

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS ESTIVALES FRENTE A LA COSTA DE CHILE

WILHELM BRANDHORST*

CONTENIDO

- 1.—ANTECEDENTES
- 2.—DATOS Y METODOS
- 3.—RESULTADOS Y CONCLUSIONES
 - 3.1. Condiciones Meteorológicas.
 - 3.2. Distribución superficial de las masas de agua
 - 3.2.1 Agua Templada del Pacífico Sur
 - 3.2.2 Agua propia de los canales
 - 3.2.3 Mezcla con agua fluvial
 - 3.2.4 Agua Ecuatorial Sub-superficial (Corriente de Gunther)
 - 3.2.5 Agua del mínimo superior de salinidad
 - 3.2.6 Agua Sub-tropical
 - 3.3. La Circulación Superficial
 - 3.3.1. Topografía geopotencial de la superficie del mar
 - 3.3.2. Distribución superficial de la anomalía termoestérica.
 - 3.4. Distribución vertical de factores físicos entre 15° y 42° S durante febrero-abril de 1960.
 - 3.4.1. Resumen de los resultados de la Expedición "Chiper" (15° a 37°S)
 - 3.4.2. Resultado de la Expedición "Marchile I" (30° a 42° S.)
 - 3.5. La circulación sub-superficial
 - 3.5.1. La extensión del Mínimo Superior de la Salinidad hacia el Norte
 - 3.5.2. El Flujo de la Corriente Submarina de Gunther
 - 3.5.3. El Agua Intermedia del Pacífico.
 - 3.6. La surgencia costera
- 4.—RESUMEN
- 5.—SUMMARY
- 6.—REFERENCIAS.

1. ANTECEDENTES

En relación a la escasez de datos oceanográficos del Pacífico Sur Oriental, en especial de las aguas chilenas, y la importancia que tiene el conocimiento de las condiciones oceanográficas para la evaluación de los recursos marinos en aquéllas, el Departamento de Fomento de Pesca y Caza, Ministerio de Agricultura, en cooperación con la Estación de Biología Marina Montemar de la Universidad de Chile y el Programa de Asistencia Técnica de la República Federal de Alemania, iniciaron, en Enero de 1959, una investigación preliminar frente a Valparaíso, acerca del efecto del bajo contenido de oxígeno, encontrado entre 100 y 350 metros de profundidad, sobre la pesca de la merluza (Brandhorst, 1959 a).

* Dirección: 282 Bremen - Farge, Rekumer Str. 12 - Alemania Federal.

En Mayo-Junio de 1959, los mismos organismos realizaron la Expedición "Agrimar", cubriendo el área costera entre Valparaíso y el Golfo de Arauco con 40 estaciones oceanográficas, con el objeto de aumentar los conocimientos sobre las condiciones físico-químicas especialmente el contenido de oxígeno en los bancos pesqueros de la merluza (*Merluccius gayi gayi*). Los resultados comprobaron la existencia de una corriente submarina (Brandhorst, 1959 b-c; 1963 a-b; Wooster y Gilmartin, 1961), previamente mencionada por Gunther (1936), que fluye por debajo de la termoclina a lo largo del litoral peruano y chileno, transportando agua de bajo contenido de oxígeno hacia el Sur (Corriente de Gunther).

Con estos resultados el autor planificó una investigación de mayor envergadura entre Coquimbo y la Isla de Chiloé con 14 perfiles perpendiculares a la costa de una extensión máxima de 120 millas de ella. La Armada Nacional se interesó en el proyecto y a través del entonces Departamento de Navegación e Hidrografía, adaptó la corbeta "Chipana" para este tipo de trabajo. Con la ayuda instrumental y financiera de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y otras instituciones interesadas en la investigación oceanográfica y la participación de 10 científicos y técnicos de las Universidades de Chile y de Concepción, y de los Departamentos de Navegación e Hidrografía (Armada Nacional) y de Fomento de Pesca y Caza, se llevó a cabo la Expedición "Marchile I", en el periodo del 20 de Febrero al 29 de Marzo de 1960, cubriendo el área entre Coquimbo y la Isla de Chiloé, con 114 estaciones oceanográficas.

Todos los antecedentes de esta Expedición, incluyendo una descripción de la embarcación y su equipo, el itinerario del crucero, la organización del trabajo y el personal participante fueron publicados (anon., 1960; Sievers, 1960), como también los datos físicos (Brandhorst *et al.*, en prensa) y algunas partes de los resultados biológicos (Fagetti y Fischer, 1964; Brandhorst, 1965; Hartmann-Schöder y Hartmann, 1965; Kramp, 1966; Fagetti, 1967; Björnberg, en prensa).

El presente trabajo incluye la descripción de las condiciones oceanográficas con especial referencia a la Corriente de Humboldt, la surgencia a lo largo de la costa y a la Corriente Submarina de Gunther. Algunos resultados resumidos de la Expedición "Chiper", están incluidos en este informe como información complementaria, ya que este crucero fue efectuado un mes posterior a la Expedición "Marchile I", por la Oficina Hidrográfica de la Marina de los Estados Unidos de Norteamérica y cubre el área entre 15° y 37° S hasta 250 millas de la costa (Andersen, 1962). Durante esta Expedición se ocuparon a lo largo de 9 perfiles 50 estaciones oceanográficas con espacio entre ellas de aproximadamente 60 millas. Aunque estos datos no permiten un detallado examen de las condiciones costeras, se los utilizaron para describir la circulación general en toda la Zona entre 15° y 45° S (Brandhorst e Inostroza, 1965).

2. DATOS Y METODOS

El presente informe está basado mayormente en los datos de la Expedición "Marchile I", incluyendo los datos superficiales de temperatura y salinidad habitualmente obtenidos en las estaciones batitermográficas (Brandhorst *et al.*, en prensa). Además se utilizó una parte de los datos de la Expedición "Chiper" (Andersen, 1962) y tres gráficos publicados por Brandhorst e Inostroza (1965). El track y las posiciones geográficas de las estaciones de la Expedición "Marchile I" y "Chiper", se encuentran en las figuras 1 y 2, respectivamente.

Para cada estación se confeccionó la curva T-S en papel especial con red de anomalía termoestérica según el método de Montgomery y Wooster (1954). De estos gráficos se leyeron las profundidades y las diferentes propiedades físicas para construir los perfiles verticales, utilizando también los valores superficiales de temperatura y salinidad obtenidos en las estaciones batitermográficas intermedias de las estaciones oceanográficas.

Al dibujar la topografía geopotencial de la superficie del mar en base a los datos de la Expedición "Marchile I", se eligió como nivel de referencia el de 500 db, utilizando los valores computados, por el NODC, Washington. Los valores de las estaciones costeras que no alcanzaron una profundidad de 500 metros fueron extrapolados de las estaciones vecinas. Como constatado en el Informe de Datos (Brandhorst *et al.*, en prensa), todos los valores más profundos de 500 metros fueron excluidos por posibles errores en la determinación de las profundidades debido a fallas frecuentes del único termómetro no protegido disponible. Esto imposibilitó la determinación del flujo geostrofico de la Corriente de Gunther y se utilizó entonces el método de "análisis isentrópico", esencialmente independiente de la profundidad, reemplazando la densidad del agua por la anomalía termoestérica.

La importancia de la mezcla lateral a lo largo de superficies de densidades constantes fue propuesta por Rossby (1936), discutida por Montgomery (1937) y aplicada por Montgomery (1938) y por Reid (1965) en su monografía sobre las aguas Intermedias del Pacífico. La suposición que el flujo y la mezcla lateral ocurren principalmente a lo largo de superficies de densidad potencial constante y no transversal a ellas, está generalmente aceptada, y que el movimiento del agua, teniendo propiedades físicas características, formaría entonces en estos niveles distribuciones de ellas que indican el flujo. Este tipo de análisis se aplicó en la descripción de la Corriente de Gunther y la extensión del Agua del Mínimo de Salinidad Superior, reconociéndose las limitaciones de este método (Defant, 1961). En vez de usar superficies de constantes volúmenes específicos po-

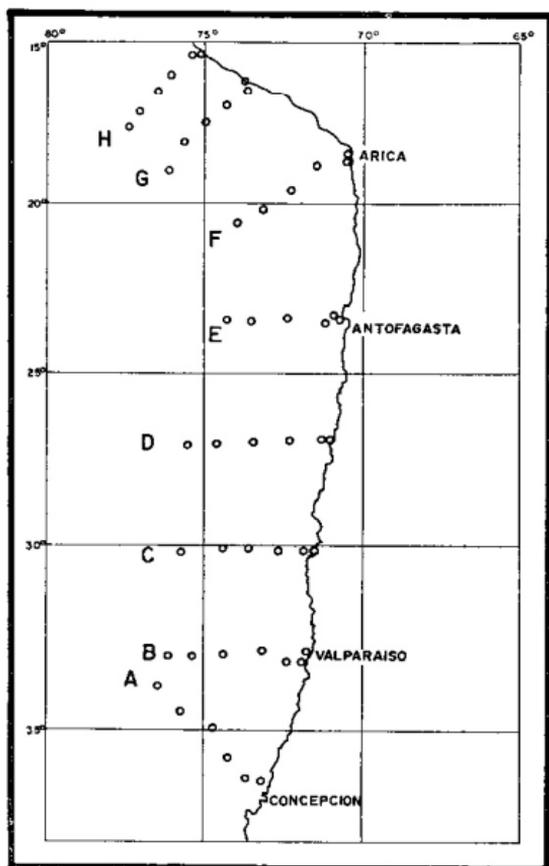


Fig. 2.— Las posiciones de las estaciones oceanográficas de la Expedición "Chiper".

tenciales se utilizaron superficies de anomalía termoestérica (ΔT) constante (niveles isanostéricos, Montgomery y Wooster, *op. cit.*), las cuales se aproximan muy cerca de los valores de volúmenes específicos y simplifican el procesamiento de los datos apreciablemente.

El contenido de oxígeno, especialmente en relación a la Corriente de Gunther y su influencia sobre la pesca, es un factor muy importante de la región, pero debido a posibles errores en su determinación, los valores de oxígeno no fueron incluidos en el Informe de Datos (Brandhorst, *et al.*, en prensa), y se utilizaron en este trabajo solamente los valores mínimos asociados con la Corriente de Gunther. Los errores absolutos en el rango de 1,00 a 0,25 ml/l correspondían aproximadamente a 0,10 a 0,03 ml/l y existiendo una conformidad general en la distribución de los valores mínimos con el flujo de la Corriente de Gunther, se graficó la distribución de los valores mínimos (Figuras 55 c y 58). Todos los datos de oxígeno están incluidos en las hojas originales de NODC, los cuales fueron facilitados por el Instituto Hidrográfico.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

3.1. Condiciones Meteorológicas

Las condiciones meteorológicas en Chile dependen de tres centros de acción: el Anticiclón del Pacífico Sur, teniendo su centro al noroeste de las Islas de Juan Fernández, la Depresión del Extremo Sur, con su centro al sur de Tierra del Fuego y la Depresión Continental, que se desarrolla especialmente en el verano en las zonas norte y central del país. Un resumen del régimen meteorológico y su importancia para la pesca de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte del país fue publicado por Brandhorst (1964) y Brandhorst *et al.* (1968).

De mayor influencia para las condiciones meteorológicas en la zona norte y central de Chile es el Anticiclón del Pacífico que regula la acción de los otros. En el promedio, su centro tiene un movimiento de traslado, NE a SW en verano y SW a NE en invierno. Con este traslado del Centro del Anticiclón hacia el sur, en verano, está asociado un avance de la Depresión Continental por el norte y el cierre del paso a las depresiones, por el sur. Al hacer el movimiento contrario en invierno rechaza a la Depresión Continental hacia el este y deja el paso a las depresiones que llegan por el extremo sur (ano., 1943). Durante ambas expediciones el tiempo en general correspondió a una estable situación estival del Anticiclón que extendió su influencia hacia el sur de 45° S y los vientos predominantes fueron de la dirección SE hasta SW, generalmente con fuerza inferior a Beaufort 5 (Tablas 1 y 2). Solamente en el último corte (XV) de la Expedición "Marchile I", planeado frente al sur de la Isla Chiloé, el viento de dirección SW aumentó a más de Beaufort 9-10 lo que dificultó los trabajos y, en consideración del riesgo de perder valioso instrumental prestado, se eliminó este último corte.

Las Tablas 1 y 2 permiten apreciar las condiciones del viento durante las estaciones. Durante ambas expediciones los vientos predominantes de las direcciones SE a SSW favorecieron la surgencia a lo largo de todo el litoral.

TABLA 1.— Dirección y fuerza (Beaufort) del viento encontrado durante las estaciones de la Expedición "Chiper". Secciones generalmente perpendiculares a la costa (A en 35° S, H en 16° S, aproximadamente). Estaciones en orden de la costa hacia el mar (Figura 2):

ESTACION:	7	6	5	4	3	2	1
Sección:							
H		WSW-4	SE-3	S-4	S-2	SE-4	SE-4
G		SSE-3	SE-3	E-4	E-3	SE-3	ENE-3
F		S-2	S-3	SSW-2	SE-2	SSE-3	SSE-2
E		SSW-4	SW-2	SSW-1	S-2	E-4	ESE-3
D		S-5	S-4	S-3	SSW-2	S-2	S-2
C		SE-3	S-2	S-4	WSW-2	WSW-2	WSW-3
B	SSW-5	S-5	S-3	S-4	S-4	SW-5	SW-5
A		S-4	SSE-4	SSE-3	SE-2	SE-2	SE-2

3.2. Distribución superficial de las masas de agua

El sistema de la Corriente de Perú-Chile o de Humboldt es parte de la gran circulación centrada alrededor de la célula Oriental del Anticiclón del Pacífico Sur. Los fuertes vientos del Oeste en las latitudes altas empujan el agua superficial hacia la costa chilena, donde una parte es deflectada hacia el norte y transportada a lo largo de la costa por los vientos de las direcciones sur, cambiando gradualmente, en su camino hacia el Perú, sus características por calentamiento, precipitaciones y mezcla con agua menos salina y luego por evaporación, advección de agua más salina del oeste y procesos de surgencia de aguas sub-superficiales de diferentes orígenes. En la superficie de la zona considerada se puede distinguir por su relación T-S diferentes tipos de agua. La clasificación dada aquí podría parecer demasiado detallada pero para las subsiguientes investigaciones oceanográfico-pesqueras en la zona costera era muy útil (Brandhorst y Rojas, 1966, 1967, 1968; Brandhorst y Cañon, 1967).

3.2.1. Agua Temperada del Pacífico Sur

Wyrтки (1965) llamó a la parte norte del Agua Subantártica, con temperaturas superiores a 10°C y salinidades inferiores a 34.5‰, Agua Temperada del Pacífico Sur, lo cual es típico para la zona del clima temperado. Por razones expuestas (en Sección 4) hemos tratado separadamente el Agua Propia de los Canales y Mezcla de Agua Fluvial (en la nomenclatura de Wyrтки ellas están incluidas en el Agua Temperada) y como valor límite hemos usado 34.4‰.

En la parte sur y oeste de la zona cubierta por la Expedición "Marchile I" (Figuras 3 y 4), fue observado agua con temperaturas superiores a 15°C y salinidades inferiores a 34.4‰. Esta Agua Temperada del Pacífico Sur en el sentido más restringido se caracterizó, entre los paralelos 33° y 44° S, por temperaturas entre aproximadamente 15° y 19° C, y salinidades de 33.5 y 34.4 ‰ y se ha extendido en forma de lengua hacia el norte entre agua surgida de la Corriente de Gunther frente a Talcahuano, la costa y agua oceánica (sub-tropical), cuya salinidad aumenta hacia el oeste. El

TABLA 2.— Dirección y fuerza (Beaufort) del viento encontrado durante las estaciones de la Expedición "Marchile I". Secciones perpendiculares a la costa (I en 30°S, XIV en 42°S, aproximadamente). Estaciones en orden de la costa hacia el mar. (Figura 1).

ESTACION:	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Sección:												
I	S-4	SSW-5	SSE-5	SSW-4	SSE-2	SSW-1	S-2	0	0	0	0	NW-1
II					S-4	S-5	S-4	S-2	ESE-1	S-2	S-2	SE-1
III					SW3	SSW-3	SSW-3	SSW-3	S-2	SW-2	0	SSW-2
IV					SSW-1	SE-2	SSW-1	SSW-1	0	SE-1	SE-1	SW-2
V					SSW-3	S-2	SW-3	SSW-3	SSW-3	SSW-1	SSW-2	SW-2
VI					S-2	S-2	S-2	S-2	SSW-2	SW-2	0	SSW-4
VII					S-1	S-1	S-1	S-1	SW-2	SW-2	SW-3	S-5
VIII					SW-2	S-2	SW-2	S-6	S-4	S-4	SSW-4	0
IX					S-3	S-3	S-3	SSW-3	SSW-4	SSW-5	SSW-5	SSW-5
X					S-4	S-3	S-4	S-4	S-3	SSW-3	SSW-3	S-2
XI					0	0	0	0	SW-1	N-1	N-1	N-1
XII					S-2	S-2	S-2	N-1	0	0	0	0
XIII					S-3	S-3	S-3	S-3	S-5	S-4	S-3	S-1
XIV					NNW-2	NE-3	NE-3	NE-3	NE-1	NE-1	0	0

gradiente de la temperatura y la salinidad desde la costa hacia el oeste fue considerable, y la extensión de masa de agua de menor salinidad (Agua de los Canales), llegando de la región de los canales al sur de Chiloé, parece tener importancia para mantener esta distribución (Sección 3.2.2.).

