

Algunas características de la bahía de Concepción (36°40'S; 73°02'W) y áreas adyacentes. Chile

RAMÓN AHUMADA BERMÚDEZ* y LISANDRO CHUECAS MUÑOZ**

RESUMEN

Se presenta el primer estudio sistemático de las características hidrográficas de la Bahía de Concepción y áreas adyacentes, Chile (36°40'S; 73°02'W).

La información corresponde a los años 1971, 1972 y 1975 y es correlacionada con promedios mensuales de datos meteorológicos de nueve años de registro.

El análisis de las variaciones estacionales permite definir en un ciclo anual cuatro periodos en el interior de la bahía: dos periodos principales ("Circulación Estuarina" y "Surgencia") que comprometen masas de aguas diferentes y dos periodos de transición entre ellos (Transición I y II) caracterizados por procesos de mezcla.

Sobre la base de la distribución vertical y horizontal de los parámetros hidrográficos y mediciones directas de correntometría se presenta un modelo de circulación para el período de surgencia en la bahía.

Finalmente, se discute la ocurrencia, duración e implicancias ecológicas del proceso de surgencia costera que cubre el área de estudio.

ABSTRACT

The first systematic study of hydrographic characteristics of the Bahía de Concepción and adjacent areas, Chile (36°40'S; 73°02'W) has been carried out.

The results obtained during 1971, 1972 and 1975 have been correlated with a monthly average meteorological data of a nine years period.

The analysis of seasonal variations inside the bay reveals an annual cycle composed by four hydrographic periods: two main periods, i.e., "Estuarine Circulation" and "Upwelling" represented by two different water masses, and two transitional periods between them (Transition I and II) characterized by mixing processes.

The vertical and horizontal distribution of the hydrographic parameters and direct current measurements are studied and, then, a circulation pattern for the Period of "Upwelling" in the bay is proposed.

Finally, the occurrence, duration, and some ecological implications of the "Upwelling" process in the studied area are discussed.

I. INTRODUCCION

La Bahía de Concepción (36°40'S; 73°02'W) es un área restringida con dos zonas de contacto con las aguas costeras adyacentes (Fig. 1).

La aparición periódica de aguas coloreadas en su interior, las frecuentes varadas y mortandad de organismos marinos y los fangos reductores de fondo han motivado a numerosos investigadores a estudiar los procesos ecológicos que en ella ocurren (Wilhelm, 1930; Oliver Schneider, 1944; Schwabe, 1951; Falke,

1950; Hulot, 1957; Gallardo et al. 1972 y Ahumada y Arcos 1976).

La mayor parte de los autores asumen que existe una relación entre estos fenómenos y las condiciones hidrográficas del área. Sin embargo, este problema ha sido delimitado en la última década, sobre la base de los estudios hidrográficos en la bahía y aguas adyacentes (Brandhorst, 1959a, 1959b, 1963, 1971 y Alarcón 1971).

El presente trabajo constituye un estudio hidrográfico que pretende analizar en forma sistemática las fluctuaciones anuales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y algunos procesos dinámicos que contribuyan a esclarecer la importancia de los factores abióticos en los componentes del ecosistema.

*Departamento de Biología y Tecnología del Mar, Universidad Católica de Chile, Sede Talcahuano, Chile.

**Departamento de Biología Marina y Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile.

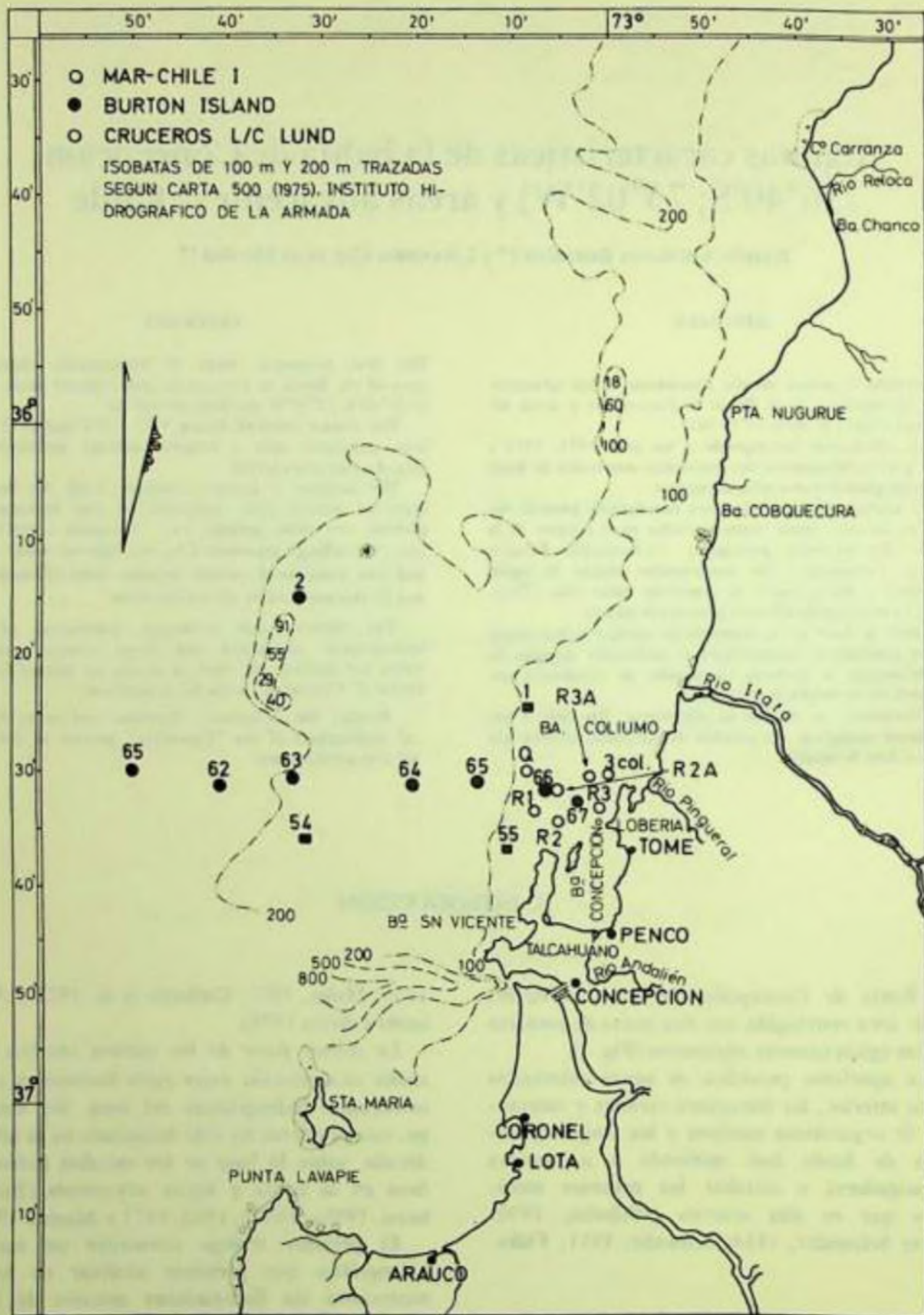


Fig. 1

Estaciones hidrográficas realizadas en áreas adyacentes a la Bahía de Concepción y topografía de la plataforma continental y cañón del Río Biobío.

II. MATERIALES Y METODOS

El muestreo hidrográfico se realizó a bordo de la "L/C LUND" de propiedad de la Universidad de Concepción. Comprendió un trazado de catorce estaciones en el interior de la bahía y seis estaciones fuera de ella. (Fig.2).

Se realizó un total de veinticinco cruceros en las aguas costeras adyacentes.

La frecuencia de los cruceros fue alterada cuando se detectó cambios en las condiciones hidrográficas o fenómenos biológicos anormales (*i.e.*, varada y mortandad de organismos marinos). Durante estos periodos se realizó hasta tres cruceros por mes.

Además de la información procedente de los 25 cruceros realizados por los autores, se procesó datos de la bahía obtenidos por Gallardo para el año 1971 (com. pers.) y de Arcos y Concha 1971-1972 (com. pers.). Información adicional del área externa de la bahía fue recopilada de la expedición Mar Chile I (Instituto Hidrográfico de la Armada 1968) y datos obtenidos por el Burton Island en 1960.

Los perfiles de temperatura fueron obtenidos con un batitermógrafo (rango -2 a 30°C para 60m) usando el método de La Fond (1951). Para determinar las temperaturas de los niveles de muestreo se usó termómetros de inversión protegidos "Kahlsico" y "Kurt Gohla".

La conexión se hizo mediante el método de la Regla Culbertson.

Las muestras de aguas fueron obtenidas con botellas "Nansen" revestidas de teflon y botellas tipo Van Dorn con capacidad de 1.5 l.

La salinidad fue determinada en un salinómetro de inducción Autolab mod. MK III y el oxígeno disuelto valorado por el método de Winckler modificado (Strickland and Parsons, 1968). Se calculó además, el porcentaje de saturación en cada uno de los niveles de profundidad (Green and Carritt, 1967).

Para estimar la profundidad de la mínima de oxígeno disuelto se utilizó un oxigenómetro de celda Galvánica, Precisión Scientific Co.

En el estudio de corrientes se utilizó un correntímetro Gemware tipo Eckman.

Parte de la información meteorológica utilizada en este trabajo fue obtenida a bordo. Además se utilizó los promedios mensuales para cada crucero y el promedio de 1965-1975 de datos obtenidos por la Estación Meteorológica de Bellavista (EMB), Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción. Los gastos mensuales del río Andalién fueron obtenidos en la Sección Hidrometría, Dirección General de Obras Públicas.

III. ANTECEDENTES DE LAS CARACTERISTICAS HIDROGRAFICAS EN EL AREA DE ESTUDIO

Numerosos autores han contribuido al conocimiento hidrográfico del pacífico Sur Oriental, entre ellos Gunther (1936), Brandhorst (1957a y 1959b, 1963 y 1971), Wyrski (1963, 1965 y 1967) Brandhorst e Inostroza (1965), Robles *et al.* (1970), Alarcón (1970), Alarcón y Pineda (1969), Silva (1973), Robles *et al.*, (1974), Sievers y Silva (1973 y 1975), Reid (1973), Silva y Konow (1975), Silva y Sievers (1974) Neshyba y Méndez (1975) y Wooster and Gilmartin (1961). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se refieren a macro y/o meso-escala. Trabajos costeros propiamente tales, son los de Alarcón y Pineda (1969), Silva (1973), Sievers y Silva (1973) para la zona de Valpa-

raíso; Brandhorst (1963) para la zona costera comprendida entre Valparaíso y Golfo de Arauco y Alarcón (1970) para el Golfo de Arauco.

Los estudios referidos indican la presencia de tres masas de agua en la capa de 0-1.000m frente a las costas de Chile.

- i) Aguas de origen Subantártico (ASAA).
- ii) Aguas de origen Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y
- iii) Aguas intermedias Antárticas (AIAA).

i) Las ASAA en su trayectoria hacia el norte, son conocidas también en la literatura como corriente del Perú, corriente Perú-Chile, aguas templadas del pacífico Sur o como sistema de la corriente de Humboldt. Estas aguas se ori-



Fig. 2

Estaciones hidrográficas y de correntometría realizadas en los cruceros UC LUND en la Bahía de Concepción y áreas adyacentes.

ginan en la región norte de la Convergencia Antártica y forman parte de la circulación anticiclónica del Pacífico Sur, se desplazan al noroeste hasta llegar a las costas de Chile entre los 38 y 42°S, originando la corriente del Cabo de Hornos que influye hacia el sur y el sistema de la corriente de Humboldt con sus ramas costeras y oceánicas que fluyen hacia el norte (Neshyba y Méndez op. cit.). Estas aguas ocupan la capa de 0 a 200m. de profundidad dependiendo de la latitud y de su distancia de la costa.

En la medida que estas aguas se trasladan desde las altas latitudes, donde la precipitación excede la evaporación, hacia el norte se producen cambios importantes en sus valores de origen, debido a que en latitudes medias y bajas el proceso es inverso. Así, al alcanzar los 27° de latitud sur, su salinidad es del orden de ca. 34,80‰ y una temperatura de ca. 18,0°C, confundiendo más al norte con la masa de agua subtropical (Robles *et. al.*, 1974). En la latitud correspondiente al Golfo de Arauco, las ASAA han sido caracterizadas por salinidades menores de 34,3‰, temperaturas superiores a 11,0°C y concentraciones de oxígeno disuelto mayores de 4ml O₂/ℓ (Alarcón, 1970).

ii) Las AESS son conocidas también como aguas de la corriente de Gunther o contra corriente Chile-Perú.

Gunther (1936) es el primero en mencionar la existencia de una corriente subsuperficial que fluye bajo la corriente del Perú con dirección al sur. Brandhorst (1959a y 1959b) asocia esa corriente con un bajo contenido de oxígeno (valores inferiores a 1ml O₂/ℓ) y la ubica entre 100m y 380m de profundidad frente a la costa central de Chile.

Las posibles causas del bajo contenido de oxígeno disuelto de estas aguas podrían ser: i) la descomposición (mineralización) de la materia orgánica, que cae en forma de "lluvia" hasta profundidades de las AESS, produciendo el consumo de oxígeno (Brandhorst, 1959a) y ii) el prolongado tiempo de residencia o "vejez" de estas aguas (Robles *et. al.* 1970).

Wooster y Gilmartin (1961) determinan el límite meridional en los 15°S, donde la salinidad es de 34,8‰ y su límite más austral llegaría a 41°S con salinidades menores de 34,5‰, debido a la mezcla con aguas menos salinas.

Zuta y Guillén (1970) extienden el rango

de distribución en su límite norte hasta ca. 10°S, e identifican las AESS con temperaturas de 15 a 13°C y salinidades de 34,9‰. Por otra parte, Brandhorst (1971) comunica que entre los 41°S y 42°S, encontró aguas con valores de salinidad relativamente altos y temperaturas bajas (*i.e.*, 10 a 12°C) identificándolas con las AESS.

Estudios realizados en aguas costeras frente a Valparaíso (Silva, 1973; Sievers y Silva, 1973) ponen de manifiesto la presencia de las AESS, que en esta zona se caracterizan por salinidades altas, temperaturas bajas y valores de oxígeno disuelto menores de 1ml O₂/ℓ.

La extensión hacia el Norte de esas investigaciones permitió a Silva y Sievers (1974) y Sievers y Silva (1975) definir con claridad las AESS. Así los rasgos de temperatura y salinidad encontrados fueron de 7-10°C y 34,4-34,8‰ respectivamente, asociados a un contenido de oxígeno disuelto menor que 2ml O₂/ℓ. El espesor de la contracorriente es de 100m a 150m, ubicándose entre las profundidades de 200m y 350m.

Brandhorst (1971) informa sobre un lente de fuerte surgencia paralelo a la costa entre 35° 38'S y la costa donde las AESS cubrieron una extensión de ca 120 millas de longitud por 30 millas de ancho. Las salinidades cercanas a la costa fueron superiores a 34,4‰ y las temperaturas inferiores a 13°C, lo cual confirma la presencia de las AESS en el proceso.

iii) Las AIAA han sido caracterizadas por Sievers y Silva (1974 y 1975), entre 18°S y 33°S, con temperaturas de 4-8°C, salinidad con un rango de 34,3-34,5‰ y un contenido de oxígeno disuelto de 1-3ml O₂/ℓ.

El espesor de las AIAA es de aproximadamente 600m frente a Valparaíso, disminuyendo a 500m frente a Arica; esta masa de agua ocupa la capa de los 350 a 900m de profundidad, pudiendo alcanzar mayores profundidades.

Brandhorst e Inostroza (1965) presentan en forma gráfica los resultados de las expediciones "Williams Scoresby" y "Chiper". El análisis de los cortes más próximos a nuestra zona revelan que las AIAA tienen un espesor levemente superior a los 600m en las estaciones más oceánicas y que éste disminuye hacia la costa. Las características hidrográficas que definen esta masa de agua son temperaturas con un rango de 4-8°C, una salinidad de 34,3‰

que caracteriza un núcleo ubicado *ca.* 600m de profundidad y un contenido de oxígeno disuelto que fluctúa entre 3 y 5 ml O₂/ℓ. Estas

características confirman en gran medida los resultados obtenidos por Sievers y Silva (op.cit.).

IV. RESULTADOS

A. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

En general las condiciones meteorológicas en Chile están determinadas por el comportamiento de tres campos de presión atmosférica, *i.e.*, i) Centro Anticiclónico del Pacífico (CAP), ii) Depresión Térmica Continental (DTC) y iii) Sistema Depresionario del Extremo Sur (SDES). El CAP se encuentra ubicado entre 90°W y 100°W durante todas las estaciones del año, desplazándose en primavera, desde los 30°S, posición que ocupa en el invierno, hasta sobrepasar en algunas ocasiones los 40°S durante el verano. Este desplazamiento permite la aparición en la zona central de Chile, de una depresión de origen térmico que se relaciona con el avance al sur de la DTC y que se ubica al N W de Argentina durante el verano (Fig. 3). En otoño la depresión térmica de Chile central se destruye y la DTC se debilita, dando comienzo a su regresión al N por el rechazo producido por el CAP en su migración hacia su posición de invierno (Fig.4).

En el extremo austral de América se ubica el SDES, centrado aproximadamente en Tierra del Fuego. Los desplazamientos al N en invierno y al sur en verano están regulados por el CAP Devynck, 1970; Branshorst, 1971 y Neshyba y Méndez, 1975).

La distribución de los gradientes de presión en la zona Centro Sur de Chile, determina un régimen de vientos que se caracteriza por el predominio de vientos ciclónicos del sector N en invierno y vientos anticiclónicos de los sectores SW y S durante el verano (Devynck op.cit.).

El período de nueve años de observación (*i.e.*, 1965-1973) en la EMB* (Fig. 5) indica que el viento dominante en primavera y verano es el viento anticiclónico del SW; el viento S muestra una persistencia uniforme y una frecuencia alta durante todo el ciclo anual, con débiles aumentos de frecuencia: uno en abril y otro en

septiembre. Estos meses representan, como se puede apreciar en la Fig. 5, una transición respecto al cambio de dominancia. Durante otoño e invierno la predominancia corresponde al viento N. Los otros componentes muestran, en general, una variación estacional que no es significativa desde un punto de vista hidrográfico, por su corta persistencia y baja frecuencia. De esta manera, el viento W muestra un débil desarrollo a partir de primavera que coincide con la dominancia del SW. El viento NW tiene un débil desarrollo en invierno que coincide con la predominancia del N. El desarrollo de los otros componentes es aún menor al de los mencionados y, por lo tanto, no tienen importancia en la bahía de Concepción y áreas adyacentes.

El viento S ocasionalmente ha llegado a ser dominante durante los meses de transición (*i.e.*, abril y agosto) debido a un debilitamiento de los vientos normalmente dominantes.

Durante el predominio del SW, que comienza en septiembre, su velocidad alcanza un promedio de 7,7 nudos, la que aumenta hasta llegar a un máximo de 11,9 nudos en los meses de enero y febrero para después disminuir hasta 9,7 nudos en el mes de marzo en que termina su dominancia. De abril a agosto, el viento N es el dominante. Su velocidad promedio es de 7,8 nudos en abril y en los meses siguientes experimenta un rápido aumento para llegar a su máximo desarrollo en junio con 12,9 nudos. Posteriormente inicia su regresión hasta 9,4 nudos en agosto, en que termina su dominancia.

En el interior de la Bahía de Concepción la orografía costera produce cambios importantes en la dirección de los vientos de superficie (*i.e.*, 10m sobre el nivel del mar); la Primera Campaña Meteorológica del Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción realizada en enero de 1976, constató que la componente SW, registrada en Punta Hualpén y Punta Tumbes puede considerarse como S en el interior de la Bahía de Concepción.

La pluviosidad también muestra un marcado

*EMB = Estación Meteorológica Bellavista.

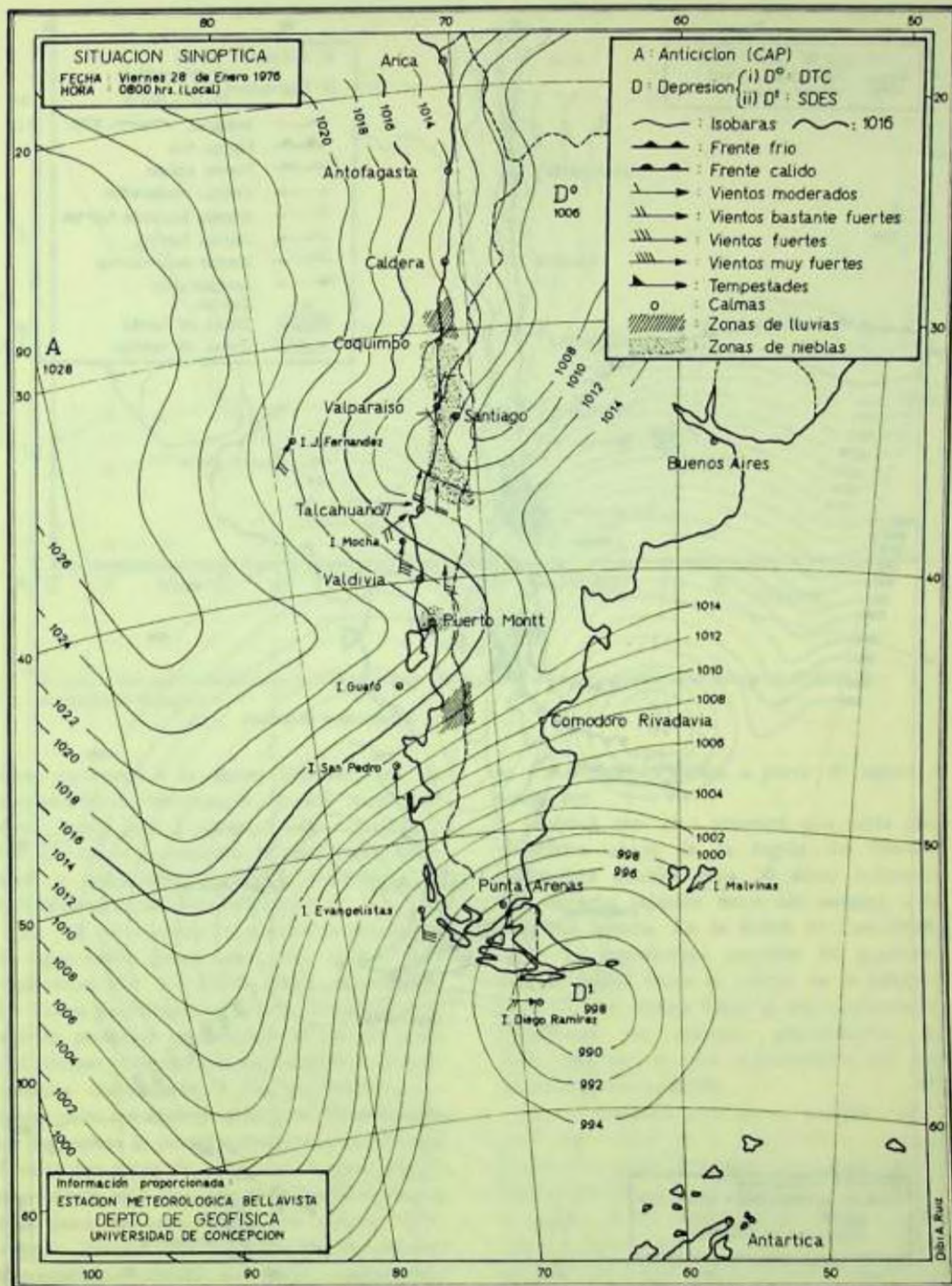


Fig. 3

Comportamiento de los campos de presión atmosférica y su relación con los vientos predominantes y precipitaciones (período estival).

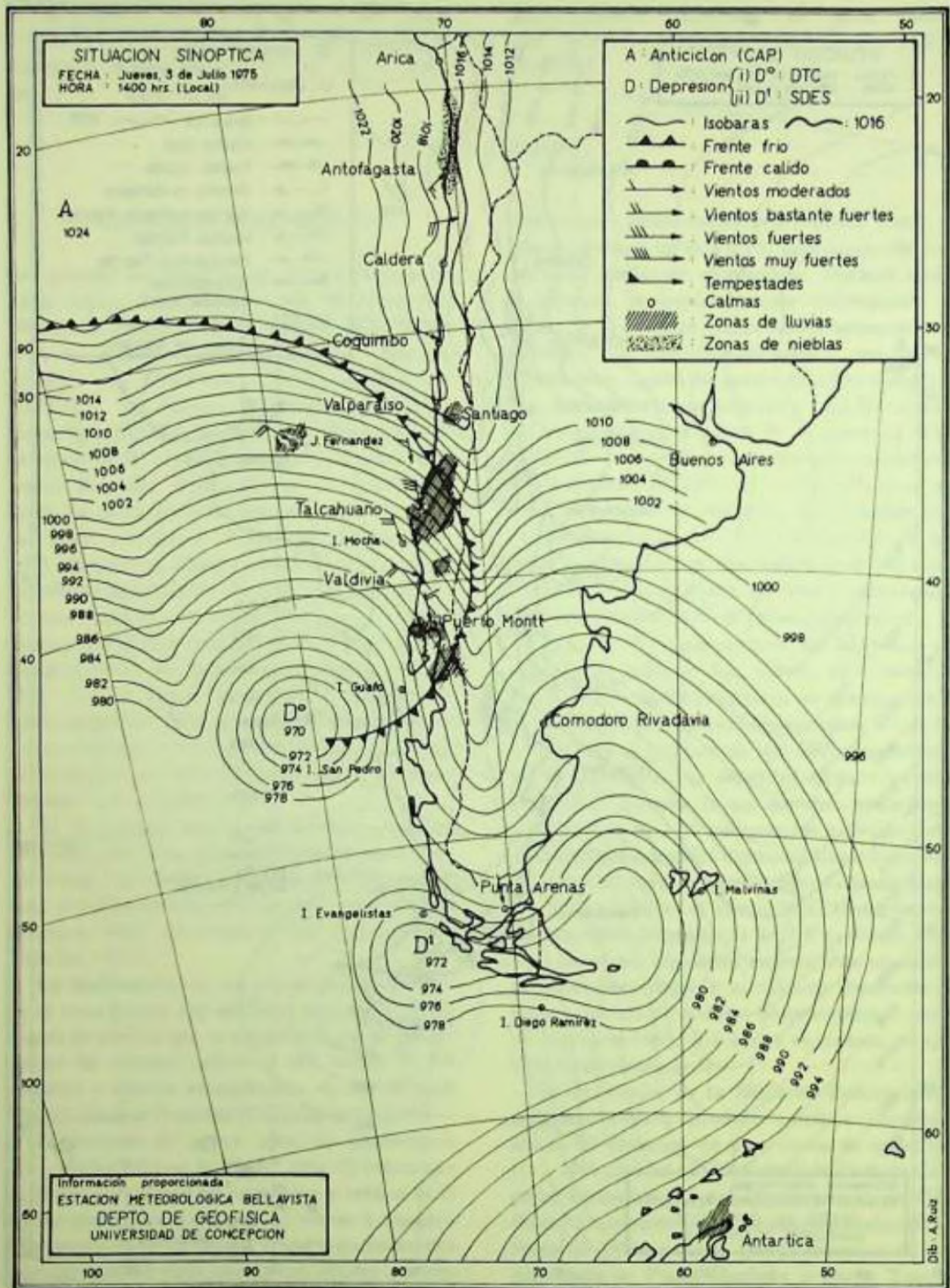


Fig. 4

Comportamiento de los campos de presión atmosférica y su relación con los vientos predominantes y precipitaciones (Período invernal).

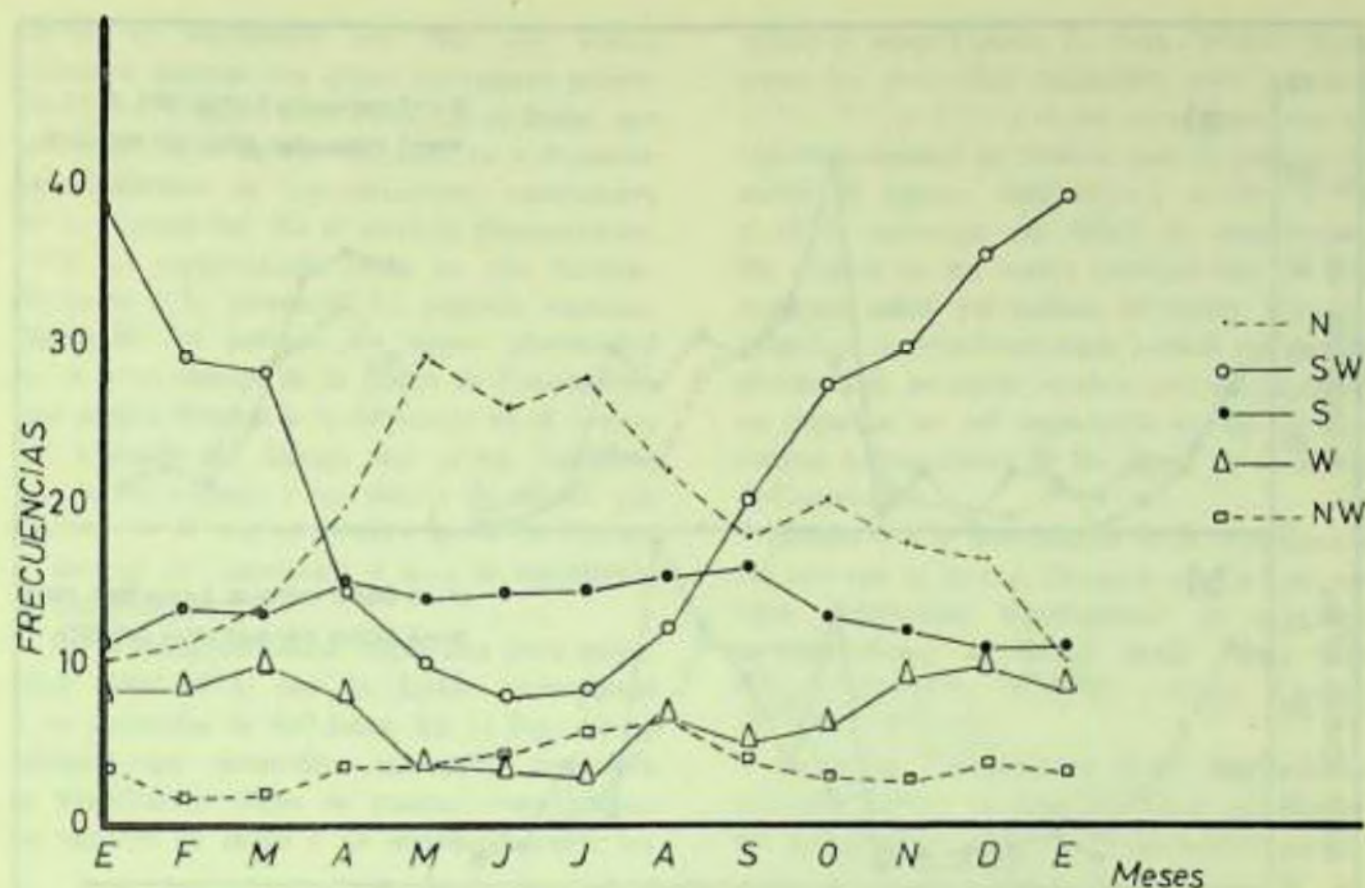


Fig. 5

Frecuencia mensual promedio de los principales componentes de los vientos de superficie observados en la Estación Meteorológica de Bellavista.

ritmo estacional y la mayor frecuencia de las precipitaciones corresponde a los meses de mayo, junio, julio y agosto (otoño e invierno). Por otra parte la cantidad de agua caída desde abril a septiembre, inclusive, representa el 84% del total anual (Devynck op. cit.).

