muestreo, que ocasionó que las aguas más frías, saladas, densas y con menor contenido de oxígeno, se encontraran en las aguas superficiales (< 100m) mas cercanas a la costa, se considera relacionada directamente con el efecto de la corriente geostrófica. De acuerdo a los resultados de Gómez Valdéz (1983), quien determinó en base a estructuras promedio estacionales, que la ocurrencia de surgencias intensas frente a Punta Banda, B. C., se presenta durante los meses de Abril a Julio. El periodo de la presente investigación está comprendida entre junio y julio.

Barber y Smith (1981), definen el fenómeno de surgencia costera como el proceso en que el agua subsuperficial es transportada hacia la superficie y advectada lejos del área de transporte vertical por un flujo superficial horizontal hacia fuera de la costa. El agua recién surgida se caracteriza por su baja temperatura, alta salinidad y bajo

contenido de oxígeno disuelto. Bajo este contexto, las estructuras obtenidas durante la primer campaña (24-28 de Junio) presentan evidencia de aguas de surgencia (fig. 4-9).

La inclinación de las isotermas hacia las aguas costeras superficiales, permite que aguas por debajo de la termoclina ( $11^{\circ}\text{C}$ ), localizadas a profundidades de 55 a 88m y a una distancia de aprox. 48 Km de la costa, se presenten a 20-30m de profundidad cerca de la costa. Similar a lo que reportan González-Morales y Gaxiola-Castro (1991), que en Punta Banda, el origen de las aguas de surgencia ( $>85\text{m}$ ), estuvo indicado por la inclinación de las isotermas de  $13$  y  $14^{\circ}\text{C}$ , las cuales se presentaron en la superficie costera a finales de junio de 1986. Asimismo, Barton y Argote (1980), reportaron como indicadores de surgencia los valores de temperatura entre  $12$  y  $14^{\circ}\text{C}$  para Cabo Colonet durante Junio de 1976.

El campo de Salinidad presentó evidencia de aguas de surgencia debido a la presencia en la superficie de salinidades  $>33.7$  EPS. De acuerdo a Gómez-Valdéz (1983), estos valores corresponden a los de la haloclina permanente y sugieren que las aguas de surgencia fueron con mayor proporción de agua de origen ecuatorial, ya que ésta salinidad de referencia es mayor a los valores reportados como indicadores de surgencia ( $33.6$  a  $33.7$  EPS) por González-

Morales y Gaxiola-Castro (1991) y por Barton y Argote (1980).

Observando el ascenso de la isohalina de 33.8 EPS, se muestra en todos los transectos de la primera campaña, el origen de las aguas de surgencia en profundidades de 90 a 100m (figs. 4b-9b).

El comportamiento superficial de la salinidad, que presentó lengüetas de salinidad alta hacia fuera de la costa (figs. 4b, 6b, 7b, 8b, 9b, 10b), sugiere el proceso advectivo horizontal derivado de la surgencia costera, lo que está de acuerdo al concepto de Barber y Smith (1981) y es similar a lo observado por Chávez (1975) en Punta Banda, B. C.. Lo anterior permite establecer la influencia de aguas de surgencia costera, advectadas mas allá de los 40 Km fuera de la costa en Punta Banda (fig. 6b) y cerca de los 40 Km en la frontera México-E.U.A. (fig. 9b).

La inclinación de isopicnas y el ascenso de aguas de 25.25-25.75  $\sigma_t$ , mostró las aguas de surgencia cerca de la costa. De acuerdo con la banda de 25.2-25.8  $\sigma_t$  localizada cerca de la superficie por Barton y Argote (1980) y con los valores promedio mayores de 25.0  $\sigma_t$  detectados a 10m de profundidad por Gómez-Valdéz (1983), durante periodos de surgencia intensa.

La concentración de oxígeno disuelto presentó un patrón con evidencia de surgencia cerca de la costa. La presencia de aguas de bajo contenido de oxígeno ( $<5$  ml/l) cercanas a la superficie (figs. 5d, 6d, 7d, 8d, 9d), está de acuerdo a lo observado por González-Morales y Gaxiola-Castro (1991), en Punta Banda, y por Torres-Moye y Acosta-Ruiz (1986), en Punta Colonet, quienes reportaron concentraciones de oxígeno superficiales entre 4 y 5 ml/l como indicadoras de surgencia.