El Agua Temperada fue, en una parte sustancial de la región estudiada, separada de la costa y aquí influenciada por aguas de la surgencia. En su camino hacia el norte, la salinidad se aumenta por evaporación y advección de agua más salina del oeste, llegando frente a Valparaíso a una salinidad superior a $34.40^{0/00}$ (Figura 4). La salinidad y la temperatura siguieron aumentando hacia el norte y el Agua Temperada se transforma sucesivamente en Agua Subtropical Superficial, alcanzado en 18°S valores superiores a 25°C y $35.5^{0/00}$ (Figuras 5 y 6). La extensión de una lengua de menor salinidad manifestó un flujo superficial hacia Arica en una distancia de la costa entre 180 millas (frente a Caldera) y 120 millas (frente a Arica).

3.2.2. Agua propia de los canales

Un razgo conspicuo en la distribución de la salinidad con valores inferiores a $33.50^{0/00}$ se extendió en forma de lengua frente a la Isla de Chiloé. Aparentemente esta agua salió parcialmente del Golfo de Corcovado y de las regiones de los canales del Sur, caracterizadas por sus bajas salinidades, debidas al deshielo y la lluvia. En la capa superficial, entre las Islas Chiloé y Guafo el valor mínimo fue inferior a $32.6^{0/00}$ y se observaron, entre Chiloé y el continente, y también en el Golfo de Ancud, salinidades entre 31.8 y $32.2^{0/00}$. En su camino hacia el norte esta agua formó parte de la circulación general.

3.2.3. Mezcla con Agua Fluvial

Aunque en el Pacífico desembocan importantes ríos que llevan grandes cantidades de agua también durante el verano, su importancia al norte de Chiloé fue diminuta para la distribución de la salinidad durante la época de estudio. Solamente cuando se ocuparon estaciones muy cerca de las desembocaduras se notó una disminución de la salinidad en la capa superior, como por ejemplo, al norte del río Valdivia (menor de $33.30^{0/00}$) y del río Maule (menor de $34.00^{0/00}$). Durante la Expedición "Agrimar", con una red más densa de estaciones cerca de la costa, se observó con más frecuencia la influencia local del agua de los ríos dentro de 5 millas de la costa y hasta profundidades entre 10 y 20 metros (Brandhorst, 1963 a).

3.2.4. Agua Ecuatorial Sub-superficial (Corriente de Gunther)

La Corriente Submarina de Gunther en su camino hacia el sur trae agua de origen Ecuatorial Sub-superficial (Wyrтки, 1963, 1965), que se caracteriza por altas salinidades y un contenido bajo de oxígeno. En todos los perfiles perpendiculares a la costa (Sección 3.4), se nota la posición de la Corriente de Gunther y según la topografía del fondo e intensidad de la surgencia, la parte superior del agua de esta corriente surge exponiendo a la superficie agua de salinidad más alta y un contenido de oxígeno bajo (Brandhorst, 1965, 1966; Brandhorst y Rojas, 1967, 1968; Brandhorst *et al.*, 1968).

Durante la Expedición "Marchile I", se encontró un centro de fuerte surgencia extendido entre los paralelos $35^{\circ} 30'\text{S}$ y 38°S , donde el agua de la Corriente de Gunther cubrió una extensión de aproximadamente 120 por 30 millas y llegó a alcanzar, cerca de la costa, una salinidad superior a $34.4^{0/00}$ y una temperatura inferior a 13°C (Figuras 3 y 4). También más al sur, en 41° y 42°S , se notó que las más altas salinidades de la zona coincidieron con las más bajas temperaturas ($10-12^{\circ}\text{C}$). Otra zona de surgencia de esta agua a algunas millas fuera de la costa se manifestó al norte de 39°S con salinidades ligeramente más altas y temperaturas bajas ($14-15^{\circ}\text{C}$).

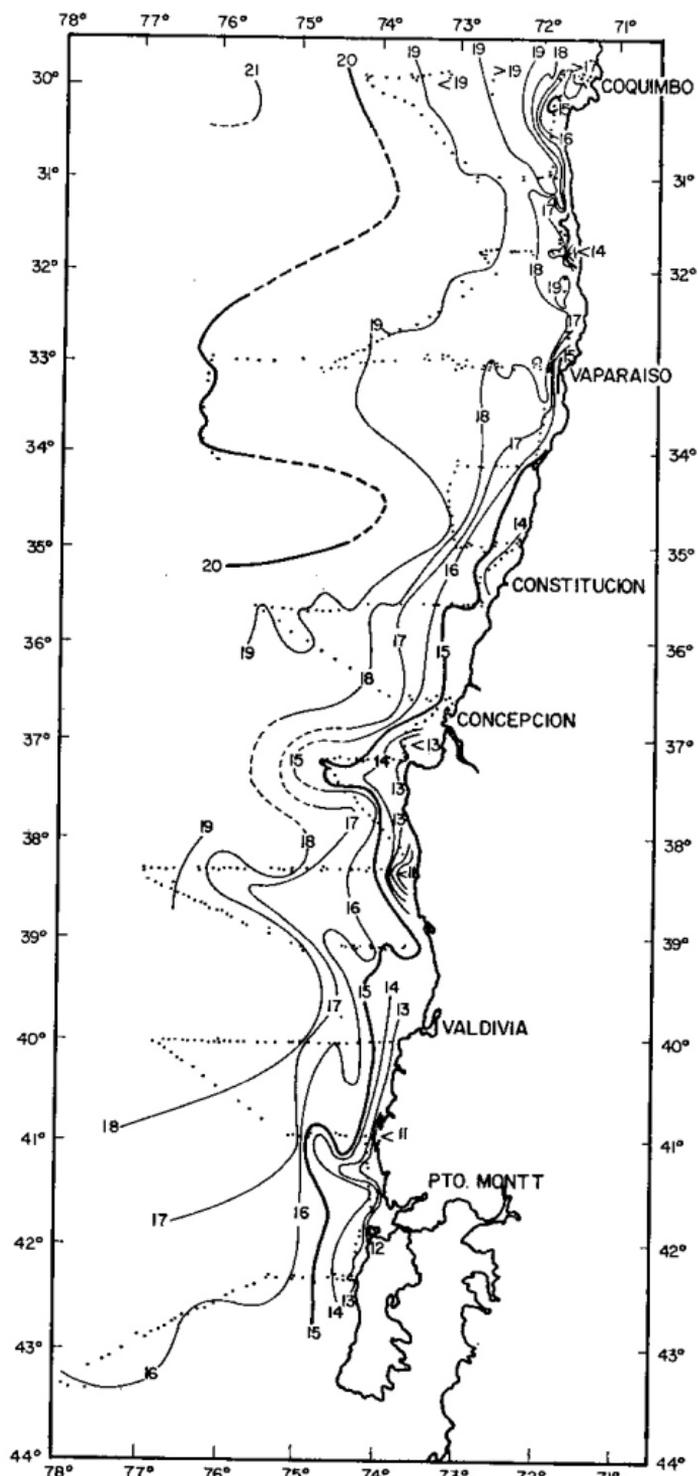


Fig. 3.— Distribución de temperatura superficial (°C) en base a datos de la Expedición "Marchile I", con datos complementarios de la Expedición "Chiper". (Según Brandhorst, 1963).

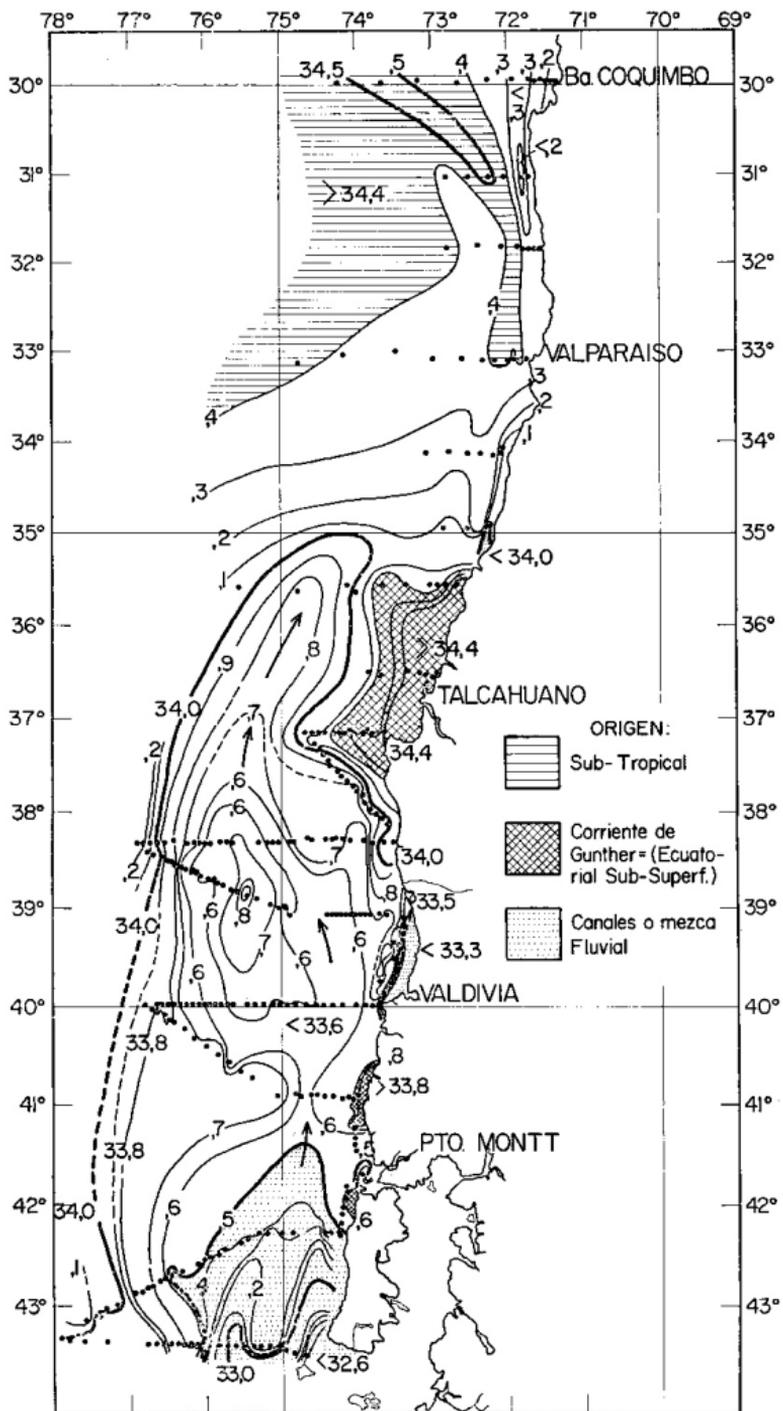


Fig. 4.— Distribución de salinidad superficial (‰) en base a datos de la Expedición "Marchile I".

Durante la Expedición "Chiper" se tomaron muestras bastante espaciadas en la zona costera y por esta razón no se puede observar la pequeña franja costera con salinidades superiores. (Figura 6).

3.2.5. Agua del Mínimo Superior de Salinidad

Según las condiciones sub-superficiales en las zonas costeras, por la acción de la surgencia también llega agua del Mínimo Superior de la Salinidad a la superficie. Este mínimo, encontrado generalmente en la capa de la discontinuidad, se forma cuando por evaporación y advección de

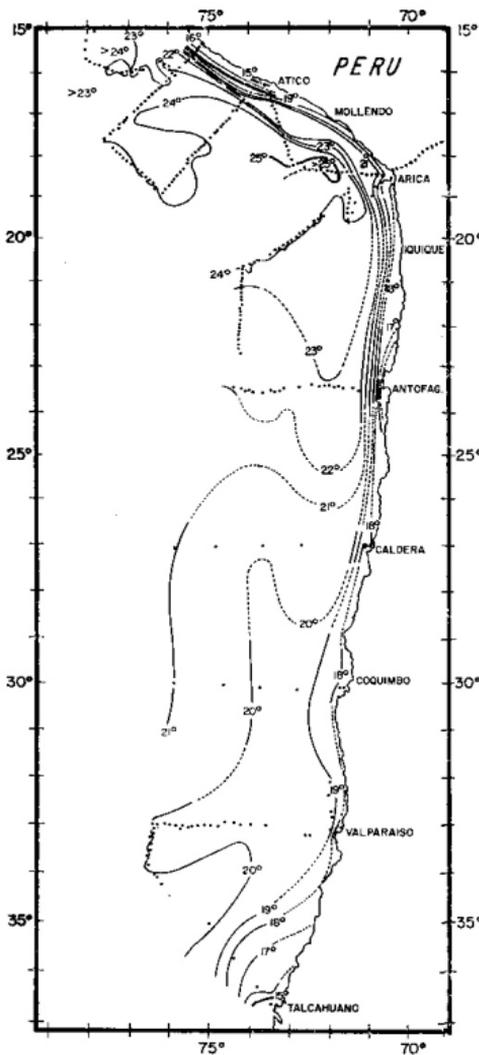


Fig. 5.— Distribución de temperatura superficial (°C) en base a datos de la Expedición "Chiper". (Según Brandhorst e Inostroza, 1965)

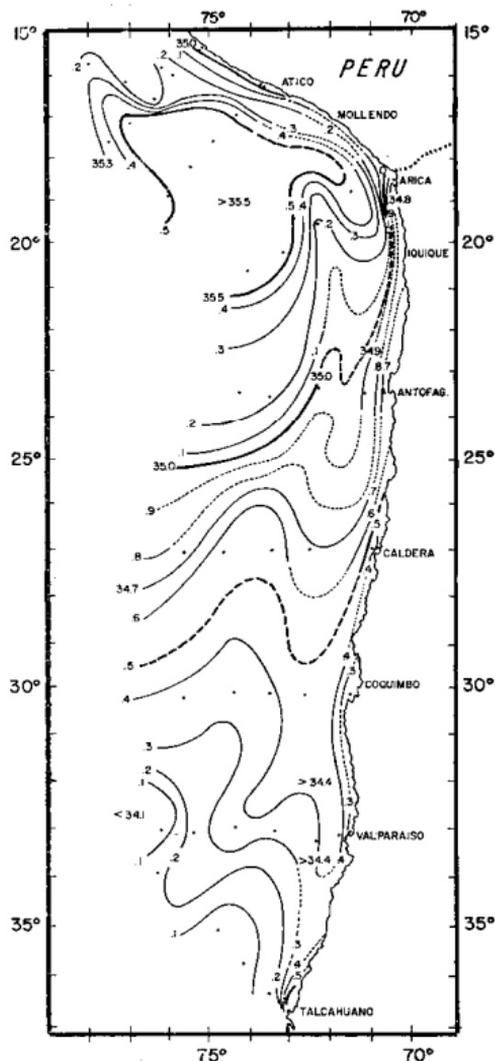


Fig. 6.— Distribución de salinidad superficial en base a datos de la Expedición "Chiper". (Según Brandhorst e Inostroza, 1965).

agua más salina del oeste, la salinidad de la capa superficial del Agua Temperada aumenta durante la presencia de una termoclina estacional en verano (Wyrтки, 1965).

Durante las expediciones descritas, este mínimo sub-superficial de salinidad del Agua Temperada se extendió desde 36°S. hasta el sur del Perú. Con frecuencia se observa en las regiones costeras al norte de Chile y sur de Perú, la surgencia de este tipo de agua, algunas millas afuera de la costa, separada de ella por agua más salina del origen de la Corriente de Gunther de un nivel más profundo (Sección 3.6). Estos detalles en la distribución de la salinidad se observaron solamente con una red de estaciones relativamente densa durante los cruceros oceanográfico-pesqueros en el norte de Chile (Brandhorst, 1964; Robles, 1966). Durante la Expedición "Marchile I", se notó este fenómeno entre Coquimbo y Valparaíso en una zona de salinidades superficiales inferiores a 34.20/00 a 10 millas de la costa (Figura 4).

3.2.6. Agua Sub-tropical

Según la definición de Wyrтки (1965), cuando el Agua Temperada llega, durante el curso de su transformación, a una salinidad de 35.00/00 ó superior, se llama Agua Sub-tropical. Durante la Expedición "Chiper" los límites de esta agua se encontraron en el paralelo de 25°S, acercándose a la costa frente a Antofagasta a una distancia de aproximadamente 150 millas y frente a Iquique y Arica a unas 20 a 30 millas (Figura 6). En el verano de 1965 el Agua Sub-tropical llegó, en la zona entre 20 y 23°S, hasta una distancia de 10 millas de la costa (Brandhorst *et al.*, 1968).