La Fig. 6a muestra los promedios mensuales de agua caída para nueve años (1965-1973) registrados por la EMB (línea de trazos). En ella se puede apreciar que el máximo pluviométrico promedio corresponde al mes de junio y el mínimo a enero. En el mismo gráfico, la línea continua corresponde a los promedios mensuales para los años de muestreo. Al comparar las dos curvas se puede apreciar que el mes más lluvioso fue mayo de 1972, con valores significativamente más altos que el promedio de nueve años para ese mes, siendo en general 1972 un año lluvioso. En el año 1975 el máximo pluviométrico ocurrió en junio, coincidiendo en el tiempo con los promedios. Sin embargo, los meses de abril a julio presentan un exceso de agua caída respecto al promedio; este último

se transforma en déficit a partir de agosto a noviembre.

Devynck (op. cit.) presenta una carta pluviométrica anual de la región del Bio-Bío (promedios anuales para 30 años) indicando una estrecha relación entre los isoyetas y la orografía costera. En la Bahía de Concepción existe un significativo aumento del gradiente de pluviosidad hacia la cabeza de la bahía y desde el área costera hacia la zona continental, alcanzando un máximo pluviométrico de 2000 mm/año en las proximidades del nacimiento del río Andalién.

El río Andalién nace en la cordillera de la costa (i.e., 36°47'30''S; 72°49'W) y recolecta y drena las aguas de numerosos esteros. Desemboca en la cabeza de la Bahía de Concepción y el análisis de los promedios del gasto mensual (años 1964-1968) en su desembocadura, muestra marcadas fluctuaciones estacionales que, en general, coinciden con el régimen pluviométrico (Fig. 6b).

Los gastos medios máximos corresponden

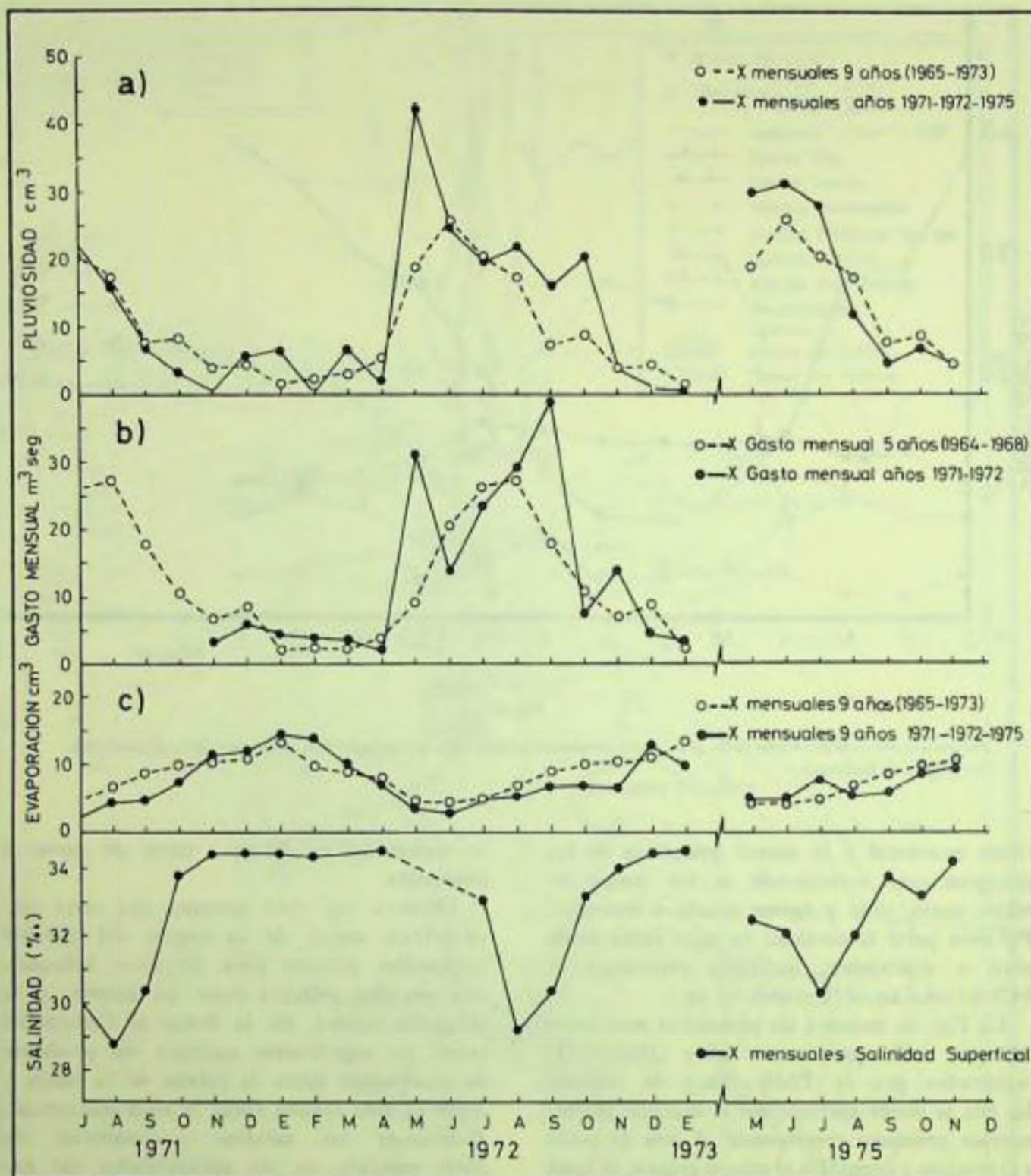


Fig. 6

Principales factores de variación de la salinidad superficial en la Bahía de Concepción. a) Promedios mensuales de pluviosidad, b) Promedios mensuales de carga del Río Andalién, y c) Promedios mensuales de evaporación.

a los meses de julio y agosto (invierno) con ca. $28\text{m}^3/\text{seg}$, y el gasto medio mínimo ocurre en enero y febrero (verano) con menos de $2.5\text{m}^3/\text{seg}$.

La línea continua representa los gastos mensuales para 1972 y registra dos máximos para ese año, uno en otoño, que corresponde a mayo con $31\text{m}^3/\text{seg}$ y el otro a fines de in-

vierno, en septiembre, con $39\text{m}^3/\text{seg}$; ambos máximos superan con creces los valores promedios para 5 años. Esto confirma el hecho que la carga fluvial de río Andalién va a depender principalmente de las variaciones estacionales de la pluviosidad. En el análisis pluviométrico, 1972 fue caracterizado como un año lluvioso. Respecto a la presencia del segundo máximo, desfasado del periodo de mayor pluviosidad en la zona costera de la Bahía de Concepción, este podría deberse a la diferencia en el tiempo del régimen de lluvias del clima marítimo (i.e., zona costera) y las lluvias de relieve que ocurren en el macizo costero (zona de Florida al interior de Concepción y área de nacimiento del río Andalién).

La evaporación anual registrada para nueve años (1965-1973) por la EMB corresponde a un promedio de 939.5mm . En la Fig. 6c, se presenta los promedios mensuales normales de evaporación (línea de trazos) observándose un máximo en enero y un mínimo durante los

meses de mayo y junio. La línea continua representa los promedios mensuales para los años 1971, 1972 y 1975 y al ser comparados con los valores normales se observa que en general los meses de agosto, septiembre y octubre (1971 y 1972) muestran un déficit de evaporación. En cambio en los meses estivales hay un leve aumento sobre los valores normales. Sin embargo, al correlacionar estos valores con los de pluviosidad, se puede concluir que los primeros no jugarían un rol importante en las características hidrográficas de las aguas de la Bahía de Concepción.

Respecto a la distribución de la temperatura del aire con la latitud, Devynck (op. cit.) no detecta diferencias significativas en el área correspondiente al litoral desde Punta Carranza, ($35^{\circ}35'S$; $72^{\circ}40'W$) a Punta Lavapié ($37^{\circ}10'S$; $73^{\circ}35'W$).

En la Fig. 7 se presenta: i) las observaciones correspondientes a los promedios mensuales de nueve años (1965-1973) obtenidos por la

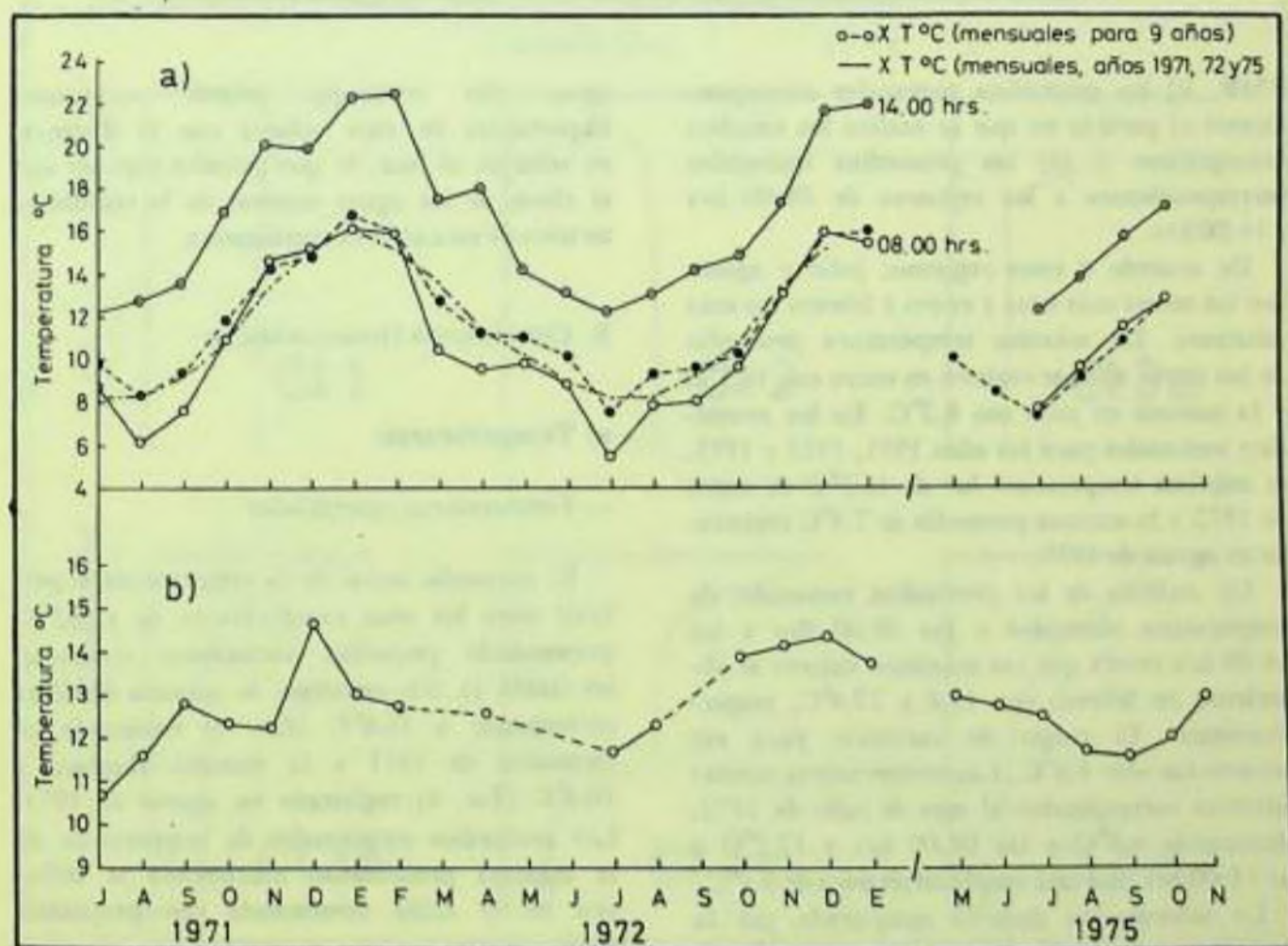


Fig. 7

Promedios mensuales de: a) temperaturas del aire registradas en la Estación Meteorológica de Bellavista, y b) temperaturas superficiales de las aguas de la Bahía de Concepción.

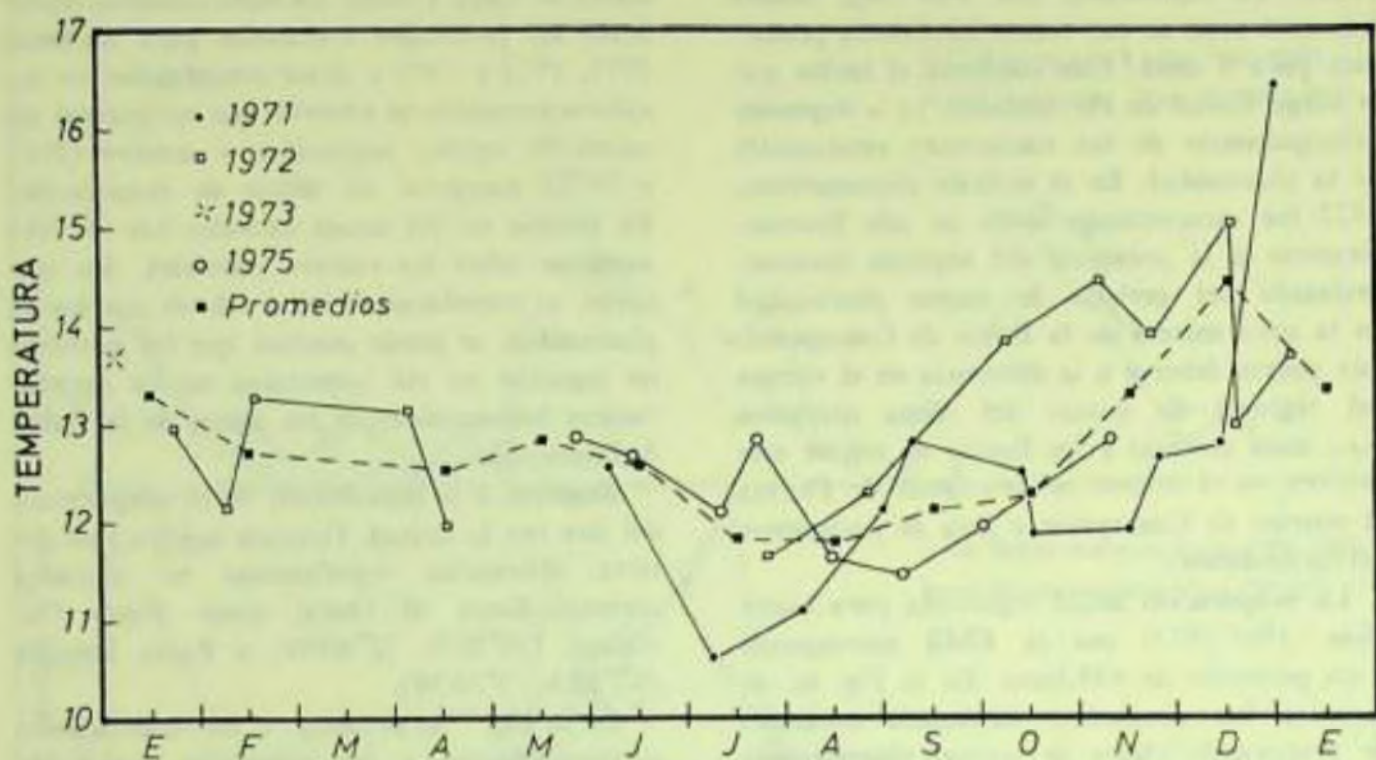


Fig. 8

Promedios de temperaturas superficiales para diferentes años de muestreo en la Bahía de Concepción.

EMB, ii) los promedios mensuales correspondientes al período en que se realizó los estudios hidrográficos y iii) los promedios mensuales correspondientes a los registros de 08:00 hrs y 14:00 hrs.

De acuerdo a estos registros, julio y agosto son los meses más fríos y enero y febrero los más calurosos. La máxima temperatura promedio de los nueve años se registró en enero con 16.1°C y la mínima en julio con 8.2°C . En los promedios mensuales para los años 1971, 1972 y 1975, la máxima temperatura fue de 16.7°C en enero de 1972 y la mínima promedio de 7.4°C registrada en agosto de 1975.

Un análisis de los promedios mensuales de temperatura obtenidos a las 08:00 hrs y las 14:00 hrs revela que los máximos valores se obtuvieron en febrero con 15.8 y 22.4°C , respectivamente. El rango de variación para ese horario fue sólo 6.6°C . Las temperaturas medias mínimas corresponden al mes de julio de 1972, alcanzando 6.8°C a las 08:00 hrs y 12.2°C a las 14:00 hrs, con una amplitud térmica de 5.4°C .

La información descrita comparada con la obtenida a lo largo de la costa hasta Punta Nugurue indica que las temperaturas medias no presentan variaciones latitudinales significa-

tivas. Sin embargo, existen variaciones importantes de esos valores con la distancia en relación al mar, lo que permite suponer que el efecto de las aguas costeras en la regulación térmica de esta zona es significativa.

B. CONDICIONES HIDROGRÁFICAS

a) Temperaturas:

— Temperaturas superficiales

El promedio anual de la temperatura superficial para los años estudiados es de 12.92°C , presentando pequeñas variaciones estacionales (tabla 1). Sin embargo, la máxima absoluta corresponde a 16.8°C (Est. 8) registrada en diciembre de 1971 y la mínima absoluta a 10.3°C (Est. 4) registrada en agosto de 1971. Los promedios estacionales de temperatura de la máxima profundidad muestreada se incluyen en la tabla mencionada con propósitos comparativos.

Los promedios mensuales de temperatura superficial en la Bahía de Concepción (Fig.8)

Tabla 1

PROMEDIOS ESTACIONALES DE TEMPERATURAS DE LA CAPA SUPERFICIAL Y MÁXIMA PROFUNDIDAD MUESTREADA PARA LA BAHÍA DE CONCEPCIÓN

| Estación | $\bar{X} T^{\circ}C$ Superficial* | $\bar{X} T^{\circ}C$ Máxima profundidad** |
|----------------|--------------------------------------|--|
| Primavera | 13.02 | 10.30 |
| Primavera | 13.96 | 10.70 |
| Otoño | 12.69 | 12.19 |
| Invierno | 12.04 | 11.65 |
| Promedio Anual | 12.92 | 11.21 |

* Promedio de todas las estaciones hidrográficas realizadas para las diferentes estaciones del año.

** Promedios de las estaciones de más de 15 m de profundidad máxima.

muestran un máximo a fines de primavera y un mínimo en los meses de invierno. Durante el periodo de verano se produce una baja considerable en las temperaturas promedio debido a la intrusión de aguas más frías. Esta influencia se detecta a partir de septiembre-octubre (durante la primavera) para persistir en todo el verano y ocasionalmente, hasta abril-mayo (otoño).

—Distribución vertical de la temperatura

Las diferentes características que presenta la relación temperatura-profundidad permite clasificar la variación vertical de temperatura en tres curvas tipo (Ct.), (Fig. 9).

i) Ct 1 sin gradiente de temperatura, representa una columna de agua homogénea. Esta falta de estratificación térmica aparece a

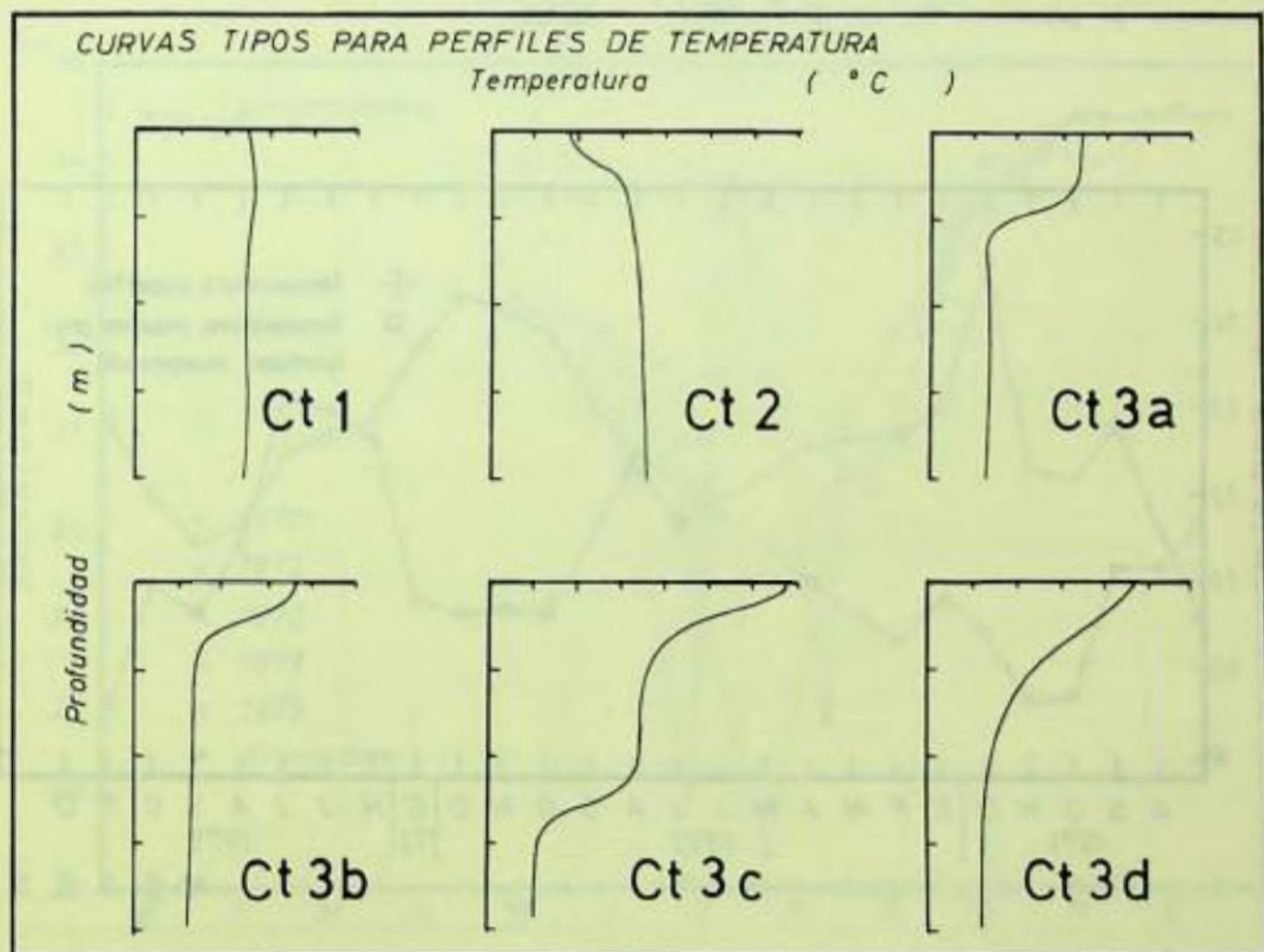


Fig. 9

Curvas tipo (Ct) de temperaturas en la Bahía de Concepción y áreas adyacentes.

mediados y fines de otoño y presumiblemente indicaría un proceso de mezcla importante.

ii) Ct 2 presenta un aumento de la temperatura con la profundidad hasta 15m (*i.e.*, termoclina negativa) y se estabiliza a mayor profundidad. Es característica del periodo de invierno.

iii) Ct 3 muestra una gradiente de temperatura que permite diferenciar la capa de mezcla superficial, la termoclina y una capa homotérmica. Presenta variantes originadas por el desarrollo de la termoclina estacional, procesos de mezcla o calentamiento significativo de la capa superficial (*e.g.*, Ct 3c), característica de primavera, verano y comienzos de otoño (Fig. 13, Ct 3a, b, c y d).

La topografía de la termoclina presenta fluctuaciones estacionales que implican profundidades de 10m a 30m.

La aparición de la termoclina se produce a comienzos de primavera en una profundidad

de ca. 10m. Alcanza profundidades de 10m a 20m en noviembre, para llegar a ubicarse entre los 20m y los 30m durante diciembre y comienzos de enero; luego se inicia una regresión del proceso hasta la desaparición de la termoclina a mediados de abril-mayo. Durante el invierno se forma una débil termoclina negativa que no alcanza los 15m de profundidad.

El análisis de los promedios de temperatura superficial y máxima profundidad, indica que en invierno la temperatura de fondo es mayor que la superficie. Durante la primavera, verano y principios de otoño la situación se invierte y las temperaturas de las aguas de máxima profundidad son significativamente más bajas que las de superficie, incluso menores que las superficiales de invierno. Estos valores coinciden con los que caracterizan las AESS provenientes de las áreas adyacentes a la Bahía de Concepción (Fig. 10). Por otra parte, las temperaturas de las aguas de máxima profundidad durante el invierno se identifican con los valores de las ASAA.

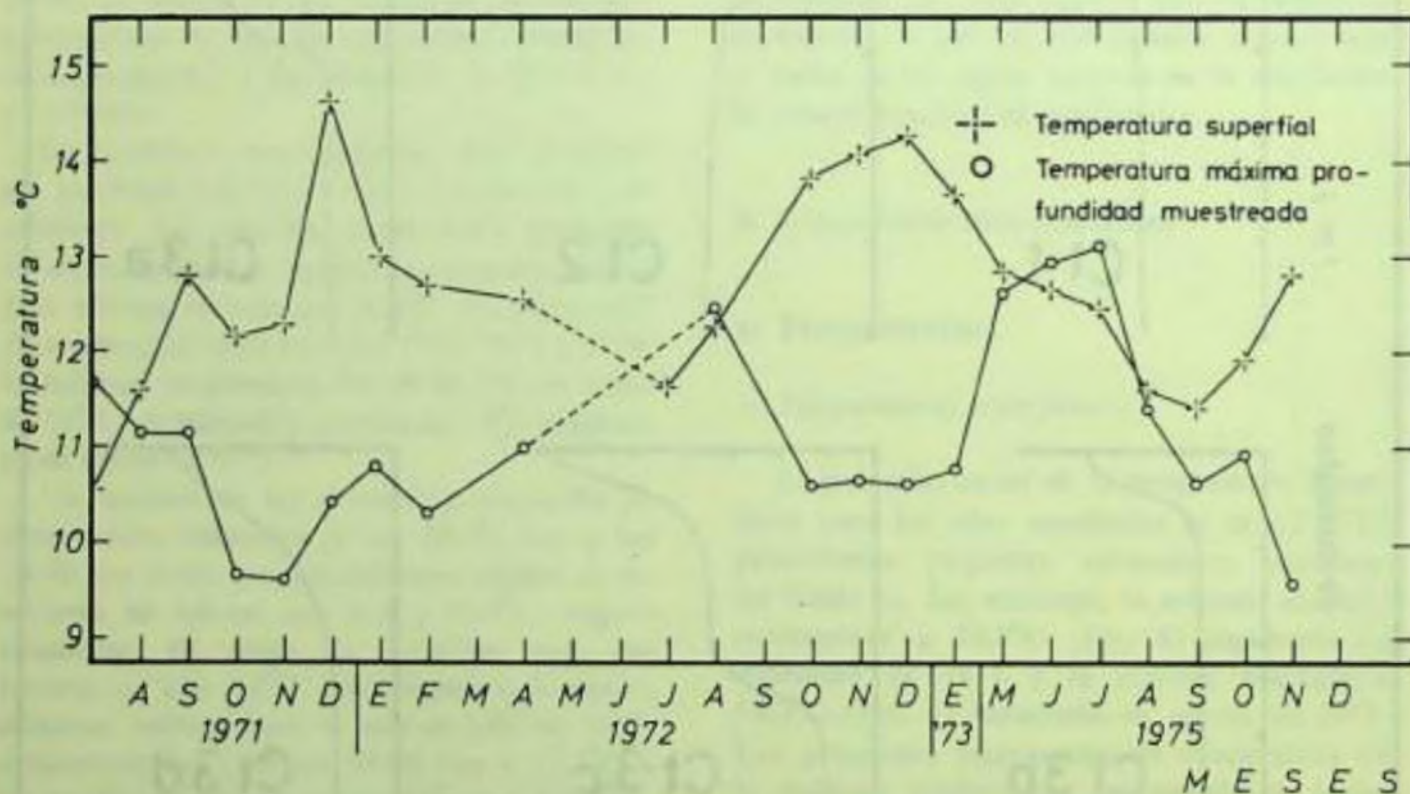


Fig. 10

Fluctuaciones mensuales de los promedios de temperaturas superficiales y máxima profundidad de muestreo.

b) Salinidad

-Salinidades superficiales

La fluctuación máxima anual de las salinidades superficiales es de 12,36‰, determinada por una máxima absoluta de 34,80‰ registrada en abril de 1972 y una mínima absoluta de 22,44‰ para julio de 1975. Esta última coincide con los días de mayor pluviosidad de ese mes. Ambos valores son ocasionales y se puede indicar que el rango más frecuente de la variación de salinidad superficial es de ca. 7,50‰ con valores de máxima variación entre 34,50 a 27,00‰.