De acuerdo con el concepto de Smith (1968), de que la surgencia costera está estrechamente relacionada con la variación de la componente del viento a lo largo de la costa y con los resultados obtenidos por Amador-Buenrostro (1976), quien reportó condiciones de surgencia costera en Punta Banda, durante el verano de 1971, con intensidades del viento promedio de 3 m/s dos días anteriores a su estudio. El registro del viento obtenido para nuestra investigación (fig. 18a) se presentó bien relacionado con la estructura hidrográfica de ambas etapas de muestreo. La intensidad del viento con valores mayores a 3 m/s, con dirección predominante WNW, que se registró desde diecinueve días anteriores a la campaña hidrográfica de la primer etapa (24-28 de junio), sugieren su influencia en la evidencia de aguas de surgencia detectadas; sin embargo ocurre una ausencia de vientos propicios durante doce días previos al muestreo de la

segunda etapa (8-10 de julio), cuya estructura hidrográfica no mostró aguas de surgencia costera. Esta relación se presentó de acuerdo con lo expuesto por Walsh, et. al. (1977), de que en Baja California los períodos de surgencia se presentan típicamente en intervalos de una a tres semanas y que el relajamiento de las surgencias se produce por la intermitencia del campo de viento en períodos mayores que días pero menores que meses.

Los índices diarios de surgencia costera de Bakun (fig. 18b), están bien relacionados con las estructuras hidrográficas generales, correspondientes a las dos diferentes campañas de muestreo: evidencia de surgencia e índices altos relativos durante la primera etapa y estratificación de las aguas e índices bajos relativos durante la segunda etapa. Además, la presencia de temperaturas bajas ( $<14^{\circ}\text{C}$ ) a lo largo de la costa en toda la zona de estudio, son mostradas en la imagen de satélite (fig. 19) del día 21 de junio, indicando que aguas de la termoclina llegaron a la superficie. Lo cual determina un estado de surgencia mas intenso que el detectado durante la primer campaña (24-28 de junio). De acuerdo a lo anterior, la estructura hidrográfica general de la primera etapa, se puede caracterizar como en estado de surgencia costera de gran escala, ocasionada por la intensificación estacional del

esfuerzo del viento y a la obtenida durante la segunda etapa, en estado de post-surgencia. Lo cual se confirma con los índices mensuales de surgencia costera de Bakun (tabla 1), que muestran los máximos intranuales al sur del área de estudio durante el mes de mayo ( $219 \text{ m}^2 \times \text{s}^{-1} \times 100 \text{ m}$ ) y al norte de la misma durante junio ( $321 \text{ m}^2 \times \text{s}^{-1} \times 100 \text{ m}$ ).

Sin embargo, en particular la estructura hidrográfica del transecto B (fig. 5), situado frente a Punta Colonet, B. C., que presentó valores de concentración superficial de oxígeno disuelto  $<4 \text{ ml/l}$ , indica un estado de surgencia mas intenso que el mostrado por la estructura general de la etapa. Lo anterior concuerda con los valores de oxígeno disuelto reportados por Torres-Moye y Acosta-Ruiz (1986), y por González-Morales y Gaxiola-Castro (1991) como indicadores de surgencia (entre 4 y 5 ml/l). El ascenso de la isoxina de 2 ml/l por encima de la plataforma (40 m), en comparación con la reportada por González-Morales y Gaxiola-Castro (1991), a 100m durante surgencia, confirma lo mismo. Aunado a lo anterior, la presencia de un núcleo de agua tibia y poco densa en la superficie (fig. 5a, 5c), puede asociarse a lo que Allen (1973) modela en relación a los llamados "jets costeros", que aparecen adyacentes y a lo largo de la costa, como una respuesta en estado inicial, a la aplicación de una repentina fuerza del viento.

La magnificación de la inclinación de las isopícnas, por encima del borde del talud continental (figs. 5c, 8c, 12c, 13c, 14c), sugiere que este efecto se presenta aun cuando las condiciones generales no sean de surgencia, ya que en los transectos de la segunda campaña (figs. 12c, 13c, 14c), la estratificación general de las isosuperficies hacia fuera de la costa, se interrumpió en el área mencionada.