Se observó que una parte de ella se extendió en forma de lengua hacia el sur en una distancia de aproximadamente 100 millas de la costa. En las Expediciones "Marchile I" y "Chiper" se observó esta lengua frente a Coquimbo con temperaturas entre 19° y 20° C y salinidades entre 34.44 y 34.56/00, respectivamente. Esta lengua avanzó a Valparaíso, manifestándose en 31°S a una distancia de 10 a 30 millas de la costa con valores superiores a 34.40/00. (Figuras 3 a 6).

3.3. La Circulación Superficial

Gunther (1936) y Wyrтки (1963) distinguen en la circulación superficial frente a Perú, una Corriente Costera coincidiendo aproximadamente con la región del agua de la surgencia y una Corriente Oceánica más al oeste. Ambas tienen la misma dirección hacia el noroeste y están usualmente separadas durante los meses de noviembre a marzo por una contracorriente parcialmente sub-superficial con un flujo irregular durante abril a junio. Wyrтки observó esta contra-corriente frente a Antofagasta a una distancia de 500 kms. de la costa.

La Corriente Costera está influenciada por la configuración de la costa, formando remolinos y contra-corrientes locales cuando su flujo está impedido por puntos salientes del litoral (Gunther, 1936). Un fenómeno semi-permanente en la costa norte de Chile parece ser una contracorriente costera a una distancia de 20-30 millas de la costa, asociada aparentemente con la surgencia a lo largo de una línea de divergencia a unas 20 millas de la costa, manifestándose también en un mínimo de salinidad superficial, como observado por Brandhorst *et al.* (1968), y Brandhorst y Rojas (1968).

3.3.1. Topografía Geopotencial de la Superficie del Mar

La lengua de agua de origen Sub-tropical (Sección 3.2.6) observada durante la Expedición "Chiper", es asociada con una débil contracorriente hacia el sur como indica la topografía geopotencial de la superficie del mar relativa a 1.000 db., en la Figura 8. La contra-corriente se restringió a una franja de 60 millas y se extendió parcialmente a profundidades su-

periores a 100 metros, llegándose, durante la Expedición "Chiper", hasta por lo menos Talcahuano. Durante la Expedición "Marchile I", se observaron giratorios e irregularidades en la topografía geopotencial de la superficie (relativa a 500 db.) con un flujo interrumpido al sur hasta Valparaíso (Figura 7). Esta circulación, como inferida de los datos de "Marchile I" y "Chiper", correspondió generalmente a la distribución superficial de la salinidad (Figuras 4 y 6).

3.3.2. Distribución Superficial de la Anomalia Termoestérica

La distribución de la anomalía termoestérica en la superficie del mar demuestra la inclinación de las superficies isanostéricas y los valores bajos encontrados a lo largo de la costa indican la surgencia (Figura 9).

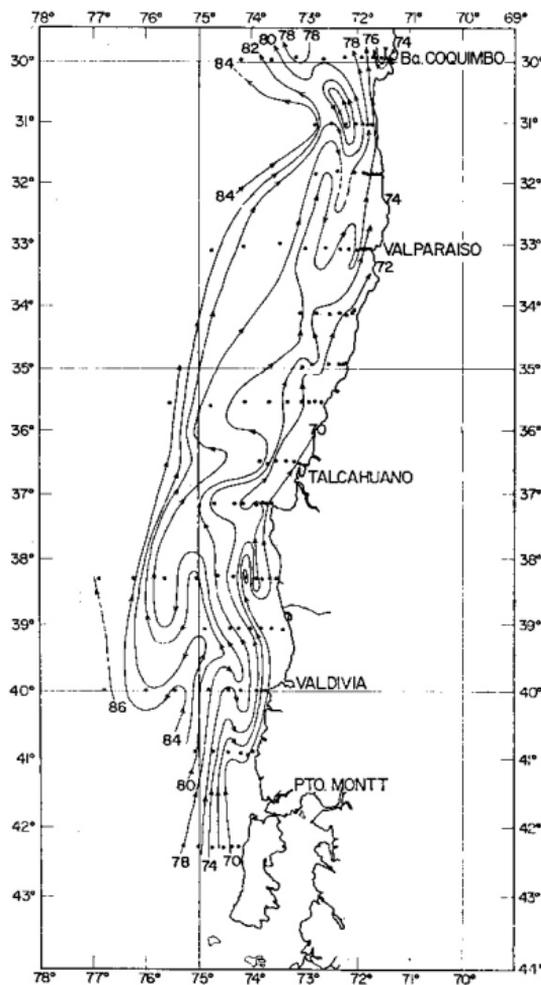


Fig. 7.— Topografía geopotencial de la superficie del mar relativa a 500 db. en centímetros dinámicos, en base a los datos de la Expedición "Marchile I".

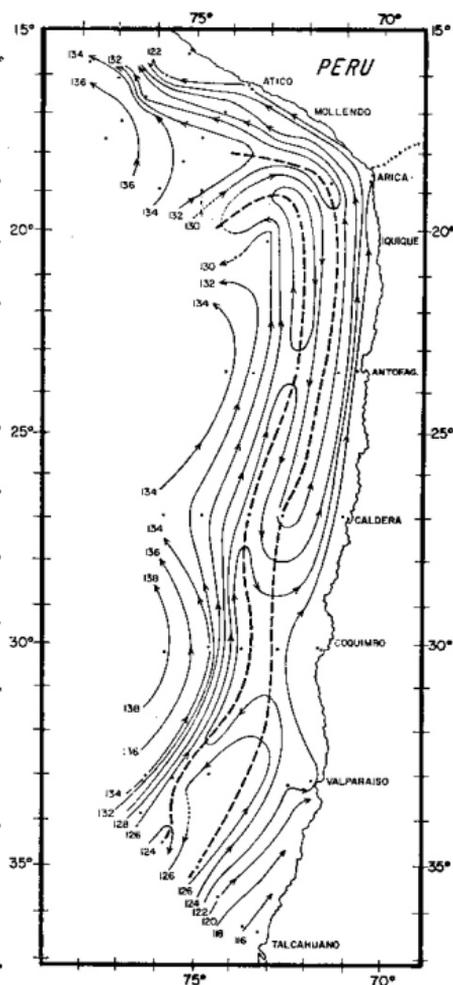


Fig. 8.— Topografía geopotencial de la superficie del mar relativa a 10000 db. en centímetros dinámicos, en base a los datos de la Expedición "Chiper". (Según Brandhorst e Inostroza, 1965).

Para delimitar la región influenciada fuertemente por la surgencia se usó la isanostere de 300 cl/ton., que corre a lo largo de la costa a una distancia que varía de 10 a 60 millas de ella. Una surgencia muy intensa fue indicada por los valores costeros inferiores a 200 cl/ton. al sur de Talcahuano. Los valores altos al norte de Valdivia resultaron de agua de mezcla fluvial.

3.4. Distribución Vertical de Factores Físicos entre 15° y 42°S durante Febrero-Abril de 1960.

A continuación se describen las condiciones de temperatura, salinidad y anomalía termoestérica en la capa entre 0 y 500 metros. Una descripción detallada de los resultados de la Expedición "Chiper", cubriendo un área entre 15° y 37°S, fue publicada por Brandhorst e Inostroza (1965) y aquí se incluye solamente un resumen breve. En esta última expedición se puso énfasis en cubrir un área grande para poder describir la circulación general sin entrar en detalles costeros. En cambio, la Expedición "Marchile I" fue planificada para estudiar las condiciones costeras para describir la Corriente de Gunther y posibles relaciones entre el contenido de oxígeno de esta Corriente y la pesca de merluza (*Merluccius gayi*).

3.4.1. Resumen de los Resultados de la Expedición "Chiper" (15°-37°S)

En toda la zona entre 15° y 37°S se observa una fuerte termoclina entre la superficie y los primeros 60 metros de profundidad, con un declive desde la costa hacia el oeste, disminuyendo el gradiente vertical de la termoclina en la misma dirección. Una intersección de la termoclina con la superficie, indicando una fuerte surgencia, se observa a lo largo de la costa, generalmente en una zona entre ésta y unas 40 millas afuera.

En cruceros de verano posteriores (Brandhorst *et al.*, 1968) se observó mediante una densa red de estaciones, que la surgencia más fuerte ocurre por lo general a una distancia entre 10 y 30 millas de la costa, a lo largo de una zona de divergencia asociada con una contra-corriente, la cual tiene mucha importancia para los eco-sistemas de la región, como por ejemplo en la fase embrional y larval de la anchoveta.

Cerca de la costa, en profundidades medianas, el máximo valor de la salinidad, coincidiendo con el mínimo de oxígeno, caracteriza el área de la Contra-corriente Submarina de Gunther en todos los perfiles y en los más al sur se observa también una inversión de temperatura relacionada con esta corriente, que es todavía más notable en los perfiles de la Expedición "Marchile I". Por ser las estaciones muy espaciadas no se puede observar cerca de la costa la deflexión de las isoterms e isanosteres en profundidades medias hacia abajo, otra indicación de la Corriente de Gunther, encontrada generalmente en la zona norte durante los cruceros posteriores mencionados.

El agua del Mínimo Superior de Salinidad formándose del Agua Templada (Sección 3.5.1.), fue encontrada generalmente o inmediatamente por debajo de la termoclina y frente a Talcahuano demostró valores alrededor de 34.0°/∞.

En todos los cortes, entre 500 y 1.300 metros, se observan valores inferiores a 34.6°/∞, indicando el Agua Intermedia del Pacífico. (Sección 3.5.3).

3.4.2. Resultado de la Expedición "Marchile I" (30° a 42° S)

Durante la Expedición "Marchile I" se efectuaron 114 estaciones a lo largo de 14 cortes, entre Coquimbo y la isla de Chiloé. En base a estos datos se dibujaron las distribuciones verticales de temperatura (°C), salinidad y anomalía termoestérica (cl/ton.), entre la superficie y 500 metros de profundidad.

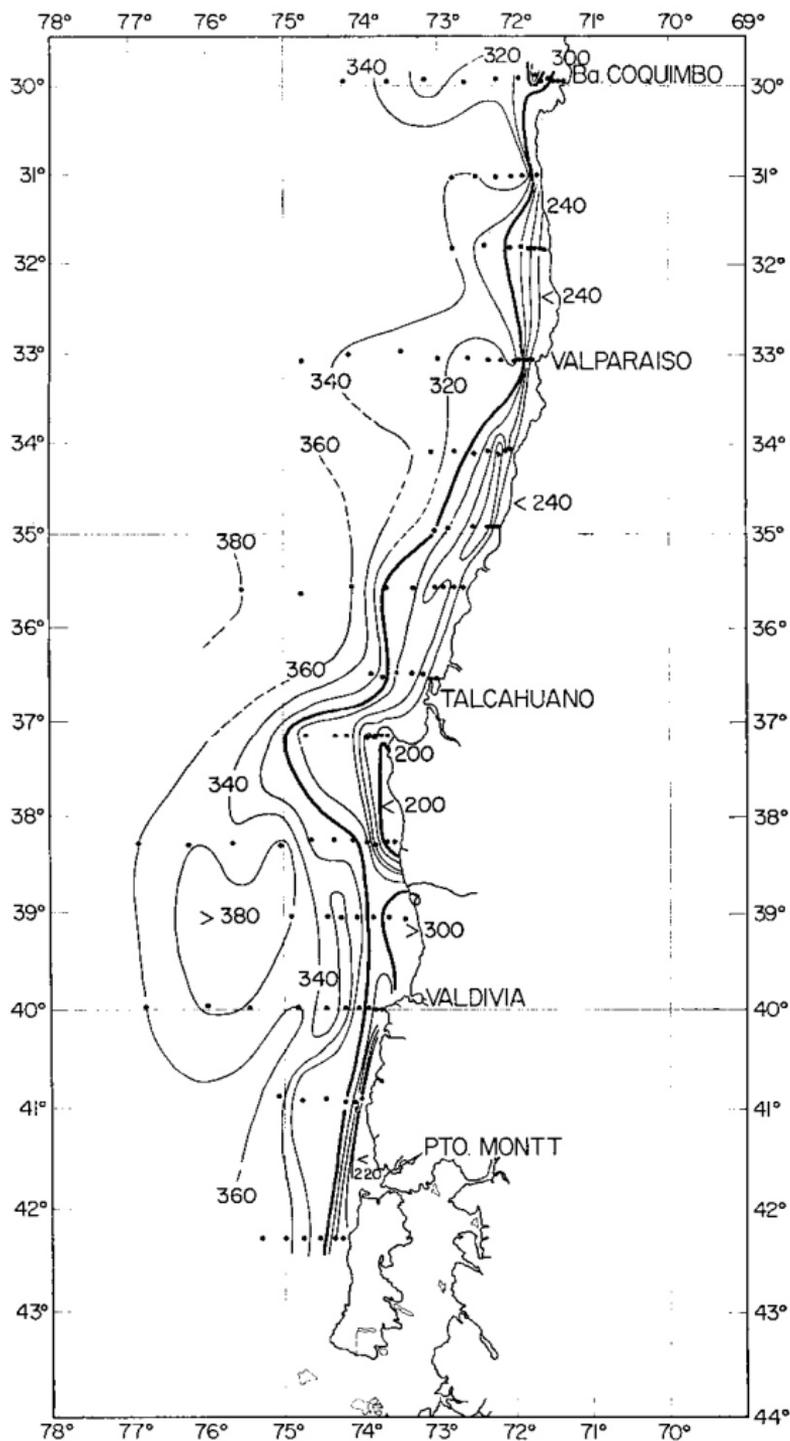


Fig. 9.— Distribución superficial de la anomalía termostérica (°C/ton) en base a los datos de la Expedición "Marchile I".

CORTE I, extendiéndose a lo largo de las estaciones 1 a 12, desde la costa a 150 millas de distancia de ella, fue realizado entre el 21 y 23 de febrero de 1960. La distribución vertical de la temperatura (Figura 10), demostró una surgencia intensa en la estación 6, unas 18 millas de la costa, donde la isoterma de 15°C subió hasta pocos metros por debajo de la superficie del mar y las de 17° y 16°C intersecaron con ella.

De la distribución vertical de salinidad (Figura 11), se puede concluir, por sus valores inferiores a $34.2^{\circ}/\text{oo}$, que agua originada del Mínimo Superior surgía a la superficie. La anomalía termoestérica de 275 c/ton. encontrada aquí (Figura 12), corresponde al valor más bajo observado en la superficie. Al este de la estación 6, la capa de discontinuidad se concentra más y fue elevada hasta pocos metros por debajo de la superficie. Se restringió a solo 10 metros de espesor con gradientes fuertes (mayor 0.5°C/m. y mayor 20 c/ton./m).

Por debajo de esta zona entre 4 y 20 millas de distancia de la costa, se encontró una inversión de temperatura, variando en su posición entre 15 y 100 metros de profundidad (rayado en Figura 10). También en la estación 11, a 120 millas de la costa, se registró la inversión. Este fenómeno conspicuo se manifestó a lo largo de todo el litoral, ocurriendo entre las temperaturas 11° y 12°C en la parte norte de la zona estudiada, desplazándose hacia el sur a temperaturas entre 9° y 10°C sucesivamente. Esta inversión, asociada con el límite superior del agua de la Corriente de Gunther de origen ecuatorial y ligeramente más cálida y el límite inferior del Agua Temperada de origen subantártida, se observó regularmente encima de aquellas zonas con salinidades altas, donde el gradiente de salinidad se presenta muy fuerte.

En este perfil el flujo de la Corriente de Gunther hacia el sur, se manifestó por la inclinación hacia abajo de las isotermas e isanosteres frente a la costa en 150 a 300 metros.

En el núcleo de la Corriente de Gunther pegado a la costa se observaron con regularidad altas salinidades (mayor $34.8^{\circ}/\text{oo}$) y un contenido de oxígeno muy bajo, el cual en este corte llegó a un valor inferior a 0,1 ml/l. Hacia el sur los valores de salinidad disminuyen y el contenido de oxígeno aumenta a valores aproximados de $34.4^{\circ}/\text{oo}$ y 0,9 ml/l, respectivamente, en el último perfil.

CORTE II, consiste en las estaciones 13 a 19, que fueron realizadas en los días 24 y 25 de febrero de 1960. La surgencia indicada por la inclinación de las isotermas (Figura 13), isohalinas (Figura 14) e isanosteres (Figura 15), se observó entre la costa y 5 millas afuera de ella. También aquí se encontró agua con bajos valores de salinidad en la superficie, derivada del Mínimo Superior, la cual llegó a valores inferiores a $34.0^{\circ}/\text{oo}$ en estación 15.