La salinidad superficial promedio para la bahía de Concepción es de 32,87‰ (tabla 2). La variación de los promedios mensuales de salinidad superficial se muestra en la Fig. 11, apreciándose una dilución superficial invernal y aumento "anormal" de la salinidad en la época estival.

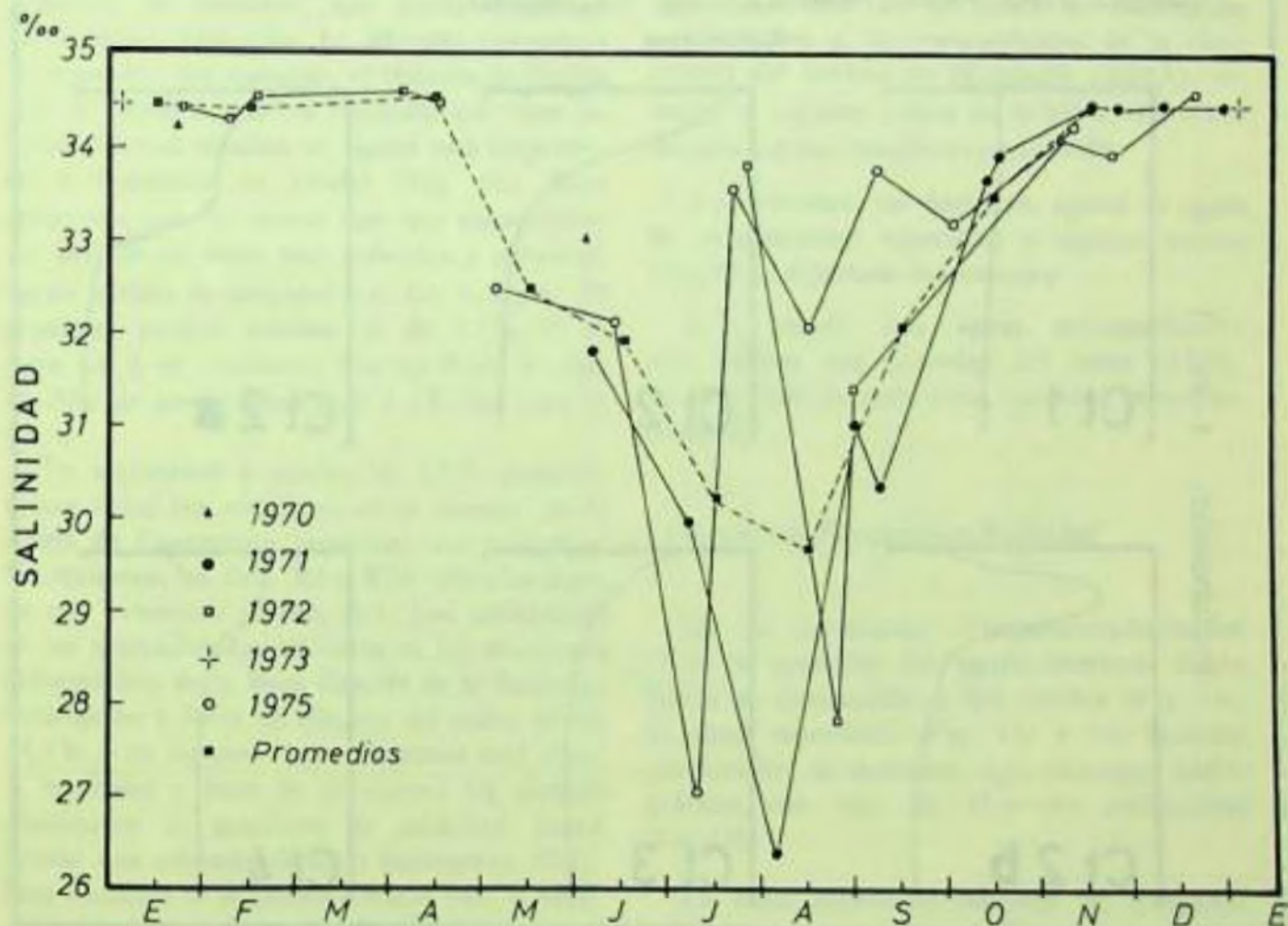


Fig. 11

Promedios de salinidad superficial para diferentes años de muestreo en la Bahía de Concepción.

Tabla 2

VARIACIONES ESTACIONALES DE LOS PROMEDIOS DE SALINIDAD EN LA CAPA SUPERFICIAL Y MÁXIMA PROFUNDIDAD DE MUESTREO

| Estación | X ‰ Superficial* | X S ‰ Máxima profundidad** |
|----------------|---------------------|-------------------------------|
| Primavera | 33.96 | 34.49 |
| Verano | 34.43 | 34.50 |
| Otoño | 32.59 | 34.07 |
| Invierno | 30.63 | 33.90 |
| Promedio anual | 32.87 ‰ | 34.24 ‰ |

* Promedios de todas las estaciones realizadas para las diferentes estaciones del año.

** Promedios de las estaciones de más de 15 m de profundidad máxima, incluidos con propósitos comparativos.

La dilución de la capa superficial comienza a fines de abril (otoño), coincidiendo con

el inicio de los meses de mayor pluviosidad y llega a su máximo en junio y julio; esto permite enfatizar la importancia de las aguas de lluvia y escurrimiento superficial en el proceso de mezcla. Sin embargo, la descarga del río Andalién es de gran importancia en la dilución observada en los meses siguientes (Fig. 6a y b), ya que tiene su máximo de carga justamente cuando la pluviosidad comienza a disminuir.

- Distribución vertical de la salinidad

La dilución superficial invernal se manifiesta como un fuerte gradiente de salinidad y una pronunciada estratificación que ocupa la capa de 0-30m en las bocas de la bahía y sobre los 20m en las estaciones interiores. A mediados de primavera el gradiente vertical se reduce hasta desaparecer a fines de este período, originando una columna de agua homogénea que

persiste durante todo el verano y principios de otoño. Este hecho está asociado a un aumento "anormal" de la salinidad (*i.e.*, valores superiores a los de ASAA). A mediados y fines de otoño aparece la haloclina y comienza su desarrollo para llegar a su máxima expresión en invierno.

Así las variaciones de la salinidad en las aguas de la Bahía de Concepción presenta dos patrones diferentes de comportamiento en un ciclo marino anual, los que están precedidos de períodos de transición relativamente cortos.

La distribución vertical de la salinidad (Fig. 12) se puede clasificar en cuatro curvas tipo (Ct):

- i) Ct 1, no presenta gradiente de salinidad.
- ii) Ct 2, se caracteriza por un significativo rango del gradiente salinidad lo que determina la formación de una haloclina pronunciada, alcanzando en algunos casos una variación de

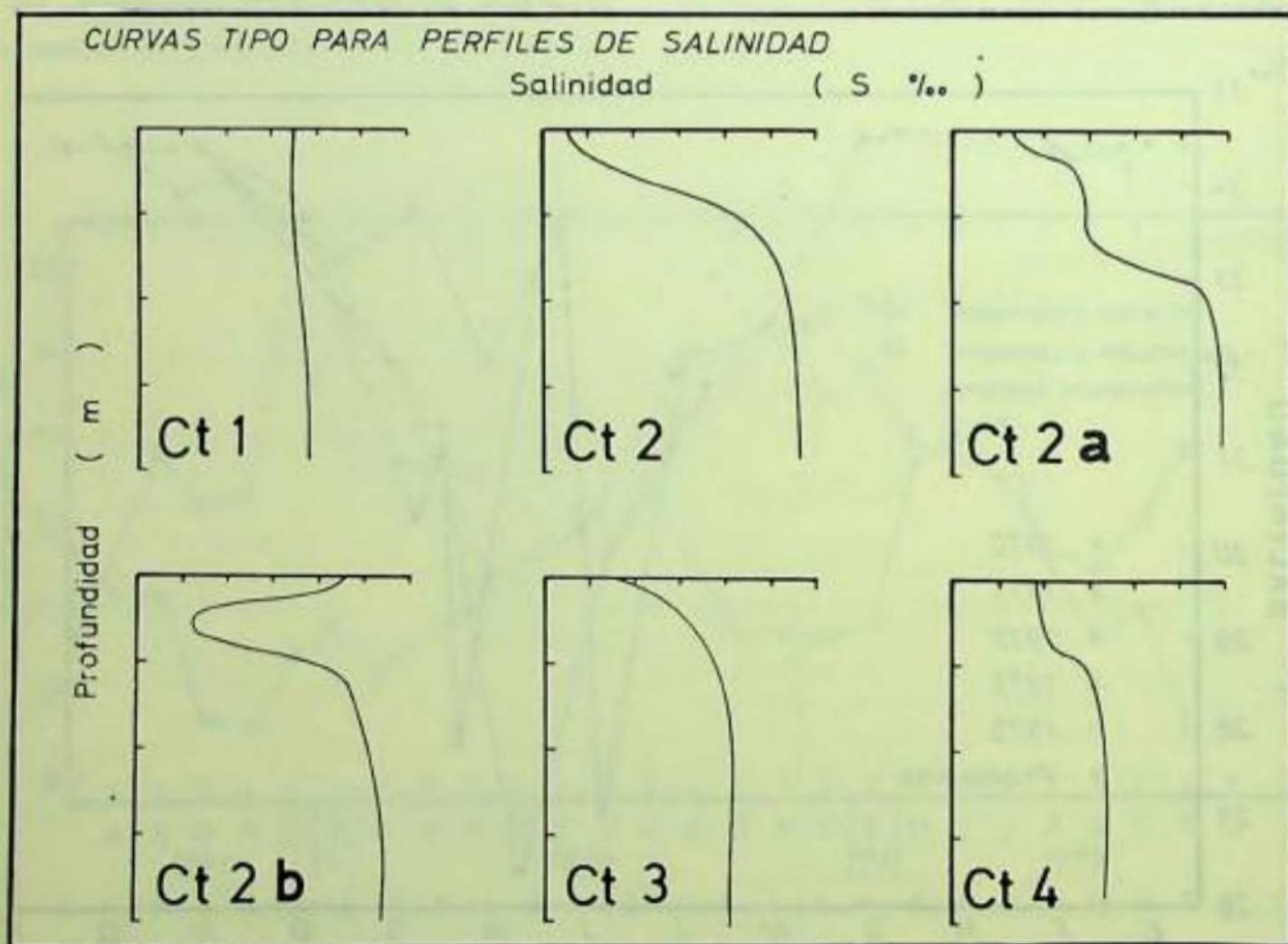


Fig. 12

Curvas tipo de salinidad en la Bahía de Concepción y áreas adyacentes.

ca. 4‰/10 m. Es necesario indicar que la Ct2 sufre alteraciones ocasionales designadas como Ct2a y Ct2b. La primera sólo se presentó en las Ests. 3, 5 y 10 en el mes de julio de 1975, período en el que Ct2 es la más frecuente y en la Est. 8 en los meses de agosto y septiembre. La Ct 2b sólo fue encontrada en la Est. 8 en el mes de julio de 1975. La Est. 8 presenta, en general, un comportamiento diferente al de las estaciones hidrográficas adyacentes en cuanto a la distribución de la capa superficial de los parámetros estudiados, como se podrá observar en las secciones verticales de la bahía.

iii) Ct3 presenta un aumento monotónico de la salinidad desde la superficie hasta los 15 a 20m de profundidad.

iv) Ct4, el rango de gradiente de salinidad es relativamente pequeño, no obstante presenta una haloclina conspicua. (i.e., 1,2‰/3m.).

En septiembre y octubre (primavera) se ha detectado un período de transición en que el gradiente de salinidad, que había alcanzado un máximo desarrollo en invierno, comienza su regresión. Sin embargo, el régimen de lluvias aún no termina y el río Andalién que tiene su gasto mensual máximo en agosto está empezando a disminuir su caudal (Fig. 6b). Esto determina que las curvas tipo que caracterizan ese período no estén bien definidas y presenten varios perfiles de salinidad (i.e., Ct: 1, 2 y 4). El gradiente vertical máximo es de 5,5‰/10 m para Ct 2 en estaciones hidrográficas de más de 20m de profundidad y de 1,2‰/3m para la Ct. 4.

En septiembre y octubre de 1975, prácticamente todas las estaciones en el interior de la Bahía de Concepción presentan una haloclina. Sin embargo, las Ests. R2 y R2A ubicadas fuera de ella presentan perfiles Ct1. Las salinidades de las profundidades máximas en las estaciones hidrográficas de la Boca Grande de la Bahía de Concepción y fuera de ella son del orden de los 34,4‰ y en algunos casos levemente más altas. A mediados y fines de primavera los perfiles disminuyen su gradiente de salinidad, hasta formar una columna de agua homogénea (Ct1). Esta situación se mantiene durante todo el verano y comienzos de otoño. La diferencia entre los promedios mensuales de la capa superficial y las máximas profundidades no sobrepasa los 0,12 ‰ y la salinidad es del orden de 34,50 ‰.

Estos valores asociados a las temperaturas de este período y a nivel subsuperficial (i.e., más de 15m en el interior de la bahía) confirmaría la presencia de las AESS.

Las variaciones de salinidad durante un ciclo anual en la Bahía de Concepción son considerables, registrándose un rango máximo de 12,36‰. La máxima absoluta fue de ca. 34,80‰ en abril del año 1972 y detectada en las máximas profundidades muestreadas de las Ests. 7 y 9. En este mes se notó una apreciable alza de la salinidad (i.e., sobre 34,70‰ para niveles de mayores de 15m.) en todas las estaciones hidrográficas realizadas en la bahía. Los valores de mínima absoluta corresponden a salinidades superficiales de 22,44‰ en el mes de julio de 1975 (Est.3). La mínima absoluta anterior se había registrado en agosto de 1971, con 25,02‰ en las Ests. 4 y Ref.

Sobre la base de las temperaturas de máxima profundidad en invierno se considera que las aguas interiores de la Bahía de Concepción corresponden a las características de la rama costera del sistema de Humboldt (ASAA), entonces el régimen halino de la bahía está determinado por las variaciones estacionales:

i) pluviosidad, río Andalién, aporte de aguas de escurrimiento superficial y algunos esteros (Fig. 6) en el período de invierno y

ii) la mezcla con aguas subsuperficiales más salinas que proceden del norte (AESS) en el período de primavera, verano y principios de otoño.

-Correlación Temperatura-Salinidad

En la correlación Temperatura-Salinidad (T-S) se consideró las aguas interiores de la Bahía de Concepción a dos niveles de z , i.e., (i) capa superficial (Fig. 13) y (ii) máxima profundidad de muestreo, e.g., estaciones hidrográficas con más de 15m de profundidad (Fig. 14).

La capa superficial muestra un comportamiento estacional diferente para invierno y verano. En invierno se presenta una amplia fluctuación de salinidad con valores entre ca. 22,4-24,2‰ y una variación comparativa-

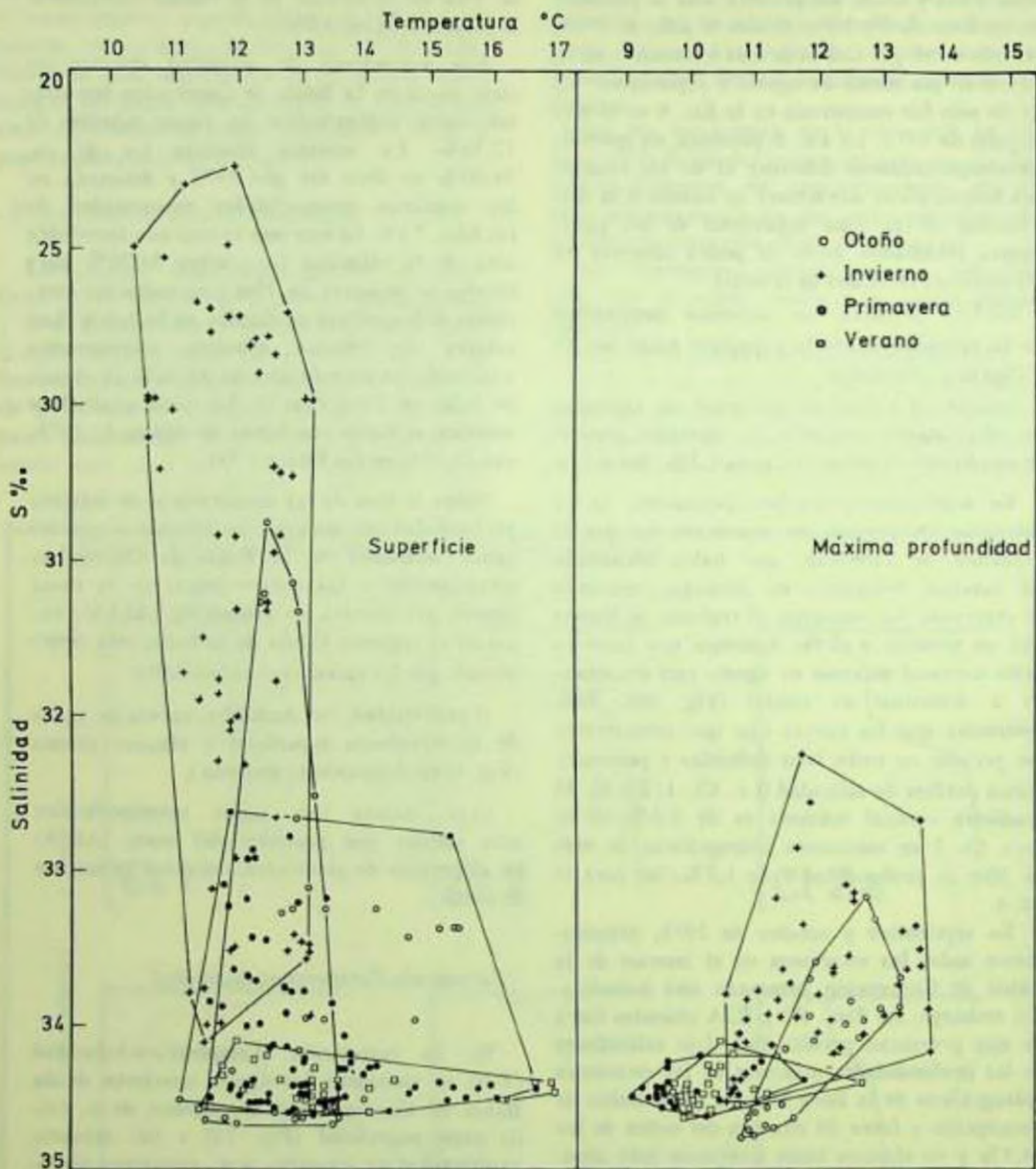


Fig. 13

Fig. 14

Diagrama de correlación T-S para diferentes estaciones del año en la Bahía de Concepción.

Diagrama de correlación T-S para diferentes estaciones del año en la Bahía de Concepción.

mente pequeña de temperatura de 10,3-13,1°C. En verano el rango de variación de salinidad es notablemente menor (34,2-34,6‰), pero la fluctuación de la temperatura es mayor que en invierno (11,2-16,8°C).

El comportamiento de los parámetros correlacionados presenta en primavera y otoño características intermedias a las encontradas en verano e invierno. Así, en primavera se detecta valores característicos del período estival. Esto es deducido de la concurrencia de los valores graficados hacia aquellos representativos del verano y de una dispersión hacia los valores invernales. Además es importante destacar que los rangos de fluctuación de los parámetros y, consecuentemente, la forma de las figuras resultantes tienen semejanzas significativas.

Los valores graficados para otoño muestran una tendencia hacia las características del período invernal.

En la Fig. 14 se presenta la correlación T-S para las máximas profundidades de muestreo. En general, el rango de variación es menor que el de las capas superficiales y las figuras que representan invierno y verano se superponen; sin embargo, las tendencias de agregación de los valores son diferentes. Esos valores de invierno muestran un rango de variación de salinidad y temperatura entre 32,3-34,6‰ y entre 10,5-13,6°C, respectivamente. Los valores de 34,6‰ de salinidad y 10,5°C de temperatura corresponden al mes de agosto de 1975, único año en que la presencia de las AESS fue detectada para ese mes en el interior de la bahía. La agregación de los valores invernales propiamente tales, ocurre entre los 33,8-34,3‰ para salinidad y 11,0-13,0°C para temperatura. En el verano, el rango de variación de salinidad y temperatura es pequeño (ca. 34,2-34,6‰ y 9,7-12,6°C, respectivamente) y los valores muestran una tendencia de agregación hacia los valores de menor temperatura y máxima salinidad. Es interesante notar que en primavera los valores correlacionados muestran una significativa concurrencia hacia valores de temperatura que representan los registros más bajos del ciclo anual; en otoño la concentración de los valores en los hidro-climogramas se presenta hacia salinidades que se identifican con las mayores del ciclo anual.

Los resultados de la correlación T-S indican

claramente dos periodos principales (i.e., verano e invierno) y dos periodos de menor duración que corresponden a etapas de transición (i.e., otoño y primavera).

c) Oxígeno disuelto

- Oxígeno superficial

Para el estudio de las variaciones superficiales del oxígeno disuelto se consideró las muestras obtenidas mediante botellas Nansen en la capa 0-1m.

Con el objeto de obtener una visión global de las variaciones superficiales y excluir los efectos producidos por fenómenos muy localizados (e.g., contaminación), se utilizó los promedios mensuales expresados en porcentajes de saturación (Fig. 15).

En general, los valores mayores de 100% de saturación indicarían una concentración de oxígeno "anormal" como resultado de una alta tasa fotosintética. Los valores que no alcanzan la saturación indicarían un consumo alto de oxígeno disuelto (i.e., respiración y procesos de descomposición química y bioquímica de materia orgánica) y/o mezcla con aguas superficiales (AESS) que penetrarían en la Bahía de Concepción.

A fines de invierno (agosto y septiembre) y en primavera son frecuentes las aguas sobresaturadas en la capa superficial (i.e., 5m), llegando en algunos casos a valores de 150% de saturación. En diciembre-enero es frecuente la detección de valores de subsaturación que persisten durante cortos periodos (ver Fig. 15), para luego alcanzar porcentajes de sobresaturación menores que los registrados en primavera (ca. 115%). En invierno se mantienen valores normales de saturación (ca. 100%).

Rivera (1968) en un estudio sobre las diatomeas en Bahía de Concepción observó que existen dos periodos de máxima abundancia; uno entre agosto y diciembre y otro entre enero y marzo; ellos están separados por un corto período de escasez que ocurre en diciembre. Un segundo período de escasez se presentó de marzo a agosto. Esto sugiere una relación entre los meses de mayor producción fitoplanctónica y los valores de sobresaturación de oxígeno disuelto detectados en el presente trabajo.

La distribución vertical de oxígeno disuelto durante un ciclo anual configura dos caracte-

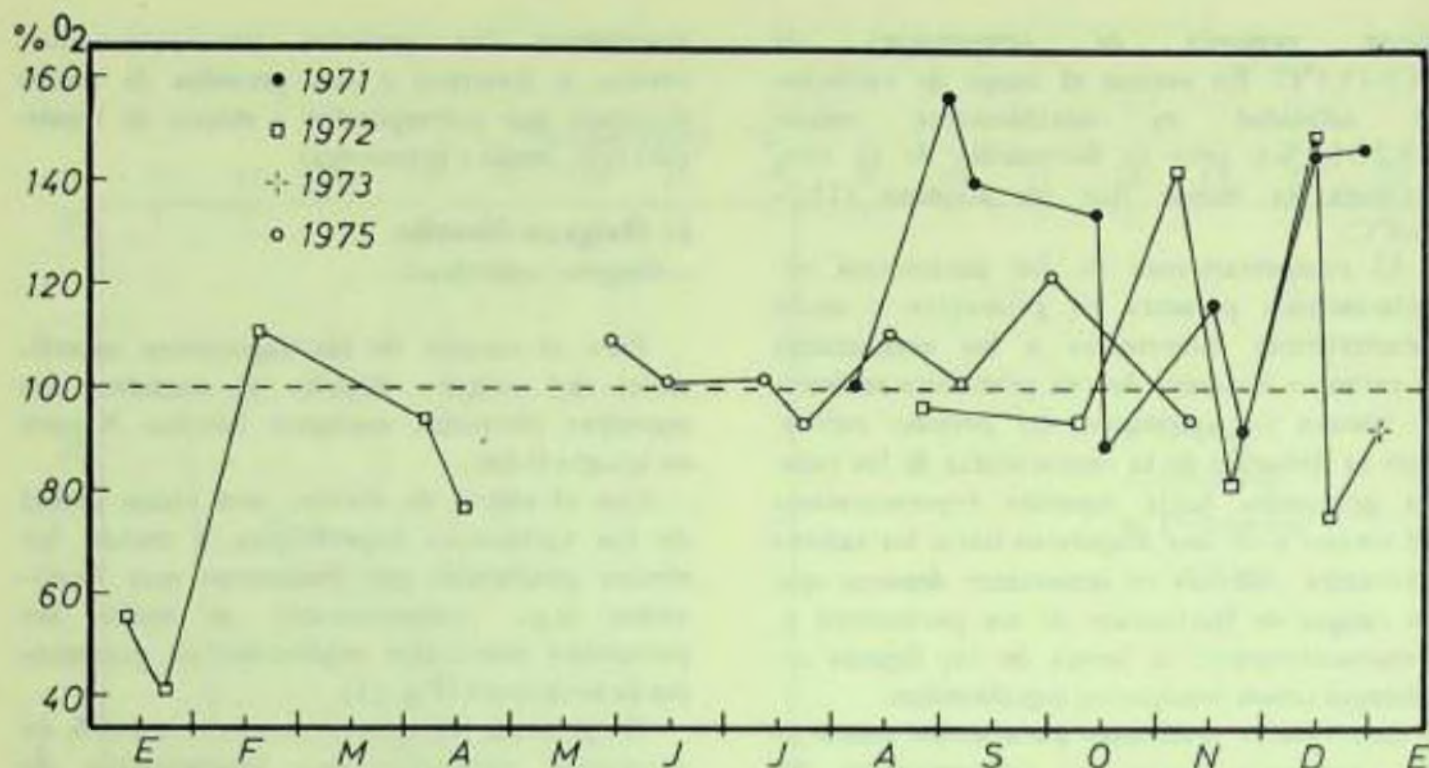


Fig. 15

Porcentaje de saturación de O_2 (0-1 m) para diferentes años de muestreo en la Bahía de Concepción.

rísticas generales: la primera comienza a mediados de otoño y se prolonga durante el invierno y parte de la primavera. Consiste en un cuerpo de agua bien oxigenada con una capa superficial con valores cercanos al de saturación. Ocasionalmente, el contenido de oxígeno es inferior a $3\text{ml } O_2/\ell$ a niveles de la máxima profundidad muestreada. La segunda característica se inicia a comienzos de primavera, con la presencia de una mínima de oxígeno (valores inferiores a $1\text{ml } O_2/\ell$) detectada en la máxima profundidad de la Est.7 y que penetra al interior de la bahía y asciende en forma aperiódica hasta interceptar la superficie. Este proceso se mantiene durante la primavera, verano y comienzos de otoño. Consecuentemente con este afloramiento de aguas pobres en oxígeno, la capa superficial presenta períodos alternados de aguas no saturadas (ca. 40% de saturación) con valores de saturación y sobresaturación de oxígeno disuelto. Estos últimos se deben a la gran actividad fotosintética y alcanzan valores de $9,5\text{ml } O_2/\ell$ (ca. 140% de saturación).

La Fig. 16 muestra las variaciones mensuales en profundidad de la mínima de oxígeno en un campo de masa que incluye todas las estaciones hidrográficas ubicadas en la Boca Grande, incluyendo la Est.9. En esta figura se puede

apreciar claramente la aparición de la mínima de oxígeno a comienzos de primavera y su desaparición a mediados de otoño.

Generalmente, a partir de noviembre y hasta abril, la mínima de oxígeno se encuentra cubriendo el 80% de los fondos de la bahía. Solamente las áreas muy costeras (i.e., isóbatas menores de 15m) y el canal formado al interior de la Boca Chica no son afectadas por estas condiciones y presentan un comportamiento diferente del resto de la bahía. Este hecho se debería a la turbulencia y mezcla provocada por las corrientes de mareas y "stress" del viento.

Correlación Temperatura-Oxígeno disuelto

La correlación Temperatura-Oxígeno disuelto (T- O_2) se ha realizado mediante gráficos T- O_2 para las estaciones ubicadas en la Boca Grande de la Bahía de Concepción. Se ha considerado los promedios de las Ests. 7, 8 y 12 con el objeto de determinar un campo de masa de esta área. Las variaciones mensuales de un ciclo fueron promediadas para los niveles de 0,20 y 40m de profundidad (Fig. 17). De esta manera fue posible detectar variaciones mensuales y horizontales (a diferentes niveles de z) significativas.