La distribución horizontal de temperatura en el área adyacente a Islas Coronado (fig. 17), hace evidente lo descrito por Reid et al. (1958), acerca de las salientes costeras, produciendo una divergencia superficial de agua fría junto a Punta Descanso (fig. 17a). Movimientos con una componente vertical en regiones de divergencia de agua superficial, pueden sobreponer su efecto al ajuste geostrófico (Neumann y Pierson, 1966).

Las máximas temperaturas detectadas al sur de las Islas Coronado y cerca de la costa (excepto junto a P. Descanso), sugieren un mayor tiempo de residencia de las aguas, que puede ocurrir debido al efecto de barrera de las islas al esfuerzo del viento y a la circulación general del área.

En el nivel de 10 m (fig. 18b), las menores temperaturas se presentaron cerca de la costa como posible efecto de la

inclinación de isosuperficies asociada al flujo de las aguas hacia el sur. El foco de agua fría justo al norte de las Islas (fig. 18b) sugiere el efecto de la topografía del fondo, que actúa como rampa para las aguas transportadas por la corriente y que produce afloramiento de aguas de niveles inferiores.

El nivel somero (25 m) en que se encontró la isoterma de 13°C en el área cercana al límite fronterizo (fig. 18c), se podría considerar como un índice de fuerte intensidad de surgencia, de acuerdo con lo reportado por Cervantes-Duarte et al. (1993), quienes utilizaron la altura sinóptica de la isoterma de 13.5°C como índice de intensidad de surgencia. Sin embargo, este efecto se considera debido a la topografía del fondo marino, actuando como rampa a las aguas transportadas por la corriente.

La transformación estacional significativa en la dinámica de las aguas que sufre el Sistema de la Corriente de California, hace difícil establecer fronteras definidas entre las estructuras de masas de agua y las masas de agua individuales (Kin'dyushev, 1970). Sin embargo se puede identificar la influencia preponderante de la Masa de Agua Subártica del Pacífico (MASP), de relativa baja temperatura, baja salinidad y alto contenido de oxígeno disuelto (Reid et

al., 1958), en la estructura de masas de agua obtenida, por el vértice T-S (figs. 15a, 15b) y S-O (figs. 16c, 16d) de estas características.

En particular, este vértice T-S corresponde a la Masa de Agua Californiana del Sur (MACS), que Kin'dyushev (1970) considera formada localmente debido a la mezcla de aguas subárticas y subtropicales aunada a la influencia de aguas de origen ecuatorial cerca de la costa y que se encuentra confinada principalmente al giro ciclónico de la Cuenca del Sur de California. La MASP es alterada en sus propiedades conforme es acarreada hacia el sur, su influencia se reconoce claramente por la baja salinidad de las aguas. En nuestros resultados, esa influencia se manifestó en la distribución vertical, por los núcleos de baja salinidad (<36.0 EPS), asociados a la termoclina. Un fuerte flujo hacia el Ecuador coincide con un ascenso y acercamiento a la costa de la capa de mínima salinidad en abril y julio; el núcleo de baja salinidad es una buena guía para seguir el patrón de la Corriente de California (Lynn and Simpson, 1987).

Los tipos de agua detectados a profundidades mayores a 100m (figs. 15a, 15b, 16a-b-c-d) corresponden a la influencia de la Masa de Agua Ecuatorial del Pacífico (MAEP), la cual se forma en el Pacífico Oriental tropical y tiene relativas alta

temperatura, alta salinidad y bajo oxígeno disuelto (Sverdrup et al., 1942). El mayor influjo de estas aguas ocurre a lo largo de la costa por debajo de la superficie, transportadas por una contracorriente subsuperficial hasta algún punto más allá de Cabo Mendocino (40° Lat. N) (Reid et al., 1958). La clasificación de Kin'dyushev (1970), indica que los tipos de agua (<10°C, >34 EPS) detectados a las mayores profundidades (>100m), pertenecen a la que llama Masa de Agua Ecuatorial Transformada (MAET), que es fuertemente modificada al entrar a la región y propagada por la Subcorriente hacia el polo.