La inversión de temperatura se observó en las tres estaciones más cercanas a la costa. Salinidades superiores a $34.7^{\circ}/\text{oo}$ asociadas con valores de oxígeno inferiores a 0.2 ml/l fueron observadas junto con una declinación de las isotermas e isanosteres entre 100 y 400 metros, indicando la Corriente de Gunther.

CORTE III, a lo largo de las estaciones 20 a 27, fue efectuado en los días 25 y 26 de febrero. La distribución de temperatura (Figura 16), indicó surgencia en una zona costera de 8 millas de ancho, exponiendo agua con temperaturas inferiores a 14°C a la superficie.

La inversión de temperatura se extendió hasta 40 millas de la costa, correspondiente al límite superior del agua de la Corriente de Gunther (menor 0,2 ml/l O_2 ; $34,7^{\circ}/\text{oo}$), cuyo flujo se puede derivar de la incli-

nación de los isanosteres hacia abajo, entre 200 y 500 metros de la costa (Figuras 17 y 18).

CORTE IV, fue efectuado frente a Valparaíso, entre el 27 y 28 de febrero y está compuesto de las estaciones 28 a 38 (Figuras 19 a 21). La surgencia fue delimitada a las primeras 10 millas de la costa, levantando agua con valores inferiores a $34.3^{\circ}/_{\infty}$, muy cerca de la superficie. El Mínimo de Salinidad alcanzó a valores inferiores a $34.0^{\circ}/_{\infty}$ y agua más salina de origen de la Corriente de Gunther separó dos celdas de ella entre 60 y 70 millas de la costa.

Agua de esta Corriente con salinidades superiores a $34.7^{\circ}/_{\infty}$ y un contenido de oxígeno entre 0,1 y 0,4 ml/l se extendió al oeste hasta 70 millas de la costa con la notoria inversión de temperatura encima, pero no se observó el declive de la isanostere hacia la costa.

CORTE V, formado por las estaciones 40 a 45, fue realizado durante los días 3 y 4 de marzo (Figuras 22 a 24). La surgencia más fuerte fue observada entre 8 y 15 millas de la costa. La inversión de temperatura se restringe a la misma zona y el núcleo con salinidades superiores a $34.7^{\circ}/_{\infty}$ y un contenido de oxígeno alrededor de 0.15 ml/l, se extiende a unas 30 millas de la costa.

CORTE VI, a lo largo de las estaciones 46 y 51 fue llevado a cabo durante los días 4 y 5 de marzo (Figuras 25-27). El declive continental entre 100 y 200 metros es menos precipitado aquí y en los perfiles siguientes y de aquí en adelante el núcleo del agua de la Corriente de Gunther se encontró regularmente frente al borde y más abajo del declive suave, un factor importante para la pesca de arrastre.

La inversión de temperatura se presentó muy extendida encima del agua de la Corriente de Gunther (mayor $34.7^{\circ}/_{\infty}$, menos 0,2 ml/l O₂) y coincide con el fuerte gradiente de salinidad que separa el agua de la Corriente de Gunther con el Agua Temperada. Cerca de la costa se encuentra agua con salinidades bajas, producida por mezcla con agua dulce del Río Itihaca.

CORTE VII, de las estaciones 52 a 60, fue efectuado durante los días 5 a 7 de marzo (Figuras 28 a 30). La termoclina en la parte oeste del perfil se presenta más acentuada que en la franja costera entre 20 y 65 millas de la costa, donde bajo la influencia de la surgencia, las isotermas de 15° a 18°C interseccionaron con la superficie.

En esta región de Agua Temperada el notorio Mínimo Sub-superficial de salinidad está formándose y se observó una lengua superficial de agua con valores inferiores a $33.9^{\circ}/_{\infty}$.

El núcleo de la Corriente de Gunther (mayor $34.7^{\circ}/_{\infty}$; menor 0,2 ml/l) se observó de 20 a 25 millas de la costa entre 150 y 200 metros, donde termina la plataforma continental. Agua con una salinidad de $34.65^{\circ}/_{\infty}$ y un contenido de oxígeno de 0,1 ml/l se observó surgiendo hasta 80 metros de profundidad a 14 millas de la costa. (Fig. 29, estación 54).

CORTE VIII, que consiste en las estaciones 61 a 67, se llevó a cabo durante los días 7 a 8 de marzo (Figuras 31 a 33). La plataforma se presenta más ancha y la indicación de surgencia se observa entre 28 a 40 millas de la costa sobre y al oeste del declive continental (Fig. 33). Agua de la Corriente de Gunther (mayor $34.6^{\circ}/_{\infty}$ S; menor 0,1 ml/l O₂) cubre la plataforma a partir de 100 metros de profundidad. La inversión de temperatura coincide con el límite superior de esta agua y el gradiente de salinidad.

CORTE IX, está formado por las estaciones 68 a 74, las cuales fueron ocupadas el 10 y 11 de marzo (Figuras 34 a 36). Todavía persiste la surgencia en las primeras 25 millas de la costa, y agua de la Corriente de

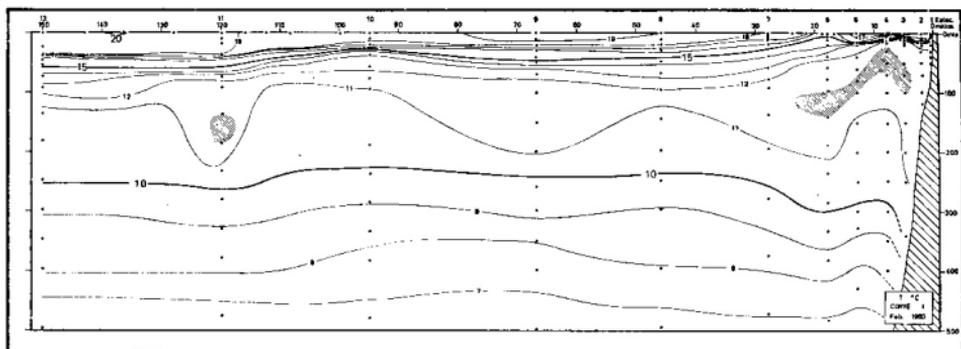


Fig. 10.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre la superficie y 500 metros de profundidad a lo largo del Corte I. Achurado significa inversión de temperatura.

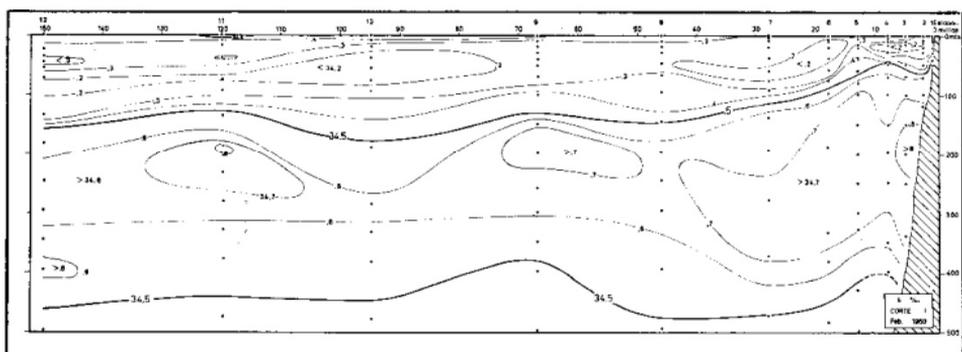


Fig. 11.— Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}\text{‰}$) a lo largo del Corte I.

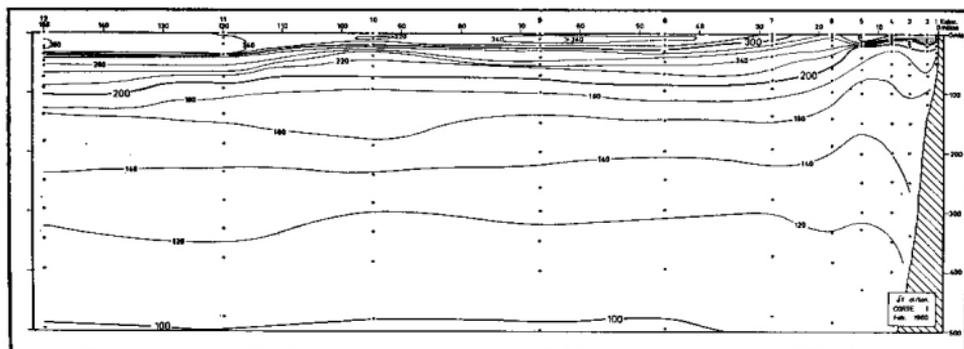


Fig. 12.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cy/ton) a lo largo del Corte I.

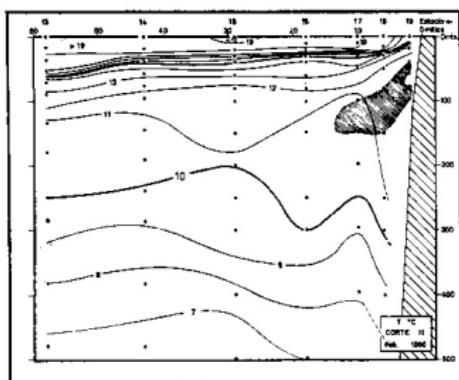


Fig. 13.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte II.

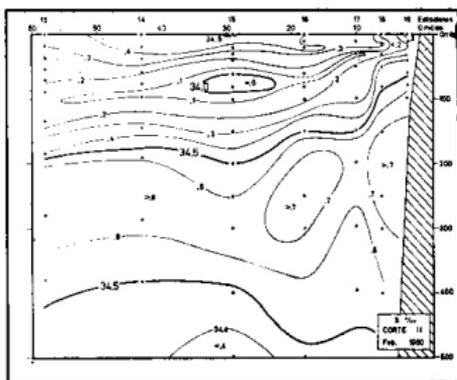


Fig. 14.— Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}/_{\infty}$) a lo largo del Corte II.

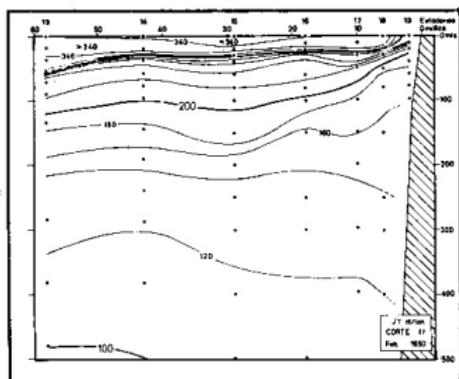


Fig. 15.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte II.

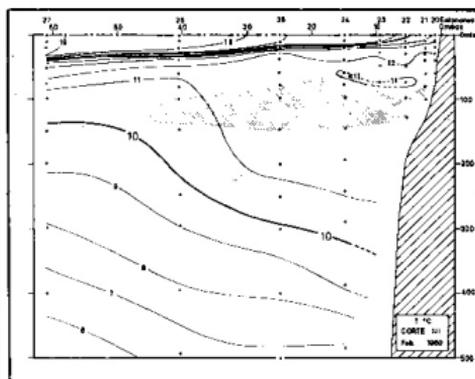


Fig. 16.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte III.

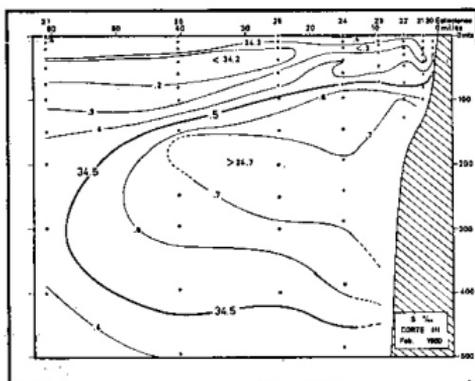


Fig. 17.— Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}/_{\infty}$) a lo largo del Corte III.

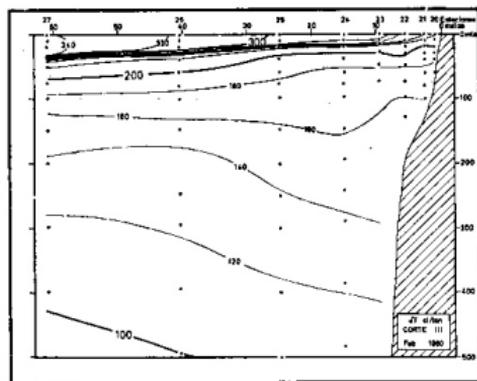


Fig. 18.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte III.

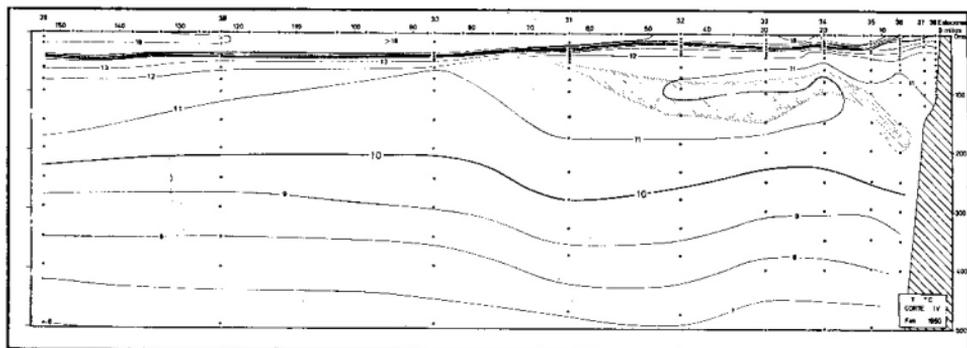


Fig. 19.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte IV.

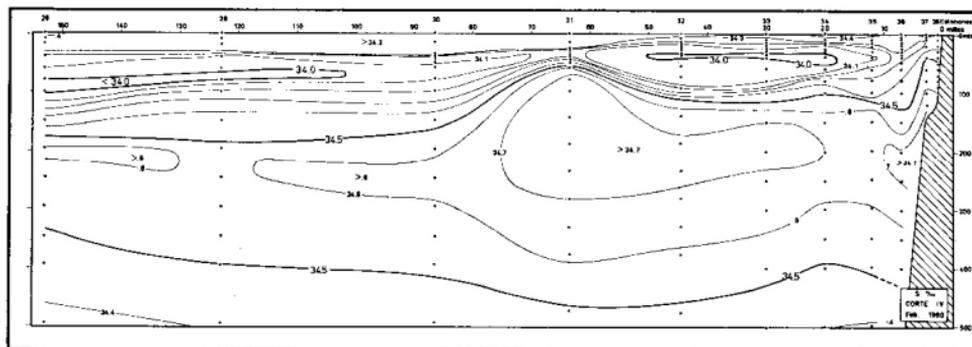


Fig. 20.— Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}/_{\infty}$) a lo largo del Corte IV.

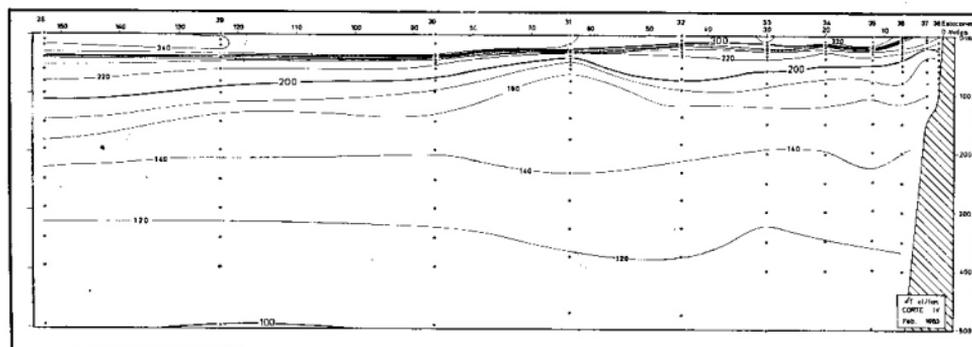


Fig. 21.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte IV.

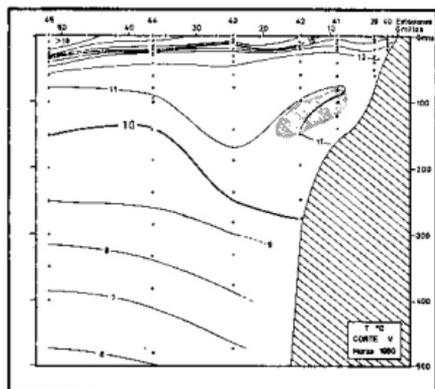


Fig. 22.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte V.

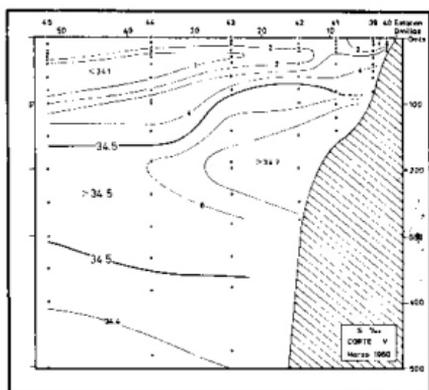


Fig. 23.— Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}/_{\text{00}}$) a lo largo del Corte V.