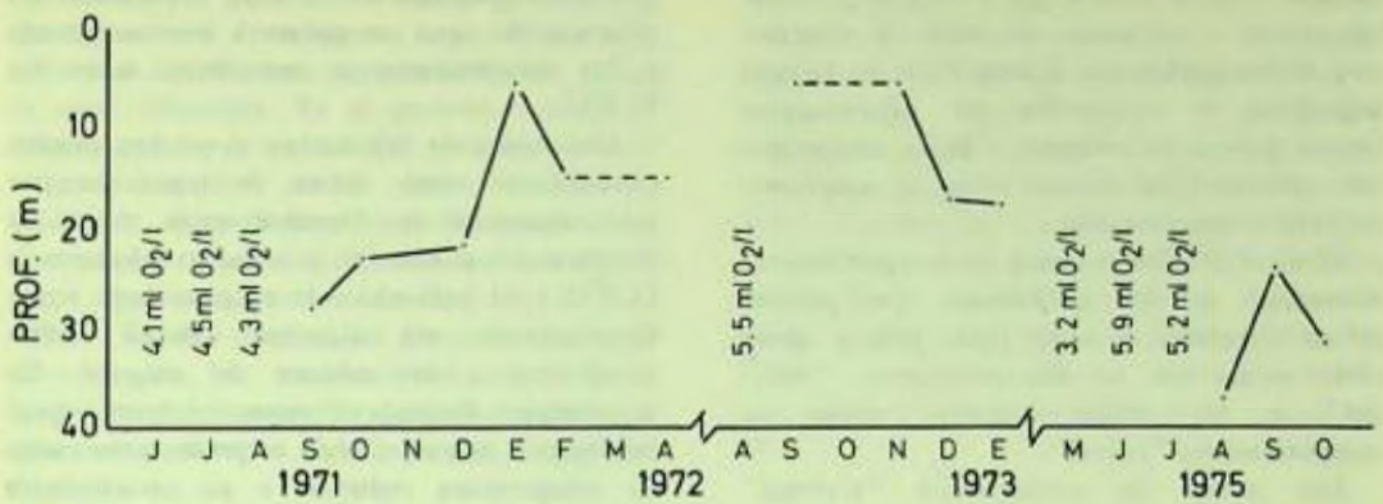


Fig. 16

Variación mensual de la profundidad de la isolínea de 1 mg O₂/l (Est. 7) durante los años estudiados.

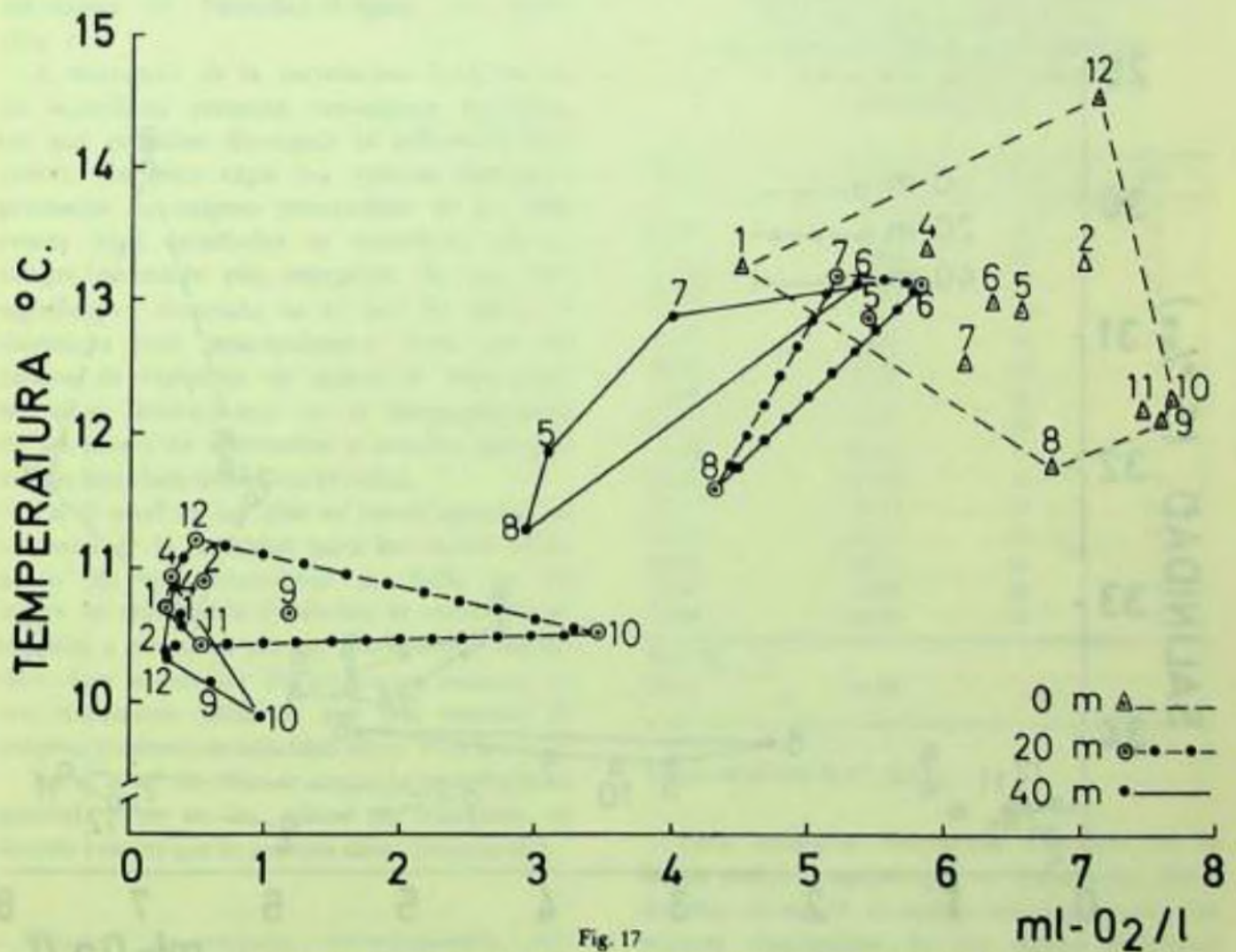


Fig. 17

Diagrama de correlación T-O₂ (promedios mensuales) a diferentes niveles de Z.

En el nivel de 0m a pesar que el rango de variación de temperatura y oxígeno es amplio, no

fue posible agrupar en forma consistente los promedios de acuerdo a un comportamiento es-

tacional. Esto se debe a que a fines de primavera, verano y comienzos de otoño la distribución de los parámetros hidrográficos en la capa superficial se caracteriza por afloramientos (aguas pobres en oxígeno y bajas temperaturas), procesos de mezcla y aguas sobresaturadas de oxígeno disuelto.

El nivel de 20m presenta un comportamiento diferencial de dos parámetros que permite definir claramente a mayo, junio, julio y agosto como meses con un comportamiento "invernal" y los meses restantes como un comportamiento "estival".

Los meses de característica "invernal" presentan pequeñas variaciones en la temperatura del agua y en el contenido de oxígeno disuelto; sin embargo, son mayores

que los registrados en la capa superficial. La columna de agua se presenta bien oxigenada y las temperaturas se mantienen sobre los 11.0°C.

Los meses de septiembre y octubre pueden considerarse como meses de transición por sus características. Durante estos meses la temperatura disminuye a valores inferiores a 11.0°C y el contenido de oxígeno baja significativamente, sin alcanzar valores correspondientes a la mínima de oxígeno. En noviembre, diciembre, enero, febrero (probablemente marzo) y abril se presenta un rango de temperatura reducido y su característica más típica es que los valores promedios de oxígeno disuelto es menor que 1ml O₂/ℓ.

En el nivel de 40m se pueden diferenciar

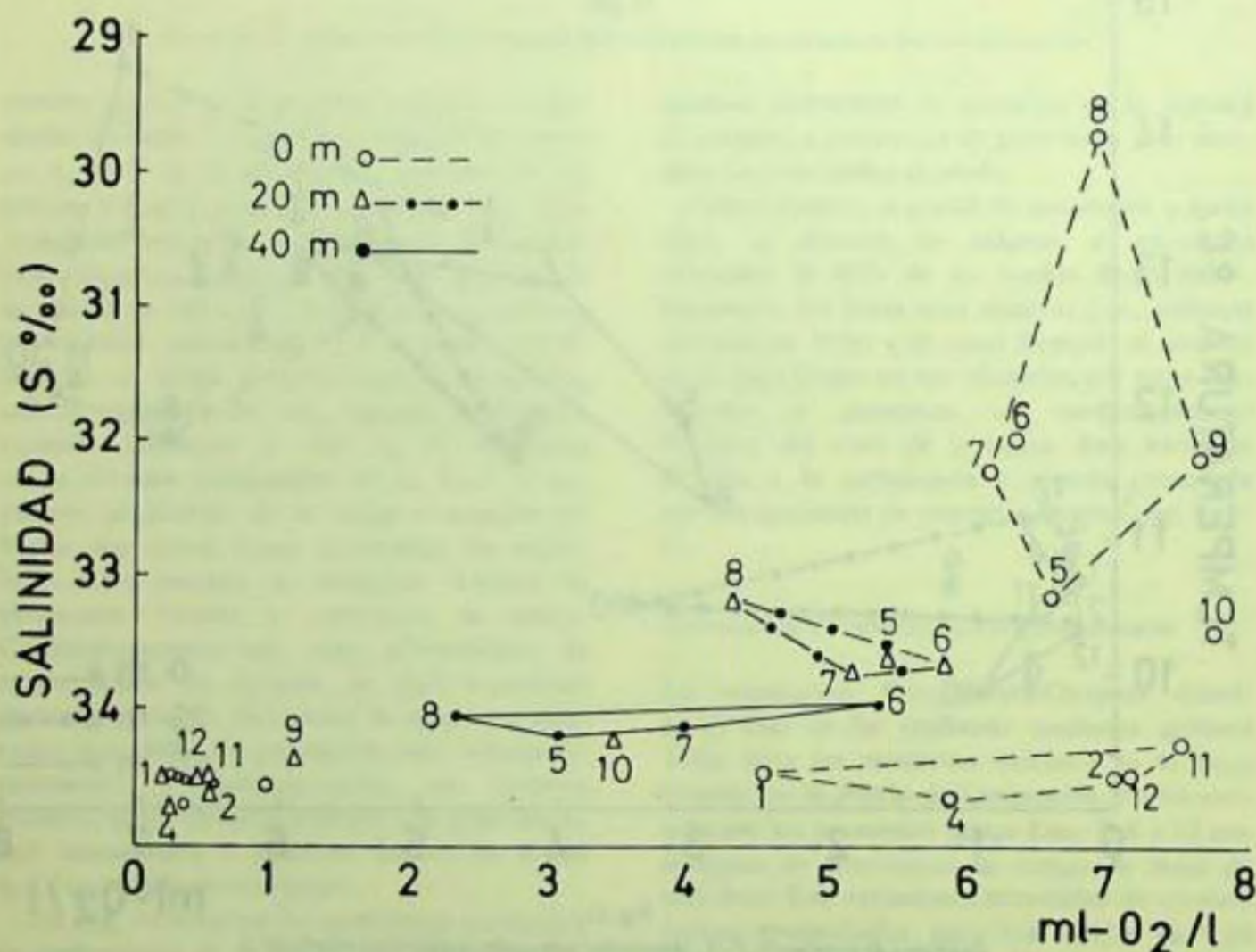


Fig. 18

Diagrama de correlación S-O₂ (promedios mensuales) a diferentes niveles de Z.

claramente los periodos invernal y estival ya que los valores de oxígeno y temperatura para cada uno de ellos son característicos de masas de agua diferentes. En el periodo invernal la temperatura es de ca. 13.0°C y el contenido de oxígeno superior a los 3ml O₂/ℓ (i.e., ASAA) y el periodo estival la temperatura disminuye a menos de 11°C y los valores de oxígeno disuelto a menos de 1ml O₂/ℓ (i.e., AESS). En este nivel se ha detectado la mayor duración de las características estivales en la bahía y corresponde aproximadamente a ocho meses durante el ciclo anual (i.e., agosto-abril).

- *Correlación Salinidad-Oxígeno disuelto*

Usando el mismo procedimiento para la correlación T-O₂ se estudió los valores promedios mensuales de Salinidad-Oxígeno, i.e., S-O₂ (Fig. 18).

A diferencia de la correlación T-O₂ la capa superficial presenta variaciones importantes que permiten distinguir la influencia estacional. En esta capa los valores mensuales promedio de oxígeno proveniente de los diferentes años estudiados se mantienen en los rangos normales con excepción de una baja significativa detectada en el mes de enero; la diferencia está principalmente dada por los rangos de variación de salinidad. Este parámetro es determinante en el comportamiento de los meses de septiembre y octubre que presentan una clara influencia invernal.

En el nivel de los 20m se puede apreciar un aumento de la salinidad para los meses invernales. El comportamiento de S-O₂ en los meses de septiembre y octubre se caracterizan, también a ese nivel, por un promedio de transición. Los promedios de los meses estivales se ven claramente definidos por una mínima de oxígeno y valores de salinidad de ca. 34.5‰.

En el nivel de 40m se repite la característica general, pero en los meses de transición se detecta valores que se acercan más a los estivales.

- *Mínima de oxígeno correlacionada con valores de temperatura y salinidad.*

La presencia estacional de una mínima de oxígeno en la Bahía de Concepción puede

tener significativas implicancias ecológicas. Por esto, se consideró importante reunir todos los datos de los niveles en que fue detectada y promediar las temperaturas y salinidades asociadas con ella. La información se presenta en la tabla 3. En ésta se puede apreciar una notable coincidencia respecto a la aparición de la mínima y los valores de las propiedades conservativas que la acompañan. Estos últimos corresponden a los que caracterizan las AESS en nuestra zona y serán definidos posteriormente en el análisis de las masas de agua.

Tabla 3

VALORES DE TEMPERATURA Y SALINIDAD ASOCIADOS A UN CONTENIDO DE OXIGENO DISUELTO MENOR DE 1 ml O₂/ℓ EN LA BAHIA DE CONCEPCION (PROMEDIOS MENSUALES CALCULADOS SOBRE 198 DATOS Y 82 ESTACIONES HIDROGRAFICAS).

| $\bar{X} T^{\circ}C$ | $\bar{X} S\%$ | Mes | Año |
|----------------------|---------------|-----|-----|
| 10.84 | 34.36 | 08 | 75 |
| 10.68 | 34.18 | 09 | 71 |
| 10.60 | 34.51 | 09 | 75 |
| 9.68 | 34.42 | 10 | 71 |
| 10.59 | 34.46 | 10 | 72 |
| 10.08 | 34.62 | 10 | 75 |
| 9.68 | 34.52 | 11 | 71 |
| 10.67 | 34.51 | 11 | 72 |
| 9.62 | 34.50 | 11 | 75 |
| 10.24 | 34.55 | 12 | 71 |
| 10.67 | 34.53 | 12 | 72 |
| 11.01 | 34.51 | 01 | 72 |
| 10.80 | 34.53 | 01 | 73 |
| 10.26 | 34.47 | 02 | 72 |
| 11.09 | 34.69 | 04 | 72 |
| Total \bar{X} | | | |
| 10.43 | 34.49 | | |

Desv. estándar 0.47 0.11

Para comparar las aguas interiores de la bahía con las aguas que se encuentran fuera de ella, se siguió el mismo tratamiento con los valores disponibles de las aguas exteriores (años 1972, 1973, 1975) encontrándose un comportamiento similar. Estos resultados están resumidos en la tabla 4 y muestran un carácter más constante que los valores prome-

dios obtenidos en el interior de la Bahía de Concepción.

Tabla 4
VALORES DE TEMPERATURA Y SALINIDAD ASOCIADOS A UN CONTENIDO DE OXIGENO DISUELTO MENOR DE 1 ml O₂/l EN AREAS ADYACENTES A LA BAHIA DE CONCEPCION (PROMEDIOS DE 86 DATOS Y 15 ESTACIONES HIDROGRAFICAS)

| $\bar{X} T^{\circ}C$ | $\bar{X} S\%$ | Mes | Año |
|----------------------|---------------|-----|-----|
| 9.87 | 34.53 | 10 | 75 |
| 9.82 | 34.54 | 11 | 75 |
| 10.67 | 34.52 | 12 | 72 |
| 10.82 | 34.55 | 01 | 73 |
| Total \bar{X} | | | |
| 10.29 | 34.53 | | |
| Desviación estándar | | | |
| 0.45 | 0.11 | | |

d) Masas de agua

Los datos para el análisis de masas de agua se agruparon en estivales e invernales. La información obtenida en los meses estivales permite un análisis detallado de las masas de agua en las áreas adyacentes a la bahía de Concepción. Por otra parte, los datos invernales se refieren a una estación hidrográfica (Est. 3 Col) la que fue considerada representativa en la medida en que no hay variaciones significativas respecto a las características hidrográficas que para esos meses presentan las aguas en el interior de la bahía y del Golfo de Arauco. (Alarcón, 1970).

La Fig. 19 muestra las curvas T-S de los datos estivales obtenidos en las Ests. 61 y 62 de la Mar-Chile I, ubicadas a una distancia de ca. 40 millas de la costa y fuera de la plataforma continental. Este diagrama permite diferenciar tres masas de agua:

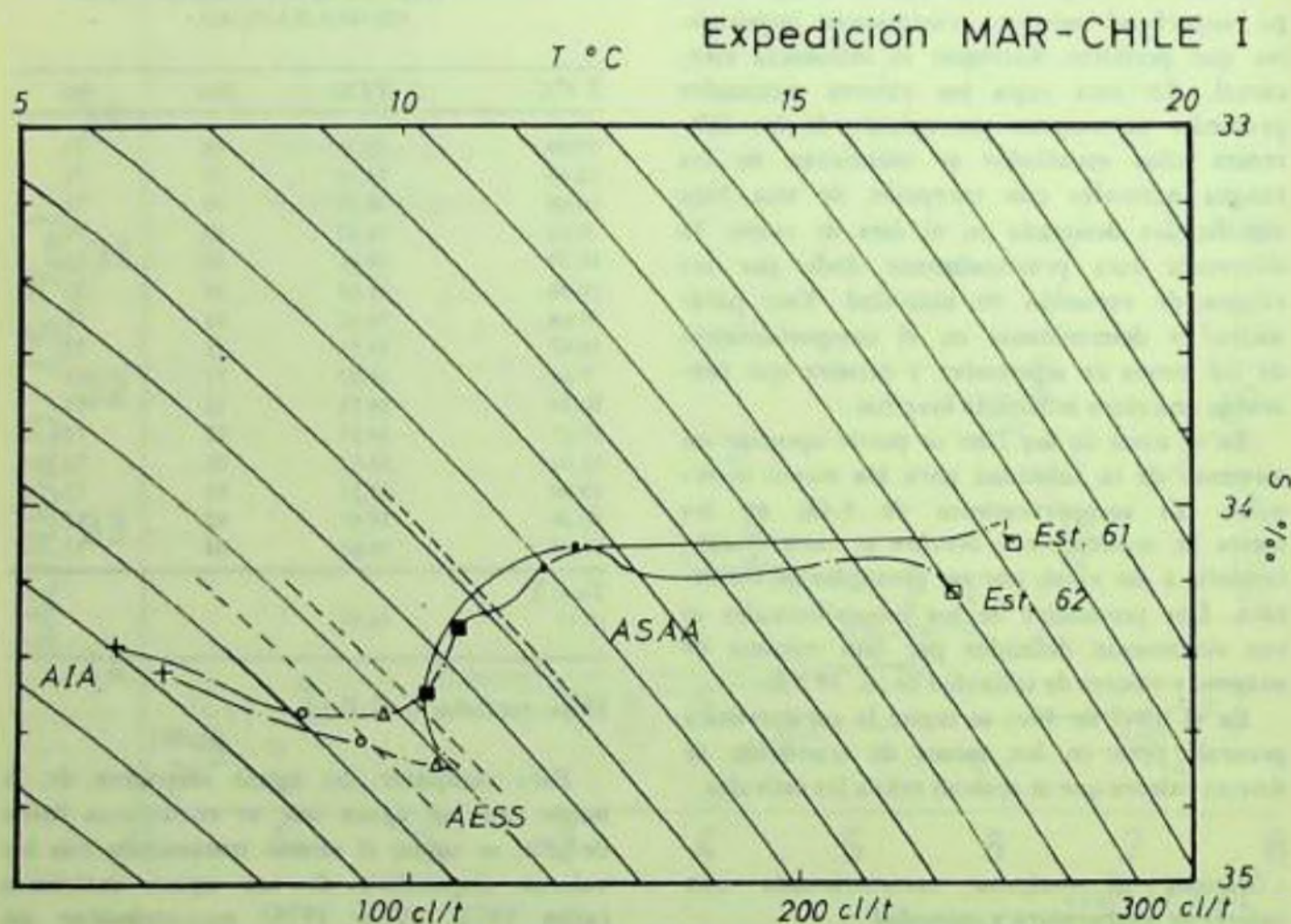


Fig. 19

Diagrama T-S para las estaciones 61 y 62 de la Expedición Mar-Chile I.

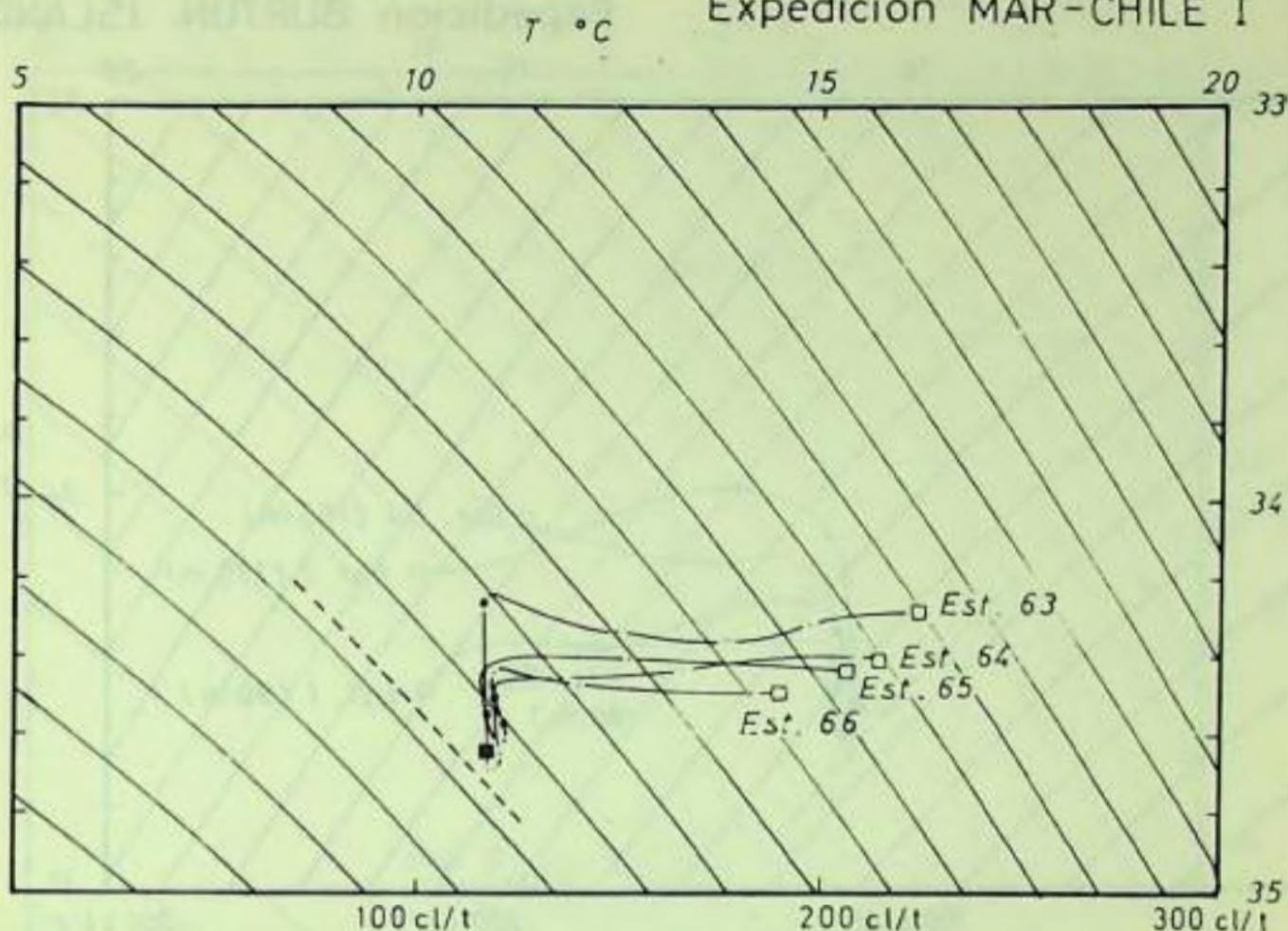


Fig. 20

Diagrama T-S para las estaciones 63, 64, 65 y 66 de la Expedición Mar Chile I.

i) Las ASAA que corresponden a la rama costera del Sistema de Humboldt (Neshyba y Méndez, 1975). Se ubica entre la superficie y los 100m de profundidad, con temperaturas de 11.0 a 15.7°C y salinidades entre 34.1-34.3‰. Estas aguas se encuentran entre las superficies de anomalía termostérica (isanostere) de 180 cl/ton. y la superficie del mar.

ii) Las AESS que se ubican bajo las ASAA; su núcleo fue encontrado entre 150-200m de profundidad, aún cuando su influencia se detecta a partir de los 100m. Esta masa de agua está caracterizada por una temperatura de 10.5°C y una salinidad de 34.65‰. El núcleo se encuentra entre la superficie isanostéricas de 135 a 145 cl/ton.

iii) Las AIAA insinúan su influencia a partir de los 450 a 500m frente a la bahía de Concepción; sin embargo, no fué posible ubicar el núcleo de esta masa de agua debido a que las profundidades muestreadas no alcanzaron la profundidad en que ella se encuentra.

En la Fig. 20 se presenta las curvas T-S obtenidas para las Est. 63 a 66 del mismo corte de la MAR-CHILE I, donde se observa que a medida que las estaciones hidrográficas se encuentran a menor distancia de la costa las temperaturas disminuyen y las salinidades aumentan significativamente en las capas superficiales. Las AESS detectadas a 120m de profundidad en la Est. 63 ascienden hasta ca. 20m en las estaciones hidrográficas costeras (i.e., Ests. 65 y 66). El ascenso va acompañado de una atenuación de sus características físico-químicas debido a los procesos de mezcla producidos en la fase de contacto con aguas superficie, sin que las AESS lleguen a perder su identidad.

La descripción anterior indica claramente que sólo la ASAA y las AESS se encuentran sobre la plataforma continental. La Fig. 21 muestra los diagramas T-S obtenidos de los datos provenientes de cuatro estaciones hidrográficas realizadas por la Expedición

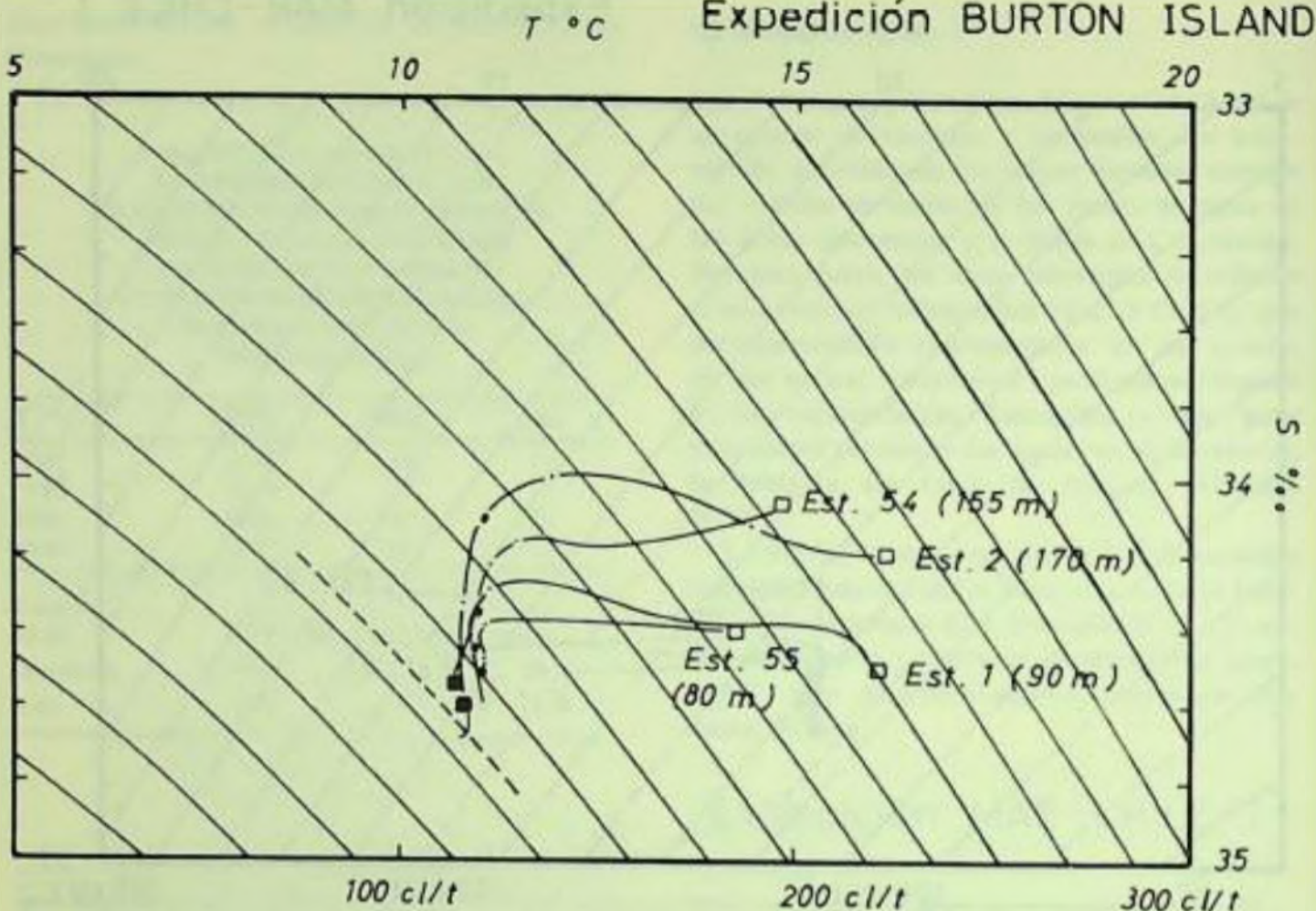


Fig. 21

Diagrama T-S para las estaciones 1, 2, 54 y 55 de la expedición Burton Island.