En base a lo anterior, el agua de surgencia detectada corresponde al agua transportada por la Corriente de California, de origen subártico considerablemente transformada por aguas de origen ecuatorial y de acuerdo con la definición dada por Ki'ndyushev (1970), pertenece a la Masa de Agua Californiana del Sur (MACS). De acuerdo con lo obtenido por Rodríguez-Osuna (1978) en Punta San Jacinto, B.C., durante junio de 1976 y por Cervantes-Duarte et al. (1993), en San Hipólito, B.C.S., durante junio de 1989.

La estratificación de la columna de agua en general, con el descenso de isotermas (<10°C), las mayores salinidades (>34 EPS) y el gradiente horizontal de sigma-t, observados a profundidades mayores a 100 m cerca del talud; y el marcado

ascenso de isoxinas (<4 ml/l) junto al talud por arriba de este nivel; sugiere claramente la influencia de las aguas transportadas por la contracorriente subsuperficial, llamada también Subcorriente de California. De acuerdo con Lynn y Simpson (1987), que mostraron su presencia en nuestra área de estudio a partir del mes de junio; Wooster y Jones (1970), observaron un núcleo de alta velocidad de la subcorriente a lo largo del talud continental, mostrada en un diagrama T-S como una prominencia con valores máximos de salinidad >34.3 EPS, ocurriendo en temperaturas entre 8 y 11°C, centrada en 26.54  $\sigma_t$ ; Barton y Argote (1980), detectaron el límite superior del núcleo de agua típica de la subcorriente, a profundidades >100m.

## 5. CONCLUSIONES.

En general se observó una estructura vertical de 3 capas: La capa superior de alta temperatura ( $>15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), alto contenido de oxígeno disuelto ( $>5\text{ml/l}$ ); la capa inferior con baja temperatura ( $<12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), alta salinidad ( $>33.7\text{ EPS}$ ) y bajo contenido de oxígeno disuelto ( $<4\text{ml/l}$ ); y la capa intermedia de mínima salinidad y gradiente pronunciado de temperatura.

El fenómeno de surgencia costera fue el factor principal que afectó la estructura hidrográfica. Su influencia advectiva se detectó hasta por lo menos 40 Km de la costa y el origen de las aguas transportadas a niveles superiores fue a profundidades de 90-100m a 48 Km de la costa.

La estructura hidrográfica general, obtenida durante la primera etapa de muestreo (24-28 de junio), se caracteriza en estado de surgencia costera de gran escala, ocasionada por la intensificación estacional del esfuerzo del viento. La obtenida durante la segunda etapa de muestreo (8-10 de julio), se caracteriza en un estado de post-surgencia.

La estructura hidrográfica particular del transecto B, situado frente a Punta Colonet, presentó mayor evidencia de surgencia costera por efecto local.

El borde somero del talud continental, se presentó como un factor de intensificación de la surgencia frente a Punta Colonet y al sur de las Islas Coronado, en las estructuras hidrográficas obtenidas durante la primer etapa; y como factor de inclinación de isosuperficies en el transecto situado frente a la frontera México-E. U. A. y en los situados al sur y al norte de Islas Coronado, en las obtenidas durante la segunda etapa hidrográfica.

Las aguas de surgencia fueron de la Corriente de California y corresponden a la Masa de Agua Californiana del Sur (MACS), diferenciada localmente de la Masa de Agua Subártica del Pacífico (MASP).

Se detectó la evidencia de aguas de origen ecuatorial de la Masa de Agua Ecuatorial Transformada (MAET), transportadas por la Subcorriente de California (Contracorriente subsuperficial).