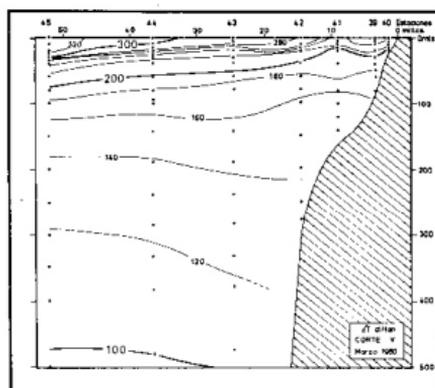


Fig. 24.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte V.

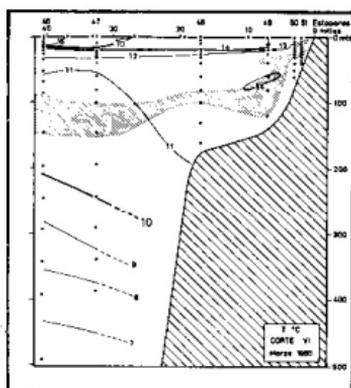


Fig. 25.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte VI.

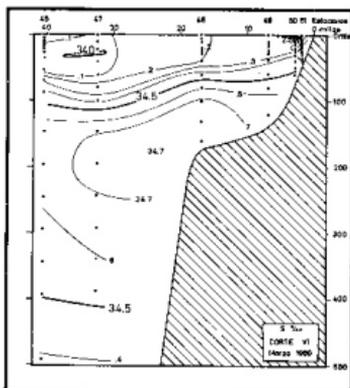


Fig. 26.— Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}/_{\text{00}}$) a lo largo del Corte VI.

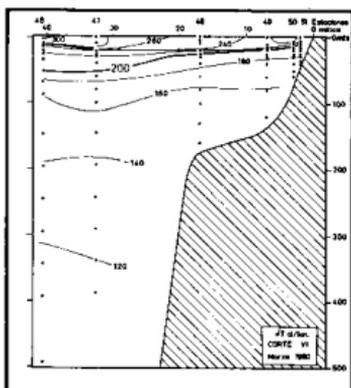


Fig. 27.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte VI.

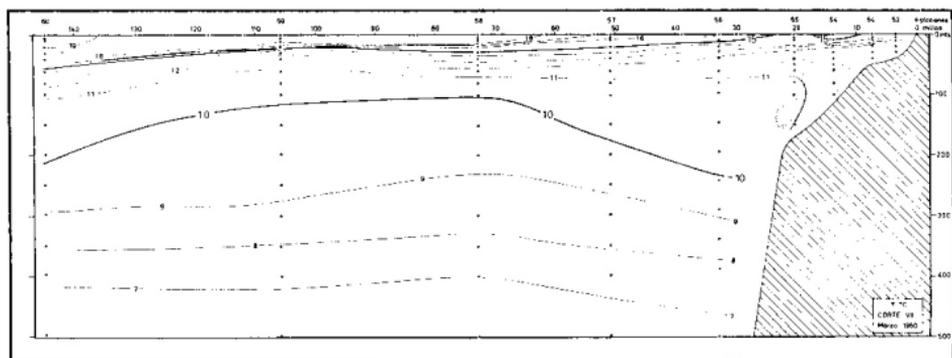


Fig. 28.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte VII.

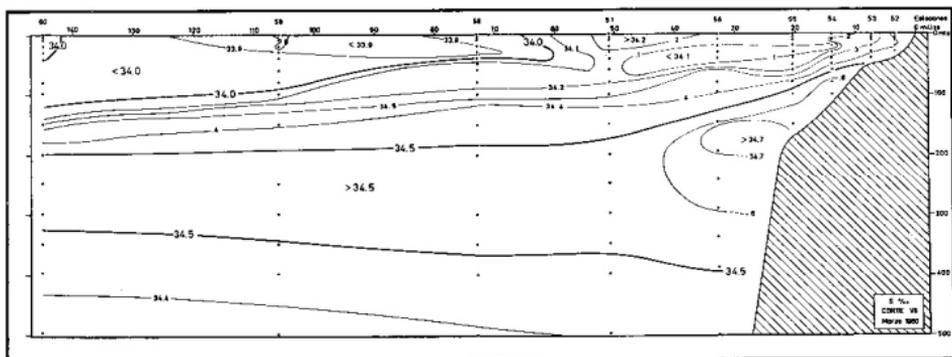


Fig. 29.— Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}\text{‰}$) a lo largo del Corte VII

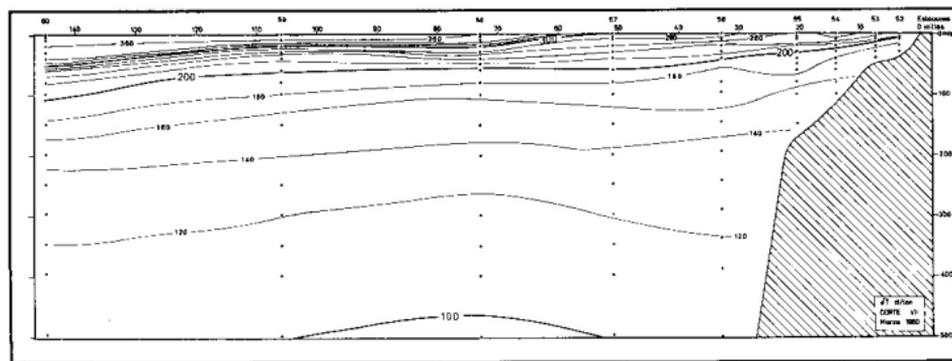


Fig. 30.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte VII.

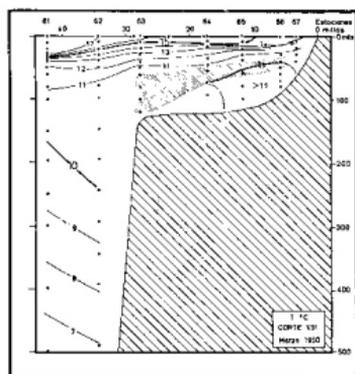


Fig. 31.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte VIII.

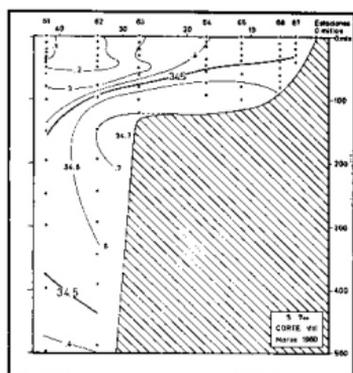


Fig. 32.— Distribución vertical de salinidad (‰) a lo largo del Corte VIII.

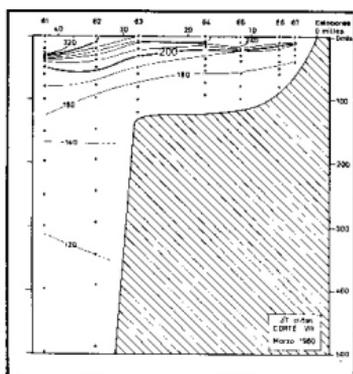


Fig. 33.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte VIII.

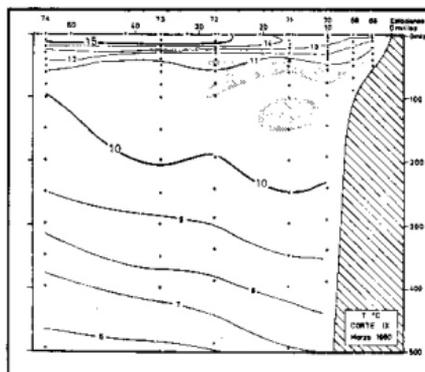


Fig. 34.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte IX.

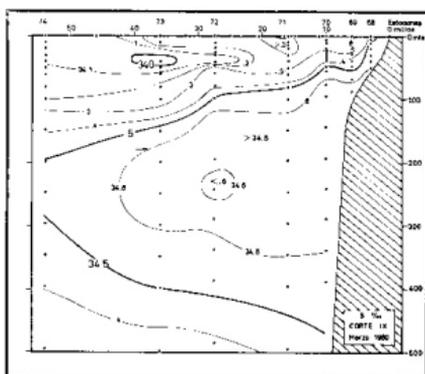


Fig. 35.— Distribución vertical de salinidad (‰) a lo largo del Corte IX.

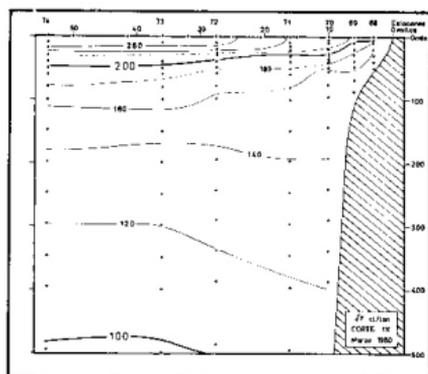


Fig. 36.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte IX.

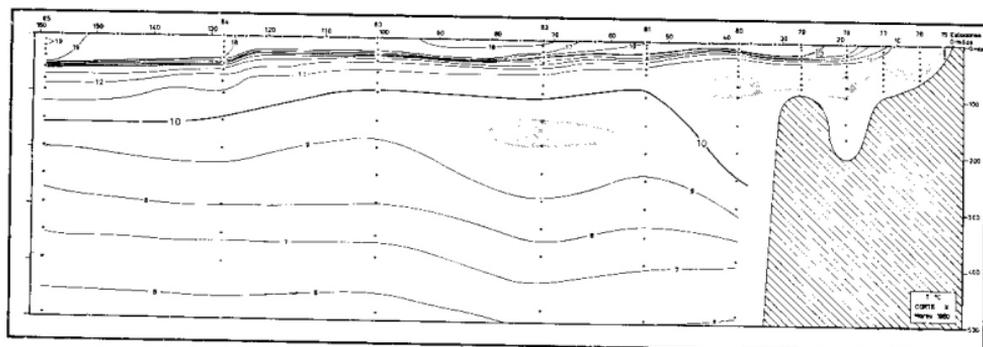


Fig. 37.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte X.

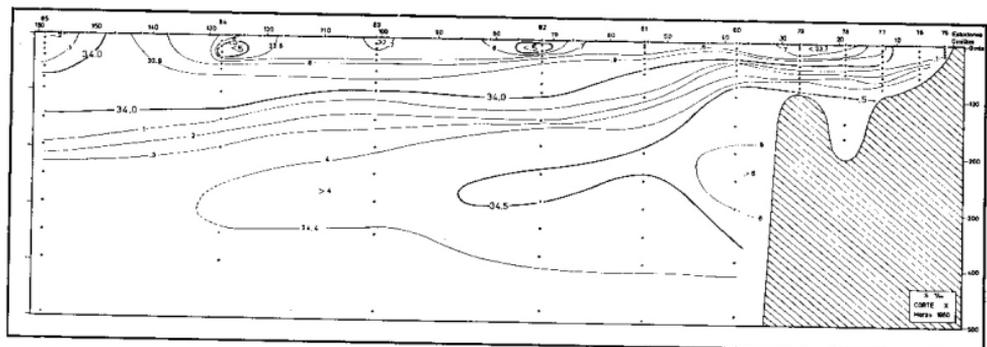


Fig. 38.— Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}\text{‰}$) a lo largo del Corte X.

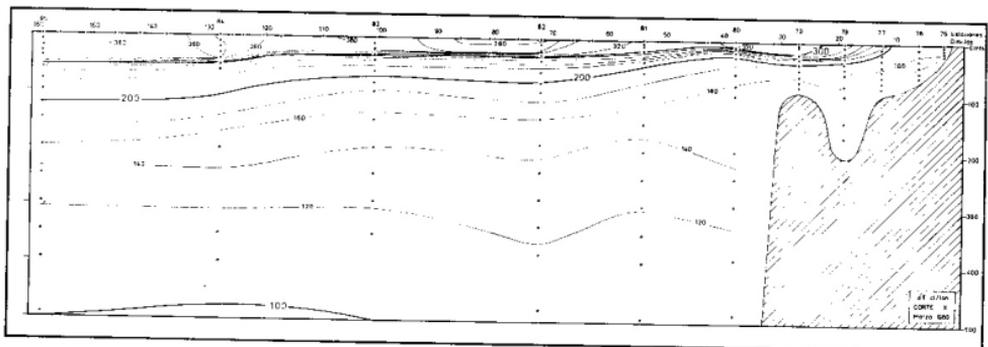


Fig. 39 — Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte X.

Gunther con salinidades superiores a $34.6^{0/00}$ y un contenido de oxígeno inferior a 0.7 ml/l subió hasta unos 50 metros de profundidad a una distancia de 4 millas de la costa. Las isanosteres entre 200 y 500 metros indican el flujo al sur.

CORTE X, a lo largo de las estaciones 75 a 85 , pasando unas 8 millas al norte de la isla Mocha, fue efectuado durante los días 12 y 13 de marzo (Figuras 37 a 39). La surgencia se presentó muy fuerte, especialmente dentro de las primeras 25 millas de la costa, donde intresectaron con la superficie las isotermas de 11° a 15°C y las isanosteres de 200 a 300 cl/ton. El viento persistente de S a SSW con fuerza Beaufort 3 a 6 de la semana anterior fue muy favorable para esta surgencia.

La distribución de la anomalía termoeástica indica un remolino superficial, que puede ser asociado con la topografía del fondo (Figura 7).

El núcleo de la Corriente de Gunther, entre 30 y 40 millas de la costa, pegado al declive continental en 200 a 300 metros de profundidad, disminuye su salinidad hacia el sur y en este perfil se detectaron, en solo tres muestras, salinidades superiores a $34.6^{0/00}$ y valores de oxígeno entre 0.1 y 0.4 ml/l. (Figura 38 , estación 80). El agua deficiente de oxígeno llenó la fosa donde se midieron valores entre 0.2 y 0.5 ml/l.

CORTE XI, formado por las estaciones 86 a 92 fue realizado los días 14 a 15 de marzo (Figuras 40 a 42). La plataforma se extiende a unas 20

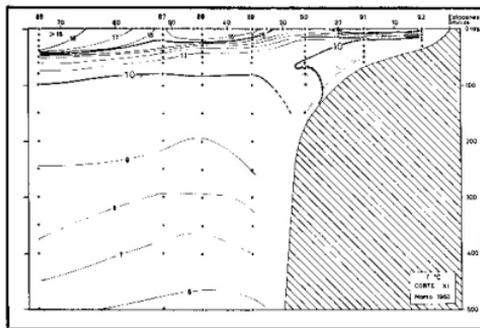
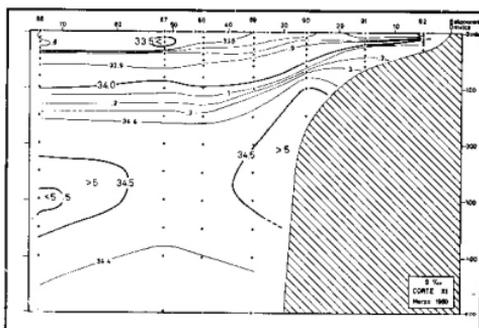


Fig. 40.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo Corte XI.



millas y sobre ella se formó una fuerte capa de discontinuidad sin indicación de surgencia, la cual se restringió a la zona fuera de la plataforma.

Se observa el núcleo de la Corriente de Gunther pegado al declive continental entre 100 y 300 metros. Su salinidad alcanzó valores superiores a $34.57^{0/00}$ y el oxígeno correspondiente a aproximadamente 0,5 ml/l.

CORTE XII, frente a Valdivia, a lo largo de las estaciones 93 a 102, fue realizado durante los días 15 y 16 de marzo (Figura 43 a 45). La surgencia en la zona costera de unas 40 millas de ancho está indicada por la intersección con la superficie de las isanosteres de 280 a 340 cl/ton. y de las isotermas de 13° a 17° C.

La inversión de temperatura y, por debajo de ella, el núcleo de la Corriente de Gunther, fueron localizadas desde la orilla de la plataforma hasta unas 25 millas al oeste en 120 a 200 y 175 a 300 metros, respectivamente. Los valores extremos del núcleo llegaron en 200 metros de la estación 97 a $34,5^{0/00}$ S y 0,6 ml/l O₂. (Figura 44).

El Agua Temperada frente a Valdivia entre 20 y 110 millas de distancia de la costa demostró una salinidad alrededor de $33.6^{0/00}$, este agua procedente del sur se extiende como una lengua de 40 metros de espesor hacia el norte. (Ver sección 3.2.1.).

CORTE XIII, consiste en las estaciones 103 a 108, efectuadas los días 17 y 18 de marzo (Figuras 46 a 48).

La distribución vertical de la temperatura y de la anomalía termocástica indica una zona de surgencia entre la costa y 15 millas afuera y otra entre 35 y 50 millas de la costa (Figuras 46 y 48).