Burton Island en las áreas adyacentes a la Bahía de Concepción (ver Fig. 1) durante una semana en marzo de 1960. El análisis de esta información confirma la presencia de las ASAA y de las AESS sobre la plataforma continental y permite comprobar que éstas últimas ascienden hasta profundidades de ca. 20m en las proximidades de la costa.

Los diagramas T-S construidos con datos de las Ests. R durante los meses de característica estival (Fig. 22) y obtenidos en los cruceros realizados a bordo de la L/C Lund, permiten corroborar la presencia de las AESS sobre la plataforma continental y cerca de la costa. En cambio, durante los meses invernales la Est. 3 Col, revela que durante ese período se presenta la influencia de las ASAA en toda la columna de agua.

La dilución que se observa en la curva T-S es el resultado de las lluvias invernales cuya influencia alcanza los primeros 20 m de profundidad.

-Características físico-químicas de las masas de agua en el área costera adyacente a la Bahía de Concepción.

En la latitud correspondiente al área en estudio las ASAA presentan salinidades de 34.00-34.30‰, temperaturas superiores a 11,5°C y valores de oxígeno disuelto superiores a 3ml O₂/ℓ; se ubican entre las superficies de anomalía termostérica de 170 a 180 cl/ton. Durante el período de invierno estas aguas sufren diluciones en capas superficiales (i.e., sobre los 20m de profundidad) donde las salinidades pueden alcanzar valores de 33,4‰; las salinidades menores son generalmente muy localizadas.

Las AESS se identifican por salinidades mayores de 34.4 ‰ (i.e., un rango de 34.4-34.8 ‰, temperaturas entre 11.5-8.8°C y valores de oxígeno disuelto inferiores a 1 ml O₂/ℓ. Esta masa de agua se ha detectado desde ca. 20m. hasta la profundidad que presenta la plataforma conti-

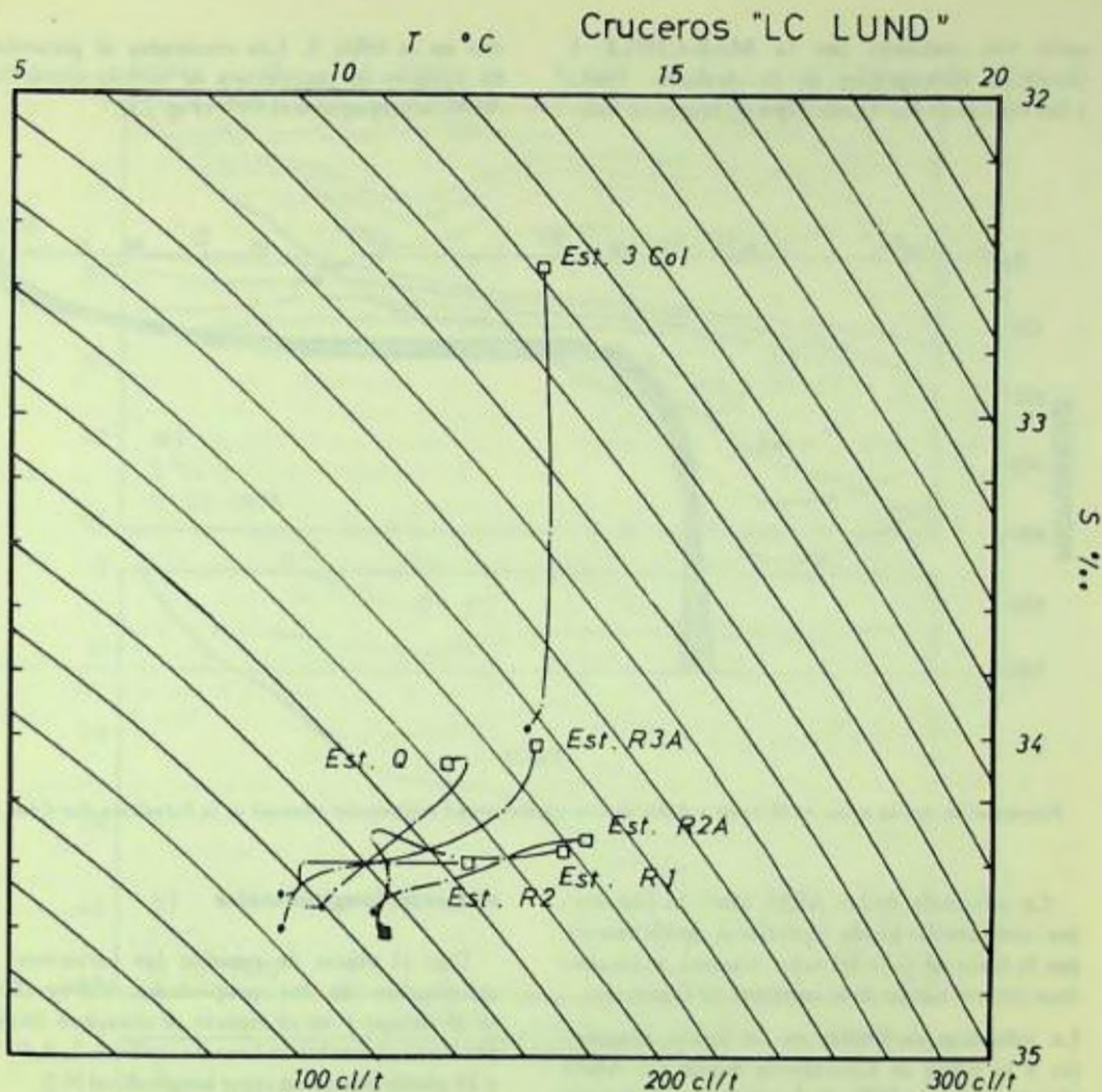


Fig. 22

Diagrama T-S para estaciones hidrográficas en áreas adyacentes a la Bahía de Concepción de los cruceros L/C LUND.

mental y corresponde a superficies isanostéricas de 130 a 160 cl/ton. Es necesario enfatizar que la profundidad de ca. 20 m es una aproximación pudiendo adquirir por lo tanto valores menores; esta aseveración se fundamenta en que el área frente a la bahía de Concepción es una zona de surgencia de las AESS. El período en que esta masa se encuentra cerca de la superficie es de ca. ocho meses en un ciclo anual. Por esta razón es conveniente ubicar esta masa de agua utilizando las superficies de anomalía termostérica, resultados que concuerdan con el rango de variación

latitudinal informado por Wooster y Gilmartin (1961).

- Porcentajes de mezcla de las AESS frente a la bahía de Concepción.

Con el propósito de estudiar la influencia de las AESS en las áreas adyacentes a la bahía de Concepción se calculó los porcentajes de mezcla mediante el "Método Gráfico de análisis de mezcla de Tipos de Agua" (Neshyba, com. pers.). Para ello se utilizó los datos del

corte VIII realizado por la MAR-CHILE I (Instituto Hidrográfico de la Armada, 1968) y los valores de las Aguas Tipo de origen se indican en la tabla 5. Los resultados se presentan en gráficos de porcentajes de mezcla donde las AESS sobrepasaron el 50% (Fig. 23).

can en la tabla 5. Los resultados se presentan en gráficos de porcentajes de mezcla donde las AESS sobrepasaron el 50% (Fig. 23).

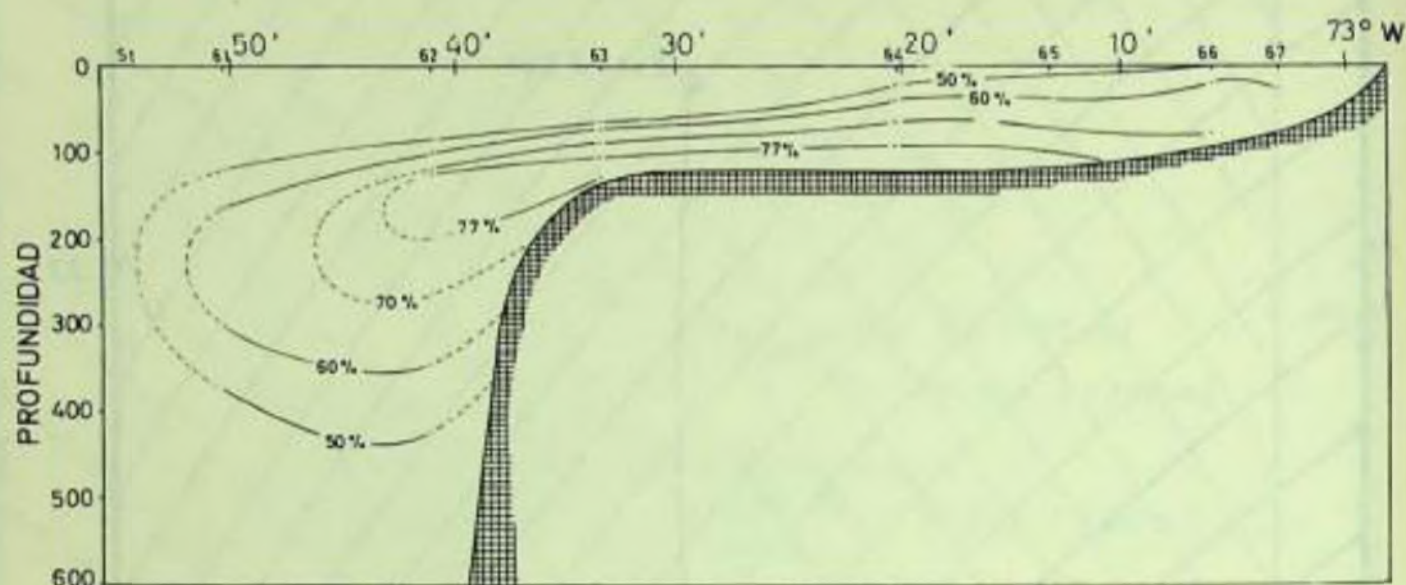


Fig. 23

Porcentajes de mezcla de las AESS frente a Bahía de Concepción (según información obtenida de la Expedición Mar-Chile I).

La influencia de las AESS sobre la plataforma continental puede apreciarse gráficamente por la línea de 77% del valor original, insinuándose como el núcleo de la corriente de Gunther.

La influencia es similar en las aguas adyacentes a la bahía de Concepción donde las AESS alcanzan de un 50% de la mezcla, insinuando un activo lente de surgencia inmediatamente fuera de la Boca Chica de la Bahía.

c) Cortes longitudinales

Con el objeto de estudiar las variaciones y distribución de las propiedades hidrográficas en el tiempo y en el espacio se consideró secciones verticales sobre la base de las Ests. 7, 8, 9, 10 y 11 conformando un corte longitudinal N-S.

El análisis de la variación de los parámetros hidrográficos permite distinguir cuatro períodos en un ciclo anual.

i) Período de "Circulación Estuarina"

Este período se refiere al comportamiento invernal de los parámetros hidrográficos y se denominó Período de "Circulación estuarina" de acuerdo al concepto y discusión que Pritchard (1967) presenta para la definición de "Estuarios".

El período se inicia a fines de otoño y persiste durante la mayor parte del invierno con el predominio de viento N que produce el acercamiento a la costa de las ASAA. Su duración se estima en 90 días.

Tabla 5

CARACTERISTICAS DE ORIGEN DE LOS TIPOS DE AGUA USADOS*

| Nombre | T°C | S‰ |
|-------------------------------------|------------|-------|
| Aguas subantárticas | ASSA 11.50 | 33.80 |
| Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales | AESS 12.50 | 34.90 |
| Aguas Intermedias Antárticas | AIAA 3.00 | 34.00 |
| Aguas Profundas del Pacífico | APP 1.75 | 34.68 |

* Tomado de Silva y Konow (1975).

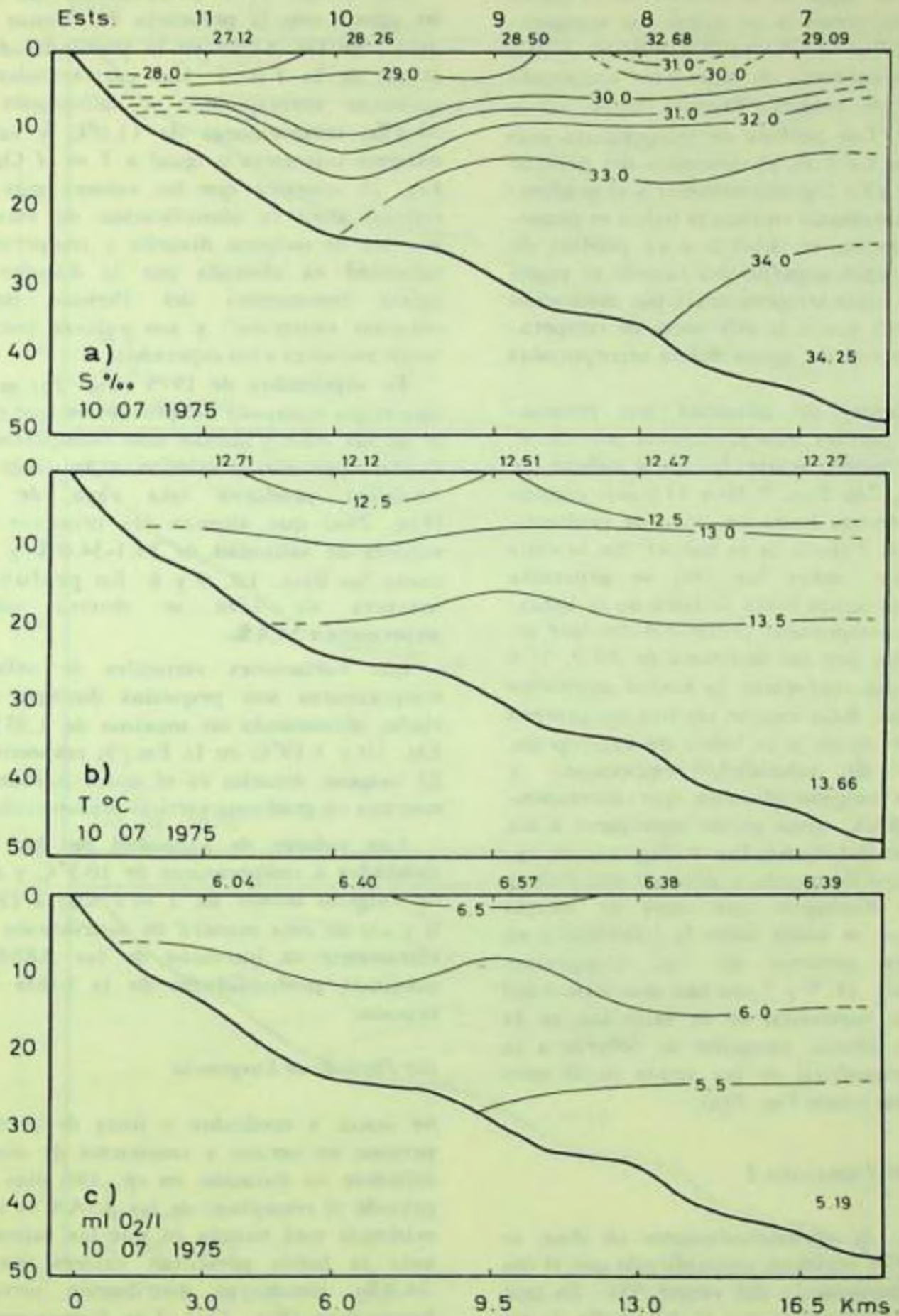


Fig. 24

Distribución de parámetros físico-químicos para julio de 1975 (Período de Circulación Estuarina) en la sección longitudinal de la Bahía de Concepción: a) salinidad, b) temperatura, y c) oxígeno disuelto.

El cuerpo de agua en el interior de la bahía de Concepción presenta un rango de temperatura de *ca.* 11.0 a 13.7°C; salinidad de *ca.* 27.0 a 34.3‰ y una columna de agua bien oxigenada (*i.e.*, valores de oxígeno disuelto entre 5.5 y 3 ml O₂/ℓ). Los perfiles de temperatura más frecuentes son Ct 1 en el comienzo del periodo para cambiar a Ct 2 posteriormente y el gradiente vertical y horizontal en toda la bahía es pequeño. Esta situación se debería a la pérdida de calor de las capas superficiales (donde se registran las más bajas temperaturas) por disipación en la atmósfera y/o a la diferencia de temperatura y mezcla con las aguas dulces incorporadas al sistema.

Los gradientes de salinidad son pronunciados y los perfiles más frecuentes son Ct 2. La mayor dilución ocurre hacia la cabeza de la bahía (Fig. 24a Ests. 9, 10 y 11), aun cuando su efecto se detecta hasta *ca.* 25m de profundidad en la Est. 7 (boca de la bahía). En la capa superficial (*i.e.*, sobre los 7m) se generaría un flujo de las aguas hacia la boca de la bahía. Este proceso compromete profundidades que están delimitadas por las isohalinas de 30.0, 31.0 y 32.0‰ y que conforman la mayor pendiente de la haloclina. Bajo ésta se verifica un proceso de entrada de aguas a la bahía de Concepción con valores de salinidad, temperatura y contenido de oxígeno disuelto que corresponden a las ASAA, como puede apreciarse a los 25 m de profundidad en la Est. 7 (Fig. 24a, b, c).

Los procesos de mezcla y dilución son activos y se puede distinguir una capa de mezcla turbulenta que se ubica sobre la haloclina y en profundidades menores de 7m, comprometiéndolo las Ests. 11, 9 y 7 con una discontinuidad del gradiente horizontal de la salinidad en la Est. 8. Esta última situación se debería a la circulación superficial de las aguas en el interior de la bahía (véase Fig. 33a).

ii) *Período de Transición I*

Este período, de aproximadamente 60 días, se inicia a fines de invierno, coincidiendo con el comienzo del predominio del viento SW. Es una etapa que se caracteriza por el desarrollo de un proceso de mezcla y reemplazo de las ASAA por las AESS y, por lo tanto, representa un periodo de renovación de las aguas de la bahía.

En el año 1975 su comienzo fue detectado en agosto con la presencia de "zonas de frontera" de las AESS en la profundidad máxima (43m) de la Est. 7. Las características físico-químicas corresponden a salinidades de *ca.* 34.4‰, temperaturas de 11.0°C y valores de oxígeno inferiores o igual a 1 ml O₂/ℓ. La Fig. 25 muestra que los valores más característicos para la identificación de estas aguas son los de oxígeno disuelto y temperatura. La salinidad es afectada por la dilución de las aguas remanentes del Período de "Circulación estuarina" y sus valores son, por lo tanto, menores a los esperados.

En septiembre de 1975 (Fig. 26) se observó una etapa avanzada del proceso en que gran parte de las ASAA habían sido reemplazadas. Las lluvias que aún persistían y la carga del río Andalién producen una capa de dilución (Fig. 26a) que alcanza los primeros 5m con valores de salinidad de 33.1-34.0‰ y compromete las Ests. 10, 9 y 8. En profundidades mayores de 15m se detecta salinidades superiores a 34.4‰.

Las variaciones verticales de salinidad y temperaturas son pequeñas durante este período, alcanzando un máximo de 1.35‰ en la Est. 10 y 1.19°C en la Est. 9, respectivamente. El oxígeno disuelto es el único parámetro que muestra un gradiente vertical pronunciado.

Los valores de salinidad de 34.5‰ están asociados a temperaturas de 10.5°C y a valores de oxígeno menor de 1 ml O₂/ℓ (Fig. 26a, b y c); de esta manera su distribución muestra claramente la intrusión de las AESS en las máximas profundidades de la bahía de Concepción.

iii) *Período de Surgencia*

Se inicia a mediados o fines de primavera y persiste en verano y comienzos de otoño, estimándose su duración en *ca.* 180 días. En este periodo el reemplazo de las ASAA es total y su evidencia está basada en que las salinidades de toda la bahía presentan valores mayores de 34.4‰, siendo su distribución vertical muy homogénea (Fig. 27a). Las fluctuaciones de la salinidad en el tiempo son de 34.5-34.8‰; sin embargo, su aumento es gradual y los mayores valores se han registrado al finalizar el periodo

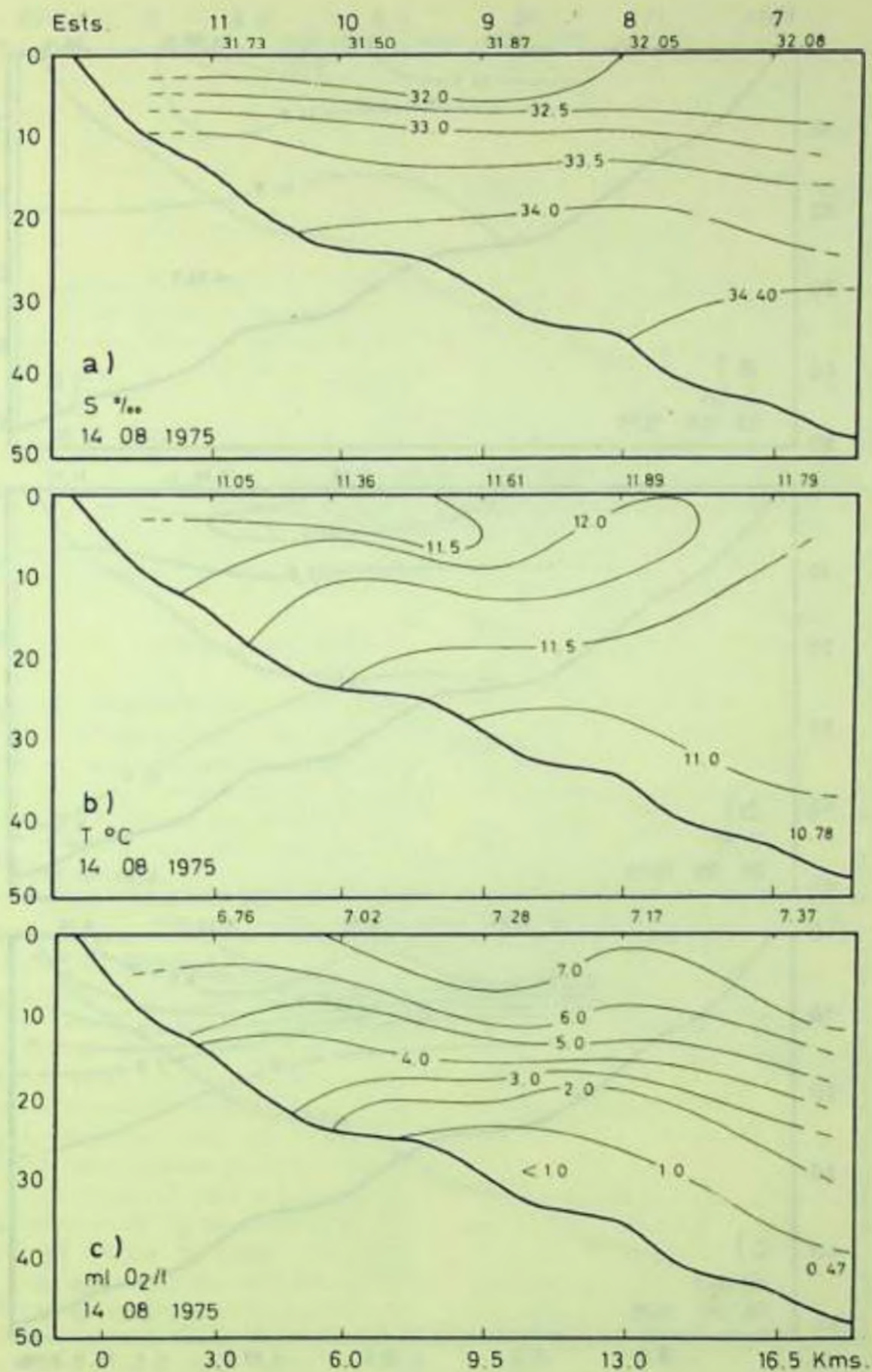


Fig. 25

Distribución de parámetros físico-químicos para agosto de 1975 (Período de Transición I: inicio) en la sección longitudinal de la Bahía de Concepción: a) Salinidad, b) temperatura, y c) O₂ disuelto.

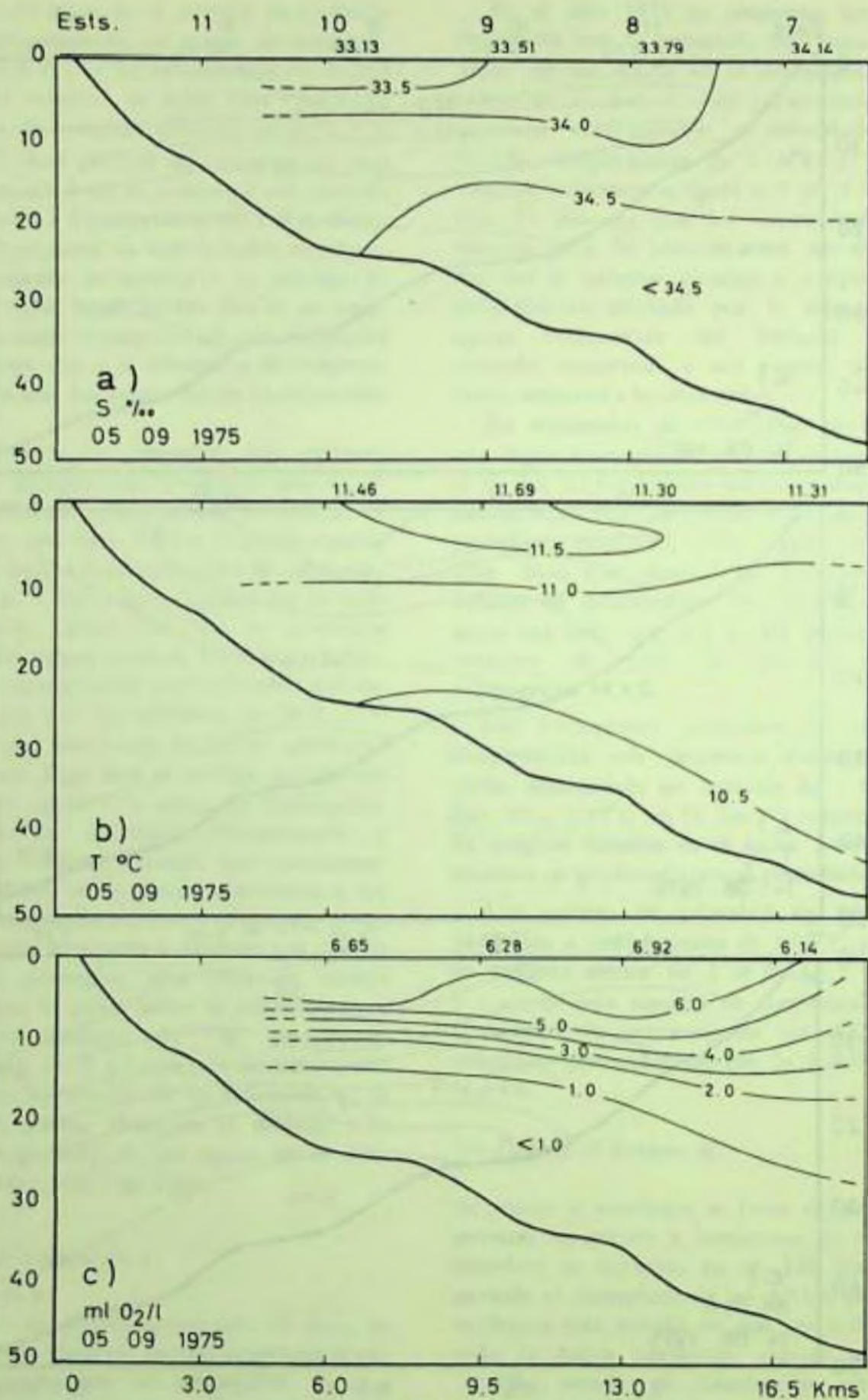


Fig. 26

Distribución de los parámetros físico-químicos para septiembre de 1975 (Período de Transición I: desarrollo avanzado) en la sección longitudinal de la Bahía de Concepción: a) salinidad, b) temperatura, y c) O₂ disuelto.