**6. REFERENCIAS.**

- Allen, J. S. (1973).** Upwelling and coastal jets in a continuously stratified ocean. *Journal of Physical Oceanography*. 3, 245-257.
- Askren, D. y A. Badan (1978).** Conceptos de Oceanografía Física. School of Oceanography, Oregon State University. 160 pp.
- Amador-Buenrostro, A. (1975).** Características de las aguas de surgencia en las aguas adyacentes a la Bahía de Todos Santos. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, México.
- Armada Argentina (1972).** Manual de instrucciones para la obtención de datos oceanográficos. República Argentina, Servicio de Hidrografía Naval, H. 601, Buenos Aires.
- Bakun, A. (1973).** Coastal upwelling indices, west coast of North America, 1946-1971. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671. 103 pp.
- Bakun, A and Nelson, C. S. (1977).** Climatology of upwelling related processes off Baja California. CalCOFI Rep. Vol. XIX 1 July 1975 to 30 June 1976. pp. 107-127.
- Barber, R.T. and Smith, R.L. (1981).** Coastal upwelling ecosystems. In: A. Longhurst (ed), Analysis of Marine Ecosystems. Academic Press, New York, pp. 31-68.
- Barton, E. D. and M. L. Argote (1980).** Hidrographic variability in an upwelling area off Northern Baja Calif. in June 1976. *J. Mar. Res.*, 38 (4): 631-649.
- Bernstein, R. L.; L. Breaker and R. Whritner (1977).** California current eddy formation: ship, air and satellite results. *Science* 195: 353-359.
- Cervantes-Duarte, R.; S. Aguiñiga-García y S. Hernández-Trujillo (1993).** Condiciones de surgencia asociadas a la distribución de zooplancton en San Hipólito, B.C.S. *Ciencias Marinas*. 19 (1): 117-135.
- Chávez de Nishikawa, A. G. y Alvarez Borrego, S. (1974).** Hidrología de la Bahía de San Quintín, B. C. en invierno y primavera., *Ciencias Marinas*. Vol. 1 (2).

- Chávez-García, M. del C. (1975).** Algunas condiciones de surgencia durante la primavera de 1974, para el área adyacente a Punta Banda, Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, México.
- Chelton, D. B. (1984).** Seasonal variability of alongshore geostrophic velocity off Central California., *J. Geophys. Res.*, Vol. 89, pp. 3473-3486.
- Cota-Villavicencio, A. (1971).** Estudio oceanográfico químico de la surgencia localizada en la zona de Punta Banda, B. C. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, México.
- Defant A. (1936).** Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozeans- III Lieferung. Die Troposphäre. *Wiss. Ergebn. dt. atlant. Exped. "Meteor"*, 6(1)(3), 289-411.
- Eckman, V. W. (1905).** On the influence of the earth's relation on ocean currents. *Arkiv, Mathematiske Astronomi, Fysik*, 2 (11), 1-55.
- Flores-Muñoz, G.; Gutiérrez-Galindo, E. A.; Martín, M. y Stephenson, M.D. (1987).** Evaluación de contaminación por metales traza en la costa de Baja California. En: Resúmenes VII Congreso nacional de Oceanografía. Instituto Nacional de la Pesca. 27-31 Julio, Ensenada, B. C. 399 pp.
- García-Gaytán, R. (1978).** Comportamiento de variables físicas en una área de surgencia costera, primavera 1976., Tesis profesional. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, México.
- Gómez-Valdéz, J. (1983).** Estructura hidrográfica promedio frente a Baja California. *Ciencias Marinas*. Vol. 9 (2), pp. 75-86.
- González-Morales, A. T. y G. Gaxiola-Castro (1991).** Variación día a día de características físico-químicas, biomasa y productividad primaria del fitoplancton en una zona de surgencia costera de Baja California. *Ciencias Marinas*. Vol. 17 (3), pp. 21-37.
- Gunther E.R. (1936).** A report on the oceanographical investigations in the Perú coastal current. *Discovery Rep.* 13, 107-276.