La Corriente de Gunther con salinidades máximas de $34.46^{0/00}$ y un contenido de oxígeno mínimo de aproximadamente 0,8 a 1,5 ml/l fue encontrada frente al talud continental en unos 200 a 300 metros y sobre la plataforma en 150 metros de profundidad. Solamente en la estación 105 se observa la inversión de temperatura en 150 metros.

CORTE XIV, a lo largo de las estaciones 109 a 114 fue llevado a cabo durante los días 18 y 19 de mayo (Figuras 49 a 51). La surgencia persiste también en este último corte como indica la intersección con la superficie de las isotermas de 13 a 16° C y de las isanosteres de 260 a 340 cl/ton..

Agua de los canales con salinidades inferiores a $33,5^{0/00}$ ocupa solamente una capa delgada entre 15 y 30 metros de espesor.

El núcleo de la Corriente de Gunther se alejó de la costa y se observa todavía salinidades máximas de $34.46^{0/00}$ asociadas con valores mínimos de oxígeno de alrededor de 0,9 a 1,0 ml/l en una distancia de 35 millas de la costa en profundidades entre 250 y 300 metros. La inversión de temperatura, en cambio, se encuentra sobre la plataforma, entre 60 y 100 metros asociada con salinidades superiores a $34.4^{0/00}$ y valores de oxígeno de alrededor de 1,0 ml/l.

El **CORTE XV**, contemplado frente al sur de la Isla Chiloé no pudo realizarse por un temporal fuerte. (Ver Sección 2).

3.5. La Circulación Sub-Superficial

Aunque se ha tratado previamente la circulación sub-superficial en las discusiones anteriores (Sección 3.4.), se trata en las secciones siguientes una síntesis de los flujos más importantes, cuyas aguas se manifiestan también en la superficie cuando el proceso de la surgencia se expone a ella.

3.5.1. La extensión del Mínimo Superior de la Salinidad hacia el Norte

El Mínimo Superior de la Salinidad se forma del Agua Temperada, durante el verano en presencia de una termoclina, por evaporación y ad-

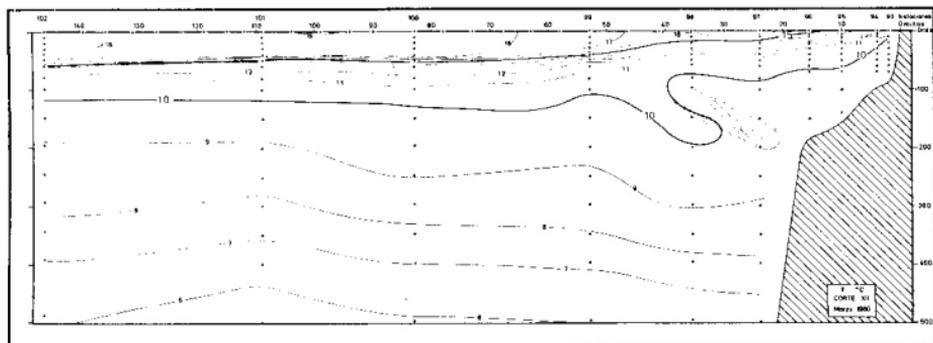


Fig. 43.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte XII.

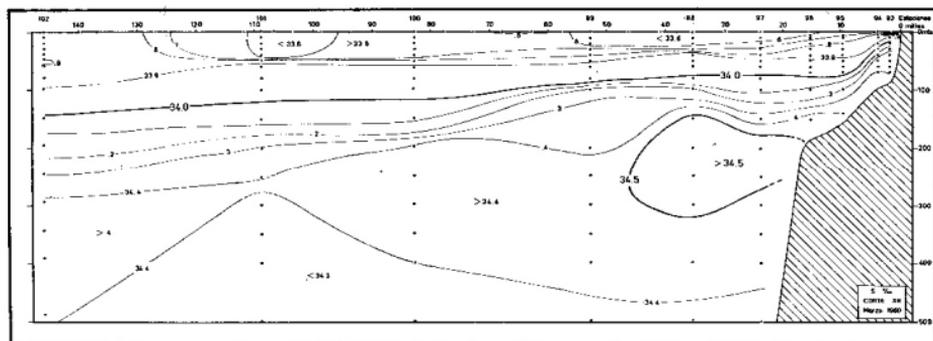


Fig. 44.— Distribución vertical de salinidad (‰) a lo largo de Corte XII.

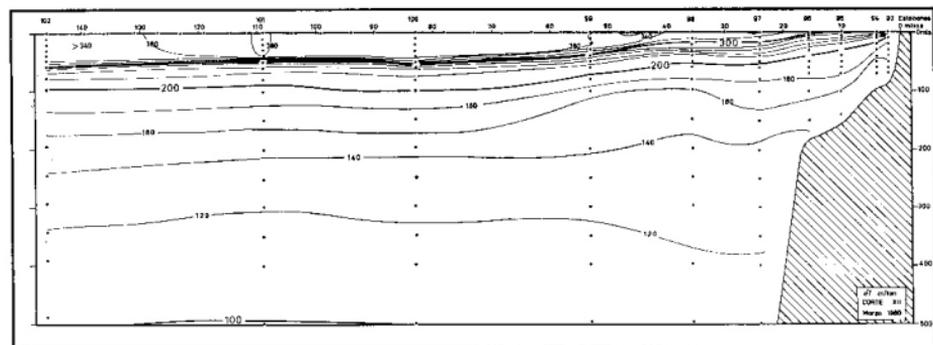


Fig. 45.— Distribución vertical de anomalía termoestérica (cl/ton) a lo largo del Corte XII.

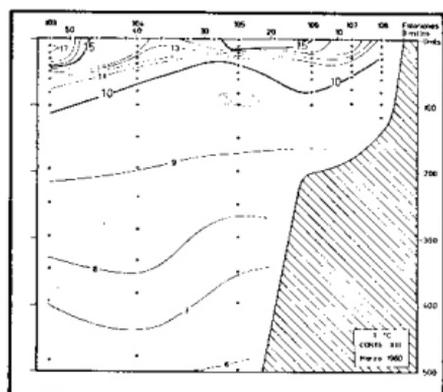
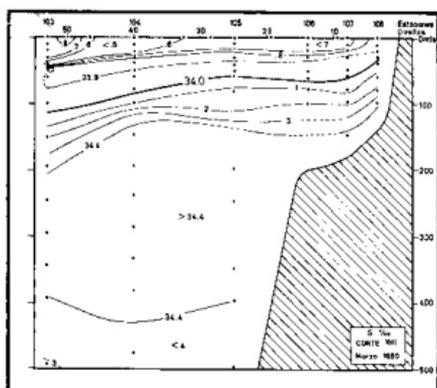


Fig. 46.— Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo del Corte XIII



vección del oeste de agua más salina en la región al norte de 35° Sur, con salinidades que se aumentan sucesivamente hacia el norte. Esta agua de baja salinidad, procedente del sur de Chile, generalmente se puede observar hasta el sur del Perú. Dos perfiles meridionales de las expediciones "Marchile I" y "Chiper" a lo largo de la costa desde 42° a 15° Sur ilustran la extensión de este mínimo hacia el norte (Figuras 52 y 53).

Durante el verano se encuentran aguas con bajos valores de salinidad en la superficie hasta aproximadamente 37° Sur (Estación 70 de la Figura 52b), donde se forma en la termoclina, alrededor de la isanostere

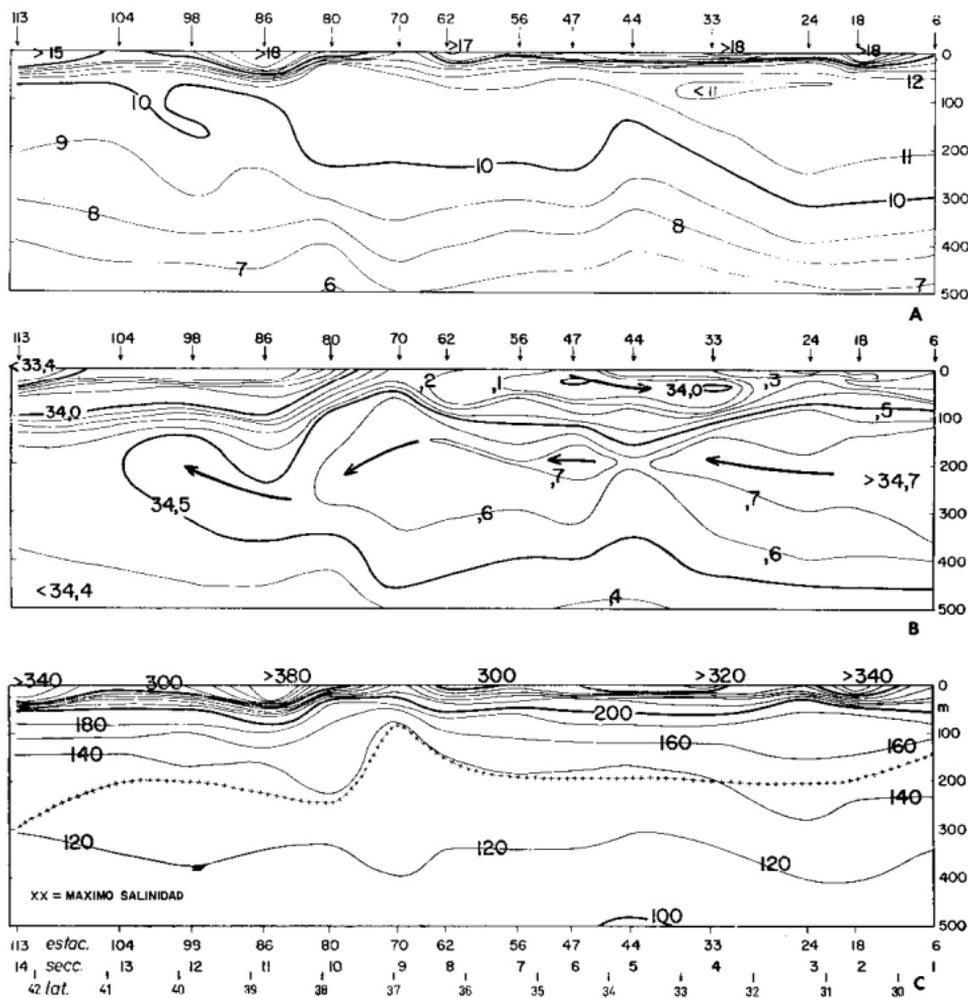


Fig 52.— Perfil meridional frente a la costa de Chile entre Coquimbo y Chiloé en base a los datos de la expedición "Marchile I" (número de estaciones ver Figura 1) de: A) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), B) Salinidad ($^{\circ}/\infty$ S) y C) Anatomía termoestérica (cl/ton).

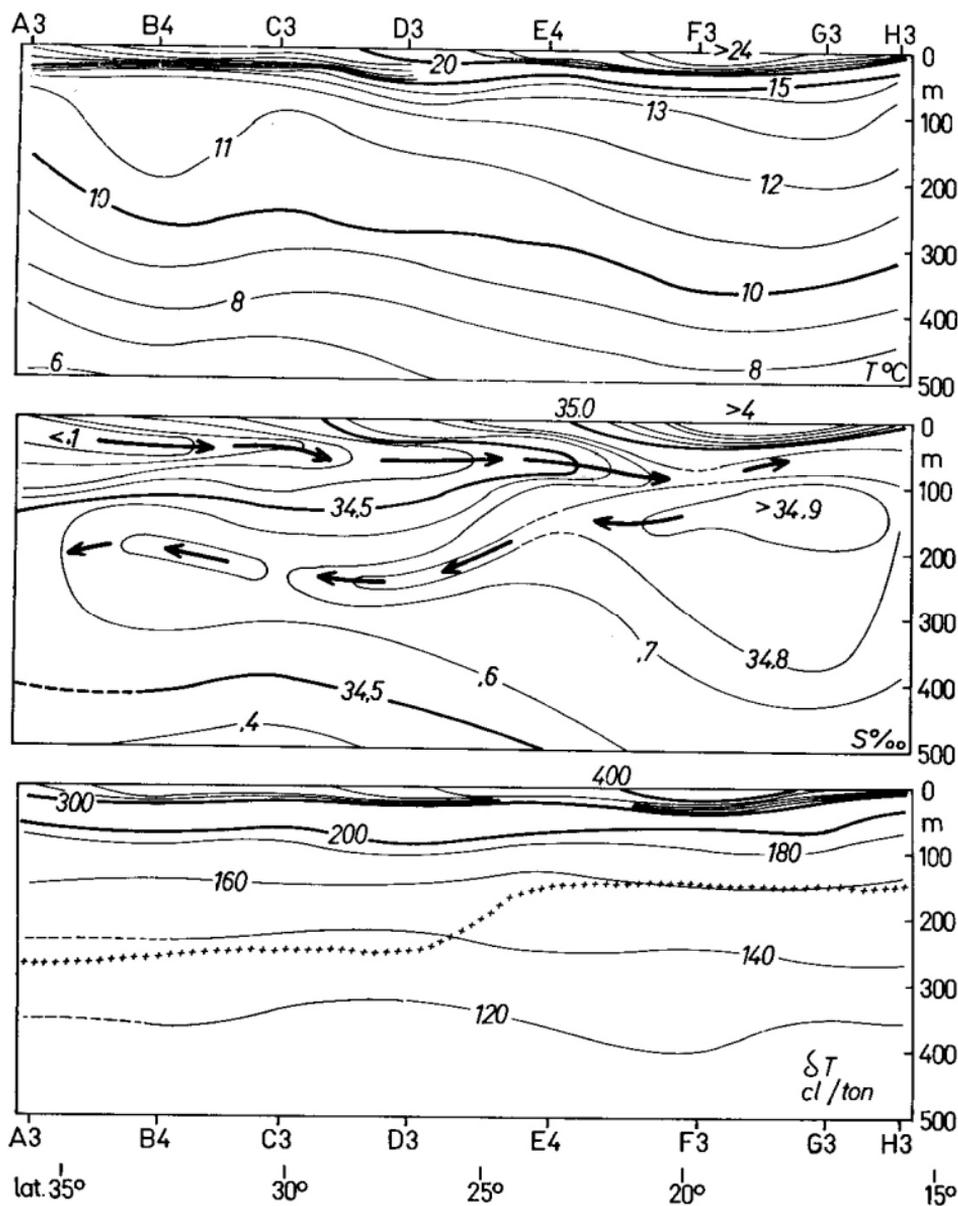


Fig. 53.— Perfil meridional frente a la costa de Perú y Chile (15° a 37°S), en base a los datos de la expedición "Chiper" (número de estaciones, ver Figura 2), de: Temperatura (°C), Salinidad (‰) y Anomalia termoestérica (cl/ton).

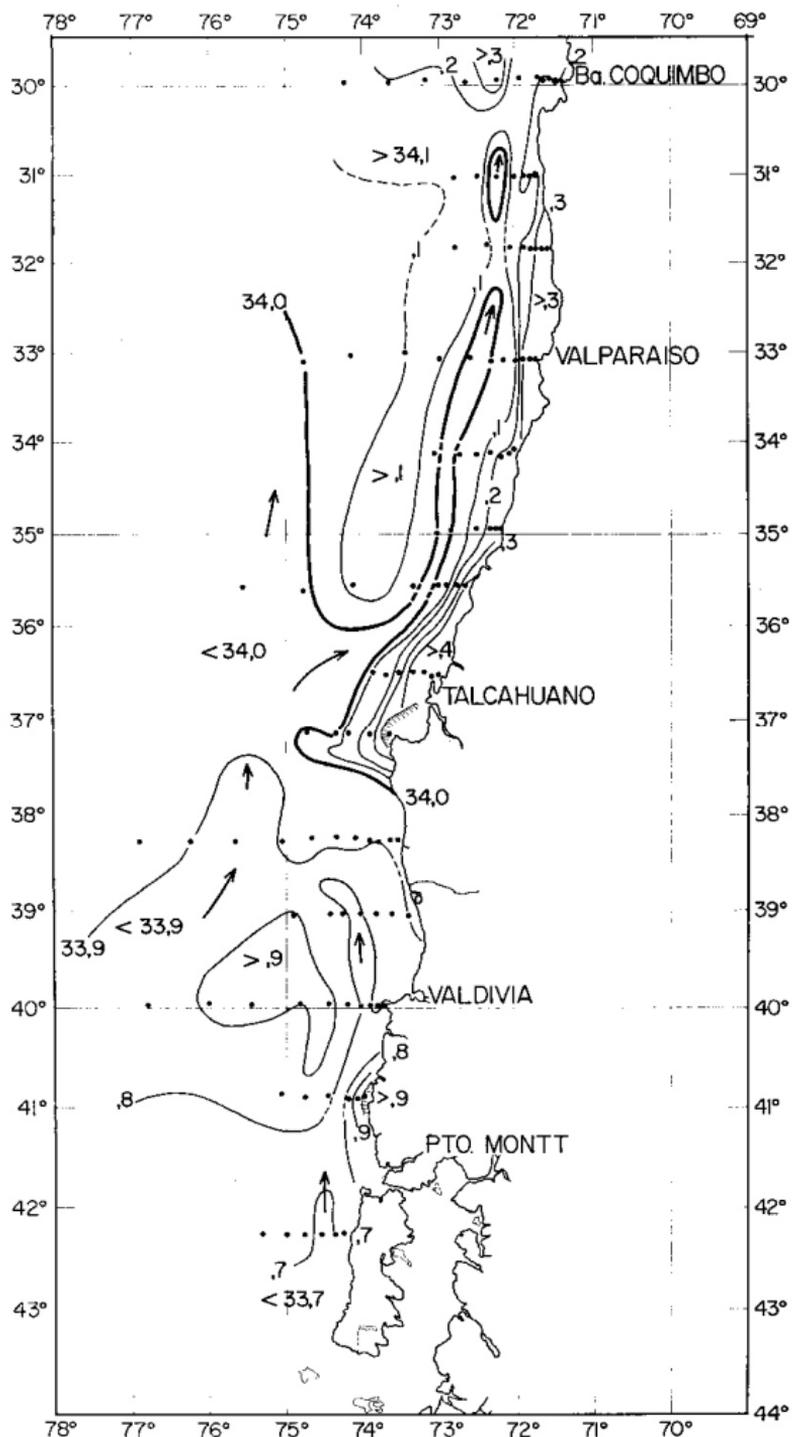


Fig. 54.— Distribución de la salinidad (‰) en la isanostere de 220 cl/ton. las flechas indican la extensión del Mínimo de Salinidad de la Capa Superior.

de 220 cl/ton. un mínimo intermedio extendiéndose hacia el norte. Bien claro se puede deducir la extensión de este mínimo en la distribución de la salinidad en la isanostere de 220 cl/ton., como muestra la Figura 54. Aparentemente se forman dos lenguas, una angosta costera y una más lejana de la costa, ambas separadas por agua con una salinidad más alta. En 31° Sur a unas 35 millas de la costa se observa todavía salinidades menores de 34.0 ‰.