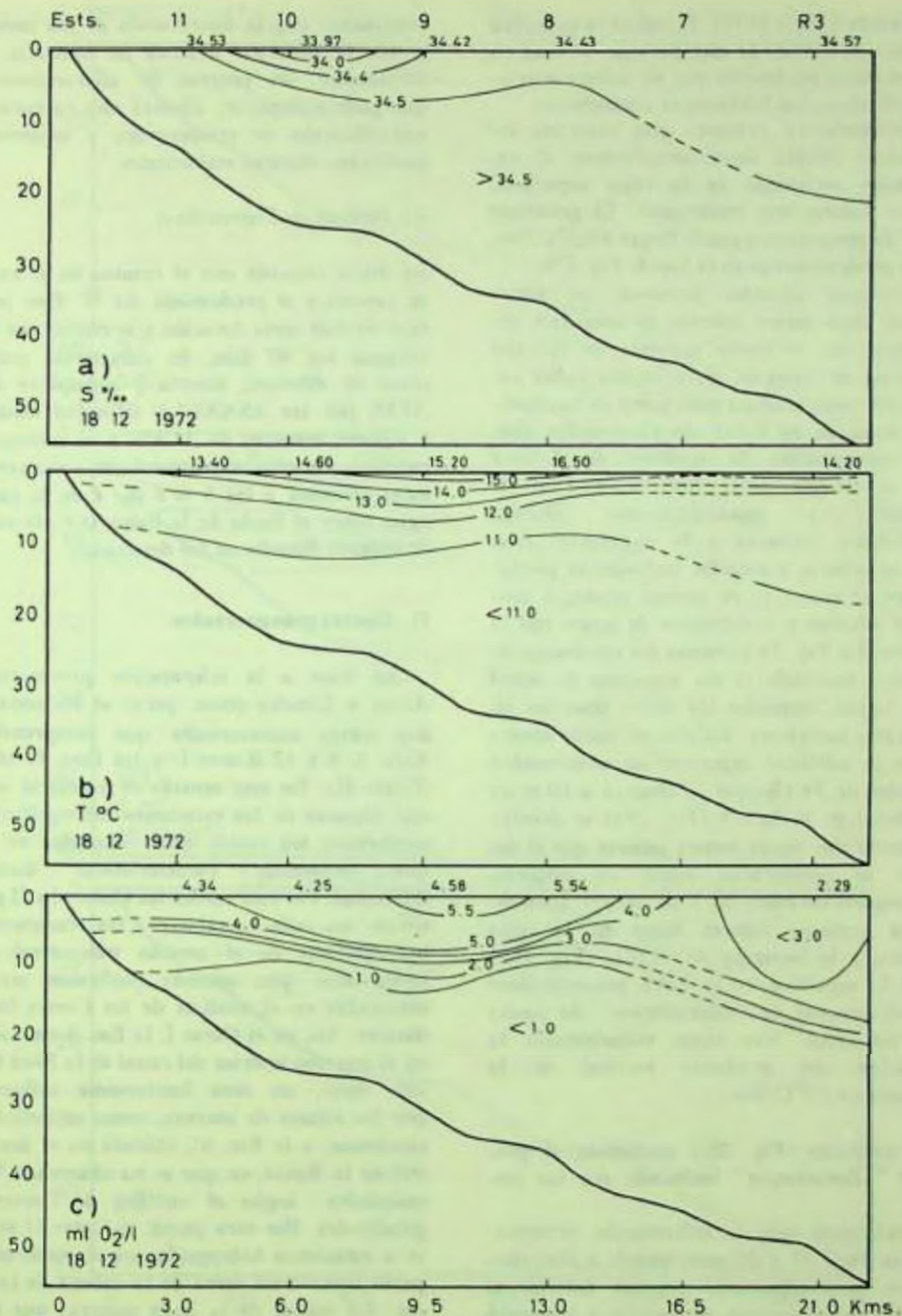


Fig. 27

Distribución de los parámetros físico-químicos para diciembre de 1972 (Período de Surgencia) en la sección longitudinal de la Bahía de Concepción: a) salinidad, b) temperatura, y c) O₂ disuelto.

(e.g., abril de 1972 y 1976). El uso de la salinidad en la caracterización de este periodo se basa en que es el único parámetro que no sufre variaciones significativas con los factores atmosféricos.

La temperatura presenta una marcada estratificación debida fundamentalmente al calentamiento estacional de la capa superficial pero sus valores son moderados. El gradiente vertical de temperatura puede llegar a $5.5^{\circ}\text{C}/8\text{m}$, como se puede observar en la Est. 8, Fig. 27b.

El oxígeno disuelto presenta un fuerte gradiente cuyo limite inferior se identifica generalmente con el limite superior de la capa de mínima de oxígeno. Esta última cubre ca. el 80% del fondo y ocupa gran parte de la columna de agua en la bahía de Concepción (fig. 27c). Normalmente la isoclinea de $1\text{ m l O}_2/\ell$ se detecta entre los 10 a 15m de profundidad y esporádicamente alcanza profundidades cercanas a la superficie. Esto último se debería a mezclas turbulentas producidas por el viento y, en menor grado, a procesos de difusión e intercambio de gases con la atmósfera. La Fig. 35 presenta los resultados de un crucero realizado el día siguiente de aquel en que fueron obtenidos los datos descritos en los párrafos anteriores. En ella se puede observar que la salinidad mantiene su uniformidad y el núcleo de 34.4‰ que se observa a 10 m de profundidad en la Est. 9 (Fig. 28a) se debería a la mezcla con aguas menos salinas que el día anterior se presentaban como un pequeño núcleo superficial entre las Ests. 10 y 9. La temperatura presenta valores bajos en la capa superficial y la isoterma de 12.0°C (Fig. 28b) alcanza la superficie en la Est. 8 presentándose como un proceso de "afloramiento" de aguas más frías. Esto trae como consecuencia la disminución del gradiente vertical de la temperatura a $1.1^{\circ}\text{C}/8\text{m}$.

Las oxilíneas (Fig. 28c) confirman el proceso de "afloramiento" insinuado por las isotermas.

Considerando que la información presentada en las Figs. 27 y 28 corresponde a días consecutivos, su comparación permite detectar el desarrollo de un proceso de ascenso e irrupción en la superficie de aguas más frías y con bajo contenido de oxígeno disuelto. Sin embargo, este aparente "afloramiento" que muestran las isoclineas de temperatura y oxígeno no es

consistente con la distribución de las isohalinas y así, la situación descrita no indicaría, necesariamente, un proceso de afloramiento sino que podría implicar, además una ruptura de la estratificación de temperatura y oxígeno producida por factores ambientales.

iv) *Período de Transición ii*

Su inicio coincide con el cambio en el régimen de vientos y el predominio del N. Este periodo es el de más corta duración y se estima que no sobrepasa los 40 días. Se caracteriza por procesos de dilución, mezcla y reemplazo de las AESS por las ASAA. La salinidad disminuye a valores menores de 34.3‰ y el contenido de oxígeno disuelto aumenta hasta alcanzar valores cercanos a los $5\text{ m l O}_2/\ell$ en la capa de agua sobre el fondo de la bahía (i.e., la mínima de oxígeno disuelto no fue detectada).

f) **Cortes transversales.**

En base a la información proveniente de Arcos y Concha (com. pers) se ha construido dos cortes transversales que comprende las Ests. 3, 8 y 12 (Corte I) y las Ests. 6, 10 y 13 (Corte II). En este sentido es necesario señalar que algunas de las estaciones hidrográficas que conforman los cortes están ubicados en áreas que presentan características dinámicas diferentes. Por esta razón, los Cortes I y II permitirían no sólo establecer las características hidrográficas en el sentido transversal de la bahía sino que, además confirman otras ya detectadas en el análisis de los Cortes longitudinales. Así, en el Corte I, la Est. 3 está ubicada en el extremo interior del canal de la Boca Chica, vale decir, un área fuertemente influenciada por los ritmos de mareas, como se indicó anteriormente, y la Est. 8', ubicada en el área central de la Bahía, en que se ha observado "anormalidades" según el análisis de Cortes longitudinales. Por otra parte, el Corte II se refiere a estaciones hidrográficas que conforman un perfil transversal cerca de la cabeza de la bahía (ca. 4.5 millas de la línea costera) que estaría caracterizado por procesos de mezcla.

En general, la tendencia de fluctuación de los valores de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto confirman los cuatro periodos des-

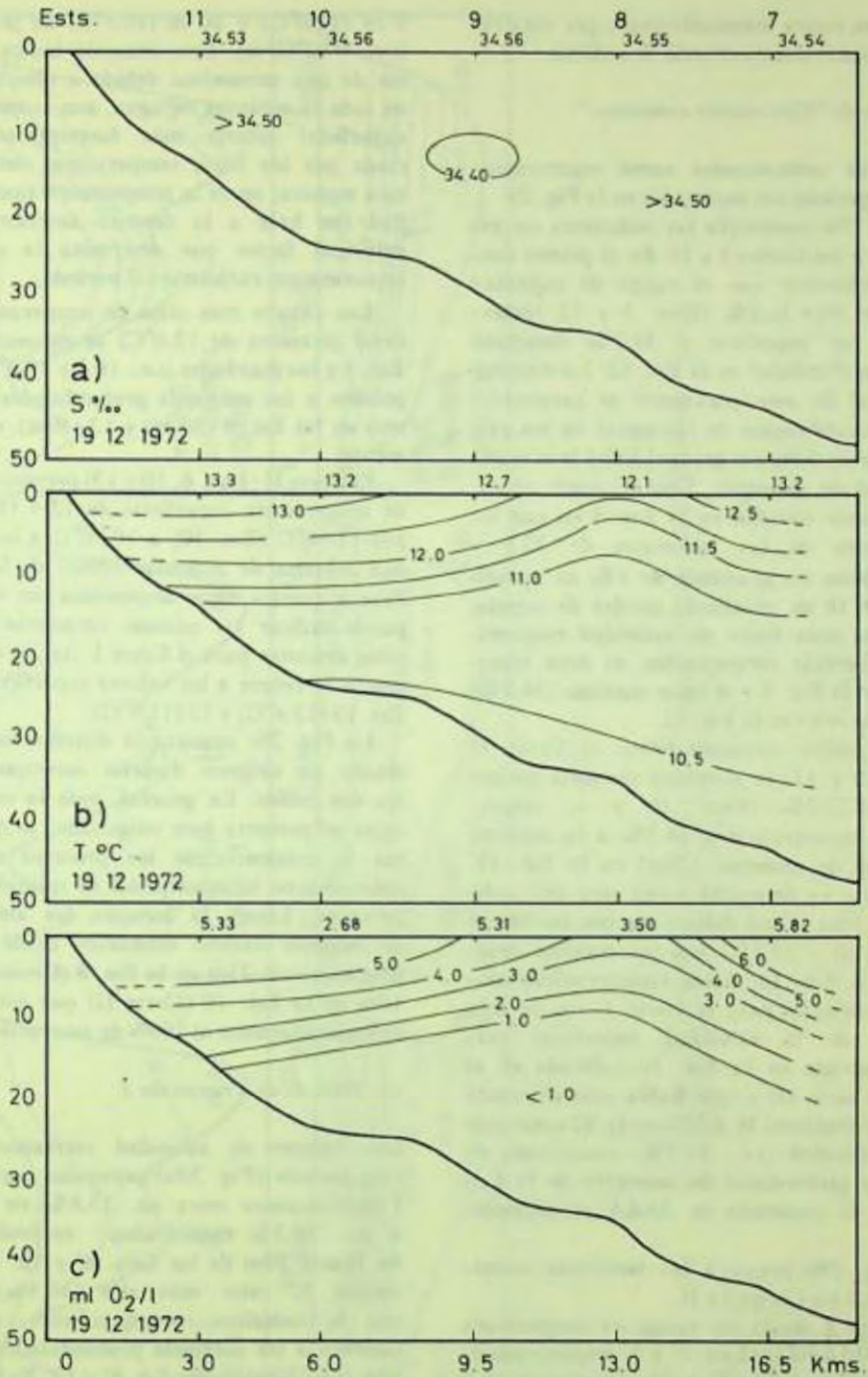


Fig. 28

Distribución de los parámetros físico-químicos para 19 de diciembre de 1972 (Período de Surgencia) en la sección longitudinal de la Bahía de Concepción: a) salinidad, b) temperatura, y c) O₂ disuelto.

critos en los cortes longitudinales y por esta razón se seguirá el mismo criterio de análisis.

i) Período de "Circulación estuarina"

Los gráficos seleccionados como representativos de este periodo son mostrados en la Fig. 29.

La Fig. 29a contempla las isohalinas correspondientes a los Cortes I y II. En el primer caso se puede observar que el rango de salinidad varía entre 30,4-31,3‰ (Ests. 3 y 12 respectivamente) en superficie y 34,2‰ detectada a 40m de profundidad en la Est. 12. La distribución vertical de este parámetro se caracteriza por una estratificación de las aguas en los primeros 7m y un aumento gradual hasta la máxima profundidad de muestreo. Esto se puede observar con mayor claridad en la Est. 8 en que las profundidades de las isohalinas de 32,5 y 33,5‰ indican un gradiente de 1‰ en aproximadamente 16 m, revelando niveles de mezcla. Los valores más bajos de salinidad encontrados en superficie corresponden al área representada por la Est. 3 y el valor máximo (34,2‰) identifica las ASAA en la Est. 12.

En el gráfico correspondiente al Corte II (Ests. 6, 10 y 13) la salinidad presenta rangos entre 30,8-32,2‰ (Ests. 10 y 6, respectivamente) en superficie y 34,3‰ a la máxima profundidad de muestreo (20m) en la Est. 13. La haloclina es detectada hasta una profundidad de ca 10m y está delimitada por las isohalinas de 31,0 y 33,5‰, con un máximo desarrollo en la Est. 10. Estas características confirman lo descrito para el Corte I, con la sola excepción de la salinidad superficial más baja encontrada en la Est. 10 (ubicada en el centro del corte II) y que había sido detectada en la Est. 3 (extremo W del Corte I). El valor más alto de salinidad (*i.e.*, 34,3‰) encontrado en la máxima profundidad de muestreo de la Est. 13 indica la presencia de ASAA propiamente tales.

La Fig. 29b presenta las isotermas correspondientes a los Cortes I y II.

El Corte I revela un rango de temperatura entre 11,60-12,50°C (Ests. 8' y 3, respectivamente) en superficie y 10,5°C a 30m de profundidad en la Est. 8'. En la capa superficial correspondiente a 5 m de esa estación hidrográfica se observa un gradiente de temperatura de ca. 0,1°C/m, comparativamente mayor que el existente entre

5 m (11,0°C) y 30 m (10,5°C) de profundidad (*i.e.*, 0,02°C/m). Esta situación indica la ausencia de una termoclina debido a mezclas activas en toda la columna de agua, aun cuando la capa superficial estaría más fuertemente influenciada por las bajas temperaturas del aire. De esta manera, no es la temperatura sino la salinidad (en base a lo descrito anteriormente) el principal factor que determina la circulación estuarina que caracteriza el período.

Los valores más altos de temperatura superficial (mayores de 12,0°C) se encuentran en la Est. 3 y los más bajos (*i.e.*, 10,5 y 10,8°C) corresponden a las máximas profundidades de muestreo en las Est. 8 (30 m) y 12 (40m), respectivamente.

El Corte II (Ests. 6, 10 y 13) presenta un rango de temperatura superficial de 12,4 (Ests. 6 y 13)-11,90°C (Est. 10) a 10,90°C a la profundidad máxima de muestreo (20m) de la Est. 13. Pese a que los datos disponibles son escasos, se puede indicar las mismas características generales descritas para el Corte I. Así, la única diferencia se refiere a los valores superficiales de las Est. 13 (12,4°C) y 12 (11,9°C).

La Fig. 29c muestra la distribución del contenido de oxígeno disuelto correspondiente a los dos cortes. En general, toda la columna de agua se presenta bien oxigenada, lo que confirma la existencia de los procesos de mezcla indicados en la descripción de salinidad y temperatura. Llama la atención los altos valores de oxígeno disuelto detectados desde la superficie hasta ca. 25m en la Est. 8 (Corte I) y hasta 10m en la Est. 10 (Corte II) que corresponden aproximadamente al 100% de saturación.

ii) Período de Transición I

Los valores de salinidad correspondientes a este periodo (Fig. 30a) presentan para el Corte I fluctuaciones entre ca. 33,8‰ en superficie a ca. 34,3‰ encontrados en profundidades de 15m y 20m de las Ests. 8' y 12, respectivamente. El valor más alto (34,3‰) indicado con la isohalina correspondiente, se detecta también a las máximas profundidades de muestreo (*i.e.*, 30m) de las Est. 8' y 12. Es importante señalar que esta salinidad se aproxima significativamente a los valores menores (*i.e.*, 34,4‰) que caracterizan las AESS. La distribución vertical de la salinidad en la Est. 12,

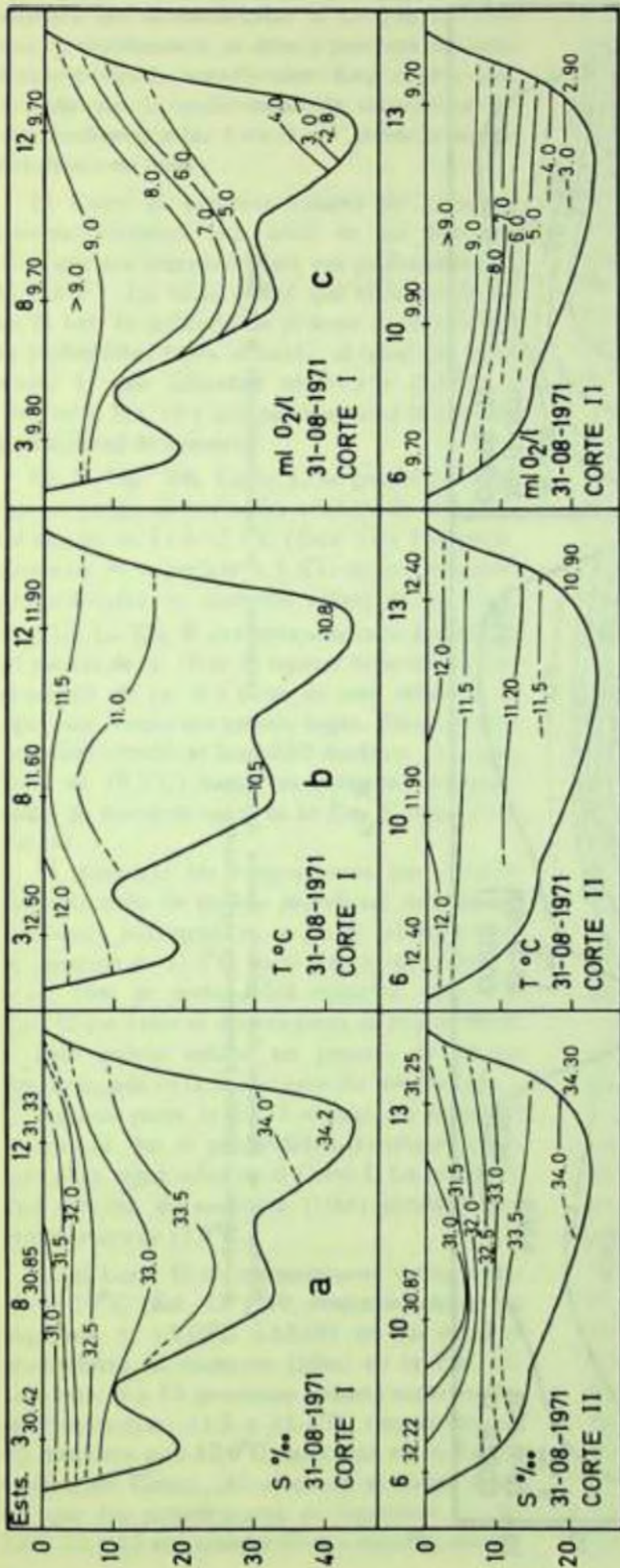


Fig. 29

Distribución de parámetros físico-químicos durante el período de circulación estuarina, en cortes transversales de la Bahía de Concepción: a) salinidad, b) temperatura, y c) O₂ disuelto.

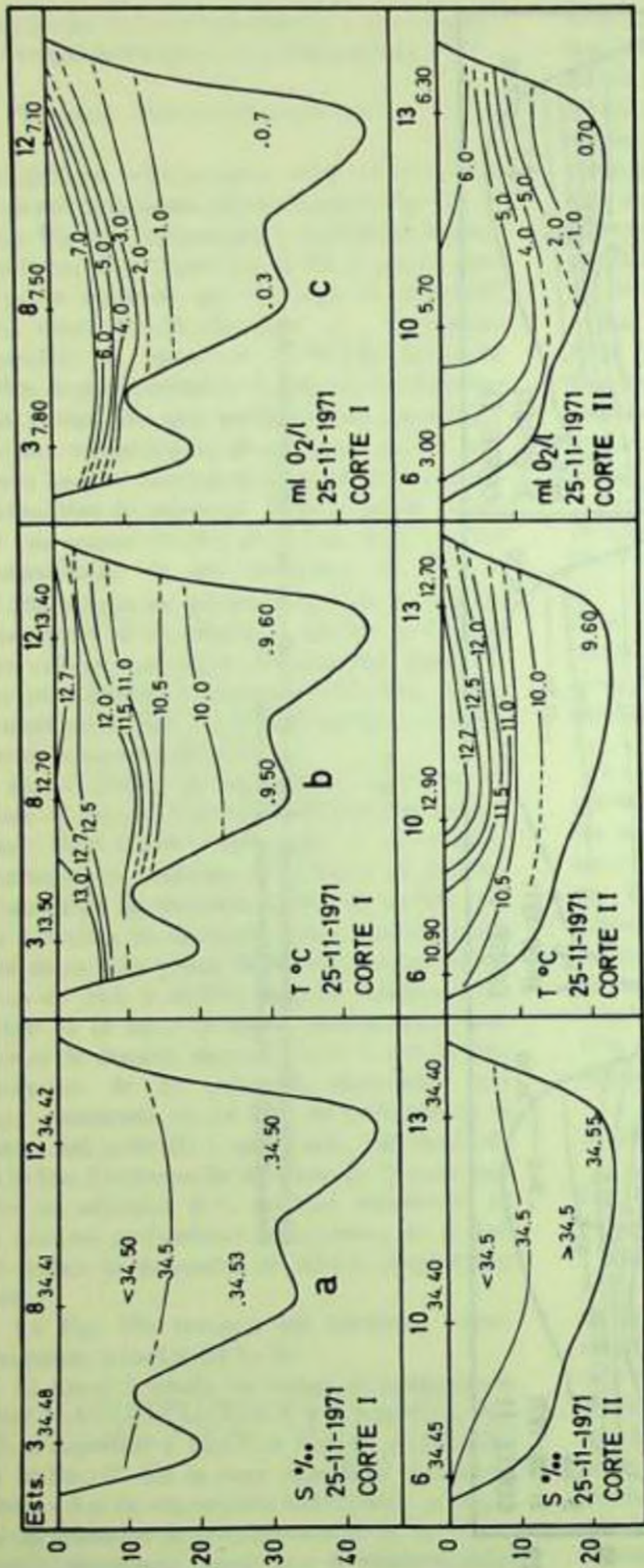


Fig. 30

Distribución de parámetros físico-químicos durante el período de TRANSICIÓN I, en cortes transversales de la Bahía de Concepción: a) salinidad, b) temperatura, y c) O_2 disuuelto.

muestra una discontinuidad al nivel de ca. 10m que, probablemente, se debe a procesos de circulación y mezcla superficiales. Esto estaría confirmado por la uniformidad de los valores correspondientes a las Ests. 3 y 8' desde la superficie hasta ese nivel.

El Corte II presenta valores de salinidad comparativamente más altos en los primeros 10m que los descritos hasta esa profundidad en el Corte I. La uniformidad que ellos presentan en la Est. 10 indicaría un proceso de mezcla con la profundidad hasta alcanzar, al igual que en el Corte I, una salinidad de 34.3‰ (AESS) a 10m en la Est. 13 y que persiste hasta la máxima profundidad de muestreo.

En la Fig. 30b, Corte I, se puede observar que el rango de variación vertical de temperatura es de ca. 11.6-12.9°C (Ests. 12 y 3 respectivamente) en superficie a 9.6°C en las máximas profundidades de muestreo (30m) de las Ests. 8' y 12. La Est. 8' presenta una capa superficial de mezcla de ca. 10 m de espesor separada por un gradiente de ca. 0.3°C/m de una columna de agua con temperaturas más bajas. Estas últimas permiten identificar las AESS desde ca. 15 m (isolinia de 10.5°C) hasta las máximas profundidades de muestreo tanto en la Est. 8' como en la Est. 12.

Al comparar las temperaturas que caracterizan la capa de mezcla superficial en esas dos estaciones hidrográficas se puede observar que la isoterma de 11.5°C en la Est. 8' se encuentra a ca. 10m de profundidad mientras que en la Est. 12 ese valor se detecta cerca de la superficie.

Esto podría indicar un proceso de mezcla más avanzado en la última estación mencionada.

Por otra parte, la Est. 3 muestra en superficie y hasta ca. 4m de profundidad las temperaturas más altas registradas en el Corte I. La profundidad máxima de muestreo (10m) presenta una temperatura de 11.8°C.

En el Corte II las temperaturas varían entre 11.4-12.0°C (Est. 13 y 10, respectivamente) en superficie y 10.10°C (AESS) en la máxima profundidad de muestreo (20m) en la Est. 13. Las Ests. 6 y 13 presentan valores superficiales semejantes (*i.e.*, 11.5 y 11.4°C, respectivamente), menores que 12.0°C detectado en la Est. 10 (centro de Corte). Al respecto se debe señalar que las temperaturas de superficie en las Ests. 10 y 13 son comparables a aquellas encon-

tradas en las Ests. 8' y 12 del Corte I. Sin embargo, la Est. 6 presenta una temperatura superficial significativamente menor (*i.e.*, 11.5°C) a la registrada en la Est. 3 (12°C). El gráfico correspondiente al Corte II contempla el trazado de las isotermas de 11.5 y 11.3°C como una manera de llamar la atención respecto a que ellas interceptan la superficie en las áreas correspondientes a las Ests. 6 y 13. Esto implicaría una diferencia con lo descrito para el Corte I en el sentido que el proceso de mezcla (con participación de las AESS) sería más intenso en el área que representa el Corte II.

En la Fig. 30c, Corte I, se puede observar que el contenido de oxígeno disuelto es alto (*i.e.*, entre 7.3-3 ml O₂/ℓ) en la capa sobre los ca. 15 m de profundidad. Esto es especialmente válido para las Ests. 3 y 8'. La Est. 12 presenta un valor superficial de 3.6 ml O₂/ℓ significativamente más bajo respecto a los encontrados en las otras dos estaciones hidrográficas. Así, mientras las Ests. 3 y 8' tienen valores mayores de 6.0 ml O₂/ℓ sobre ca. 10 m, la Est. 12 presenta para esa capa superficial valores que fluctúan entre 3.6 (0m) y 5 ml O₂/ℓ a 10 m de profundidad. En la columna de agua bajo los 15 m se observa valores menores de 2 ml O₂/ℓ; de esta manera, la oxilínea de 1 ml O₂/ℓ (límite de la capa de mínima de oxígeno) se encuentra a profundidades de 18 y 28 m en las Ests. 8' y 12, respectivamente. En ese mismo orden los valores correspondientes a las máximas profundidades de muestreo (30 m) son de 0.5-0.8 ml O₂/ℓ.

La máxima profundidad de muestreo (10 m) en la Est. 3 presenta un contenido de oxígeno disuelto de 4.4 ml O₂/ℓ.

En el Corte II se puede observar que los valores de oxígeno en superficie son similares en las Ests. 6 y 13 (4.5 y 4.2 ml O₂/ℓ, respectivamente). Esta situación y el mayor contenido de oxígeno superficial encontrado en la Est. 10 (centro del Corte) determina que la forma de las oxilíneas de 5.0 y 4.0 ml O₂/ℓ se asemejan a las isotermas de 11.5 y 11.3°C representadas en la Fig. 30b, Corte II. Considerando la carencia de datos para la Est. 10, sólo se puede indicar el valor de 0.9 ml O₂/ℓ correspondiente a la máxima profundidad de muestreo en la Est. 13, como representativo de las AESS.

La situación general descrita para el Corte II indicaría tal como fue considerado para el ca-

so de las isotermas, que el área que representa está caracterizada por procesos de mezcla.

iii) Período de Surgencia

Las Figs. 31 y 32 representan la distribución de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en los Cortes I y II investigados, en dos fechas diferentes (noviembre y diciembre de 1971), durante el Período de Surgencia. Por esta razón, el análisis de las figuras se presenta sobre la base de la descripción de cada uno de los parámetros correspondientes a las fechas mencionadas.

Las Figs. 31 y 32 indican la distribución de salinidad encontrada en los Cortes I y II.

La Fig. 31a, Corte I, exhibe un rango de salinidad entre 34.41-34.48‰ (Ests. 8' y 3 respectivamente) en superficie y 34.53‰ en la máxima profundidad de muestreo (35m) en la Est. 8'. La distribución vertical de este parámetro indica que, en general, existe una columna de agua homogénea, *i.e.*, todos los valores observados son mayores que el límite inferior de la salinidad que caracteriza las AESS. En este sentido y con el objeto de enfatizar la real presencia en este período de las AESS en la bahía se ha seleccionado la isohalina de 34.5‰ en las Figs. 31 y 32, como una manera de diferenciar esa masa de agua de la capa superficial que, al estar afectada por la acción de factores atmosféricos y mezcla turbulenta, se identifica más bien como "cuerpo de agua".

Sobre la base de lo anterior, la Fig. 31a, Corte I, presenta la isohalina de 34.5‰ a profundidades de 10 a 15m en las Ests. 3, 8 y 12; sobre ella se encuentra, por lo tanto, salinidades inferiores al valor indicado. Las salinidades correspondientes a las máximas profundidades de muestreo son 34.50 (Est. 3), 34.53 (Est. 8') y 34.50‰ (Est. 12).