- Hickey, B. M. (1979). The California Current System, hypotheses and facts. *Prog. Oceanogr.* Vol. 8, pp 191-279.
- Kin'dyushev, V.I. (1970). Seasonal variations of water masses in the California region of the Pacific Ocean. *Oceanology*, Vol. 10 (4): 456-464.
- Lewis, E. L. (1980). The practical Salinity scale 1978 and its antecedents. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. Vol. OE-5, #1, Jan. 1980. p. 7.
- Lynn, R. J.; K. A. Bliss and L.E. Eber (1982). Vertical and horizontal distributions of seasonal mean temperature, salinity, sigma-t, stability, dynamic height, oxygen, and oxygen saturation in the California Current, 1950-1978, *CalCOFI Atlas 30*, 513 pp.
- Lynn, R. J. and Simpson, J. J. (1987). The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.*, Vol. 92, No. C12, pp. 12947-12966.
- Mancilla-Peraza, M. y G.M. Martínez-García (1991). Variación estacional de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la bahía de Todos Santos, B.C., México. *Revista de Investigación Científica, UABCS*, 2(2): 33-45.
- Mancilla-Peraza, M., E. Palacios-Hernández y G. López-Castillo (1993). Variabilidad hidrográfica de Bahía Sebastián Vizcaino, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 19(3): 265-284.
- Mearns, A. J. (1973). Southern California inshore demersal fishes: diversity, distribution and disease as response to environmental quality. *CalCOFI Rep.* Vol. XVII, 1 July 1971 to 30 June 1973.
- Neumann, g. and W. J. Pierson (1966). *Principles of Physical Oceanography*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 545 pp.
- Nishikawa, K.A.; Sañudo-Wilhelmy, S. A. y Rivera-Duarte, I. (1984). Estado de la contaminación marina en la zona fronteriza México-Estados Unidos., *Perspectivas para su control y reducción*. Reunión regional de Ecología Mar de Cortéz. Sedue 4-6 Abril. La Paz, B.C.S.

- Reid, J. L. Jr.; G. I. Roden and J. G. Wyllie (1958). Studies of the California current system, CalCOFI, Progress Rep. 1 July 1957 to 1 January 1958, pp. 27-56.
- Reynoso-Nuño, H. E. (1978). Distribución de nitratos y fosfatos en una área de surgencia costera en Baja California durante la primavera de 1976. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, México.
- Rodríguez-Osuna, J. M. (1978). Descripción de variables físicas en función del tiempo para una área con eventos de surgencia en Baja California. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, México.
- Ryther, J. H. (1969). Photosynthesis and fish production in the sea. *Science* (Wash., D. C.) Vol. 166 No. 3901, pp. 72-76.
- Sañudo-Wilhelmy, S. A. and A. Russell-Flegal (1991). Trace element distributions in coastal waters along the U.S.-Mexican boundary: relative contributions of natural processes vs. anthropogenic inputs. *Marine Chemistry*, 33 pp. 371-392.
- S. I. O., Marine Technician Handbook. Oxygen Analysis (1971). Reference 71-8, Sea Grant Publication #9.
- Smith, R. L. (1968). Upwelling. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 6: 11-46.
- Stephenson, M. D.; Gutiérrez-Galindo, E. A. y Flores-Muñoz, G. (1987). *Environ. Pollut.* (En prensa).
- Suárez-Vidal, C. y Acosta-Ruiz, J. (1976). Distribución de cobre y zinc en mejillón *Mytilus Californianus*, en la parte noroccidental de la Baja California. *Ciencias Marinas*. 3 (2), pp.18-23.
- Sverdrup, H. U. (1938). On the process of upwelling. *J. Mar. Res.* 1, pp. 155-164.
- Sverdrup, H. U. and R. H. Fleming (1941). The waters off Southern California March to July 1937, *Bull. of the Scripps Inst. of Oceanogr. of the Univ. of Calif., La Jolla*. 4, pp. 261-378.
- Sverdrup, H. U.; M. W. Johnson and R. H. Fleming (1942). *The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology*. Prentice Hall Inc. 1087 pp.

- Torres-Moye, G. y M. J. Acosta-Ruiz (1986). Algunas propiedades químicas indicadoras de eventos de surgencias costeras y de la contracorriente subsuperficial en un área cercana a Punta Colonet, Baja California. *Ciencias Marinas*, 12 (3). p. 10-25.
- Walsh, J.J., Whittledge, T.E., Kelley, J.C., Huntsman, S.A. and Pillsbury, R.D. (1977). Further transition states of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 22(2): 264-280.
- Winant, C.D. and Bratkovich, A.W. (1981). Temperature and currents on the Southern California Shelf: a description of the variability. *J. Phys. Oceanogr.*, 11(1): 71-86.
- Wooster, W. S. and J. H. Jones (1970). California undercurrent of northern Baja California. *J. Mar. Res.* 28 (2), p. 235-250.
- Wooster, W. S. and J. L. Reid, Jr. (1963). Eastern boundary currents. In: M. N. Hill (ed), *The Sea, Ideas and observations on progress in the study of the seas*. Vol. 2, p. 253-280. Interscience Publ., N. J.