La continuidad del mínimo hacia el norte muestra el perfil de salinidad de la expedición "Chiper" en aproximadamente 60 millas de distancia de la costa (Figura 53b). El flujo continúa en la isanostere de 220 a 200 cl/ton. y sucesivamente en su camino hacia el norte aumenta la salinidad de valores inferiores a 34.1 ‰ frente a Talcahuano hasta casi 34.8 ‰ en 15° Sur.

3.5.2 El Flujo de la Corriente Submarina de Gunther.

La Corriente Submarina de Gunther caracterizada por su agua de origen ecuatorial sub-superficial y su contenido de oxígeno muy bajo, se extiende desde el Perú hacia el sur de Chile. Esta corriente se origina en el norte del Perú y alcanza frente a la costa en su sector norte, velocidades entre 4 a 10 cm/seg. (Wooster y Gilmartin, *op. cit.*).

En los perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno o anomalía termoestérica, respectivamente, de las expediciones "Chiper" y "Marchile I", es evidente el flujo de esta corriente desde el Perú hasta Chiloé (Sección 3.4.). Su existencia se manifiesta muy claramente en los perfiles meridionales de salinidad (Figuras 52b y 53b).

La salinidad disminuye paulatinamente en su camino hacia el sur desde 34.9 ‰ en 15° S hasta 34.5 ‰ en 41°S, igual como su oxígeno aumenta de 0,3 ml/l a 0,9 ml/l. Los máximos valores de salinidad (y mínimos de oxígeno), que caracterizan su núcleo coinciden en la parte norte con valores de anomalía termoestérica entre 140 y 160 cl/ton. y en la parte sur, entre 140 y 130 cl/ton. como se observa en las Figuras 52c y 53c.

Para examinar el esquema del flujo de la Corriente de Gunther se utilizó el análisis isentrópico mencionado en la Sección 2. Como el núcleo de la corriente se encuentra cerca de 150 cl/ton. en la parte norte y 140 cl/ton. en la parte sur, se dibujó la distribución de salinidad sobre estos niveles. Las Figuras 55a y b, 56 y 57 ilustran el flujo de la Corriente de Gunther desde el norte hacia el sur, la cual está empujada hacia la costa por la fuerza de Coriolis. Solamente desde el sur de Talcahuano en 38°S, cuando la velocidad aparentemente se ha disminuido apreciablemente, se alejó del declive continental y su centro se encontró en unas 20 a 30 millas afuera del talud. La salinidad del núcleo en 15° Sur alcanzó a 34.9 ‰, disminuyendo hasta 34.46 ‰ frente a Chiloé.

Por los posibles errores en la determinación del oxígeno en la expedición "Marchile I" no se usó este parámetro en la misma manera que la salinidad, sino que se trazaron los valores mínimos independientes de su profundidad en todas las estaciones que alcanzaron a profundidades mayores de 50 metros (Figuras 55c y 58). Esta distribución de oxígeno se acerca bien a la distribución de la salinidad en las superficies "isentrópicas" de 140 a 150 cl/ton. y valores mínimos inferiores a 1.0 ml/l de oxígeno son observados frente a Chiloé.

3.5.3. El Agua Intermedia del Pacífico

Por debajo de la Corriente de Gunther se observa la notoria Agua Intermedia del Pacífico, descrita por Reid (1965). Como los perfiles de la "Marchile I" no alcanzaron a más de 500 metros de profundidad, el Agua Intermedia con valores de salinidades relativamente bajos y de oxígeno altos, no está evidenciada en estos perfiles.

En los perfiles de la Expedición "Chiper" se demuestra frente a Talcahuano, con valores de salinidad inferiores a $34.3^{\circ}/_{\text{oo}}$ y de oxígeno superiores a 5 ml/l en 600 metros de profundidad (Figura 1, Sección A). Frente a la costa del Perú en 15°S , los valores respectivos alcanzan a $34.6^{\circ}/_{\text{oo}}$ y alrededor de 2 ml/l oxígeno.

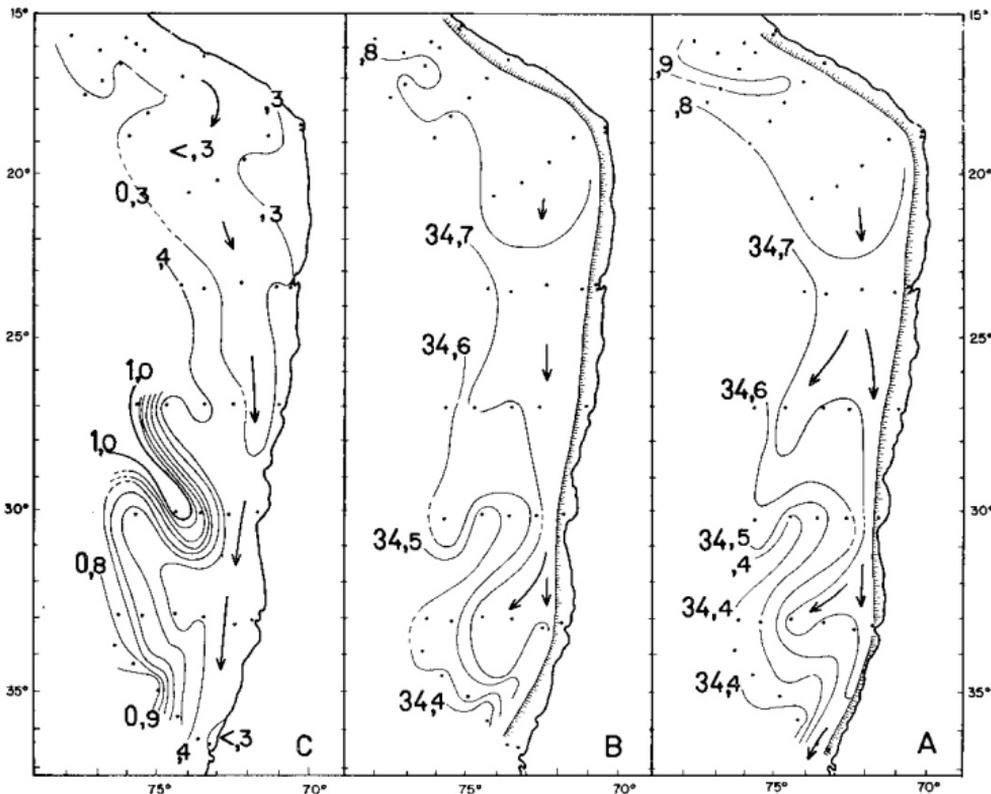


Fig. 55.— Distribución de la salinidad: en la isanostere de 150 cl/ton. (A); en la isanostere de 140 cl/ton. (B); y distribución de valores mínimos de oxígeno en ml/l sin considerar estaciones menos profundas de 50 metros (C). (Expedición "Chiper". Las flechas indican el flujo de la Corriente de Gunther).

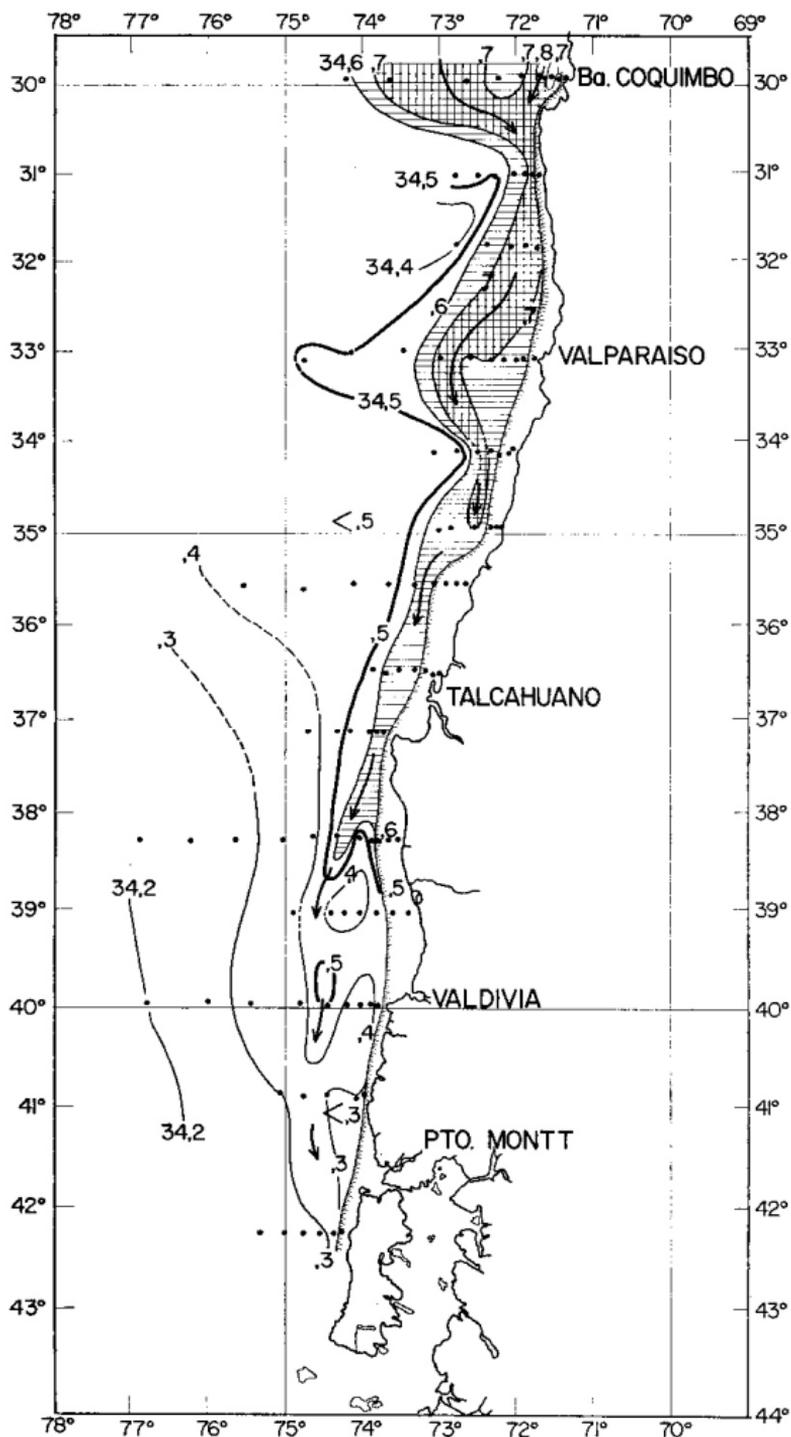


Fig. 56.— Distribución de la salinidad ($^{\circ}/_{\infty}$), en la isanostere de 150 cl/ton, las flechas indican el flujo de la Corriente de Gunther.

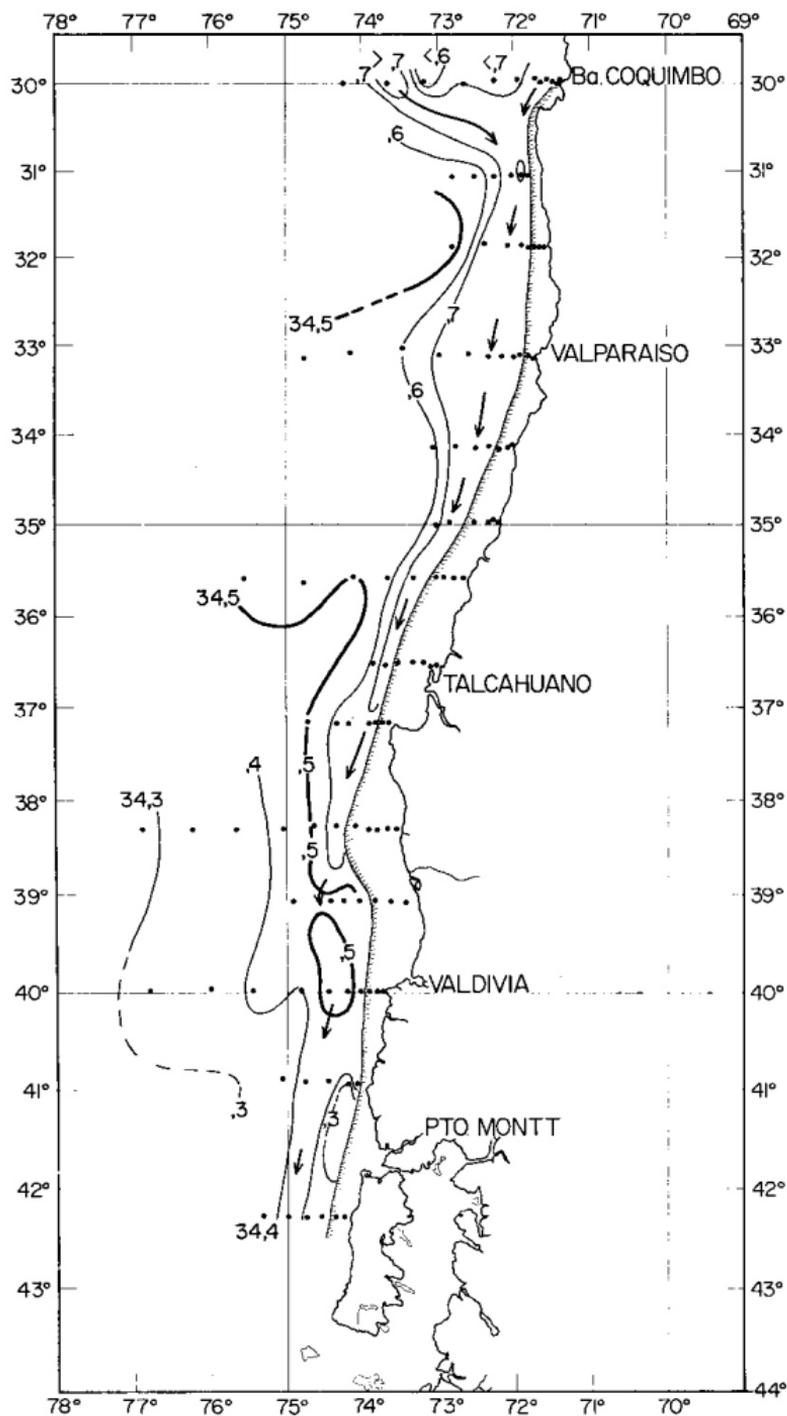


Fig. 57. — Distribución de la salinidad (‰) en la isanostere de 140 cl/ton, las flechas indican el flujo de la Corriente de Gunther.