La Fig. 31a, Corte II, presenta variaciones de salinidades de 34.30-34.49‰ (ests. 13 y 6, respectivamente) en superficie hasta 34.58‰ de las profundidades máximas de muestreo de las Ests. 6 (5m) y 13 (20m), respectivamente. La distribución vertical de salinidad refleja, en general, lo descrito para el Corte I; no obstante, es necesario señalar que la isohalina de 34.50‰ intercepta la superficie en la Est. 6 y sugiere una tendencia de acercamiento hacia la superficie en las otras dos estaciones hidro-

gráficas. Por último, es importante indicar que el valor de 34.58‰ en la profundidad de 5m en la Est. 6 representa la salinidad más alta registrada desde el inicio del Período de Surgencia.

La Fig. 32a, Corte I, presenta un rango de salinidad entre 34.14‰-34.60‰ (Ests. 8' y 3, respectivamente), en superficie y 34.60‰ en la máxima profundidad de muestreo (30m) de la Est. 8'. La distribución vertical del parámetro es consistente con las características generales descritas para el Corte I (Fig. 38a). Sin embargo, es significativo que la isohalina de 34.5‰ en la Fig. 32a, presenta un ascenso en las Ests. 8' y 12 e intercepta la superficie cerca de la Est. 3, entre ella y la Est. 8'. Esto último permite señalar que la columna de agua correspondiente al área en que se encuentra la Est. 3 presenta valores de salinidad superior a 34.50‰.

La salinidad correspondiente a las máximas profundidades de muestreo en las Ests. 3, 8' y 12 son 34.56, 34.60 y 34.56‰, respectivamente.

El Corte II, presenta un rango de temperatura entre 10.9-12.9°C (Ests. 6 y 10, respectivamente) en superficie y 9.6°C en la máxima profundidad de muestreo (20m) de la Est. 13. Los valores de temperaturas superficiales de las Ests. 10 y 13 son prácticamente iguales (*i.e.*, 12.9 y 12.7°C, respectivamente) y significativamente más altos que el registro en la Est. 6 (10.9°C). Esto último es válido en el sentido de que el área representada por la Est. 6 y las proximidades de la Est. 10 presenta la intercepción en superficie de las isotermas de 11.0, 11.5, 12.0, 12.5°C; es interesante indicar que estas isolíneas fueron encontradas a niveles subsuperficiales en el Corte I (Fig. 31b). La isoterma de 12.7°C se encuentra en superficie muy cerca de la Est. 10 y el mismo valor fue registrado en la superficie de la Est. 13. Ella está indicada en el gráfico para facilitar su comparación, en términos de su configuración y profundidad a que se encuentra, con lo descrito en el Corte I.

En la Est. 10 se puede detectar un gradiente de 0.5°C/m delimitado por las isotermas de 12.0 y 11°C entre las profundidades de 6m y 8m. Este gradiente adquiere un valor de 0.3°C/m entre las profundidades de 4m y 7m en la Est. 3. Bajos estos gradientes se registran temperaturas que identifican a las AESS y que en el área correspondiente a la Est. 6 se presentan en super-

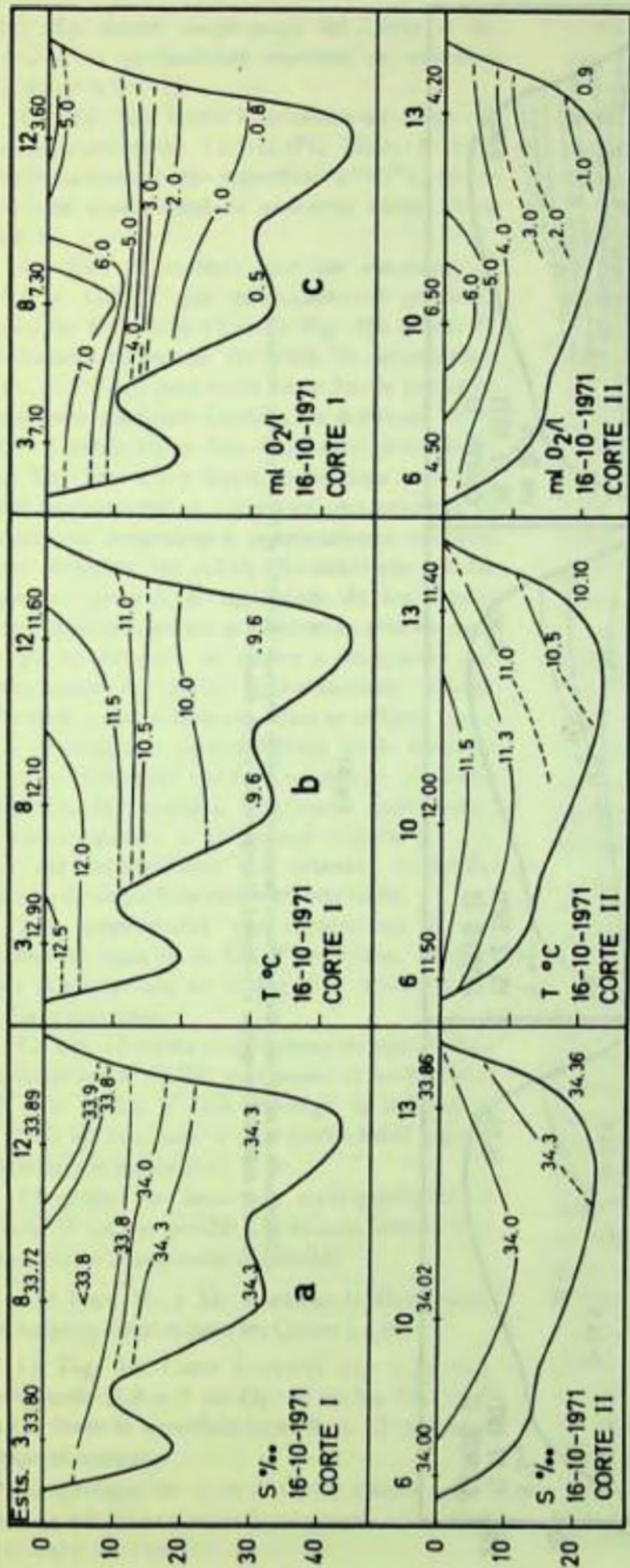


Fig. 31

Distribución de parámetros físico-químicos durante el Período de Surgencia (noviembre de 1971) en cortes transversales de la Bahía de Concepción: a) salinidad, b) temperatura, y c) O₂ disuelto.

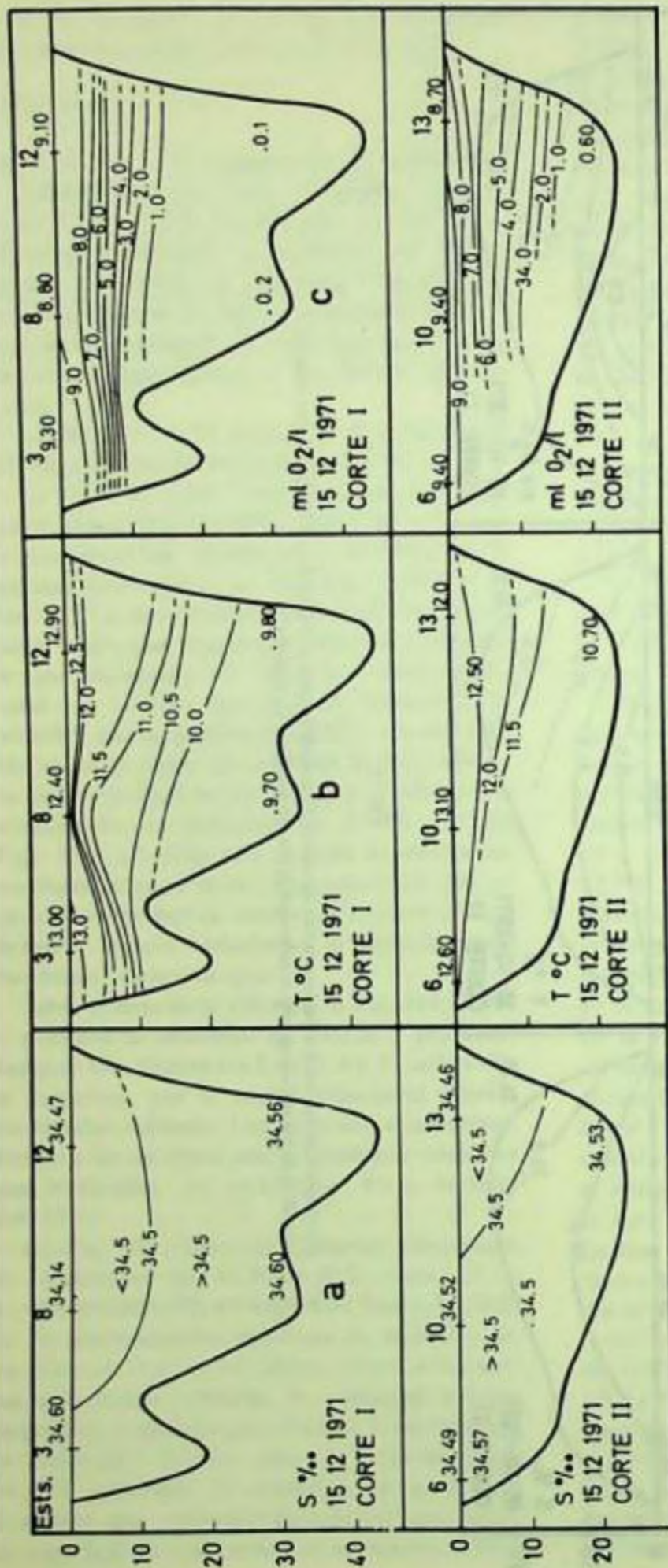


Fig. 32

Distribución de parámetros físico-químicos durante el periodo de surgencia (diciembre de 1971), en cortes transversales de la Bahía de Concepción: a) salinidad, b) temperatura, y c) O₂ disuelto.

ficie. La mayor temperatura del Corte se detecta a la profundidad máxima de muestreo (20m) de la Est. 13.

La Fig. 32b, Corte I, presenta un rango de temperatura entre 12.4-12.0°C (Ests. 8' y 3, respectivamente) en superficie y 9.7°C en la máxima profundidad de muestreo (30m) en la Est. 8'.

La Est. 8' muestra que las isotermas de 12.0 y 11.0°C, que delimitaban el gradiente para las Ests. 8' y 12 en la Fig. 31b (Corte I), presentan la misma variación de temperatura (*i.e.*, 0.5°C/m) pero entre 1m y 3m de profundidad; este gradiente también es detectado en la Est. 3 entre 6m y 8m. Bajo esta profundidad de 3m (Est. 8') y hasta la máxima profundidad de muestreo se encuentra una columna de agua con temperatura prácticamente uniforme que identifica las AESS. Es necesario señalar que, en general, el significado de los valores mencionados para los gradientes es relativo dado a que su detección se refiere a situaciones momentáneas en áreas dinámicamente activas. En base a esta aclaración, ellos se utilizan con el fin de comparar la distribución de la temperatura en diferentes cortes y establecer, en forma aproximada, posibles relaciones entre cortes correspondientes a un mismo cruceo (*i.e.*, en un día determinado) y/o cruceos realizados dentro de un período relativamente corto.

Las temperaturas que caracterizan la columna de agua en la Est. 3 presentan, al igual que lo encontrado en la Fig. 31b (Corte I), los valores más altos.

La Est. 12 revela una columna de agua en que la isoterma de 12.0°C permanece al mismo nivel en toda la Est. 8'. Sin embargo, la isolínea de 11.5°C es detectada a una profundidad significativamente mayor (*i.e.*, 11m).

El gráfico de isotermas correspondiente al Corte II no fue posible construirlo debido a la insuficiente información disponible.

Las Figs. 31c y 32c muestran la distribución de oxígeno disuelto para los Cortes I y II.

La Fig. 31c Corte I, revela una capa bien oxigenada (7.8 a 3 ml O₂/ℓ) en las Est. 3, 8' y 12, desde la superficie hasta 9 m, 12 m, y 6 m, respectivamente.

La oxilínea de 1 ml O₂/ℓ (límite superior de AESS) es detectada solamente en las Est. 8 (17m) y 12 (14m).

En este mismo orden los valores de las máximas profundidades de muestreo (30m) son de 0.3 y 0.7 ml O₂/ℓ. En la Est. 3, la máxima profundidad de muestreo (10m) indica un tenor de oxígeno comparativamente alto, *i.e.*, 2.3 ml O₂/ℓ.

La Fig. 31c, Corte II, revela un rango de oxígeno disuelto entre 3.0-6.5 ml O₂/ℓ correspondiente a la máxima profundidad de muestreo (30m) en la Est. 13.

La Est. 6 muestra valores significativamente más bajos (3.0 ml O₂/ℓ en superficie y 2.8 ml O₂/ℓ a 5m) que los encontrados para iguales profundidades en las otras dos estaciones hidrográficas. Esta situación estaría indicando un "afloramiento" (AESS) en el área de la estación mencionada ya que ello es consistente con los valores de salinidad y temperatura descritos para el mismo Corte en las Figs. 31a y 32b, respectivamente.

La Est. 13 presenta una aparente distribución vertical monótonica de oxígeno disuelto que fluctúa entre 6.50 ml O₂/ℓ en superficie y 1 ml O₂/ℓ detectado a una profundidad de ca. 12.5m. En todo caso, el valor mínimo de oxígeno disuelto encontrado en la estación es de 0.4 ml O₂/ℓ en la máxima profundidad de muestreo (20 m).

La Est. 10 está caracterizada por una columna de agua bien oxigenada desde la superficie (5.7 ml O₂/ℓ) hasta el fondo (valores de 2 ml O₂/ℓ).

Consecuentemente con lo anterior, se puede indicar que la configuración de la oxilínea de 1 ml O₂/ℓ y el valor de 0.4 ml O₂ encontrado en la profundidad máxima de muestreo de la Est. 13 (que como tal constituye el valor más bajo detectado en el Corte II) representaría las AESS propiamente tales en las mayores profundidades de esa estación. Esto es concordante con la distribución de salinidad (Fig. 31a) y temperatura (Fig. 31b) correspondientes al mismo corte.

La Fig. 32c, Corte I, representa para las Ests. 3, 8' y 12, valores de saturación de oxígeno disuelto hasta ca. 5m de profundidad. Esto es igualmente válido para los tres primeros metros en el Corte II.

La oxilínea de 1 ml O₂/ℓ es detectada sólo en las Ests. 8' y 12 a una profundidad de ca. 13 m. A mayores profundidades se detecta va-

lores de oxígeno disuelto extremadamente bajos, *i.e.*, $0.1 \text{ m } \ell \text{ O}_2 / \ell$.

La Fig. 32c, corte II, presenta una capa superficial sobresaturada de oxígeno y la oxilínea de $1 \text{ m } \ell \text{ O}_2 / \ell$ sólo es detectada en la Est. 13 a una profundidad de *ca.* 16m. El valor más bajo observado corresponde a $0.6 \text{ m } \ell \text{ O}_2 / \ell$ en la máxima profundidad de muestreo (20m) de la estación mencionada.

g) Circulación de las aguas en la Bahía de Concepción.

Con el objeto de estudiar aspectos dinámicos de las aguas de la bahía, se consideró el trazado de isolíneas de temperatura y salinidad a niveles de z de 0.10m y máxima profundidad de muestreo. Debido a que en invierno la temperatura presenta gradientes pequeños, se contempló sólo el trazado de isohalinas. En primavera, verano y comienzos de otoño la salinidad presenta un gradiente reducido y por lo tanto se utilizó los datos de temperatura. Sin embargo, los valores de estos parámetros adquieren tal uniformidad a profundidades mayores de 15m que no permite el trazado de isolíneas.

El análisis de la distribución horizontal de las isolíneas muestra durante el período de Circulación estuarina y el de Transición I un flujo superficial desde la cabeza a la boca (Figs. 33a y 34a), con la consecuente salida de las aguas superficiales de la bahía. En el nivel de 10m se insinúa la entrada de aguas a la bahía, aun cuando, hacia la cabeza (Ests. 9, 10 y 11) se produce una importante zona de mezcla (Figs. 33b y 34b). En la máxima profundidad de muestreo se detecta un flujo neto hacia el interior de la bahía (Figs. 33c, 34c y 35).

En el período de Surgencia sólo fue posible trazar isolíneas con los valores de temperatura a nivel de 0 y 10m. Los resultados obtenidos muestran en el nivel de 0m un flujo hacia la boca (Fig. 36a); en cambio en el nivel de 10m ya se insinúa la entrada de las aguas a la Bahía de Concepción (Fig. 36b).

Consecuentemente con lo anterior, en enero de 1976 se realizó mediciones directas de correntometría con el objeto de obtener referencias cuantitativas (*i.e.*, velocidad y dirección) de la circulación.

Los resultados obtenidos confirmaron el flujo superficial desde la cabeza a la boca de la bahía encontrado en base a las isolíneas y reve-

laron un flujo de entrada en las máximas profundidades de muestreo (Fig. 37). Así, la interpretación del significado de las isolíneas y las medidas correntométricas directas muestran una clara consistencia.

El flujo superficial fue registrado a 7.5m de profundidad y alcanzó velocidades de 36cm/seg en la boca de la bahía. La velocidad de entrada de las aguas, registrada a 37m para la misma estación hidrográfica fue de 25.9 cm/seg.

Estos resultados y la información obtenida a partir del gradiente de las isolíneas permiten construir un modelo de circulación para el período de Surgencia (Fig. 38). La causa de este proceso se refiere a la acción de los vientos S y SW sobre las aguas superficiales que son transportados hacia la boca. Ello induce el desarrollo de mezcla en la cabeza de la bahía y la intrusión de aguas de mayores profundidades como consecuencia de la salida de las capas superficiales menos densas que son transportadas por el viento.

h) Profundidades del Disco Secchi.

En la Bahía de Concepción se detectó un rango de variación en las profundidades del Disco Secchi de 16 m. La mayor profundidad se registró en invierno (14 de agosto de 1975) y fue de 22m en la Est. 10 y la menor profundidad correspondió a primavera (22 de noviembre de 1972) con sólo 2m en la Est. 5 (Anexo 1).

En general, en invierno se obtuvo los mayores valores de transparencia, con excepción de mediciones realizadas en días posteriores a lluvias intensas, donde disminuye significativamente, como se puede apreciar en los registros obtenidos el 10 de julio de 1975. En cambio, durante la primavera y verano las profundidades del Disco Secchi son normalmente pequeñas (*i.e.*, de 5 a 2 m).

Lo anterior permite sugerir que la disminución de la transparencia del agua está asociada a:

i) Materia en suspensión debido a las aguas del río Andalién y escurrimiento superficial en los días siguientes a lluvias intensas (invierno).

ii) Diferencia de densidad por dilución de la capa superficial (invierno) y

iii) Abundancia de plancton durante el período de primavera y verano. Este hecho está relacionado con el aporte de nutrientes producido por el afloramiento de las AESS.

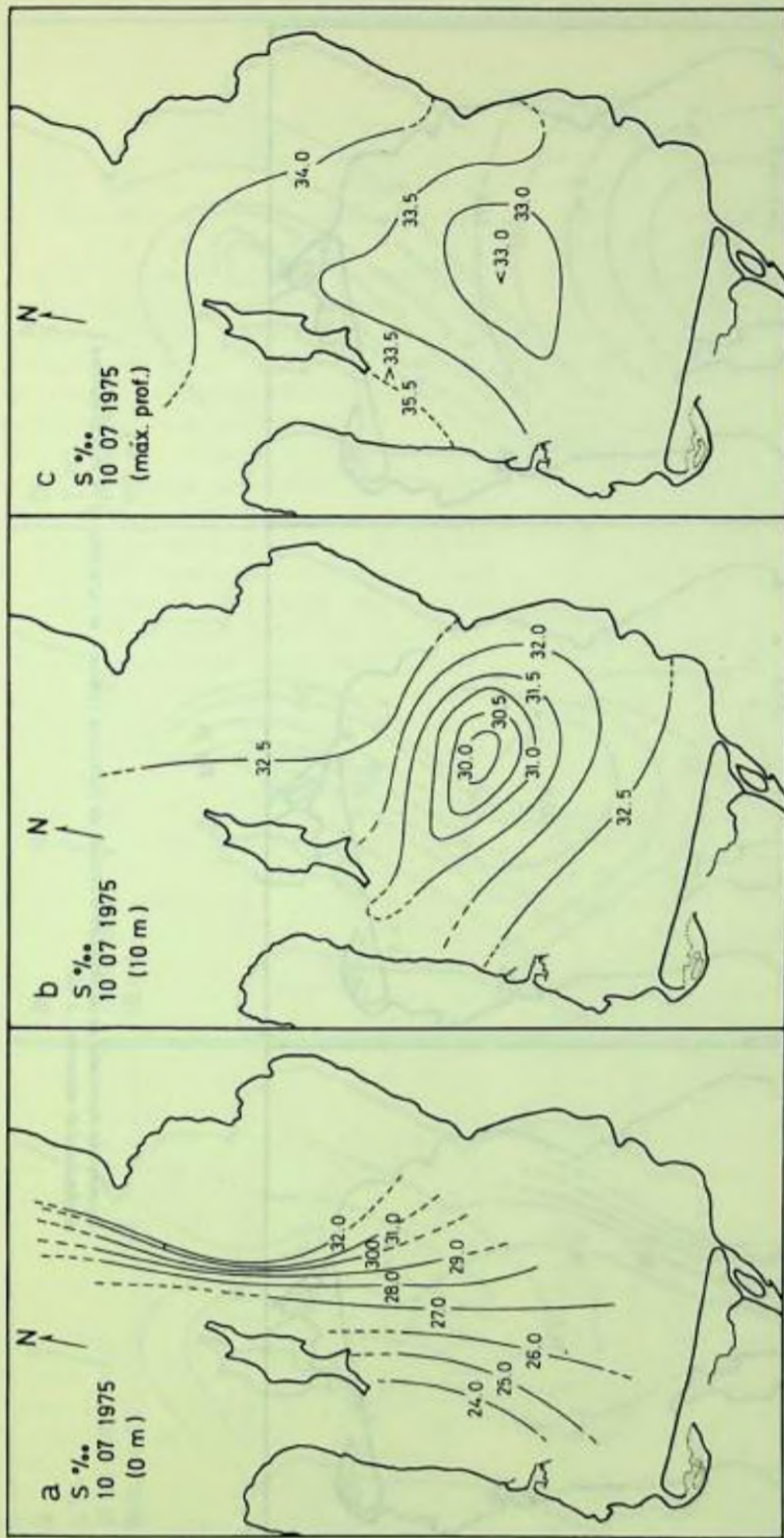


Fig. 33

Distribución horizontal de salinidad en el período de circulación estuarina: a) superficie, b) 10m, y c) máxima profundidad de muestreo.

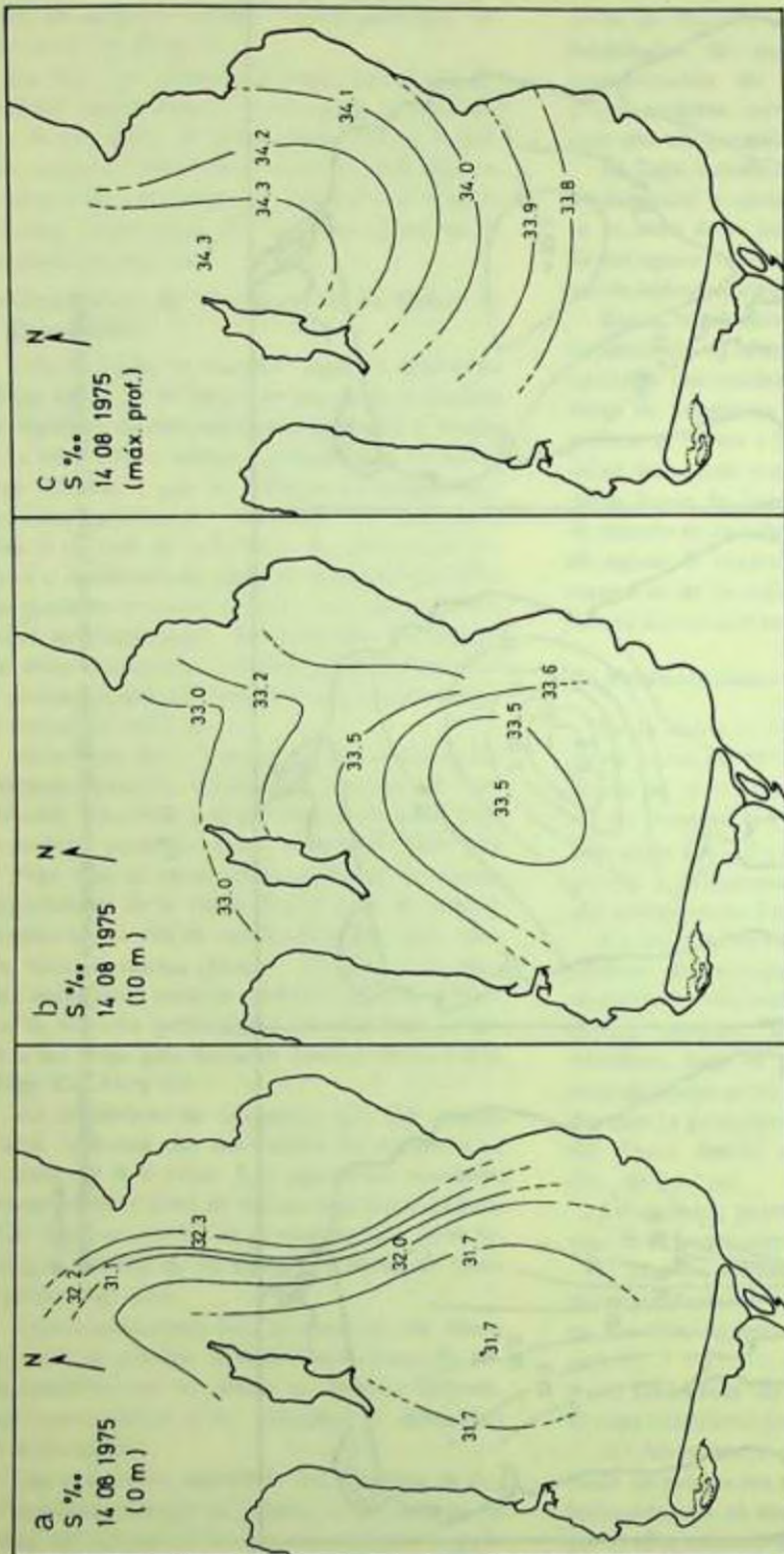


Fig. 34

Distribución horizontal de salinidad en el Período de Transición I (inicio): a) superficie, b) 10 m, y c) máxima profundidad de muestreo.

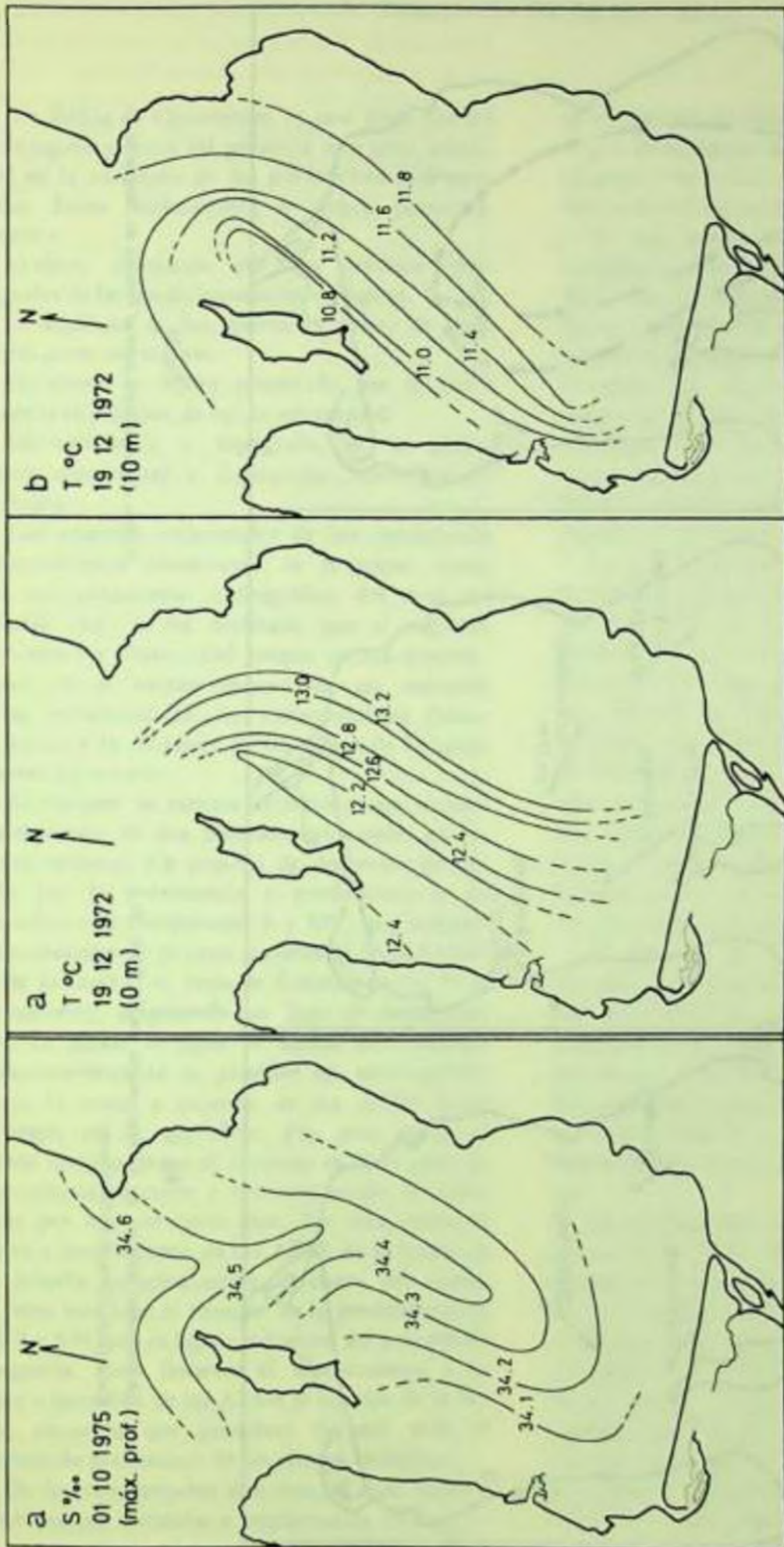


Fig. 35

Distribución horizontal de Salinidad en el Período de Transición I a máxima profundidad de muestreo.