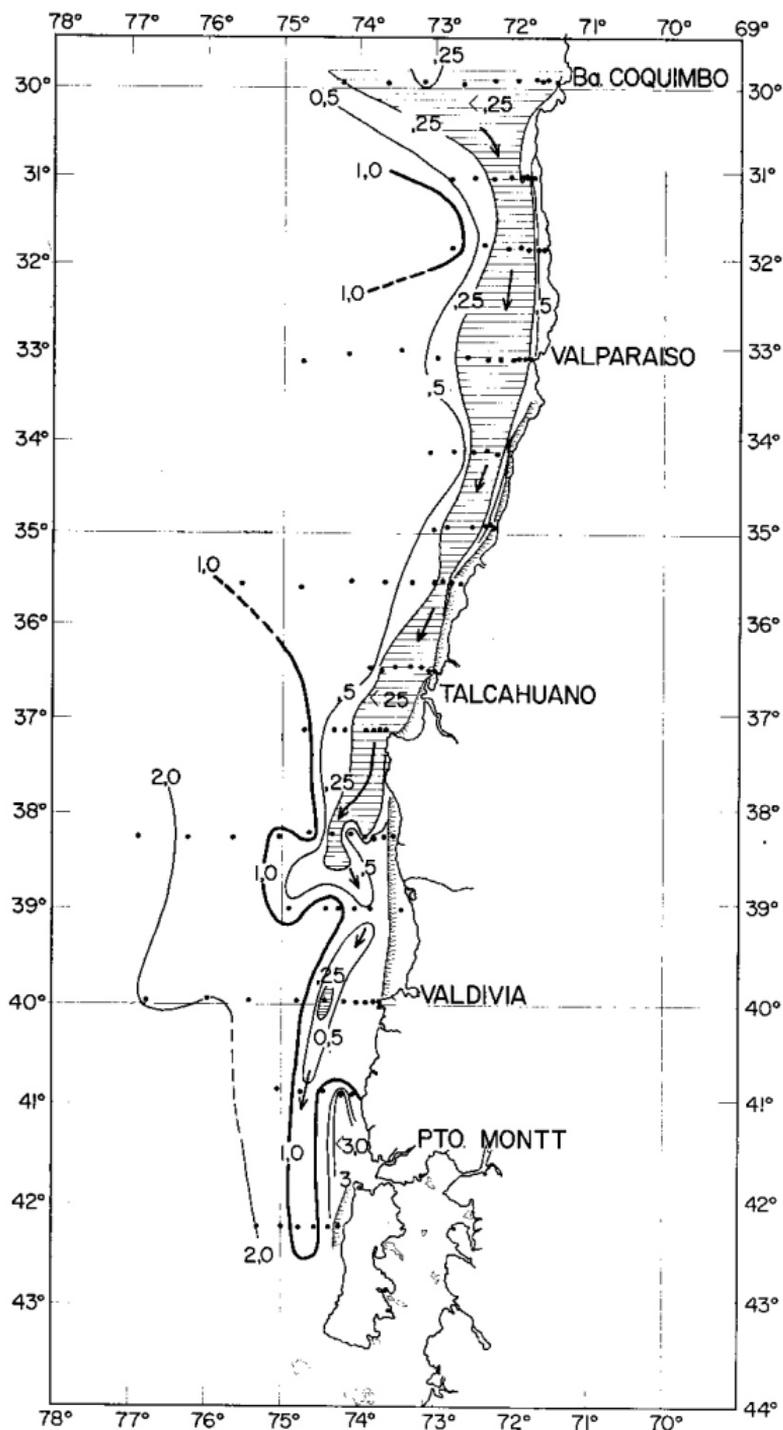


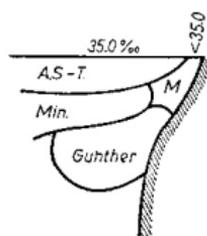
Fig. 58.— Distribución de los valores mínimos de oxígeno en ml/l, sin considerar observaciones menos profundas de 50 metros. Las flechas indican el flujo de la Corriente de Gunther.

3.6 La Surgencia Costera

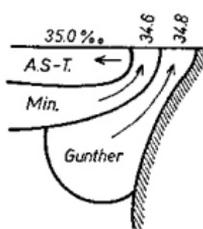
La surgencia inducida por el viento de los cuarterones sur, es evidente en toda la zona, como expuesto en las Secciones 3.2 a 3.4. Su manifestación en la superficie depende de cómo se produce, según la estratificación de las masas de agua y se puede dibujar el siguiente esquema derivado de los resultados de diferentes expediciones.

ZONA NORTE (QUIQUE)

a) Surgencia ligera

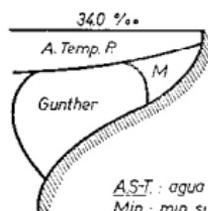


b) Surgencia fuerte



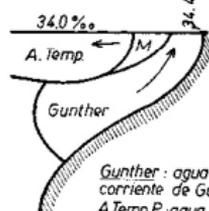
ZONA CENTRAL-SUR (TALCAHUANO)

a) Surgencia ligera



AS-T: agua sub-trop.
Min.: min. sup. salini.
M: mezcla.

b) Surgencia fuerte



Gunther: agua de la corriente de Gunther
A.Temp.P.: agua templada del Pacífico

4. RESUMEN

1.— En base de dos expediciones realizadas durante el verano de 1960 se describieron las condiciones oceanográficas de una faja costera de 120 millas (Expedición "Marchile I") y 250 millas (Expedición "Chiper") frente a Chile, entre 15° y 42° Sur.

2.— Se clasificaron 6 masas de agua encontradas en la superficie según su origen y describieron las corrientes superficiales en base a las distribuciones horizontales de temperatura y salinidad de la topografía geopotencial de la superficie del mar, observando la Corriente de Humboldt y una contracorriente en la distancia de unas 100 millas de la costa entre 18° y 35° Sur.

3.— La distribución vertical de las masas de agua, la surgencia costera y la circulación sub-superficial fueron estudiadas en base a un número de perfiles perpendiculares a la costa y dos perfiles meridionales entre 15° y 42° Sur.

4.— Especialmente en la parte sur de Chile por tener datos de una red densa de estaciones realizadas en la Expedición "Marchile I", se demostró el desarrollo de una fuerte surgencia a lo largo de la costa, o en una divergencia pocas millas afuera de ella, debido a condiciones favorables en cuanto a vientos del cuarterón sur.

5.— La extensión hacia el norte del agua del Mínimo Superior de Salinidad procedente del sur y el flujo de la Corriente Submarina de Gunther, fueron demostrados por perfiles meridionales, mapas de distribuciones de salinidad en superficies "isentrópicas" correspondientes al núcleo del flujo y por mapas del mínimo de oxígeno.

6.— El Mínimo Superior de Salinidad se forma aproximadamente en 35°S y se extiende hasta 15°S. La Corriente de Gunther corre a lo largo de toda la costa entre 15° y 42° Sur, con valores de salinidad disminuyendo desde 34.9‰ a 34.46‰ y de oxígeno aumentando desde menos de 0,3 hasta 1,0 ml/l.

5.— SUMMARY

1.— Based upon the results of two expeditions carried out during southern summer of 1960, the oceanographic conditions of a coastal belt of 120 miles ("Marchile I" Expedition) and 250 miles ("Chiper" Expedition), respectively, off Chile between 15° and 42° south, are described.

2.—According to their origin, six surface water masses are distinguished, as well as the pattern of the surface currents using horizontal temperature and salinity distributions and the geopotential topography of the sea surface. Apart from the Humboldt Current, a counter current was observed at a distance of about 100 miles from the coast between 18° and 35° south.

3.— The vertical distribution of the water masses, the coastal upwelling and the sub-surface circulation were studied using a number of profiles normal to the coast and two meridional sections between 15° and 42° south.

4.— Especially in the southern part of Chile, due to data from a dense network of stations carried out during the "Marchile I" Expedition, the development of strong upwelling along the coast or along a divergence, a few miles off the coast, was described. This upwelling was produced by a favorable south wind condition prevailing during the expedition.

5.— The northward extension of the Upper Salinity Minimum proceeding from the south and the flow of the sub-surface Gunther Current were evident from meridional profiles and maps of the salinity distribution at "isentropic" surfaces corresponding to the core of the flow, and from charting of the oxygen minimum.

6.— The Upper Salinity Minimum is formed at approximately 35° S and extends to about 15°S. The Gunther Current flows along the coast between 15° and 42 south with diminishing values from 34.9‰ to 34.46‰ whereas the oxygen observed increases toward south from less than 0,3 ml/l to about 1,0 ml/l.

AGRADECIMIENTOS.—

La mayor parte de los datos utilizados en este trabajo fue recogida en la Expedición "March le I", organizada en común por un número de instituciones nacionales e internacionales y realizada en conjunto por un grupo de dedicados y entusiastas científicos jóvenes de la Estación de Biología Marina de la Universidad de Chile, Instituto Central de Biología de la Universidad de Concepción y del entonces Departamento de Hidrografía de la Armada Nacional. Tengo el agrado de reconocer en particular la valiosa ayuda y apoyo moral, durante la preparación y realización de la expedición de los señores Dr. Walter Fischer (Universidad de Chile), Dr. José Stuardo (Universidad de Concepción), Hellmuth Sievers (Instituto de Hidrografía), Dr. Gerd Hartmann (Universidad de Hamburgo), y Dra. Elda Fagetti (Universidad de Chile).

Además, es mi deber, agradecer por su valioso apoyo durante mi misión en la Asistencia Técnica Alemana, al Dr. G. Meseck (Ministerio de Agricultura, Bonn) y al Comité Editor de la Revista de Biología Marina por leer y revisar el presente manuscrito y apoyar su publicación.

6. REFERENCIAS

- ANDERSEN, A. W., 1962. Oceanographic Data Report, Project Chiper, March-April 1960, Unpubl. MS N° 0-38-62, Marine Sci. Dept., U.S. Navy Hidrogr. Office, Washington.
- ANONIMO, 1943. Barografía de Chile, Oficina Meteorológica. Chile, Publ. N° 58: 1-90, Santiago.
- ANONIMO, 1960. Operación oceanográfica Marchile I. Antecedentes. Bolet. Inf. Depto. Naveg. Hidr. Armada. Año XVI, N° 55: 1-5, Valparaíso.
- BRANDHORST, W., 1959 a. Factores oceanográficos que influyen la pesca de la merluza. Agricultura y Ganadería, 5 (18-19), Santiago.
- 1959 b. Relationship between the hake fisheries and a southerly sub-surface return flow below the Peru Current off the Chilean Coast. Nature, 183 : 1832-33, London.
- 1959 c. The Migration of *Merluccius gayi gayi* (Guichenot) in relation to an oxygen poor sub-surface return flow below the Perú Coastal Current off the Chilean coast. Ist. Intern. Oceanogr. Congress Preprints, pp. 798-800, Americ. Assoc. Adv. Sc., New York.
- 1963 a. Descripción de las condiciones oceanográficas en las aguas costeras entre Valparaíso y el Golfo de Arauco, con especial referencia al contenido de oxígeno y su relación con la pesca. Lab. Oceanogr. Biol. Pesqu. Min. Agr. pp. 3-55, Santiago.
- 1963 b. Der Stand der chilenischen Fisherei und die weiteren Aussichten für ihre Entwicklung, Bundesauslandshilfe für Entwicklungsländer, p. 1-151 mimeo., Valparaíso.
- 1964. Las condiciones oceanográficas y la pesca de la anchoa (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile. Memoria Primer Seminario Latinoamericano sobre el Océano Pacífico Oriental, pp. 17-28. Ed. Univ. Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- 1965. Die chilenische Fisherei und ihre weiteren Entwicklungsaussichten, Ber. über Landw, 43 (1) : 148-187. Bonn.
- 1966. Upwelling and the anchoveta fishery in Chile. 2nd. International Oceanographic Congress, Lecture Upwelling Symposium, Moscow 1966. pp. 12, mimeo.
- BRANDHORST, W. y H. INOSTROZA, 1965. Descripción gráfica de las condiciones de aguas chilenas en base a datos de las expediciones "William Scoresby" y "Chiper". Inst. Fom. Pesqu., Santiago. Bol., Cient. 1 (2): 18-70.
- BRANDHORST, W., M. MENDEZ y O. ROJAS, 1966. Observaciones oceanográfico-biológicas sobre los recursos de la anchoveta (*Engraulis ringens*, J.) en la zona norte de Chile. Parte I. Inst. Fom. Pesqu., Santiago. Publ. 22: 1-43.
- BRANDHORST, W., J.G. SIMPSON, O. ROJAS, J. PINEDA y M. MENDEZ, 1966. Observaciones oceanográfico-biológicas sobre los recursos de la anchoveta en el norte de Chile, Parte II. Inst. Fom. Pesqu., Santiago, Publ. 23: 1-89.
- BRANDHORST, W., y R. CANON., 1967. Resultados oceanográfico-pesqueros aéreos en el norte de Chile. Inst. Fom. Pesqu. Publ. 29: 1-44.
- BRANDHORST, W. y O. ROJAS., 1967. Investigaciones sobre los recursos de la anchoveta (*Engraulis ringens*, J.) y sus relaciones con las condiciones oceanográficas en Agosto-Septiembre de 1963 y Marzo-Junio de 1964. Inst. Fom. Pesqu., Santiago, Publ. 31:1-38.

- BRANDHORST, W., J.G. SIMPSON, M. CARREÑO y O. ROJAS., 1968. Anchoveta resources in Northern Chile in relation to Environmental Conditions from January to February, 1965. Arch. Fishereiwiss., 19 (2-3): 167-235, Berlín.
- BRANDHORST, W. y O. ROJAS, 1968. Investigaciones sobre los recursos de la anchoveta (*Engraulis ringens*, J.) y sus relaciones con las condiciones oceanográficas en Agosto a Octubre de 1964. Inst. Fom. Pesqu., Santiago, Publ. 36: 1-17, 14 fig.
- BRANDHORST, W., J. PINEDA, E. SANDOVAL y F. ROBLES. Observaciones oceanográficas efectuadas durante la Expedición "Marchile I" frente a la costa central de Chile. Inst. Hidrográfico de la Armada, Valparaíso (en prensa).
- BJORNBERG, T.K.S., On the distribution of Pelagic Copepods off Chile and neighbouring waters (en prensa).
- DEFANT, A., 1961. Physical Oceanography. Vol. 1, 729 pp. Pergamon Press., Oxford.
- FAGETTI, E. y W. FISCHER. 1964. Resultados cuantitativos del zooplancton colectado frente a la costa chilena por la Expedición "Marchile I". Montemar, 4: 137-193, Valparaíso.
- FAGETTI, E., 1968. Quetognatos de la Expedición "Marchile I" con observaciones del posible valor de algunas especies como indicadoras de las masas de agua frente a Chile. Rev. Biol. mar., Valparaíso, 13 (2): 85-155.
- GUNTHER, E. R., 1936. A report on oceanographical investigations in the Peru Coastal Current. Discovery Rep., 13: 107-276. London.
- HARTMANN-SCHROEDER, G. y G. HARTMANN, 1965. Zur Kenntnis der Sublitorals der chilenischen Küsterunder besonderer Berücksichtigung der Polychaeten und Ostracoden. Zoologisch Staatsinst und Museum, Ergänzungsband zu Band 62, pp. 1-384, 131 figs., Hamburg.
- KRAMP, P., 1936. A collection of medusae from the coast of Chile. Vidensk. Medd. fra Danks naturk. Fjren, 129 : 1-38. Copenhagen.
- MONTGOMERY, R.B., 1937. A suggested method for representing gradient flow in isentropic surfaces. Bull. Amer. Meteor. Soc., 18: 210-212.
- 1938. Circulation in the upper layers of the Southern North Atlantic deduced with use of isentropic analysis. Pap. Phys Oceanogr. and Meteor. 6 : 1-55. Massachusetts Inst. Technol. and Woods Hole Oceanogr. Inst.
- MONTGOMERY, R. B. y W. S. WOOSTER, 1954. Thermosteric anomaly and the analysis of serial oceanographic data. Deep. Sea Research, 2: 63-70, London.
- REID, L.J., Jr., 1965. Intermediate waters of the Pacific. John Hopkins Oceanogr. Studies Nº 2, pp. 1-85, John Hopkins Press, Baltimore.
- ROBLES, F., 1966. Descripción gráfica de las condiciones oceanográficas frente a la provincia de Tarapacá en base a los datos de la operación oceanográfica "Marchile II", pp. 32. Inst. Hidrogr. Armada de Chile. Valparaíso.
- ROSSBY, C. G., 1936. Dynamics of steady ocean currents in the light of experimental fluid mechanics. Pap. phys. Oceanogr. and Meteorol. 5 : 1-43. Massachusetts Inst. Technol. and Woods Hole Oceanogr. Inst.
- SIEVERS, H., 1960. Operación oceanográfica "Marchile I", Misión cumplida. Revista Marina, 73 (4) 1-10. Santiago.
- WOOSTER, W. S. y M. GILMARTIN, 1961. The Perú-Chile Undercurrent. J. Mar. Res., 19 (3): 97-122.
- WYRTKI, K. 1963. The horizontal and vertical field of motion in the Perú Current. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. 8 (4): 313-346. Los Angeles.
- 1935. Summary of the Physical Oceanography of the Eastern Tropical Pacific. Univ. Calif. Inst. Mar. Resources. Ref. 65-10 pp. 1-69. San Diego
- Aceptado para su publicación en Octubre de 1970.