Fig. 36

Distribución horizontal de Temperatura en el Período de Surgencia: a) superficie, y b) 10m.

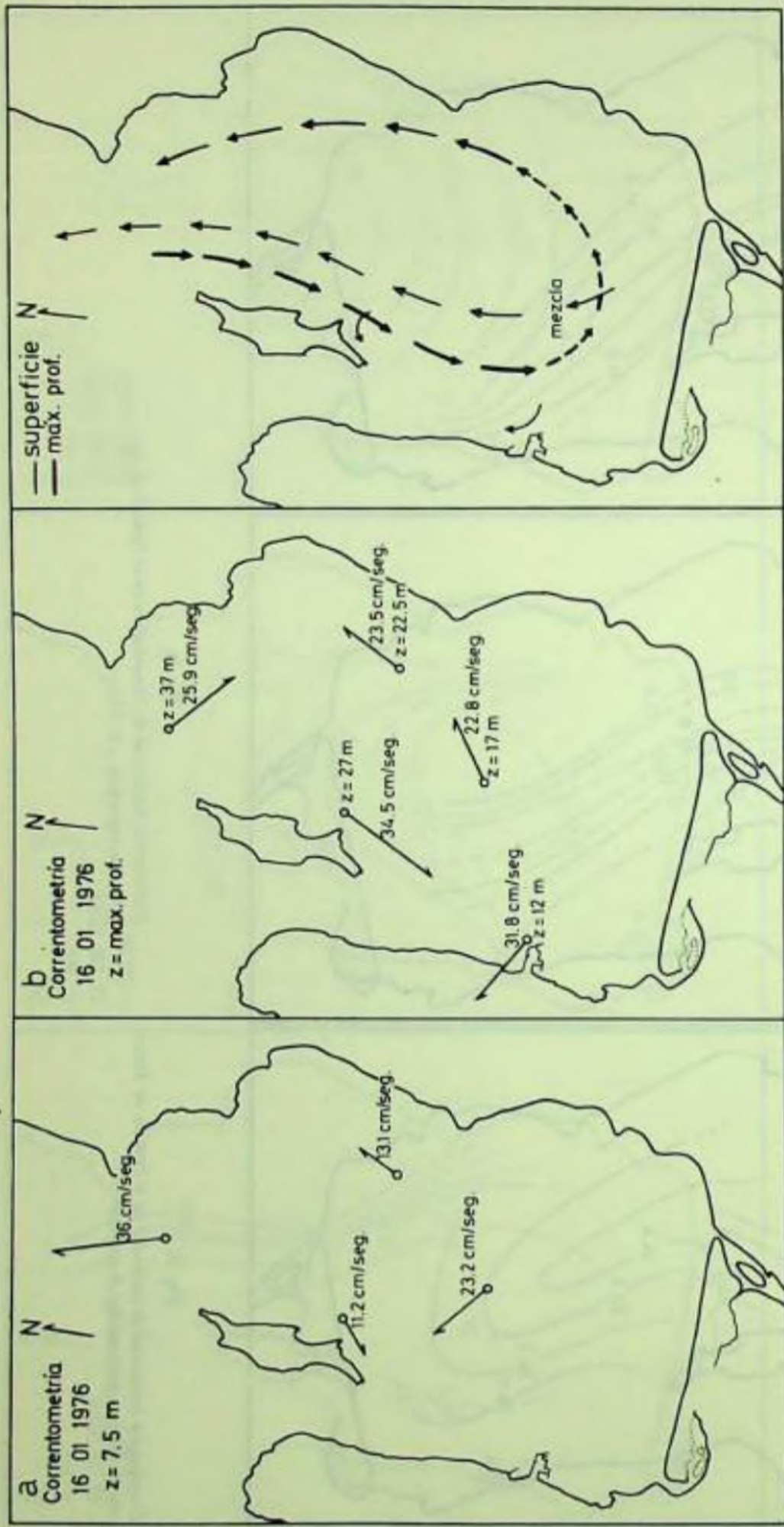


Fig. 37

Observaciones directas de Correntometría en la Bahía de Concepción (Período de Surgencia).

Fig. 38

Modelo de Circulación para el Período de Surgencia

V. DISCUSION DE RESULTADOS

La Bahía de Concepción es una zona costera restringida y como tal presenta una gran amplitud en la variación de los parámetros hidrográficos. Estas fluctuaciones se deben principalmente a:

i) efecto producido por los cambios estacionales de las condiciones meteorológicas.

ii) dinámica de las diferentes masas de agua en las áreas adyacentes.

iii) efecto de límite producido por la costa sobre la circulación de aguas adyacentes.

iiii) batimetría y topografía de la plataforma continental y disposición Norte-Sur de la Bahía.

Los cambios estacionales de las condiciones meteorológicas constituyen la principal causa del comportamiento hidrográfico del área de estudio. Así, se ha detectado que el régimen de vientos y pluviosidad juegan un rol determinante en el establecimiento de un marcado ritmo estacional en las características físico-químicas y la dinámica de las aguas de la bahía y áreas adyacentes.

El régimen de vientos determina una secuencia dinámica de dos periodos principales en las aguas costeras. Un proceso de surgencia producido por la persistencia y predominancia de los vientos de componente S y SW, que inducen un transporte de la capa superficial (ASAA) fuera de la costa (*i.e.*, capa de Eckman de *ca.* 20 m de espesor), originando un flujo de compensación de masas de agua de mayor profundidad. Consecuentemente se produce un acercamiento hacia la costa y ascenso de las AESS hasta irrumpir en la superficie. Por otra parte, el viento dominante en el invierno es el N pero su persistencia es corta y ocasionalmente se mantiene por más de cinco días. Por esta razón el retiro y hundimiento de las AESS de la bahía no se debería principalmente al efecto del viento N, sino más bien al término de la predominancia del S y SW que es factor inductivo del proceso de surgencia. Esto favorece el acercamiento a la costa e intrusión de las ASAA al interior de la bahía, situación que prevalece durante todo el periodo de predominio de los vientos ciclónicos.

De los dos periodos descritos, el más importante por su duración e implicancias ecológicas

es el proceso de Surgencia de las AESS, debido a que estas aguas poseen una capa mínima de oxígeno y el hecho reconocido que esta última está asociada a altos niveles de nutrientes.

En este sentido el estudio sistemático de las variaciones hidrográficas en el interior de la Bahía de Concepción podría redundar en un buen índice de la ocurrencia y duración del proceso de surgencia tanto dentro como fuera de la bahía. Así, se puede decir que el proceso de surgencia es estacional, que las aguas afloradas corresponden a las AESS, que el proceso tiene una duración de *ca.* 6 meses (fines de primavera hasta mediados de otoño) y es coincidente con el predominio de los vientos anticiclónicos.

La aparición de estas aguas en el interior de la Bahía de Concepción y su posterior reemplazo por la ASAA permiten definir cuatro periodos, cada uno de los cuales presentan características diferentes en los parámetros físico-químicos, *i.e.*, Período de Circulación Estuarina, Período de Transición I, Período de Surgencia y Período de Transición II. El inicio y duración de cada uno de estos periodos es aproximado debido a que representan procesos dinámicos; sin embargo, la secuencia y rangos de variación de las características hidrográficas fueron similares en los años estudiados.

El Período de Circulación Estuarina, está definido por temperaturas relativamente altas (*i.e.*, 13.80°C) en la máxima profundidad de muestreo y la formación de una termoclina negativa. La salinidad en la capa de *ca.* 20m de profundidad es baja (*i.e.*, 22.7 a 33.5‰) pero su mayor dilución se presenta sobre los 10 primeros metros dando origen a una fuerte haloclina.

Un análisis detallado del Periodo de Surgencia en la Bahía de Concepción permite distinguir un cuerpo de agua ubicado sobre los 15m de profundidad, donde el intercambio con la atmósfera y el calentamiento estival modifican dos parámetros característicos de las AESS, *i.e.*, temperatura y oxígeno. Sin embargo, bajo este cuerpo de agua, esas propiedades y la salinidad no son afectadas, produciéndose una discontinuidad originada por la diferencia de temperatura. Esta estratificación es destruida ape-

riódicamente por fluctuaciones de la intensidad del viento S ocasionando irrupciones en la capa superficial de aguas con bajo contenido de oxígeno y temperatura relativamente baja (*i.e.*, menor de 12.5°C), las que se insinúan como "lentes de afloramiento" más intensos. La circulación de las aguas interiores está regida por el "stress" provocado por el viento S, que establece un flujo superficial de salida de las aguas y un flujo de entrada en profundidades mayores de 15m. Este proceso detectado en los gráficos de distribución vertical y horizontal de los parámetros hidrográficos es consistente con las medidas directas de correntometría obtenidas durante ese período. El Período de Surgencia se mantiene hasta comienzos o mediados de otoño y su término está relacionado con el cambio de régimen de vientos; de esta manera se produce el retiro de las AESS de la Bahía de Concepción dando lugar al Período de Transición II. Este último es de corta duración, debido a que el cambio de dominancia de los vientos que produce el reemplazo de las AESS por las ASAA se presenta acompañado de las primeras lluvias invernales determinando el establecimiento del período de "Circulación Estuarina" y, en esa forma, el inicio de un nuevo ciclo anual.

En base a lo expuesto se puede apreciar una secuencia dinámica de dos masas de agua en la bahía, las que originan fluctuaciones significativas de las aguas interiores. La intrusión de las AESS con una capa de mínima concentración de oxígeno disuelto y un alto contenido de nutrientes, es el factor que tendría mayores repercusiones ecológicas. Así, los fenómenos de mortandad masiva de organismos marinos, florecimientos periódicos y exuberantes de plancton y el fango reductor que cubre la mayor parte del fondo de la Bahía de Concepción y la plataforma continental frente a ella, confirmarían tal aseveración. Al mismo tiempo representaría una explicación de la causa de tales hechos.

La presencia de una capa de agua con un contenido mínimo de oxígeno disuelto, que en noviembre de 1975 alcanzó valores de 0.12m l O₂/l y la existencia de ácido sulfhídrico en los fangos reductores fue probablemente la causa principal de un fenómeno de mortalidad y varazón de peces en áreas cercanas a la cabeza

de la bahía (Ahumada y Arcos, 1976). Se ha informado de fenómenos semejantes periódicos en la región de Walvis en Sud-Africa (Copenhagen, 1953). Por otra parte, la revisión de los antecedentes disponibles de fenómenos de mortandades masivas de peces y otros organismos marinos registrados en años anteriores en la bahía, son coincidentes con el Período de Transición I o al Período de Surgencia (*e.e.*, presencia de las AESS). Sin embargo, estos fenómenos son poco frecuentes debido a que su presencia requiera de la concurrencia de varias condiciones dinámicas:

Intensificación del proceso de surgencia de las AESS y favorecidas por vientos de gran intensidad y persistencia. Interrupción repentina del viento seguida de un período de calma determina la debilidad en los procesos de mezcla turbulenta en las capas superficiales y áreas costeras de la bahía.

La inercia del proceso de ascenso de las AESS continúa llevando la mínima de oxígeno hasta unos pocos metros de la superficie.

Una segunda característica importante en la Bahía de Concepción y áreas adyacentes es la gran fertilidad de las aguas durante la presencia de las AESS debido al alto contenido de nutrientes de las últimas (Reid, 1973). Ello determina una gran proliferación de fitoplancton, tomando frecuentemente características de "blooms" o "aguas coloreadas" en las zonas costeras cercanas a la cabeza, donde se ha detectado intensos procesos de mezcla turbulenta.

La gran extensión que cubre la capa de la mínima de oxígeno, en el interior de la bahía, determina que una cantidad reducida de organismos de niveles tróficos altos (*i.e.*, consumidores secundarios) aprovechen la materia orgánica producida como consecuencia del afloramiento de aguas ricas en nutrientes (AESS). De allí que la mayor parte de ella sedimentaría para ser utilizada por organismos bentónicos detritívoros y microorganismos descomponedores (*i.e.*, bacterias sulfurreductoras y sulfuroxidantes). Este hecho ayudaría a incrementar el fango reductor que caracteriza los fondos de la bahía.

La mínima de oxígeno y la descomposición bacteriana de la materia orgánica con la consecuente producción de ácido sulfhídrico tanto en el fango como en el agua supra-adyacente condicionan la vida y estructura de las

poblaciones bentónicas estableciendo una dominancia de especies resistentes. Esto último ha sido informado por Gallardo *et al* (1972), situaciones semejantes han sido encontradas para la fauna bentónica del sublitoral del Norte de Chile (Gallardo, 1963) y en el Golfo de

Arauco (Gallardo, 1966), áreas que son cubiertas por las AESS al menos estacionalmente. Este hecho estaría reforzando la interpretación sobre los efectos de las AESS en el bentos de la Bahía de Concepción.

VI. CONCLUSIONES

El estudio de las condiciones hidrográficas en la Bahía de Concepción y áreas adyacentes durante los años 1971, 1972 y 1975 revela:

1. El régimen meteorológico del área de estudio y la presencia de dos masas de agua en la zona costera (*i.e.*, ASAA y AESS) determinan la existencia de cuatro periodos durante un ciclo anual en la Bahía de Concepción:

- i) Periodo de Circulación Estuarina.
- ii) Periodo de Transición I.
- iii) Periodo de Surgencia.
- iv) Periodo de Transición II.

2. La periodicidad con que se detecta la aparición de las AESS en la Bahía de Concepción y el análisis de los antecedentes meteorológicos, constituyen buenos índices para precedir la ocurrencia y estimar la duración del proceso de surgencia en las aguas adyacentes.

3. Los estudios hidrográficos y meteorológicos realizados tanto en la bahía como en áreas adyacentes indican que el proceso de surgencia está regido por la acción de los vientos Sy SW, como consecuencia de desplazamientos estacionales del Centro Anticiclónico del Pacífico

Sur. Por tanto, su extensión comprometería un área costera mucho mayor que el área de estudio.

4. Los Periodos de Transición I y Surgencia, con una duración total de *ca.* 8 meses se caracterizan por la presencia de las AESS y representarían los periodos de mayor importancia ecológica.

5. La información sobre aspectos dinámicos en la Bahía de Concepción indica la conveniencia y urgencia de realizar estudios sistemáticos en cada uno de los periodos para lograr un conocimiento detallado de esos procesos. Esto facilitaría el análisis y comprensión de problemas bio-ecológicos, *e.g.*, sucesión de especies, migraciones protectivas, mortandades de organismos marinos, productividad, etc.

6. Algunas características de las aguas afloradas (*i.e.*, bajo contenido de oxígeno y alta concentración de nutrientes) y la duración del proceso, señalan la necesidad de un estudio químico-físico y dinámico para establecer posibles características de la migración de cardúmenes de peces de importancia económica, en el tiempo y en el espacio.

Anexo 1

PROFUNDIDADES DEL DISCO SECCHI REGISTRADAS EN DIFERENTES FECHAS EN ESTACIONES HIDROGRAFICAS DE LA BAHIA DE CONCEPCION

| <i>Estación</i> | <i>Fecha</i> | <i>Hora</i> | <i>Prof. Secchi</i> | <i>Estación</i> | <i>Fecha</i> | <i>Hora</i> | <i>Prof. Secchi</i> |
|-----------------|--------------|-------------|---------------------|-----------------|--------------|-------------|---------------------|
| 1 | 22-11-72 | 11.01 | 4.5 | 9 | 13-06-75 | 11.45 | 11.00 |
| 2 | 22-11-72 | 12.15 | 5.0 | 11 | 13-06-75 | 11.10 | 9.00 |
| 3 | 22-11-72 | 13.15 | 4.7 | 3 | 10-07-75 | 11.50 | 2.20 |
| 4 | 22-11-72 | 13.48 | 5.0 | 4 | 10-07-75 | 11.10 | 2.20 |
| 5 | 22-11-72 | 14.33 | 2.5 | 5 | 10-07-75 | 16.15 | 2.30 |
| 6 | 22-11-72 | 15.11 | 2.5 | 8 | 10-07-75 | 14.04 | 3.50 |
| 5 | 22-11-72 | 15.26 | 2.0 | 9 | 10-07-75 | 14.40 | 3.45 |
| 4 | 22-11-72 | 15.50 | 5.5 | 10 | 10-07-75 | 15.30 | 3.10 |
| 3 | 22-11-72 | 16.20 | 5.0 | 11 | 10-07-75 | 14.50 | 2.50 |
| 2 | 22-11-72 | 17.20 | 4.0 | 7 | 10-07-75 | 13.22 | 3.60 |
| 1 | 22-11-72 | 18.10 | 4.0 | REF | 21-07-75 | 15.35 | 10.01 |
| 2a | 24-11-72 | 11.05 | 2.5 | 3 | 21-07-75 | 10.20 | 10.00 |
| R2 | 15-12-72 | 10.40 | 4.0 | 4 | 21-07-75 | 10.00 | 17.00 |
| R2A | 15-12-72 | 12.20 | 2.5 | 11 | 21-07-75 | 16.18 | 9.00 |
| 1b | 15-12-72 | 13.20 | 4.0 | 10 | 21-07-75 | 16.05 | 11.00 |
| 2b | 15-11-72 | 14.00 | 4.0 | 9 | 21-07-75 | 11.00 | 13.00 |
| 3b | 15-12-72 | 15.00 | 5.0 | 8 | 21-07-75 | 11.55 | 15.00 |
| 4b | 15-12-72 | 15.45 | 7.50 | 7 | 21-07-75 | 12.23 | 13.00 |
| 5b | 15-12-72 | 16.30 | 3.3 | 5 | 14-08-75 | 10.15 | 14.00 |
| R3A | 18-12-72 | 11.20 | 3.50 | 14 | 14-08-75 | 11.20 | 18.00 |
| R3 | 18-12-72 | 12.30 | 4.5 | 13 | 14-08-75 | 11.55 | 12.00 |
| 8 | 18-12-72 | 13.20 | 7.0 | 4 | 14-08-75 | 13.00 | 4.00 |
| 9 | 18-12-72 | 14.00 | 4.5 | 12 | 14-08-75 | 14.08 | 6.00 |
| 10 | 18-12-72 | 14.40 | 4.5 | 11 | 14-08-75 | 10.50 | 5.00 |
| 11 | 18-12-72 | 15.14 | 2.5 | 10 | 14-08-75 | 12.20 | 22.00 |
| REF | 18-12-72 | 15.47 | 4.2 | 9 | 14-08-75 | 13.30 | 4.0 |
| 7 | 19-12-72 | 10.30 | 3.0 | 8 | 14-08-75 | 11.10 | 5.00 |
| 8 | 19-12-72 | 11.24 | 3.5 | 7 | 14-08-75 | 15.35 | 5.00 |
| 9 | 19-12-72 | 12.00 | 4.0 | 3 | 05-09-75 | 15.56 | 3.50 |
| 10 | 19-12-72 | 12.30 | 4.0 | 5 | 05-09-75 | 10.40 | 3.00 |
| 11 | 19-12-72 | 13.05 | 2.7 | 13 | 05-09-75 | 11.35 | 3.60 |
| 5 | 19-12-72 | 13.40 | 2.5 | 12 | 05-09-79 | 13.00 | 3.10 |
| 4 | 19-12-72 | 14.13 | 3.0 | 10 | 05-09-79 | 11.05 | 3.50 |
| 3 | 19-12-72 | 14.42 | 2.9 | 9 | 05-09-75 | 12.20 | 3.70 |
| 2 | 19-12-72 | 15.10 | 2.6 | 8 | 05-09-75 | 13.35 | 3.40 |
| 1 | 19-12-72 | 15.51 | 2.5 | 7 | 05-09-79 | 14.15 | 3.70 |
| R2A | 04-01-73 | 12.00 | 3.0 | 12 | 01-10-75 | 12.40 | 2.70 |
| 3 | 04-01-73 | 14.15 | 2.5 | 13 | 01-10-75 | 15.00 | 3.00 |
| 7 | 04-01-73 | 15.35 | | 8 | 01-10-75 | 12.00 | 3.00 |
| 3 Col | 13-06-75 | 14.10 | 15.00 | 9 | 01-10-75 | 12.50 | 2.50 |
| 7 | 13-06-75 | 12.40 | 13.00 | 7 | 01-10-75 | 11.15 | 3.20 |

BIBLIOGRAFIA CITADA

- AHUMADA, R. y D. ARCOS, 1976. Descripción de un fenómeno de varazón y mortandad de peces en la Bahía de Concepción, Chile. *Rev. Com. Perm. Pacifico Sur*, 5: 101-111.
- ALARCÓN, E. y J. PINEDA, 1969. Descripción oceanográfica estacional de las aguas frente a Valparaíso. *Bol. Inst. Fom. Pesq. Santiago*, 11:1-31.
- ALARCÓN, E., 1970. Descripción oceanográfica preliminar del Golfo de Arauco. *Bol. Inst. Fom. Pesq. Santiago*, 13:1-51.
- BRANDHORST, W., 1959a. Factores oceanográficos que influyen a la pesca de la merluza. *Agricultura y Ganadería. Santiago*, 5 (18-19).
- BRANDHORST, W., 1959b. Relationship between the Hake Fisheries and a Southerly Sub-surface Return Flow below the Perú Current of the Chilean Coast. *Nature*, 183: 1832-1833.
- BRANDHORST, W., 1963. 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. Dirección de Agricultura y Pesca. Laboratorio de Oceanografía y Biología Pesquera. Santiago, 55 págs.
- BRANDHORST, 1971. Condiciones oceanográficas estivales frente a la costa de Chile. *Rev. Biol. Mar.*, 14 (3):45-84.
- BRANDHORST, W. y H. INOSTROZA, 1965. Descripción de las condiciones oceanográficas de las aguas chilenas en base a los datos de las Expediciones "William Scoresby" y "Chiper". *Bol. Inst. Fom. Pesq. Santiago*, 1:19-70.
- COPENHAGEN, W.J., 1953. A periodic mortality of fish in Walvis Region. A Phenomenon within the Benguela Current. Report. Comm. and Fisheries, Union so Africa, Dic. Fish., Invest. Report., 14: 1-35.
- Departamento de Geofísica, Sección Meteorología, 1971. Anuario meteorológico. Universidad de Concepción. 34 págs.
- Departamento de Geofísica, Sección Meteorología, 1972. Anuario meteorológico. Universidad de Concepción. 33 págs.
- Departamento de Geofísica, Sección Meteorología, 1973. Anuario meteorológico. Universidad de Concepción. 34 págs.
- Departamento de Geofísica, Sección Meteorología, 1974. Anuario meteorológico. Universidad de Concepción. 38 págs.
- DEVYNCK, J.L., 1970. Contribución al estudio de la circulación atmosférica en Chile y el clima de la región del Bio-Bio. Universidad de Concepción, Departamento de Geofísica, 165 págs. (Mimeografiada).
- GALLARDO, A., 1963. Notas sobre la densidad de la fauna bentónica en el sublitoral del Norte de Chile. *Gayana, Zool.*, 10:1-15.
- GALLARDO, A., 1965. Observaciones sobre la fauna bentónica del Golfo de Arauco. *Bol. Soc. Biol. de Concepción* 49: 145-160.
- GALLARDO, A., 1975. On a benthic sulphide system on the continental shelf of North and Central Chile. In: International Symposium Coastal Upwelling Proceedings Ed. Juan C. Valle, Universidad del Norte, Centro de Investigaciones Submarinas, Coquimbo. 113-118 págs.
- GALLARDO, V.A., J.G. CASTILLO y L.A. YÁÑEZ, 1972. Algunas consideraciones preliminares sobre la ecología bentónica de los fondos sublitorales blandos en la Bahía de Concepción. *Bol. Soc. Biol. de Concepción* 44:169-190.
- GREEN, E.J. and D.E. CARRIT, 1967. New Tables for Oxygen Saturation of Seawater. *J. Mar. Res.*, 25 (2):140-147.
- GUNTHER, E.R., 1936. A report on Oceanographical investigations in the Perú coastal current. *Discovery Reports*, 13:107-276.
- HELA, I. and T. LAEVASTU, 1970. Fisheries Oceanography. Fishing news (Books) LTD, London, 238 págs.
- HULOT, A. (1957) Nota preliminar sobre los ciclos estacionales en la Bahía de Talcahuano. *Bol. Soc. Biol. Concepción*, 32:45-47.
- Instituto Hidrográfico de la Armada, 1968. Operación Oceanográfica-Mar-Chile I. Datos Físico-Químicos.
- LAFOND, E.C., 1951. Processing Oceanography Data. U.S. Navy Hydrographic Office. Washington. D.C., H.O. Pub. 614:1-114.
- National Institute of Oceanography of Great Britain, 1966. International Oceanographic Tables UNESCO, Paris, 118 págs.
- NESHYBA, S. y R. MÉNDEZ, 1975. Análisis de temperaturas superficiales del mar como indicadores de movimientos de aguas superficiales en el Pacífico Sur-Este. *Rev. Com. Perm. Pacifico Sur*, 5:129-137.
- OLIVER, SCHNEIDER, C. (1944). El halabios del litoral de Concepción y Arauco. *Bol. Soc. Biol. Concepción*, 18: 173-189.
- PRITCHARD, D.W., 1967. What is an Estuary. Physical Viewpoint. In: Estuaries. *Publ. Am. Ass. Advmt. Sci.* 83:3-5.
- REID, J.L., 1973. Transpacific Hydrographic section at Lats. 43°S and 28°S: the SCORPIO Expedition-III. Upper water and a note on southwards flow at middepth. *Deep Sea Res.* 20(1):39-49.
- RIVERA, P., 1968. Sinopsis de las Diatomeas de la Bahía de Concepción, Chile. *Gayana, Bot.* 18:1-112.
- ROBLES, F., J. PINEDA, J. CARÓN, E. SANDOVAL, E. ALARCÓN y M. MÉNDEZ, 1970. Descripción general de las condiciones oceanográficas en aguas chilenas. Informe del Programa de Oceanografía del IFOP, al término del Proyecto UNSF 87, 1-104.
- ROBLES, F., E. ALARCÓN y A. ULLOA, 1974. Las masas de agua en la región Norte de Chile y sus variaciones en un periodo frío (1967) y en periodos cálidos (1969-1971-1973). Reunión de trabajo sobre el fenómeno de "El Niño". COT, Guayaquil-Ecuador. Contribución del Instituto de Fomento Pesquero de Chile (IFOP), 73 págs.
- SIEVERS, H.A. y N. SILVA, 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno disuelto frente a la Bahía de Valparaíso. *Inv. Mar.*, 4(1):1-16.
- SIEVERS, H.A. y N. SILVA, 1975. Masas de agua y circulación en el Océano Pacífico Sud-oriental. Latitudes 18°S-33°S. (Operación oceanográfica "Mar-Chile" VIII). *Cienc. y Tec. del Mar. Contrb. CONA*, 1:7-67.
- SILVA, N., 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso. (septiembre de 1969-agosto de 1970). *Inv. Mar.*, 4 (3):89-112.

- SILVA, N. y H. SIEVERS, 1974. Masas de agua, velocidad geostrofica y transporte de volumen entre Valparaiso e Islas Robinson Crusoe (Océano Pacífico Sud-Oriental). Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, 2:104-120.
- SILVA, N. y D. KONOW, 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sud-Oriental. Expedición Krill. Crucero 3-4 julio-agosto 1974. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, 3:63-75.
- STRICKLAND, J.D. and T.R. PARSONS, 1968. A practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canadá, 167-311 págs.
- SCHWABE, G. H. (1951) Sobre las mortalidades de peces en la Bahía de San Vicente y sus causas. Bol. Soc. Biol. Concepción 26:31-40.
- WILHELM, O., (1930). Las mortandades de jibias (*Omastrorhynchus gigas*) en la Bahía de Talcahuano. Bol. Soc. Biol. Concepción, 3:23-38.
- WOOSTER, W.S. and M. GILMARTIN, 1961. The Perú-Chile Undercurrent. J. Mar. Res, 19 (3):97-122.
- WYRTKI, K, 1963. The horizontal and vertical field of motions in the Perú current. Scripps Institution of Oceanography, Bull.8 (4):313-346.
- WYRTKI, K, 1965. Corrientes superficiales del Océano Pacífico Oriental Tropical. Boletín Comisión Interamericana del atún Tropical, 9 (5):271-304.
- WYRTKI, K, 1967. Circulation and Water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. Int. J. Oceanol and Limnol, 1 (2):17-147.
- ZUTA, S. y O. GULLÉN (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Bol. Inst. Mar. Perú-Callao, 2 (5):157-324.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los señores Dr. Víctor A. Gallardo, licenciado Dagoberto Arcos y Srta. Cecilia Concha (Departamento de Biología Marina y Oceanografía), por autorizarnos el uso de importante información hidrográfica no procesada.

Asimismo manifestamos nuestro reconocimiento al Dr. Nelson Saavedra y Sr. A. Hernández (Departamento de Geofísica), por proporcionarnos

la información meteorológica y al Dr. Donald Johnson, por sus sugerencias en el establecimiento del modelo de corrientes para la Bahía de Concepción. También debemos agradecer al capitán Sr. G. Tobella y tripulación de la embarcación oceanográfica LUND, sin cuya competencia profesional y gran sentido de responsabilidad no habríamos podido llevar a cabo el presente estudio.